



KYSTVERKET



MOLOHÅNDBOKA



Berlevåg havn. Foto: Tore Larsen

FORORD

Kystverkets visjon er å utvikle kysten og havområdene til verdens sikreste og reineste.

Hovedmålene våre er å

- bedre framkommelighet for personer og gods i hele landet
- redusere transportulykkene i samsvar med nullvisjonen
- redusere klimagassutslippene i samsvar med en omstilling mot et lavutslippssamfunn og redusere andre negative miljøkonsekvenser
- forhindre og begrense miljøskade ved akutt forurensning eller fare for akutt forurensning.

Kystverket har en nullvisjon for sjøulykker som sier at det ikke skal forekomme ulykker som fører til tap av liv, alvorlig personskade eller forurensning.

Molohåndboka skal bidra til å oppfylle disse målsettingene og gir veiledende normer for hvilke standarder som skal gjelde ved planlegging og bygging av moløer som skal ha en bølgedempende funksjon for havn eller andre samfunnsnyttige funksjoner.

Håndboken vil være et nyttig redskap og informasjonskilde for både offentlige instanser og private firmaer – enten som myndighetsutøver, eier av molo, prosjekterende eller utførende.

Ålesund, 1. desember 2018



Per Jan Osdal
Kystdirektør

SAMMENDRAG

Tittel:	Molohåndboka
Prosjektgruppe, Kystverket:	Jan Arild Jensen Rita Svendsbøe Per Helge Thom Martin Fransson Eivind Edvardsen, Kystverket/WSP Norge
Referansegruppe og bidragsytere:	Arne Erling Lothe, Norconsult Raed Lubbad, NTNU Øivind Arntsen, NTNU Gonzalo Diz Palomares, Dr techn Olav Olsen Flemming Sclütter, DHI, Danmark Arne Nestegård, DNV GL Elin Kramvik, Multiconsult Erlend Berg Kristiansen, Multiconsult Dag Andreassen, Statens vegvesen Rune Laberg Olsen, Secora Per Midjord, Aarsleff, Danmark Camilla Spansvoll, Kystverket, Senter for utbygging Ole Johan Aarnes, Meteorologisk Institutt
Dato:	1. desember 2018
Sider:	152
ISBN papir:	978-82-93427-07-0
ISBN elektronisk:	978-82-93427-08-7
Prosjekt:	Revisjon av molohåndboka
Prosjektleder:	Eivind Edvardsen, Kystverket og WSP Norge AS
Emneord:	Moloer, molodesign, prosjektering av moloer, bygging av moloer, numerisk beregning av bølger, modellforsøk

Title:	<i>Breakwater guidelines</i>
Project group, Norwegian Coastal Administration:	<i>Jan Arild Jensen Rita Svendsbøe Per Helge Thom Martin Fransson Eivind Edvardsen</i>
Reference group:	<i>Arne Erling Lothe, Norconsult Raed Lubbad, NTNU Øivind Arntsen, NTNU Gonzalo Diz Palomares, Dr techn Olav Olsen Flemming Sclütter, DHI, Denmark Arne Nestegård, DNV GL Elin Kramvik, Multiconsult Erlend Berg Kristiansen, Multiconsult Dag Andreassen, Norwegian Public Roads Administration Rune Laberg Olsen, Secora Per Midjord, Aarsleff, Denmark Camilla Spansvoll, Norwegian Coastal Administration Ole Johan Aarnes, Norwegian Meteorological Institute</i>
Date:	<i>1st of December 2018</i>
Pages:	<i>152</i>
ISBN papir:	<i>978-82-93427-07-0</i>
ISBN electronic:	<i>978-82-93427-08-7</i>
Project:	<i>Revised edition of the Breakwater guidelines</i>
Project manager:	<i>Eivind Edvardsen, Norwegian Coastal Administration and WSP Norge AS</i>
Key words:	<i>Breakwaters, design of breakwaters, construction of breakwaters, numerical wave calculations, lab modeling of wave actions on breakwaters</i>
Language of Report:	<i>Norwegian</i>

Forsidefoto:	GeoNord AS (Mehamn molo, Finnmark)
Design:	Nucleus AS
Trykkeri:	Merkur Grafisk AS

Sammenheng:

Molohåndboka beskriver anbefalinger for planlegging, prosjektering og bygging av moloer langs kysten av Norge.

Innledningsvis er det gitt en kort historikk over utviklingen av havneutbygging og molobygging i Norge. Det gis oversikt over hvilke lover og forskrifter som gjelder for molobygging, hvilke arealplaner som må foreligge og hvilke tillatelser som må innhentes før slike tiltak igangsettes.

Det finnes mange ulike typer moloer, men bare et fåtall varianter er vanlig i Norge for moloer som skal beskytte havner og andre utbyggingsområder mot større bølgepåkjønning. Håndboka behandler i hovedsak molokonstruksjoner av typen «plastret steinmolo». Andre typer blir nevnt, men ikke detaljert behandlet.

Molohåndboka viser hvordan et moloprojekt anbefales utført, fra behovsanalyse til ferdigstillelse. Ved planlegging av et molotiltak, bør det foretas en behovsanalyse. Det er tatt inn et kapittel som beskriver hensikt og metode for en slik analyse.

Videre følger en redegjørelse for hvilke forundersøkelser som bør gjøres samt en rekke temaer som må behandles i innledende planleggingsfase, som bølger, strøm, is, geologi, geoteknikk, miljøundersøkelser av sedimenter, arkeologi, kartgrunnlag, eiendomsforhold, naturmangfold og vannmiljø mv. Bølgepåkjønning er spesielt viktig her, og det gis en oversikt over hvordan dimensjonerende parametere kan fremskaffes, enten ved numeriske beregninger eller ved modellforsøk. En mer utførlig

omtale av bølge teori er tatt med i vedlegg. Det forutsettes at ansvarlig prosjekterende har spesiell kompetanse innenfor dette fagområdet.

Det er også tatt med et kapittel om havneplanlegging, hvor moloens plassering i havneområdet er behandlet.

Videre behandles detaljprosjektering av moloer mer inngående i kapittel 7. Dette kapitlet er også ment som anbefaling ved utførelse av slik detaljprosjektering gjennom kontrakt som prosjekteier inngår med prosjekteringsfirma. I arbeidet med detaljprosjekteringen fremkommer en rekke detaljerte krav til utførelse, og noen slike generelle krav er behandlet i dette kapitlet. Dette kapitlet kan således også legges til grunn for kontrakter om utførelse.

Spesielle utførelseskrav er medtatt i kapittel 8. Dette kan med fordel inngå i kontrakt med entreprenør.

Kapittel 9-12 gir anbefalinger om kontroll og overvåking, helse-, miljø og sikkerhet, ivaretagelse av ytre miljø med plan for dette, samt anbefalinger om inspeksjoner i driftsfase, vedlikehold og reparasjoner. Det er her også omtalt spesielle hensyn som må tas ved reparasjoner av verneverdige anlegg.

Referanser og oversikt over noe spesiallitteratur er tatt med i kapittel 13.

Summary:

These guidelines describe advices and recommendations for planning, engineering, and construction of breakwaters along the Norwegian coastline.

First it is given a short history for development of harbour and breakwater construction in Norway. It is given an overview of legislations for establishing of breakwaters, which regulation plans that must be decided and which applications that is to be made before construction can start.

There are many types of breakwaters, but only a few of them are common used in Norway for breakwaters that defend harbours and other construction areas against bigger wave actions. These guidelines are mainly about stone breakwaters with systematically placed deck stones ("rubber mound breakwaters").

These guidelines give recommendations how a breakwater project is to be run, from investigations through engineering to construction phase. There is also an attachment with wave theory more in detail. At last it is given an overview of literature these guidelines are based on.

INNHOOLD

FORORD	3
SAMMENDRAG	4
1. ORDLISTE, FORKORTELSER OG SYMBOLER	13
1.1 ORDLISTE.....	13
1.2 FORKORTELSER	13
1.3 SYMBOLER	14
2. INNLEDNING	17
2.1 OM BRUKEN AV MOLOHÅNDBOKA	17
2.2 HISTORIKK OM MOLOBYGGING	17
2.2.1 «Ei havn der det før har vært havnløst».....	17
2.2.2 Kimen til et statlig havnevesen.....	18
2.2.3 Statens havnevesen blir til.....	18
2.3 LOVER OG FORSKRIFTER.....	19
2.4 OVERORDNEDE PLANER OG OFFENTLIGE TILLATELSER	20
2.4.1 Statlige og regionale planer	20
2.4.3 Reguleringsplaner	20
2.4.4 Offentlige tillatelser	20
3. KLASSIFISERING AV MOLOER	23
3.1 INTRODUKSJON	23
3.2 PLASTRET MOLO	28
3.2.1 Generelt	28
3.2.2 Konvensjonell plastret molo	29
3.2.3 Skuldermolo	29
3.2.4 Molo av betongelementer	31
3.3 VERTIKALMOLO	32
3.4 FLYTEMOLO.....	32
3.5 ANDRE TYPER MOLOER.....	35
3.6 FORM I PLAN	35
4. BEHOVSANALYSE	36
5. PLANLEGGING OG FORUNDERSØKELSER	39
5.1 KLIMAENDRINGER.....	39
5.2 STRØM.....	40

5.3	IS.....	41
5.4	BØLGER.....	42
5.4.1	Generelt.....	42
5.4.2	Numerisk modellering av bølger.....	44
5.4.2.1	Generelt.....	44
5.4.2.2	Valg av modell.....	44
5.4.2.2.1	Numerisk modellering av bølgeforld fram til molostedet.....	44
5.4.2.2.2	Fasemidlede modeller (storskala modeller).....	45
5.4.2.2.3	Faseoppløste modeller (lokalskala modeller).....	46
5.4.2.2.4	Oppsummering.....	48
5.4.2.3	Numerisk modellering av rolighet i havna.....	48
5.4.3	Fysisk modellering – modellforsøk.....	49
5.4.3.1	Generelt.....	49
5.4.3.2	Valg av laboratorium.....	50
5.5	GEOLOGI, STEINBRUDD.....	51
5.5.1	Geologisk vurdering.....	51
5.5.2	Undersøkellesmetoder.....	51
5.6	GEOTEKNIKK.....	51
5.7	MILJØUNDERSØKELSER.....	54
5.7.1	Myndighetskrav.....	54
5.7.2	Klassifisering av miljøtilstand.....	54
5.7.3	Tildekking av forurenset sjøbunn.....	55
5.8	ARKEOLOGISKE UNDERSØKELSER.....	55
5.9	KARTGRUNNLAG.....	55
5.10	GRUNNRETTIGHETER OG EIENDOMSFORHOLD.....	56
5.11	NATURMANGFOLD.....	57
5.12	VANNMILJØ.....	58
5.13	OVERVÅKING.....	59
5.14	AVBØTENDE TILTAK.....	59
6.	Plassering og havneplan.....	61
6.1	Planleggingsprosedyre.....	61
6.2	BØLGER I HAVNER.....	62

6.3	LANGE BØLGER OG BASSENGSVINGNINGER.....	65
6.4	STRØM.....	67
6.5	KRITERIER.....	69
6.6	LANDSKAPSFORMING	69
6.6.1	Generelt om landskapsforming.....	69
6.6.2	Molo som stort landskapselement.....	69
6.6.3	Eksempler på å bygge stort i landskapet.....	70
6.6.4	Moloen i nærmiljøet.....	72
7.	DIMENSJONERING AV MOLO	75
7.1	GENERELT OM DIMENSJONERING.....	75
7.2	DIMENSJONERINGSMETODER.....	76
7.2.1	Aktuelle metoder	76
7.2.2	Deterministisk analyse	76
7.2.3	Probabilistisk analyse	77
7.2.4	Valg av metode.....	78
7.3	VALG AV MOLOTYPE – MOLOER AV SPRENGT STEIN.....	78
7.4	DIMENSJONERENDE SJØTILSTAND.....	78
7.4.1	Generelt.....	78
7.4.2	Signifikant bølgehøyde H_s eller H_{m0}	79
7.4.3	Spektral topp-periode T_p	80
7.4.4	Innkommende retning for bølgene mot moloen.....	80
7.4.5	Dimensjonerende vann-nivå.....	81
	7.4.5.1 <i>Generelle retningslinjer</i>	81
	7.4.5.2 <i>Tidevann og vann-nivå</i>	82
	7.4.5.3 <i>Aksepterte metoder</i>	83
	7.4.5.4 <i>Returperiode</i>	84
7.5	DIMENSJONERING AV MOLOENS ULIKE KOMPONENTER	84
7.5.1	Oversikt over aktuelle komponenter.....	84
7.5.2	Dekkblokk.....	86
	7.5.2.1 <i>Konseptuell modell</i>	86
	7.5.2.2 <i>Generelt om laget med dekkblokk</i>	86
	7.5.2.3 <i>Konvensjonell molo</i>	86
	7.5.2.4 <i>Skuldermolo</i>	89
7.5.3	Filterlag	92
	7.5.3.1 <i>Generelt om filterlag</i>	92
	7.5.3.2 <i>Metoder</i>	92
	7.5.3.3 <i>Filterduk / Geotekstil</i>	93

7.5.4	Kjernemasse	93
7.5.5	Molohøyde	94
	7.5.5.1 Generelt	94
	7.5.5.2 Metoder for beregning av molohøyde.....	96
7.5.6	Molobredde.....	97
7.5.7	Helningsvinkel, front	97
7.5.8	Molohode	97
7.5.9	Skulderbredde.....	98
7.5.10	Skulderhøyde.....	98
7.5.11	Brystvern, kjørebane og navigasjonsinstallasjoner	98
7.6	GEOTEKNISK STABILITET	101
7.6.1	Generelt	101
7.6.2	Stabiliserende tiltak	103
	7.6.2.1 Motfylling.....	103
	7.6.2.2 Mudring	103
	7.6.2.3 Fortanning.....	103
	7.6.2.4 Fyllingsprosedyre	103
7.6.3	Fast grunn	104
7.6.4	Setninger	104
7.6.5	Erosjonssikring av molofoten	104
7.7	TILDEKKING AV FORURENSET SJØBUNN.....	105
	7.7.1 Generelt om tildekking	105
	7.7.2 Prosjektering av tildekkingslag ved forurenset sjøbunn	105
8.	UTFØRELSE	107
8.1	PLAN FOR GJENNOMFØRING	107
8.2	STEINBRUDD OG TRANSPORT	107
8.3	UNDERFYLLING.....	108
8.4	KJERNEMASSE.....	110
8.5	FILTERLAG	110
8.6	DEKKBLOKK	111
	8.6.1 Generelt	111
	8.6.2 Egenvekt	111
	8.6.3 Form	111
	8.6.4 Kvalitet.....	113
	8.6.5 Kontroll av blokkvekter	115
8.7	PLASTRING AV MOLO	115
	8.7.1 Krav til utførelse.....	115

8.7.2	Fortanning	117
8.8	EROSJONSSIKRING AV MOLOFOTEN	120
8.9	MOLODEKKE	120
8.10	ANDRE ARBEIDER	122
8.10.1	Tiltak ved forurensede sedimenter	122
8.10.2	Sikring overgang mot land	122
8.10.3	Midlertidig merking	122
8.10.4	Brystvern	123
8.10.5	Kabelgrøfter og fundament for navigasjonsinstallasjoner	123
9.	KONTROLL, KVALITETSSIKRING OG DOKUMENTASJON	124
9.1	GENERELT OM KONTROLL OG DOKUMENTASJON	125
9.2	TYKKELSER	125
9.3	KONTROLL- OG OVERVÅKINGSPROGRAM	125
10.	SIKKERHET, HELSE OG ARBEIDSMILJØ	127
11.	YTRE MILJØ	129
12.	DRIFT, VEDLIKEHOLD OG REPARASJONER	131
12.1	GENERELT	131
12.2	INSPEKSJON OG OPPFØLGING	131
12.3	TILSTANDSKONTROLL	132
12.4	VEDLIKEHOLD	133
12.5	BRUK AV MOLOEN TIL ANDRE FORMÅL	133
12.6	STANDARDHEVING	133
12.7	REPARASJON AV MOLOER	133
12.7.1	Mindre reparasjoner	133
12.7.2	Større reparasjoner	133
12.8	VERNEVERDIGE ANLEGG	134
12.8.1	Generelt	134
12.8.2	Forvaltning, vedlikehold og reparasjoner	134
12.9	ETTERPRØVING OG EVALUERING. KONTROLL VED LEVETIDENS UTLØP	134
13.	REFERANSER	136

VEDLEGG I: GENERELL BØLGETEORI

1. BØLGER	140
1.1 GENERELT	140
1.2 BØLGETYPER	140
1.3 BØLGEBESKRIVELSE OG OBSERVASJONSTEKNIKKER	141
1.3.1 Generelt	141
1.3.2 Observasjonsteknikker	142
1.3.3 Metoder for beskrivelse av bølger	142
1.3.3.1 Generelt om ulike metoder	142
1.3.3.2 Tidsdomeneanalyse av bølger	143
1.3.3.3 Analyse i frekvensdomenet	143
1.3.3.4 Modellspektra	145
1.4 BØLGESTATISTIKK	146
1.4.1 Korttids statistikk	146
1.4.2 Langtids statistikk	146
1.5 MODELLFORSØK	149
1.5.1 Valg av modellskala	149
1.5.2 Konstruksjon av modell	149
1.5.3 Definerings og måling av bølger	149
1.5.4 Måling av bølgeoverskyl	150
1.5.5 Ytterlige forhold ved design av 3D-modeller	150
1.5.6 Gjennomføring av forsøk	150
1.5.7 Kriterier for akseptabel skade og overskyl	151
1.5.8 Kvalitetssikring av forsøk	151



1. ORDLISTE, FORKORTELSER OG SYMBOLER

1.1 ORDLISTE

Fortanning	Etablering av groper/grøfter i slett fjell for å skaffe feste for molofoten
Overskylling	Ved høyvann og stor bølgepågang slår bølgene over moloen
Byggherre	Oppdragsgiver, prosjekteier

1.2 FORKORTELSER

PBL	Lov om planlegging og byggesaksbehandling, plan og bygningsloven
NML	Lov om forvaltning av naturens mangfold, naturmangfoldloven
AML	Lov om arbeidsmiljø, arbeidstid og stillingsvern mv., arbeidsmiljøloven
ROS-analyse	Risiko- og sårbarhetsanalyse
ULS	Ultimate Limit State - bruddgrensetilstand
SHA	Sikkerhet, helse og arbeidsmiljø på anleggsstedet
HMS	Helse, miljø og sikkerhet på anleggsstedet

1.3 SYMBOLER

SYMBOL	ENHET	KOMMENTAR
α	°	Moloens skråningsvinkel
A_e	m ²	Arealet av området med fjernede blokker ved skade, målt i tverrsnittet
B_s	m	Skulderbredde
Δ	dim. løs	$\Delta = \frac{\rho_s}{\rho_w} - 1$; dimensjonsløs egenvekt
D		Vanddybde ved fot av molo
d_b	m	Skulderens høyde over dimensjonerende stormflo
D_{n50}, D_{50}	m	Ekvivalent, gjennomsnittlig diameter av steinmateriale, 50 betyr at 50 % av steinene har større eller mindre diameter.
H		Moloens høyde over opprinnelig sjøbunn
H_k	m	Molohøyde over dimensjonerende høyvann
H_{max}	m	Maksimal bølgehøyde
H_{m0}	m	Bølgehøyde som finnes ved beregning av bølgespekter, $H_{m0} = 4\sqrt{m0}$ (m0 er arealet under bølgespekteret, 0'te ordens moment), nærmere forklart i pkt. 5.4.1
H_s	m	Signifikant bølgehøyde, dvs. middelverdien av den høyeste tredjedelen av alle bølger i en måleserie
$H_{s,dim}$	m	Dimensjonerende signifikant bølgehøyde
Θ_m	dim. løs	Midlere bølgeretning
L_0	m	Dypvanns bølgelengde
N	dim. løs	Antall bølger, vanligvis mellom 1000 og 5000

SYMBOL	ENHET	KOMMENTAR
ξ_z	dim. løs	Iribarren-tallet
ξ'	dim. løs	Iribarentallet ved overgang mellom brytningstyper
P	dim. løs	Permeabilitetsfaktor
ρ_s	kg/m ³	densitet, stein
ρ_w	kg/m ³	densitet, sjøvann
S	dim. løs	$S = A_e / (D_{n50})^2$; dimensjonsløst skadetall
T_m		Midlere bølgeperiode
T_p	s	Dimensjonerende bølgeperiode, spektral topp-periode i bølgespekteret
T_z	s	$T_z \approx T_p / 1,35$; midlere bølgeperiode (også kalt null-oppkryssingsperiode i spekteret)
W_{50}	kN	Blokkvekt tilsvarende D_{50} ; $W_{50} = \rho_s D_{n50}^3$



Moloer utenfor Myre havn. Foto: Per Aarsleff AS

2. INNLEDNING

2.1 OM BRUKEN AV MOLOHÅNDBOKA

Målgruppen for Molohåndboka er ansatte i Kystverket, fylkeskommuner, kommuner, havneforetak og andre prosjektere samt private rådgivingselskap og entreprenører som arbeider med planlegging, prosjektering og utbygging av havner og farleder, arealplanprosesser, søknader om tillatelse til tiltak etter havne- og farvannsloven og navigasjonsveiledning. Boka gir veiledning og anbefalinger for prosjektgjennomføring, planlegging og utførelse samt noen spesifikke krav til de ulike fasene i anleggsprosjekt.

Det forutsettes at leseren har grunnleggende kompetanse og selv har detaljerte instruksjer, veiledere el. for gjennomføring av konkrete anleggstiltak.

Denne håndboka inneholder anbefalinger om beste praksis, men Kystverket tar ikke ansvar for bruken av boka eller konsekvenser av at bokas innhold, helt eller delvis, er lagt til grunn i konkrete tiltak, og den kan ikke anses som noen offisiell standard eller lignende grunnleggende retningslinjer.

2.2 HISTORIKK OM MOLOBYGGING

2.2.1 «Ei havn der det før har vært havnløst»

Moloens historie strekker seg 4500 år tilbake i tid, og er knyttet til de første sivilisasjonene som begynte å bruke sjøveien for frakt av gods og varer. Behovet for å beskytte havner ved å bygge konstruksjoner som vern for bølger

oppsto i forbindelse med oldtidens bydannelser, hvor behovet for trygge havner ble avgjørende. Den eldste daterte molokonstruksjonen ble oppdaget i Egypt i forbindelse med arkeologiske utgravninger av den gamle havnebyen Wadi al-Jarf ved Rødehavet, og er datert til 4500 f.Kr. Moloen er 150 meter lang og er synlig i dag ved lavt tidevann.

Langs norskekysten var de første havnene naturlig beskyttet for vær og vind, og skipene som ble brukt hadde sitt fortrinn ved at de kunne dras på land og krevde liten dybde. Den første historiske kilden vi har til molobygging langs vår kyst, er fra 1100-tallet. Kong Øysteins havn på Agdenes ytterst i Trondheimsfjorden hadde et militært formål. Der ble det reist en molo av laftverksskar, som ble fylt med stein. Moloen hadde en lengde på ca. 30 meter og en bredde på 4,5 meter. Anlegget er omtalt i sagalitteraturen og i «Magnussønnes saga» står det at kong Øystein bygde «ei havn der det før har vært havnløst». Vikinghavna på Fånestangen i Frosta kommune er noe eldre, fra rundt år 1000. Dette arkeologiske funnet besto av 12 til 14 trestokker og har muligens vært en kassekonstruksjon fylt med stein, men om dette var en kai eller en molo, er dessverre ikke mulig å fastslå. De eldste sporene etter maritim infrastruktur knyttet til havn, er i dag lagret på Vitenskapsmuseet i Trondheim, mens rester av moloen på Agdenes fremdeles er synlig i form av tømmer- og steinkonstruksjoner som en kan se ved fjære sjø samt store steinblokker som havet har spredd innover fjæra og som skiller seg markant fra naturlig stein i området. Norges eldste molo er derfor mulig å besøke og området er åpent for publikum.



Figur 2-1 Molobygging på Andenes i 1902.

2.2.2 Kimen til et statlig havnevesen

Den første moloen i Norge ble altså reist av kongemakten og staten, men det å bygge havner og legge til rette for havnevirksomhet var fra middelalderen av og fram til 1700-tallet noe private handelsmenn sto for. Kongemakten stimulerte til etablering av fortøyningsringer, gjennom at den som opprettet fortøyning fikk et privilegium, blant annet retten til å kreve avgift. Det var først etter etableringen av Losvesenet at det ble tatt statlige grep for å bedre havneforholdene. I en enkel forordning som ble vedtatt 16. september 1735, ble kimen til et statlig havnevesen sådd. Forordningen fastslo at hver havn måtte ha en Havnekommissjon, som måtte rapportere til stattholderen. I tiårene etter ble det gjennomført havnetiltak som ble finansiert gjennom mudderpenger og i 1756 ble det bygd moloer i Larvik. Disse kostet 3000 riksdaler, og dette var så mye penger at Larvik måtte låne halvparten av midlene fra havnekassene til Kragerø, Skien og Drammen. Moloen «Skottebrygge» ble bygd av tre, men ble dekket av stein på ytersiden og opp til «vandlinjen». I 1730 og senere i 1785 ble det bygd «forbygninger» til innløpet til Trondheim havn.

2.2.3 Statens havnevesen blir til

Statens havnevesen ble etablert i 1841 under Marine-departementet. Den første tiden var etatens virksomhet primært knyttet til kontroll og myndighetsutøvelse på et overordnet nivå og representasjon i kommunale havneadministrasjoner. Etaten var også virksom som havneutbygger og en av de første statlige moloene som ble reist av Statens havnevesen, var i Ålesund. Dette var en murt molo, som fikk tilnavnet «Molja». Den ble reist i 1854–55.

Først da havnedirektør Oluf Roll tiltrådte stillingen i 1861 (og sto i posten til 1897), ble det etablert en egen entreprenøravdeling for å bygge havner for fiskeriene. Mens det i perioden 1842–72 ble etablert 30 havneanlegg, ble det i de påfølgende 40 årene bygget hele 300 nye. De årlige budsjettene ble nesten tidoblet i denne perioden. Norge var midt i nasjonsbyggingen og økonomisk høykonjunktur la grunnlaget for en stor satsing på offentlig infrastruktur.



En avgjørende faktor for dette var opprettelsen av «Havnefondet» i 1873. Dette ble bygd opp gjennom en lovpålagt eksportavgift på fiskeprodukter. Bruk av midler fra fondet ble øremerket til fiskerirettet utbygging (fiskerihavner). Siden avgiften inntil 1908 bare ble innkrevet fra Rogaland og nordover, kunne investeringer med støtte i fondet til da bare skje vest- og nordpå. Staten skjøt inn midler, lenge 1/3 av det som ble tatt fra fondet.

I alt er det bygd nær 800 statlige fiskerihavner.

De statlige fiskerihavnene ligger spredt langs hele norskekysten, og varierer mye både i størrelse, beliggenhet og bruksintensivitet. Mange ulike aktører har interesser i fiskerihavnene. Kystverket er naturlig nok en av de sentrale aktørene, både som forvalter av statens privatrettslige eier- og bruksrettigheter og som offentlig forvaltningsmyndighet etter havne- og farvannsloven.

I dag har Kystverkets eget etatsmuseum ansvar for å dokumentere og formidle norsk havnehistorie.

2.3 LOVER OG FORSKRIFTER

Følgende lover med tilhørende forskrifter inneholder bestemmelser som må ivaretas og/eller vurderes når en molo skal planlegges eller etableres:

- Lov om planlegging og byggesaksbehandling (LOV-2008-06-27-71 Plan og bygningsloven – PBL)
- Lov om vern mot forurensninger og avfall (LOV-1981-03-13-6 forurensningsloven)
- Lov om kulturminner (LOV-1978-06-09-50 kulturminneloven)
- Lov om erverv og utvinning av mineralressurser (LOV-2009-06-19-101 mineralloven)
- Lov om havner og farvann (LOV-2009-04-17-19 havne- og farvannsloven)
- Lov om forvaltning av naturens mangfold (LOV-2009-06-19-100 naturmangfoldloven)
- Lov om arbeidsmiljø, arbeidstid og stillingsvern mv (LOV-2005-06-17-62 arbeidsmiljøloven)

Dette er ikke noen uttømmende liste, og ved prosjektering og utførelse av moloarbeider, må det alltid vurderes om flere lover enn ovennevnte må ivaretas.



Mehamn molo. Foto GeoNord

2.4 OVERORDNEDE PLANER OG OFFENTLIGE TILLATELSER

2.4.1 Statlige og regionale planer

Dersom aktuell havn inngår i overordnede planer, er prinsipiell planavklaring på dette nivået foretatt. Dersom dette ikke foreligger, må det gjøres en avklaring med statlige og regionale myndigheter om hva som trengs av vedtak, planer etc. Dette vil være avhengig av om det gjelder etablering av ny havn, utvidelse av eksisterende havn eller ren skjerming av eksisterende havneforhold.

2.4.2 Kommuneplaner

Prinsipielle arealavklaringer gjøres på kommuneplannivå. Før molobygging kan utføres, må kommunens arealplaner inneholde areal avsatt til havn, farled etc. Dersom dette ikke er innarbeidet i kommuneplanens arealdel før moloplanleggingen starter, bør dette medtas i neste rulling av planen. Som en del av moloplanleggingen må det da foretas nødvendige planavklaringer, herunder involvere aktuelle sektormyndigheter.

2.4.3 Reguleringsplaner

Detaljerte planforhold må avklares. Dersom det ikke allerede foreligger reguleringsplan for tiltaket, må det utarbeides planbeskrivelse og evt. konsekvensutredning

eller en noe redusert konsekvensvurdering. Videre må det foretas en ROS-analyse jf. PBL §4-3. Det er ofte nyttig å regulere et noe større område enn det arealet som tiltaket beslaglegger – i alle fall der reguleringsplan baseres på planer i tidligfase.

For omfang av planutredninger og -dokumenter vises til PBL, plandelen samt forskrift for konsekvensutredning.

Anlegg som vanligvis krever detaljert reguleringsplan, er etablering av molo samt steinbrudd med areal til mellomlagring og sortering av ulike steinfraksjoner.

2.4.4 Offentlige tillatelser

Tiltakshaver eller den som er pålagt oppgaven med å gjennomføre tiltaket (prosjekteier eller prosjektleder) må søke om tillatelse til tiltak hos følgende myndigheter:

- Kommunen hvor tiltaket er plassert – tillatelse i samsvar med plan- og bygningsloven.
- Kystverket – tillatelse i samsvar med havne- og farvannsloven (evt. regional/lokal havnemyndighet dersom tiltaket er innenfor dennes ansvarsområde).
- Fylkesmannen (evt. Miljødirektoratet) – tillatelse i samsvar med forurensningsloven.



Dersom sjøbunnen klassifiseres som forurenset, må det medtas evt. tildekking av forurenset sjøbunn eller mudring og deponering av forurensete sedimenter dersom dette er aktuelt.

Ved mudring av forurensete sedimenter skal søknad om tillatelse normalt inneholde plan for deponering og deponisted, og nødvendige undersøkelser i forbindelse med dette må påregnes (se Håndteringsveilederen, ref. X). Utfyllingstillatelser gis med hjemmel i forurensningsloven §11 mens forurensningsforskriften kapittel 22 regulerer mudring og dumping

Miljødirektoratet har gitt ut et faktaark, M-1085 | 2018 «Problemer med plast ved utfylling av sprengstein i sjø», som nevner 11 krav som sprengsteinsprodusenter og utfyllingsprosjekter bør innfri for å redusere plastforurensning i sjø. I søknad om tillatelse til utfylling av sprengstein i sjø bør det redegjøres for hvordan dette planlegges utført. Her anbefales også medtatt en redegjørelse om reduksjon av annen plastforurensning i sjø, jfr. ref. X.

Dessuten kan innhenting av følgende myndigheters tillatelse være aktuell:

- For tiltak i nasjonalparker: Styret/sekretariat for aktuell nasjonalpark
- Verneområder: Miljødirektoratet eller regional miljømyndighet (fylkeskommune)

Uttalelser fra følgende myndigheter må innhentes:

- Kulturminnemyndighet – regional kulturminnemyndighet (fylkeskommune eller regionalt museum etter delegasjonsfullmakt for marine kulturminner)
- Sametinget (for tiltak i Sametingets ansvarsområde)

Ved åpning og drift av steinbrudd kreves tillatelse fra Direktoratet for mineralforvaltning. I søknaden skal bl.a. driftsplan og avslutningsplan inngå.

Naturmangfoldloven skal vurderes i saksbehandlingen for tillatelsene nevnt ovenfor, spesielt av aktuell kommune og aktuell fylkesmann. Derfor må imøtekommelse av krav i medhold av denne loven beskrives i søknader til nevnte myndigheter.

Det kan også være nødvendig med andre tillatelser. Nøyaktig søknadsomfang må avklares i hvert enkelt tiltak.



Eggum havn, Lofoten

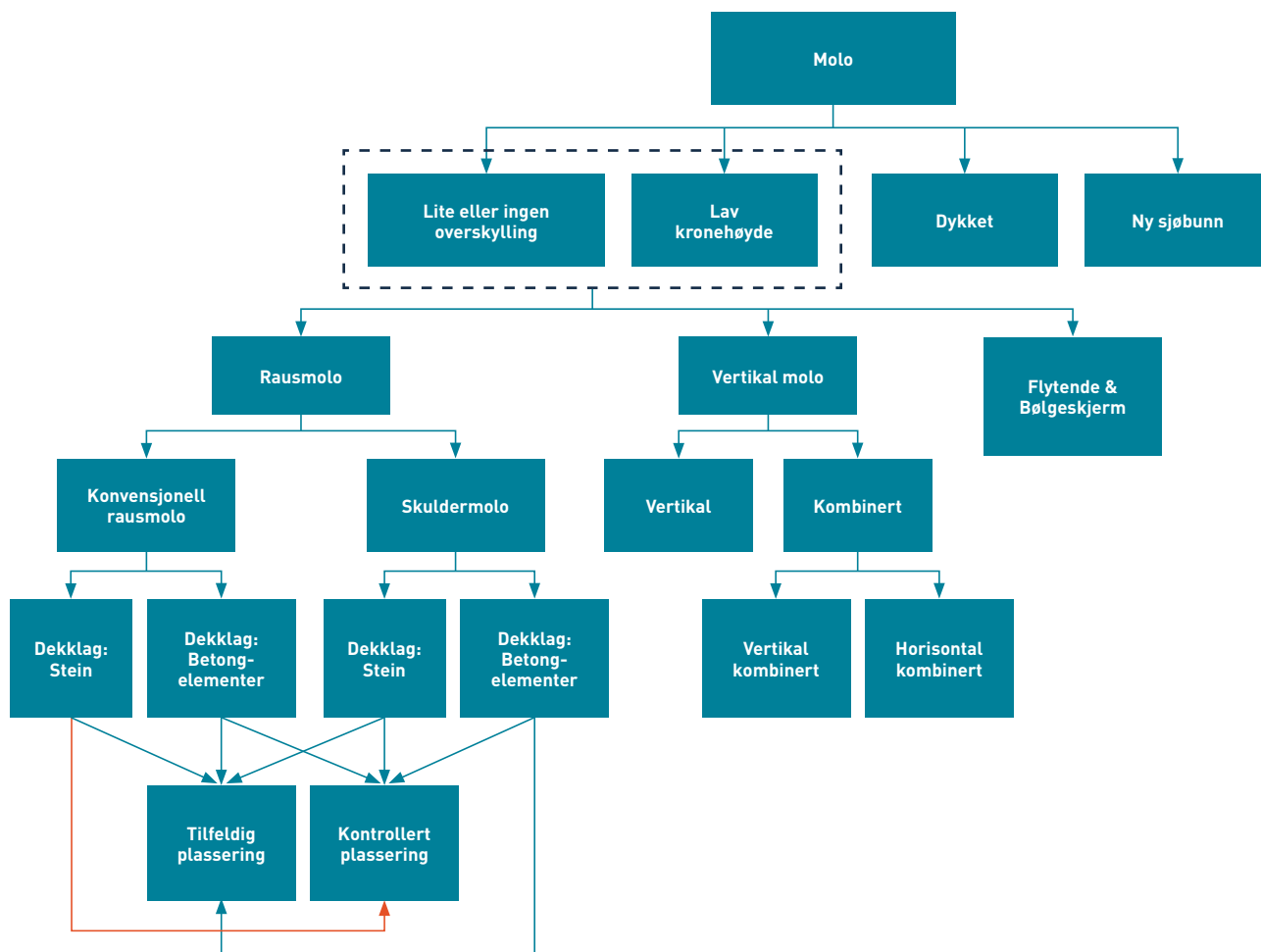
3. KLASSIFISERING AV MOLOER

3.1 INTRODUKSJON

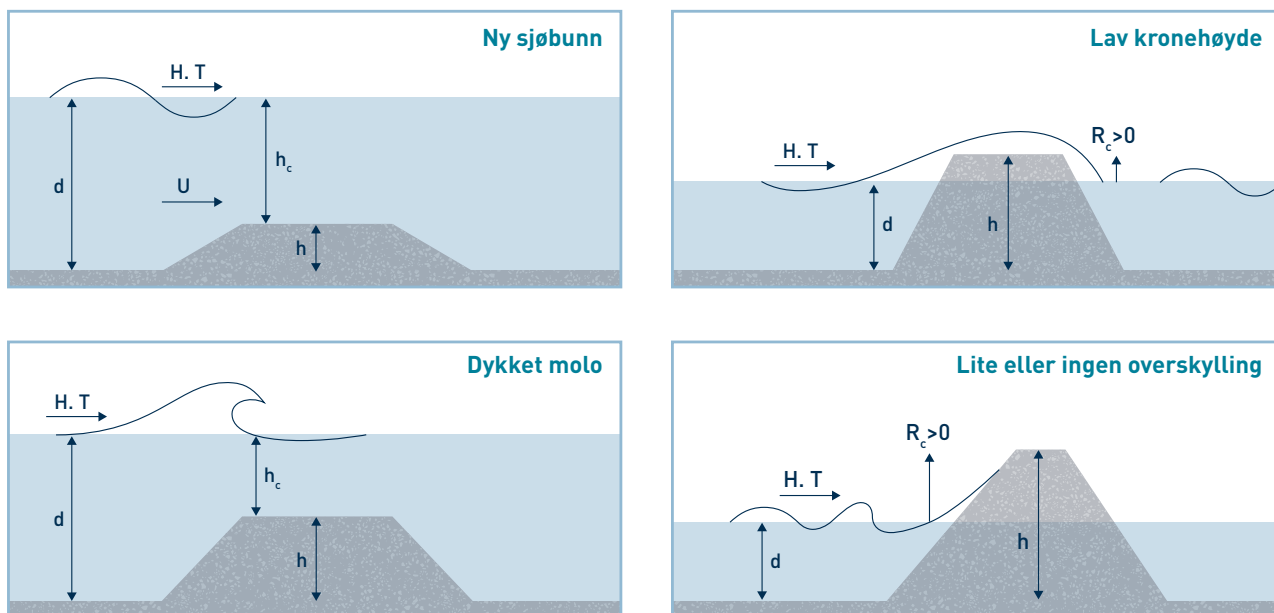
En molo er i prinsippet en fylling av et tungt materiale som legges ut i sjøen. I dette begrepet inngår også *ensidige*

moloer, dvs. en fylling fra land og ut i sjøen som i en vegfylling i sjø eller et industriområde.

Moloer kan generelt klassifiseres som vist i figur 3-1:



Figur 3-1 Oversikt over forskjellige molotyper.



Figur 3-2 Klassifisering av moloer basert på kronehøyde.

Moloer kan også klassifiseres ut fra sin høyde som vist på figur 3-2:

- Ny sjøbunn
- Dykket
- Lav kronehøyde (overskylling forekommer)
- Lite eller ingen overskylling

Denne håndboka behandler i hovedsak moloer med lite eller ingen overskylling.

Moloer klassifiseres også i henhold til følgende hovedkategorier (se figur 3-3):

1. Plastret molo, med underkategoriene konvensjonell plastret molo og skuldermolo.
2. Vertikal molo med underkategorien kombinert molo
3. Flytemoloer
4. Bølgeskjermer

Flytemoloer og bølgeskjermer benyttes kun i bølgebeskyttede områder med bølgeperioder mindre enn ca. 3–5 sekunder.

En konvensjonell plastret molo er enten dekt med store steiner sprengt ut i et steinbrudd eller med betongelementer. Der man har tilgang av fjell av god kvalitet, er det vanlig å benytte steinblokker som dekklag,

mens betongelementer benyttes om man ikke har tilgang til stein av god nok kvalitet og størrelse.

Forskjellige utforminger av betongelementer har vært brukt. Ved valg av slike elementer, er det viktig å ha fokus på enkle støpemetoder og forbedret stabilitet ved at elementene låser hverandre mest mulig effektivt.

Historisk sett er den konvensjonelle rausmoloen den typen som har vært mest vanlig. I de senere årene er skuldermoloen blitt mer og mer vanlig, spesielt i land som Island, Norge med flere. Skuldermoloen har den fordelen at dekklagelementene er lettere enn det som er nødvendig for en rausmolo på det samme stedet. Dermed blir uttak av stein fra steinbruddet mer økonomisk. Steinene blir lettere å håndtere og antall egnede steiner øker, og entreprenøren som bygger moloen klare seg f.eks. med en frontlaster i stedet for en kran.

I tillegg til alt dette, så kan man se på en skuldermolo som en mer «robust/seig» konstruksjon sammenlignet med en konvensjonell rausmolo som vurderes som «skjørere/sprøere». Dette kan forklares ut fra figur 3-3. Figuren viser at en skuldermolo i første omgang kan omformes, men i etterkant er den i stand til å motstå overskridelser, til og med av dimensjonerende sjøtilstand uten betydelig økt skade. Derimot viser konvensjonelle rausmoloer, spesielt med dekkblokk av betongelementer, ganske robust

oppførsel opp til dimensjonerende sjøtilstand, der det raskt vil opptre betydelige skader som igjen kan føre til kollaps av moloen.

På samme måte som for konvensjonelle rausmoloer, kan betongelementer også brukes i en skuldermolo. Plasseringen av steinene eller betongelementene kan plasseres tilfeldig eller på en kontrollert måte. Kontrollert plassering vil vanligvis medføre en bedre låsing av elementer i hverandre og dermed minske risikoen for skade. På den annen side øker dette kompleksiteten med utleggingen av elementer og påvirker dermed byggetiden.

I denne håndboka behandles molokonstruksjoner som er bygd etter prinsippet om «plastret steinmolo», anvendt på både konvensjonelle moloer og skuldermoloer. Andre typer moloer (som betongelementer, vertikalmoloer,

kassemoloer og flytemoloer) blir nevnt, men ikke detaljert behandlet.

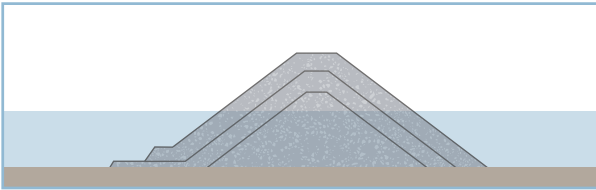
Tabell 3-1 viser en oversikt over byggemetoder for moloer og fyllinger. I denne håndboka behandles bare moloer som bygges etter Metode III Plastring. Merk at de fleste internasjonale publikasjoner omtaler «loosely laid, rubble mound structures», dvs. nærmere Metode II Ordnet raus.

Norske moloer blir for det meste bygd, og anbefales fortsatt bygd, i hht beskrivelsen for Metode III Plastring. Å gå fra rauset molo til plastret molo innebærer en økt grad av stabilitet og sikkerhet dersom dimensjoneringsgrunnlaget fortsatt er «rubble mound»-konstruksjoner. Denne økte sikkerheten vil kompensere for at norske moloer tradisjonelt bygges mye brattere enn det som er vanlig internasjonalt (1:1,3 vs 1:1,5).

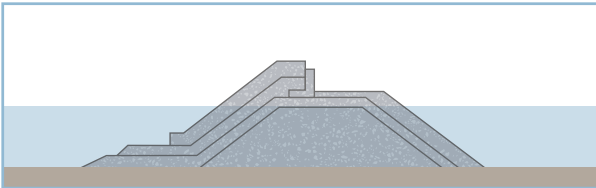
BETEGNELSE	BESKRIVELSE	KRAVSPESIFIKASJONER	ANVENDELSESOMRÅDE
I. Rauset fylling	Steinmaterialet rauses ut fra tipp. Bearbeides deretter <i>kun om nødvendig</i> for å sikre korrekt helning og utslaking av bratte partier og overheng.	<ul style="list-style-type: none"> • Blokkstørrelse • Lagtykkelse • Helning 	Skjermede fjordstrøk uten innslag av dønning, havner, kanaler H_s : 0–0,5 m T_p : 0–4,0 s
II. Ordnet raus	Steinmaterialet rauses ut fra tipp. Bearbeides deretter for å sikre korrekt helning og utslaking av bratte partier og overheng. Overflaten ordnes for å sikre jevn overflate uten synlige hull eller utstikkende blokker.	<ul style="list-style-type: none"> • Blokkstørrelse • Lagtykkelse • Egenvekt • Helning • Jevnhet av overflate • Estetikk 	Skjermede fjordstrøk med kun svak dønning, havner H_s : 0,5–1,5 m T_p : 0–6,0 s
III. Plastring	Utvalgte steinblokker legges individuelt i et låsemønster på et forberedt underlag av dimensjonert filterstein. Blokkene løftes fra toppen og legges nedenfra og opp. Strengt krav til blokkvekter, blokkform og egenvekt.	<ul style="list-style-type: none"> • Blokkstørrelse (også underlaget) • Lagtykkelse (også underlaget) • Egenvekt • Helning • Jevnhet av overflate • Estetikk • Blokkform • Orientering av blokkene 	Åpne fjordstrøk og steder utsatt for dønning eller havsjø H_s : > 1,5 m T_p : 0–20 s Mest brukt for moloer og fyllinger i utsatte strøk; flere ulike byggemetoder
IV. Muring	Tilpassede blokker stables i forband med helning nær vertikal (5 – 10:1). Kun minimale åpninger mellom blokkene tillates. Strengt krav til blokkstørrelse og blokkform.	<ul style="list-style-type: none"> • Blokkstørrelse (også underlaget) • Lagtykkelse (også underlaget) • Egenvekt • Helning • Jevnhet av overflate • Estetikk • Blokkform • Orientering av blokkene 	Tidligere mye brukt for værharde strøk, nå mest benyttet av estetiske hensyn i skjermede farvann

Tabell 3-1 Oversikt over metoder for bygging av moloer, fyllinger og voller i sjø.

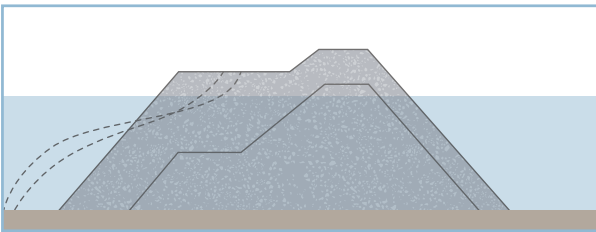
Konvensjonell plastret molo



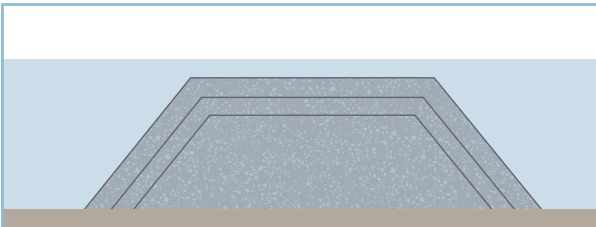
Konvensjonell plastret molo med kronevegg



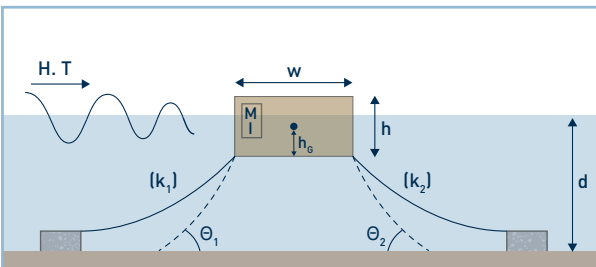
Skuldermolo



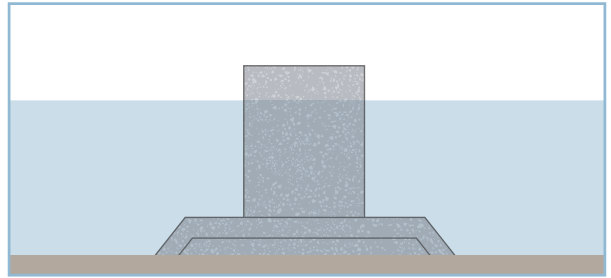
Dykket molo



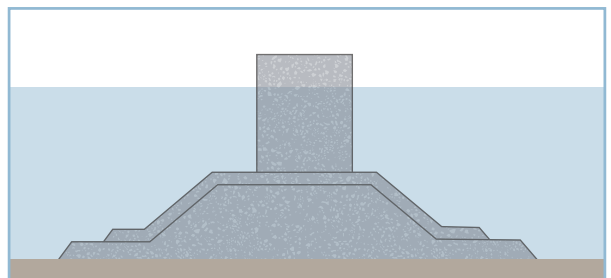
Flytemolo – enkel kassemodell



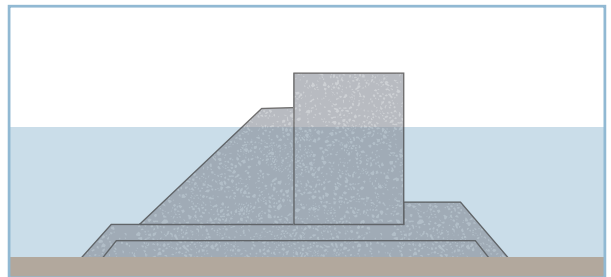
Vertikal molo på ny sjøbunn



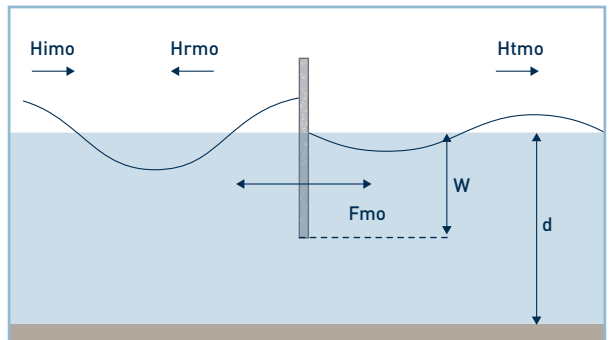
Vertikal molo – vertikalt kombinert



Vertikal molo – horisontalt kombinert

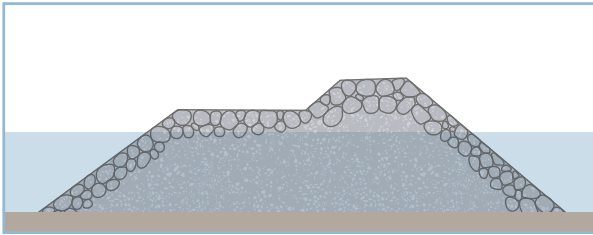


Bølgeskjerm – hel eller med spalter

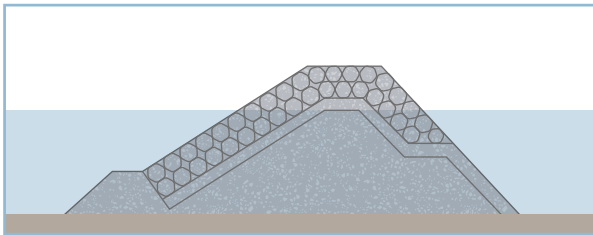


Figur 3-3 Eksempler for tverrsnitt for ulike molotyper, [Ciria, 2007, oversatt].

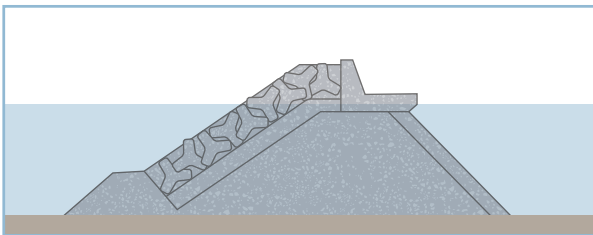
A. Skuldermolo



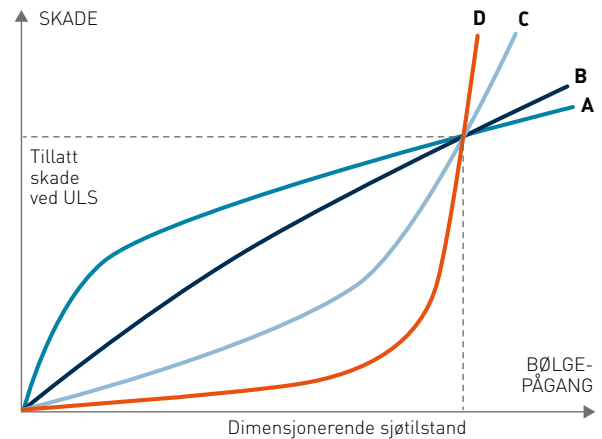
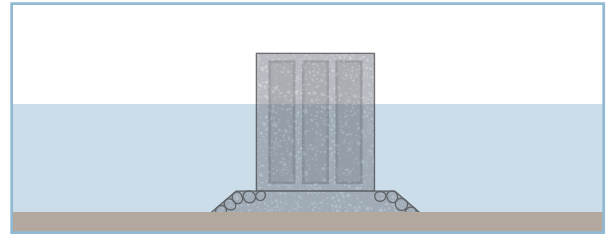
B. Plastret molo med steinblokk



C. Plastret molo med tetrapoder



D. Vertikal molo



Figur 3-4 Kvalitativ beskrivelse av seig/sprø oppførsel av en molo (Abbott and Price, 1994). Grafen nederst viser skadeutviklingen ved påvirkning opp til dimensjonerende sjøtilstand for de fire konstruksjonstyper A, B, C og D. Det tilhørende skadenivå defineres ved tilstanden ULS (Ultimate Limit State).

Man kan også kategorisere moloer i henhold til deres hydrauliske oppførsel.

Bølger er en form for mekanisk energi som forplanter seg i sjøen på en effektiv måte.

Når bølger slår mot en molo, vil bølgeenergien endres på grunn av:

1. Dissipasjon (turbulent strøming i dekklag og filterlag samt brytning)
2. Transmisjon (inkludert overskylling)
3. Refleksjon

Den samlede energien bevares (dissipasjon er overgang til varme). Moloer kan klassifiseres ut fra hvordan disse tre energidelene fordeles.

En skuldermolo vil dempe bølgeenergi ved hjelp av turbulensen som blir skapt mellom steinene og bølger som bryter. Den reflekterte energien fra skuldermoloer er derfor relativt liten. En helt vertikal og tett vegg demper bølger så lite at mesteparten av innkommende energi blir reflektert. En konvensjonell rausmolo oppfører seg i prinsippet på samme måte som en skuldermolo. Da denne molotypen ofte er mindre gjennomtrengelig og har brattere helning, er kapasiteten til å dempe bølgene mindre og refleksjon av bølgeenergi er større enn for skuldermoloer. Andre parametere for dekklaget slik som tykkelse, steinstørrelse og skråningens helning er også avgjørende for å definere denne egenskapen. I tillegg til dekklaget vil filterlaget og kjernen også spille en viktig rolle for den hydrauliske oppførselen av moloen da de bidrar til å dempe bølger ved å skape turbulens og øke poretrykket inne i kjernemassene. En tett kerne vil gi mindre transmisjon, men mer refleksjon og høyere overskylling.

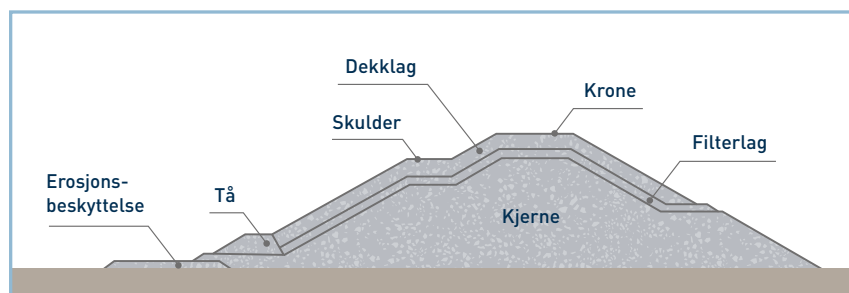
3.2 PLASTRET MOLO

3.2.1 Generelt

En plastret molo er en type molo hvor dekklaget består av enkelte enheter fordelt langs en skråning vendt mot de innkommende bølgene. Disse enhetene motsetter seg bølgekrefter ved hjelp av vekt og låsing i hverandre, hvor vekten av hvert enkelt element er den viktigste dimensjonerende parameteren. Disse elementene er hver

for seg antatt å være statisk stabile, som i prinsippet betyr at elementene ikke skal bevege seg ved dimensjonerende forhold. Noe begrenset skadenivå vil vanligvis bli tillatt, dette skadenivået bør defineres før designfasen.

Figur 3-5 viser de viktigste komponentene i en generell utforming av plastret molo, og tabell 3-2 beskriver funksjonen til hver komponent.



Figur 3-5
Prinsippskisse av en
plastret molo.

KOMPONENT	FUNKSJON
Erosjonsbeskyttelse	<ul style="list-style-type: none">• Hindrer erosjon og undergraving av molotåen
Kjerne	<ul style="list-style-type: none">• Demper bølgetransmisjon• Fundament for dekklag og filterlag• Bidrar til geoteknisk stabilitet
Skulder	<ul style="list-style-type: none">• Reduserer bølgepåkjenning, oppskylling og overskylling• Bidrar til økt geoteknisk stabilitet
Tå	<ul style="list-style-type: none">• Gir stabil støtte mot utglidning av dekklaget
Filterlag	<ul style="list-style-type: none">• Opptre som et filter• Beskytter kjernen fra erosjon• Bidrar til forbedret drenering• Danner et godt fundament for plassering av dekklagelementene• Separerer dekklaget fra den finere kjernemassen og reduserer hydraulisk trykkgradient inn i kjernen
Dekklag	<ul style="list-style-type: none">• Hindrer bølgeindusert erosjon av de underliggende massene• Bidrar til energitap i bølgene pga omforming til turbulente strømmer og dermed dissipasjon• Stabilt lag som også reflekterer en del av bølgeenergien
Krone	<ul style="list-style-type: none">• Reduserer bølgeoverskylling• Gir adgang til vedlikehold
Brystvern (ikke vist i figuren)	<ul style="list-style-type: none">• Reduserer overskylling• Gir sikrere adgang til vedlikehold• Gir base for fasiliteter som kabling og rørledninger
Molohode (ikke vist i figuren)	<ul style="list-style-type: none">• Avslutter moloen som en stabil konstruksjon• Bidrar til spredning av bølgene (diffraksjon)

Tabell 3-2 Komponentenes funksjon i en plastret molo.

3.2.2 Konvensjonell plastret molo

Konvensjonell molo er som omtalt foran, den vanligste typen molo internasjonalt. Den kan enkelt bygges dersom det finnes et steinbrudd med mulighet for uttak av nok stein av nødvendig kvalitet i nærheten. Denne molotypen er fortsatt mest aktuell på steder der bølgepåkjenningen er lav eller moderat.

Det finnes mange varianter av tverrsnitt for konvensjonell molo. De fleste har flere lag (dekklag, filterlag og kjerne). Formålet er å oppnå en tett struktur for å minimere overføring av energi og vandring av finstoffer ut av kjernen, men samtidig dempe bølger ved å skape turbulens og øke poretrykk inn i kjernen.

Molokroppen utgjøres av kjernen, filteret og dekklaget. Dekkblokkene utgjør et relativt tynt panser som beskytter moloens indre mot bølgekreftene. Filterets oppgave er å skille dekkblokker og kjerne, slik at kjernen ikke vaskes ut mellom dekkblokkene.

Konvensjonelle moloer kan enkelt repareres, forbedres og modifiseres på grunn av endringer i krav eller mangelfull dimensjonering. Moloens oppførsel er enkel og det finnes lang erfaring med denne molotypen.

3.2.3 Skuldermolo

En skuldermolo (engelsk: «Berm breakwater») er en type molo der fronten mot sjøen er utformet som en absorberende fylling foran den egentlige moloen. Mens en konvensjonell molo vil ha et relativt tynt dekklag som fungerer som et panser mot bølgene, skal en skuldermolo absorbere bølgeenergien gradvis inne i de hulrommene som finnes i skulderen. Eksempel på skuldermolo er vist i figur 3-5. Et viktig poeng ved skuldermoloer er at skulderen skal bestå av bare store steinblokker, og at det ikke tillates noe materiale mindre enn W_{\min} i skulderen.

For den ytre flaten på skulderen stilles det krav til blokkform og plastring tilsvarende det som kreves for konvensjonelle moloer. Blokkene skal holde spesifisert vektintervall, egenvekt og form.

Inne i skulderen kan man tillate blokker med form som ellers ville gjøre dem uegnet til plastring så lenge krav til vekt og egenvekt er opprettholdt. Blokkene inne i skulderen skal ikke rause, men ordnes slik at underlaget blir stabilt og uten hulrom som kollapser ved bølgepåvirkning.

De første skuldermoloene som ble bygget på slutten av 1980-årene hadde et design med en bred og lav skulder.

Hensikten var at sjøen skulle forme skulderen slik at den etter hvert fikk et S-profil. En slik konstruksjon ble kalt omformbar molo som er statisk eller dynamisk stabil. En skuldermolo kunne bygges med mye mindre steinblokker enn en konvensjonell molo, men ulempen var at blokkene var utsatt for knusing når de beveget seg, og at overskyllingen ble større når S-profilet utviklet seg.

I dag benyttes et statisk stabilt design, der blokkene ikke tillates å bevege seg. Dagens skuldermoloer er preget av en høy og smal skulder, der blokkstørrelsen fortsatt er noe lavere enn i en konvensjonell molo.

Fordelen ved skuldermoloen er at eventuelle skader fremkommer ved en omforming, som tillater at man kan følge utviklingen og velge et optimalt tidspunkt for reparasjon. Hvis det skjer signifikante skader på en konvensjonell molo, må den (i prinsippet) repareres i løpet av kort tid.

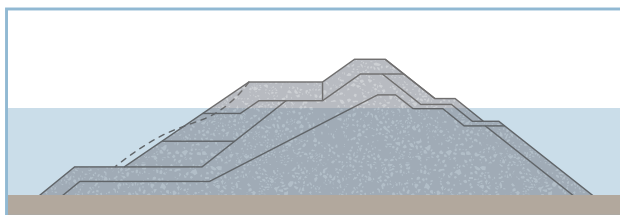
Tidligere ble skuldermoloer klassifisert i 3 kategorier, dvs. ikke-omforming statisk stabil, omforming statisk stabil og dynamisk stabil. Det er i den senere tid foreslått en ny klassifisering (van der Meer og Sigurdarson, se ref. XVII) som er presentert nedenfor i tabell 3-3:

KLASSE	NORSK BETEGNELSE	FORESLÅTT INTERNASJONAL BETEGNELSE
1	Ikke omformbar; Islandske type	Hardly reshaping Icelandic-type berm breakwaters (HR-IC)
2	Delvis omformbar; Islandske type	Partly reshaping Icelandic-type berm breakwaters (PR-IC)
3	Delvis omformbar; velgradert dekklag	Partly reshaping mass-armored berm breakwaters (PR-MA)
4	Fullstendig omformbar; velgradert dekklag	Fully reshaping mass-armored berm breakwaters (FR-MA)

Tabell 3-3 Klassifisering av skuldermoloer.

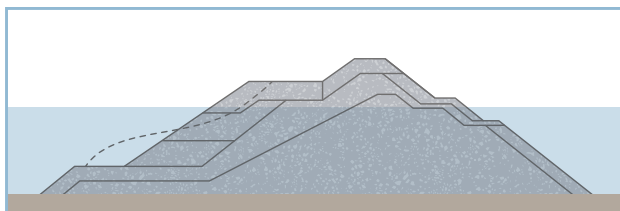
Ikke omformbar; Islandsk type

(Type 1)



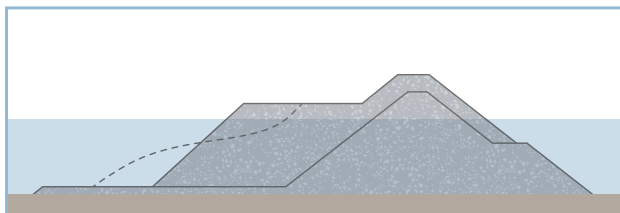
Delvis omformbar; Islandsk type

(Type 2)



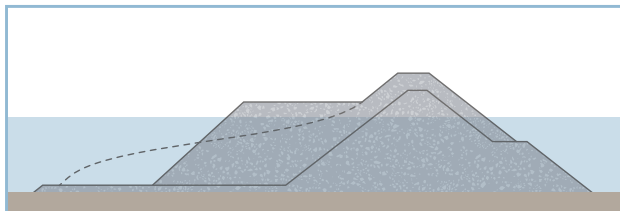
Delvis omformbar; velgradert dekklag

(Type 3)



Fullstendig omformbar; velgradert dekklag

(Type 4)



Figur 3-6 De fire typene av skuldermoloer (van der Meer og Sigurdarson, 2017).

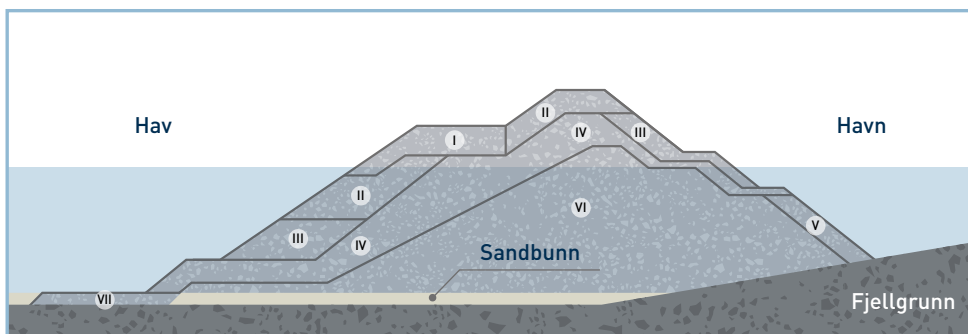
Figur 3-6 viser typiske tverrsnitt av disse 4 typene. Denne figuren viser også omformingen som en stiplet linje. For Type 1, som er den typen som normalt skal brukes i Norge, ser vi at omformingen er minimal, og begrenset til en viss sammenrusting og naturlig reposisjonering av blokkene. For de øvrige typene (2-4), ser vi at det tillates en større omforming som generelt ikke er ønskelig.

Ikke omformbar Islandsk type skuldermolo har blitt mest brukt i Norge i de siste årene (statisk stabil design, der blokkene nesten ikke tillates å bevege seg). Dagens skuldermoloer er preget av en høy og smal skulder, der blokkstørrelsen fortsatt er noe lavere enn i en konvensjonell molo.

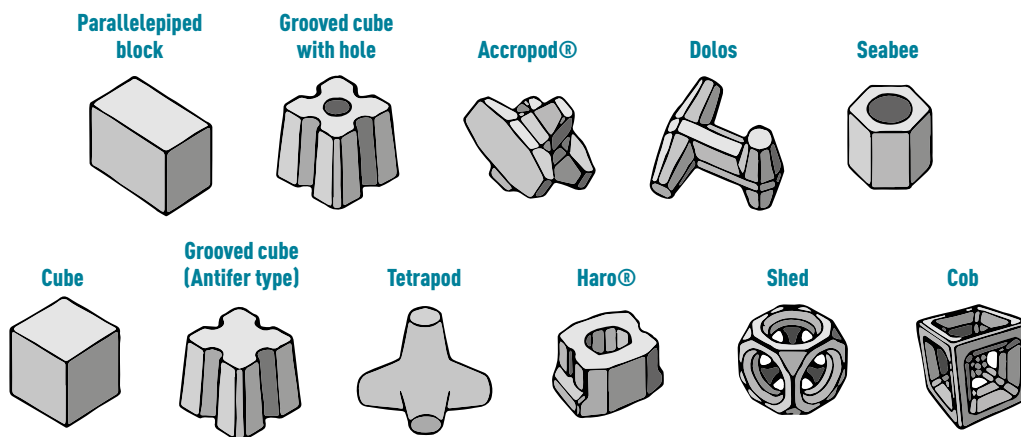
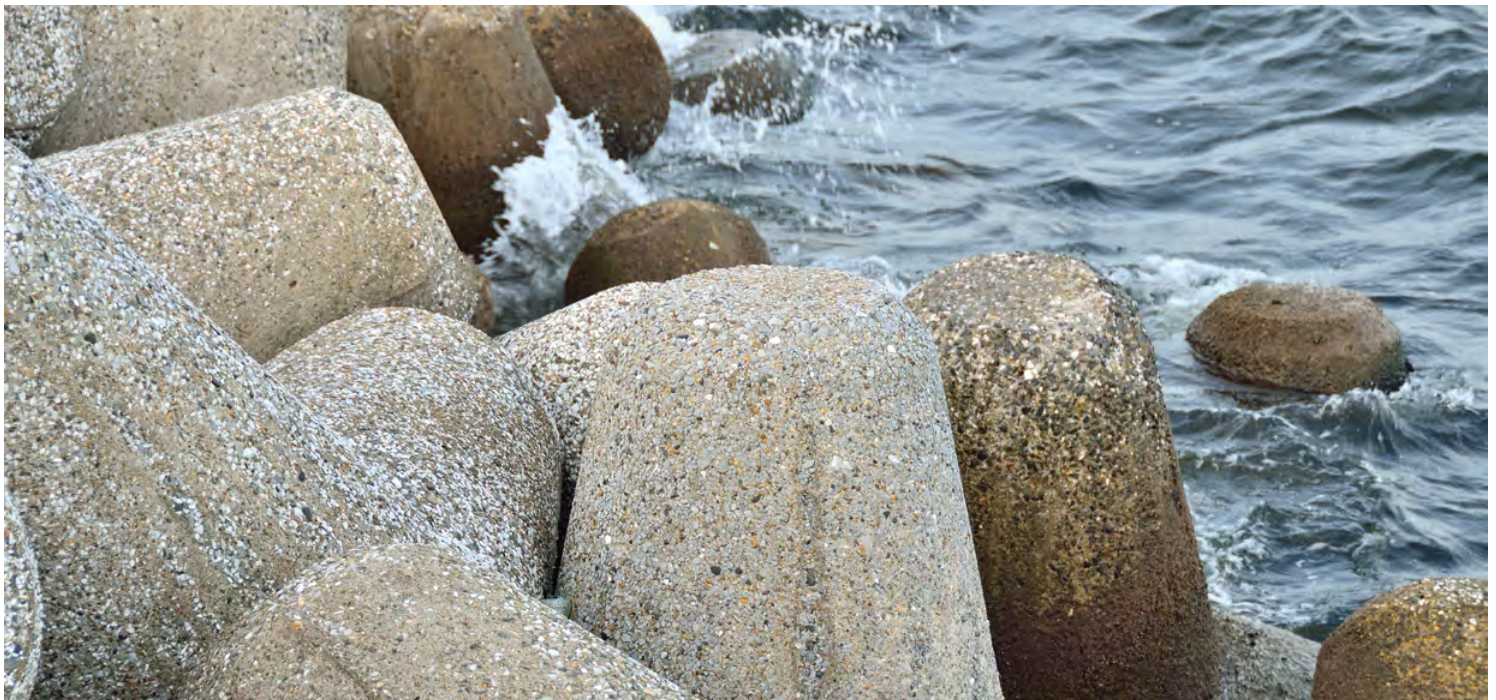
Skuldermoloer er mest brukt i Norge og Island. Valg av molotype er resultat av en økonomisk analyse som vil variere med grad av bølgeeksponering, tilgang på stein og lokale parametere som vanddybde, anvendelse, etc. Generelt bør skuldermolo vurderes der dimensjonerende signifikant bølgehøyde $H_{s,dim} > 3,0-3,5$ m.

Sirevåg skuldermolo er et godt eksempel på god design av en skuldermolo. Bygging av moloen ble fullført i 2001. Den har en total lengde på 385 m. Moloen er dimensjonert for $H_s=7,0$ m, har en dybde på 17 m og er utført med dekkblokker med vekt $W_{50}=20-30$ t.

Moloen i Sirevåg er i dimensjonert som en statisk stabil molo, men den har gjennomgått noe mer omforming enn forutsatt. Det er ukjent hva den økte omformingen skyldes, men det kan skyldes at datamaterialet for fastsettelsen av dimensjonerende bølgehøyde er usikkert.



Figur 3-7
Sirevåg skuldermolo
(I=hoveddekklag (20-30 t),
II= sekundærdekklag
(10-20t)), (Ciria, 2007).



Figur 3-8
Eksempel av
betongelementer
(Abbott and Price, 1994).

3.2.4 Molo av betongelementer

Moloer av betongblokker er svært vanlig utenlands, men er lite brukt i Norge. Her er slike kun brukt i moloene i Ferkingstad i Rogaland (Karmøy) og i Berlevåg i Finnmark. Med så god tilgang på naturstein som vi har i Norge, er det sjelden økonomisk forsvarlig å benytte betongblokker. Unntakene finnes i spesielle områder der transportmulighetene for tunge enheter er begrenset.

Ved å velge en hensiktsmessig form på betongelementene kan man oppnå en låsingeffekt. Da bidrar flere elementer til å øke motstanden mot bølgepåkang ved å låse seg til hverandre. Gjennomtenkt form og plassering kan dermed muliggjøre bruk av lettere elementer. For noen typer elementer kan man også unngå behovet for to lag i dekklaget (Accropode™, Core-loc™ og Xbloc®).

I de to nevnte betongblokkmoloene i Norge er det benyttet en blokktype som kalles Tetrapod.

Alle blokktypene har eller har hatt en patentert design, og patentinnehaveren har dokumentert ytelsen og spesifisert nødvendige dimensjoner. For de blokktypene som er aktuelle i dag, må det betales en avgift til patentinnehaveren ved anvendelse. Det gjelder dog ikke Tetrapod, hvor patentet er utløpt.

Betongblokker har en evne til å låse seg til hverandre slik at deres motstandsevne mot bølgeangrep ikke bare er avhengige av blokkenes vekt. Blokkene kan derfor være mindre enn natursteinblokker. Kostnadene vil likevel normalt være høyere enn for lokalt produsert stein i Norge.

Det finnes mange typer betongelementer hvor figur 3-8 viser noen eksempler.

Moloer av betongblokker er så sjelden aktuelt i Norge at det ikke vil bli nærmere behandlet her. Det skal imidlertid nevnes at de to norske betongblokkmoloene står meget godt.

3.3 VERTIKALMOLO

En enkel vertikalmolo består av en vertikal vegg som motstår bølgekrefter. Denne type moloer bygges vanligvis av murt naturstein eller betongkasser.

Vertikalmoloer er typisk brukt ved stor vanddybde, hvor bruk av en plastret molo vil medføre et stort volum av stein. Slike moloer er også aktuelle på dårlig grunn eller i et tilfelle der innsiden av moloen skal benyttes som kai.

Hovedulempene forbundet med vertikalmoloer er deres sprø oppførsel og krav om dimensjonering med et lavere skadenivå og strengere sikkerhetskoeffisienter. Med «sprø» oppførsel menes her at en skade vil opptre momentant og føre til et større eller totalt havari, i motsetning til en «seig» molo av plastret stein som bare gradvis vil få skader som kan repareres etterpå. Vertikalmoloer er sårbare for erosjon ved foten. Fotbeskyttelse mot erosjon må dimensjoneres mer detaljert enn for andre molotyper. Vertikalmoloer reflekterer nesten 100 % av bølgeenergien, noe som kan være kritisk hvis det finnes sårbare elementer foran moloen som strender, kaier, andre moloer o.l.

Det er mulig å bygge en kombinasjon av konvensjonell molo og vertikalmolo, og dette kan redusere kostnadene og øke motstanden mot lokal erosjon av molofoten.

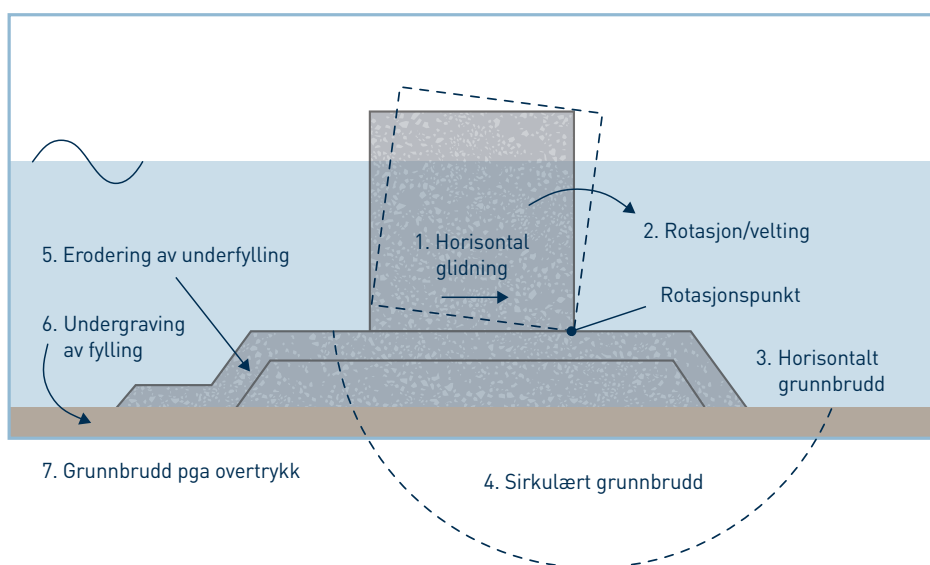
3.4 FLYTEMOLO

Man bør skille mellom flytebrygger som brukes som fortøyningsanlegg for mindre fartøyer og flytemoloer som er laget for å dempe bølger.

- Flytebrygger er lette konstruksjoner som ikke påvirker bølgene i stor grad. Typiske mål er bredde $B \approx 3,0$ m, dypgående $D \approx 0,75$ m. Slike brygger kan dempe krusninger på overflaten, og kan i noen grad tjene til å fjerne skumtopper og skavl fra innkommende bølger, men vil generelt ikke dempe bølgene i vesentlig grad. Disse behandles ikke videre her.
- Flytemoloer er større og tyngre konstruksjoner som har til hensikt å dempe bølger primært gjennom refleksjon. Typiske mål er bredde $B \approx 4-6$ m og dypgående $D \approx 2-3$ m. De leveres i elementer som er 25-50 m lange, og er derfor så tunge og stive at de beveger seg lite ved middels lange bølger (opp til ca. 4,0 s periode, bølgelengde ca. 25 m).

En illustrasjon av forskjellen på de to typene flytere er vist i figur 3-10, som er hentet fra presentasjonen fra en leverandør av flytemoloer.

En flytemolo er en flytende konstruksjon som er festet til bunnen ved hjelp av peler, kjetting eller andre fortøyningsystemer. Bølger som kommer inn mot en flytemolo, blir delvis reflektert og delvis transmittert under moloen. Noe av bølgeenergien går med til å sette moloen i bevegelse. Det er vanlig å benytte neddykkede dempningslementer som bidrar til å øke den viskøse dempningen.



Figur 3-9
Bruddmodell for en vertikal molo, [Ciria, 2007].

Flytemoloer har en transmisjonsskoeffisient (forholdet mellom transmittert bølgehøyde og inngående bølgehøyde) som i hovedsak avhenger av bredde, bølgeperiode og dybde. Bruk av denne molotypen er derfor mest fornuftig på steder med korte og lave vindbølger, for eksempel inne i

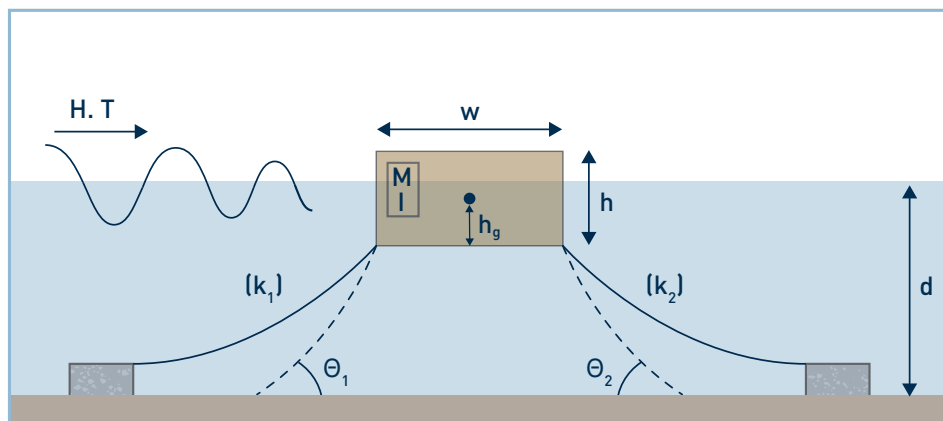
en havn. En flytemolo vil ikke ha særlig effekt på dønninger med lange perioder. Slike moloer brukes i første rekke for å skjerme småbåthavner og anlegg for fiskeoppdrett i områder med begrenset strøklengde. Eksempler på slike moloer er i Molde, Bodø og Harstad.



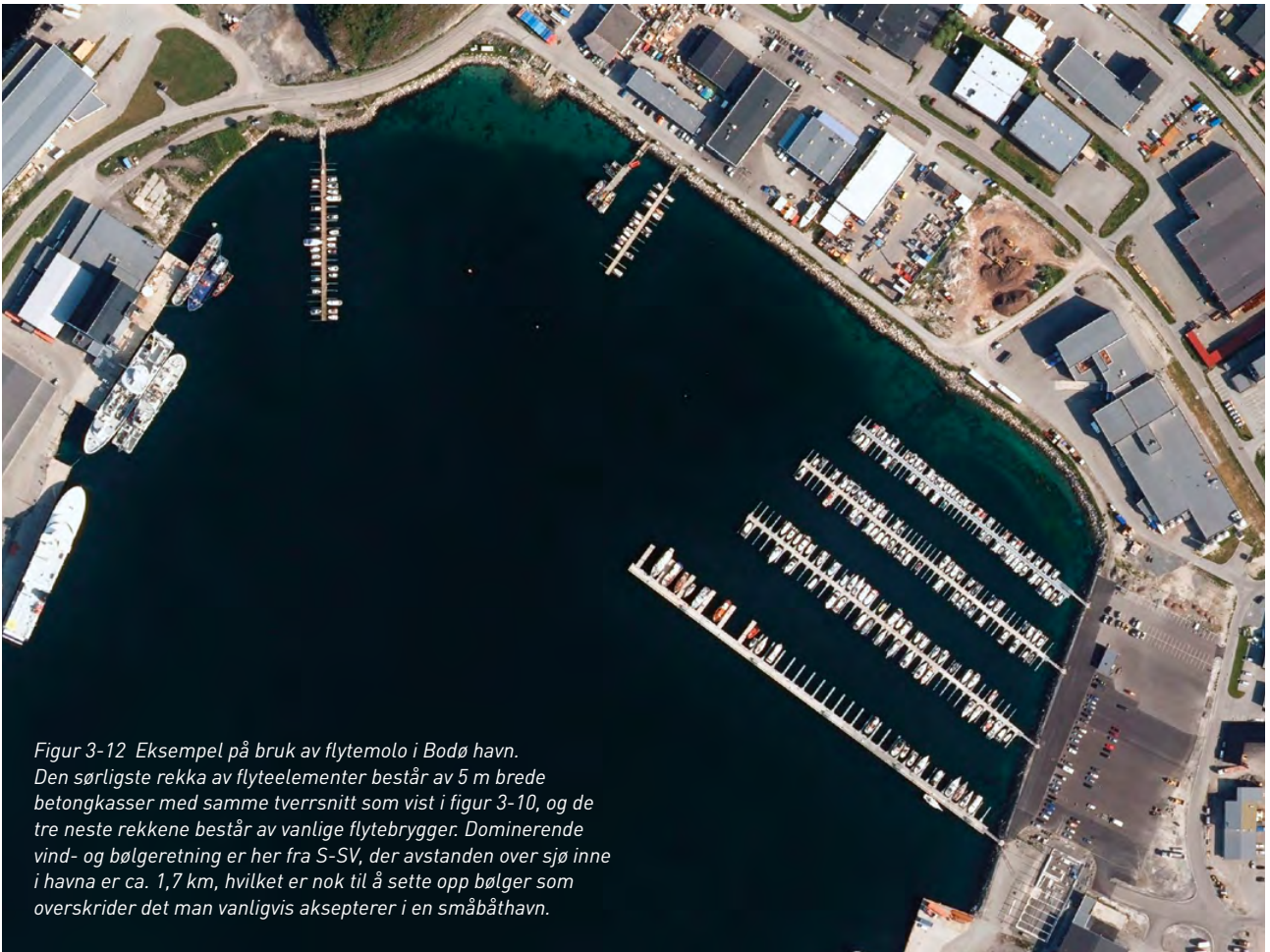
Figur 3-10

a) Illustrasjon av flytebrygge (venstre) og flytemolo (høyre).

b) Flytemoloer er så store at volumet inni moloen kan utnyttes til boder eller andre funksjoner. (Marina Solutions).



Figur 3-11
Konseptuell flytemolo med hoveddesignparametere (bølgehøyde og periode = H , T , bredde = w , høyde = h , dybde = d , tyngdepunkt = h_g og fortøyingsstivhet (k, θ)), (PIANC, 1994).



Figur 3-12 Eksempel på bruk av flytemolo i Bodø havn. Den sørligste rekka av flyteelementer består av 5 m brede betongkasser med samme tverrsnitt som vist i figur 3-10, og de tre neste rekkene består av vanlige flytebrygger. Dominerende vind- og bølgeretning er her fra S-SV, der avstanden over sjø inne i havna er ca. 1,7 km, hvilket er nok til å sette opp bølger som overskrider det man vanligvis aksepterer i en småbåthavn.

Dimensjoneringen av en flytemolo må ta høyde for bevegelser i den flytende strukturen og resulterende krefter i fortøyningssystemet. Dette gjøres mest rasjonelt ved hjelp av numeriske modeller for bølgeindusert respons av flytere.

Bruk av flytemoloer bør altså begrenses til områder der bølgene består av korte vindbølger opp til $T_p \approx 4,0$ s, dvs. i lukkede fjorder og i havnebasseng.

Se mer om konstruksjon av flytemoler i ref. XVIII.



Figur 3-13 Eksempel på enkel flytebrygge (Norconsult). Disse er ment for fortøying av mindre båter i skjermet farvann, og bør ikke behandles som eller omtales som bølgedempere.



Figur 3-14 Eksempel på flytekai av ukjent opphav (Kirkenes, Norconsult). Konstruksjonen er stor og tung nok til at den vil dempe bølger opp til ca. 4-5 s periode.

3.5 ANDRE TYPER MOLOER

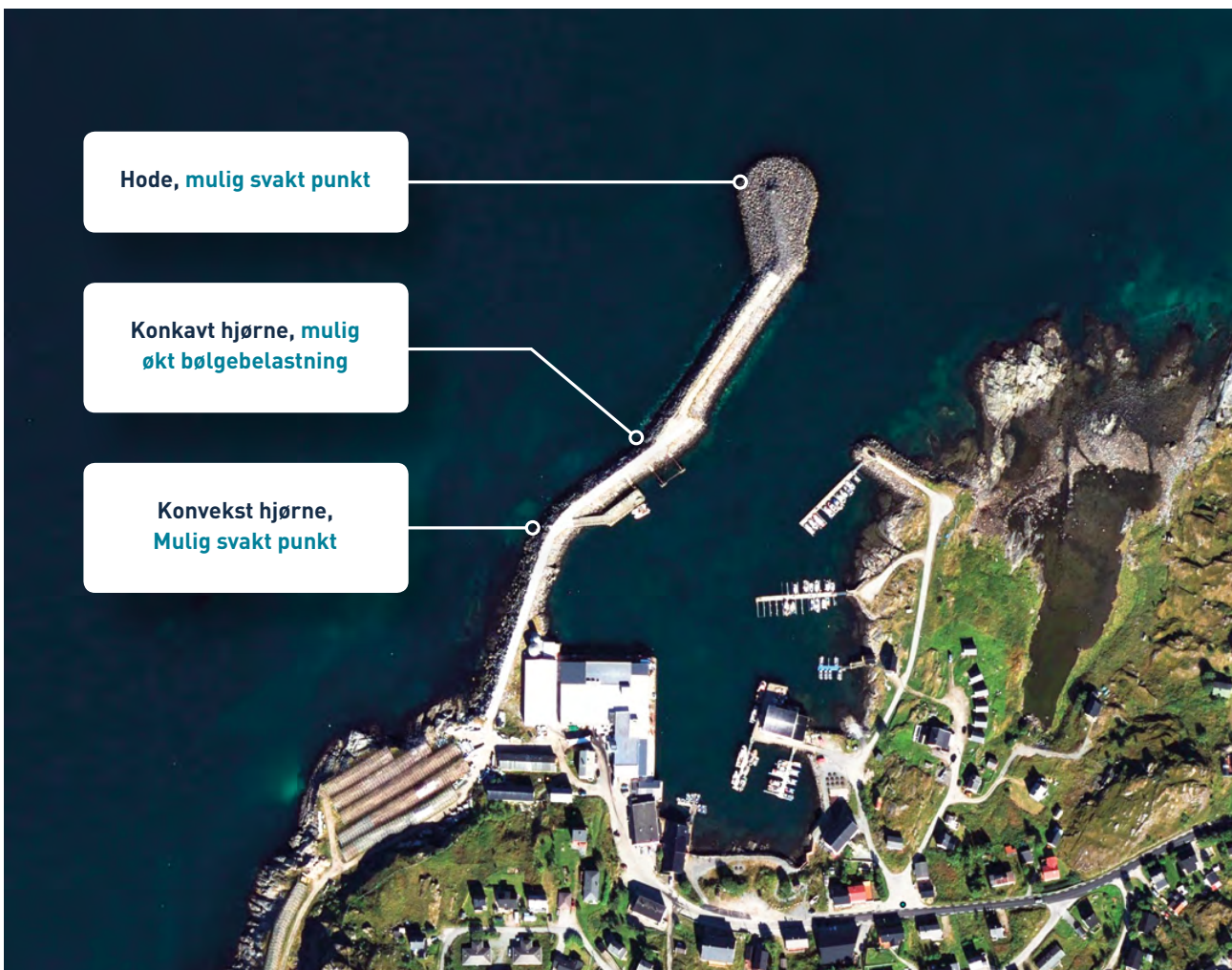
Det finnes andre varianter av moloer som sjelden er benyttet, der hovedformålet med dem ofte er å dempe korte vindbølger bak moloen. De fleste av disse typene er eksperimentelle med lite tilgjengelig erfaring som kan brukes for pålitelig design. Disse typene kan bestå av peler og skjærmer, neddykket plattform, bobleskjerm eller bildekk. Bølgedemping oppnås ved å skape turbulens på ulike måter.

3.6 FORM I PLAN

Moloen fungerer best med lengderetningen parallell på innkommende bølgefront. Det er imidlertid vanlig at starten av moloen står vinkelrett på kystlinjen for å oppnå en viss dybde. Noen viktige momenter er omtalt i det følgende og vises oppsummert i figur 3-15.

Molohodet er et mulig svakt punkt fordi blokkene her får mindre innspenning og støtte fra blokkene på sida. Man bør forsterke hodet for å hindre skader her. I noen tilfeller vil man utforme hodet (og bare hodet) som en skuldermolo. Det gir hodet økt styrke, og bidrar til å redusere bølgeenergien som kommer inn i havna. Utovervendte (konvekse) hjørner er utsatt for samme svekkelse som molohodet. I mange tilfeller skyldes også slike hjørner at molotraséen bevisst er lagt over et skjær eller en grunne for å spare fyllingsmengder. Det kan føre til ekstra intens brytning på dette punktet, hvilket igjen kan kreve forsterkning.

Innovervendte (konkave) hjørner kan være utsatt for konsentrasjon av bølgeenergi og større oppskylling, hvilket også kan kreve forsterkning.



Figur 3-15 Molo i Breivikbotn, utbygget i tre etapper og avsluttet med et skuldermolohode. Den ujevne linjeføringen skyldes et ønske om å redusere fyllingsvolumer ved å utnytte skjær og grunner.

4. BEHOVSANALYSE



Behovsanalysen inngår i vurderingen om et prosjekt har tilstrekkelig nytte i forhold til kostnadene.

Målet med en behovsanalyse er å få

- innsikt i berørte aktørers behov
- innsikt i potensielle interessekonflikter
- innføring i hva aktører og interessenter ser for seg å oppnå med tiltaket

Behovsanalysen skal gjennomføres i den tidlige fasen av prosjektforløpet, før det tas beslutning om valg av løsning. Det kan også være behov for mer detaljerte behovsanalyser på senere stadier i prosjektplanleggingen, men disse kan ikke erstatte de behovsanalysene som bør utføres i prosjektets tidlige fase.

Behovsanalyse et viktig verktøy for å finne riktig tiltak. Den skal også dokumentere hvorfor det er nødvendig å gjennomføre tiltak. I tillegg er behovsanalysen viktig for å kunne si noe om virkningene av tiltaket. Behovsanalyser kan inngå i grunnlaget for beslutningen om videreføring av prosjektet.

Behovsanalysen skal fange opp alle relevante samfunnsmessige behov, ikke bare behov som kommer til uttrykk gjennom individers betalingsvillighet. Spesielt vil det være viktig å ta hensyn til behov som er nedfelt i overordnede, politisk vedtatte nasjonale målsettinger. For behovsanalyser som utføres av Kystverket, innebærer det å ta hensyn til målsettingene i Nasjonal Transportplan (NTP). En behovsanalyse skal kartlegge interessenter og aktører som berøres av tiltaket og hvilket behov de har for tiltak. Behovene som avdekkes, skal vurderes opp mot samfunnets behov. Behovsanalysen skal overordnet gi svar på:

1. Hva er problemet?
2. Hvor stort er problemet?
3. Hvem er det et problem for?
4. Hva skal til for å løse problemet?
5. Positive og negative virkninger av tiltaket

Til hjelp for å få svar på de overordnede spørsmålene kan man benytte metoden nedenfor.

Hva er utfordringen med dagens situasjon?

Beskriv overordnet hva som vil løse problemet uten at man skisserer en konkret løsning

- Er problemet akutt?
- Blir det dyrere å vente?
- Går man glipp av muligheter dersom man venter?

Vil behovet vedvare?

- Hvordan er forventet trafikkutvikling?
- Hvordan er fremtidig trafikk sammensetning (Skipstyper, størrelse osv.)
- Hvordan er forventet næringsutvikling?
- Hvordan er forventet befolkningsutvikling?
- Hva er forventet teknologisk utvikling?

Hva vil løse problemet for aktøren?

- Er molo/utdyping det eneste som kan løse problemet?
- Hvilken plassering/dimensjon av molo løser problemet?
- Hvilken dybde/manøvreringsareal i havnen løser problemet?
- Er noen tiltak viktigere enn andre?

Positive og negative virkninger – Innspill til identifisering av virkninger

Hvilke virkninger vil tiltaket kunne få? Beskriv de positive og negative virkningene. Eksempel på virkninger:

- Kostnadsreduksjoner (ventetid, reisekostnader, endrede bølge- og strømforhold)
- Risikoendringer (grunnstøtinger, kollisjoner)
- Endringer for næringsliv (ventetid, reisekostnad, produktivitetsøkning, kostnadsendringer, kapasitetsøkninger)
- Økt trafikk, og hvor kommer eventuell økt trafikk fra? Overføring fra andre transportenheter
- Forurensede sediment/andre masser
- Endringer i:
 - fiske og akvakultur
 - friluftsliv og rekreasjon
 - naturmiljø
 - kulturminner
- Opprettelse av nye næringsarealer

Positive og negative virkninger av tiltak – Overordnet begrunnelse for å gjennomføre tiltak

Hvorfor er det behov for å sette i gang med et tiltak?

- Bidrar det til å oppnå en politisk målsetting?
- Løser tiltaket et konkret problem?
- Åpner tiltaket for realisering av nye muligheter?



Skarsvåg molo, Finnmark

5. PLANLEGGING OG FORUNDERSØKELSER

5.1 KLIMAENDRINGER

Begrepet «vær» dekker observasjoner av hvordan tilstanden for temperatur, nedbør, vind, lufttrykk, etc. er i øyeblikket eller innenfor en kort periode på noen timer eller inntil et døgn. Vær vil variere over året slik man f.eks. forventer at det blir kaldere om vinteren.

Begrepet «klima» er observasjoner av været over en lengre periode innenfor sammenlignbare tidsvindu i en årssyklus, som f.eks. middeltemperatur i januar for Ålesund 2000–2010. Hvis man kan se en tendens i slike observasjoner over mange år, kan det tyde på at man er inne i en klimaendring. Variasjoner over noen få år kan være tilfeldige og gir ingen sikker indikasjon på klimaendringer.

De fleste forskere og FNs Klimapanel (Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC, med tilslutning fra Norge) arbeider ut fra en hypotese om at verden er inne i en klimaendringsfase som innebærer økt middeltemperatur på kloden (men ikke nødvendigvis på alle steder på kloden), og at klimaendringene i stor grad eller helt skyldes menneskeskapt utslipp av såkalte klimagasser, der hovedfokus er på CO₂ og metan.

Det følger av lover og forskrifter at alle permanente bygg skal ta hensyn til effektene av klimaendringer når dimensjonerende laster beregnes. De parameterne som er eller kan være relevante for molobygging, er vist i tabell 5-1 sammen med konsekvens for molobygging og forventet utvikling fram mot 2100.

PARAMETER	KONSEKVENNS FOR MOLOBYGGING OG FORVENTET ENDRING
Vind	Gjelder bølgegenererende vind nær kysten og inne i fjorder: Sannsynligvis liten eller ubetydelig endring.
Bølger	Gjelder bølger generert i åpent hav: Sannsynligvis liten eller ubetydelig endring.
Stormflo og vann-nivå	Påvirker bølgenes angrepspunkt på moloen og overskylling: Kan stedvis få store endringer innenfor de nærmeste 100 år med tydelig effekt for moloer.
Nedbør	Mest sannsynlige endring er økt intensitet over kort tid: Sannsynligvis liten effekt for moloer.
Temperatur	Gjelder fare for frostsprengning av molostein: Endringene vil ligge innenfor dagens variasjonsområde og får ingen konsekvens.

Tabell 5-1 Miljøparametere som er relevante for molobygging og mulige endringer som følge av klimaendring.



Bølgehøyder. Estimerer på utvikling i bølgehøyder i åpent hav for Nord-Atlanteren er levert av met.no (se ref. II). Her framgår det at det er mulig at bølgehøydene (middelverdi av H_s og årlig maksimal) i åpent hav blir lavere fram mot 2100, men tendensen er svak, og vi velger å neglisjere den.

Lokale bølger nær kysten og inne i fjorder genereres av lokal vind. Det er ikke observert eller estimert noen åpenbar trend i vindobservasjoner som tyder på at det finner sted en vesentlig endring i vindhastighetene i Norge.

Stormflo. Stormflo er ekstremt høye vannstander som skyldes en kombinert effekt av tidevann og andre effekter som driver vannstanden, som f.eks. lufttrykk, vind, tilførsel av ferskvann, osv. Det er observert at den globale middelvannstanden i verdenshavene stiger, men effekten langs norskekysten varierer på grunn av ulik landheving, og fordi jordas gravitasjonsfelt påvirkes dersom store mengder fast is smelter og fordeler seg utover i havet. Stormflo er den parameteren (av de som er nevnt i tabell 5-1) som påvirkes mest av klimaendringer.

Nedbør og temperatur. Moloer er generelt lite påvirket av nedbør og temperatur. Nedbør i kombinasjon med påfølgende sterk frost kan føre til frostsprengning av steinblokker, men det er ikke forventet at evt. endringer i temperatur vil påvirke moloer negativt. Klimaendringer vil følgelig ikke føre til nye utfordringer forårsaket av nedbør og temperatur.

Data i tabell 5-1 angis her uten ytterligere begrunnelse. Metoder for bestemmelse av vannstand og stormflo er nærmere beskrevet i kapittel 7.4.5.

5.2 STRØM

Strøm er ikke en dimensjonerende faktor for moloer under alminnelige norske forhold. Unntaket er moloer i elver. En molo kan imidlertid påvirke strømmen slik at den endrer retning og styrke, noe som kan føre til endringer i vannets transport av sedimenter.

Bygging av en molo kan føre til at et seilløp innsnevres. En slik innsnevring kan føre til at strømhastigheter øker lokalt i innseilingen. Normalt vil ikke dette gi problemer for skipsfarten fordi strømhastigheten normalt vil være i samme retning som skipets kurs. I enkelte spesielle tilfeller kan det imidlertid oppstå problemer som følge av strøm, hvor strømmen resulterer i strømhvirvler ved innseilingen. Også strømforskjeller inne i havnen kan gi problemer for mindre fartøyer.

Når molobyggingen fører til innsnevring av større bassenger ($>0,5 \text{ km}^2$) i farvann med store tidevannsforskjeller, kan det oppstå sterke strømmer i åpningen. Strømhastigheter opp til $2,0 \text{ m/s}$ (4 knop) er uproblematisk for de fleste fartøyer. Men problemer kan oppstå dersom strømmen i åpningen møter en tverrgående strøm like utenfor åpningen. Svartnes ved Vardø er et eksempel på en slik havn der kryssende strømmer i korte perioder kan gjøre det vanskelig å holde en stø kurs inn og ut av havna.

Strøm i sjø er vanligvis en kombinasjon av følgende ulike typer strøm:

- **Tidevannstrøm** som veksler med tidevannet og opptrer som følge av tidevannsforskjeller. Slike strømmer er sterkt påvirket av lokaltopografi og kystlinja. Ute på



åpent hav kan slike strømmer være av størrelsesorden noen få cm/s, men i sund kan strømmen komme opp i flere m/s. Tidevannsstrømmen kan være sterk utenfor moloer pga. at moloen stikker ut i den naturlige strømningsbanen for strømmen.

- **Vinddrevet strøm** som er forårsaket av friksjonen mellom luft i bevegelse (vind) og sjøoverflaten. I kystnære farvann vil også denne type strøm påvirkes av lokal bunntopografi og kystlinja.
- **Tetthetsdrevet strøm** som er strøm forårsaket av horisontal variasjon av vanntetthet frembrakt ved forandring i saltholdighet og/eller temperatur, som er forårsaket av tilstrømning av ferskvann fra avrenning fra land gjennom elvemunning, varmestrøm fra kystkraftverk eller av andre årsaker.
- **Bølgeinduserte strøm.** Dette er strøm nær kysten som er forårsaket av den horisontale variasjonen av effekten av bølgeenergien når den blir dempet av bølgebrytning.
- **Turbiditetsstrøm.** Dette er gjørmeaktig strøm som skyldes utglidning av masser på en skrånende bunn. Slik strøm har karakter av skred, og opptre normalt bare en gang, men kan være utløst av f.eks. molobygging eller mudringsarbeider.

Strøm er viktig for molodesign bare i den grad den påvirker bølgene i nærheten av moloen og ikke som en direkte påvirkning i form av en strømlast. I områder med fare for erosjon, kan strøm være en viktig komponent ved at den kan fjerne sand som er erodert av bølgene og deponere denne langt vekk fra molokonstruksjonen. Dette kan på sikt føre til undergraving av molokonstruksjonen. Mulig erosjonsdyp bør vurderes og om nødvendig bør erosjonssikring etableres. Det kan være behov for strømmålinger både før og etter bygging av moloen,

spesielt for å få oversikt over spredning fra molobyggingen i og like etter anleggsperioden.

Strøm er en bevegelse av vannmassene og angis vanligvis som en vektorstørrelse med en fart og en retning som faller sammen med retningen vannmassene beveger seg i. I motsetning til vind og bølger, angis strømretningen som den retningen vannet strømmer mot. Strøm kan måles med en strømmåler som står fast i et punkt og registrerer farten til vannpartiklene som strømmer forbi den (Eulersk måling), eller den kan finnes ved at vi måler hvordan en vannpartikkel beveger seg med tiden i nærheten av strømmåleren (Lagransk måling). Vi kan ikke forvente at disse ulike målingene gir samme verdi pga. turbulens og pga. at strømmen ikke er den samme over hele området. Strømmen varierer også i vannsøylen.

Det er viktig å avklare hvordan strømforholdene påvirkes av tiltaket.

5.3 IS

Is vil bare i meget sjeldne tilfeller representere en direkte belastning på en molo. Belastningen kan i slike tilfeller bestå i:

- Isflak som driver med strømmen og treffer moloen med stor hastighet, spesielt aktuelt for moloer i elver.
- Is som fryser fast i moloblokkene og som brekker løs blokkene når vannstanden endres med tidevannet.

Dekkblokker vil ikke kunne fryse inn i is og flyte bort med isen.

En molo vil imidlertid kunne føre til økt isdannelse i en havn. Dette skyldes at hensikten med molobyggingen oftest er å beskytte havnen mot bølger. En molo gir typisk redusert sirkulasjon inne i havnebassenget. Dette gir mindre nedblanding av ferskvann. Overflatevannet får da lavere saltholdighet, noe som gir økt risiko for isdannelse.

Tiltak for å redusere isdannelse i havner kan bestå i:

1. Avskjæring av ferskvannstilløp: Ferskvannskilder (bekker, industriavløp, kloakk, avrenning fra veger og gater, etc.) identifiseres og føres ut til et område utenfor havna der vannet blandes med sjøvann eller føres bort med strømmen.
2. Dykking av ferskvannstilløp slik at utløpet føres ned på dypt vann. Merk at dette ofte kan bli en komplisert løsning for naturlige tilsig (bekker ol.) fordi det kreves en overhøyde ved innløpet til ledningen for å overvinne friksjon og trykkforskjeller (ferskvann er lettere enn saltvann). Det er også en forutsetning at ferskvannet føres ned på dypt vann (mer enn 10–15 m) og at det finnes sirkulasjon i bunnvannet slik at det tilførte ferskvannet føres ut av havna.
3. Øke sirkulasjonen: Åpning av passasjer som gir gjennomstrømning i havna ved hjelp av tidevannet. Merk at slike passasjer må være av betydelig størrelse for å være effektive. Bredden av en gjennomstrømningsåpning bør være i størrelsesorden minst 10–20 % av bredden av bassenget som skal holdes rent for is, og mer dersom bassenget er langt og smalt eller avstanden til åpent farvann er stor. Kulverter og rør i moloen vil normalt ikke ha noen målbar effekt på sirkulasjonen.
4. Skjerming av fjærområder: Isdannelse kan forekomme i langgrunne områder som faller tørr ved fjære sjø. Ved fjære kan det bli så kaldt at sjøvannet fryser eller tilsig og nedbør fryser i fjæra. Ved høyvann flyter isflakene ut og danner kjerner for fortsatt isdannelse. Ved å fylle ut slike områder eller avskjære dem med fyllinger vil man hindre at isflakene dannes eller kommer i drift.
5. Isdannelse i havner kan også i noen tilfeller hindres ved hjelp av bobleanlegg. Bobleanlegg kan fungere på to måter:
 - a. Dersom havna er dyp og inneholder «varmt» bunnvann kan bobleanlegget legges ut inne i havna. Strømmen av luftbobler som strømmer mot overflaten vil da trekke med seg varmt bunnvann mot overflaten, samtidig som nytt bunnvann vil

trekkes inn mot boblestrålen. Det varme bunnvannet holder havna fri for is.

- b. En perforert slange med luftbobling kan også legges ut på tvers over et havneinnløp. Dette kan utføres i tilfeller der det kan påvises at et ferskvannslag i overflaten kan komme inn i havna, som ellers ville vært isfri med en blanding av varmt og salt vann. Strømmen av bunnvann og luftbobler skaper en lokal heving av vannflaten som gir en utadrettet strøm fra senter av den lokale hevingen, og vil dermed hindre en overflatestrøm i å komme inn i havna.

Informasjon om isdannelse kan best hentes hos lokalkjente, da det kan være store lokale variasjoner innenfor små områder.

5.4 BØLGER

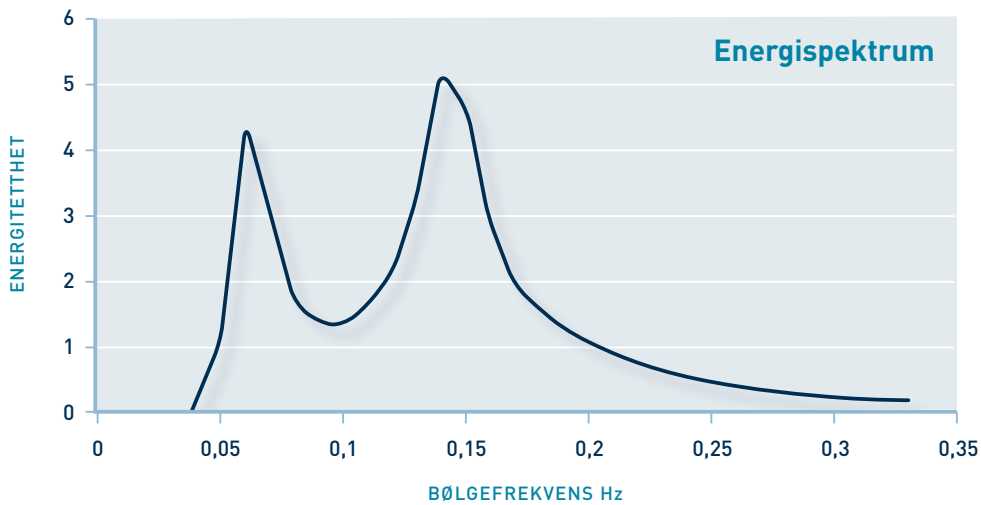
5.4.1 Generelt

Det er vanligvis bølger som gir dimensjonerende belastning på moloer. Havbølger er irregulære og stokastiske i form, høyde, lengde og forplantningshastighet. Betegnelsen sjøtilstand benyttes for en bølgesituasjon der stokastiske bølgeparametere som signifikant bølgehøyde H_s , midlere bølgeperiode T_z , spektral toppperiode T_p , midlere bølgeretning Θ_m o.l. er antatt konstante innenfor en periode. En sjøtilstand beskrives mest effektivt ved hjelp av et bølgespektrum. Varigheten av en sjøtilstand kan variere. Det er vanlig å anta 3 timer som en representativ varighet av en sjøtilstand.

Et eksempel på et bølgespektrum er vist i figur 5-1. I en sjøtilstand vil det finnes et stort antall bølger med ulik periode, retning og høyde. Vi kan vise dette ved å plote bølgeenergien (i praksis H^2) på vertikalaksen og bølgenes frekvens ($f=1/T$) på horisontalaksen. Da får vi et bilde av hvordan bølgeenergien fordeler seg på de ulike periodene. I figur 5-1 ser vi at spekteret har to topper; en topp ved 16,7 s ($f = 0,06$ Hz) og en topp ved 7,1 s ($f = 0,14$ Hz). Den laveste toppen ved den laveste frekvensen er havbølger eller dønning med signifikant bølgehøyde $H_{m0,dønning} = 1,33$ m, og den høyeste toppen er «yngre» vindbølger med $H_{m0,vind} = 2,22$ m.

Perioden til den høyeste toppen i spekteret kalles spektral toppperiode T_p .

Arealet under spekteret kalles 0'te ordens moment eller m_0 , og kan brukes til å gi et estimat på signifikant bølgehøyde ved uttrykket $H_s \approx H_{m0} = 4\sqrt{m_0}$. Hvis vi hadde



Figur 5-1
Eksempel på
bølgespektrum.

behandlet hele spekteret som en sjøtilstand uten hensyn til dønning eller vindsjø, ville vi fått $H_{m0, total} = 2,59$ m.

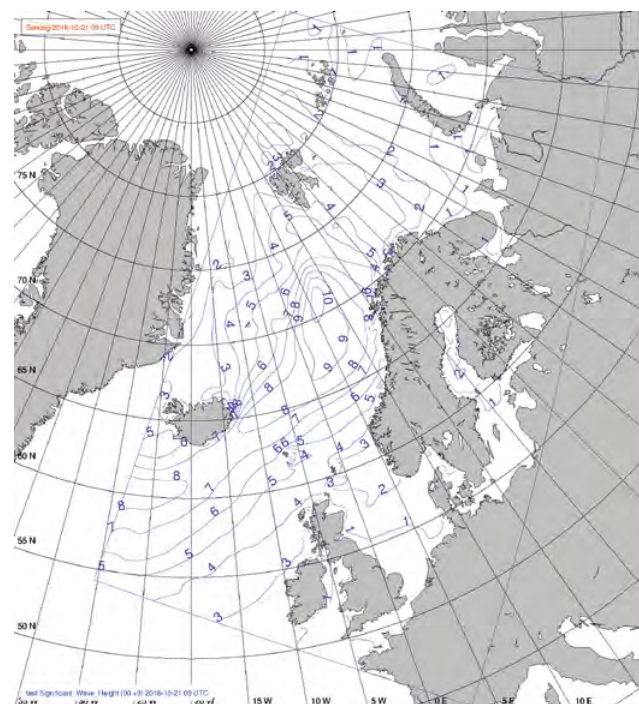
Innenfor de nevnte 3 timene kan man forenkle beskrivelsen til bølgeuroen ved å angi bølgespekteret med en gitt analytisk form på spekteret (for eksempel JONSWAP) definert ved tre parametere: H_s , T_p og spisshetsparameter γ . H_s og T_p er ikke knyttet til en individuell bølge. De er parametere som beskriver bølgespekteret, og er konstante for en gitt sjøtilstand, men varierer over tid.

H_s og T_p er bølgeparametere som skal anvendes for dimensjoneringen av en molo. Det er derfor viktig å fastsette verdiene for disse to, særlig verdien av H_s .

Bølgedata fra målinger gir det beste grunnlaget. Imidlertid er dataserien ofte ikke lang nok til å definere ekstrem bølgestatistikk med tilstrekkelig grad av nøyaktighet. Serien må inneholde data fra minst flere tiår for å kunne beskrive en 100 års returperiode. Slike bølgemålinger er ikke tilgjengelige i Norge. Hindcast data er et godt alternativ ved mangel på bølgemålinger, da de estimerer bølgehøyde indirekte fra meteorologiske forhold (hovedsakelig lufttrykk), som er tilgjengelig fra historiske målinger. Hindcast data, på den annen side, er bare tilgjengelig i dypt vann, og man må vanligvis bruke numeriske modeller for å overføre disse dataene til molo stedet. En oversikt over de ulike numeriske bølgemodeller er gitt i kapittel 5.4.2.

Det finnes flere databaser med bølgedata for åpent hav. NORA10 (Norwegian ReAnalysis 10 km) er en dataserie

med bølge- og vinddata innhentet hver tredje time gjennom en Hindcast-reanalyseteknikk for et rutenett med oppløsning på 10x10 km i Norskehavet (Breivik, Reistad, Haakenstad, se ref. III), se figur 5-2. Databasen driftes av Meteorologisk Institutt og dekker perioden fra 1958 og frem til i dag.



Figur 5-2 Området dekket av NORA10.

Det er vanlig å få bølgedataene i 3 timers-intervaller. For å fastsette den høyeste bølgehøyden knyttet til en sannsynlighet for overskridelse (returperiode) er det vanlig å tilpasse en statistisk fordeling til de ekstreme tilfellene fra dataserien. To vanlige måter å gjøre dette på er enten å velge de årlige maksima eller å bruke maksima som ligger over en viss terskelverdi (Peak Over Threshold – POT).

POT-metoden tillater å velge de ekstreme tilfellene som er representative for ekstremforhold i løpet av en lang dataserie. Denne teknikken gir oss en bedre beskrivelse av bølgeforholdene knyttet til ekstreme tilfeller enn hva de årlige maksima alene gir, da vi får flere punkter som ikke nødvendigvis er knyttet til en årlig frekvens, dvs. et visst år kan ha flere relevante stormer som ikke blir tatt høyde for ved å ta de årlige maksima.

For ytterligere informasjon om teoretisk bølgeanalyse henvises til Vedlegg I.

5.4.2 Numerisk modellering av bølger

5.4.2.1 Generelt

Numerisk modellering brukes for transformasjon av bølger fra dypt vann offshore til stedet der moloen skal bygges. Ved bruk av en numerisk modell blir offshore-bølgeklimate overført til området nært til moloen. I denne prosessen blir bølgene utsatt for grunnings effekter slik som brytning, grunning, og diffraksjon og eventuelle lokale strømmer (tidevannsstrøm, elveutløp etc). Numeriske modeller kan også brukes for å analysere bølgeforhold bak planlagt molo og inne i havna (i.e. analysere rolighet i havna).

Ved all numerisk bølgemodellering er det viktig at man bruker den vannstanden bølgene skal beregnes for, likeså om det er lokale strømforhold som kan påvirke bølgene i området. Detaljert beskrivelse av lokal bunntopografi er også essensielt i denne sammenheng.

For å kunne modellere bølgeforholdene basert på Hindcast og lokale vind data, trengs det bølgemodeller. Det finnes mange ulike modeller (fra enkle og lite ressurskrevende til kompliserte og ressurskrevende) og det er viktig at det brukes en modell tilpasset de spesifikke behovene i prosjektet som skal modelleres.

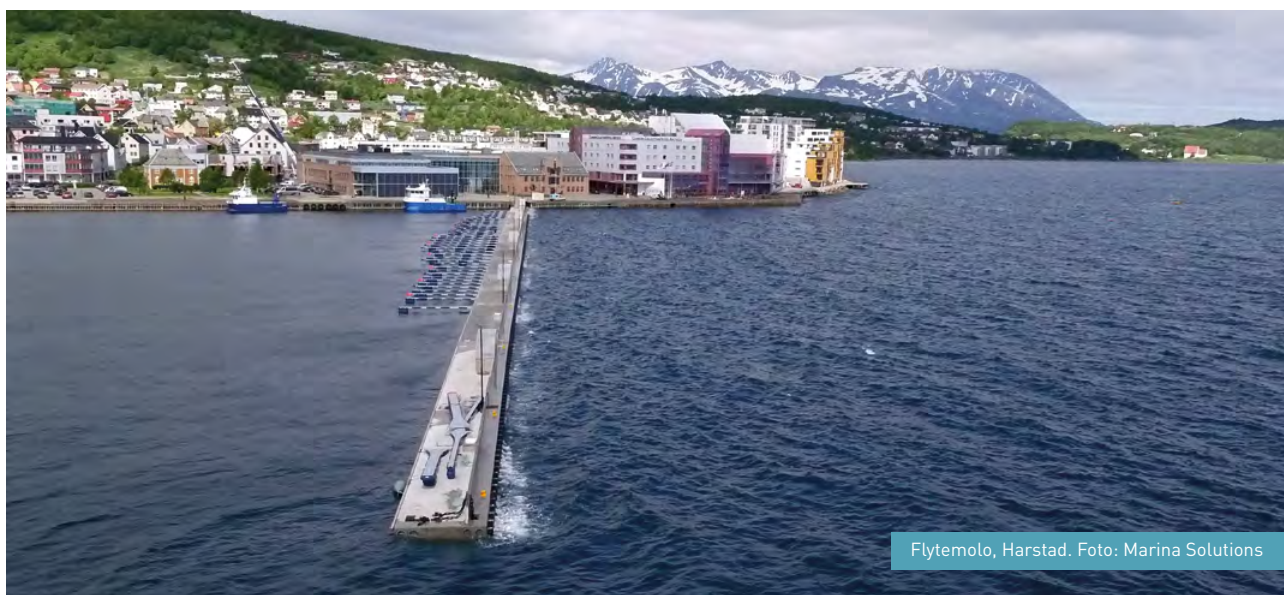
5.4.2.2 Valg av modell

Numerisk modellering av bølger kan utføres for flere formål, hvorav følgende to er diskutert i denne delen:

1. til transformasjon av bølger fra dypt vann offshore til stedet der moloen skal bygges.
2. til å analysere bølgeforhold bak molo og inne i havnen (dvs analysere rolighet i havnen).

5.4.2.2.1 Numerisk modellering av bølgeforhold fram til molostedet

Under denne kategorien finnes det en lang rekke beregningsmodeller å velge blant. I tabell 5-2 er metodene rangert fra relativt enkle og lite ressurskrevende til de mer kompliserte og krevende. Beskrivelse av hver enkelt type modell er gitt deretter.



Flytemolo, Harstad. Foto: Marina Solutions

Fasemidlede modeller (storskala modeller)	Strøkbasert analyse	Empiriske formler – flere å velge blant
	Skjermingsanalyser	Basert på konseptet åpne/stengte sektorer
	Spektrale vindbølge-modeller	Basert på konserveringsligning for bølgeenergi eller bølgeaksjon <ul style="list-style-type: none"> • Oseanisk skala – 0 (100 km–5000 km): WAM, WAVEWATCH III • Kystskalaer og noe større – 0 (10 km–100 km): SWAN, STWAVE, MIKE 21 SW, etc.
Faseopløste modeller (lokalskala modeller)	Mild-slope modeller	Basert på lineær bølgeteori der bølgehøyde, bølgelengde og bølgeretning varierer horisontalt, irregulære sjøtilstander kan simuleres ved superposisjon av monokromatiske bølgesimuleringer <ul style="list-style-type: none"> • Parabolisk «mild-slope» modell (REFDIF) (kan ikke modellere reflekterte bølger mot bølgeretningen) • Elliptisk «mild-slope» modell (CGWAVE)
	Boussinesq bølgemodeller	Dybdeintegrert horisontal hastighet, dvs. antatt konstant i vertikalen; vertikalhastigheten varierer tilnærmet lineært fra bunn til overflaten: (BOUSS-2D, MIKE21 BW, FUNWAVE etc.)
	Computational Fluid Dynamics (CFD)	<ul style="list-style-type: none"> • Neglisjere all turbulens: 3D ikke-lineære potensialstrømningsmodeller (REEF3D) • Neglisjere vertikal hastighet: 3D ikke-lineære gruntvannsligninger (e.g. SWASH, MIKE 3 FM Wave) • Navier-Stokes likningene <ul style="list-style-type: none"> – Reynolds averaged (RANS) + en turbulensmodell (f.eks. k-ω, mixing length etc.) (REEF3D, OpenFOAM etc.)
	Kombinasjon av forskjellige modeller for å øke effektiviteten	

Tabell 5-2 Aktuelle modeller for beregning av sjøtilstanden.

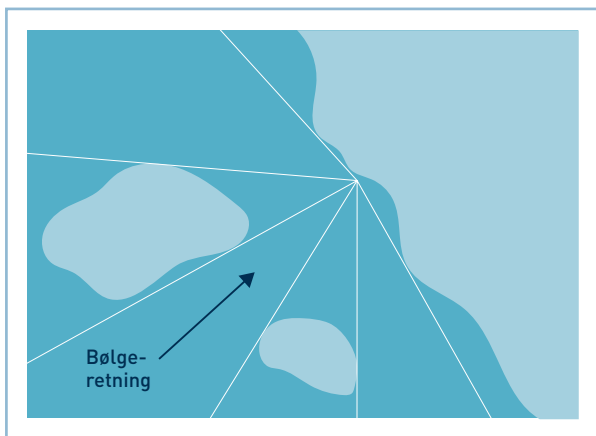
5.4.2.2.2 Fasemidlede modeller (storskala modeller)

Strøkbasert analyse er en relativt enkel metode basert på empiriske formler for bølgevekst som funksjon av vindhastighet, strøklengde og varighet av vinden. Lokal vindstatistikk må være tilgjengelig. Det er flere formler å velge blant og ikke alle gir samme svar. Ved strøkbasert analyse er det klart at ingen av prosessene som refraksjon, bølge-bølgeinteraksjon m.m. er inkludert, heller ikke innslag av dønning. Ved bruk av strøkbasert analyse er det viktig å være konservativ i valgene og benytte erfaring til å vurdere om det finnes muligheter for at bølger kan komme inn mot stedet som følge av f.eks. refraksjon. Man må være spesielt oppmerksom på muligheten for at det kan komme

inn dønning eller havsjø. Denne typen bølger vil ikke være omfattet av strøkbaserte analyser.

I tillegg må man ved bruk i norske fjorder være oppmerksom på at vinden og bølgene har en tendens til å følge fjorder og daler. Det betyr at det reelle strøket inn mot et punkt kan være lengre enn det som rette linjer ut fra punktet tilsier.

Ved valg av beregningsmetode er det også viktig å holde seg til en og samme metode i hele prosessen. Man kan f.eks. ikke anta at et strøk beregnet med en metode kan benyttes som strøk i en annen metode.



Figur 5-3 Illustrasjon av skjermingsanalyser.



Se Rock Manual (se ref. IV) for ytterligere diskusjoner rundt strøkbasert analyse.

Skjermingsanalyser kan benyttes der vi kun er interessert i hvordan havsjø forplanter seg inn mot molostedet og der enkelte sektorer er skjermet pga av øyer og nes. Det må imidlertid være dyptvannsforhold i de åpne sektorene helt inn til molostedet. Analysen baserer seg på at vi kjenner retningsfordelingen $D(\theta)$ på åpent hav samt signifikant bølgehøyde i åpent hav. Man antar samme retningsfordeling for alle frekvenser i spektret og at bølgeenergien i retningene til de stengte sektorene, ikke når fram til molostedet. Se figur 5-3. Denne metoden forutsetter at det ikke forekommer grunnings effekter eller refraksjon av bølgene.

Spektrale vindbølgemodeller er fasemidlede bølgemodeller. De antar at bølgeegenskaper samt dybdeforhold varierer lite over en distanse tilsvarende bølgelengden. Havområdet deles inn i et rutenett og en balanseligning for bølgespektret i form av en partiell differensial ligning løses på dette gridet. Inndelingen kan være svært grov med opptil flere bølgelengder mellom hvert punkt. I dette tilfellet er det mulig å arbeide med variabler som er gjennomsnittsverdier over en bølgeperiode (WAM), for eksempel bølgeenergi, eller varians-spekteret. De dominerende fysiske prosessene som inngår er: Overføring av vindenergi til bølgeenergi, energitap pga. dyptvansbrytning og bunnfriksjon, refraksjon (pga. bunntopografi og lokale strømmer) og grunnning. Disse modellene kan også håndtere dybdeindusert brytning. Disse modellene inkluderer ikke-lineær overføring av energi mellom forskjellige bølgekomponenter. Slike modeller kan imidlertid ikke beskrive diffraksjon eller refleksjon på en korrekt måte. Om diffraksjon og refleksjon antas å være neglisjerbare effekter, kan slike modeller benyttes hele veien fra åpent hav til planlagt plassering av moloen. Om det ikke er tilfelle, benyttes spektralmodellen fram til området der man forventer diffraksjon og brytning. Modellering videre inn mot moloen gjøres så ved faseopløste modeller.

5.4.2.2.3 Faseopløste modeller (lokalskala modeller)

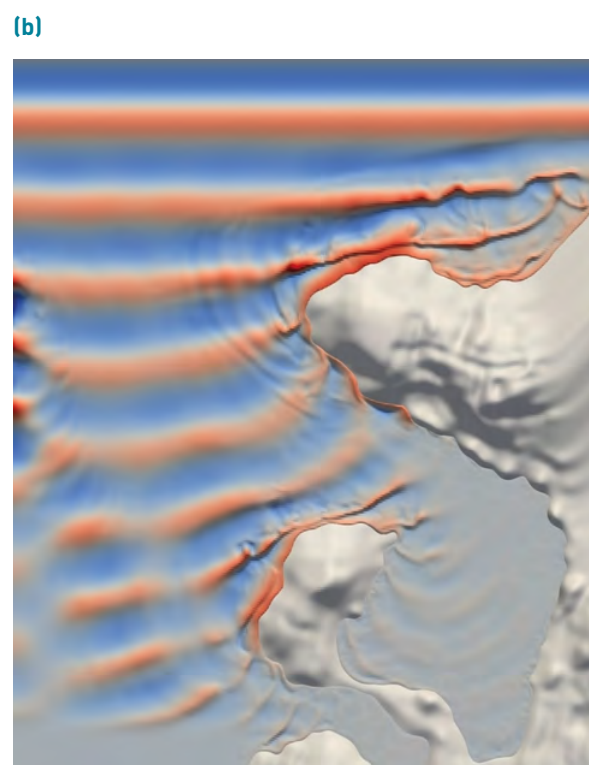
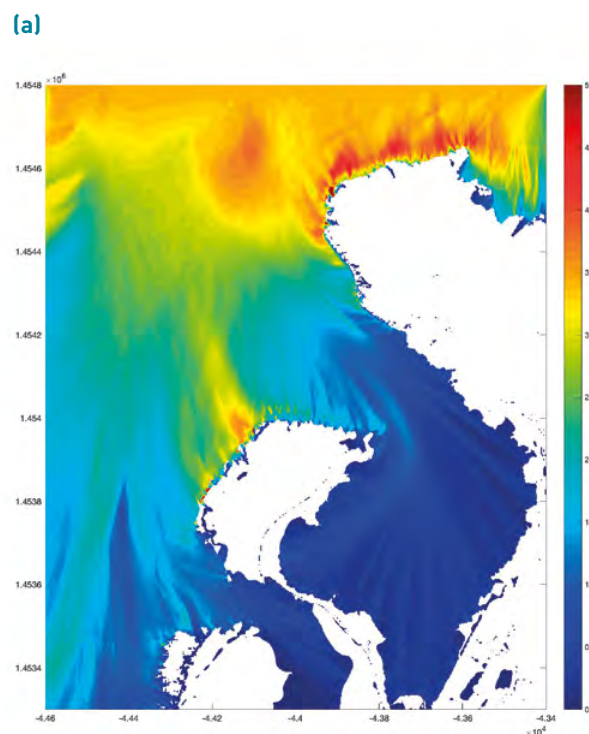
Dette er modeller som løser bevaringsligningene for masse og bevegelsesmengde lokalt med en oppløsning på 10–50 punkt per bølgelengde og bølgeperiode. De er designet for å modellere utviklingen av hver enkelt bølge i et bølgetog. De anbefales benyttet når bølgene utvikler seg raskt, dvs. ved betydelige endring i bl.a. vanddybde og eventuelle strømmer over avstander mindre enn bølgelengden. Diffraksjon og refleksjon er vanligvis godt håndtert i disse modellene, i tillegg til

brytning og grunning, bunnfriksjon og dybdeindusert brytning. Beregninger basert på disse metodene er tunge beregninger og bruken er derfor begrenset til små skalaer sammenlignet med metodene beskrevet i forrige avsnitt.

Et eksempel på anvendelse av en fasemidlet simulering er vist i figur 5-4.a. Et eksempel på anvendelse av en faseoppløst simulering er vist i figur 5-4.b.

«Mild-slope» modeller er faseoppløste beregningsmodeller basert på lineær bølgeteori. Irregulære sjøtilstander modelleres ved superposisjon av flere monokromatiske bølger i forskjellig retning. Det finnes paraboliske og elliptiske mild-slope-modeller. En parabolisk modell er avhengig av at bølgene stort sett forplanter seg innenfor en relativt smal sektor og bør ikke benyttes om bølgene skal passere rundt øyer og nes. Disse er utviklet mest for bruk på kyster med relativt rette kystlinjer. Elliptiske modeller har ikke denne begrensingen. Bølgefenomener som kan simuleres med slike modeller er dybdegenerert brytning, diffraksjon pga. f.eks. molo og bunntopografi, refleksjon (fra konstruksjoner og naturlige grenser som kystlinje og brå endring i bunntopografi), friksjon og dybdekontrollert brytning. Modellene bruker gjerne en triangulær endelig-elementformulering med elementstørrelser som varierer i hele domenet basert på den lokale bølgelengden. Modellen gjør at man kan spesifisere de ønskede refleksjonsegenskapene langs kysten og andre indre kystlinjer. Modellene er derfor spesielt godt egnet til å simulere bølger i havner. Ikke-lineære effekter modelleres ikke.

Boussinesq bølgemodeller er faseoppløste bølgemodeller basert på tidsplanformulering av Boussinesq-type ligninger. Disse er ikke-lineære bølge-ligninger utviklet opprinnelig for bølger på grunt vann hvor en kan anta at den horisontale partikkelhastigheten i vannet er konstant i vertikalen, mens vertikal hastighet varierer lineært fra null ved sjøbunn og opp til vertikalhastigheten av bølgeprofilen ved overflaten. I de senere årene har denne typen modeller stadig blitt utviklet til å håndtere større og større vandyp. I dag finnes Boussinesq-modeller som kan benyttes fra dypt til grunt vann og kan simulere de fleste bølgefenomenene som er av interesse nær kysten og i havnebassenger, inkludert grunning/brytning over variabel bunntopografi, refleksjon/diffraksjon ved konstruksjoner, energidissipasjon på grunn av bølgebrytning og bunnfriksjon, kryss-spektral energioverføring på grunn av ikke-lineære bølge-bølge-interaksjoner, brytningsinduserte strømmer, bølgestrøminteraksjon og bølgeinteraksjon med porøse strukturer.



Figur 5-4 Bølgesimuleringer Mehamn (Illustrasjon, NTNU).
a) fasemidlet simulering ved bruk av SWAN
b) faseoppløst simulering ved bruk av REEF3D ($H=9\text{m}$ $T=9,5\text{s}$).



Computational Fluid Dynamics (CFD) (Numerisk fluid-dynamikk) er en gren av hydrodynamikken der man løser de grunnleggende Navier-Stokes ligningene numerisk, vanligvis med visse forenklinger. Med mindre man snakker om DNS (direkte numeriske simuleringer) med gridopløsning på millimeterskala, avhenger resultatet av turbulensmodellen som brukes. CFD er ekstremt beregningstungt og denne type modellering er fortsatt ikke generelt tilgjengelig for praktisk bruk til simulering av bølger i kystsonen. Slik modellering har hatt suksess ved simulering av numeriske bølgetanker med brytende bølger i interaksjon med konstruksjonselementer som vertikale sylindere og horisontale rør hvor også sedimenttransport fra sjøbunn av løsmasser tas med. Fortsatt er det slik at modellering av bølger i kystsonen med slike modeller kun vil være mulig ved bruk av kraftige datamaskiner.

5.4.2.2.4 Oppsummering

Oppsummert kan en si at anvendelsene av disse mer avanserte modellene er som følger:

For å overføre offshore bølger til området i nærhet av moloen kan både spektralmodeller og faseoppløste modeller anvendes. Valget er avhengig av størrelsen på beregningsområdet og de dominerende prosessene. Hvis diffraksjon og refleksjonseffekter er betydelige, bør faseoppløste modeller anvendes. I dette tilfellet brukes ofte faseoppløste modeller bare for et lite område foran moloen.

Når man velger den mest egnede bølgemodellen for et bestemt problem, har man følgende alternativer:

1. Frekvensfordeling av bølgeenergi eller monokromatisk bølge. Noen modeller er regulære bølgemodeller (en enkelt frekvens og en enkelt bølgeretning, såkalt monokromatisk bølge). Men de fleste modeller som benyttes nå er bølgemodeller for uregelmessige bølger med kontinuerlig fordeling av bølgeenergien over en

rekke frekvenser. Denne sistnevnte type av tilnærming er foretrukket, da den gir en bedre representasjon av sjøtilstandens uregelmessige karakter. I enkeltstående tilfeller med f.eks. langperiodiske svingninger i havnebasseng, vil man ofte foretrekke en regulær bølgemodell.

2. Retningsbestemt spredning av bølgeenergi. Modeller kan evt. håndtere bare en innkommende bølgeretning (ensrettede eller langkammede bølger) eller de kan håndtere retningsspredning (innkommende bølger fra forskjellige retninger som også kan være avhengig av bølgefrequensen), dvs. bølgeenergien er spredt over en rekke retninger.
3. Vurdering av fysiske prosesser: Avhengig av det spesifikke tilfellet inkluderer dette energikilder (vindenergi) og/eller energisluk (f.eks. bunnfriksjon, bryte), refraksjon, grunning, diffraksjon, refleksjon etc.
4. Lineær eller ikke-lineær modellering. Modellene kan enten være lineære for modellering av forplantning eller ikke-lineære, inkludert ikke-lineære effekter som skyldes bølge-bølge interaksjoner. Vanligvis er ikke-lineære virkninger forholdsvis viktige for grunnvannsforhold og bør vurderes. Av denne grunn bør ikke-lineære modeller foretrekkes. Men da disse modellene er ganske vanskelige og tunge å bruke, er enklere modeller basert på lineær teori for bølgeforplantning fortsatt mye brukt. Det skal også bemerkes at korrekte vannstandsdata må være kjent for å sikre riktige resultater uansett bølgemodell.

5.4.2.3 Numerisk modellering av rolighet i havna

Her er det bare faseoppløste modeller beskrevet i pkt. 5.4.2.2.3 som er aktuelle.



5.4.3 Fysisk modellering – modellforsøk

5.4.3.1 Generelt

Formålet med fysisk modellering (modellforsøk) i forbindelse med bygging av molo er verifisering og optimering av et design bestemt ved hjelp av forhåndsbestemte dimensjoneringskriterier (se pkt. 7.5). Ved å verifisere et valgt design, vil man også oppnå redusert risiko for uønskede skader på eller overskyll av moloen som kan gi skader på bakenforliggende infrastruktur. Optimering av moloens design vil kunne også redusere anleggs-kostnadene.

Dette avsnittet presenterer kortfattet for hvilke omstendigheter det kan være særlig relevant eller nødvendig å utføre fysisk modellering. Avsnittet skal også gi leseren informasjon om hva man skal oppmerksom på under utførelse av forsøk. Det er ikke en detaljert veiledning av selve utførelsen av modellforsøk da disse normalt gjennomføres av hydrauliske laboratorier med personell som har stor erfaring innenfor modellforsøk.

I forbindelse med havnebygging og molomodellforsøk, finnes det også andre typer modellforsøk. Andre forsøk som for eksempel optimalisering av havnedesign med hensyn til bølger, skip som ligger til kai eller undersøkelse av erosjonsrisiko (scour) og beskyttelse. I forbindelse med fortøyning av skip i norske havner vil det helst være aktuelt å modellere og observere:

- Moloens stabilitet
- Overskyll
- Bølgekrefter

Når man kommer over modellforsøk som ikke er rettet mot de ovennevnte punktene, skyldes dette at bølger osv. kan i tilstrekkelig grad være modellerte ved hjelp av numeriske modeller.

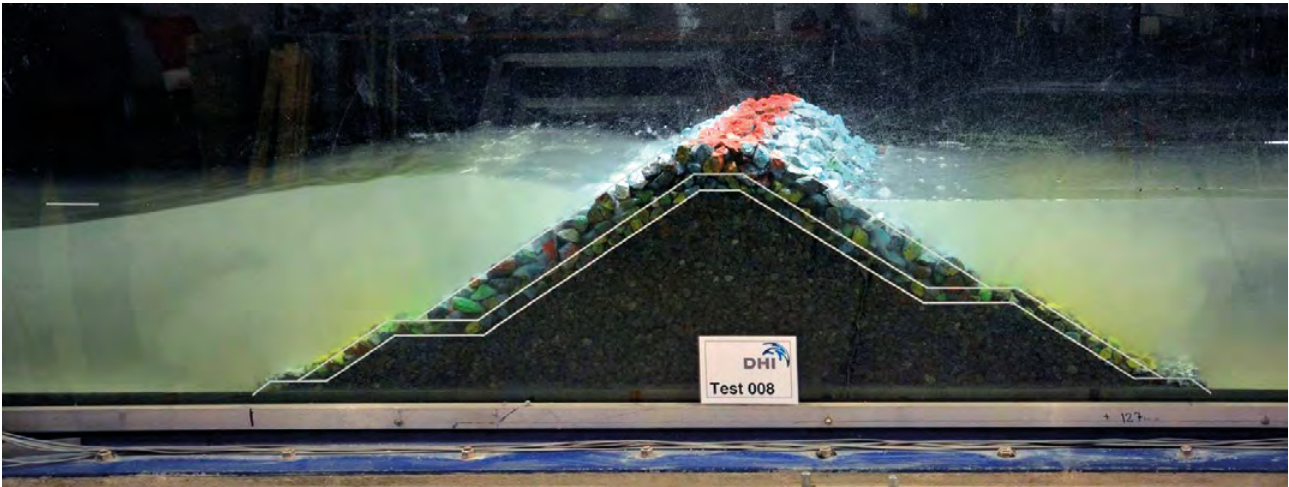
Det er ikke alle moloprojekt det er nødvendig å gjennomføre fysiske modellforsøk på. Det er dermed absolutt nødvendig at man nøye vurderer om det kan være nyttig eller nødvendig.

I tilfeller der omstendighetene er uvanlige, vil fysisk modellering være med på å sikre at det resulterende designet har den nødvendige sikkerhetsgraden. Uvanlige omstendigheter kan for eksempel være:

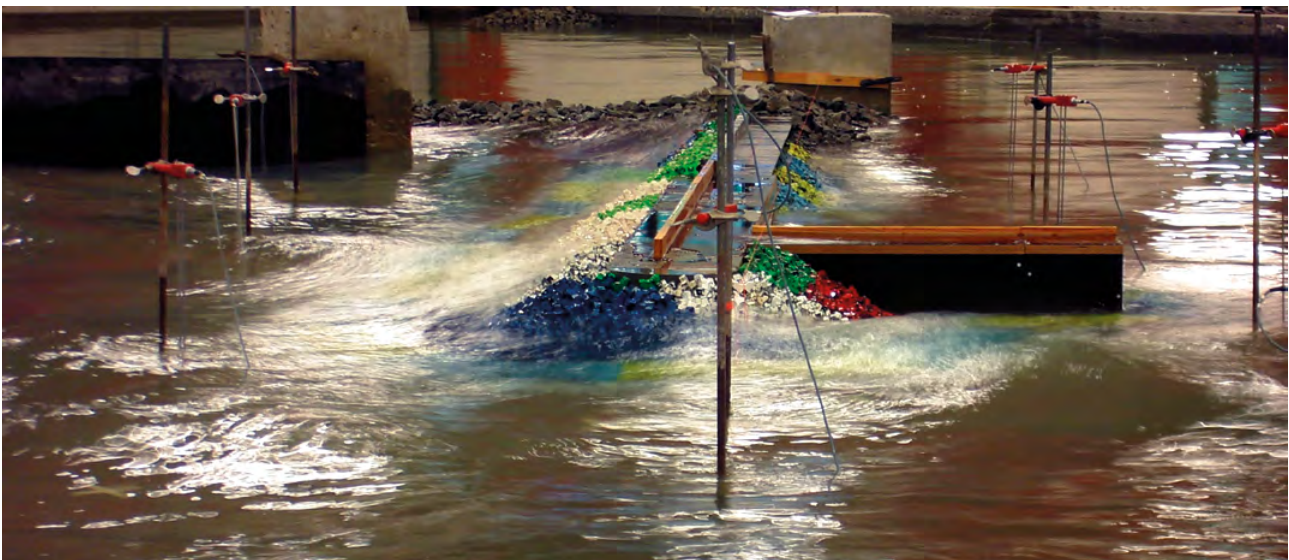
- Nye moloprojekt
- Prosjekter med store byggekostnader
- Design med store geometriske dimensjoner eller store steinblokker, dvs. atypiske løsninger
- Plasseringer med sterkt hellende eller uregelmessig havbunn foran moloen, hvor bølgenes påvirkning på moloen ofte vil være vanskelig å beregne
- Spesielle molostrukturer eller bunnforhold som gir anledning til fokusering av bølger, eller på en annen måte særlig utsatte seksjoner
- Molodesign som inneholder massive konstruksjoner som bølgeskjermer i betong, fyrtårn osv.
- Molodesign med stor overskylling (stabilitet av dekkstein på lesiden)

I mange moloprojekter legges det vekt på en optimalisert utforming av steinblokklag, krone og fotkonstruksjon. Derfor vil stabilitet være den viktigste parameteren for de fleste eksperimentene. Det kan imidlertid være aktuelt å måle bølgeoverskylling i tilfeller der det er viktig å overholde et overskyllingskriterium. Se EurOtop (ref. XVIII). Alternativt kan en beregning av overskylling være tilstrekkelig.

Stabiliteten av en bølgeskjerm eller lignende solide konstruksjoner i en moloprofil oppbygd av stein, kan være vanskelig å beregne. I slike tilfeller vil målinger av bølgekrefter i modellforsøk være til betydelig hjelp i designprosessen.



Figur 5-5 Eksempel på 2D-forsøk i renne, skala 1:36, kronekote +6,7 m, havbunn -13,5 m, vannstand +1,8 m, $H_{s,100} = 3,5$ m, $T_p = 15$ s, $M_{50} = 5$ t (foto: DHI).



Figur 5-6 Eksempel på 3D forsøk i renne, skala 1:58, kronekote +7 m, havbunn -9,5 m, vannstand +1,5 m, $H_{s,100} = 5,1$ m, $T_p = 16$ s, Xbloc® = 10 t (foto: DHI).

5.4.3.2 Valg av laboratorium

I tilfeller der det er nødvendig med modellforsøk, må man gi oppdraget til ett eller flere erfarne og anerkjente hydraulisk laboratorier. I 2D-forsøk testes bare et smalt utsnitt av en moloprofil i en bølgerenne. 3D-forsøk omfatter et utvalgt område av havna der moloen befinner seg. 3D-forsøk utføres i et bølgebasseng. 2D- og 3D-forsøk av stabiliteten til moloer bygd av stein utføres etter nesten standardiserte metoder.

Ved valg av laboratorium bør det avklares om det har fasiliteter der det er mulig å gjennomføre 2D-forsøk i skala ikke mindre enn 1:60, og 3D-forsøk ikke mindre enn 1:100. Anbefalingen ligger på 1:20 - 1:40 for 2D og 1:30 - 1:100 for 3D.

Jo mer nøyaktige opplysninger laboratoriet kan få fra bestiller, både i tilbudsfasen, hvor det enkelte laboratorium gir en beskrivelse av modellforsøkene og den tilsvarende prisen, og den etterfølgende modelldesign, jo bedre er det. Dette bidrar til for eksempel å sikre at en realistisk tidsplan kan opprettes før forsøksperioden.

Laboratoriet trenger vanligvis informasjon og tegninger:

- Tegning av havbunnsforhold foran moloen
- Oversiktstegning av havneområdet med molens plassering
- Tegninger av moloprofiler og forslag til profil som skal testes
- Designbølgefôrhold
- Kriterier for akseptabel skade og overskylling
- Saltvannstetthet, steintetthet og betongtetthet
- Utleggingsmetode for steinblokker

5.5 GEOLOGI, STEINBRUDD

5.5.1 Geologisk vurdering

Det skal alltid foretas en kartlegging og geologisk vurdering av tilgang på materiale til bygging av moloen. Dette kan ha betydning for valg av moloens utforming, og bør gjøres så tidlig som mulig i planleggingen. Det må blant annet avklares om det er aktuelle steinbrudd i nærheten, eller om det må vurderes å åpne nye steinbrudd. Det kan også være et alternativ å kjøpe inn stein fra godkjente steinbrudd som er i drift.

Den geologiske vurderingen skal gi svar på hvor store og hvor mye blokker som kan produseres, og om bergartene er egnet for bruk i molobygging. For eksempel har sprekkeplan og svakhetssoner stor betydning for produksjonen av blokker. Det anbefales at en slik vurdering spesifikt inneholder følgende:

1. Bergarter og bergartsfordeling
2. Bergartenes mekaniske egenskaper
3. Bergartens kjemiske sammensetning
4. Kartlegging av sprekkeplan og svakhetssoner
5. Estimerer på gradering av utsprengt masse, med anslag på prosentvis fordeling av vekt av steinblokkene
6. Egenvekt
7. Flisighet/skifrihet
8. Tilgjengelige volumer
9. Eventuelle variasjoner i steinbruddets egenskaper ettersom driften går dypere inn i fjellet.
10. Anbefalte sprengningsteknikker for å påvirke vektfraksjonene

5.5.2 Undersøkellesmetoder

For å vurdere et mulig steinbrudd er det flere undersøkellesmetoder som kan benyttes. Undersøkelsene bør foretas så tidlig som mulig, slik at resultatet og et anslag på blokkefordelingen foreligger før en går i gang med

dimensjonering av moloen. På denne måten kan en prøve å få så høy utnyttelse av steinblokkene som mulig, og prøve å lage et molotverrsnitt som i størst mulig grad utnytter det som produseres i steinbruddet.

Overflatekartlegging

Det skal utføres en overflatekartlegging av steinbrudd/potensielle steinbrudd for å få informasjon om bergarter, sprekkeplan og svakhetssoner. Om det er bergskjæringer i nærområdet må det vurderes om de kan gi ytterligere informasjon.

Totalsondering

Metoden går ut på å bore for å finne fjelloverflaten og løsmasseoverdekning. Det kan utføres MWD (Measuring While Drilling) i borehullet for å få en tolkning av fjelllets hardhet, oppsprekingsgrad og vannforekomst.

Resistivitetsmåling

Resistivitetsmålinger er elektriske motstandsmålinger, og kan benyttes til å kartlegge eventuelle svakhetssoner i fjell samt løsmasseoverdekning.

Refraksjonsseismikk

Metoden går ut på å måle forandringer i lydets forplantningshastighet når den beveger seg gjennom ulike materialer. Metoden kan si noe om fjellkvalitet og overdekning av løsmasser.

Kjerneboring

Metoden går ut på å bore ut bergprøver for å få informasjon om bergarter, bergartsgrenser, svakhetssoner og oppsprekking. Ikke så aktuell siden metoden er kostbar, og det meste av informasjonen kan oppnås med andre metoder.

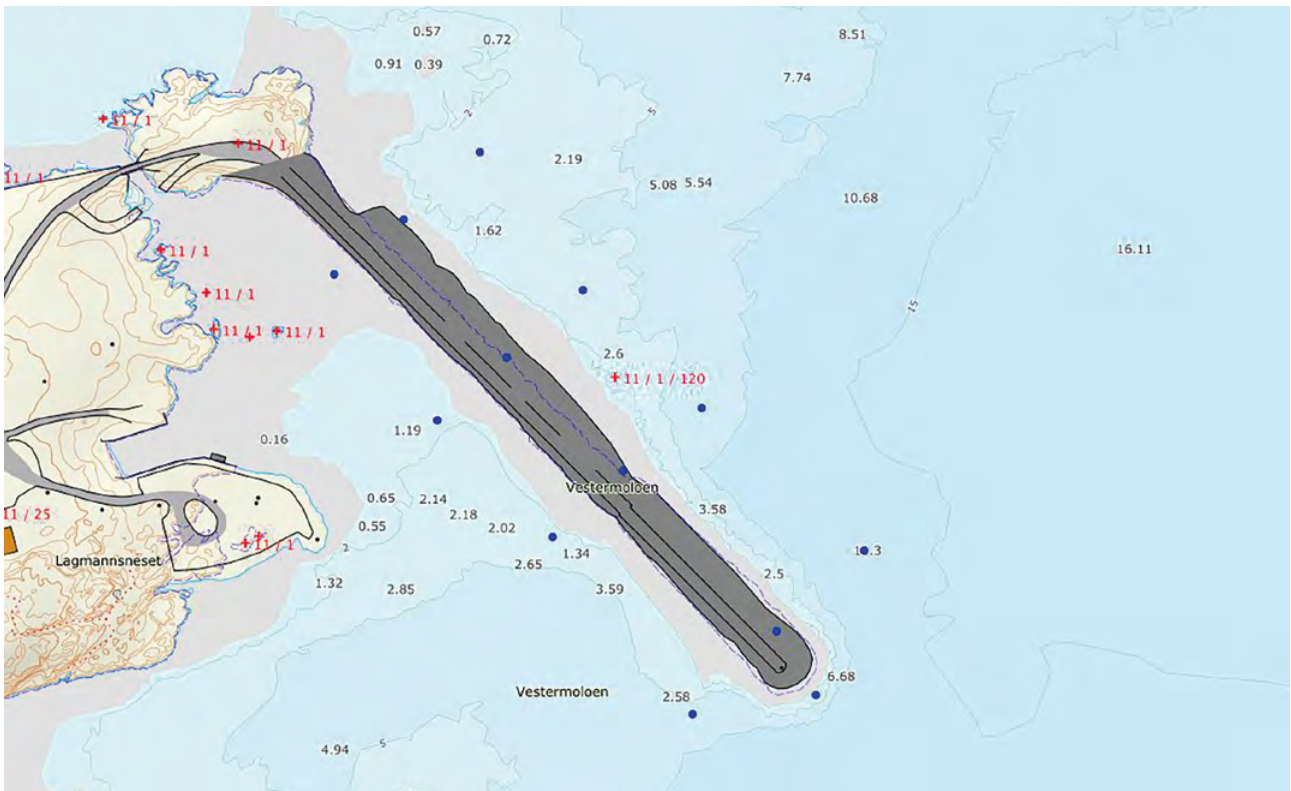
Prøvesprengning

En prøvesprengning har til hensikt å finne ut hvilken sammensetning av steinblokker en kan få i det aktuelle steinbruddet, slik at en kan få en optimal utnyttelse av steinbruddets ytelse.

5.6 GEOTEKNIKK

Som en del av forundersøkelsene skal det gjennomføres en kartlegging av sjøbunnen i det aktuelle området for moloen.

Dette vil i første omgang omfatte en kartlegging av sjøbunnsstopografien. Dersom det ikke foreligger et sjøbunnskart i området, skal det utføres en oppmåling av sjøbunnsstopografien.



Figur 5-7 Typisk borplan for en molo.

Videre skal det gjøres en kartlegging av løsmassene, både beskaffenhet og tykkelse. Dersom forholdene tilsier at det er mye fjell i dagen i området, kan en slik kartlegging gjennomføres med dykker eller ROV.

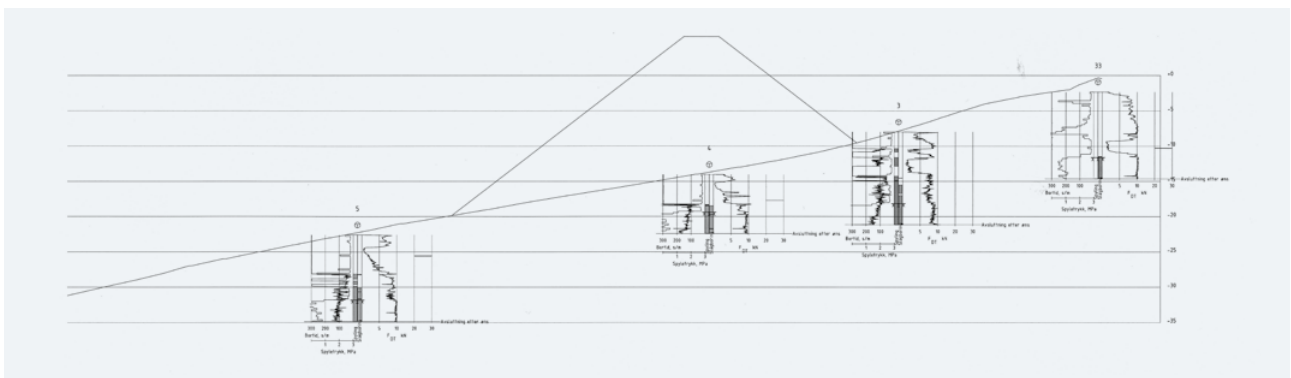
Kartlegging av løsmassene skal gjennomføres med en geoteknisk grunnundersøkelse. Det utføres da sonderinger i tillegg til prøvetaking av løsmassene.

Undersøkelsene anbefales utført med som totalsonderinger. Totalsondering gir informasjon om

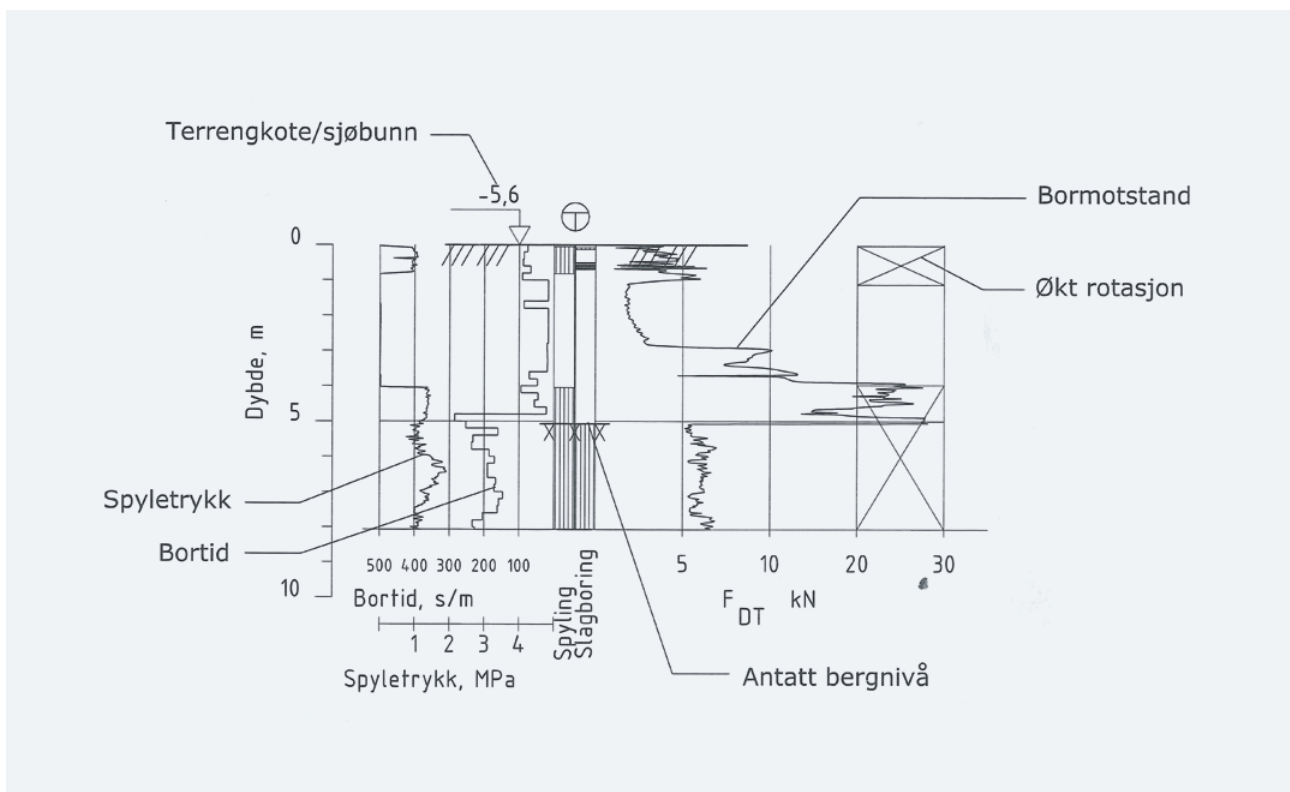
løsmassenes beskaffenhet og lagringsforhold samtidig som de har god nedtrengningsevne og kan benyttes til fjellpåvisning.

Boringene anbefales plassert i profiler på tvers av moloen, med 3 eller flere boringer i hvert profil. Figur 5-7 viser en typisk borplan for en molo.

Figur 5-8 viser et typisk geoteknisk profil fra en grunnundersøkelse for en molo. Profilet viser sjøbunnen, planlagt molo og sonderingsprofilene. Dette gir et bilde på



Figur 5-8 Typisk profil med molo og boringer.



Figur 5-9 Totalsonderingsprofil.

løsmassenes beskaffenhet i området der moloen er tenkt plassert. Ved å presentere sonderingene i profil, vil en tydelig kunne se eventuelle gjennomgående bløte lag, som igjen vil kunne gi utfordringer med tanke på stabilitet.

Figur 5-9 viser et typisk totalsonderingsprofil. Profilet viser i hovedsak følgende:

- Terrengkote/sjøbunn
- Bormotstand
- Antatt fjellnivå
- Spyletrykk
- Bortid
- Spyling på/av – når spyling er på er det angitt med skraver i søylen merket spyling.
- Slagboring på/av – når slagboring er på er det angitt med skraver i søylen slagboring

Sonderingen kjøres først med normal rotasjon og matekraft. Lav sonderingsmotstand kan indikere løst lagret eller bløte lag, som f.eks. leire/silt. Når det påtreffes fastere lag, som stopper nedtrengning, settes det på tiltak i følgende rekkefølge:

1. Økt rotasjon
2. Spyling
3. Slagboring

For sikker fjellpåvisning, skal det bores minimum 3 m inn i fjellet. Dette for å sikre at det ikke er en stor blokk/stein som er påtruffet.

Ut fra totalsonderingene vurderes omfanget av prøveserier, trykksonderinger (CPTU) og eventuelle poretrykksmålere.

Trykksondering gir informasjon om løsmassenes beskaffenhet, lagringsforhold, lagdeling og jordartstype samt en indikasjon på poretrykk og materialparametere. Utstyret har begrenset nedtrengningsevne i faste masser og kan ikke benyttes til fjellpåvisning.

For å få en sikker beskrivelse av løsmassene, må det tas prøveserier som analyseres ved et geoteknisk laboratorium. Omfanget av prøveserier og videre laboratorieprogram, vil avhenge av type løsmasser og hvilken problemstilling som skal vurderes for moloen. Normalt gjennomføres det rutineundersøkelser, som omfatter:

- Vanninnhold
- Tyngdetetthet
- Korngradering
- For leire:
 - Enaksial trykktest
 - Konus
 - Konsistensgrenser

OVERSIKT OVER HVILKE TILTAKSSTØRRELSER SOM UTLØSER KRAV OM UNDERSØKELSER OG VURDERINGER

Tiltak		Areal	Sedimentundersøkelser	Risiko-vurdering	Naturkartlegging
Utfylling	Små	<1 000 m ²	X		X
	Mellomstore	>1 000 m ² og <30 000 m ²	XX	(X)*	X
	Store	>30 000 m ²	XX	X (X)*	XX

* Krav til ytterligere undersøkelser dersom det blir behov for mudring

Tabell 5-3 Utdrag fra tabell 2-1 i ref. X. Oversikt over hvilke undersøkelser og vurderinger som utløses ved utfylling for etablering av molo, avhengig av størrelsen på tiltaket. Antall kryss angir i hvilken grad det er aktuelt å iverksette eller pålegge undersøkelser/vurdering. Ingen X = lite aktuelt, X = kan være aktuelt, XX = må gjennomføres.

I tillegg kan det gjennomføres spesialforsøk som ødometer og treaksialforsøk, for å få materialets deformasjons- og styrkeegenskaper. Dette benyttes videre i vurderinger av setninger og stabilitet. Omfanget av laboratorieprogrammet bør vurderes i samråd med geoteknisk konsulent.

Dersom det påtreffes tette masser som leire/silt, kan det være aktuelt å sette ned poretrykksmålere hvis et poreovertrykk vil være kritisk med tanke på utfyllingen. Dette vil da gi føringer for selve utfyllingsprosedyren.

En slik geoteknisk grunnundersøkelse, kan kombineres med akustiske og seismiske grunnundersøkelser. Dette er derimot lite aktuelt for moloer, da de ofte er meget kostbare, og bør således kun vurderes i spesielle tilfeller.

5.7 MILJØUNDERSØKELSER

5.7.1 Myndighetskrav

Miljødirektoratet har utarbeidet en egen veileder for håndtering av sjøbunnsedimenter. Veilederen presenterer saksgang, regelverk, utredningsbehov, planlegging, tiltaksgjennomføring og kontroll (ref. X).

Håndteringsveilederen legger opp til en skjønsmessig tilpasning av dokumentasjon og prosess ut fra omfang av tiltak, basert på areal og volum av sediment som berøres, se tabell 5-3.

Tabellen viser at det vil være aktuelt med sedimentundersøkelser i de fleste tilfellene. Krav til omfang av

undersøkelsene er beskrevet nærmere i ref. XI. Antall prøvestasjoner og analyser bestemmes ofte ut fra størrelsen på tiltaket, lokale forhold og evt. tidligere undersøkelser i området.

5.7.2 Klassifisering av miljøtilstand

Miljøtilstanden til sjøbunnsedimentene klassifiseres i henhold til Miljødirektoratets Klassifiseringsveileder M-608 | 2016. Klassifiseringssystemet er vist i tabell 5-4.

For nærmere beskrivelse mht. krav til Naturkartlegging vises det til kapittel 5.11.

Det er i hovedsak det bioaktive laget av sjøbunnen (0–10 cm) som skal undersøkes for innhold av miljøgifter. Dersom det er behov for mudring, for eksempel for å oppnå tilfredsstillende stabilitet, må forurensningsgraden til sedimentene undersøkes i hele mudringsintervallet ved uttak av kjerneprøver. Dette kan for eksempel utføres samtidig med de geotekniske undersøkelsene.

Som et minimum skal sedimentprøvene analyseres for innhold av arsen, bly, kadmium, kobber, krom, kvikksølv, nikkel og sink, enkeltforbindelsene i PAH₁₆ (polysykliske aromatiske hydrokarboner), enkeltkongene i PCB₇ (polyklorerte bifenyl) samt TBT (tributyltinn). Analysene skal utføres av laboratorium som er akkreditert for denne typen analyser.

I tillegg skal vanninnhold, kornstørrelse (grus, sand, silt (63 µm) og leire (2 µm)) samt totalt organisk karbon (TOC) bestemmes.

TILSTANDSKLASSE FOR SEDIMENT

I Bakgrunn	II God	III Moderat	IV Dårlig	V Svært dårlig
Bakgrunnsnivå	Ingen toksiske effekter	Kroniske effekter ved langtidseksponering	Akutt toksiske effekter ved korttidseksponering	Omfattende akutt toksiske effekter

Tabell 5-4 Klassifiseringssystemet for miljøtilstand i marine sedimenter (M608, se ref. XIII).

Prøvetakingsmetodikk og analyser er nærmere beskrevet i ref. XI.

Dersom det foreligger resultater fra tidligere miljøundersøkelser må det avklares med forurensningsmyndighetene om resultatene fremdeles er representative, eller om det stilles krav til nye undersøkelser.

5.7.3 Tildekking av forurenset sjøbunn

Dersom sjøbunnsedimentene i området hvor moloen skal etableres, inneholder miljøgifter over tilstandsklasse II¹ (ref. XIII og tabell 5-4), må avbøtende tiltak for å hindre spredning og transport av miljøgifter fra sedimentene til omgivelsene, vurderes. Dette gjelder utlekking og spredning både under og etter utfylling.

Et slik avbøtende tiltak kan for eksempel bestå i å legge ut et isolerende lag med rene masser for å hindre utlekking av miljøgifter samt å sørge for at gravende organismer ikke kommer i kontakt med de forurensete sjøbunnsedimentene under.

Myndighetene gir ingen generell forhåndsgodkjenning av tildekkingsmaterialer. Egnetheten må dokumenteres i hvert tilfelle i forbindelse med søknad om tillatelse til å gjennomføre molotiltaket.

Før valg av tildekkingsmaterialer må materialenes egnethet vurderes ut fra:

1. Forholdene på stedet der tildekkingen skal gjennomføres (se ref. X og ref. XII), som for eksempel sedimenttype, finstoffinnhold, forurensningstilstand, strømforhold, bunntopografi, naturtilstand og geoteknisk stabilitet (bæreevne og konsolideringsegenskaper med tanke på tildekkingsmaterialet).

2. Tildekkingsmaterialenes egenskaper (se ref. XI) med tanke på at tildekkingslaget skal redusere diffusjon av miljøgifter og utlekking som følge av bølger og vannstrøm (adveksjon), og hindre at bunnlevende organismer graver ned i de opprinnelige massene (bioturbasjon). Prosjektering av tildekkingslaget beskrives nærmere i kapittel 7.

5.8 ARKEOLOGISKE UNDERSØKELSER

Lov om kulturminner (Kulturminneloven) slår fast at kulturminner fra middelalder og bakover i tid (før 1537) automatisk er fredet. Skipsfunn defineres i kulturminnelovens §14 som «mer enn hundre år gamle båter, skipsskrog, tilbehør, last og annet som har vært om bord eller deler av slike ting».

Med bakgrunn i Kulturminneloven må det vurderes om det kan finnes kulturminner på stedet og om disse vil kunne bli berørt av tiltaket. Utfylling over sjøbunnen kan blant annet føre til fysisk ødeleggelse eller økt nedbrytning av kulturminner. Ved en utfylling for molobygging vil området bli utilgjengelig for senere undersøkelser av kulturminner. Fylkeskommunen, marinarkeolog og det sjøfartsmuseet som har forvaltningsansvar for det aktuelle distriktet, skal vurdere/undersøke området før tiltak iverksettes.

5.9 KARTGRUNNLAG

Utgangspunkt for angivelse av høyder på sjøbunn er dybde under sjøkartnull. Avstand mellom sjøkartnull og NN2000 eller annet nullpunkt for landkart fås oppgitt ved henvendelse til Kartverket. Orienterende informasjon kan finnes på sehavnivå.no, men dette er ikke nøyaktige høydeangivelser som skal benyttes til fastlegging av molonivå eller i mengdeoppgjør med entreprenører eller annet i anleggsprosjekter. Kartverket har satt ut bolter

¹ I klassifiseringsveilederen (M-608) er det kun oppgitt effektbaserte grenseverdier for TBT. Gjeldende praksis er at det fremdeles benyttes forvaltningsmessige grenseverdier for TBT (veileder TA-2229/2008, ref. XIV) ved tilstandsklassifisering av sjøbunnsedimenter.



Silda molo, Sogn og Fjordane

på en rekke steder på oppdrag for Kystverket. Boltene er innmålt både mht. plassering og høydeforskjell mellom sjøkartnull og bolt. Opplysninger om disse kan fås ved henvendelse til Kartverket, Sjødivisjonen.

Sjøkartene har i hovedsak sjøbunnnivå angitt i grid på 50 x 50 m. Dersom det fins tilgjengelige data, og det ikke trengs bedre oppløsning enn angitt, kan disse lastes ned direkte fra kartverket.no. Dersom det ønskes tettere med data enn dette, må det søkes Forsvaret om frigivelse av graderte (nivå «konfidensielt») data med opplysning om formålet med bruk av slike data og navn på firmaer/etater som skal benytte disse. Søknad sendes Kartverket.

Detaljerte kartdata fremskaffes så ved å kontakte Kartverket, Sjødivisjonen, se også kartverket.no for mer utfyllende informasjon om sjøbunnsdata, sjømålinger mv.

Dersom det ikke fins høyoppløselige data, må oppmåling foretas. Da er det viktig at målestyret og innmålingen følger Kartverkets standarder som «Generelle krav til organisasjoner som sjømåler», «Teknisk kravspesifikasjon for sjømåling» samt «Vilkår for godkjenning av organisasjoner som sjømåler».

Reglene for gradering er under revisjon. Det må derfor avklares hvilke regler som gjelder på aktuelt tidspunkt.

5.10 GRUNNRETTIGHETER OG EIENDOMSFORHOLD

Under planleggingen må det avklares hvem som har eiendomsrett til aktuell mologrunn. Det må også avklares om det fins andre rettigheter eller heftelser på aktuell grunn, eksempelvis om andre har bruksrettigheter som kan komme i konflikt med utbyggingsarbeidene.

Moloen blir i utgangspunktet en del av den grunn-eiendommen som moloen legges på, eller fylles ut fra. Hvordan grunneiendomsrettighetene knyttet til moloen skal håndteres, avhenger av hvordan de fremtidige eierrettighetene til molo og mologrunn skal være.

Dersom det er annen eier til mologrunnen enn den som skal være moloeier, må mologrunnen evt. fradeles og overskjøtes til fremtidig moloeier (dvs. som egen grunneiendom med eget gårds- og bruksnummer). I slike tilfeller bør det på et tidlig tidspunkt igangsettes en prosess med fradeling (evt. med foreløpig oppmåling) og overskjøting av mologrunnen til moloeier. Eiendomsoverføringen må tinglyses før byggingen påbegynnes dersom verdien av selve moloen ikke skal inngå i beregningsgrunnlaget for dokumentavgift. Hvordan denne prosessen gjennomføres, herunder evt. endelig oppmåling etter ferdigstilling av utbyggingen, avklares med aktuell kommune i det enkelte tilfelle. Videre må det avklares om det er nødvendig å etablere andre eiendomsrettigheter på berørte grunneiendommer. Dette kan eksempelvis gjelde begrensede rettigheter som adkomstrettigheter, bruksrettigheter for å kunne



Kabelvåg molo. Foto: Kystverket

utføre anleggs- og vedlikeholdsarbeider etc. Dersom mologrunnen fradeles og overføres moloeier, må det også vurderes om det er slike rettighetsbehov på resteiendommen som mologrunnen skiller ut fra. Avtaler om slike rettigheter inngås skriftlig med aktuelle grunneiere og tinglyses med moloeiendommen som rettighetshaver.

Molobygger, fremtidig eier av moloen og moloforvalter bør avklare hvor stor rådighet som er nødvendig for fremtidig drift og vedlikehold, både av molo og evt. navigasjonsinstallasjoner montert på denne, samt for å sikre at fremtidig bruk ikke kommer i konflikt med moloens funksjon. Andre aktuelle rettigheter kan være adkomst for inspeksjon og vedlikehold, tilgang på steinmasser (blokk, filter- og kjernemasse) og mulighet til strømtilførsel til navigasjonsinstallasjoner. Også slike rettigheter må måles inn og koordinatfestes.

5.11 NATURMANGFOLD

Naturmangfoldloven (NML) slår fast at enhver skal opptre aktsomt og gjøre det som er rimelig for å unngå skade på naturmangfoldet.

Ved gjennomføring av tiltak skal spesielt §§8–12 i NML vurderes. Disse bestemmelsene omtaler kunnskapsgrunnlaget (§8), «føre-var-prinsippet» (§9), samlet belastning (§10), at kostnadene ved miljøforringelse skal

bæres av tiltakshaver (§11) og miljøforsvarlige teknikker og driftsmetoder (§12). Et godt hjelpemiddel i disse vurderingene vil være Miljødirektoratets Veileder for naturmangfoldloven kap. II.

Naturmangfold omfatter biologisk-, landskapsmessig- og geologisk mangfold. Biologisk mangfold omfatter alt mangfold av arter (dyr og planter), naturtyper og økosystem. Arealendring er den største trusselen mot det biologiske mangfoldet. Kunnskapsinnhenting, kartlegging og overvåkning er svært viktig for å ha et godt nok grunnlag for planlegging og gjennomføring av tiltak på en måte som ikke påvirker det biologiske mangfoldet negativt.

Informasjon i artsdatabankens rødliste for arter skal innhentes ved inngrep som vil påvirke eller endre habitater. Dette må gjøres for å avklare om tiltaket vil kunne ha en negativ påvirkning på artsmangfoldet og sårbare arter. Spesielt omtales prioriterte arter i sjø. Dvergålegras (*Zostera noltei*) er sterkt truet og utpekt som prioritert art (2015). Alle former for uttak eller skade på dvergålegras er forbudt. Unntak gjøres kun etter søknad til Fylkesmannen.

Artsdatabanken omtaler også svartlistede arter. Dette er fremmede arter som det må sikres at tiltaket ikke medfører spredning av.

Ellers må det avklares om tiltaket vil påvirke:

- Gyte- og oppvekstområder for fisk
- Naturreservater
- Fuglereservater
- Inngrepsfrie områder (INON)
Inngrepsfrie områder er av Miljødirektoratet definert som områder som ligger en kilometer eller mer (i luftlinje) unna tyngre tekniske inngrep (se miljødirektoratet.no).

Følgende naturtyper og nøkkelområder bør kartlegges spesielt i forbindelse med et tiltak, dersom det ikke allerede er kartlagt av Miljødirektoratet og registrert i naturbase.no:

- Større tareforekomster
- Sterke tidevannsstrømmer
- Fjorder med naturlig lavt oksygeninnhold i bunnvannet
- Spesielt dype fjorder
- Poller
- Littoralbassenger
- Israndavsetning
- Bløtbunnsområder
- Korallforekomster
- Ålegressenger
- Østersforekomster
- Skjellsand
- Større kamskjellforekomster
- Løstsittende kalkalger
- Gyteområder (torsk)

Slik kartlegging utføres for eksempel med ROV eller dykker med videokamera. Hvis den innledende kartleggingen viser at det er sårbare områder/arter som kan bli berørt av tiltaket, må konsekvensene ved anleggsarbeidet risikovurderes før detaljplanen fastlegges.

Som en del av denne kartleggingen av naturmangfold, er også viktige næringsinteresser som er nært knyttet til naturmangfoldet i området, viktig å få registrert. Her er spesielt relevant å få kartlagt fiskeriinteressene i området, spesielt viktige fiskeplasser og akvakulturanlegg. Lokale fiskarlag er gode informanter i denne sammenheng.

Informasjon om naturforhold og naturtyper kan innhentes fra Naturbase (www.naturbase.no), fiskerirelaterte forhold innhentes fra Yggdrasil (Fiskeridirektoratets

kartløsning), annen kystrelatert informasjon finnes på Kystinfo (Kystverkets kartløsning). Områder med viktige naturverninteresser kan være foreslått vernet eller allerede være vernet. Her har kommunen eller fylkesmannen nødvendig informasjon.

5.12 VANNMILJØ

EUs vanddirektiv gir føringer for at vannmiljøet i hele Europa skal forbedres. Vanddirektivet gjelder alt ferskvann, grunnvann og kystvann. Målsettingen er å forbedre vannkvaliteten og det fysiske vannmiljøet, herunder livsgrunnlaget for dyr og planter som lever i vann.

I Norge er prinsippene i EU-direktivet nedfelt i forskrift om rammer for vannforvaltningen (vannforskriften). Formålet med vannforskriften er å sikre en mest mulig helhetlig beskyttelse og bærekraftig bruk av vannressursene våre.

Vannforskriften gjelder for alt overflatevann, elver, bekker, innsjøer, kystvann og grunnvann og setter krav til medvirkning i faglige vurderinger, beslutninger og gjennomføring av tiltak for å oppnå god miljøtilstand i vannforekomsten.

Følgende miljømål gjelder for overflatevann (vannforskriftens §4):

- Tilstanden i overflatevann skal:
 - Beskyttes mot forringelse
 - Forbedres og gjenopprettes
 - Inneha minst god økologisk og god kjemisk tilstand.
- Kunstige og sterkt modifiserte vannforekomster (SMVF)
 - Beskyttes mot forringelse
 - Forbedres
 - Inneha minst godt økologisk potensial (GØP) og god kjemisk tilstand

I planleggingsfasen må alle tiltak vurderes med hensyn til påvirkning av økologisk og kjemisk tilstand i henhold til vannforskriften. Dette gjøres ved å undersøke om det finnes informasjon om tilstanden i vannforekomsten som må tas hensyn til i planleggingen av tiltaket. Alle kommuner er gjennom vannforskriften pålagt å utføre kartlegging av tilstanden i vannforekomstene i kommunens område.

Ovennevnte informasjon benyttes også til å vurdere om tiltaket etter utført planlegging fortsatt vil kunne

førre vannkvaliteten og få negative konsekvenser for vannforekomsten slik at avbøtende tiltak må iverksettes.

Dersom det ikke foreligger informasjon om eller tidligere undersøkelser av vannforekomsten, må det vurderes om tiltaket er av en slik grad at det kan medføre endringer av vannforekomsten. Hvis dette er tilfellet, bør det gjennomføres undersøkelser for å få en bedre oversikt og kunne planlegge passende avbøtende tiltak.

Miljødata som skal danne grunnlag for planlegging og gjennomføring av tiltak for å sikre god miljøtilstand i vannforekomsten under og etter tiltak er tilgjengelig i Vann-nett (<http://vann-nett.no/portal/>).

5.13 OVERVÅKING

Tiltak i sjø-, brakk- og ferskvann kan føre til oppvirvling og spredning av sedimentpartikler som kan medføre forurensning dersom miljøgifter er bundet til partiklene. I tillegg kan oppvirvling av sedimenter eller tilførsel av masser føre til skader på naturverdier som følge av nedslamming, uavhengig av om partiklene er forurenset eller ikke. Nedslamming er for eksempel skadelig for ålegress, gyteområder for fisk samt kan gi skade på fiskens gjeller. Utyllingstiltak i områder med naturverdier vil av den grunn kunne utløse krav om tillatelse til tiltak fra miljømyndighetene selv om sjøbunnsedimentene er rene.

I denne fasen er det derfor viktig å benytte informasjonen innhentet i samsvar med ovenstående kapitler til å skaffe seg oversikt over behovet for overvåking i forbindelse med tiltaket, både før, under og etter anleggsarbeidene. Det anbefales at det som en del av planleggingsarbeidet utarbeides forslag til overvåkingsprogram.

Som grunnlag for et slikt program må det samles inn bakgrunnsinformasjon om tiltaksområdet og områdene omkring som står i en sammenheng med tiltaksområdet, for å planlegge overvåkingen. En slik datainnsamling kan for eksempel bestå i å kartlegge dominerende strømretning, strømhastighet, strømvariasjon, ferskvannstilførsel, tidevannspåvirkning og turbiditet.

Det mest aktuelle tiltaket i overvåkingen av anleggsarbeidene, er måling av turbiditet. Det foretas ved hjelp av turbiditetsmålere som plasseres slik at de registrerer oppvirvling og spredning av sedimentpartikler. Turbiditetsovervåkingen anbefales planlagt og utført i henhold til prosedyrer gitt i NS 9433:2017

«Turbiditetsovervåking av tiltak i vannforekomster». Bakgrunnsinformasjonen benyttes for å vurdere best mulig plassering av turbiditetsmålere og bestemmelse av grenseverdi for akseptabel turbiditet i vannmassene.

Det bør også vurderes om naturtypene i området og tiltakets påvirkning av disse skal overvåkes og på hvilken måte.

Tiltakshaver er ansvarlig for planlegging og gjennomføring av tiltak og overvåking, og må sikre at tiltaket gjennomføres i henhold til lover og annet regelverk samt gjeldende tillatelser. I tillatelsen fra miljømyndighetene kan det bli stilt konkrete krav til overvåkingen dersom det ikke allerede foreligger en overvåkingsplan som en del av søknaden om tillatelse. For å sikre en stedstilpasset og effektiv overvåking, anbefales derfor at tiltakshaver utarbeider et forslag som en del av planlegging av tiltaket og utforming av søknaden.

5.14 AVBØTENDE TILTAK

Utredningene som gjennomføres i planfasen, spesielt konsekvensutredning av naturmangfold og vannmiljø, inneholder ofte anbefalinger om hvilke avbøtende tiltak som bør gjennomføres for å minimere negative konsekvenser av etablering av molokonstruksjonen for natur og miljø i området. Dette kan omfatte spesiell overvåking av anleggsarbeidene, skjerming av anleggsområdet eller av sårbare områder dersom disse er lokale som nevnt ovenfor.

Dersom utredningene i planfasen angir avbøtende tiltak som berører plassering og utforming av den planlagte konstruksjonen for at denne så langt som mulig ikke skal medføre endring av den økologiske tilstanden i den aktuelle vannforekomsten, må slike tiltak tas hensyn til i prosjekteringen før endelig utforming og plassering fastlegges.

For å forenkle lesbarheten og øke tydeligheten, anbefales at det sammenfattes en oversikt over alle avbøtende tiltak som skal gjennomføres. Slik oversikt anbefales tatt inn i søknader til offentlige myndigheter, evt. også i reguleringsplan for tiltaket. Videre anbefales at ytelser som ønskes utført av eksterne (rådgivere, entreprenør, målefirma etc.), innarbeides i konkurransegrunnlag, kontrakter eller andre avtaler slik at gjennomføringen av avbøtende tiltak sikres.



Ballstad, Nordland. Foto: Jorun Karlsen

6. PLASSERING OG HAVNEPLAN

6.1 PLANLEGGINGSPROSEDYRE

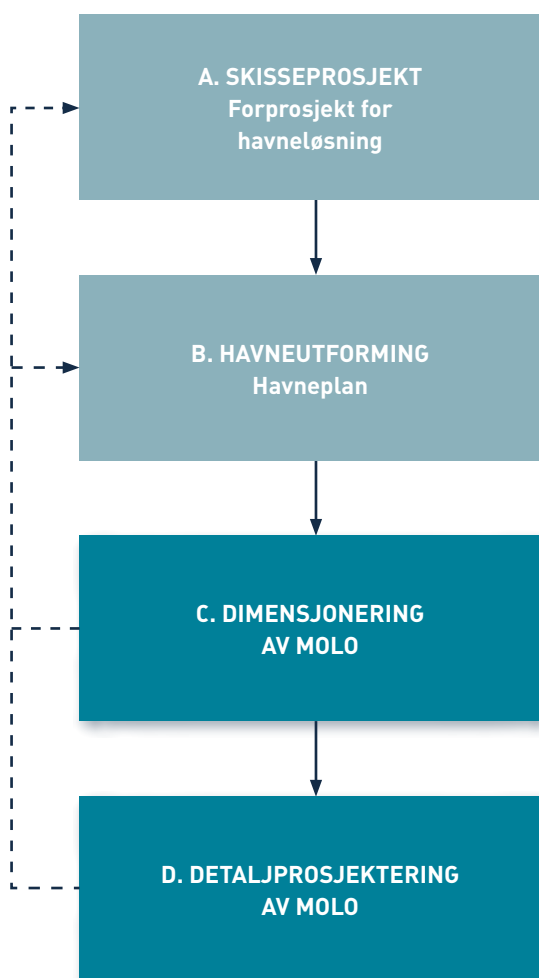
Behovet for en molo kan ha flere forskjellige årsaker, men den begrunnelsen som oftest er angitt, er et behov for en forbedring av havneforhold ved en utvalgt kai eller et kaiområde. De forhold som ønskes forbedret kan ha sin årsak i en av følgende typer belastninger/problemer.

1. Bølger; der en skiller mellom 3 ulike typer bølger:
 - a. havbølger og dønning, dvs. bølger som er dannet ute i havet og kommer inn til havna eller moloen som delvis dempet dønning.
 - b. lokale fjordvindbølger, som eksempelvis er dannet av lokal vind i et fjordområde som ligger utenfor havna, men som ikke strekker seg ut til havet.
 - c. lokale havnebølger, som er dannet inne i havnebassenget av lokal vind.
2. Bassengsvingninger, ofte kalt langperiodiske bølger eller drag («seiching» på engelsk), som er et fenomen der et delvis lukket basseng får resonante svingninger, der bassenget oftest vil fylles av $\frac{1}{4}$ eller $\frac{1}{2}$ bølgelengde.
3. Strøm fra tidevann eller fra elver.
4. Is, gjerne i form av drivende isflak eller issørpe som man søker å holde utenfor havna.
5. Elvetilstrømming, som gir problemer når ferskt overflatevann føres inn i havna og fryser om vinteren.

Andre grunner for å bygge en molo eller mololignende konstruksjon kan være behov for en pir, vegfylling, industriområde på oppfylt grunn, brufundament, fylling for beskyttelse mot skipsstøt, etc. Alle disse konstruksjonene kan modelleres om en molo, og dimensjoneres på samme måte.

I denne håndboka antar vi på generelt grunnlag at motivasjonen for å bygge en molo er å bygge eller forbedre ei havn. Prosessen for å komme fram til en detaljprosjektering av en molo er vist i figur 6-1. Denne figuren er ikke komplett, men viser kun deler av en fullstendig prosess.

- A. Man starter gjerne med et *Skisseprosjekt og/eller et forprosjekt* som vil beskrive en problemstilling og ulike metoder for å komme fram til en ønsket løsning. I denne fasen inngår en vurdering av realismen i de ulike løsningene, slik som om det er teknisk og økonomisk realiserbart å bygge en molo på det stedet man tror den vil ha en god effekt. Her kommer begrensninger som grunnforhold, eiendomsforhold, bølgehøyder, vedtatte reguleringer, plass til manøvrering, nødvendige investeringer, osv, inn.
- B. I fasen *Havneutforming/Havneplan* vil en konsentrere seg om de alternativene som totalt sett er gjennomførbare teknisk og økonomisk, og som gir den ønskede effekt. Her vil man bruke metoder og verktøy som f.eks. numeriske bølgemodeller som viser hvordan bølgene forplanter seg inne i havna og estimerer på andel av tida der en kai vil være operativ. Denne fasen vil konkludere med en anbefalt løsning der man beskriver hvor en eventuell ny molo skal ligge og hvor lang den må være for å gi ønsket effekt.
- C. I *Dimensjoneringsfasen* skal man dimensjonere moloen, dvs finne de geometriske mål på moloen (høyde, bredde), blokkstørrelser, filterstørrelser, etc. For å



Figur 6-1 Standard prosedyre for den delen av aktivitetene som fører fram til detaljplan for moloer.

kunne finne disse data, er det nødvendig å ha et sett med dimensjoneringskriterier og funksjonskriterier, som f.eks.

- skal det tillates trafikk på toppen av moloen?
- er det tillatt med overskylling av moloen under ekstreme stormer?

D. I fasen *Detaljprosjektering av molo* skal det lages detaljerte tegninger og beskrivelser av moloen, som f.eks. med typiske snitt for hver 10. m. Det skal også utføres volumberegninger av de ulike massetypene, slik at en entreprenør kan beregne en kostnad.

I utgangspunktet antar vi at dette foregår i en lineær prosess, dvs. fra Fase A til Fase D. Det vil si at når Fase C starter er det bestemt hvor moloen skal ligge og hvor lang den skal være. På dette tidspunkt skal alle forhold som påvirker valget av moloen være avklart. Det gjelder f.eks. grunnforhold, tilgjengelighet av steinblokker, reguleringsplaner, osv. Bare unntaksvis skal man kunne gå bakover i prosessen med et problem i Fase C eller D som krever at man gjentar prosessene i Fase A eller B, markert med stiplede linjer i figur 6-1.

I dette kapitlet gis det en kort innføring i temaene i Fase A og B. Behandlingen i dette kapitlet er ikke komplett, og det henvises til andre publikasjoner og bøker om dette temaet for en fullstendig beskrivelse.

6.2 BØLGER I HAVNER

De bølgene som opptrer inne i ei havn er viktige for:

- vurderingen av egnethet av f.eks. ei kai eller kaiområde
- dimensjonering av konstruksjoner inn i havna (kaier, bygninger, etc.)

For å bedømme effekten av bølger inne i ei havn brukes i dag oftest numeriske modeller med faseoppløsning, dvs. modeller som viser individuelle bølger og hvordan de forplanter seg inn i havna (den andre typen modeller er spektrale modeller, som viser bare statistiske verdier i hvert punkt, som f.eks. signifikant bølgehøyde, middel retning osv. Denne typen modeller brukes gjerne over større områder). For nærmere omtale av ulike typer modeller, se kap. 5.4.2.

Figur 6-2 viser et eksempel på en slik modell fra ei norsk havn (Skjervøy) der havbølger kommer inn fra nordøst mot en moloåpning som er ca. 200 m bred (tilpasset anløp av Hurtigruta). Bølgelengden i åpent farvann er ca. 250 m, hvilket tilsier en bølgeperiode på ca. 12,5 s. I bildet ser vi at

bølgene treffer skrått på moloåpningen, og noe av bølgeenergien går rett fram mot den indre delen av havna.

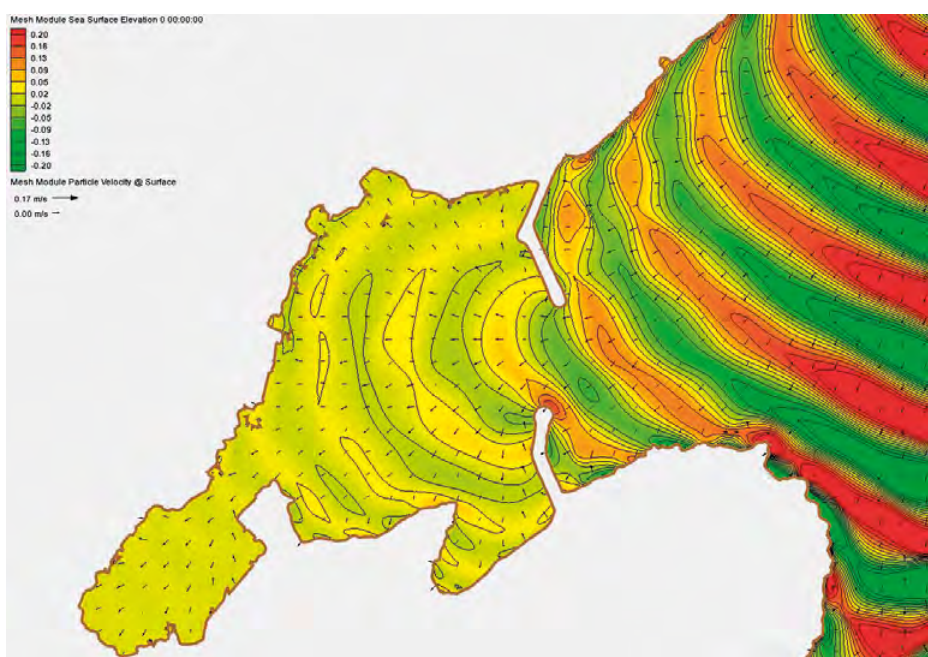
Rundt hvert molohode (enden av moloen) ser vi imidlertid at bølgene dreier rundt hodet og fortsetter innover parallelt med innsiden av moloen, med en ny retning som er ca. 90° på den retningen bølgene hadde utenfor havna. Denne effekten er en kombinasjon av to fysiske fenomen som styrer bølgebevegelsen:

1. En lineær refraksjonseffekt som sier at en bølge forplanter seg fortere på dypt vann enn på grunt vann. Moloen er en relativt stor konstruksjon, og de bølgene som er nærmest moloen vil bremses, mens de som er lengre bort og dermed på dypere vann vil gå fortere. Dermed vil bølgene svinge rundt molohodet.
2. En ikke-lineær effekt som kalles diffraksjon. Diffraksjon kan sammenlignes med en prosess der bølgene treffer nær molohodet, og de bølgene som passerer gjennom åpningen vil da begynne å «flyte utover» på innsiden av moloen. Resultatet er at bølgeenergi vil forplante seg langs bølgekammen og på tvers av bølgens forplantningsretning, og få den samme bevegelsen rundt molohodet som for vanlig, lineær refraksjon. I vanlig bølge teori antar man at bølgeenergien bare forplanter seg vinkelrett på bølgekammen, og derfor betegnes dette fenomenet som ikke-lineært.

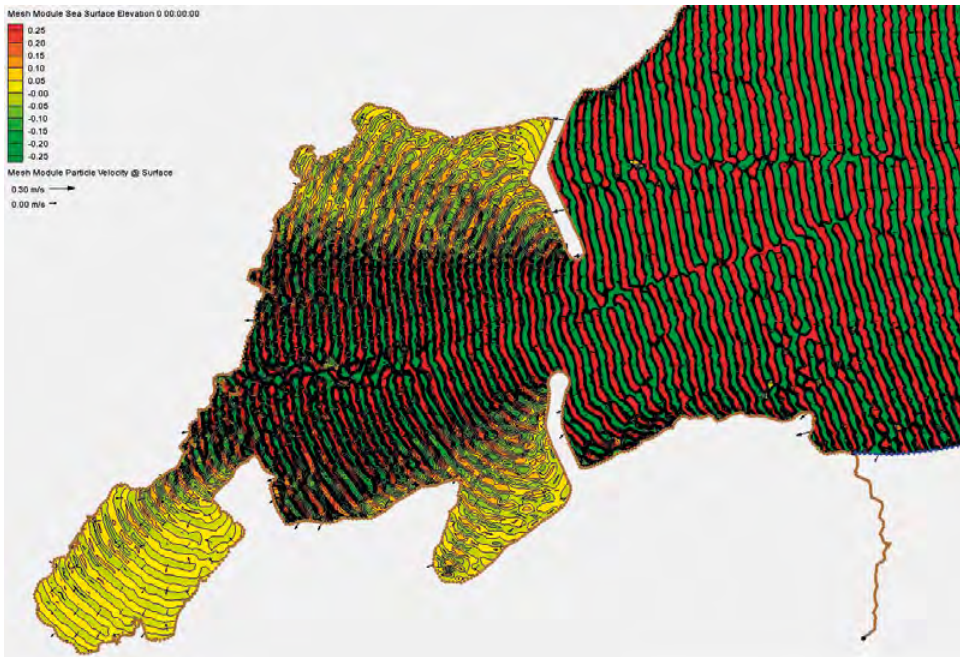
Resultatet av disse to prosessene er at bølgene har en tendens til å runde molohodet og spre seg innover på innsiden. Dette fører naturligvis til at vi får inn bølger der man normalt ville tro at det var god skjerming, men samtidig fører det også til at den bølgeenergien som slipper inn gjennom åpningen også sprer seg over et større område, og at bølgehøyden da blir mindre.

Refraksjonseffekten øker med økende bølgeperiode og bølgelengde. Lange havbølger vil være påvirket av bølger dypt nede, mens korte vindbølger bare er påvirket bunnen i de øvre lag. Dette kan sees ved å sammenligne figur 6-2 med figur 6-3, der den siste viser hvordan korte vindbølger fra øst forplanter seg inn i havna. Vindbølgene er påvirket av refraksjon bare svært nær moloen, og bølgene har en mye større tendens til å gå rett fram. Forskjellen mellom de to figurene skyldes også den ulike innfallsretningen mot moloene, men vi ser at bølgehøyden av vindbølgene er tilnærmet den samme utenfor havna og i et parti midt i havna, mens dønningen er redusert til ubetydelige verdier.

Man kan sammenlikne et bilde som fremkommer som resultat fra numerisk beregning av vindbølger, som i figur 6-3, med et flyfoto av samme område etter utbygging. Her er vist eksempel på et slikt bilde i figur 6-4 for Hasvik havn. Selv om det er forskjellige havner, kan vi se klare likhetstrekk mellom de to bildene.



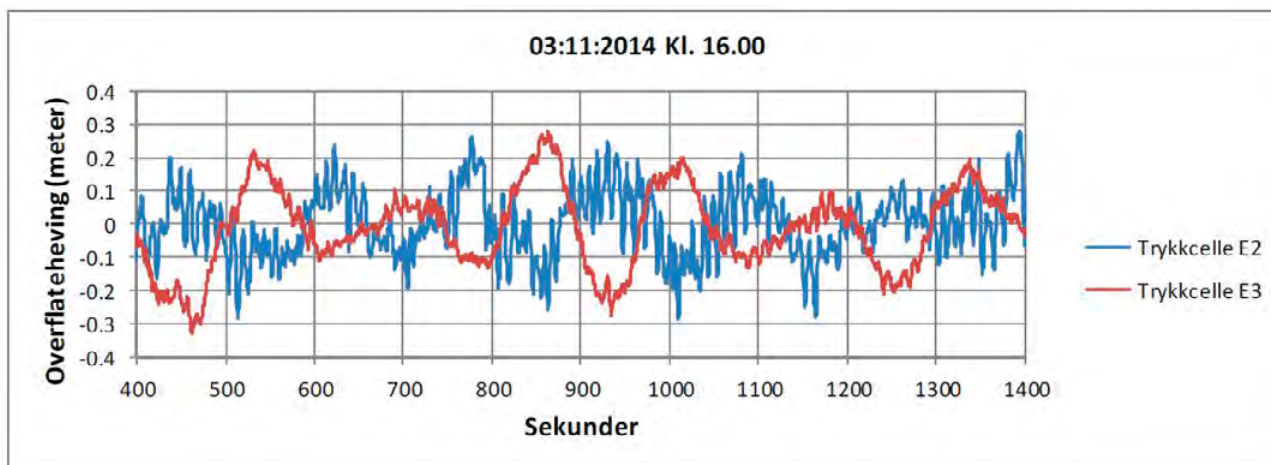
Figur 6-2
Øyeblikksbilde av havbølger med periode $T_p = 12,5$ s inn mot Skjervøy havn beregnet vha Mild Slope-modell. Bølgetopp er rød, og bølgedal er grønn. (Norconsult).



Figur 6-3
Øyeblikksbilde av vindbølger med periode $T_p = 4,0$ s inn mot Skjervøy havn beregnet ved Mild Slope-modell. Bølgetopp er rød, og bølgedal er grønn. (Norconsult).



Figur 6-4
Flyfoto av Hasvik havn som viser vindbølger fra SV som kommer inn mot havna. Bølgene er korte, og påvirkes lite av bunnen rundt moloen.



Figur 6-5 Målinger av langperiodiske bølger i Andenes (SINTEF).

6.3 LANGE BØLGER OG BASSENGSVINGNINGER

Bassengsvingninger (lange bølger, drag, «seiching») er et fenomen som forekommer i delvis lukkede bassenger som kan være et havnebasseng, ei bukt/vik, eller i noen tilfeller hele fjorder. Prinsippet er at hele bassenget kommer i en resonant svingning, og hvis det tilføres energi utenfra av bølger, uten at energien slipper ut, så kan svingningene blir meget store. Det er kjent langs hele kysten at i ekstreme tilfeller kan vannstanden innerst i ei bukt variere med opptil 1,5–2,0 m, oftest med perioder fra 50 s til 3–4 minutter. Figur 6-5 viser utskrift fra en måleserie fra to målere i Andenes, der vi ser at havna svinger med en periode på ca. 150 s og de to målerne som er vist, er i motfase, dvs at når den ene er på topp, så er den andre på bunn. Vannstanden ved målerne kan gå fra - 0,3 m til + 0,3 m i løpet av noen minutter. Denne typen bevegelse gir opphav til pendlende strømmer inne i havna, som igjen fører til at fortøyde skip og båter ligger og rykker i fortøyningene, og at den vertikale avstanden mellom kai og skip varierer sterkt. I verste fall kan det også medføre at dybden ved kai blir for liten.

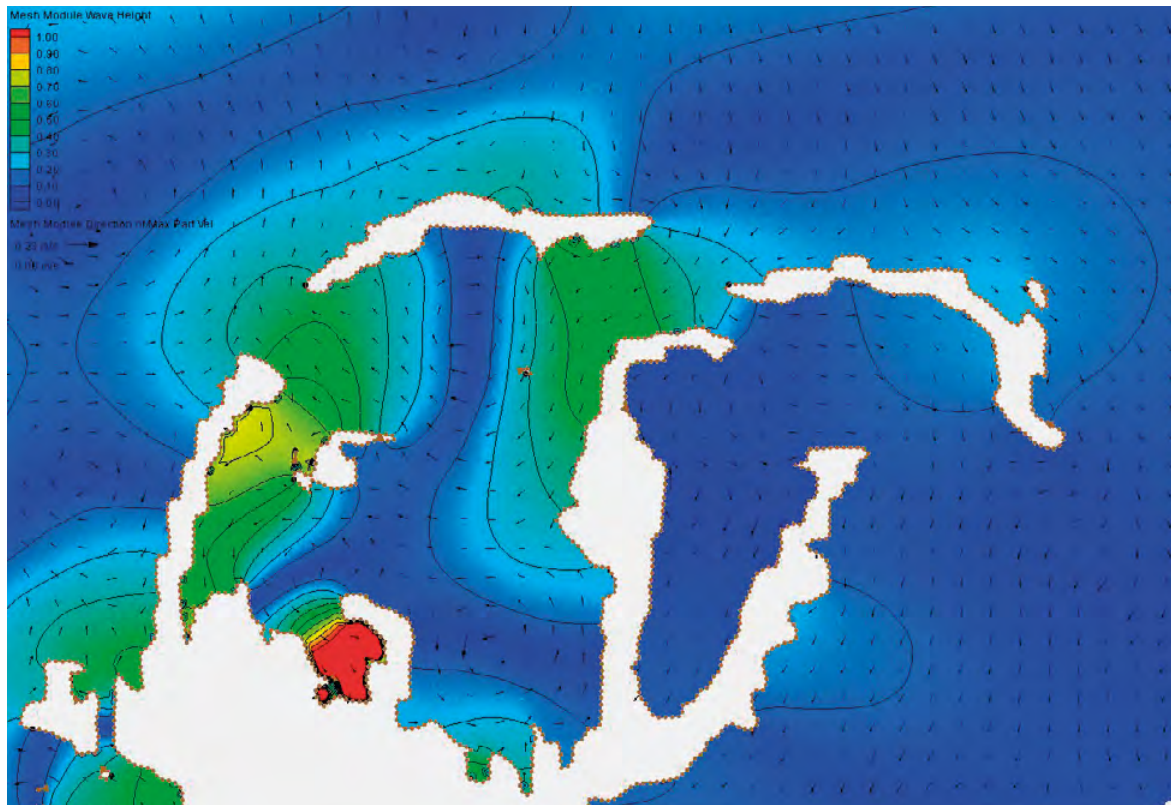
Når man planlegger en havneløsning, må man være oppmerksom på at slike svingninger enten kan være til stede, eller at man i verste fall kan risikere å skape et slikt problem ved plassering av moloer.

Figur 6-6 viser en numerisk modellering av havna i Andenes med 120 s periode slik havna er i dag. Brukerne av havna opplyser at de er utsatt for drag, spesielt i den vestre delen av havna. Dette ser vi på figur 6-6, markert ved de områdene som er gule og grønne (store vertikale bevegelser), og de områdene som er røde (ekstreme utslag).

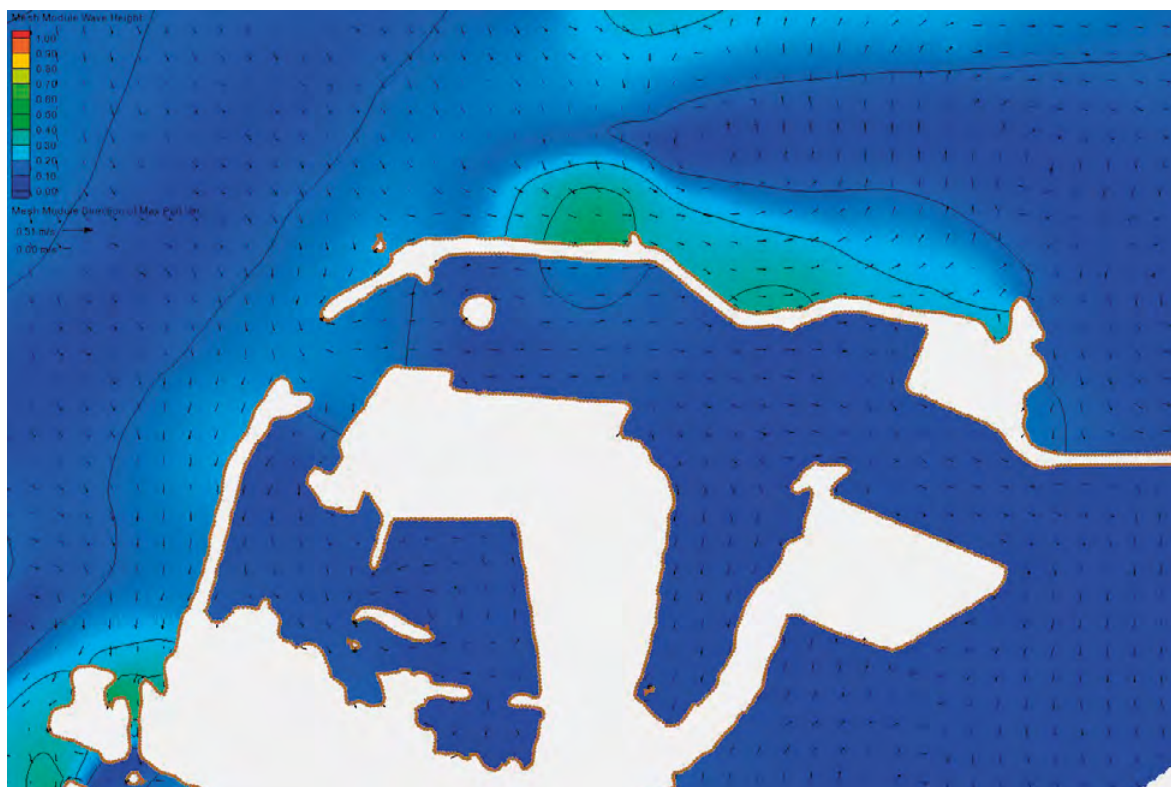
Det er forslag om å utvide og endre havna i Andenes, og en viktig del av oppgaven er å sørge for at dagens svingemønster fjernes, og at det ikke oppstår nye. Figur 6-7 viser et utkast til ny havneplan for Andenes, også ved 120 s periode. Vi ser at de store utslagene nå er borte, og det har skjedd ved å innføre nye arealer i havna, men også ved å introdusere noen mindre moloer inn i havna som har til hensikt å bryte opp svingemønsteret.

Der hvor man vet eller har en mistanke om at slike svingninger finnes eller kan oppstå, er det meget viktig å undersøke hvordan en ny molo kan påvirke svingemønsteret. I verste fall kan man risikere å introdusere et problem som ikke har vært der før.

Det beste verktøyet for å undersøke dette på, er fase-oppløste numeriske modeller som vist i figur 6-6 og figur 6-7. Fysiske modeller i laboratorium har vært benyttet tidligere, men slike modeller vil ikke alltid gi korrekt svar.



Figur 6-6 Langperiodisk svingning med 120 s periode i Andenes, eksisterende. (Norconsult).



Figur 6-7 Langperiodisk svingning med 120 s periode i Andenes, Alternativ 9. (Norconsult).

6.4 STRØM

Strøm vil kun i ekstreme tilfeller utgjøre en dimensjonerende kraft på en molo. En molo kan likevel påvirke strømforholdene i ei havn eller nærliggende områder. Slik endring i strømmen kan føre til økte strømhastigheter med påfølgende økt erosjon, eller til reduserte strømhastigheter og dårligere vannkvalitet, evt også akkumulasjon av sedimenter.

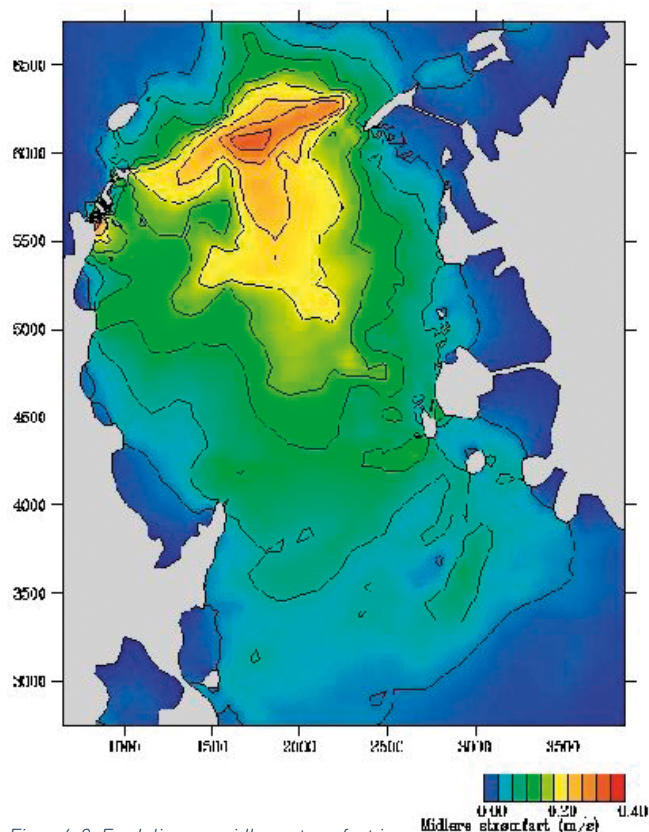
Målinger av strømmen før en molo bygges kan være et aktuelt tiltak, og slike målinger kan være nødvendige for å oppfylle andre krav til undersøkelser. Dersom man utfører målinger, kan måleperioden være ca. 35 døgn eller lengre. En lengde på 35 døgn sikrer at man får observert i en hel månesyklus, og man kan dermed få kvantifisert den dominerende og viktigste driveren for tidevannet, nemlig månen.

Målinger på stedet vil gi informasjon om forholdene slik de er før utbyggingen, men de kan også gi verdifull informasjon om mekanismer, strøm-mønster, osv.

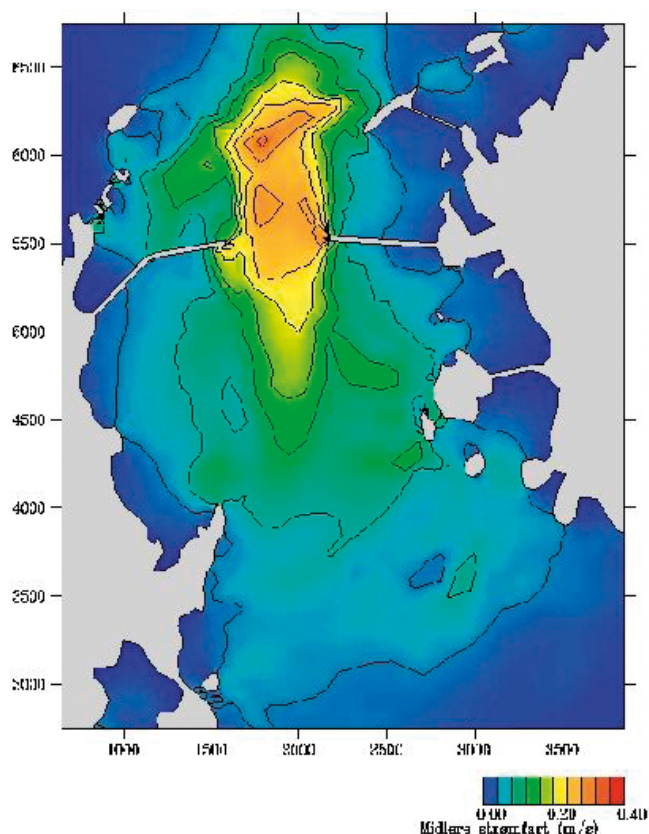
Dersom man vurderer at en moloutbygging kan gi endrede strømforhold som er av betydning for vannkvalitet, erosjon/akkumulasjon eller andre viktige interesser, bør det utføres en numerisk modellering av strømmen. I noen tilfeller kan det være tilstrekkelig å lage en lokal modell som viser bare det aktuelle området, men i de fleste tilfellene er strømmen koblet til sirkulasjonen i havet, og i de tilfellene må en starte med en større modell av Nord-Atlanteren og arbeide seg nedover i stadig bedre romlig oppløsning til er nede på molostedet.

Figur 6-8 og figur 6-9 viser et tilfelle fra Kråkvågsvaet mellom øyene Kråkvåg og Storfosna ved munningen av Trondheimsfjorden. Her var ønsket å bygge en bruforbindelse med en fylling/molo fra begge sider og ei bru i midten. Fordi sundet er del av et naturreservat, var det viktig å bygge slik at betingelsene for fisk og fugl langs stredene på begge sider ble mest mulig uberørt. Modellen som ble laget (av SINTEF) viste fordelingen av strømhastigheten i sundet før og etter bygging av hvert alternativ. I figur 6-9 er det nordlige alternativet vist.

Se også omtale av strømmens effekt på molokroppen i kapittel 5.2.



Figur 6-8 Fordeling av midlere strømfart i Kråkvågsvaet, eksisterende (SINTEF).



Figur 6-9 Fordeling av midlere strømfart i Kråkvågsvaet, nordlig alternativ (SINTEF).

ANGREPSRETNING PÅ FARTØY	BØLGEPERIODE T_p (s)	RETURPERIODE / FREKVENS		
		50 år	1 år	Ukentlig
Rett forut	$T_p < 2,0$		0,31	0,30
	$2 < T_p < 6,0$	0,61	0,30	0,15
	$6,0 < T_p$	0,61	0,30	0,15
Fra siden	$T_p < 2,0$		0,30	0,30
	$2 < T_p < 6,0$	0,23	0,15	0,08
	$6,0 < T_p$	0,23	0,15	0,08

Tabell 6-1 Maksimalverdier for signifikant bølgehøyde i en småbåthavn, etter ref. XXI.

	ANGREP FRA SIDEN	ANGREP FORUT/AKTER		
	Bølgeperiode T_p s	Sign. Bølgehøyde m	Bølgeperiode T_p (s)	Sign. Bølgehøyde m
Båtlengde 4–10 m	$T_p < 2,0$	0,20	$T_p < 2,0$	0,20
	$2,0 < T_p < 4,0$	0,10	$2,0 < T_p < 4,0$	0,15
	$T_p > 4,0$	0,15	$T_p > 4,0$	0,20

Tabell 6-2 Maksimalverdier for signifikant bølgehøyde i en småbåthavn, se ref XXI. De angitte verdiene kan inntreffe en eller noen få ganger pr år.

	HAVBØLGER OG DØNNING	LOKAL VINDSJØ
Spektral topp-periode T_p	10–18 s	2–6 s
Maksimal H_s med 1 år returperiode	0,5 m	0,7 m

Tabell 6-3 Veiledende kriterier for kaiforhold for skip med lengde 50–120 m.

6.5 KRITERIER

Kriterier for gode havneløsninger er vanskelige å definere, og vil variere avhengig av type havn, type og størrelse av båter/skip og bruken av havna (døgnkontinuerlige kaioperasjoner, liggehavn, sporadisk bruk, etc.). For de fleste havner er det tilstrekkelig å vurdere bølgehøyden ved kai for å bestemme kvaliteten på havna. For større anlegg (kaier for større tankskip og containerskip) bør man i tillegg utføre analyser som angir skipets bevegelser ved kai, fenderkrefter og fortøyningskrefter.

Mindre båter (fritidsbåter, fiskebåter av sjarkstørrelse) har generelt lav tålegrense for bølger. Det skyldes delvis at disse fartøyene er korte, og ruller lett i bølgene, men også at det vil være risikabelt å bevege seg mellom båt og kai når det er store bevegelser i båten. PIANC (se ref. XXI) har angitt noen veiledende verdier for småbåthavner. I Norge er det vanlig å benytte noe høyere verdier (inntil 20 % over PIANC-verdiene) med den begrunnelse at vi antar at befolkningen i Norge generelt er noe mer tilvennet utfordrende vær langs kysten enn befolkningen i Sentral-Europa.

For større båter (fiskefartøy med størrelse som tråler/snurper, brønnbåter og båter opp til størrelse som Hurtigrutas skip) er kravene mer uklare, og en klar kobling mellom kaikvalitet og bølgehøyder er vanskelig å definere. I et tilfelle der det ikke kan utføres detaljerte analyser for et bestemt skip, kan veiledende verdier fra tabell 6-3 brukes.

6.6 LANDSKAPSFORMING

6.6.1 Generelt om landskapsforming

Moloens innvirkning på landskapets form har tradisjonelt sett ikke hatt stort fokus når en molo bygges. Dette har vært situasjonen til tross for at en molo er et stort,

irreversibelt tiltak som er godt synlig i landskapet. Mange eldre moloer oppleves imidlertid som naturlige fortsettelser av landformer, bygget med lokal stein, godt forankret og tilpasset det eksisterende landskapet. Det kan være heldige bivirkninger på grunn av kostnader, valgt byggemetode og hvor de grunneste områdene er.

I dag finnes det større variasjon i utforming og det er ikke nødvendigvis lokal stein som er best egnet eller billigst. Dersom en ny molo skal tilpasses landskapet på en god måte, krever det en viss forståelse av landskapet. Hvordan moloen utformes og tilpasses landskapet den skal være en del av, vil være avgjørende for landskapsbildets visuelle harmoni. Ved planlegging av en ny molo kan derfor utredning av landskapsbildet være aktuelt og gi nyttige bidrag til moloens utforming.

6.6.2 Molo som stort landskapselement

Elementer som kan være relevante for moloens landskapsforming:

- Landskapselement. Moloen stikker alltid opp av det lavereliggende havet, med et annet materiale, form og farge. Den setter en tydeligere strek i landskapet. Dette er en vesentlig forskjell fra f.eks. en skredvoll som er et annet stort og konstruert landskapselement. Slike voller har store fjell tett bak og tiltaket blir slik mindre dominerende i landskapet.
- Romdeler. Et visuelt og fysisk skille mellom det som er innenfor og utenfor moloen. En ny molo vil endre utsikten til folk som bor der. Havet vil være roligere innenfor moloen, hvilket kan oppleves både fysisk og visuelt. Lokalklimaet vil forbedres innenfor moloen.
- Forankring. I planleggingen er det naturlig å besvare spørsmål som:
 - Hvordan kan moloen forankres godt til eksisterende landskap/kystlinja?
 - Kan eksisterende terrengform brukes som



Figur 6-10 Molo i fiskeværet Ballstad, Lofoten. Avgrenser havna og stedet. Foto: Jorun Karlsen.

utgangspunkt for molorota?

- Hva er en naturlig rominndeling i landskapet?
- Er det øyer, holmer eller skjær som kan forlenges?
- Steinmateriale. Det bør avklares om det kan velges dekkblokk av en bergart som er tilpasset landskapet, for eksempel med fargenyanse som passer inn på stedet. Lys stein er veldig synlig der omgivelsene er mørkere.
- Formspråk. Det er viktig å få frem likhet i formspråket over hele molokonstruksjonen, også der eksisterende moloer repareres eller forlenges. Et godt resultat oppnås enklest der det tas et bevisst grep i formspråket, enten man velger harmoni eller kontrast til omgivelsene.
- Identitet. Moloen er ofte en delvis lukking av ei havn. Hovedfunksjonen er bølgebryting, men moloen blir en del av landskapsformene som er med på å definere stedet. Eksempel på dette er fiskeværet Ballstad i Lofoten, se figur 6-10.

6.6.3 Eksempler på å bygge stort i landskapet

Figurene 6-11, 6-12, 6-13 og 6-14 viser fire norske eksempler på å bygge stort i landskapet. Disse er Vannvåg på Vannøya i Troms, fiskeværet Berlevåg i Finnmark, moloen i Mehamn i Finnmark og moloene omkring Austevoll fiskerihavn, Hordaland.



Figur 6-11 Vannvåg, Karlsøy kommune. (Foto: Kystverket).



Figur 6-12 Berlevåg, Finnmark. Moloene er grunnleggende for næringsvirksomheten og dermed for eksistensen av fiskeværret. (Foto: Tore Larsen, Berlevåg).



Figur 6-13 Mehamn, Finnmark – runddekt molo (Foto: GeoNord AS).

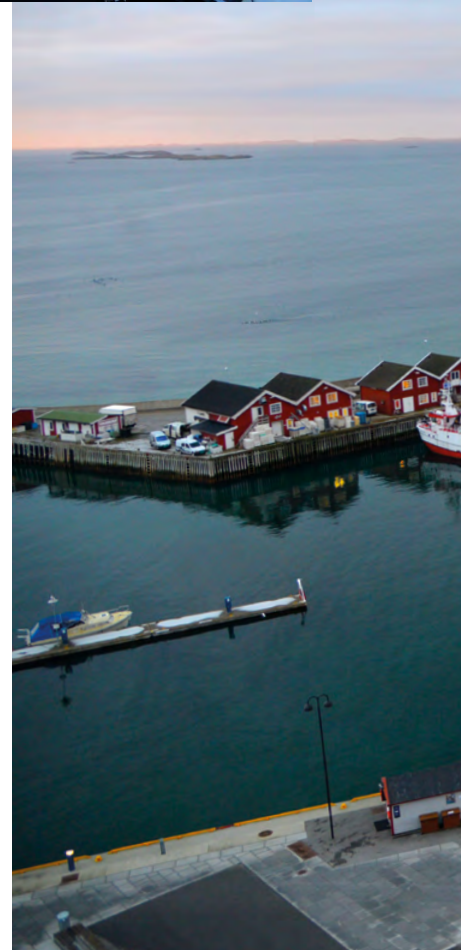


Figur 6-14 Austevoll fiskerihavn (foto: LNS Saga AS).

6.6.4 Moloen i nærmiljøet

En molo vil påvirke nærmiljøet der den skal ligge. Denne påvirkningen vil variere fra sted til sted, men det bør gjøres en vurdering av moloens bifunksjoner. Dette er spesielt viktig om moloen skal ligge i tilknytning til en by eller et tettsted. Det er moloens innside som har størst opplevelsesverdi for nærmiljøet.

- **Sikker ferdsel på molo.** Noen moloer er beregnet eller tilrettelagt for ferdsel, mens andre absolutt ikke er egnet for ferdsel. De moloene som er beregnet for ferdsel er ofte attraktive som turmål. Det bør gjøres vurderinger om det skal legges til rette for ferdsel på moloen eller deler av moloen og om dette kan gi nye kvaliteter til området. Dette er særlig interessant i byer eller tettsteder, se eksempel i figur 6-15. Her blir risikovurderinger i planfasen viktige, kfr. pkt. 7.5.11.
- **Opphold/fritidsarena.** Det er mange grunner til at moloen kan være et attraktivt sted for ferdsel: Gå, raste, bade, fiske, vente på ferga/hurtigbåten, lokalt møtested m.m. For tilgjengelige moloer er det ønskelig med sittemuligheter, lokalt le og universell utforming.
- **Småbåthavn.** Bak moloen kan det være aktuelt med småbåthavn og aktiviteter som det medfører.
- **Attraksjon.** Audiovisuell opplevelse av bølgebrytning er en kvalitet som mange ønsker å oppleve enten på nært hold eller på avstand. Her må det selvsagt inn et sikkerhetsaspekt, kfr. sikker ferdsel ovenfor.



.....
Figur 6-15 En molo kan ha flere bi-funksjoner. Bildet viser moloen i Bodø, som i tillegg til å skjerme havnebassenget lengre inn også er et attraktivt turområde og skjermer småbåthavna. (Foto: Statens vegvesen).





Bodø havn. Foto: Statens vegvesen

7. DIMENSJONERING AV MOLO

7.1 GENERELT OM DIMENSJONERING

Dimensjonering av en molo innebærer å definere hvilke blokkstørrelser og steinfraksjoner en molo skal bestå av, og hvilke ytre geometriske mål hver klasse av steinblokker skal ha. I dimensjoneringen inngår også å beskrive hvordan de enkelte lagene skal legges ut (eksempelvis plastring, rausing, muring, osv). Et typisk resultat av en slik dimensjonering er vist i figur 7-1 og 7-2. Det gjøres oppmerksom på at plastring her innebærer systematisk utlegging av dekkblokk som beskrevet nærmere i pkt. 8.7.

I dette kapittelet er det forutsatt at en beslutning om bygging av en molo med optimal plassering og lengde er fattet. Oppgaven består i å dimensjonere moloen slik at den kan bygges med tilfredsstillende sikkerhet, stabilitet og med minimal bruk av ressurser.

Med tilfredsstillende sikkerhet menes her både at moloen fungerer slik den er forutsatt og at den ikke representerer en ny fare for liv, helse eller miljø verken i anleggs- eller driftsfasen.

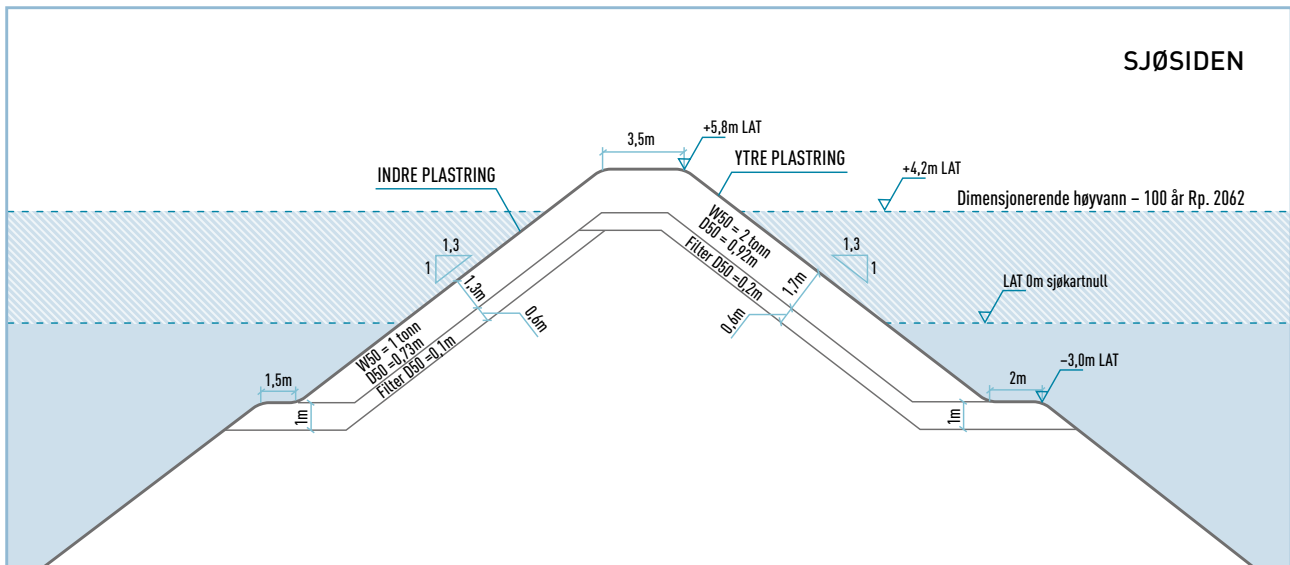
Målet med dimensjoneringen er å komme fram til et molotverrsnitt som tilfredsstillende følger følgende krav:

- a) solid og med evne til å motstå de dimensjonerende bølgeforholdene som er beregnet for stedet
- b) økonomisk, dvs. minst mulig ressursbruk for å oppnå en ferdig molo
- c) sikkerhet for liv, helse og miljø i bygge- og driftsfasen
- d) enkelhet i oppbygging, dvs. en konstruksjon som kan bygges med tilgjengelige midler (anleggsmaskiner, personell, riggarealer og intern logistikk)
- e) god utnyttelse av steinmateriale (gjelder spesielt i de tilfeller der det åpnes eget lokalt steinbrudd til moloen)

I listen ovenfor vil punktene d) og e) kunne oppfattes som en konsekvens av punkt b).

I praksis vil det ideelle tverrsnittet som vist i figur 7-1 og figur 7-2 kunne bearbeides og tilpasses for varierende tilgang på stein og varierende belastning på moloen (langs moloaksen). Det kan føre til at tverrsnittet blir mer sammensatt, men likevel enkelt å bygge. En må være særskilt oppmerksom på at plastring med dekkblokk under nivå 1–2 m under sjøkartnull er så vanskelig å gjennomføre at man ikke bør forutsette at det kan bli utført. Her bør det heller benyttes en ordnet rausing med de økte krav til størrelser og tykkelser som det innebærer.

I dette kapitlet behandles bare dimensjonering av moloer som bygges opp av normalt god, sprengt stein. Denne molotypen er tilnærmet enerådende i Norge, og vil i nesten alle tilfeller være mest økonomisk. Moloer av



Figur 7-1 Resultat av dimensjonering: Typisk snitt gjennom en konvensjonell molo (Torhop, Kystverket/Norconsult). Moloen er komponert av 2 ulike blokkfraksjoner ($W_{50} = 2$ tonn og 1 tonn) og 2 ulike filterfraksjoner ($d_{50} = 0,2$ m og 0,10 m) og samfengt kjerne. I dette snittet er ikke avslutningen mot bunnen eller underlaget definert.

betongblokker er benyttet to steder i Norge (Berlevåg og Ferkingstad), og moloer av slike blokker vil ha egne dimensjoneringskriterier som er bestemt av produsenten av blokkene, og behandles ikke i denne håndboka.

7.2 DIMENSJONERINGSMETODER

7.2.1 Aktuelle metoder

I alminnelig dimensjonering av konstruksjoner skiller man mellom to tilnæringsmåter:

1. Deterministisk analyse
2. Probabilistisk analyse

En summarisk beskrivelse av metodene er gitt nedenfor. For vanlig molybygging er den deterministiske tilnærmselsen enerådende. For større og mer komplekse moloanlegg kan en probabilistisk metode gi en gevinst i form av at man kan treffe mer presist med dimensjoneringen og unngå overdimensjonering.

I denne håndboka behandles og beskrives deterministiske metoder som standardmetoder. Prosjekterende rådgiver kan velge å benytte probabilistiske metoder dersom disse kan underbygges og dokumenteres.

Det nevnes også at det på tidspunktet for lansering av denne håndboka, pågår et arbeid med utgivelse av Eurokode-standard for beregning av laster fra bølger og strøm på kystkonstruksjoner, EN 1991-1-8. Da resultatet av dette arbeidet ikke er kjent, tar ikke denne håndboka hensyn til denne laststandard.

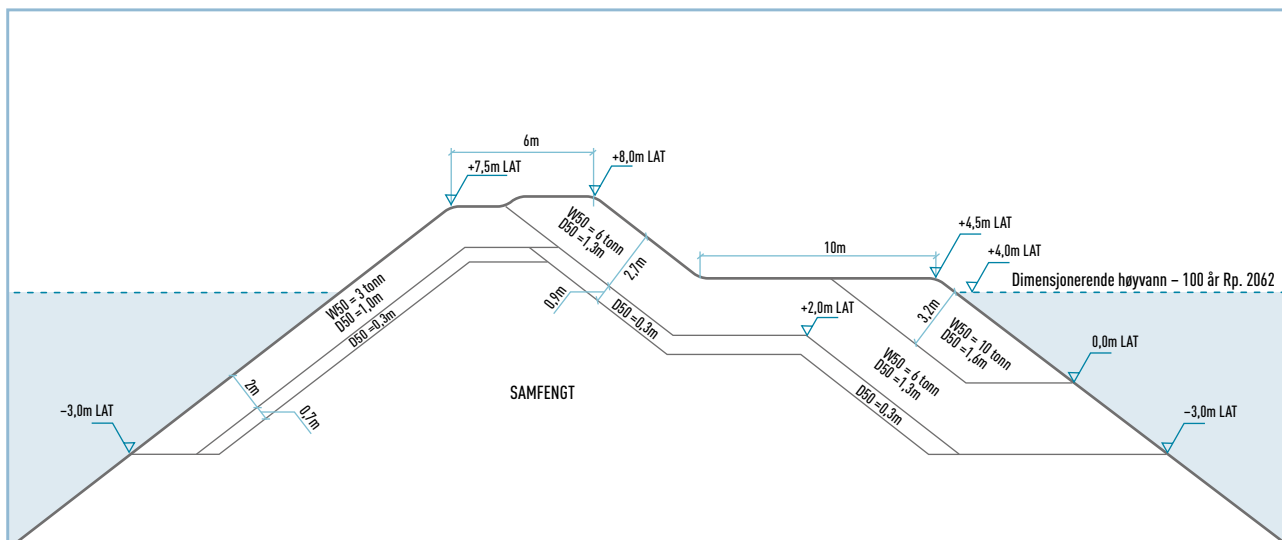
7.2.2 Deterministisk analyse

I en deterministisk analyse beregner man et visst nivå for belastningsparameterne (f.eks. ved 200 års returperiode) og postulerer at så lenge belastningen ikke overskrider dette nivået, vil konstruksjonen være stabil.

Eksempelvis har man beregnet en dimensjonerende 200 års signifikant bølgehøyde $H_{s,200}$ for et sted. På samme sted er det også gitt 200 års stormflo (inkludert effekter av klimaendringer). For verdien $H_{s,200}$ velges det så et intervall for spektral toppperiode T_p , og dette intervallet er gjerne noen sekunder lavere og høyere enn den T_p -verdien som er registrert for den høyeste H_s -verdien. En slik kombinasjon av to 200-års tilstander kan se ut som følger:

$H_{s,200} = 3,0$ m (inntreffer ved $T_p = 15,0$ s), $T_p = 12,0$ s – 18,0 s ved stormflo-nivå $\eta_{200} = 3,8$ m over LAT.

Ved å velge et slikt datasett forutsetter man at 200 års signifikant bølgehøyde inntreffer samtidig med 200 års



Figur 7-2 Bearbejdet tverrsnittet i figur 7-1 for å tilpasse til økt belastning nær molohodet (Hasvik, Kystverket/Norconsult).

stormflo. For de fleste tilfeller langs norskekysten vil høy vannstand og storm med bølger være nært forbundet, så denne kombinasjonen er ikke unaturlig, selv om returperioden for den kombinerte hendelsen sannsynligvis er betydelig høyere.

Samtidig er valg av T_p basert på at den høyeste H_s -verdien er registrert for $T_p = 15,0$ s (i vårt eksempel). Hvis vi velger å gå litt til siden og undersøke nødvendige blokkstørrelser for $T_p = 12,0$ s, skulle vi egentlig ta hensyn til at den høyeste H_s -verdien for denne perioden er noe lavere. Dvs. den valgte H_s, T_p -kombinasjonen skulle egentlig velges langs (H_s, T_p) -konturen med returperiode 200 år. Ved å beholde $H_{s,200} = 3,0$ m også for en lavere (eller høyere) T_p -verdi, vil vi altså benytte situasjoner som har en høyere returperiode enn 200 år.

En deterministisk analyse vil derfor for tilfellet moloer generelt være konservativ, og det vil kompensere noe for at de metodene som brukes, ikke inneholder sikkerhetskoeffisienter, verken på last eller kapasitet.

Man skal imidlertid være klar over at en deterministisk analyse kan overvurdere sikkerhetsnivået. Selv om konstruksjonen unngår sammenbrudd så lenge belastningen ikke overskrider den valgte kombinasjonen av lastparametere, kan konstruksjonen slites ned eller

utmattes ved gjentatte hendelser under dette nivået. For dynamiske konstruksjoner, dvs. konstruksjoner som har en respons som er avhengig av både lastens størrelse og periode, kan maksimal respons oppstå for andre perioder enn de som er definert i kombinasjonen av lastparametere.

All erfaring tilsier imidlertid at en deterministisk analyse for moloer vil være konservativ.

7.2.3 Probabilistisk analyse

I en probabilistisk analyse vil man forsøke å isolere den karakteristiske styrken eller kapasiteten R fra den dimensjonerende lasten S . Disse to faktorene kan beskrives ved hjelp av statistiske parametere slik at vi kan beregne en sannsynlighet for at en høy last skal inntreffe samtidig i tid og sted som en lav motstandsevne. Det er vanlig å anta at parametere lar seg beskrive med kjente statistiske fordelinger, f.eks. en Weibull-fordeling for bølger og en Normalfordeling for blokkvekter.

Den enkleste form for probabilistisk analyse er bruk av partielle sikkerhetskoeffisienter, der man benytter en sikkerhetskoeffisient for f.eks. bølgehøyde og blokkvekt. Prosedyre for denne metoden kan finnes i f.eks. PIANC 1992, ref VI.

Probabilistisk analyse som grunnlag for dimensjonering av moloer er lite brukt for moloer av den størrelse og type som er aktuelle i Norge. Årsakene kan være flere, men metoden er generelt mer komplisert enn deterministiske metoder, og man har ikke klart å påvise at den gir en driftsmessig eller økonomisk gevinst.

Som nevnt er deterministisk design vanligvis konservativ, men det gir ikke en god beskrivelse av moloens pålitelighet (eller sannsynlighet for skader). Probabilistisk design, derimot, gjør det.

7.2.4 Valg av metode

En deterministisk analyse er et tilstrekkelig grunnlag for å bestemme dimensjoneringsgrunnlaget for en molo.

Ved prosjektering av moloer kan man velge å utføre en probabilistisk analyse, men det skal alltid utføres en parallell deterministisk analyse for å kunne sammenligne metodene.

Dersom man velger å legge en probabilistisk metode til grunn, så skal de to metodene sammenlignes, og konsekvensene av valget skal gjøres tydelig.

7.3 VALG AV MOLOTYPE – MOLOER AV SPRENGT STEIN

De mest aktuelle molotypene i Norge er følgende moloer bygget av vanlig, sprengt stein:

1. **Konvensjonell molo** bestående av en kjerne, filterlag og et lag med dekkblokker, der alt er lagt ut med samme helning, oftest 1:1,3–1:1,4. Denne molotypen ble tidligere kalt rausmolo eller ett-lagsmolo, men disse betegnelsene er i dag misvisende og bør unngås.
2. **Skuldermolo** (engelsk «Berm Breakwater») er en relativt ny variant som er blitt mye brukt på steder med stor bølgebelastning siden ca. 1985. En slik molo består av en vanlig kjerne med filter, men på sjøsiden er fronten bygget ut i en «skulder» som består av bare store blokker uten innslag av mindre stein. Skulderen kan være 5–10 m bred, og vil absorbere bølgeenergien ved strømning inne i skulderfyllingen.

For dimensjoneringsforhold behandles bare typene nevnt i pkt. 1 og 2 her. Se også nærmere beskrivelse av de ulike molotypene i kapittel 3.

I Norge bygges moloer vanligvis brattere enn det som er brukt i mange andre land. Det er flere grunner til det, bl.a. at det blir fort dypt i norske fjorder, og en slakere molo vil kreve mye større utfyllingsvolum. Kjernen i norske moloer ble tidligere fylt ut fra tipp. Da er naturlig rasvinkel etter noe nedslaking og bearbeiding av bølger ca. 1:1,3, og da kan man legge filter og dekkblokker rett oppå. Så er det også slik at i Norge skal alle moloer plastres, mens det i andre land er mer vanlig med rausing («rubble mound, loosely laid») og helning på 1:1,5.

Helning steilere enn 1:1,5 er ikke dekket i eksperimenter som danner grunnlag for designformler, men erfaringen er at en rekke moloer bygd etter denne metoden, står godt uten store skader.

7.4 DIMENSJONERENDE SJØTILSTAND

7.4.1 Generelt

For en deterministisk analyse vil man definere en dimensjonerende sjøtilstand, som gir den belastningen fra sjøen som moloen skal tåle uten strukturelle skader og samtidig oppfylle sin funksjon som molo. I dimensjonerende sjøtilstand inngår følgende variable eller parametere:

- Signifikant bølgehøyde
- Spektral toppperiode
- Innkommende retning for bølgene mot molo
- Dimensjonerende vann-nivå
- Returperiode

Prosedyren for å fastsette den dimensjonerende sjøtilstanden er basert på å etablere den høyeste signifikante bølgehøyden $H_{s,q}$ med en gitt årlig sannsynlighet q for overskridelse. Alternativt kan sannsynligheten angis som en returperiode. En bølgehøyde med returperiode T_R (år) har en årlig sannsynlighet for overskridelse $q = 1 - \exp\left(-\frac{1}{T_R}\right) \approx \frac{1}{T_R}$ for $T_R \gg 1$. Eksempelvis



tilsvarer returperiode 1 år en årlig sannsynlighet for overskridelse $q = 0,63$, mens returperiode 200 år gir $q = 0,005$.

Den høyeste H_s med en gitt returperiode finnes ved å tilpasse en statistisk fordeling (vanligvis *Weibull*) til de tilgjengelige bølgedataene. Så tilpasses en statistisk fordeling for T_p betinget på H_s (for eksempel *log-normal*) (Ref. DNVGL-RP-C205).

For noen typer moloer, de som er følsomme for endringer i bølgeperioder (flytemoloer, vertikale moloer) eller for dimensjonerende formler som tar høyde for bølgeperioder (for eksempel Van der Meer), kan det være mulig at den dimensjonerende sjøtilstanden ikke er gitt ved den høyeste bølgehøyden. Men dette skjer sjelden ved design av en konvensjonell molo.

For dimensjonering basert på H_s , er input til formelen for stabilitet av moloen $H_{s,q}$, signifikant bølgehøyde med årlig sannsynlighet for overskridelse q . For dimensjonering basert på både H_s og T_p , må stabilitet i prinsippet sjekkes for alle $(H_s, T_p)_q$ kombinasjoner med årlig sannsynlighet for overskridelse q . Det betyr at man undersøker sjøtilstander langs en kontur i H_s - T_p -planet. Den dimensjonerende sjøtilstanden er definert som den mest kritiske sjø-

tilstanden i forhold til stabilitet av moloen.

Bølger og beregning av dimensjonerende bølgetilstand er mer inngående beskrevet i pkt. 5.6 og i vedlegg I.

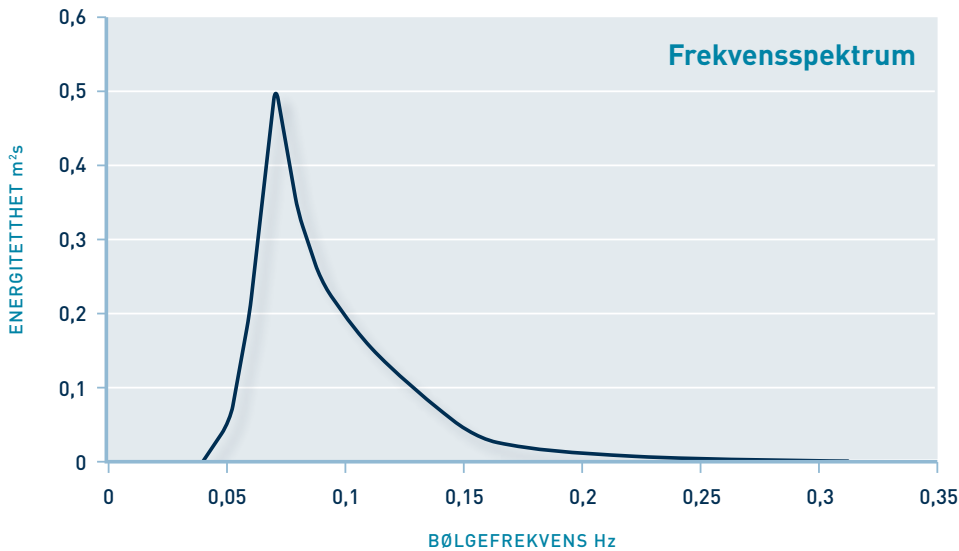
7.4.2 Signifikant bølgehøyde H_s eller H_{m0}

Bølgebelastningen mot en molo kan bestå av lokalt genererte bølger som er dannet inne i f.eks. en fjord, eller av havbølger som angriper direkte mot moloen eller på et stadium der havbølgene er blitt dempet og karakteriseres som dønning.

Bølgehøyden fra en kombinasjon av de to bølgetypene i de tilfeller der bølgene kan opptre samtidig og har tilnærmet samme retning beregnes ved:

$$H_{s,total} = \sqrt{H_{s,lokal}^2 + H_{s,havsjø}^2}$$

H_s er her signifikant bølgehøyde, som er definert som middelverdien av den høyeste tredjedelen av alle bølger i en registrering eller en storm med lengde fra ca. 20 min til 3 timer. H_s er strengt tatt en verdi som er basert på telling av antall bølger i en måleserie. Hvis vi ikke har en slik måleserie, eller benytter modelldata, vil man benytte verdien H_{m0} , som er en tilnærmelse til H_s , og er basert på et bølgespektrum.



Figur 7-3
Eksempel på bølgespektrum.
 $H_{m0} = 0,6 \text{ m}$ og $T_p = 1/0,07 \text{ s} = 14,3 \text{ s}$.

Et slikt spektrum er vist i figur 7-3, som viser et 1-toppet bølgespektrum (se også eksempel på 2-toppet spektrum i figur 5-1). Bølgespekteret er en illustrasjon på hvordan bølgeenergien (i praksis H^2) fordeler seg på ulike frekvenser. Lange bølger fra havet vil ligge til venstre (lavfrekvent) og korte, lokale vindbølger ligger til høyre (høyfrekvent).

Estimatet på H_s er nå

$$H_s \cong H_{m0} = 4\sqrt{m_0}$$

m_0 er arealet under spekteret. Denne relasjonen gjelder egentlig bare for dypt vann, men kan brukes som en god tilnærming også for grunnere farvann.

Spekteret i figur 7-3 er et forholdsvis glatt modell-spektrum. Et spektrum basert på målinger vil være mye mer uryddig med mange lokale topper.

Selv om H_s og H_{m0} er to verdier som ikke er identiske, er forskjellen så liten at de for molodimensjoneringsformål kan brukes om hverandre.

Dimensjonerende signifikant bølgehøyde skal normalt ha en returperiode på 200 år. Det skal benyttes en robust metode for bestemmelsen av bølgehøyden på stedet, og metoden kan være basert på lokale vinddata og/eller lengre serier av bølger i åpent hav. Lengden på de anvendte tidsserier bør ikke være mindre enn 25 år.

7.4.3 Spektral topp-periode T_p

T_p er definert som perioden for den frekvenskomponenten i spekteret som inneholder mest energi, og vil normalt være den perioden som oppfattes som dominerende ved betraktning av sjøen. Lokal vindsjø og havbølger/dønning har normalt periode intervall henholdsvis $T_{p, \text{lokal}} \approx 4,0\text{--}8,0 \text{ s}$ og $T_{p, \text{dønning}} \approx 10,0\text{--}18,0 \text{ s}$.

I Figur 7-3 ser vi en enkelt spektral topp som gir $T_p = 1/0,07 \text{ s} = 14,3 \text{ s}$.

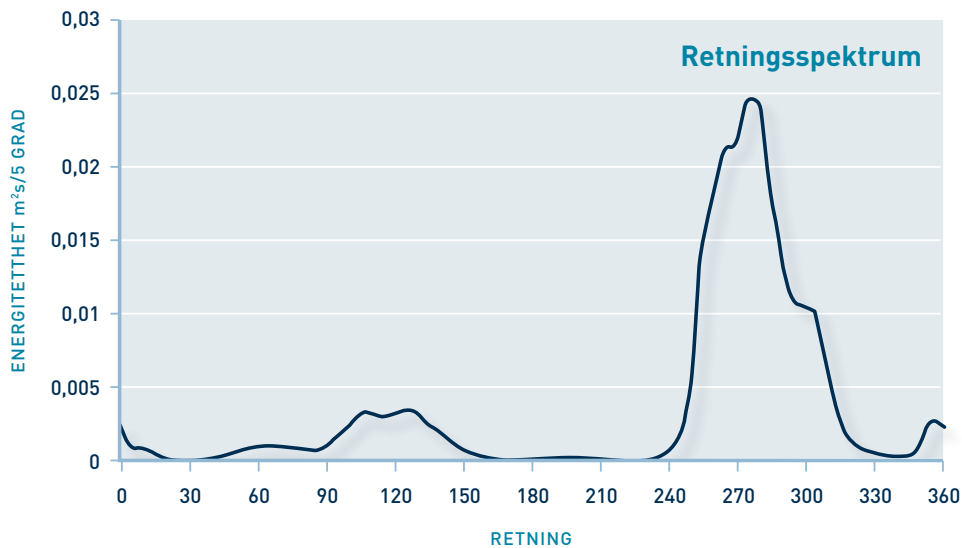
T_p for lokal vindsjø settes lik den verdien som kommer fra analysen av vindgenererte bølger fra området.

For havbølger/dønning skal det velges et intervall på minimum $\pm 2,0 \text{ s}$ rundt den mest sannsynlige verdien.

Når man benytter formelen for $H_{s, \text{total}}$ ovenfor, skal tilhørende T_p -verdi settes lik T_p for den bølgekomponenten som inneholder mest energi. Dersom bidragene er tilnærmet like, skal den høyeste T_p -verdien foretrekkes.

7.4.4 Innkommende retning for bølgene mot moloen

Belastningen på en molo er størst når bølgene angriper rett på moloen (normalt på moloens lengdeakse). Dersom det kan påvises at dimensjonerende sjøtilstand har et signifikant avvik (mer enn 20°) fra normalt angrep, kan det



Figur 7-4
Retningspektrum for bølgene i Figur 7-3. Mesteparten av bølgeenergien kommer inn med retning 275°, men det er små komponenter også mellom 90° og 150°.

foretas en reduksjon av nødvendig blokkstørrelse, se også detaljer nedenfor.

Retningen på innkommende bølger vil normalt være den retningen som dimensjonerende bølger antas å ha. Om nødvendig, skal det utføres beregninger for flere retninger dersom angrepsvinkelen for den mest dominerende retningen kan føre til at bølger fra en mindre dominerende retning, kan utgjøre større belastning på moloen.

Figur 7-4 viser et retningspektrum for bølgene i figur 7-3. Denne figuren viser hvordan energien fordeler seg på retning. Årsaken til at en liten del av energien skiller seg ut ved 75°, kan eksempelvis være at en liten andel av bølgeenergien passerer på østsiden av en holme eller et skjær og kommer inn med mer østlig retning.

7.4.5 Dimensjonerende vann-nivå

7.4.5.1 Generelle retningslinjer

For hver molo skal sannsynligheten for at en ekstrem bølgehendelse og en ekstrem stormflohendelse inntreffer samtidig, vurderes.

Normalt vil ekstreme stormer være koblet mot ekstreme vann-nivå, slik det ble observert under stormen «Berit» i 2011. Det er da realistisk og svakt konservativt å forutsette at en ekstrem stormhendelse inntreffer samtidig med ekstrem stormflo.

For noen tiltak kan denne koblingen mellom de to hendelsene være svak. Det vil f.eks. være tilfellet for steder der den dimensjonerende bølgebelastningen er lokal fjordsjø fra østlig sektor og åpent hav ligger i vest.

I slike tilfeller kan den prosjekterende foreslå en kombinasjon av hendelser med ulike returperioder, f.eks. 200 års bølgehøyde kombinert med 10 års stormflo.

Det er også nødvendig å ta hensyn til konsekvensen av forventede klimaendringer, se pkt. 5.1. Dette er omtalt nedenfor. Direktoratet for sikkerhet og beredskap (DSB) har utarbeidet veileder for landets kommuner som benyttes i planleggingen. Molokonstruksjoner er generelt enkle å vedlikeholde eller bygge på dersom konstruksjonen skal beskytte mot høyere bølger eller området bak får endrede bruksforutsetninger. Man kan derfor vurdere å velge verdier for stormflo som er noe lavere enn de som DSBs veileder oppgir. Men dersom moloen skal beskytte et område som benyttes eller skal benyttes til boliger, forretning, industri eller andre formål, vil mennesker oppholde seg her også under ekstremvær. I slike tilfeller skal DSBs retningslinjer benyttes direkte.

Prosjektering av en molo skal følge de til enhver tid gjeldende forskrifter og regler. Pr 2018 gjelder Byggeteknisk forskrift (TEK17), se §7-2 Sikkerhet mot flom og stormflo.

SIKKERHETSKLASSE FOR FLOM	KONSEKVENS	STØRSTE NOMINELLE ÅRLIGE SANNSYNLIGHET
F1	liten	1/20
F2	middels	1/200
F3	stor	1/1000

Tabell 7-1
Sikkerhetsklasser for byggverk i flomutsatt område [TEK17].

200 års stormflo på prosjekteringstidspunktet, kan hentes fra nærmeste / mest tjenlige standardhavn	xxx cm over referansenivå
+ estimert netto heving av middelvannstand ved prosjektstedet, med begrunnet valg av variable parametere.	+ yyy cm netto heving
= dimensjonerende stormflo	= zzz cm over referansenivå

Tabell 7-2
Metode for bestemmelse av dimensjonerende vannstand.

Alle byggverk plasseres i en sikkerhetsklasse i samsvar med tabell 7-1 hentet fra TEK17.

Moloer er ikke særskilt omfattet av regelverket i TEK17, men bygninger og områder som moloen skal beskytte, vil være omfattet av f.eks. regler om beskyttelse mot flom og stormflo.

«Største nominelle årlige sannsynlighet» er den årlige sannsynlighet for overskridelse, slik at en verdi på 1/200 tilsvarer en returperiode på ikke mindre enn 200 år.

Flom er i denne forbindelse enhver inntrenging av vann på steder som ikke er beregnet for det, og vil f.eks. omfatte også vann fra overskylling av bølger.

En returperiode på 20 år vil være aktuell bare for moloer som anses som midlertidige. Øvrige moloer som er tenkt til permanent bruk, vil naturlig komme i klasse F2 (200 år) som en konsekvens av at de normalt vil fungere som beskyttelse for andre byggverk som vil ha klasse F2. Merk at moloen kan komme i en høyere klasse som konsekvens av risiko for bygninger eller konstruksjoner bak moloen, eller hvis moloen kan være utsatt for bølger generert av skred (fjellskred, jordskred eller snøskred); eller hvis et sammenbrudd kan medføre fare for tap av liv.

7.4.5.2 Tidevann og vann-nivå

Ved dimensjonering av en molo skal det tas hensyn til det høyeste nivået som vannstanden kan komme opp til (stormflo). Returperioden for stormflo skal normalt settes til 200 år.

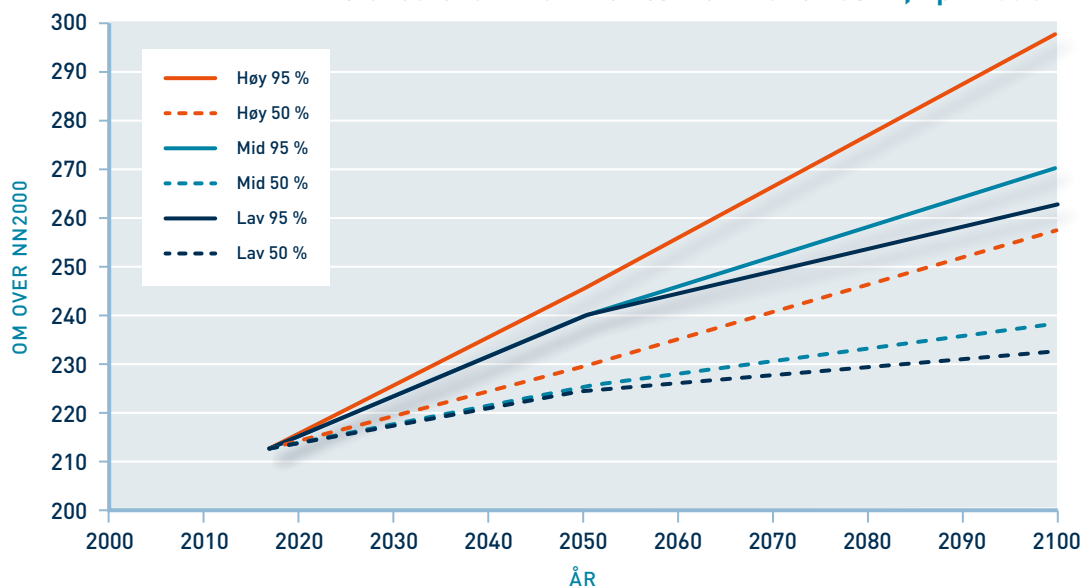
I det etterfølgende brukes begrepet «netto økning eller endring av vannstand» om den *observerte endring i vannstand i forhold til et fast punkt i fjell på stedet*.

Beregninger av dimensjonerende, framtidig stormflo skal baseres på beregnet stormflo i dagens situasjon (siste tilgjengelige data for vannstand på tidspunktet for prosjektering), med tillegg for forventet lokal økning i netto vannstand på det stedet der moloen skal bygges, se tabell 7-2.

Ved utvelgelse av verdier til tabell 7-2 gjelder følgende:

- 200 års stormflo på prosjekteringstidspunktet kan finnes fra egnede beregninger (f. eks. tidevannstabellens statistikkdel), eller fra Kartverkets nettsider. Dersom høyeste observerte vannstand i en standardhavn opplyses å være høyere enn 200-års verdien, skal man velge en verdi lik høyeste observerte vannstand + 10 cm.

Standardhavn Hammerfest kommune Hasvik, Rp = 200 år



Figur 7-5
Utviklingsbaner for 200 års stormflo i Hasvik. Dagens nivå er basert på data fra Hammerfest, og utviklingen fram til 2100 er basert på data for Hasvik kommune (Simpson, et al., 2015, se ref. XVI).

- b) Som standardhavn skal velges en representativ standardhavn, som ikke nødvendigvis er den nærmeste. Tidevanstabellen inneholder en liste over sekundærhavner under hver standardhavn som kan være til hjelp i utvelgelsen av standardhavn.
- c) Estimert på klimarelatert endring i middelvannstand skal hentes fra den aktuelle kommunen eller stedet der moloen skal bygges. Det skal benyttes siste tilgjengelige utgave av offisielle dokumenter der nettoendring er beskrevet.
- d) Estimert netto heving av middelvannstand skal aldri være mindre enn null.

7.4.5.3 Aksepterte metoder

Siste tilgjengelige publikasjon med estimater på fremtidig havnivåstigning i Norge er angitt i ref. XVI. For å kunne finne et estimat på framtidig havnivåstigning, må en velge noen variable størrelser.

- a) Prosjekthorisont, dvs tall fram til 2041–2060 (2050), 2081–2100 (2090) eller 2100.
- b) Antatt utslippsscenario, velg mellom lavt RCP2,6, middels RCP4,5, eller høyt RCP8,5, se nedenfor.
- c) Ensemble-spredning. Fordi estimatene består av mange modeller og simuleringer, kan man velge middelverdien av resultatene (50 %), eller en verdi som

omfatter 95 % av alle resultatene. 50 % er her mest sannsynlige verdi.

Scenariene for utslipp av klimagasser oppsummeres slik:

- I. RCP8,5 er et **høy**utslippsscenario. Utslipp av CO₂ øker til 300 % i 2100, og det er sterk økning i utslipp av metan (sammenlignet med 1986 – 2005). Globale temperaturer stiger med 3–5° C.
- II. RCP4,5 er et **middels** scenario og innebærer store reduksjoner i utslipp. Reduksjon i totale utslipp av CO₂ innen 2040, og konsentrasjonen i atmosfæren er stabilisert innen 2100. Global oppvarming ca. 2° C, som likevel fører til vannmangel i store regioner.
- III. RCP2,6 er et **lav**utslippsscenario. Utslippene går ned fra 2020, og konsentrasjoner i atmosfæren går ned fra 2040. Scenariet krever drastiske endringer i forbruk av olje og energi generelt, og en stabilisering av verdens befolkning rundt 9 milliarder. Global oppvarming er under 2° C.

Et eksempel på hvordan utviklingen kan se ut, er vist i figur 7-5, som viser mulige utviklingsbaner for 200 års stormflo i Hasvik, med utgangspunkt i standardhavn Hammerfest.

Merk at stormflo ikke inkluderer effekten av kortvarige vannstandsvariasjoner som f.eks. bølger.

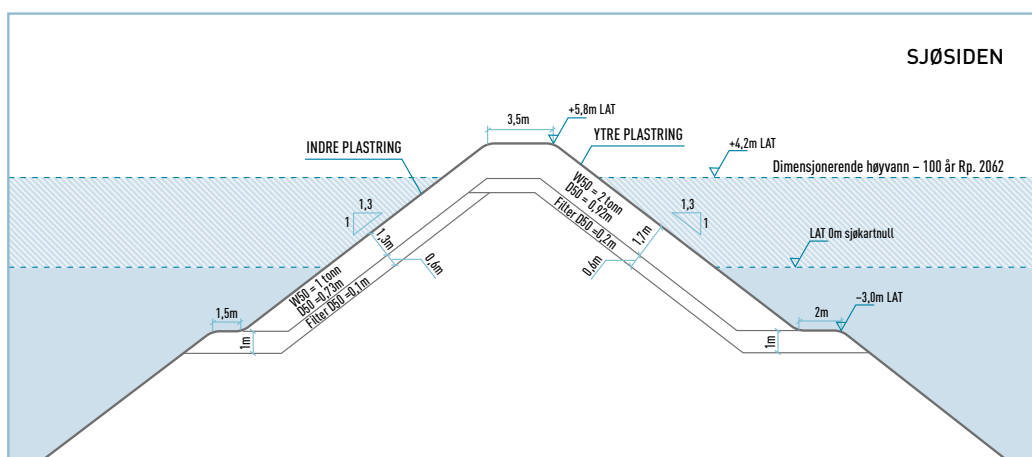
7.4.5.4 Returperiode

Returperiode er definert som den gjennomsnittlige tid som går mellom to påfølgende overskridelser av et gitt nivå, f.eks. en vindhastighet eller en bølgehøyde. Eksempelvis er det forventet at man i løpet av en 100-årsperiode vil registrere ca. 10 overskridelser av 10-årsnivået, og ca. 5 overskridelser av 20-årsnivået, osv.

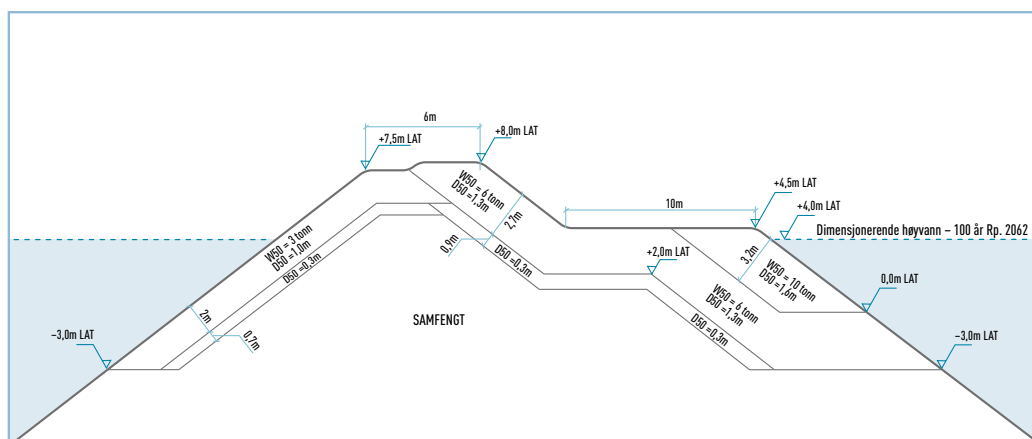
Sikkerheten for en konstruksjon er bestemt av hvilken returperiode den er dimensjonert med. For moloer skal det velges en sikkerhet tilsvarende minimum 200 års returperiode. Dimensjonerende vann-nivå kan derimot holdes lavt ved f.eks. å velge prosjekthorizont fram til 2050. Det betyr i så fall at tilfredsstillende sikkerhet er ivarett fram til 2050, og på det tidspunktet må det foretas en ny vurdering, og moloen må evt. heves.

7.5 DIMENSJONERING AV MOLOENS ULIKE KOMPONENTER

7.5.1 Oversikt over aktuelle komponenter



Figur 7-6
Figuren viser aktuelle komponenter i en typisk, norsk konvensjonell molo.



Figur 7-7
Tilsvarende oppbygging for skuldermolo.

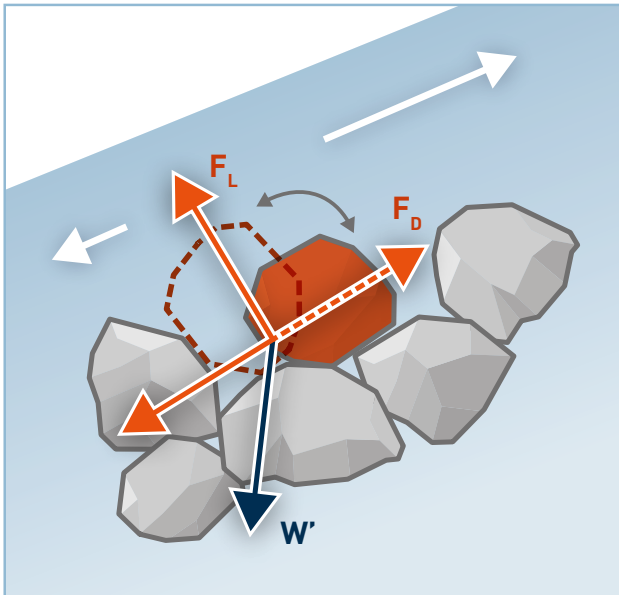
HOVEDTEMA	KOMPONENT	TYPE MOLO K = KONVENSJONELL B = SKULDERMOLO	KRITERIER
Molokropp	Primært blokklag, dekklag eller plastringslag	K, B	Krav til stabilitet under dimensjonerende storm
	Filter	K, B	Skal hindre utvasking av kjernemassen
	Kjernemasse	K, B	Primærfunksjon å bære moloen
	Molohøyde	K, B	Skal primært begrense overskylling og hindre angrep på innsiden
	Molobredde	K, B	Vil oftest være gitt av anleggstekniske forhold, men vil også bidra til å begrense overskylling
	Helningsvinkel, front	K, B	Bør velges slik at helningsvinkel for kjerne, filter og dekklag blir lik; mest økonomisk å velge helning rundt 1:1,3
	Forsterkning av molohode	K, B	Molohodet må i mange tilfeller forsterkes for å kompensere for manglende sideinnspenning av blokkene
	Skulderbredde	B	Velges slik at dempingen av bølgen blir optimal
	Skulderhøyde	B	
Detaljer	Brystvern og kjørebane	K, B	Må eventuelt dimensjoneres for overskylling
	Sikring av molotopp	K, B	Molotoppen må sikres slik at blokker ikke faller ned under overskylling
	Sikring av molofot	K, B	Der hvor moloen ligger på eroderbar bunn, glatt fjell eller på bratt helning må foten sikres

Tabell 7-3 Aktuelle komponenter i moloer.

7.5.2 Dekkblokk

7.5.2.1 Konseptuell modell

Alle dimensjonerende modeller for hydraulisk stabilitet av dekkelementer, er basert på en eller annen form for kraftlikevekt. En forenkling av disse kreftene (uten å ta hensyn effekter som kontaktkrefter o.l.) vises i figur 7-8.



Figur 7-8
Skisse av krefter som påvirker stabiliteten. F_L = løftekraft, F_D = dragkraft, W' = neddykket vekt.

I denne modellen vil strømmen fra bølgene (dragkraften og løftekraften) prøve å flytte på blokka. Disse kreftene er proporsjonale med tverrsnittsarealet av blokka, dvs. D^2 . Gravitasjonskrafta er den krafta som prøver å holde blokka på plass, og den er proporsjonal med volumet av blokka, dvs. D^3 .

Forholdet mellom de stabiliserende og destabiliserende kreftene, etter noen algebraiske forenklinger, gir oss stabilitetstallet (N_s), som er dimensjonsløst:

$$N_s = \frac{H}{\Delta D_{n50}}$$

der D_{n50} er nominell diameter av steiner (der 50 % av steinene har diameter over D_{n50}), H = bølgehøyde, $\Delta = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} - 1$ og $p \cdot g = \gamma$

Denne formelen sier i all sin enkelhet at de drivende kreftene er representert ved bølgehøyden H (forutsetter grunt vann), og de stabiliserende kreftene ved neddykket romvekt og diameter av steinen. Man kan ikke finne en matematisk verdi av N_s , men ved utførelse av eksperimenter eller målinger i felt, kan man bestemme en verdi av N_s for en gitt molo.

7.5.2.2 Generelt om laget med dekkblokk

Dekklagets tykkelse og størrelsen på enkeltblokkene kan bestemmes med flere ulike metoder. For dimensjoneringen skal det benyttes en anerkjent metode som er basert på teoretiske studier, laboratorieforsøk og utprøving på virkelige tilfeller. Hudson og Van der Meer er blant de mest brukte og anerkjente modeller for dimensjonering av dekklaget, men det finnes mange andre formler (Iribarren, Medina, Losada, Kobayashi, Ryu, o.l.). Man må imidlertid passe på at de grunnleggende forsøk som modellen er basert på, representerer både prosjektforholdene og den valgte mololøsningen.

Den metoden som anvendes, skal som minimum inkludere følgende parametere eller variable:

- Bølgehøyde, gitt ved en parametrisk bølgehøyde fra et irregulært spektrum av bølger, eksempelvis H_s , H_{m0} , $H_{1/3}$ eller tilsvarende
- Bølgeperiode, gitt ved en parametrisk bølgeperiode fra et irregulært spektrum av bølger, eksempelvis T_p eller T_z
- Egenvekt av vann og anvendt steinmateriale
- Helning av molofront eller bunnen foran molo
- Grad av tillatt skade
- Antall bølger i eller varighet av dimensjonerende storm

7.5.2.3 Konvensjonell molo

I Hudson's formel avhenger N_s av helningen α og en parameter K_D som tar høyde for forholdene knyttet til laboratorieforsøkene modellen er basert på (type dekkelementer, type bølger (brytende/ikke brytende), del av molo (kropp/hode) o.l.). Merk at Hudson's modell er referansebølgehøyden for naturstein representert ved $H_{1/10}$ og ikke H_s . Utrykket $H_{1/10} = 1,27 \cdot H_s$ er vanligvis brukt som sammenheng mellom de to:

STYRTBRYTNING	OPPSKYLLINGSBRYTNING
$\xi_z < \xi^*$	$\xi_z > \xi^*$
$\frac{H_s}{\Delta D_{n50}} \sqrt{\xi_z} = 6.2 P^{0.18} \left(\frac{S}{\sqrt{N}} \right)^{0.2}$	$\frac{H_s}{\Delta D_{n50}} = 1.0 P^{-0.13} \left(\frac{S}{\sqrt{N}} \right)^{0.2} \sqrt{\cot \alpha} \xi_z^P$

Tabell 7-4
van der Meer's formel.

$$N_s = \frac{H_{1/10}}{\Delta D_{n50}} = (K_D \cdot \cot \alpha)^{1/3}$$

Hudson's formel er enkel å bruke. Den er uavhengig av bølgeformen (T, L) for regelmessige bølger. Metoden kan benyttes i enkle overslagsberegninger. Merk at Hudsons formel er utviklet for standard bølger der bølgeperioden er gitt av bølgehøyden. Metoden er derfor ikke-konservativ i de fleste tilfeller i Norge, fordi våre moloer oftest er utsatt for havbølger som er noe dempet. Dermed får vi en (relativt) lav bølgehøyde uten at perioden er tilsvarende redusert, og kreftene på moloen blir større enn det som Hudsons formel angir.

For konvensjonelle moloer bør Van der Meers metode brukes. Denne metoden er basert på omfattende laboratoriestudier og har vært enerådende i bruk i Norge siden ca. 1980.

Formlene er laget for tilfellene oppskyllingsbrytning og styrtbrytning.

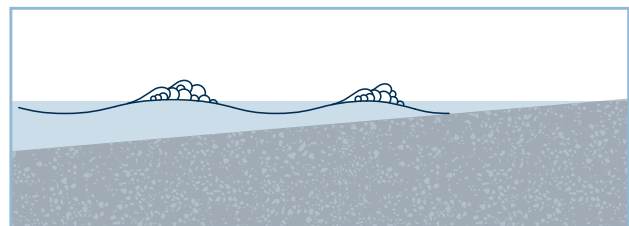
Hvilken type brytning som forekommer, er styrt av Iribarren-tallet ξ_z , som er definert som:

$$\xi_z = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{\frac{H_s}{L_0}}}; \quad L_0 = \frac{g}{2\pi} T_z^2$$

der α er vinkelen til havbunnens skråningshelning, H_s er signifikant bølgehøyde og L_0 er bølgelengde. Subindeksen 0 betyr at parameteren er beregnet i dypvann uten påvirkning fra havbunnen på bølgeformen. Iribarrrens tall avgjør type bølgebrytning, som vist i figur 7-9.

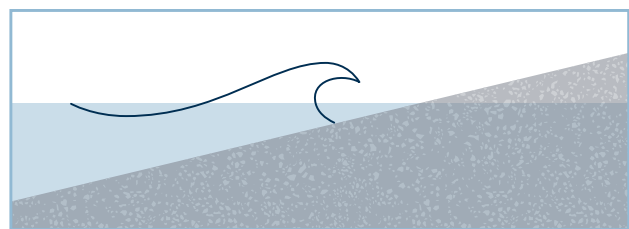
Skumbrytning

$$\xi_0 < 0,5$$



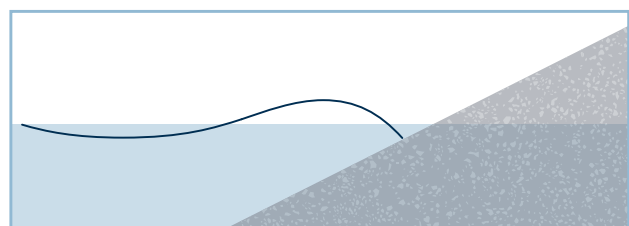
Styrtbrytning

$$0,5 < \xi_0 < 3,3$$



Oppskylling

$$\xi_0 > 3,3$$



Figur 7-9 Forskjellige typer bølgebrytning avhengig av ξ -verdi.

Overgangen mellom styrtbrytning og oppskyllingsbrytning finner sted ved en bestemt verdi av Iribarren-tallet som er gitt ved:

$$\xi' = \left(6.2P^{0.31} \sqrt{\tan \alpha}\right)^{\frac{1}{p+0.5}}, \text{ også kalt kritisk verdi av Iribarren-tallet.}$$

NB! Blokkvekter som kommer ut av dette formelsettet har et maksimalpunkt for verdier av Iribarren-tallet rundt ξ' , det vil si i overgangen mellom de to formelsettene. For en gitt geometri og bølgehøyde vil ξ_z være avhengig kun av bølgeperioden T_z , og det er derfor viktig å undersøke sensitiviteten ved å velge verdier av T_z også over og under den mest sannsynlige verdi.

SYMBOL	ENHET	KOMMENTAR
ξ_z	dim. løs	Iribarren-tallet
ξ'	dim. løs	Iribarrentallet ved overgang mellom brytningstyper
H_s	m	Signifikant dimensjonerende bølgehøyde
Δ	dim. løs	$\Delta = \frac{\rho_s}{\rho_w} - 1$; dimensjonsløs egenvekt
ρ_s	kg/m ³	densitet, stein
ρ_w	kg/m ³	densitet, sjøvann
D_{n50}	m	ekvivalent, gjennomsnittlig diameter av steinmateriale
P	dim. løs	Permeabilitetsfaktor, se tabell nedenfor
S	dim. løs	$S = \frac{A_e}{(D_{n50})^2}$; dimensjonsløst skadetall
A_e	m ²	Arealet av området med fjernede blokker, målt i tverrsnittet
N	dim. løs	(dimensjonerende) antall bølger, vanligvis mellom 1000 og 5 000
α	°	Moloens skråningsvinkel
W_{50}	m	Dypvanns bølgelengde
T_z	s	$T_z \approx T_p/1,35$; midlere bølgeperiode
T_p	s	spektral topp-perioden i spekteret; dimensjonerende bølgeperiode

Tabell 7-5 Symboler brukt i beregning av dekkblokkstørrelser.

Permeabilitetsfaktoren, P uttrykker hvor lett bølgene trenger inn i moloen, og varierer fra 0,1 for tett kjerne til

0,6 for moloer uten kjerne, referer tabellen nedenfor:

PERMEABILITETSFAKTOR P	TYKKELSE AV DEKKLAG	TYKKELSE AV FILTER	KJERNE
0,1	2	0,5	impermeabel
0,4	2	1,5	samfengt
0,5	2	uten filter	samfengt
0,6	hele moloen består av blokker, uten filter og uten kjerne		

Tabell 7-6 Ulike verdier av permeabilitetsfaktoren P for ulike molotyper. Tykkelsen av dekklag og filter vist som multiplum av steindiameter D_{n50} .

For norske moloer vil en gjennomsnittsverdi for P ligge fra 0,3 til 0,4, forutsatt at det er brukt kjerne. For moloer uten kjerne og kun blokker brukes $P = 0,6$.

Skadetallet, S uttrykker hvor stort arealet er av tverrsnittet der blokker er fjernet, målt i antall blokker. Dersom skadetallet er f.eks. 5, og blokkdiameter $D_{n50} = 0,75$ m, vil tverrsnittet av området der blokker fjernes, bli tilsvarende tverrsnittsarealet av 5 blokker, dvs $5 \times (0,75)^2 = 2,81$ m², eller 2,81 m³ pr løpemeter molo.

Kystverket anbefaler å bruke en verdi på skadetallet på $S = 2,0$, som gir en nesten statisk stabil molo. Det er i praksis ingen skade, og kun en «sammenrusting» av moloen.

7.5.2.4 Skuldermolo

En skuldermolo (engelsk «berm breakwater») er en molo som har et ekstra tykt lag av kun store blokker på den

eksponerte siden. Dette blokklaget tjener som absorlator og skal dempe bølgebevegelsen og hastigheten i vannet gradvis slik at belastningen blir mindre, og blokkstørrelsen kan reduseres. På grunn av den interne dempingen i skuldra vil også oppskyllingen på en skuldermolo bli lavere, slik at høyden kan reduseres.

Figur 7-7 viser en typisk skuldermolo. Denne krever et større volum av steinfyllingen og krever større plass i horisontalplanet enn en konvensjonell plastret molo, men det kan benyttes mindre blokker som er billigere å produsere.

Skuldermoloer benyttes oftest for de mest utsatte stedene på kysten. Hvilken molotype som velges, vil være en økonomisk vurdering, men generelt vil skuldermoloer være konkurransedyktige fra en dimensjonerende bølgehøyde på $H_s \approx 3,0$ – $3,5$ m og oppover.

KLASSE	NORSK BETEGNELSE	KODE	H_0	S_d	REC/D_{n50}
1	Ikke omformbar; Islandsk type	HR-IC	1,7–2,0	2–8	0,5–2
2	Delvis omformbar; Islandsk type	PR-IC	2,0–2,5	10–20	1–5
3	Delvis omformbar; velgradert dekklag	PR-MA	2,0–2,5	10–20	1–5
4	Fullstendig omformbar; velgradert dekklag	FR-MA	2,5–3,0	--	3–10

Tabell 7-7 Typiske størrelser for H_0 , S_d og REC/D_{n50} for moloer av varierende stabilitet (se ref XVII).

I Norge er det bygget et stort antall slike moloer, både som nybygg og som rehabilitering/ reparasjon av moloer som har vært skadet.

Erfaringer viser at en molo med skuldermolohode har større evne til å dempe bølger som runder hodet (som følge av diffraksjon og refraksjon, se pkt. 6.2) enn en konvensjonell molo har. Det er derfor også bygd kombinerte moloer med konvensjonell linje ut til molo-hodet som er utført med skulder.

I starten ble skuldermoloer bygget med en intensjon om omforming, dvs at profilet ble forventet utslaket til en S-form under påvirkning av stormer. Slike moloer hadde typisk en lav og bred skulder. Denne teknikken førte til store bevegelser av hver enkelt blokk, noe som igjen medførte slitasje og oppbrekking av blokkene. Man har derfor gått over til et profil der skuldra er smalere og høyere, og det er et mål at moloen skal være statisk stabil med minimal omforming («recession» – Rec) selv for dimensjonerende storm.

En skuldermolo som omformes, kalles «dynamisk stabil» fordi den har en tilnærmet stabil ytre form, selv om det er store bevegelser i steinblokkene.

I den andre enden finnes skuldermoloer som er «statisk stabil», dvs at formen og de enkelte steinblokker ligger i ro.

Omformingen måles her som den avstanden som fremre kant har trukket seg tilbake.

Skuldermoloer som bygges i Norge skal som hovedregel være statisk stabile, dvs at parameteren $H_0 < 2,0$ (se også avsnittet kap. 3.2.3).

Skuldermolo-prinsippet brukes oftest på de største anleggene, og det kan derfor være aktuelt å utvikle et teoretisk design som så testes og eventuelt verifiseres i laboratoriemodell.

Det er alminnelig enighet om at en skuldermolos grunnleggende design styres av følgende parametere:

$$H_0 = \frac{H_s}{\Delta D_{n50}}; \text{ og } T_0 = \sqrt{\frac{g}{D_{n50}}} T_z$$

I dag legges det mindre vekt på parameteren T_0 , selv om det tidligere ble anbefalt at $T_0 < 70-80$.

I en publikasjon fra 2017 har van der Meer og Sigurdarson (se ref XVII) foreslått verdier for parameterne H_0 , skadetallet S_d og faktor for omforming REC/D_{n50} (dimensjonsløs). Moloene inndeles i grupper med varierende stabilitet. Parametervalget er beskrevet i tabell 7-7.

En skuldermolo som ikke er statisk stabil, vil etterhvert slites ned på grunn av bevegelsen i blokkene, og moloen vil dempe både bølger og overskylling dårligere fordi deler av skulderen er borte.

Det generelle kravet til en skuldermolo i Norge er derfor at $H_0 \leq 2,0$.

Tabell 7-8 viser hvilke dimensjoner (med angitte symboler) som fastsettes under dimensjoneringen, se også figur 7-1.

- Blokkvekt regnes ut fra følgende uttrykk:

$$W_{50} = \rho_s (D_{n50})^3$$
- Skråningsvinkel mellom skulder og molokrone settes lik 1:1,5 - 1:3 (1:S₂)
- Skråningsvinkel mellom skulder og bunnen foran moloen (1:S₁) settes lik rasvinkel (1:1,3-1:1,25).

SYMBOL	ENHET	KOMMENTAR
B _s	m	Skulderbredde
H _k	m	Molohøyde over dimensjonerende høyvann
d	m	Vanddybde ved fot av molo
H _s	m	Signifikant dimensjonerende bølgehøyde
Δ	dim. løs	$\Delta = \frac{\rho_s}{\rho_w} - 1$; dimensjonsløs egenvekt
ρ _s	kg/m ³	densitet, stein
ρ _w	kg/m ³	densitet, sjøvann
D _{n50}	m	ekvivalent, gjennomsnittlig diameter av steinmateriale
W ₅₀	kN	Blokkvekt tilsvarende D ₅₀ ; $W_{50} = \rho_s D_{n50}^3$
T _z	s	Nulloppekryssingsperiode i spekteret = T _p /1,35
T _p	s	Spektral topp-periode i spekteret

Tabell 7-8 Symboler brukt ved dimensjonering av skuldermolo.

7.5.3 Filterlag

7.5.3.1 Generelt om filterlag

Filter er det materialet som legges inn mellom laget med dekkblokk og kjernen. Filterets hensikt er å hindre små partikler og deler av kjernen i å bli presset ut gjennom blokklaget. Det skjer ved at vannstrømmen dempes ved passering gjennom filteret, og at filteret er dimensjonert slik at åpningene i filteret er for små til at partiklene i kjernemassen kan slippe ut. Samtidig må filteret avpasses til blokklaget, slik at filteret selv ikke vaskes ut gjennom blokklaget.

Det kan være nødvendig å legge ut filter i flere lag. Følgende uttrykk brukes for å spesifisere steinstørrelsen i filterlag:

$$4 < \frac{D_{50f}}{D_{50b}} < 5$$

D_{50f} = middel diameter i filterlag

D_{50b} = middel diameter i underliggende (base-) lag.

I praksis betyr det at spranget i median diameter mellom to lag skal ha en faktor på mellom 4,0 og 5,0. Filter skal være mest mulig ensgradert og ikke inneholde finstoff.

Filterlaget skal ha en tykkelse på minimum $3xD_{50}$. Det er ofte vanskelig å legge ut filter med en slik presisjon under vann, og man vil derfor ofte angi en større tykkelse og gi en romslig toleranse.

Eks.: Dersom man trenger 75 cm tykkelse, beskrives 1 m tykkelse +/- 25 cm.

Det antas at et slikt filterkriterium som er relativt enkelt, vil være det eneste praktisk brukbare under utførelse av molobygging.

7.5.3.2 Metoder

Filterkvalitet vil i praksis ofte ligge i det størrelsesområdet som gjelder for knust stein, dvs en kvalitet som har passert

en sikt med åpning mindre enn 600 mm. Man bør derfor prøve å spesifisere en filterkvalitet som er i nærheten av noen av de kommersielle fraksjonene som knuseverkene leverer, se tabell 7-9.

Dersom ønsket filterkvalitet er $D_{50} = 200$ mm, kan man komme fram til et akseptabelt materiale ved å spesifisere kvaliteten 0/300 med alt under 120 mm frasortert.

TYPE MASSE/SORTERING

Uspesifisert

0/4

0/8

0/11

0/22

0/63

2/4

4/8

8/11

8/16

8/22

11/16

11/22

16/22

16/32

22/32

22/63

22/120

0/300 – sprengt stein

0/600 – sprengt stein

0/25 – knust asfalt

0/60 – knust betong

Harpet jord

Tabell 7-9 Kommersielle og lett tilgjengelige fraksjoner av knust stein. Eksempelvis betyr 16/32 alt materiale som blir liggende igjen mellom riststørrelse 32 mm og 16 mm.

7.5.3.3 Filterduk / Geotekstil

I noen tilfeller kan det være påkrevet å benytte en filterduk eller geotekstil. Generelt er imidlertid filterduk lite brukt for moloer i Norge. Unntaket er moloer som brukes som innfatningssjeté for deponi av forurensete masser. I det tilfellet kan det være aktuelt å benytte filterduk for å hindre utlekking av forurenset materiale. Men da vil filterduken bli lagt på moloens innside, og ikke på den siden som er eksponert for bølger.

Det er heller ikke aktuelt å bygge moloer med kjerne av forurenset materiale. Det vil ikke være mulig å legge ut kjernen uten stor og ukontrollert spredning av (forurenset) kjernemasse i byggefasen.

I noen tilfeller er det tenkbart at en molo vil grense inn mot et område bestående av (fast) leire eller annet finkorning materiale (sand, silt), og i det tilfellet kan det være aktuelt å vurdere bruk av filterduk.

Dersom man velger å bruke filterduk, er det i nesten alle tilfeller ikke tilrådelig å legge dekkblokker direkte på duken. Utlegging av blokkene vil føre til skader på duken, og det er alltid fare for at duken blir trukket ut av posisjon av blokker som ruller. Dersom det skal benyttes filterduk, så må den i nesten alle tilfeller beskyttes av et lag med pukk som vil ha samme karakteristikk som filterstein.

Filterduk eller geotekstil er derfor aktuelt bare i meget spesielle tilfeller, og behovet for et beskyttelseslag på duken gjør at det ikke er noen økonomisk gevinst i å benytte duk.

7.5.4 Kjernemasse

Kjernen i moloen består av samfengt masse fra steinbrudd, pukk, grus, mindre blokker o.l. Ved uttak av masse fra steinbrudd vil man oftest benytte de massene som ikke er anvendelige til andre formål, i kjernemassen. Merk at det ikke er ønskelig at kjernen er åpen, og derfor er store blokker bare tillatt i begrenset grad. For de indre deler av kjernen stilles ingen spesielle krav til *gradering*, mens for

de ytre deler (ytterste 2–3 m mot filter), må kjernemassens sammensetning kontrolleres og eventuelt justeres slik at det passer med filterdimensjoneringen.

Følgende typer materiale tillates likevel ikke noe sted i kjernemassen:

- Leire og silt
- Jord, humus eller annet organisk materiale som sagflis, treverk e.l.
- Skjellsand, gjørme eller mudder
- Plastrester fra sprengningsarbeidene
- Løsmasser med innhold av miljøgifter (forurensete masser, kl. II-V)
- Metaller

Kjernemassen kan bestå av:

- Sprengstein med vanlig gradering. Om en oppnår *god pakking*, er det i praksis ingen begrensning for hvor store blokker som tillates, men de store blokkene vil oftest reservere til dekklag og evt. filter.
- Blokker og stein som har tilstrekkelig størrelse til å være dekkblokker, men som ansees å ha uegnet form til bruk i plastring.
- Pukk og grus fra steinbrudd eller naturlig forekomst. Om det benyttes naturlig forekomst, bør det suppleres med sprengstein for å få en god gradering, da naturlige forekomster av grus oftest er ensgraderte.
- Tunnelmasse, overskuddsmasse fra steinbrudd for dekorstein eller industristein.
- Subbus og finstoff fra steinbrudd tillates med inntil 5 % om det tilføres jevnt og kontinuerlig og ikke deponeres i lommer eller på egne steder.

Det anbefales ikke å benytte noen former for bygningsavfall (betong, asfalt, tegl e. l.).



Figur 7-10
Moloer som kan eller vil bli utsatt for overskylling må plastres med like store steinblokker på innsiden som på utsiden. Man må også vurdere i hvilken grad et slikt anlegg skal være åpent for publikum. (Gismerøy, Mandal. Foto Norconsult).

7.5.5 Molohøyde

7.5.5.1 Generelt

Molohøyden vil avgjøre i hvor stor grad moloen er i stand til å hindre de høyeste bølgene i å komme over moloen. En lav molo vil gi flere utfordringer:

- Bølger som slår over moloen, vil skape nye bølger på innsiden.
- Bølger som slår over moloen, vil hindre at innsiden av moloen kan tas i bruk til f.eks. kaiplasser.
- Bølger som slår over moloen, vil hindre at moloen kan benyttes til f.eks. kjørebane, enkle hus og bygninger.
- Bølger som slår over moloen, utgjør et problem for sikkerheten til allmenheten.
- Dersom en molo er utsatt for hardt overskyl, vil baksiden av moloen være like utsatt for skader som innsiden, hvilket betyr at innsiden må sikres på samme måte som utsiden.

En molo kan runddekkes, dvs. at det ytre plastringslaget føres opp til og over toppen og ned på innsiden til middelvann. En slik molo vil tåle mye overskylling, og konstruksjonen inviterer ikke til allmenn ferdsel. I slike tilfeller kan man dimensjonere høyden for en overskylling for inntil 0,5 m³ per sekund per meter, med de forbehold som er nevnt i lista over.

Dersom moloen skal anvendes til uspesifiserte allmenne formål, vil kravet til maksimal tillatt overskylling være forholdsvis strengt. En maksimal overskylling på 10 l/(sm) vil gjelde for anlegg der publikum ferdes eller det skal foregå biltrafikk (i antatt lav hastighet).

For bygninger som er forberedt for vann og noen krefter fra bølger, er toleransen ca. 50 l/(sm).

Beregninger av overskylling på konvensjonelle moloer kan foretas etter metoden beskrevet i ref. XX. Van der Meer & al beskriver en metode for beregning av overskylling på skuldermoloer i ref. XVII.

Retningslinjer for akseptabel overskyllingsrate kan hentes fra EuroTop Manual, og er gjengitt i tabell 7-9.

I vurderingen av publikums sikkerhet bør følgende tas i betraktning.

- En molo vil ofte tiltrekke publikum under større stormhendelser (se figur 7-10). Dersom en molo bygges med veg/gangbane vil det oppfattes som en invitasjon til trygg bruk. Dersom den derimot runddekkes med stor blokk på hele moloen, er det mer åpenbart for publikum at dette området ikke er et alminnelig tilgjengelig område.
- En må vurdere hvilke muligheter publikum og andre brukere har til å bedømme risiko før de ferdes ut på moloen.
- Retrettmulighetene skal også vurderes. Det gjelder spesielt for lange moloer der det er mulighet for at man kan gå ut på moloen, for så å finne ut at bølgene er for høye til at man kan komme tilbake på trygg grunn.
- Tiltak for å signalisere mulig fare til publikum kan være advarselskilt (helst også som piktogram), runddekking av molo (ingen gang/kjørebane), forbud mot ferdsel og avstenging med gjerde.

BRUKER-GRUPPE	BRUKERE	AKSEPTABEL OVERSKYLLING l/(sm)			EKSEMPLER
		MIN	MIDDEL	MAX	
Fotgjengere/ publikum	Alminnelig publikum		0,03		Generelt publikum uten krav til utstyr, eks. bygater, fortau, etc.
	Oppmerksomt publikum		0,1		
	Yrkesutøvere med trening og utstyr	1		10	Fiskere, havnearbeidere, turgåere og syklist
Kjøretøy	Lav hastighet	10		50	Max-grense gjelder for tyngre kjøretøy, traktor, hullaster, etc.
	Moderat til høy hastighet	0,01		0,05	Vanlig veg uten krav til nedsatt hastighet
Bygninger og konstruksjoner	Skade på utstyr innenfor 5–10 m		0,4		Bygninger og utstyr som ikke er forberedt på vann og flom
	Skade på bygningsdeler		1		
	Mindre fartøyer senkes		10		Gjelder båter som er fortoydd på innsiden av en molo
	Større skader, middels båter senkes		50		
Moloer og forbygninger	Ingen skade på ubeskyttet område		0,1		
	Ingen skade på gress og løsmasser	1		10	
	Grense for skade på steinsatt område	50		200	
Promenader og trafikkområder	Skade på betongdekke		200		
	Skade på asfalt og tredekker		50		

Tabell 7-10 Akseptkriterier for overskylling på moloer og fyllinger i sjø, angitt i l/(sm).

SANNSYNLIGHETSNIVÅ % (SE DEF. NEDENFOR)	A	B	C	D
0,10	1,12	1,34	0,55	2,58
1	1,01	1,24	0,48	2,25
2	0,96	1,17	0,46	1,97
5	0,86	1,17	0,44	1,68
10	0,77	0,94	0,42	1,45
signifikant	0,72	0,88	0,41	1,35

Tabell 7-11 Koeffisienter i formelverk for oppskyllingsberegning.

7.5.5.2 Metoder for beregning av molohøyde

Det kan velges mellom to ulike metoder for beregning av nødvendig molohøyde basert på et krav om maksimal tillatt overskylling. Metoden i hht. PIANC kan brukes på vanlige moloer der kun molostabiliteten skal undersøkes. I tilfeller der liv og helse og den generelle sikkerhet for publikum er involvert bør en benytte EuroTop-metoden.

Oppskyllingsberegning etter PIANC

Overskylling kan beregnes etter følgende formler hentet fra PIANC/van der Meer:

For permeabilitetskoeffisient $P < 0,4$ (dvs vanlig plastret molo med kjerne):

$$\frac{R_u}{H_s} = a\xi_z; \text{ for } \xi_z < 1.5$$

$$\frac{R_u}{H_s} = b(\xi_z)^c; \text{ for } \xi_z > 1.5$$

$$\xi_z = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{L_0}} \sqrt{H_s}$$

For permeabilitetskoeffisient $P > 0,4$ (dvs for moloer uten kjerne):

$$\frac{R_u}{H_s} = d$$

R_u er oppskyllingshøyden målt vertikalt fra dimensjonerende høyeste vannstand. L_0 er bølgelengden på dypt vann og α er moloens helningsvinkel.

Koeffisientene a, b, c, d finnes i tabell 7-10 avhengig av sannsynlighetsnivå for overskylling. Sannsynlighetsnivået i % er her den prosentandel av bølgene som når høyere opp enn R_u i den dimensjonerende situasjon gitt ved H_s og T_p .

Sannsynlighetsnivå velges fra følgende kriterier:

- 0,10 % velges der en ønsker en særdeles høy sikkerhet mot overskylling, eksempelvis der moloen også er vegforbindelse hvor overskylling ikke aksepteres av hensyn til konstruksjoner eller installasjoner i vegbanen, flyplasser, eller der boliger, institusjoner osv. er plassert direkte på moloen;
- 2 % velges der overskylling unntaksvis aksepteres.
- 10 % gir en frekvens for overskylling som er i samsvar med norsk praksis. Dette nivået kan velges der moloen normalt ikke trafikkeres av mennesker eller kjøretøy (f.eks. der det ikke er veg på toppen), og der det ikke er konstruksjoner på molen eller på innsiden. Permanent fortøyning av fartøyer langs moloens innside kan ikke aksepteres.

Dersom en velger et sannsynlighetsnivå på 10 % eller høyere, må moloen dimensjoneres for overskylling, dvs lik innside og utside.



Myre havn, Nordland. Foto: Kystverket

Oppskyllingsberegning etter EuroTop Manual

EuroTop Manual (se ref. XX) inneholder et formelverk for beregning av overskyllingsrate gitt i liter per sekund per lengdemeter molo. Sammen med verdiene i tabell 7-11 gir denne metoden en mer presis beregning av risiko for overskylling og hvilke konsekvenser den får. Metoden er for omfattende til å bli presentert her, og det refereres til publikasjonen som er åpent tilgjengelig, og til et regneprogram som kan nedlastes.

Man kan beregne overskyllingsrate på flere forskjellige typer konstruksjoner (f.eks. vanlig molo, skuldermolo, vertikale murer og (slake) voller/diker, og man kan velge forskjellige typer geometri. Det er angitt ett sett med formler som gjelder for deterministisk analyse, og ett sett for probabilitisk analyse.

7.5.6 Molobredde

Molobredden vil oftest være gitt av anleggstekniske betraktninger. Man vil i de fleste tilfeller fylle opp så mye som mulig av kjernemassen fra lekter (opp til ca. 3–4 m dybde), og deretter fylle fra tipp fra landsiden. En forutsetning er da at kjernemassen som fylles opp, er bred nok til at biler eller dumpere kan kjøre ut og eventuelt snu på kjernen, som da vil ligge 1–2 m over høyvann, avhengig av de lokale bølgeforhold. Utenpå denne kjernen skal det så legges et filterlag og et blokklag, og i de fleste tilfeller skal kjernen også heves noe slik at toppen blir smalere.

7.5.7 Helningsvinkel, front

Den ideelle helningsvinkel er ca. $1:1,3 \pm 0,05$. Denne vinkelen er nær naturlig rasvinkel for materialet som brukes i kjernemassen etter at fyllingen er bearbeidet av moderate bølger. En slakere helningsvinkel kan gi noe lavere blokkvekter, men dersom man velger f.eks. 1:1,5, må man regne med å få noen problemer med å legge på plass de ytterste og nederste blokkene.

En tilfredsstillende plastret skråning på 1:1,3 gir meget god stabilitet, og vil være godt tilpasset vanlig sprengstein. Man søker å plastre slik at hver blokk vil ligge delvis oppå blokka under seg, men når skråningen blir slak, vil innrykket for hver blokk bli så stort at det er vanskelig å få til denne låsingen mellom blokkene.

Merk at ved dumping fra tipp kan man oppnå meget bratte helninger som er brattere enn 1:1, og i noen tilfeller med overheng. Dette er meget farlig, og under denne typen arbeider må skråningen aktivt slakes ut og oppnådd helning må kontinuerlig overvåkes.

7.5.8 Molohode

Molohodet er et potensielt svakt punkt i en molo der moloen peker rett ut mot sjøen. Det skyldes at de enkelte blokkene her blir liggende med noe svakere sideinnspenning enn blokkene på den rette delen av moloen, og at blokkene her vil være utsatt for en lateral



Figur 7-11
Solid utført brystvern.
Oppreiste blokker med
bakkant forsterkning av
betong. (Svolvær. Foto:
Kystverket).

kraft fra sida når bølgene diffrakteres (se 6.2) rundt molohodet.

I noen tilfeller vil molohodet bli vridd noe bort fra bølgene, og da er det mindre utsatt.

Den prosjekterende må i hvert tilfelle vurdere behovet for forsterkning av molohodet. I de tilfeller der molohodet er utsatt for samme bølger som resten av moloen, anbefales det å øke blokkstørrelsene lokalt på hodet med 25 %, og i noen tilfeller mer.

Det er et alternativ å benytte en skuldermolo på hodet. I så fall må det utvikles et helt nytt design for molohodet.

7.5.9 Skulderbredde

Skulderbredden inngår i beregningen av molohøyden, og bidrar til å begrense overskyllingen til et akseptabelt nivå. Skulderbredden skal velges så stor at beregnet omforming («recession») etter en dimensjonerende storm er mindre enn halve skulderbredden:

$$B_{\min} \geq 2 \operatorname{Rec}(H_{s,\text{dim}})$$

7.5.10 Skulderhøyde

For skuldermoloer skal høyden av skulderen dimensjoneres slik:

$$d_b \geq 0,6 H_{s,\text{dim}}$$

der d_b er skulderens høyde over dimensjonerende stormflo, og $H_{s,\text{dim}}$ er dimensjonerende signifikant bølgehøyde (antatt ved 200 års returperiode).

7.5.11 Brystvern, kjørebane og navigasjonsinstallasjoner

Dersom det skal anlegges en kjørebane på moloen, vil det som oftest være aktuelt å ha et brystvern. Brystvernet må da utformes så solid (oppreiste steinblokker eller armert betong) at det faktisk utgjør toppen av moloen. I tillegg må kjørebanelen legges på et drenerende underlag (tilsvarende filter), og avslutningen mot innsiden må formes slik at vann som strømmer over kjørebanelen dreneres i fritt fall ned i sjøen. Bildene i figur 7-11 og figur 7-12 gir eksempler på vellykket utføring av brystvern.



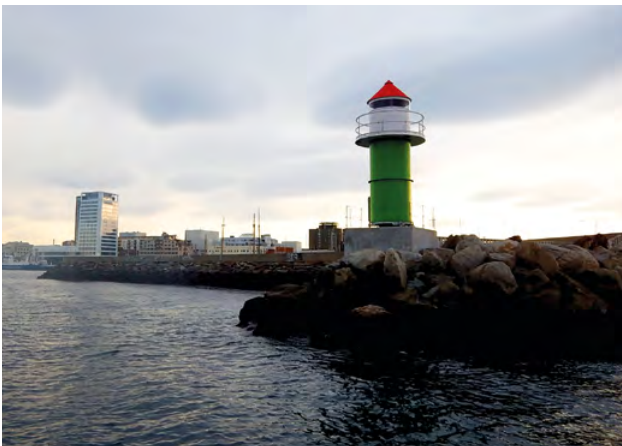
Figur 7-12
Utforming av brystvern
i meget utsatt molo
(skuldermolo). Brystvernet
består av bare blokker
nærmest, og betongmur
i bakgrunnen. Foran
brystvernet ligger 3-4
blokker som beskyttelse.
(Berlevåg. Foto: Norconsult).



Figur 7-13
Solid utformet brystvern av
stabled naturstein. Blokkene
er sikret mot nedfall av
gjennomgående, vertikale
bolter. Dette brystvernet
er så høyt at en person
på kjørebane ikke har
mulighet til å bedømme
hvordan situasjonen på
utsiden av moloen er.
Moloen må derfor være
så høy at overskyllingen i
praksis er lik null. (Killingøy,
Haugesund.
Foto: Norconsult).



Figur 7-14 Bilde fra Kabelvåg under stormen Berit, som viser at politiet har sperret av moloen. (Foto: Bjørnar Larsen, Lofotposten).



Figur 7-15 Eksempel på betongfundament og kabel klamret til brystning. (Bodø og Steinesjøen. Foto: Kystverket).

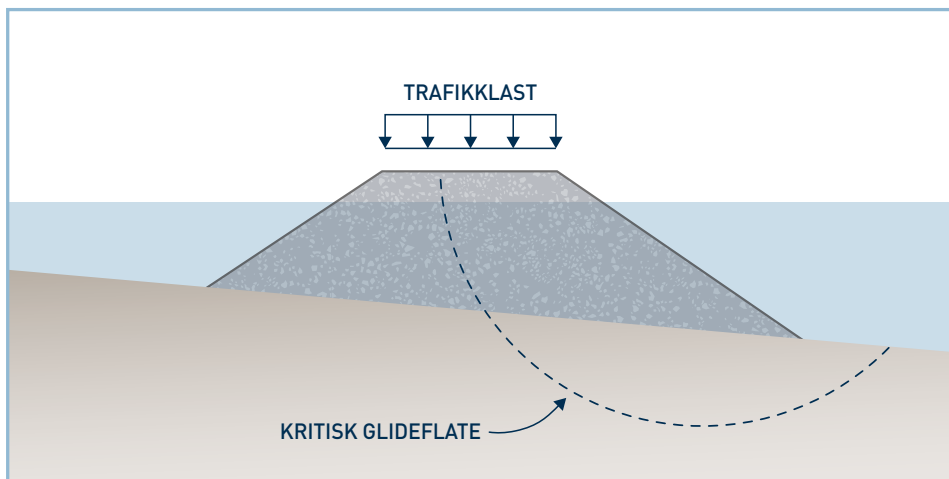
Der hvor det er betydelig høyde fra gang/kjørebane til topp av brystvern (i praksis mer enn ca. $\frac{1}{2}$ x blokkstørrelsen eller ca. 1 m), må blokkene som ligger på toppen, sikres mot nedfall på gang/kjørebane. Blokkene som ligger på toppen, kan påvirkes av både bølgekrefter og vind.

En molo vil alltid være et attraktivt sted for hobbyfiskere og personer som er ute for å se på været, som i figur 7-10. I tilknytning til reguleringsplanarbeid skal det gjennomføres risiko- og sårbarhetsanalyser, jf pbl §4-3. Vurdering av samfunnssikkerhet i forhold til utilsiktede og tilsiktede handlinger, skal være en del av ROS-analysen. I de tilfeller der det ikke er krav til reguleringsplan, skal ROS-analyse gjennomføres i tilknytning til forprosjektarbeidet. I en slik analyse må det også vurderes hvorvidt allmennheten skal ha tilgang til moloen, helt til molohodet eller evt. bare til deler av moloen. En slik analyse vil kunne påvirke molokronens utforming og vil også kunne si noe om behov for informasjonsskilt som angir de farer som ferdsel på

moloen vil kunne representerer.

Plassering av navigasjonsinstallasjoner på molo må utføres i samråd med nautiker i Kystverket. Fundament for installasjonene utføres enten av betong (plasztøpes eller prefabrikeres), se figur 7-15 til venstre, eller av en stor steinblokk som legges slik at denne kan utgjøre fundamentet for installasjonen. Størrelse på fundament vil være avhengig av hvilken type installasjon som skal etableres.

Fremføring av strøm kan gjøres ved å legge frem åpen kabel klamret til steiner som ikke forventes å bevege seg, eks. stein i brystning, se figur 7-15 til høyre. Dette er den enkleste metoden. Det er også mulig å legge kabel på sjøbunnen frem til molohodet og derfra klamret til dekkblokkene opp til navigasjonsinstallasjonen. En annen mulighet er å legge trekkerør i grøft og kummer for senere trekking/fremføring av kabel, men det er mindre vanlig.



Figur 7-16
Typisk profil av molo med
antatt kritisk glideflate.

Avhengig av hvilken type navigasjonsinstallasjon som skal etableres, kan også solcelleanlegg være aktuelt som energikilde. Prosjektering av kabelfremføringen må skje i nært samarbeid med Kystverket.

7.6 GEOTEKNISK STABILITET

7.6.1 Generelt

Stabiliteten for moloen vil avhenge mye av sjøbunns-topografien og løsmassenes beskaffenhet i det området moloen skal etableres. Kartlegging av topografien med opplodding og grunnundersøkelser er derfor viktig å få gjennomført før prosjektering av moloen starter.

I hovedtrekk deler vi stabilitetsberegningen inn i 2 deler, totalspenningsanalyse (korttid) og effektivspenningsanalyse (langtid).

Totalspenningsanalyse omfatter fylling på tette, impermeable masser, som leire (kohesjonsmateriale). Ved utfylling på slike materialer, vil tilleggslasten fra moloen skape et indre vanntrykk i leiren. Stabiliteten vil derfor være lavest den første tiden etter utfylling, fordi styrken til leiren vil øke etter hvert som vanntrykket dreneres ut av massene (konsolidering).

Effektivspenningsanalyse omfatter fylling på åpne friksjonsmasser, som silt, sand og grus (friksjonsmateriale).

En må også ta hensyn til tidevannsvariasjonen ved stabilitetsberegningen. Det er normalt å benytte laveste lavvann som ytre vannstand ved stabilitetsberegninger. Poretrykket i sjøbunnsmassene vil variere med tidevannet, avhengig av løsmassenes beskaffenhet. Tette

masser vil kunne få et forskjøvet poretrykk i forhold til tidevannsvariasjonen, mens åpne masser vil få poretrykk tilsvarende den ytre vannstanden.

Kravet til tilfredsstillende stabilitet er gitt i:
NS-EN 1997-1:2004+A1:2013+NA:2016
Eurokode 7: Geoteknisk prosjektering
Del 1: Allmenne regler

Standarden angir følgende krav til sikkerhet:

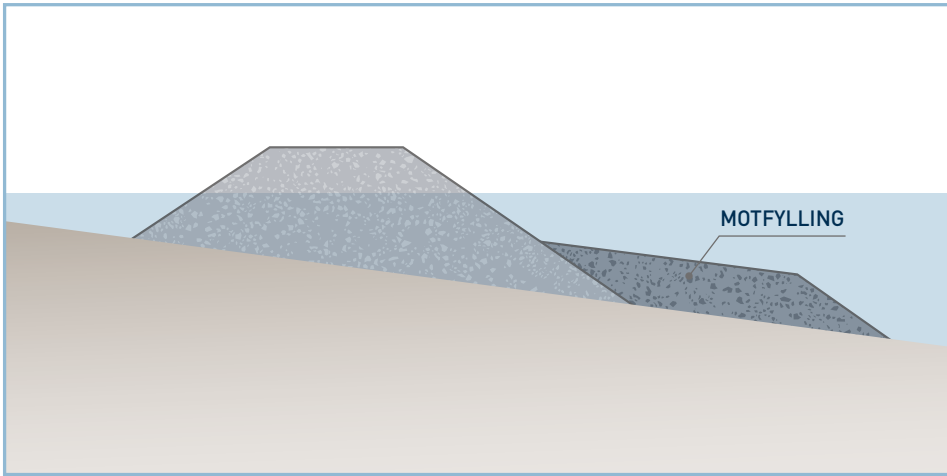
- Totalspenningsanalyse: 1,4
- Effektivspenningsanalyse: 1,25

Det skal påvises tilstrekkelig sikkerhet både ved totalspenningsanalyse og effektivspenningsanalyse.

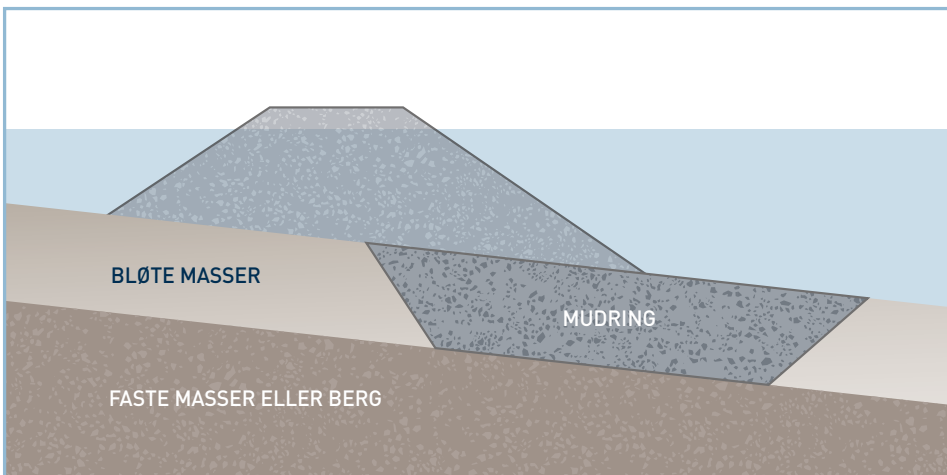
Figuren 7-16 viser et typisk profil for en molo, med antatt kritisk glideflate. Eventuelle laster (trafikklast o.l.) på moloen må vurderes ut fra dens bruksområde.

Stabiliteten for selve moloen betegnes som lokalstabilitet. I områder der det er sammenhengende bløte lag, som strekker seg inn over land, må en også vurdere områdestabiliteten. Dette gjelder spesielt løsmasser med sprøbruddsegenskaper eller kvikkleire. I slike tilfeller kan en molofylling utløse et initialskred som igjen medfører en tiltakende skredutvikling. Skredet kan da spre seg inn over land, og gi store konsekvenser for bebyggelse og infrastruktur. Dersom grunnundersøkelsene viser løsmasser med sprøbruddsegenskaper, skal en følge retningslinjene i NVEs kvikkleireveileder:

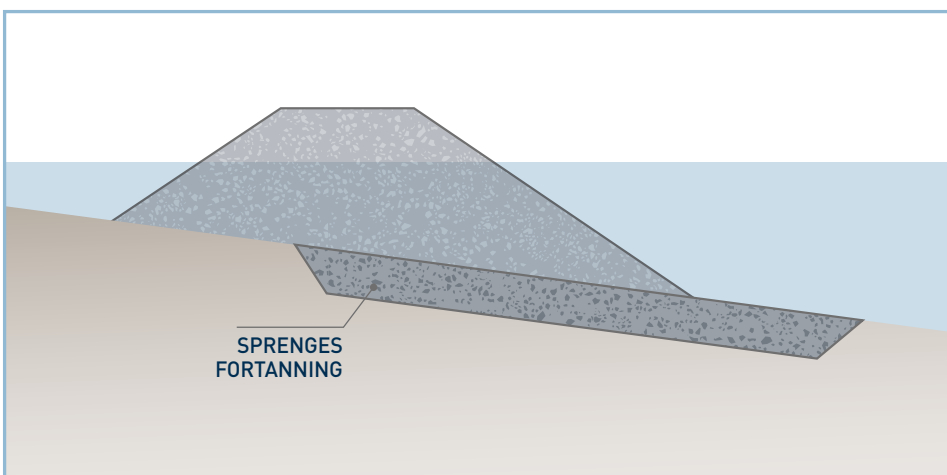
Sikkerhet mot kvikkleireskred – Vurdering av områdestabilitet ved arealplanlegging og utbygging i områder med kvikkleire og andre jordarter med sprøbruddsegenskaper 7/2014.



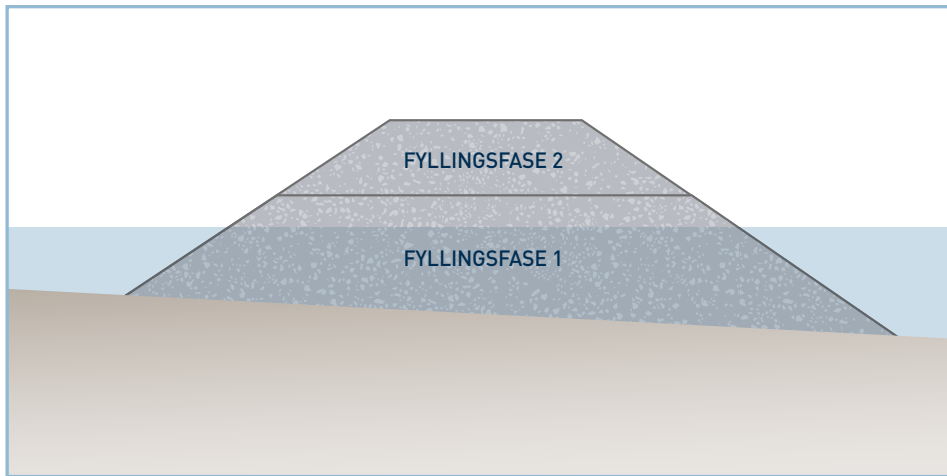
Figur 7-17
Stabiliserende tiltak
- motfylling.



Figur 7-18
Stabiliserende tiltak
- mudring.



Figur 7-19
Stabiliserende tiltak
- fortanning.



Figur 7-20
Stabiliserende tiltak
– fyllingsprosedyre.

7.6.2 Stabiliserende tiltak

For å oppnå tilfredsstillende stabilitet, kan det i mange tilfeller være nødvendig med stabiliserende tiltak. Slike tiltak kan være:

- Motfylling
- Mudring
- Sprenging av fortanning i fjell
- Spesielle krav til fyllingsprosedyren

7.6.2.1 Motfylling

Motfylling legges ut for å forlenge kritiske glideflater, som igjen øker stabiliteten til molen, se figur 7-17. Lengden og tykkelsen på selve motfyllingen vil avhenge av sjøbunstopografien og løsmassenes beskaffenhet i området.

7.6.2.2 Mudring

I noen tilfeller kan også stabiliteten til motfyllingen være kritisk, for eksempel ved meget bløte masser i sjøbunnen. I slike tilfeller kan det være aktuelt med mudring. Det vil si at en mudrer bort de bløte massene under deler eller hele moloen. Det mudres ned til faste masser eller fjell.

Det er viktig at tilbakefyllingen utføres kort tid etter mudringen, slik at mudringsrenna ikke sedimenterer igjen før fyllmassene legges ut. I tillegg skal nedre lag (minimum 1 m) bestå av åpne sprengsteinsmasser, for å sikre god kontakt mellom fyllmassene og underliggende faste masser eller fjell.

7.6.2.3 Fortanning

Dersom moloen skal etableres direkte på fjell, kan det være aktuelt å sprengne en fortanning under deler eller hele moloen, for å sikre tilfredsstillende stabilitet. Typisk forhold for dette er der store deler av moloen legges på glatte svaberg. Dette må vurderes konkret for hvert tiltak.

Molofoten (nederste blokk i plastringen) må sikres mot at blokkene glir dersom fjellet er glatt og slett og uten naturlig ruhet som låser blokkene på plass. Tilstrekkelig ruhet sikres ved å etablere en fortanning i fjellet, f.eks. i form av en grøft som låser de nederste blokkene. Dette gjelder også i de tilfeller der fjelloverflaten er horisontal. Typiske dimensjoner på slike grøfter er $B/D_{50} = 2,8-3,0$ og $D/D_{50} = 1,4-1,7$, der B er grøftbredden og D er grøftens dybde.

Behovet for fortanning er vanskelig å konstatere i prosjekteringsfasen, og utførelsen blir derfor ofte vedtatt på stedet.

7.6.2.4 Fyllingsprosedyre

For å sikre tilfredsstillende stabilitet, vil det i mange tilfeller være aktuelt å sette krav til utfyllingsprosedyren. Utfyllingen kan utføres i flere faser, der en også har opphold mellom fasene for å la grunnen konsolidere (styrken øker) før neste fyllingsfase utføres.

Dersom det ikke er tilfredsstillende stabilitet til å fylle ut moloen fra land, vil det være aktuelt å benytte sjøredskap, som lekter eller lignende, i første fyllingsfase. Når dette

laget er lagt ut, kan en komme etter med fylling fra land. Det kan også settes begrensninger til fylling i forhold til tidevannsvariasjonen. I en tidevannsyklus vil stabiliteten være på sitt laveste like før laveste lavvann. Det kan da settes begrensninger til at all fylling skal skje på stigende tidevann.

Det anbefales at stabilitetsanalyser gjennomføres av geoteknisk ekspertise.

7.6.3 Fast grunn

På fast sand, grus eller morene vil bæreevnen som regel alltid være god nok. Det skal likevel foretas sonderinger for å bekrefte antakelsen om bærekraftige lag. Muligheten for at det finnes bløte lag under et lag av faste masser, skal alltid vurderes og eventuelt undersøkes.

7.6.4 Setninger

En fylling som etableres på løsmasser, vil medføre setninger. For en molo kan disse setningene deles inn i 3 deler.

1. Setninger i opprinnelig sjøbunn
2. Egensetninger i molofyllingen
3. Nedtrengning av masser i sjøbunnen

Tilleggsbelastning på opprinnelig sjøbunn, som følge av last fra molofyllingen, vil gi setninger i sjøbunnsmassene. Størrelsen og tidsforløpet til disse setningene vil avhenge av mektigheten og sammensetningen på løsmassene. Leirmasser gir normalt sett større setninger, som også kan pågå over lengre tid, sammenlignet med sandmasser der setningene forventes mindre og hurtigere.

Det vil også oppstå egensetninger i selve molofyllingen. Størrelsen på disse vil i hovedsak være avhengig av mektigheten/høyden på fyllinga.

Nedtrengning av masser i sjøbunnen gir også setning eller deformasjon. Dette oppstår ved at fyllmassene trenger ned i sjøbunnen, og sjøbunnsmassene fyller

hulrom i fyllmassene. Størrelsen på disse setningene vil da avhenge av både fyllmassene og sjøbunnsmassene sin beskaffenhet.

7.6.5 Erosjonssikring av molofoten

Erosjon og dårlig sedimentstabilitet er aktuelt i farvann med sterke strømmer og der moloer legges på erosjonsutsatt grunn, som f.eks. sand eller løs morene. Også der molofoten utsettes for bølgeslag, vil erosjon kunne inntreffe.

Erosjon oppstår når man legger en stor steinblokk på bunnen og vannet tvinges til å strømme rundt. Da vil farten på vannet øke, og sanden fjernes der hvor farten øker rundt steinen, men det kommer ikke noe ny sand inn fordi farten ikke har økt litt lenger unna. Denne prosessen vil stoppe etter en tid, enten som følge av at det avdekkes større partikler som er stabile i den høyere strømmen, eller som følge av at strømmen lokalt blir svakere når blokkene og/eller sand siger ned; eller begge deler.

For å unngå dette, kan det benyttes en erosjonssikring, som er en fylling av sprengstein av moderat størrelse (ofte samme størrelse som filteret) som legges ut på bunnen foran moloen. Hensikten er at disse mindre steinblokkene skal skape mindre lokal fartsøkning og dermed gi mindre erosjon.

Erosjon kan være meget farlig for en molo dersom molofoten angripes. En undergraving av de nederste blokkene vil føre til at blokkene ovenfor siger ned og et slikt brudd kan forplante seg helt opp til toppen. Følgende tiltak anbefales for å hindre erosjon:

1. Sikring av molofot med erosjonsbeskyttende materiale.
2. Bruk av underfylling som sikrer at det finnes en «reserve» av blokker som kan sige ned uten at bruddet forplanter seg oppover.

Hensikten med erosjonssikring bestående av mindre blokker er todelt:

1. De mindre blokkene skaper mindre endringer (økning) i strømmen og da blir erosjonen mindre.
2. Erosjonssikringen tjener som et lager av blokker som siger ned i sanden, og erosjonsprosessen stopper før dette lageret er brukt opp.

I et tilfelle der moloen er fundamentert på utskiftet masse, vil det alltid finnes en overgang mellom opprinnelig bunn (oftest leire eller mudder) og ny masse (enten foten av moloen eller et horisontalt parti med utskiftet masse i nivå med opprinnelig bunn) som også må sikres.

Erosjonssikring bør dimensjoneres ved hjelp av geoteknisk ekspertise og bredde og tykkelse av erosjonssikringen må avpasses stedlige forhold.

Erosjonssikringen skal dimensjoneres i hvert tilfelle, men består typisk av sprengstein i størrelse $D_{50} = 0,2-0,4$ m som legges ut foran molofoten i bredde 3-4 m og tykkelse 0,5-1,0 m. Med tiden vil også erosjonssikringen utsettes for erosjon, og da synker den ned i sanden som et teppe og blir liggende i samme nivå som bunnen for øvrig. Da blir det heller ingen fartsøkning, og erosjonen stopper. Det er fortsatt noe fartsøkning rundt den egentlige moloen og de store blokkene som ligger der, men her ligger toppen av erosjonssikringen og beskytter mot erosjon.

Erosjonssikring må legges ut med lekter eller båt, da det er vanskelig å få den fordeling en ønsker ved tipping fra moloen.

7.7 TILDEKKING AV FORURENSET SJØBUNN

7.7.1 Generelt om tildekking

Dersom sjøbunnsedimentene klassifiseres som forurenset i området hvor moloen skal etableres, må avbøtende tiltak gjennomføres for å hindre spredning og transport av miljøgifter fra sedimentene til omgivelsene. Det mest vanlige tiltaket i slike tilfeller omfatter tildekking av sjø-

bunnen med fiberduk eller andre egnede masser før utlegging av molomasser. Egnetheten til tildekkingsmassene må dokumenteres i hvert tilfelle i forbindelse med søknad om tillatelse til å gjennomføre molotiltaket.

7.7.2 Prosjektering av tildekkingslag ved forurenset sjøbunn

Tildekking av forurensete sedimenter utføres for å hindre utlekking og spredning av miljøgifter til vannmassene og opptak av miljøgifter i organismer som lever i og på sjøbunnen. Tildekkingslaget dimensjoneres med resultater av utførte undersøkelser som grunnlag, både med hensyn til stedspecifikke vurderinger for tiltaksgjennomføring og tildekkingsmassenes egenskaper.

Prosjektering av et tildekkingslag utføres med bakgrunn i:

1. Tykkelsen på tildekkingslaget og tildekkingsmassenes egenskaper må vurderes med tanke på å hindre utlekking av miljøgifter samt å sørge for at gravende organismer ikke kan komme i kontakt med de forurensete sedimentene.
2. Vurdering av geoteknisk stabilitet i tildekkingsområdet mot tildekkingsmaterialets egenskaper (sedimentets bæreevne og konsolideringsegenskaper).
3. Metode for utlegging som forårsaker minst mulig oppvirvling og sikrer en sammenhengende tildekking med planlagt mektighet.
4. Kontroll og overvåking for å sikre at massene er plassert som planlagt og har den effekt som er tilsiktet.

Prinsippene for planlegging og utførelse av tildekking av forurensete sedimenter er nærmere beskrevet i Håndteringsveilederen M-350, se ref. X og i veilederen for testprogram av tildekkingsmasser M-411, se ref. XII.



8. UTFØRELSE

8.1 PLAN FOR GJENNOMFØRING

En overordnet plan for hele utførelsen av prosjektet skal utarbeides av hovedentreprenøren. Planen skal ta utgangspunkt i kontraktsdokumentene med nødvendig dokumentasjon av stedlige forhold, prosjekteringsunderlag samt evt. annen spesifikk informasjon av betydning for prosjektet. Planen anbefales gjennomgått med byggherren i oppstartsmøte og senest før arbeidet igangsettes. Byggherrens godkjenning bør gis før oppstart.

8.2 STEINBRUDD OG TRANSPORT

De fleste moloer bygges med stein produsert i et lokalt steinbrudd. Både effektivitet, økonomi og kvalitet på den endelige moloen er sterkt avhengig av en god og effektiv drift i steinbruddet. Optimale driftsmetoder for å oppnå god steinfordeling i bruddet omtales ikke her, men informasjon om geologiske forhold på stedet må fremskaffes for det spesifikke prosjektet, se kap. 5.3 om Geologi, steinbrudd.

Beste resultat oppnås dersom man har anledning til å mellomlagre stein i ulike størrelser og klasser før de kjøres ut på moloen. Med et slikt mellomlager får man flere positive effekter:

- Steinkvaliteten blir bedre ved at blokkene håndteres flere ganger før plassering, og eventuelle sprekker vil oppstå før steinen ligger på moloen.
- Blokker som kan benyttes til plastring, legges til side og spares til plastringen.
- For moloer med flere størrelser av dekkblokk, kan blokkene legges i ulike hauger og benyttes ved behov.
- Blokker som er uegnet som dekkblokk, kan legges til side og evt. benyttes i kjernemassen.
- Det er vanligvis bare en mindre andel av totalt utsprengt volum som kan benyttes til dekkblokker, vanligvis 5–15 %. Det betyr at det må produseres mye kjernemasse for hver blokk som blir produsert, og siden kjernemasse og filter må legges først, er det smart å legge til side gode dekkblokker i et mellomlager.

Der det skal produseres masser i et nærmere angitt steinbrudd, er det viktig at følgende inngår i plan for utførelse:

- Sprengningsplan med evt. prøvesprengning
- Areal for sortering av masser (dekkblokk – filter – kjernemasse)
- Areal for mellomlagring
- utfordringer: Store blokker, forskjellig blokkstørrelse, filterlag, behandling av plast i sprengsteinsmassene



Figur 8-1 Mellomlagring av stein krever store arealer, men er en god investering ved at det gjør det lettere å oppnå ønsket kvalitet på ferdig produkt. (Sirevåg. Foto: Sintef).

8.3 UNDERFYLLING

Mange moloer etableres på områder med så stor dybde at underfylling er påkrevd. I hovedsak benyttes hel underfylling, men også ringunderfylling og falsk underfylling kan være aktuelle, se figur 8-2. Underfyllingen består som regel av samfengte sprengsteinmasser (vanligvis lik kjernemassen) som skal legges ut fra splittlekter eventuelt annen lekter. Det kan være geotekniske årsaker som gjør at utleggingen må skje i en bestemt rekkefølge eller i flere lag. Videre skal prosjekteringen ha vurdert og bestemt hvor høy underfyllingen skal være.

For å ha kontroll på hver dumping må det utarbeides en posisjoneringsplan slik at det er kontroll på hvor

hver enkelt deponering (dumping) skjer. Det må også jevnlig foretas kartlegging av sjøbunnen for å kontrollere etterhvert som dumping foretas. Det er viktig å ha god kontroll på utleggingen da dumping utenfor profil normalt ikke blir økonomisk godtgjort.

Med bakgrunn i de forutsetningene som ligger i prosjekteringsgrunnlaget, må det utarbeides en plan for hvordan underfyllingen skal utføres. Her er det viktig at følgende inngår:

- Posisjonering for underfylling med splittlekter. Normal dybde for dumping. Plan for dumping.
- GPS-posisjonering skal benyttes, også for registrering av hvert lekterlass i deponi.

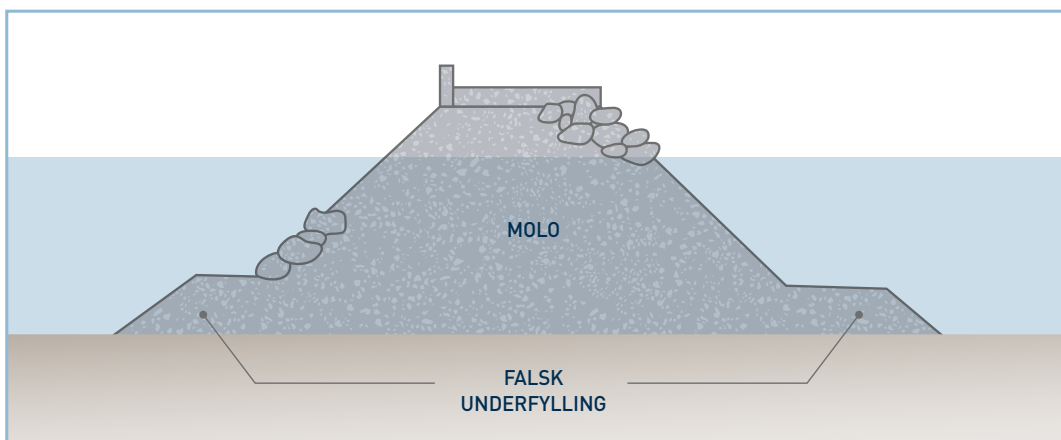
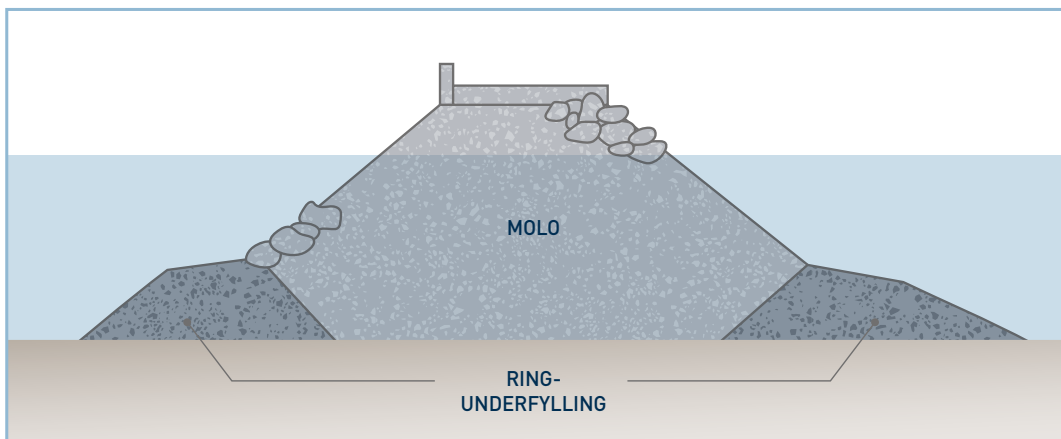
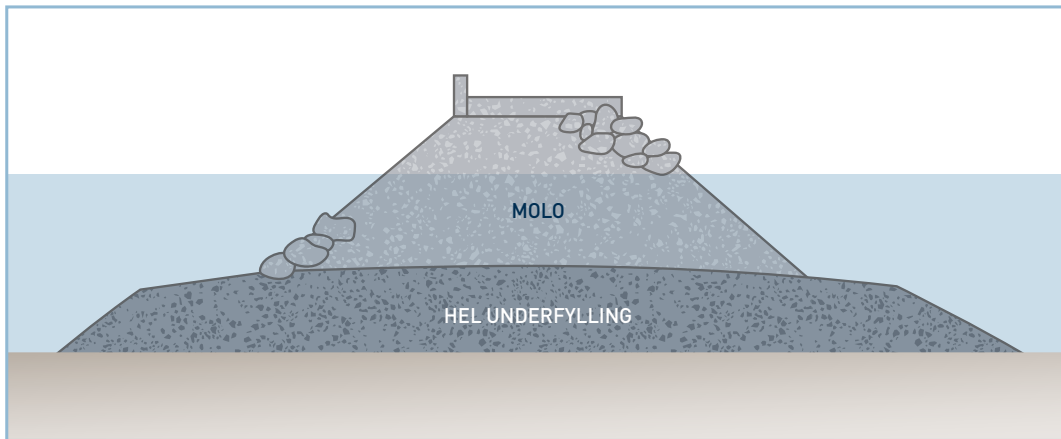
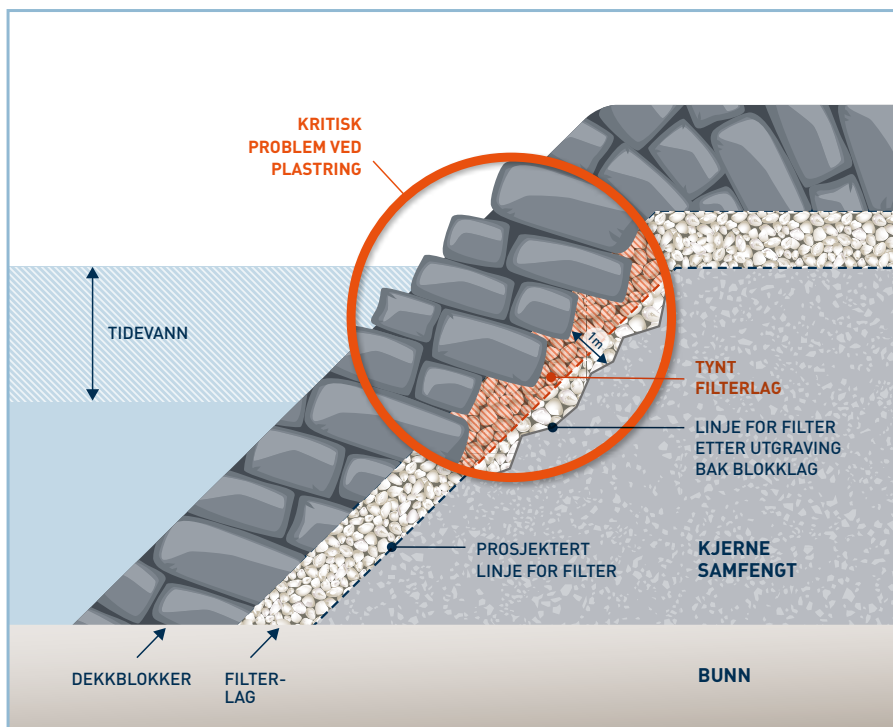


Fig. 8-2 Ulike typer underfylling.



Figur 8-3
Skissen viser prosjektert linje for filter og ny tilpasset linje etter utgraving for filter bak blokklag.

8.4 KJERNEMASSE

Her vises til omtale av kjernemasse i kap. 7.5.4.

Fordi kjernemassen må rauses ut, er det viktig at rasvinkelen for den massen som benyttes, ikke er slakere enn den vinkelen som er forutsatt i beskrivelsen. Dette må kontrolleres fortløpende under utleggingen fordi det er i denne operasjonen moloens profil dannes.

Komprimering av kjernemassene er kun aktuelt der det etableres kabelgrøfter og fundament for navigasjonsinstallasjoner. Komprimering av øvrige masser anses tilstrekkelig ved at de kjøres over av anleggsutstyr.

8.5 FILTERLAG

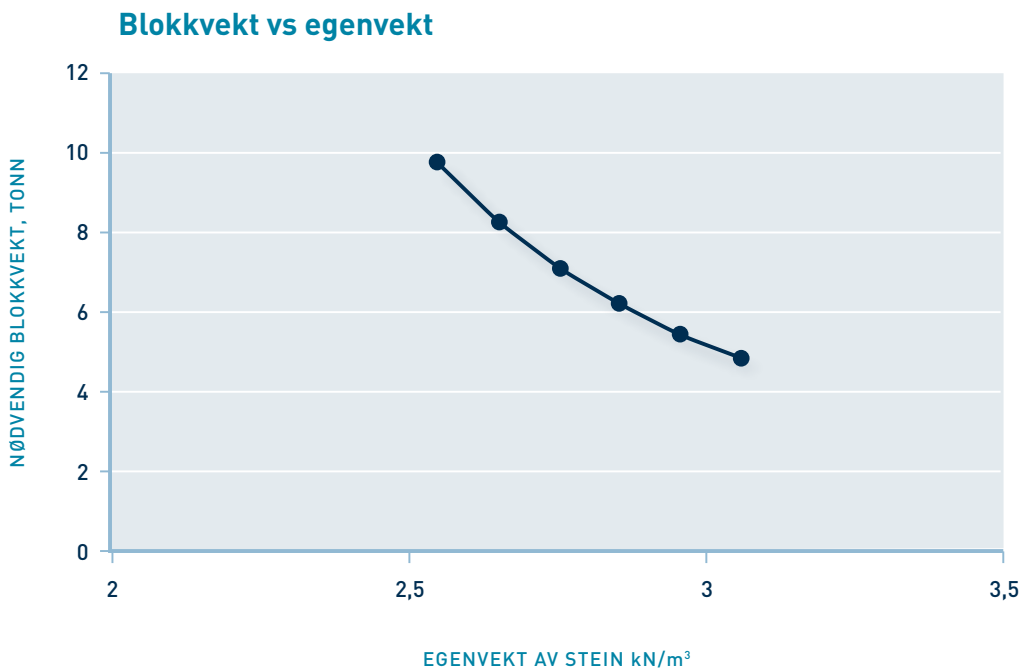
Filterlaget er en meget viktig komponent i enhver molo. Se pkt. 7.5.3 om filterlagets funksjon og hensikt samt om materialvalg og dimensjonering. Moloer som bygges uten eller med utilstrekkelig filter, fører til at underlaget for dekkblokkene forsvinner og til sammenbrudd i moloen. Derfor er det viktig å følge retningslinjene gitt i pkt. 7.5.3.

Generelt skal filterlaget være ubrutt slik at ikke blokklaget

kommer i kontakt med kjernemassen. Det er viktig å ha stor nøyaktighet i utleggingen slik at filterlagets tykkelse oppfyller krav satt i prosjektering. Det kan forekomme at noen blokker er så store at de er lengre enn tykkelsen på blokklaget. I slike tilfeller er det tillatt å snu blokkene slik at den lange aksen på blokka ligger parallelt med moloens akse. (Det er likevel ikke tillatt å legge blokka «flatt på molosida», dvs med den korteste aksen vinkelrett på den skrå moloflaten. Se kap. 8.7 for detaljer.)

Der det likevel, om enn i minst mulig omfang, er påkrevd å benytte dekkblokker med noe større lengde enn dekklagets tykkelse, må det graves ut i kjernemassen bak blokken for å sikre foreskrevet tykkelse på filterlaget, se figur 8-3.

Det er også viktig å følge profillinjen til molofronten (ytterkant dekklag) for å sikre moloens funksjon under bølgepåkjenning. Avvik kan gi svake punkt med økt skaderisiko som konsekvens. Dersom det er et lite antall blokker som er så store at de gir et problem, må man vurdere å splitte dem. Dersom det gjelder et større antall blokker, er en mulighet å samle disse på moloens mest eksponerte punkt og la blokkene stikke utenfor den prosjekterte, teoretiske overflaten. Et slikt avvik vil sjelden



Figur 8-4
Blokkvekt som funksjon
av oppnådd egenvekt.

bli mer enn 0,3 m–0,5 m, hvilket må anses som en rimelig toleranse utenfor urbane og regulerte strøk. Sortering skjer f.eks. ved at massene kjøres over to rister, f.eks. først over en rist med gitter 30 cm (0–300) og deretter en rist med gitter 20 cm (0–200). Da får en sortert ut fraksjonen 200–300.

8.6 DEKKBLOKK

8.6.1 Generelt

Dekkblokker i moloer skal generelt hentes fra sprengstein av granitt, gabbro, gneis eller lignende bergarter med god mekanisk bruddstyrke. Steinblokker fra morene, elver eller fjellskred kan bare helt unntaksvis brukes.

8.6.2 Egenvekt

Egenvekt av steinen som benyttes i blokklaget, er den viktigste parameteren som må overvåkes ved siden av selve blokkstørrelsen og formen. En blokk som har høy egenvekt, kan ha mindre utvendig mål og likevel oppnå den ønskede totalvekta. Men fordi blokka nå er mindre, utsettes den også for mindre strømkrefter fra vannet, og dermed kan størrelsen reduseres ytterligere. Figur 8-4

viser sammenhengen mellom nødvendig blokkvekt (W_{50}) og egenvekt for et tilfelle med signifikant bølgehøyde $H_s = 2,5$ m. Vi ser at dersom egenvekten i designgrunnlaget var forutsatt å være f.eks. $2,75 \text{ kN/m}^3$, gir det $W_{50} = 7,2$ tonn. Hvis egenvekten som måles på aktuelle masser, er bare $2,65 \text{ kN/m}^3$, så gir det en nødvendig blokkstørrelse $W_{50} = 8,3$ tonn, dvs over 1 tonn økning. Med andre ord gir i dette tilfellet at 4 % reduksjon av faktisk egenvekt, medfører økning i nødvendig steinstørrelse på 15 %.

Egenvekten i steinbruddet må derfor kontrolleres jevnlig, og dersom forutsatt egenvekt ikke måles på stedet, må det gjøres endringer i dimensjoneringen.

8.6.3 Form

God form på blokkene som brukes i dekklaget, er avgjørende for kvaliteten på oppnådd resultat.

En god dekkblokk har følgende egenskaper:

- kantet, med tydelige hjørner og minst en side som er tilnærmet plan.
- moderat flisighet, dvs et forhold på ca. 2 til 3 mellom lengste og korteste side i et omsluttende rett prisme.
- ingen sprekker eller bruddplan.



Figur 8-5
Dersom man ikke har utstyr til å veie blokker, kan blokkene måles opp og vekten beregnes. Her vist ved blokker som er godt egnet til plastring. (Stein til Bykaia, Longyearbyen. Foto Norconsult).



Figur 8-6
Eksempel på blokker som er dårlig egnet til plastring – blokkene er runde uten en tydelig plan side, og de er for korte i forhold til tykkelsen. (Værnes).



Figur 8-7
Eksempel på blokker som er godt egnet til plastring (og evt muring) – blokkene har kantet form og minst en flat side som gir godt anlegg mot andre blokker. (Molde. Foto: Norconsult).



Figur 8-8
Oppsprekking av blokker er normalt ikke noe stort problem i Norge, så lenge blokkene behandles slik at eventuelle sprekker kommer fram før utlegging. I andre land er imidlertid holdbarheten av blokkene (oppsprekking, avskalling) et stort problem. (Gabes, Tunisia. Foto: Norconsult).

Blokker som ikke er egnet, faller stort sett i tre grupper:

- «Kuler» eller «boller», dvs runde blokker som ikke har noen flat side og som vil stables dårlig.
- «Heller», dvs. blokker med høy flisighet og som blir liggende som flate ark i moloen. (Blokker av denne typen ble tidligere mye brukt på mindre utsatte moloer ved at de ble lagt i «platt», dvs flatt på moloens sider. Denne praksisen gir svake og dårlig fungerende moloer, og anbefales derfor ikke.)
- Blokker av bergarter med dårlig styrke, f.eks. glimmer, skifer eller porøse bergarter, har ofte tydelig oppsprekking. Dette gir vannmetning og dermed frostsprengning og deling av blokkene om vinteren.

Utførende entreprenør må ha et system for å sortere ut dårlige og ikke egnede blokker. Av hensyn til effektiv drift bør denne utsorteringen skje allerede ved opplasting i bruddet, men det er viktig at alle ledd i transporten fra brudd til ferdig plastring har fullmakt til å avvise dårlige blokker.

8.6.4 Kvalitet

Kvaliteten på norsk fjell varierer fra landsdel til landsdel. Generelt foretrekkes bergarter som gneis, gabbro, granitt og andre bergarter med stabil egenvekt, høy mekanisk bruddstyrke og akseptabel form (se avsnitt ovenfor). Skiferbergarter, sandstein og diverse typer konglomerater er generelt mindre egnet. I mange tilfeller er det øverste laget nær overflaten oppsprukket og forvitret, mens akseptabel kvalitet med mindre sprekkdannelse finnes noen få meter under overflaten.

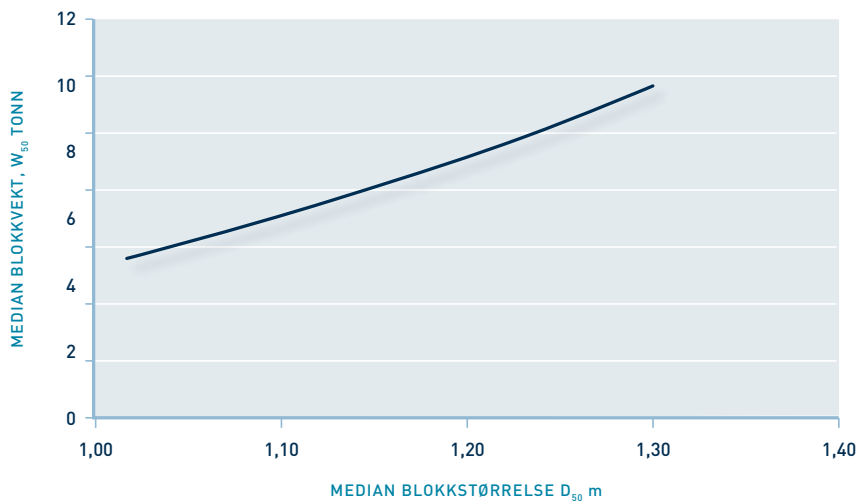
Blokklaget identifiseres ved en angitt blokkstørrelse angitt i vekt som følger:

- W_{50} : Median blokkvekt, dvs den størrelsen der halvparten av totalt antall blokker er mindre enn den angitte vekten, og den andre halvparten er større. Denne størrelsen vil være nær middelblokkvekt, men er ikke den samme.
- W_{middel} : Middel blokkvekt, dvs summen av vekta av alle blokker dividert på antall blokker. Middelverdien brukes normalt ikke, men dersom antall blokker er lite, kan det være vanskelig å beregne W_{50} . I slike tilfeller skal W_{middel} være 10 – 15 % større enn W_{50} .
- W_{min} : minste tillatte blokkstørrelse i blokklaget. W_{min} er vanligvis ca. $0,7 \times W_{50}$. Det tillates ikke at noen blokker er mindre enn W_{min} .
- W_{max} : Det er i praksis ingen øvre grense for blokkvekt. Det stilles imidlertid krav om at det skal finnes blokker opp til størrelsen W_{max} . I tillegg får ingen blokker telle med mer enn vekta W_{max} når W_{middel} beregnes.

For alminnelige moloformål (dekkblokker i konvensjonell molo og blokker i skulderlaget på skuldermoloer) benyttes følgende kriterier:

1. $(W_{\text{min}}, W_{50}, W_{\text{max}}) = (0,7W_{50}, W_{50}, 1,5W_{50})$
2. Minimum 5 % av blokkene skal ha vekt $W \geq 1,4W_{50}$

Metoden for kontroll av størrelsen på blokkene kan variere, og entreprenøren kan velge ulike systemer. En mye brukt metode er å veie noen blokker av forskjellig størrelse, og så merke disse med vekta og legge dem på et lett synlig sted. Da kan maskinførerne bruke disse blokkene som referanse når de estimerer vekta på hver blokk.



Figur 8-9
Sammenheng mellom
blokkstørrelse og blokkvekt. Merk
at små endringer i D_{50} gir store
endringer i blokkvekta W_{50}



Figur 8-10 For større anlegg med sterk bølgebelastning er det aktuelt å veie og nummerere hver eneste blokk og elektronisk lagre posisjonen (vekt 32,4 tonn). (Laukvik. Foto: Norconsult).

For å gjøre det lettere å finne blokker av riktig størrelse, angis gjerne også median blokkdiameter D_{50} . Da tenker man seg at en blokk kan sammenlignes med en kube, og vekta er gitt ved $W_{50} = \rho \times D^3$, der ρ er egenvekta. Merk at små endringer i D_{50} gir store endringer i W_{50} . Figur 8-7 viser sammenhengen mellom D_{50} og W_{50} . Blokker på f.eks. 4,5 tonn har $D_{50} = 1,2$ m. En liten reduksjon av D_{50} til $D_{50} = 1,15$ m gir en redusert blokkvekt til $W_{50} = 4,0$ tonn, og hvis $D_{50} = 1,1$ m får vi blokker på bare 3,5 tonn.

Dersom annet ikke fremgår av kontrakt og prosjektbeskrivelser, skal entreprenøren ha vekt til disposisjon på anlegget. Vekten skal kalibreres før oppstart av veiing som angitt ovenfor.

8.6.5 Kontroll av blokkvekter

Alle avtaler om leveranser av blokkstein skal være basert på en angitt vekt og en antatt egenvekt. Størrelser som (ekvivalent) diameter eller tverrsnitt kan oppgis som orientering, men kontraktsoppfyllelse for blokkstein skal være basert på angitte vekter gitt ved W_{\min} , W_{50} , W_{\max} (se avsnitt 8.6.4 ovenfor). Dersom entreprenøren har fått anvist et steinbrudd, kan han ikke holdes ansvarlig for egenvekten, men entreprenøren skal rapportere faktisk egenvekt, og byggherren må eventuelt justere dimensjoneringen deretter.

Blokkvekter kan kontrolleres og dokumenteres på flere måter. Felles for alle metodene er at dokumentasjonen skal være fortløpende, og at byggherren til enhver tid skal kunne utføre kontroll (eks. ved stikkprøver) og få innsyn i dokumentasjon på produksjonen opp til f.eks. dagen før kontrollen.

Veieutstyret kan være en av følgende:

- Bilvekt, der hele kjøretøyet veies først uten last og deretter med den aktuelle blokka.
- Vekt på hjullaster. Nyere hjullastere har vekt på skuffa, der vekta i skuffa avleses inne i førerhuset. Merk at disse oftest er basert på avlesing av trykket i en løftesyylinder, og måler derfor egentlig momentet av lasta, som forutsettes å være sand eller grus. En blokk vil legge seg ulikt i skuffa og derfor gi et annet moment. Det er derfor viktig å kalibrere en slik vektavlesing.
- Kranvekt. Med denne metoden må hver blokk stropes og heises opp i en kran som har en vekt på løftevaieren.

Med riktig kalibrert utstyr er metoden nøyaktig, men er svært arbeidskrevende.

I mangel av veieutstyr kan det for mindre prosjekter være akseptabelt å måle opp en blokk og beregne volumet og deretter vekta. I slike tilfeller må man tenke seg blokka som et firkantet objekt, og måle høyde, bredde og lengde i et omskrevet prisme. Volumet kan da beregnes som:

$$V1 = (h \times b \times l) \times C_B;$$

der C_B er en blokk-koeffisient som ofte er i størrelse 0,5–0,6; (for en ellipsoide er $C_B = 0,52$).

For å dokumentere produksjonen kan man veie hver eneste blokk og plassere den i mellomlager. Et alternativ er å plukke ut et utvalg av blokker og veie/beregne disse, og så, som nevnt tidligere, legge disse på et lett synlig sted med vekta skrevet på, og så må hver enkelt maskinkjører vurdere hvilken av klassene blokka hører hjemme i. Den siste metoden må suppleres med hyppige stikk-kontroller foretatt av entreprenør.

En anbefalt metode for å drive et steinbrudd med mellomlager, er å sortere blokkene i forholdsvis tette vektklasser. Da kan man tilpasse seg varierende prosjektert W_{50} i moloen ved å sette sammen et ulikt antall blokker fra hver vektklasse.

8.7 PLASTRING AV MOLO

8.7.1 Krav til utførelse

Moloer skal av hensyn til stabilitet, redundans og estetikk ha en plastret overflate, dvs at blokkene legges slik at hver steinblokk støttes av steinblokka over og på sidene.

Teknikken med å legge stein på utsiden av moloen (og kraftverksdammer) kalles plastring. Den består i å legge dekksteinene slik at hver stein holdes fast og låses av sine nabosteiner. Dermed oppnås at den enkelte stein vil tåle en større belastning enn om den hadde ligget alene.

Plastring utføres med gravemaskin, evt. utstyrt med steinklo. Plastring bør betraktes som et håndverk som krever stor nøyaktighet, oppmerksomhet og erfaring fra maskinoperatøren.



Figur 8-11
Eksempel på tilfredsstillende utført
plastring: Blokkene ligger i låsing med
en akseptabel helning, og peker svakt
oppover. (Mehamn lufthavn. Foto:
Norconsult).



Figur 8-12
Eksempel på molo/fylling med «ordnet
raus», se tabell 3-1. (Foto: Norconsult)
Byggingen kvalifiserer ikke til
Plastring fordi det er for mange små
blokker, blokkene ligger med feil
helning og mange blokker ligger
uten støtte. SKAL IKKE BENYTTES I
MOLOBYGGING.



Figur 8-13
Eksempel på byggemetode I
«Rauset fylling» fra tabell 3-1.
(Foto: Norconsult)
SKAL IKKE BENYTTES I
MOLOBYGGING.



Figur 8-14 Eksempel på godt utført plastring i skjermet farvann: Blokkene ligger med god vinkel og er godt låst til hverandre. Dette er akseptabel metode for skjermede farvann, der bølgene er moderate. For mer utsatte farvann ville man foretrekke en litt mer ru overflate med større ujevnheter. Brystvernet øverst består av frittliggende blokker som ikke er sikret, noe som er akseptabelt her. (Vikan, Kristiansund). (Foto: Norconsult).



Figur 8-15 Hvis steinkvaliteten og formen tilsier det, kan man godt lage en trappefront i stedet for en jevn overflate. Merk at blokkene i dette tilfellet er svært lange, slik at en blokk fortsatt gir støtte til blokka ovenfor. (Kabelvåg. Foto: Norconsult).

Viktige forutsetninger for at plastringen skal være vellykket og holdbar er følgende:

1. Plastringen må begynne nedenfra og gå oppover. Hver enkelt stein skal individuelt plasseres og skal ligge oppå steinen nedenfor med et innrykk som gjør at man oppnår optimal helning på 1:1,3–1:1,4 (eller den helningen som er beskrevet i arbeidstegninger).
2. Hver stein skal ligge støtt med minimum støtte på tre punkter.

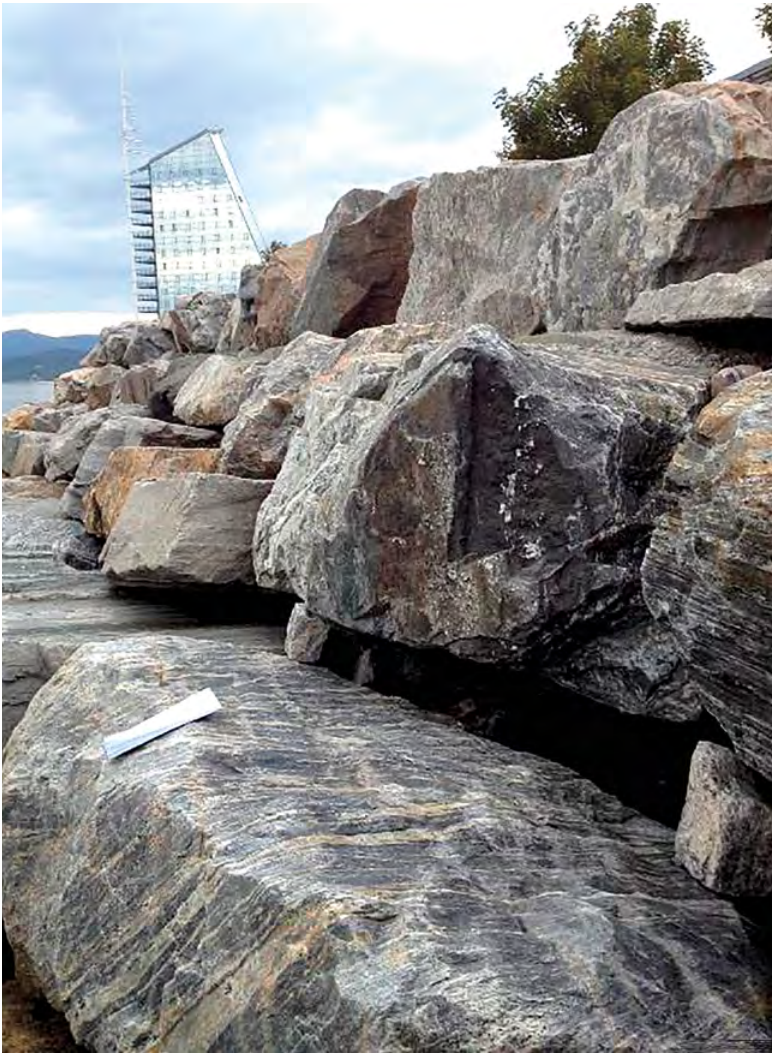
En annen og like viktig forutsetning er at maskinføreren eller eventuelt en assistent går ned på moloen så lavt som mulig og betrakter moloen nedenfra og opp. Da vil eventuelle svakheter, huller eller mangler i plastringen lett kunne observeres. En slik inspeksjon bør foretas flere ganger i løpet av et skift, slik at det fortsatt vil være mulig å rette opp en feil uten å måtte fjerne for mye av allerede utført arbeid.

Plastring av steinblokker skal foretas fra ca. 1–2 m under sjøkartnull og opp til toppen. Dypere enn dette er det ikke praktisk gjennomførbart å plastre, og det er heller ikke nødvendig. Her rases eller dumpes (ukontrollert utlegging) derfor blokkene. Det må likevel kontrolleres at de beskrevne tykkelsene og mengdene av steinblokker er oppnådd under den praktiske arbeidsdybden.

Figurene 8-11, 8-12, 8-13, 8-14 og 8-15 viser eksempler på mologygging med hhv «Plastring» og «Ordnet raus» og «Raset fylling».

8.7.2 Fortanning

Behovet for fortanning kan i visse tilfelle være vanskelig å konstatere i prosjekteringsfasen, og utførelsen blir derfor ofte vedtatt på stedet under en befaring. Her skal anvisningen i pkt. 7.6.2.3 følges.



Figur 8-16
Eksempel på plastring som burde vært korrigert før ferdigstilling: Det er kommet småstein mellom blokkene, noe som fører til større åpninger og sprekker enn ønskelig, og til dårlig kontakt mellom blokkene. Dette kan unngås dersom maskinføreren eller en assistent foretar hyppige kontroller av arbeidet ved å gå ned på moloen og betrakte den oppover. Denne feilen kan ikke oppdages fra en posisjon i gravemaskinen. (Molde. Foto: Norconsult).



Figur 8-17
Eksempel på plastring som skal korrigeres: frittliggende blokker, store hull, blokker som peker nedover og blokker med dårlig form. (Værnes. Foto: Norconsult).



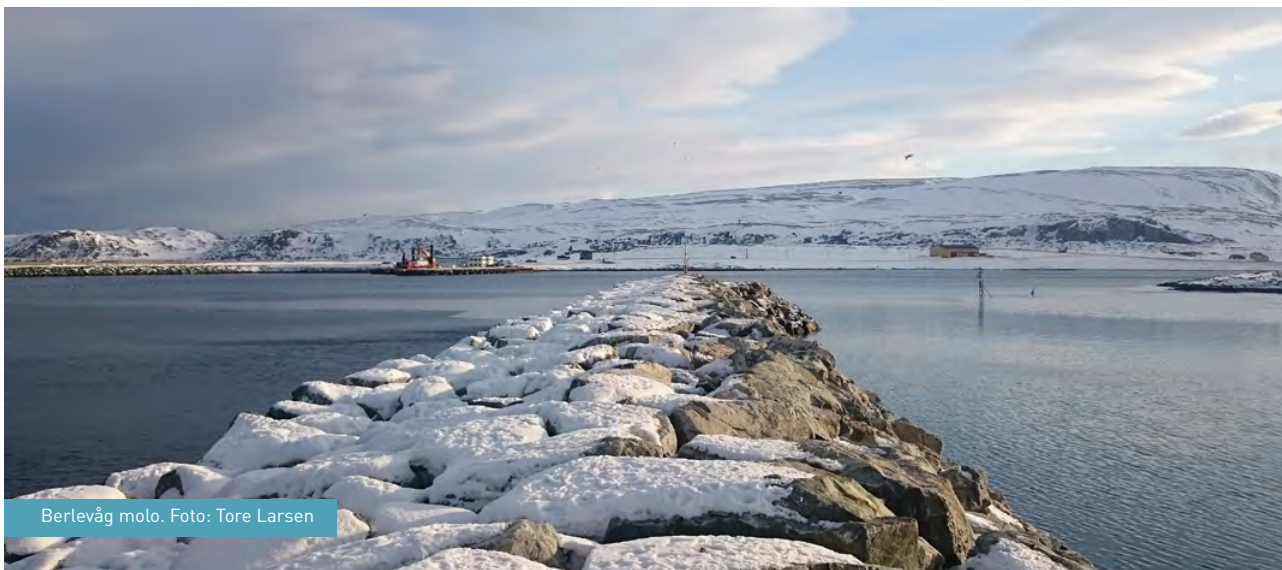
Figur 8-18
Eksempel på svikt i underlaget, Moloen/fyllingen er lagt på utfylte masser, og setninger og sig i underlaget fører til at de øverste blokkene blir hengende uten god understøttelse. Samtidig forsvinner låsingen som de overliggende blokkene skulle gi til blokkene under. (Molde. Foto: Norconsult).



Figur 8-19
Eksempel på plastring som må korrigeres: Blokkene ligger til dels løst på overflaten uten støtte, og blokkene ligger med helning utover (peker nedover). (Mehamn. Foto: Norconsult).



Figur 8-20 Eksempel på plastring som har lav motstandsevne mot høye bølger (men kan være OK på mindre utsatte steder): blokkene ligger med feil orientering, dvs med flatsiden inn mot moloen. I dette tilfellet er plastringen heller ikke utført nedenfra og opp, og de fleste blokkene ligger fritt uten støtte. (Værøy. Foto: Norconsult).



Berlevåg molo. Foto: Tore Larsen

8.8 EROSJONSSIKRING AV MOLOFOTEN

Dette er beskrevet i pkt. 7.6.2.

Det er viktig at utførelsen skjer i samsvar med nevnte beskrivelse og/eller i samsvar med foreliggende kontrakt og prosjektbeskrivelse.

Det bør ikke gå lang tid mellom bygging av molo og utlegging av erosjonssikring. Helst bør erosjonssikringen legges ut før molobyggingen tar til. I tilfeller hvor moloen ligger på sandbunn eller annen lett eroderbar masse må molofoten sikres mot erosjon, dvs at strømmende vann fjerner sanden som moloen ligger på.

8.9 MOLODEKKE

Moloen må ha en topp eller krone som er en integrert del av moloen fra starten av prosjekteringen. Dersom brystvernet er solid, kan toppen av brystvernet regnes som høyden av moloen. Moloens høyde avgjør om den er høy nok til å unngå overskylling, slik at innsiden kan ha en redusert blokkstørrelse, eller om moloen er beregnet for overskylling, slik at man må ta hensyn til vannet som kommer over molotoppen.

For moloer med overskylling er et alternativ å dekke hele toppen og innsiden med blokker av samme størrelse som på utsiden. Dette kan være akseptabelt noen steder, men oftest ønsker man å holde moloen åpen for ulike former for trafikk eller ferdsel.

Figur 8-21 viser et eksempel fra Steinesjøen, Vesterålen, der det er dannet et solid brystvern av oppreiste dekkblokker. Andre steder (eks. Moskenesvågen i Lofoten) er det benyttet en løsning hvor det også er etablert en liggende betongbjelke bak brystvernet som bidrar til å holde blokkene i dette på plass og fordeler belastningen fra blokkene på et større område. Bak brystvernet etableres ofte et toppdekke av betong, slik figur 8-21 viser. Der det benyttes en slik løsning med betongdekke, og evt. med bjelke i tillegg, er det viktig at disse ligger på et underlag av drenende masser. En god løsning er å utføre dette slik at filterlaget føres kontinuerlig fra utsida av moloen og over toppen av kjernemassen.

Figur 8-22 viser et eksempel fra Stamsund der en molo var dimensjonert uten toppdekke, men der man i ettertid valgte å legge på et betongdekke. I dette tilfellet har moloen stått bra, men betongdekket, som mangler beskyttelse og forankring i moloen, er forskjøvet og ødelagt.

Et annet skadeforløp er vist i figur 8-23 fra Værøy, der en molo som i utgangspunktet var for lav er blitt utsatt for store bølgekrefter og overskylling. Også her er dekket lagt etter at moloen egentlig var ferdig bygget. Her er det laget en relativt solid frontdrager, som har sørget for at dekket er noenlunde intakt, men dekket er delvis overskyllt og delvis undergravet, slik at det stedvis henger i løse lufta.



Figur 8-21
Eksempel fra Steinesjøen, Vesterålen, der det er bygd et solid brystvern av oppreiste dekkblokker. (Foto: Kystverket).



Figur 8-22
Eksempel på manglende integrering av dekke og molo, der brystvernet også mangler. Dekket er støpt som en frittliggende plate uten beskyttelse av brystvern, og dekket ligger på tilnærmet tette masser. Under sterk bølgepågang med overskylling presser sjøen på framkanten, og betongplatene løftes av det indre vanntrykket pga dårlig drenering. Merk at moloen ellers er uskadet. (Stamsund. Foto: Norconsult).



Figur 8-23
Skader under dekket og på baksiden etter overskylling og gjennomskylling av høye bølger. Den konvekse formen på dekket og en solid betongfront bidrar til å bevare formen på dekket og hindrer totalt sammenbrudd. (Tynnesmoloen, Værøy. Foto: Kystverket).



Flytemolo, Harstad. Foto: Marina Solutions

8.10 ANDRE ARBEIDER

8.10.1 Tiltak ved forurensede sedimenter

Hvis området som moloen skal ligge på, er forurenset, skal det i prosjekteringen være avklart hvordan dette skal gjøres. I hovedsak er det to løsninger som er aktuelle. Enten skal de forurensede massene fjernes før moloen anlegges eller så kan sjøbunnen som moloen berører, dekkes til.

Kontroll:

Ved tildekking er det viktig å påse at denne utføres i samsvar med konkurransegrunnlaget og arbeidstegninger. Stikkord i denne sammenheng er å påse at tildekningsmassene og eventuell fiberduk er i henhold til beskrivelse. Likeså at lagtykkelser er i henhold til tegning og beskrivelse.

Hvis de forurensede massene mudres før moloen anlegges, er det viktig å påse at mudringen skjer i henhold til beskrivelse og i samsvar med tillatelse fra forurensningsmyndighet. Videre er det viktig at det er utarbeidet rutiner for eventuell overvåkning av turbiditet, massehåndtering og deponering.

8.10.2 Sikring overgang mot land

Der hvor moloen blir lagt på erosjonsutsatt grunn, kan det være nødvendig med erosjonssikring mot land. Prosjekteringen skal ha avklart dette og beskrevet hvordan dette skal utføres.

Hvis moloen går over bart og glatt fjell, kan det være behov for å gjøre sikringstiltak slik at dekkblokkene ikke glir. Den mest vanlige metoden for å låse de nederste dekkblokkene, er å lage en fortanning i fjellet f.eks. en grøft. Prosjekteringen skal ha vurdert dette og beskrevet utførelsen. Det kan være behov for stedlig tilpasning som ikke nødvendigvis er fanget opp i prosjekteringen. Se pkt. 7.6.2.3 og 8.7.2.

Kontroll:

Påse at erosjonssikringen utføres i samsvar med konkurransegrunnlaget og arbeidstegninger. Ved arbeid med fortanning er det viktig at det er tilstedeværelse av kompetent personell slik at stedlige tilpasninger kan gjøres.

8.10.3 Midlertidig merking

Etterhvert som moloen bygges opp fra bunnen, vil den kunne representere en fare for de sjøfarende. Moloen



vil i perioder av byggeperioden kunne være et «kunstig undervannsskjær» som vil representere en stor fare for båttrafikken. Det er derfor viktig at moloen merkes. Erfaring tilsier at det ikke er nok å markere enden på moloen med standart flytende merke, men at også moloens ytterside må merkes med minimum blåser med lys. Virtuell merking kan også vurderes som et supplement. I tillegg er det viktig å gi informasjon om dette til fiskerlag, fiskebruk og andre som ferdes i havna. Det kan med fordel anmodes fiskebruket om å gi denne informasjonen videre til fiskerne som leverer fangst der. Også informasjon i aviser og sosiale medier har vist seg nyttig.

Kontroll:

Påse at merkingen blir etablert tidlig nok, og at denne blir flyttet og supplert etter behov. Kontrollere at det blir gitt ut informasjon via aktuelle medier og kanaler. Påse at dette er tema som blir omhandlet i en eventuell informasjonsplan.

8.10.4 Brystvern

Et eventuelt brystvern skal være dimensjonert i prosjekteringsfasen. For de fleste moloer vil det være små bevegelser i de øverste dekkblokkene som følge

av setninger og bølgepåvirkning. Brystvernet må utformes slik at det ikke hviler på eller er fundamentert på dekkblokkene, da disse blokkene må tillates å sige noe uten at de drar med seg brystvernet. Brystvernet er tradisjonelt utført som oppreiste dekkblokker eller utført av vegg av betong. Hvis dekkblokker brukes som brystvern, må de fundamenteres og sikres med omfyllingsmasser, omstøpning, betongdrager/ betongbanketter på innersiden el.

Kontroll:

Det må påses at materialer og utførelse er i samsvar med tegninger og beskrivelser. Det må spesielt kontrolleres at ekspansjonsfuger er tettet med egnet middel.

8.10.5 Kabelgrøfter og fundament for navigasjonsinstallasjoner

Det må komprimeres tilfredsstillende ved gjenfylling av kabelgrøfter og før montering av fundament for navigasjonsinstallasjoner.

Kontroll:

Slike arbeider må kontrolleres spesielt, slik at man slipper å ta opp elementer i ferdig utført molo.

9. KONTROLL, KVALITETSSIKRING OG DOKUMENTASJON



Austevoll molo. Foto: Kystverket

9.1 GENERELT OM KONTROLL OG DOKUMENTASJON

Det er viktig at det fortløpende føres kontroll med utførelsen. Dette gjelder både materialer som benyttes i anlegget, utførelse og konstruksjonen etter hvert som den bygges opp.

I prosjekteringen må det avklares hvilket kontrollomfang som er nødvendig under utførelsen for å sikre at spesifisert kvalitet oppnås. Derfor er det også beskrevet noe om kontroll i avsnittene foran.

Det må også sikres tilstrekkelig dokumentasjon på at krav og forutsetninger for prosjekteringen, er oppfylt som beskrevet.

Perfekte linjer og overflater finnes ikke i sjøen. Man må derfor ha en fornuftig grense for avvik som eventuelt kan svekke molokonstruksjonen.

Det må alltid foretas innmåling av utført arbeid. Det anbefales minst foretatt innmåling av tverrprofiler minimum hver 10. m og lengdeprofiler av molokrone. Innmåling med drone kan også være et godt alternativ.

9.2 TYKKELSER

For stabiliteten og styrken av moloen vil det generelt ikke være negativt om noen av mengdene eller lagtykkelsene overoppfylles. Det forutsetter imidlertid at de eventuelle nye lagene som skal ligge utenpå, likevel holder sine forutsatte tykkelser. Blir moloen slakere enn forutsatt, vil det føre til en økning i mengde av filtermasse og blokker. Merk at andre hensyn (f.eks. tilgjengelige dybder, reguleringsgrenser, osv.) kan være til hinder for at overoppfylling kan aksepteres.

- Overoppfylling av kjernemasse kan aksepteres hvis filter og blokklag fylles i de tykkelser som forutsatt.
- Overoppfylling av filtermasse kan aksepteres hvis

blokklaget legges ut i forutsatt tykkelse.

- Manglende kjernemasse kan kompenseres med økt filtermasse eller økt tykkelse av blokklag.
- Manglende filtermasse kan generelt ikke aksepteres, men lokale avvik ned til en tykkelse av $2D_{50}$ kan aksepteres.
- Manglende blokklag kan ikke aksepteres og må etterfylles.
- For bratte skråningsvinkler kan ikke aksepteres og må korrigeres. Andre avbøtende tiltak kan vurderes spesielt.

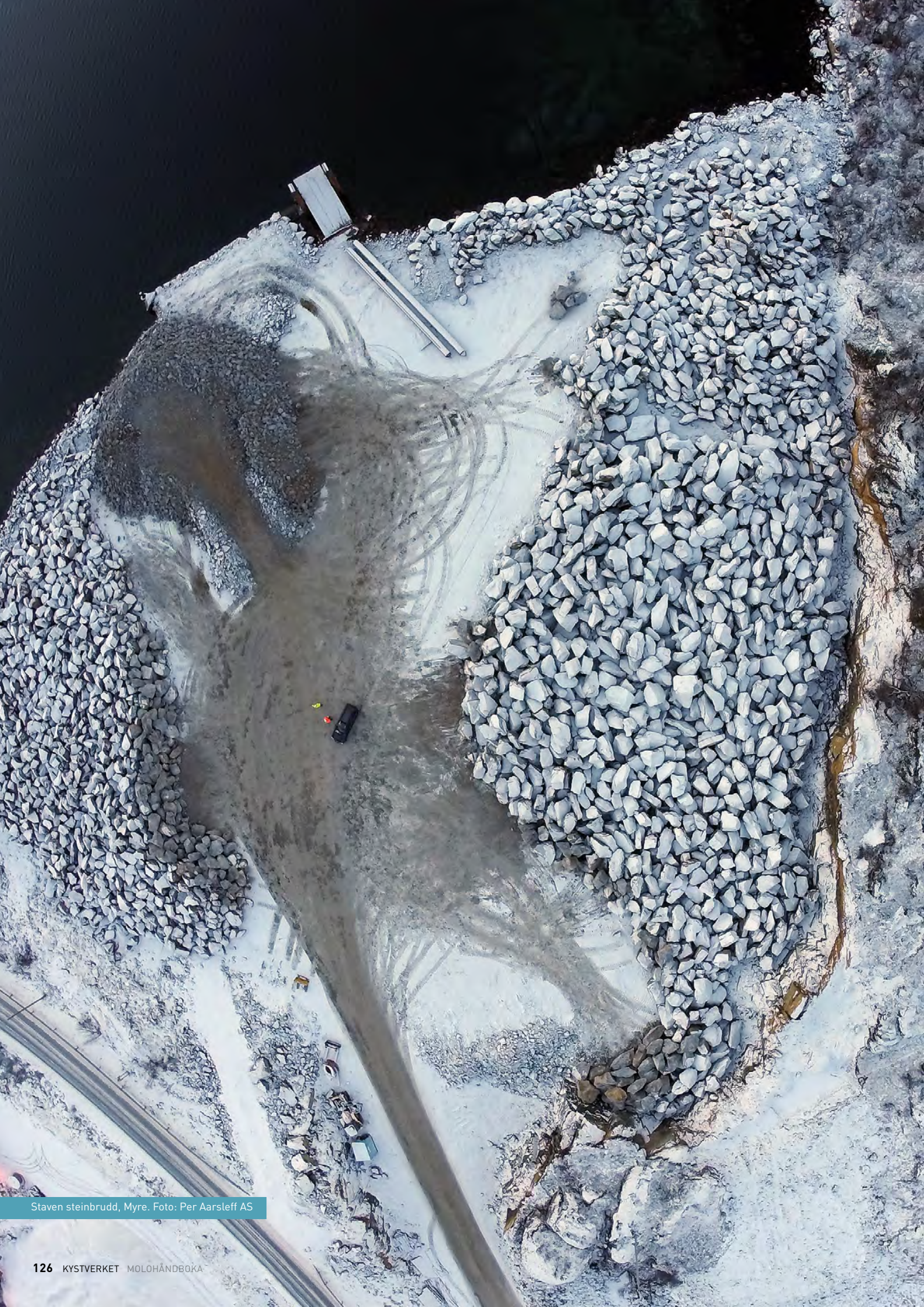
For slake skråningsvinkler kan generelt aksepteres, forutsatt at de beskrevne lagtykkelser holdes. Men dette anbefales avklart før utførelsen begynner.

9.3 KONTROLL- OG OVERVÅKINGSPROGRAM

I mange tiltak vil det være stilt krav om overvåking av miljømessige forhold (turbiditet, endringer i naturmangfold etc.), se bl.a. pkt. 5.13.

Det vil også fremgå av spesifikasjonene i arbeidsgrunnlaget hvilken dokumentasjon som skal fremlegges ved avsluttet anlegg. I tillegg til dette stiller ofte oppdragsgiver krav til kontroll av utførelsen. Også entreprenøren må gjøre seg opp en selvstendig mening om hva som er viktig å kontrollere for å oppnå spesifisert og ønsket resultat.

Basert på disse forutsetningene, må det utarbeides et praktisk kontroll- og overvåkingsprogram som er gjennomførbart og inngår som en del av den daglige aktiviteten hos entreprenøren, evt. i samarbeid med egne kontroll- og overvåkingsinstanser. Dersom dette arbeidet er fordelt på flere aktører, er det viktig med god koordinering, oppfølging og nært samarbeid mellom kontrollører, oppdragsgivers stedlige ledelse og myndighetene slik at tilpasninger blir omforent og sluttokumentasjonen blir slik partene har forutsatt.



Staven steinbrudd, Myre. Foto: Per Aarsleff AS

10. SIKKERHET, HELSE OG ARBEIDSMILJØ

I planleggingsfasen skal det lages en plan som sikrer at sikkerhet, helse og arbeidsmiljø på anleggsstedet ivaretas på en god måte for alle arbeidstakere på anlegget samt for andre berørte parter (grunneiere, naboer, nærliggende anlegg, passerende skip, etc.). Dette kalles en SHA-plan. Hjemmel for SHA-plan finnes i Byggherreforskriften. Denne forskriften beskriver hvordan byggherren, dvs tiltakshaver eller prosjekteier, skal ivareta sikkerhet, helse og arbeidsmiljø gjennom prosjektering og utførelse av bygge- og anleggsarbeider med fokus på nevnte forhold for arbeiderne som utfører arbeidene.

SHA-forholdene skal vurderes opp mot både tekniske og organisasjonsmessige valg. Det skal også, som en del av dette arbeidet, påses at det settes av nok tid til prosjektering og utførelse av de forskjellige arbeidsoperasjonene.

Vurderinger av sikkerhet, helse og arbeidsmiljø skal beskrives i alle prosjektfaser fra skisseprosjekt til anleggsfase. Disse vurderingen skal detaljeres gjennom de forskjellige prosjekteringsfasene frem til SHA-planen foreligger. For å påse at dette arbeidet utføres tilfredsstillende, skal byggherren utpeke en koordinator for prosjektering.

SHA-planen er altså byggherrens verktøy for å sikre at risikoforholdene forbundet med bygge- eller anleggsarbeidene i prosjektet håndteres på en forsvarlig måte. SHA-planen vil derfor være et viktig hjelpemiddel for byggherrens oppfølging og evt. koordinering av SHA-forholdene i utførelsesfasen. Dersom byggherren har engasjert flere entreprenører på anleggsstedet, eller utfører deler av arbeidet i egenregi, er det nødvendig å utpeke en egen koordinator for utførelse.

For nærmere anvisninger om hvordan dette kan gjøres, vises til Arbeidstilsynets veiledere. En rekke private selskaper og offentlige etater har bygd opp betydelig kompetanse om dette.

Byggherrens SHA-plan anbefales tatt inn i konkurransegrunnlag for utførelsesfasen. Deretter skal denne planen samordnes med entreprenøren(e)s systemer for SHA eller HMS (helse, miljø og sikkerhet), som også benyttes som betegnelse på dette arbeidet. SHA-planen skal så ajourføres fortløpende etter hvert som prosjektet utvikler seg i anleggsfase. Det er viktig at det defineres hvem som skal ivareta denne ajourføringen.



Træna molo. Foto: Kystverket

11. YTRE MILJØ

Det anbefales utarbeidet en plan for ytre miljø (YM-plan) som del av prosjekteringsmaterialet tilsvarende ovenfor omtalte SHA-plan. YM-planen skal sikre at føringer og krav for ivaretagelse av det ytre miljøet omkring anleggsstedet blir ivaretatt i anleggsfasen. Planen bør utarbeides i en tidlig fase og revideres og ajourføres gjennom senere prosjektfaser. Spesielt er det viktig at denne planen bearbeides og kompletteres før oppstart av anleggsarbeidene.

Det skal under planarbeidet arbeides med miljøutfordringene for prosjektet, herunder omfang og krav til avbøtende tiltak. Der det er krav om for- og etterundersøkelser av miljøpåvirkningene av tiltaket, skal behovet klarlegges senest under detaljprosjekteringen og innarbeides i kontroll- og overvåkingsprogrammet.

Planens omfang og kompleksitet varierer avhengig av prosjektets størrelse og miljøpåvirkninger. Følgende tema anbefales behandlet i YM-planen:

1. Støy
2. Vibrasjoner
3. Luftforurensning
4. Forurensning av jord og vann
5. Landskapsbilde
6. Nærmiljø, naboforhold og friluftsliv
7. Naturmiljø og naturmangfold
8. Kulturmiljø
9. Energiforbruk
10. Materialvalg og avfallshåndtering



Berlevåg havn. Foto: Tore Larsen

12. DRIFT, VEDLIKEHOLD OG REPARASJONER

12.1 GENERELT

Med driftsfasen menes fasen etter at molen er ferdigstilt og sluttkontroll er utført. En molo vil alltid representere en betydelig investering i infrastruktur og det er nødvendig å ha et bevisst forhold til at også en molo har en driftsfase.

12.2 INSPEKSJON OG OPPFØLGING

Alle moloer bør ha jevnlig inspeksjon og kontroll, og det anbefales å etablere gode inspeksjonsrutiner for å

observere og rapportere skader og unormale hendelser. Inspeksjon bør utføres av en fagkyndig person og skriftlig rapport bør utarbeides og arkiveres av moloieier.

Situasjonsbestemte rapporter leveres dersom det finnes forhold som bør rapporteres.

Tabell 12-1 angir anbefalt omfang av en inspeksjon.

HVA SOM KONTROLLERES	DOKUMENTASJON	RAPPORTERING
Skader og utglidning i blokklag på moloens utside med eksponering av underliggende blokker/filter.	Skriftlig med skisse av skade og foto i egen rapport	Umiddelbart
Utgledning av blokker i innseiling eller farledsareal til fare for trafikken.		
Andre plutselige forandringer som er en fare for brukere av havna eller publikum.	Muntlig rapport	Umiddelbart
Skade på fortøyningsinnretninger (pullerter, bolter) eller dekke, rapportert av brukere.		
Synlige setninger og forandringer i helningsvinkler eller moloskråning.	Skriftlig rapport med skisser og foto	Halvårsrapport
Utvasking av filterlag og forekomst av småstein (filter eller kjerne) på moloens utside.		
Forandringer i dybdeforhold i havna, spesielt endringer i sandbunn.		

Tabell 12-1 Inspeksjonsrutiner for moloer.

STED	KONTROLLPUNKT	KOMMENTAR
Blokklag	Størrelse av stein, evt sprekking og knusing	Måling av representativt utvalg av stein
	Antall lag	Visuell inspeksjon
	Siging og endringer i helningsvinkel	Måles instrumentelt
	Forflytning av merkede blokker	Utføres kun for større anlegg
Dekke og brystvern	Siging og oppsprekking	Visuell inspeksjon
Blokklag under vann	Sig i blokklag, undergraving, overheng	Dykkerundersøkes; fotograferes
Molofot	Erosjonssikring, dersom det er laget	Dykkerundersøkes; fotograferes
Filterlag	Stabilitet	Kontroller at filtermateriale ikke kommer ut på moloens overflate (innside eller utside)
Molokropp	Fortøyningsinnretninger og annet utstyr	Generell inspeksjon og kontroll
Innseiling	Undersøke om blokker kan være en fare for båttrafikk	
Molo	Dimensjoneringsgrunnlag	Kontroll om det er endringer i bruk av molo eller vannstands nivå jfr. forutsetninger ved opprinnelig dimensjonering av molo

Tabell 12-2 Tilstandskontroll for moloer.

12.3 TILSTANDSKONTROLL

Tilstandskontroll er en mer omfattende undersøkelse av moloens tilstand som bør utføres ved følgende anledninger:

1. etter en større skade som gjør at en oppgradering av moloen (ny dimensjonering) bør vurderes
2. etter reparasjon av eventuell større skade
3. etter første vintersesong etter ferdigstillelse
4. ellers hvert 5. år

Tilstandskontrollen omfatter alle dimensjoneringsverdier for moloen, og har til hensikt å kontrollere om det har foregått forandringer i moloen (slitasje, knusing, sig, utglidning, erosjon, etc.) som ikke var forutsatt ved bygging.

Tilstandskontrollen bør som et minimum omfatte parametere som beskrevet i tabell 12-2.

Rapporten fra tilstandskontrollen skal utføre en sammenligning med de opprinnelige dimensjonerende verdier, og inneholde en vurdering av eventuelle tiltak. Det kan være aktuelt å øke kontrollfrekvensen.

Rapporten skal også inneholde en vurdering av moloens funksjon, og spesielt skal det vurderes om moloen er egnet til det formål den i øyeblikket anvendes til.

12.4 VEDLIKEHOLD

Enkelt vedlikehold skal alltid forberedes ved byggingen av moloen. Vedlikehold av en molo består i nesten alle tilfeller av påfyll av dekkblokker på moloens ytterside for å erstatte tap av enkeltblokker, og i noen tilfeller påfyll på erosjonssikring.

Vedlikehold av fortøyningsinnretninger og betongkonstruksjoner omtales ikke her.

Omfanget av planlagt vedlikehold vil variere for hver enkelt molo, men det kan omfatte:

- Forberedelse av veier for tyngre maskiner også etter ferdigstillelse av molo
- Sikring av adkomstrett til moloen
- Reserverlager av dekkblokker som tas ut i forbindelse med ordinær drift og lagres i nærheten av moloen (inntil 5 % av blokkvolum i opprinnelig molo anbefales)

12.5 BRUK AV MOLOEN TIL ANDRE FORMÅL

Behovet for en molo og anvendelsen av den vil være klarlagt i planprosessen før moloen vedtas etablert. Bruken av moloen kan imidlertid endres uten formelle vedtak og uten at eieren konsulteres. Spesielt skal en være oppmerksom på muligheten for at moloen brukes til å beskytte andre og større verdier enn slike som den er dimensjonert for. Eksempler på slik bruksendring er anlegg av boligfelt, fabrikk- og industriområder, osv.

For skuldermoloer spesielt gjelder det at blokkene kan være ustabile og i bevegelse. Skuldermoloer bør derfor

stenges for alminnelig ferdsel, og det skal settes opp skilt som informerer om stenging og om farene ved å bevege seg ut på moloen.

Kommune og evt. havnevesen bør skriftlig orienteres om den kapasitet som moloen er dimensjonert for, og hvilken sikkerhet som finnes mot sammenbrudd, overskylling eller funksjonssvikt i en eller annen form.

12.6 STANDARDHEVING

Standardheving av en molo vil si at den bygges om for å få en mer omfattende funksjon enn før. Eksempelvis kan en molo forlenges for å gi et større havneareal enn tidligere eller for å gi bedre bølgebekyttelse i eksisterende havn. Slik standardheving skal behandles som et nyanlegg slik dette er beskrevet i foranstående kapitler.

En standardheving kan oppnås ved en enkel ombygging av molohodet. Dersom lavere bølgehøyder i havna er målet, kan dette være et godt alternativ. Se pkt. 7.5.8 om spesielle hensyn ved utforming av molohoder.

Vær særskilt oppmerksom på at en utvidelse/forlengelse av en molo kan føre til økt belastning på den gamle delen, slik at det bør kontrolleres om det vil være et behov for å forsterke den eksisterende moloen.

12.7 REPARASJON AV MOLOER

12.7.1 Mindre reparasjoner

Mindre reparasjoner av molokropp omfatter oppretting av utglidning av blokker, sig i dekke osv. Det er en forutsetning for å kunne klassifisere tiltaket som en mindre reparasjon at skaden er liten og lokal, og at den ikke skyldes konstruksjonsfeil, underdimensjonering, eller feilaktig utført arbeid.

12.7.2 Større reparasjoner

Dersom skaden ikke kan antas å være lokal, vil det foreligge en svakhet i hele konstruksjonen som bør rettes opp. Mange eldre moloer i Norge er bygget uten noen form for

dimensjonering, og konstruksjonens utforming er gitt av erfaring, tilgjengelig utstyr og lokale forhold.

Dersom moloen blir skadet, kan det også skyldes at de ytre forhold har endret seg, f.eks. større bølgehøyde som følge av mudring, nye kaier, osv. I slike tilfeller skal reparasjon teknisk behandles som nyanlegg, dvs at en starter med en grunnleggende dimensjonering av moloen basert på belastningsdata (bølger, vannstand, etc).

I den tekniske delen av prosjekteringen skal en søke på best mulig måte å utnytte den eksisterende moloen.

En gammel molo vil være så godt konsolidert og bearbeidet av bølgene at den er langt sterkere enn de gjeldende formler for dimensjonering tilsier.

Et godt alternativ ved større reparasjoner er en såkalt hybridkuldermolo; en molo der den eksisterende moloen brukes som kjerne og filter, og skuldra legges utenpå den gamle moloen. Skuldra kan i dette tilfellet være mindre og ha en helt annen form enn den tradisjonelle skulder på grunn av den gamle moloens styrke.

For større reparasjoner er det aktuelt å søke bistand ved numerisk modellering og eventuelle modellforsøk, fordi en slik reparasjon blir så omfattende og kostbar at det er naturlig å søke å oppgradere eller forbedre havna samtidig, forutsatt at behovet for dette er til stede.

12.8 VERNEVERDIGE ANLEGG

12.8.1 Generelt

Havneanleggene som er bygget i Norge omfatter en rekke moloer som i stor grad varierer i forhold til utforming, dimensjonering, alder og materialbruk mv. Moloene representerer i mange tilfeller estetiske kvaliteter og interessant kulturhistorie som på ulike måter er knyttet til lokalsamfunnenes utvikling. Ikke minst er kvalitetene nært knyttet til den tekniske utviklingen som Kystverket og

tidligere Statens havnevesen har gjennomgått mht. utstyr og byggemetoder.

Noen generelle retningslinjer for hvordan en går fram ved reparasjoner og utbedringer av anlegg som kan ha slike kvaliteter, er gitt nedenfor.

12.8.2 Forvaltning, vedlikehold og reparasjoner

Kystverkets «Landsverneplan for marin infrastruktur» anbefales benyttet ved planlegging av reparasjonsarbeider. I denne oversikten presenteres en rekke vernede havneanlegg og moloer over hele landet.

Enkelte eldre moloanlegg har fortsatt opprinnelig utforming. Ved utbedringer, utbygginger og vedlikehold av slike anlegg er det viktig å ha et bevisst forhold til at anlegget i utgangspunktet har en egenverdi. Hvorvidt en molo har slike kvaliteter og disse bør bevares og evt. på hvilken måte, bør avklares konkret i hvert enkelt tilfelle.

Med et slikt utgangspunkt kan en generelt si at et nytt tiltak må planlegges og konstrueres i forhold til det eksisterende anlegget der dette er mulig, både når det gjelder dimensjonering, byggestil og materialbruk. Det vurderes for eksempel som uheldig dersom påfylling av dekkblokker og betong benyttes ukritisk ved reparasjoner på eldre, pent murte moloer.

Slike vurderinger bør gjøres i en tidlig fase når man skal gi anbefaling om eller ta beslutning om tiltak for reparasjoner, vedlikehold og ved videre utbygginger som berører eksisterende anlegg.

12.9 ETTERPRØVING OG EVALUERING. KONTROLL VED LEVETIDENS UTLØP

Det anbefales at det gjøres en ny beregning av molo-konstruksjonen når levetiden nærmer seg utløpet. Spesielt er det viktig å benytte siste tilgjengelige klimadata ved slik etterprøving av konstruksjonen.



Figur 12-1 Del av moloen i Silda, Vågsøy kommune. Den eldre delen sto ferdig i 1889. Anlegget er et godt eksempel på hvordan en ved videre utbygging av moloen til en viss grad tok hensyn til byggestil og materialbruk.

13. REFERANSER

- I. Lothe A E, Bjørndal S, Eiksund G: Kystverket – moloer (Molohåndboka), SINTEF rapport STF22 F00203, 2000-03-7.
- II. Aarnes, O.J., Reistad, M., Breivik, Ø., Bitner-Gregersen, E., Eide, L.I., Gramstad, O., Magnusson, A.K., Natvig, B., Vanem, E. (2017). Projected changes in significant wave height toward the end of the 21st century: Northeast Atlantic. *Journal of Geophysical Research: Oceans*.
- III. Breivik, Ø., Reistad, M., Haakenstad, H. (u.d.). A high-resolution hindcast study for the North Sea, the Norwegian Sea and the Barents Sea. Norsk Meteorologisk Institutt.
- IV. CIRIA. (2007-2012). *The Rock Manual. The use of rock in hydraulic engineering* (2nd edition). London: C683.
- V. Jacobsen, A., Bjørndal, S., & Vold, S. (1999). Wave propagation around berm breakwaters. *Proc. Coastal structures*, Balkema. Rotterdam.
- VI. PIANC. (1992). *Analysis of Rubble Mound Breakwaters, WG12*, supplement to Bulletin no. 78/79.
- VII. PIANC. (1994). *Floating Breakwaters. A practical guide for design and construction*. Supplement to report No 85.
- VIII. PIANC. (1997). *Guidlines for the Design of Armoured Slopes under Open Piled Quays*.
- IX. PIANC. (2003). *State-of-the-Art of Designing and Construction Berm Breakwaters*.
- X. Miljødirektoratet. *Veileder for håndtering av sediment («Håndteringsveilederen»)*. M-350. Revidert 25. mai 2018.
- XI. Miljødirektoratet. *Risikovurdering av forurenset sediment («Risikoveilederen»)*. Veileder nr M-409. Utgitt 2015.
- XII. Miljødirektoratet. *Testprogram for tildekkingsmasser. Veileder nr M-411*. Utgitt 2017.

- XIII. Miljødirektoratet. Grenseverdier for klassifisering av vann, sediment og biota. Veileder nr M-608. Utgitt 2016.
- XIV. Miljødirektoratet. Veileder for klassifisering av miljøkvalitet i fjorder og kystfarvann – Revisjon av klassifisering av metaller og organiske miljøgifter i vann og sedimenter. Veileder nr TA-2229. Utgitt 2008 – erstattet av M-608.
- XV. Sigurdarson, S., Smarson, B. O., & Viggorsson, G. (2000). Design Considerations of Berm Breakwaters. ICCE. Sidney.
- XVI. Simpson, M., Nilsen, J., Ravndal, O., Breili, K., Sande, H., Kierulf, H., . . . Vestøl, O. (2015). Sea Level Change for Norway. NCCS report no. 1/2015.
- XVII. Van der Meer, J., & Sigurdarson, S. (2017). Design and Construction of Berm Breakwaters. World Scientific.
- XVIII. PIANC. MarCom Working Group 13. Floating Breakwaters – A Practical Guide for Design and Construction. PTC II report of WG 13-1994.
- XIX. Van der Meer, J., & Sigurdarson, S. (u.d.). Berm Breakwaters: Designing for Wave Heights from 3 m to 7 m. Proc. PIANC COPEDEC.
- XX. EurOtop (2016). "Manual on wave overtopping of sea defences and related structures. An overtopping." Edited by J. W. Van der Meer, N.W.H. Allsop, T Bruce, J. De Rouck, A. Kortenhaus, T. Pullen, H. Schüttrumpf, P. Troch and B. Zanuttigh. www.overtopping-manual.com
- XXI. PIANC: Criteria for Movements of Moored Ships in Harbours, Supplement to Bulletin 88, 1995
- XXII. Lothe A E : Prosedyre for Plastring av moloer (5), Norconsult notat 2018-08-29
- XXIII. Sigurdur Sigurdarson, Jentsje van der Meer: Design of Berm Breakwaters: Recession, Overtopping and Reflection, ICE Coasts, Marine Structures and Breakwaters 2013, Edinburgh, Scotland, 2013





VEDLEGG I
GENERELL
BØLGETEORI

1. BØLGER

1.1 GENERELT

I områder uten is er det bølger som gir dimensjonerende belastning på moloer. Havbølger er irregulære og stokastiske i form, høyde, lengde og forplantningshastighet. Betegnelsen sjøtilstand benyttes for en bølgesituasjon der stokastiske bølgeparametere som signifikant bølgehøyde H_s , midlere bølgeperiode T_m , topp-periode T_p , midlere bølgeretning θ_m o.l. er antatt konstante innenfor en periode. Den mest effektive måten å beskrive en sjøtilstand på, er ved bølgespektret. Varigheten av en sjøtilstand kan variere mellom 30 minutter og opp til 10 timer. Det er vanlig å anta tre timer som en representativ varighet av en sjøtilstand.

Det er utviklet ingeniørmessige dimensjoneringsformler for forskjellige typer moloer der inngangsparametere er H_s , T_p og vanddybden d ved molostedet under dimensjonerende sjøtilstand. Dimensjonerende sjøtilstand er for moloer gitt som en 200-års tilstand. Dvs en sjøtilstand som forventes ikke overskredet mer enn én gang hvert 200 år i gjennomsnitt. For å bestemme 200-års verdier må vi ha tilgang på lange måleserier av bølgedata. Slike måleserier er vanligvis ikke tilgjengelig. Vi baserer derfor analysen på simulerte sjøtilstander fra værdata (hindcastdata).

Dersom molostedet er godt skjermet for bølger fra åpent hav, vil det være tilstrekkelig med lokale vinddata over åpen sjø for å simulere bølgeforholdene. 200-års bølgetilstand beregnes da basert på 200-års vind, lokal topografi og strøklengder.

Om molostedet er åpent for bølger fra åpent hav, tar

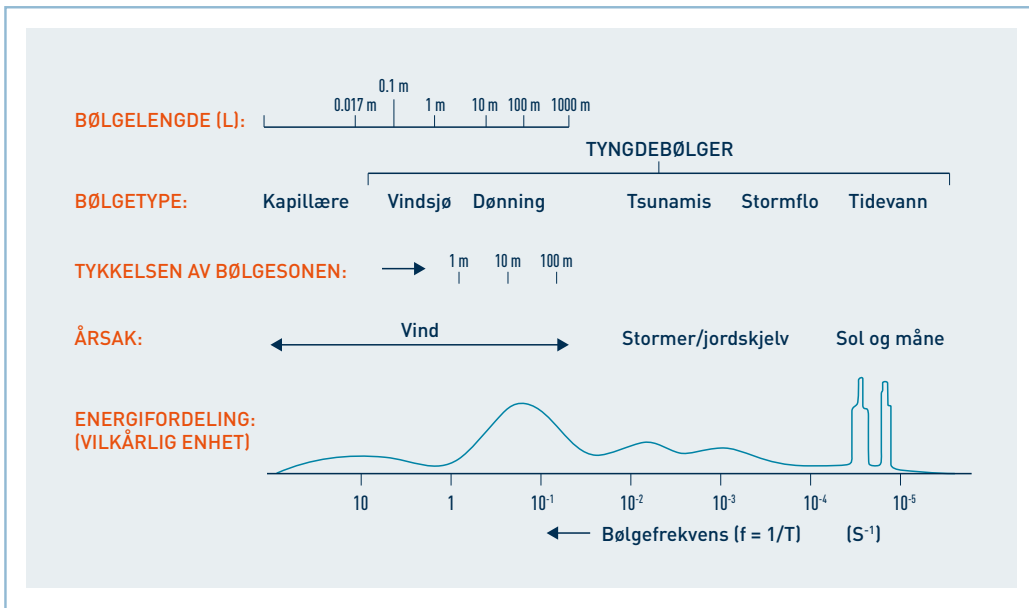
man utgangspunkt i hindcastdata. Dette er simulerte bølgedata beregnet fra historiske værkart for havområdene og som i Norge utføres av Meteorologisk Institutt. Hindcastarkivet inneholder mer enn 60 år med bølgedata hver 3. time for en rekke posisjoner på åpent hav, men vanligvis ikke fra molostedet. Det anbefales å foreta målinger ved molostedet for å kalibrere hindcast-data, men disse vil vanligvis ikke være lange nok for bestemmelse av 200-årsverdier. Det er derfor behov for bølgemodeller som fremstilles ved å ta utgangspunkt i hindcastdata og simulere endringene i bølgeparametere fram til molostedet.

Dette kapitlet er delt opp i fire underkapitler:

1. **Bølgetyper** – der de forskjellige bølgetypene er beskrevet, pkt. 1.2.
2. **Bølgebeskrivelse og observasjonsteknikker** – der vesentligste ord og uttrykk i tilknytning til bølgebeskrivelse og teori er presentert, pkt. 1.3.
3. **Bølgestatistikk** – der korttids og langtids bølger er presentert, pkt. 1.4.
4. **Modellforsøk** – med en kortfattet oppsummering av skalering ved modellforsøk samt annen nyttig informasjon om fysiske modellforsøk, se pkt. 1.5.

1.2 BØLGETYPER

Havoverflaten reflekterer virkningen av astronomiske (tidevann) og meteorologiske (vindsjø, dønninger og stormflod) krefter, samt forskyvning av vann (skipsbølger, rasgenererte bølger og tsunamier pga. jordskjelv). Figur I-1



Figur 1-1
Skjematisk energispektrum av bølger til havs plottet mot frekvens.

gir en skjematisk representasjon av de forskjellige bølger observert på overflaten som en funksjon av frekvens (invers av bølgeperiode). Tidevannet har en veldefinert frekvens, mens de andre kategoriene er fordelt over et bredt frekvensbånd. Vindsjø er kortperiodiske kortkammede bølger generert av lokal vind, mens dønning er bølger som har forplantet seg ut fra genereringsområdet i stormer langt fra lokasjonen og har en utpreget langkammethet og relativt lang bølgeperiode. Vinddrevne bølger (vindsjø) er en stokastisk prosess med perioder fra 2–20 sekunder, mens dønning typisk har perioder større enn 10 sekunder. En sjøtilstand kan være en ren vindsjø eller en ren dønning eller en kombinasjon av vindsjø og dønning.

Tilgjengelige data tyder på at vi kan anta at overflatehevingen er tilnærmet normalfordelt. I det etterfølgende omtales kun vinddrevne bølger og dønning, og disse omtales heretter som bølger.

1.3 BØLGEBESKRIVELSE OG OBSERVASJONSTEKNIKKER

1.3.1 Generelt

En definisjonsskisse av en regulær bølge er vist i figur 1-2.

Det er en entydig sammenheng mellom bølgelengden, L , og bølgeperioden, T , kjent som dispersjonsrelasjonen. For regulære lineære bølger er denne gitt ved

$$L = L_0 \tanh(2\pi d / L); \text{ der } L_0 = \frac{g}{2\pi} T^2$$

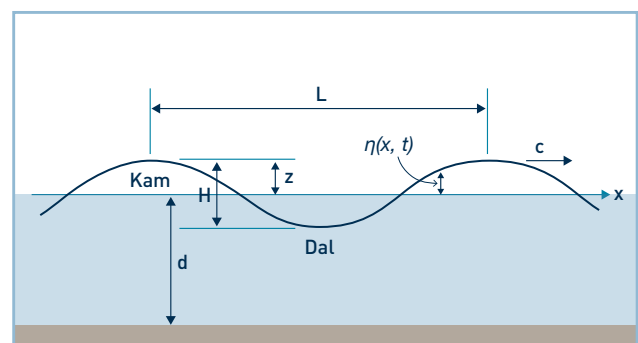
(0.0.1)

En approksimasjon med nøyaktighet god nok for ethvert praktisk forhold ble publisert av Bob You på «Coastal list» i 2008:

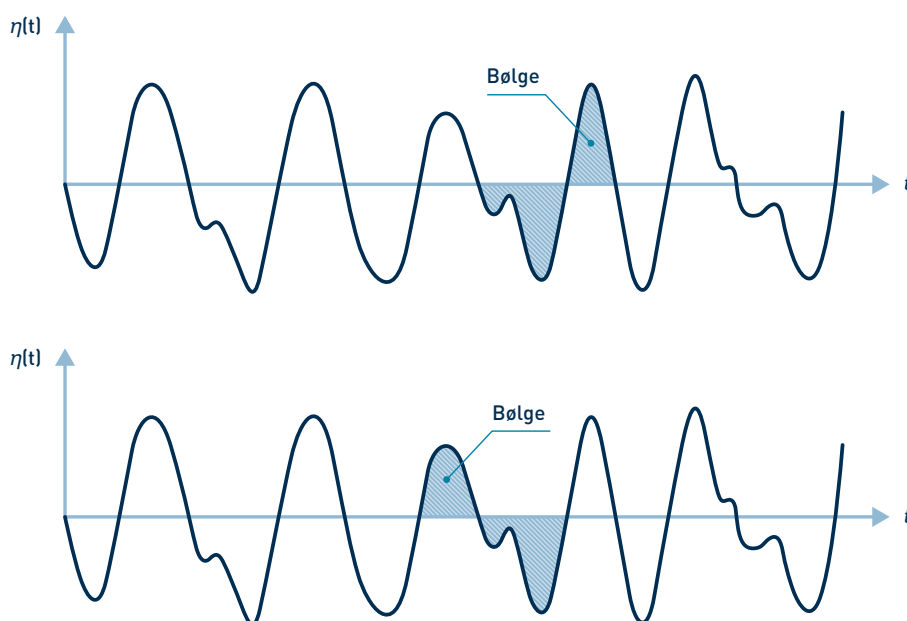
$$L = L_0 \tanh(\xi_0); \quad \xi_0 = (k_0 d)^{1/2} \left(1 + \frac{k_0 d}{6} + \frac{(k_0 d)^2}{30} \right); \quad k_0 = \frac{2\pi}{L_0}$$

(0.0.2)

Fordelen med dette uttrykket er at den ukjente bølgelengden, L , opptrer kun på venstre siden av likhetstegnet. For steile bølger som nærmer seg brytning, vil steilheten inngå i dispersjonsrelasjonen.



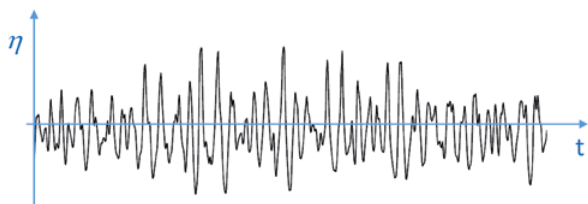
Figur 1-2 Definisjonsskisse av en regulær bølge.
 $c = L/T$ er forplantings hastigheten der L er bølgelengden og T bølgeperioden.



Figur 1-4
Definisjonen av en «bølge» i
en tidsdomeneanalyse fra en
bølgemåling.

Nedkrysningsanalyse (øverst) og
oppkrysningsanalyse (nederst).

I virkeligheten er vindbølger irregulære og stokastiske. Figur 1-3 viser en typisk tidsserie av målt vindbølge. Det er klart at definisjonene gitt ovenfor [L og T] er utilstrekkelige for å beskrive den målte bølgeoptaket i figur 1-3. Følgende tekst beskriver forskjellige teknikker benyttet til å måle vindbølger, og introduserer forskjellige måter å beskrive slike bølger på.



Figur 1-3 Typisk tidsserie av målt vindbølge.

1.3.2 Observasjonsteknikker

Det finnes flere observasjonsteknikker, se Holthuijsen (2009):

- Visuelle observasjoner er ofte den eneste kilden til bølgeinformasjon som er tilgjengelig for ingeniøren. Ved behov vil målinger med instrumenter være nødvendig.
- Måleteknikker kan deles inn i in-situteknikker (instrumenter som brukes i vannet) og fjernmålingsteknikker (instrumenter som brukes nært eller høyt over vannet).
- De vanligste instrumentene in-situ er bølgebøyer og bølgestaver. Andre in-situinstrumenter er inverterte ekkoloddgivere, trykkgivere og strømmålere. Disse

instrumentene monteres enten på en fast konstruksjon eller er flytende forankret.

- Den vanligste fjernvarslingsmetoden er radar, som er basert på aktiv bestråling av sjøoverflaten med elektromagnetisk energi og detektering av tilhørende refleksjon. Radar kan plasseres ved kysten, fra faste plattformer (for eksempel oljeproduksjonsplattformer) eller fra bevegelige plattformer ved relativt lav høyde (fly) eller stor høyde (satellitter).
- Radar kan brukes til å skaffe bilder av sjøoverflaten, men den kan også brukes som avstandsmåler eller måling av variasjon i overflateruhet.
- Hver målingsteknikk har sine egne særegenheter når det gjelder driftsyttelse, nøyaktighet, vedlikehold, kostnad og pålitelighet.
- Det vanligste resultatet av en bølgemåling er en tidsserie av sjøoverflatens høyde relativt til middelverdien i løpet av måleperioden og i et bestemt horisontalt punkt eller område i tilfelle med radarmålinger. Dette kan suppleres med retningsinformasjon fra f.eks. retningsbølgebøyer.

1.3.3 Metoder for beskrivelse av bølger

1.3.3.1 Generelt om ulike metoder

Vanlig statistisk beskrivelse av vindbølger krever statistisk stasjonaritet. Dvs at forventningsverdi, standard avvik og andre statistiske parametere av sjøoverflatens bevegelse ikke endrer seg innenfor et tidsrom. En tidsregistrering av bølger (sjøoverflatens vertikale nivå som en funksjon av tid på ett sted) trenger derfor å være så kort som mulig. Imidlertid for å oppnå tilstrekkelig nøyaktighet av beregnede statistiske parametere bør måleserien være så



lang som mulig. Kompromisset er en tidsregistrering på 15–30 min. Hvis serien er lengre, bør den deles inn i slike segmenter, muligens overlappende, der hver antas å være stasjonær.

Bølgeparametere bestemmes ved å analysere slike tidsregistreringer, enten i tidsdomenet eller frekvensdomenet.

1.3.3.2 Tidsdomeneanalyse av bølger

Bølgetilstanden i en stasjonær tidsregistrering, $\eta(t)$ kan karakteriseres med gjennomsnittsparemetere, som for eksempel signifikant bølgehøyde, H_s , pikperiode for bølger, T_p , og midlere bølgeperiode, T_m . Nullkryssingsteknikker (enten nedkryssing eller oppkryssing) benyttes til å identifisere enkeltbølger i tidsserien fra et punkt. Prinsippet er skissert i figur 1-4.

Signifikant bølgehøyde H_s er definert som gjennomsnittsverdien av bølgehøydene til de 1/3 høyeste bølgene. Om N er totalt antall bølger i tidsregistreringen:

$$H_s = H_{1/3} = \frac{1}{N/3} \sum_{j=1}^{N/3} H_j$$

Signifikant bølgeperiode T_s er gjennomsnittet av bølgeperioden til de 1/3 høyeste bølgene.

$$T_s = T_{1/3} = \frac{1}{N/3} \sum_{j=1}^{N/3} T_j$$

Midlere bølgeperiode, T_m er gjennomsnittet av bølgeperioden av alle bølgene i registreringen.

$$T_m = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N T_j$$

Det er interessant å merke seg at signifikant bølgehøyde er ganske godt korrelert med bølgehøyden estimert visuelt av erfarne observatører. Dette er ikke tilfelle for signifikant bølgeperiode eller midlere bølgeperiode.

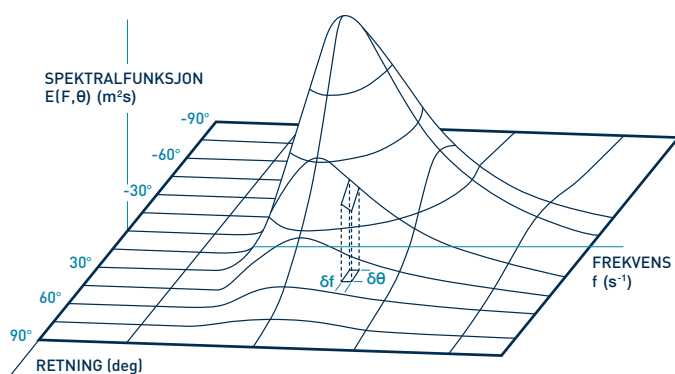
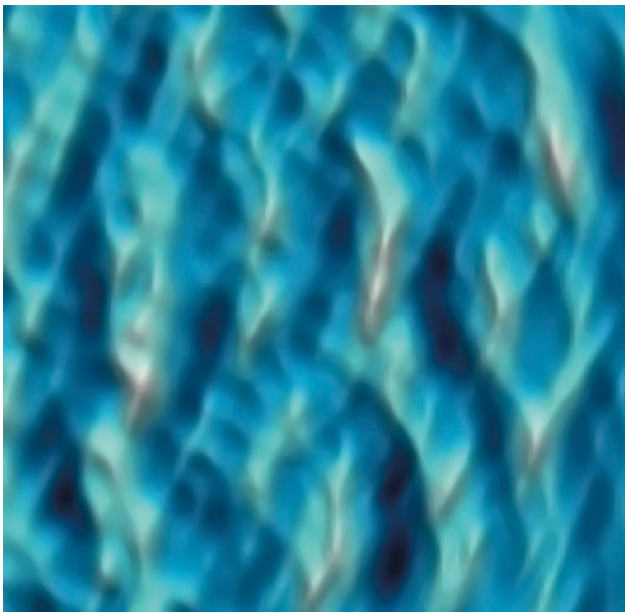
1.3.3.3 Analyse i frekvensdomenet

En mer fullstendig beskrivelse av sjøtilstanden oppnås ved å modellere tidsregistreringen som summen av et stort antall statistisk uavhengige, regulære bølger (bølgekomponenter). Dette konseptet kalles «tilfeldig fase/amplitudemodellen» og leder til konseptet med det endimensjonale varianstetthetsspektret (bølgespekteret) $S(f)$, som viser hvordan variansen til sjøoverflatehøyden fordeles med hensyn på frekvensene til bølgekomponentene ($f = 1/T$). Om man bruker N bølgekomponenter hver med bølgeamplitude a_n , frekvens $f_n = \frac{\omega_n}{2\pi}$ og tilfeldig fase slik at

$$\eta(t) \approx \sum_{n=1}^N a_n \sin(\omega_n t - \alpha_n),$$

er variansen

$$\sigma_\eta^2 \approx \frac{1}{T_R} \int_0^{T_R} \eta^2(t) dt \approx \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \frac{1}{2} a_n^2 \approx \int_0^\infty S(f) df$$



Figur I-5 Simulering av sjøoverflaten. Bildet øverst viser overflatehevingen sett ovenfra. Bildet nederst er en illustrasjon av bølgeretningspektret. Det lille «volumet» $\delta f \cdot \delta \theta \cdot E(f, \theta)$ tilsvarer variansen $a^2/2$ til en enkelt bølgekomponent.

Hvis situasjonen er stasjonær og overflatehøyden er gaussisk fordelt, gir $S(f)$ en komplett statistisk beskrivelse av bølgene.

Dette konseptet kan utvides til den tredimensjonale, bevegelige sjøoverflaten, som deretter ses som summen av et stort antall statistisk uavhengige, harmoniske bølger som forplantes i alle retninger over sjøoverflaten. Tilsvarende todimensjonale varianstetthetsspektrum $E(f, \theta)$ viser hvordan variansen er fordelt over frekvensene ($f = 1/T$) og retningene (θ) av disse harmoniske bølgekomponentene:

$$E(f, \theta) = S(f)D(\theta, f); f > 0, -\pi \leq \theta \leq \pi$$

Retningspektret $D(\theta, f)$ gir retningsspredningen av bølgeenergien. Sjøoverflaten kan nå simuleres som en sum av sinusbølgekomponenter med forskjellig frekvens og retning bestemt av frekvensretningspektret. Et eksempel på en slik simulering er vist i figur I-5.

Det endimensjonale spektret $S(f)$ kan beregnes fra det todimensjonale spektret $E(f, \theta)$ ved integrasjon over alle retninger.

Varianstetthetsspektret gir også en beskrivelse i fysisk forstand når det er multiplisert med pg (p er tettheten av vann, g er tyngdens akselerasjon). Resultatet er energitetthetsspektret. Det viser hvordan energien til bølgene fordeles over frekvensene (og retningene).

Bølgeparametre som signifikant bølgehøyde H_{m0} og topp-periode T_p bestemmes fra det beregnede spektret som følger:

$$H_s = H_{m0} = 4 \sqrt{\int_0^{\infty} S(f) df}$$

H_{m0} er verdien for bølgehøyde som oppgis i værvarsel, marinogrammer etc.

Spektral topp-periode T_p er den inverse verdien av frekvensen fp hvor verdien av frekvensspektret er høyest. T_p kan ikke defineres entydig for flertoppede spektra f.eks. for en sjøtilstand med dønning og vindsjø. Da opererer man ofte med to verdier – en for lavfrekvente bølger (dønning) og en for høyfrekvente bølger (vindsjø).

Midlere bølgeperiode T_z (eller T_{m02}) er definert via spektrale momenter m_i . $T_z = T_{m02} = \sqrt{m_0 / m_2}$, der spektralmomentet m_i er definert ved $m_i = \int_0^i f^i \cdot S(f) df$. Det kan sees at T_z er svært avhengig av spektrrets form ved høye frekvenser og derfor kan estimatet bli noe ustabil.

Sammenhengen mellom T_z og toppbølgeperioden, T_p , kan i tilfellet der sjøtilstanden beskrives med et JONSWAP spektrum tas som

$$T_z = T_p (0.6673 + 0.05037\gamma - 0.006230\gamma^2 + 0.0003341\gamma^3).$$

γ er forsterkingsfaktoren (også kalt spisshetsparameter eller topphetsparameter) i JONSWAP spektret. For et PM-spektrum kan forholdet tas som $T_p = 1,4 \cdot T_z$. (Ref.: DNVGL-RP-C205, avsnitt 3.5.5).

Perioden assosiert med den mest sannsynlige høyeste bølgen i en sjøtilstand betegnes $T_{H_{max}}$. Den mest sannsynlige høyden for høyeste bølge i en sjøtilstand betegnes H_{max} , og $T_{H_{max}}$ er dens forventede periode. $T_{H_{max}}$ kan finnes indirekte fra T_z eller T_p fra målte tidsserier, eller fra H_{max} og bølgekrapphetsantakelser – vanligvis for å oppnå en rekke mulige tilknyttede perioder. $T_{H_{max}}$ kan imidlertid ikke utledes direkte fra bølgespektret.

For en sjøtilstand med varighet 3 timer kan H_{max} antas å være lik 1,9 ganger signifikant bølgehøyde H_s .

1.3.3.4 Modellspektra

For planlegging og dimensjonering er det hendig å benytte modellspektra i stedet for virkelige spektra. Flere slike er foreslått for forskjellige formål. Mest benyttet som estimat på $S(f)$ i norske farvann for vindsjø offshore er JONSWAP-spekteret. Dette fordi stormer i norske farvann har et forløp med relativt rask økning i vindstyrke og at

stormen passerer et område relativt raskt. Eksempel på stormutvikling offshore er vist i figur I-6. Figuren viser verdier av signifikant bølgehøyde rundt stormtoppen. Data er fra hindcastarkivet offshore Mehamn. Målingene støtter antakelsen om at en sjøtilstand kan antas stasjonær over 3 timer også gjelder ved stormtoppen her.

Andre spektra er ofte benyttet for modellering av sjøtilstander under mer moderate forhold, for eksempel Pierson-Moskowitz spektret (PM-spekret) eller om det er nødvendig å modellere to-toppede spektra, dvs modellere både dønning og vindsjø. Eksempler på sistnevnte er Ochi-Hubble spektrum og Torsethaugen spektrum (Ochi og Hubble, 1976; Torsethaugen, 1996, 2004). Goda (2010) gir følgende uttrykk for JONSWAP spektret:

$$S(f) = \beta_j H_s^2 T_p^{-4} f^{-5} \exp \left[-1.25 (T_p f)^4 \right] \gamma^{\exp \left[-(T_p f - 1)^2 / (2\sigma^2) \right]} \quad (0.0.3)$$

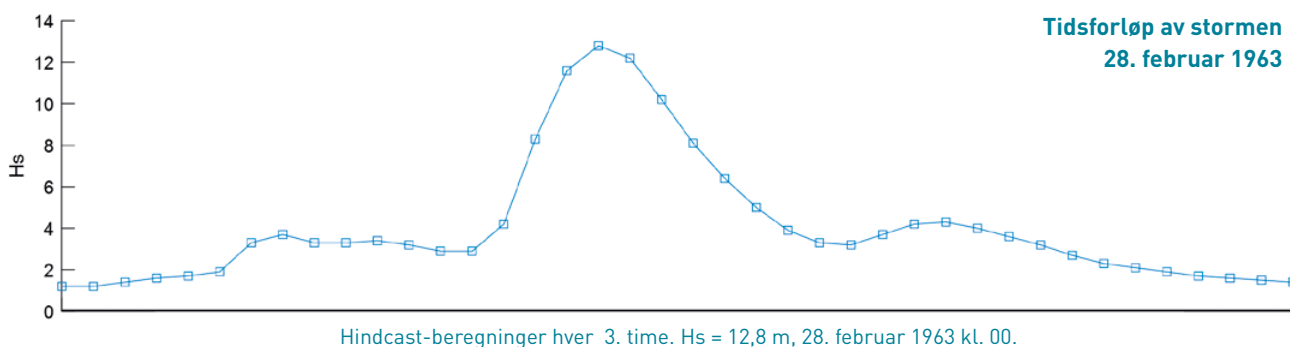
der

$$\beta_j = \frac{0.0624}{0.230 + 0.0336\gamma - 0.185(1.9 + \gamma)^{-1}} [1.094 - 0.01915 \ln \gamma], \quad (0.0.4)$$

$$T_z = T_p (0.6673 + 0.05037\gamma - 0.006230\gamma^2 + 0.0003341\gamma^3), \quad (0.0.5)$$

$$\sigma = \begin{cases} \sigma_a; f < f_p \\ \sigma_b; f \geq f_p \end{cases}, \quad (0.0.6)$$

$$\gamma = 1 \sim 7 \text{ (vanligvis 3.3 for norske forhold)}, \sigma_a = 0.07, \sigma_b = 0.09 \quad (0.0.7)$$



Figur I-6 Tidsforløp av beregnet signifikant bølgehøyde under stormen 28. februar 1963. Data fra Hindcast-arkivet WAM10_7119N_2803E.



En anbefalt formel for spisshetsparameteren som funksjon av H_s og T_p er gitt i DNVGL-RP-C205.

Retningsspredningsfunksjonen $D(\theta, f)$ er normalisert slik at

$$\int_{-\pi}^{\pi} D(\theta|f) d\theta = 1 \quad (0.0.8)$$

$D(\theta, f)$ er ofte gitt som en $\cos^{2N(\omega)}(\theta - \theta_m)$ -fordeling der θ_m er hovedretningen for bølgene. Normalfordelingen kan i mange sammenhenger være likeså godt egnet og har (ikke minst) egenskapen at den er enkel å forstå:

$$D(\theta) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_1} \exp\left(-\frac{(\theta - \theta_m)^2}{2\sigma_1^2}\right) \quad (0.0.9)$$

Der de to parameterne er midlere bølgeretning, θ_m , og sirkulært standard avvik, σ_1 . Når en bruker normalfordelingen sammen med JONSWAP bølgespekter antar men vanligvis at θ_m er den samme for alle frekvenser. σ_1 er det vanlig å variere med frekvens. Retningsverdiene oppgis i radianer.

1.4 BØLGESTATISTIKK

1.4.1 Korttids statistikk

Korttidsfordelingen av individuelle bølgehøyder, H , i en sjøtilstand er generelt beskrevet av Rayleigh-fordelingen (Longuet-Higgins, 1952) med kumulativ sannsynlighetsfordeling

$$\text{Prob}(H \leq h) = P_H(h) = 1 - \exp\left(-\left(\frac{h}{H_{rms}}\right)^2\right) \quad (0.0.10)$$

Hvor H_{rms} er definert ved

$$H_{rms} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N H_i^2} \quad (0.0.11)$$

der N er antall bølger av individuell bølgehøyde H_i .

Ved å anvende denne fordelingen på maksimalverdier finner vi at den forventede høyeste bølge blant N bølger i sjøtilstanden kan estimeres som

$$H_{max} = H_{rms} \sqrt{\ln N}. \quad (0.0.12)$$

Om sjøtilstanden er smalbåndet blir $H_{rms} = H_{m0} / \sqrt{2} \cong H_{1/3} / \sqrt{2}$. For dette tilfellet vil en sjøtilstand med varighet 3 timer og midlere bølgeperiode $T_z = 10$ s gi $N = 1080$ og $H_{max} \cong 1,87 H_{m0}$. Om sjøtilstanden ikke er smalbåndet viser målinger at for stormer er $H_{rms} = 0,65 H_{m0}$. Dette gir for eksempelet ovenfor $H_{max} \cong 1,72 H_{m0}$. Vi ser altså at dersom sjøtilstanden ikke er smalbåndet og vi antar Rayleighfordelte bølgehøyder blir estimatet på den høyeste bølgen konservativt. H_{m0} og $H_{1/3}$ er som tidligere beskrevet begge estimater for signifikant bølgehøyde, H_s .

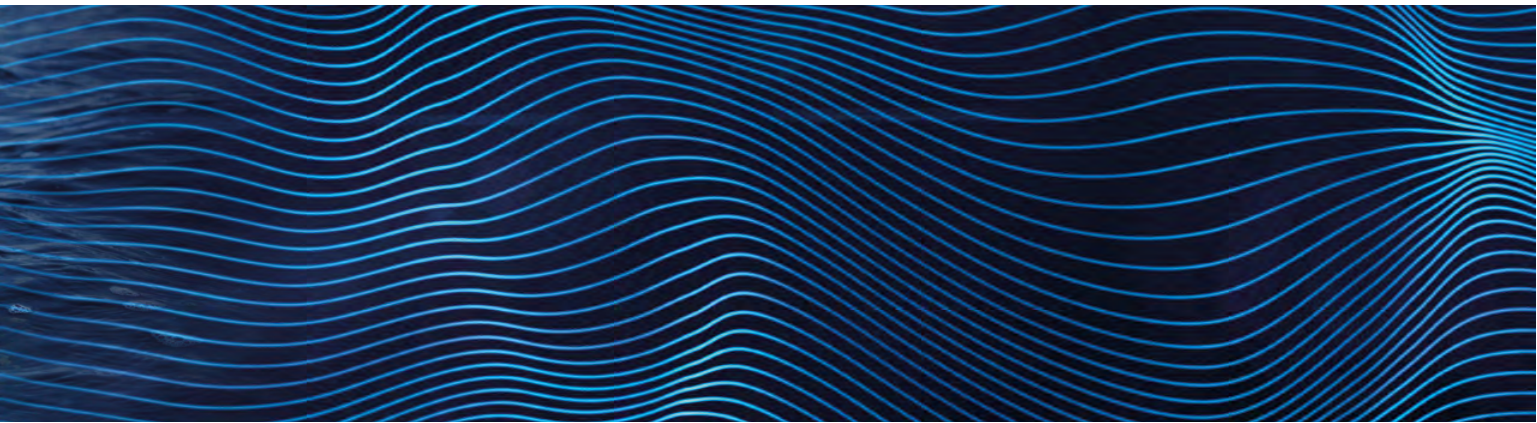
1.4.2 Langtids statistikk

For langtidsstatistikk av signifikant bølgehøyde, H_s , passer en generell Weibullfordeling bedre:

$$\text{Prob}(H_s \leq h) = P_{H_s}(h) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{h - H_0}{H_c - H_0}\right)^\gamma\right]; h \geq H_0; \gamma > 0, \quad (0.0.13)$$

H_0 , H_c og γ er empiriske konstanter for et gitt sted. H_0 er lokalitetsparameteren, $H_c - H_0$ skaleringparameteren og γ formparameteren. NB! Det er ingen standard notasjon her. Alle parametere kan ha andre symboler og kan være byttet om i andre tekster.

Weibullfordelingen gir følgende uttrykk for middelværdien, variansen og 3. ordens statistiske moment for verdier av signifikante bølgehøyder:



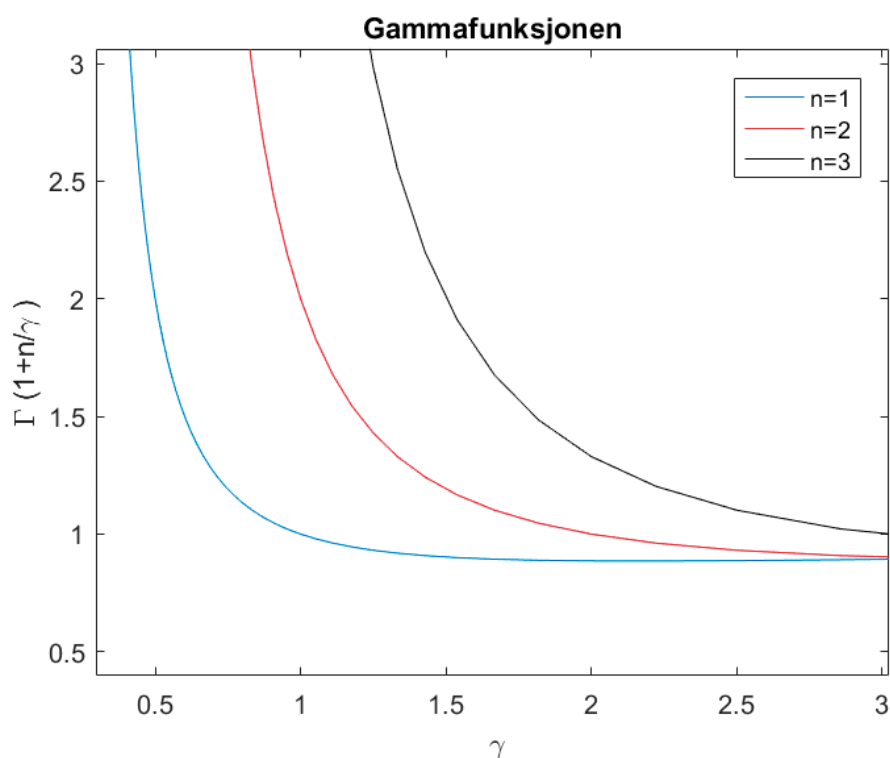
$$\bar{H}_s = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N H_{s,n} \approx \mu_{H_s} = H_0 + (H_c - H_0) \Gamma(1 + 1/\gamma) \quad (0.0.14)$$

$$\text{Var}(H_s) = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (H_{s,n} - \bar{H}_s)^2 \approx \sigma_{H_s}^2 = (H_c - H_0)^2 [\Gamma(1 + 2/\gamma) - \Gamma^2(1 + 1/\gamma)] \quad (0.0.15)$$

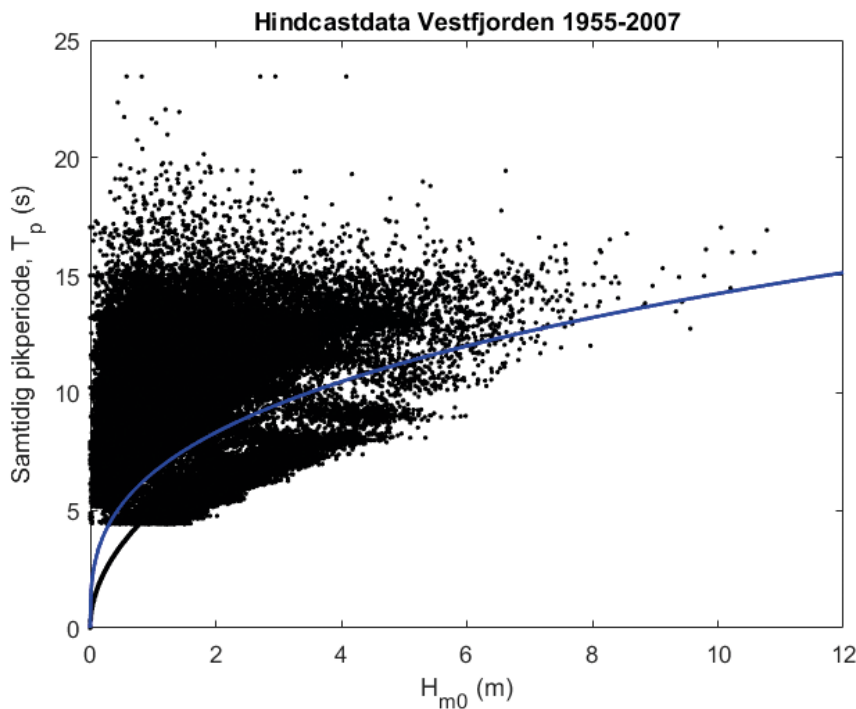
$$\mu_3 = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (H_{s,n} - \bar{H}_s)^3 = (H_c - H_0)^3 [\Gamma(1 + 3/\gamma) - 3\Gamma(1 + 1/\gamma)\Gamma(1 + 2/\gamma) + 2\Gamma^3(1 + 1/\gamma)] \quad (0.0.16)$$

der Γ er Gammafunksjonen (Se figur I-7).

Det er vanlig å plote data som $\ln(-\ln(1 - \hat{P}_{H_s}))$ mot $\ln(H_s - H_0)$, først ved å velge $H_0 = 0$. Om dataene ikke faller på en rett linje justeres verdien på H_0 til man får en best tilpasning av data til en rett linje. Som oftest er man fornøyd om man får en god tilpasning til en rett linje for de høyeste bølgeene i fordelingen ($H_s \geq \bar{H}_s$). \hat{P}_{H_s} er den empiriske fordelingsfunksjonen basert på data. I stedet for denne plottemetoden finnes det analytiske metoder for estimering av parametere, f.eks. momentmetoden som er basert på å beregne middelerverdi, varians og 3. ordens statistisk moment og deretter sette disse inn i teoretiske uttrykk hvor konstantene inngår. Vi får da tre ligninger med tre ukjente. Andre metoder er også tilgjengelige.



Figur I-7
Gammafunksjonen slik den inngår i Weibullfordelingen.



Figur I-8
Samtidig signifikant bølgehøyde og topp-periode fra Vestfjorden. Hindcast data. Formelen $T_p = 6,6 \cdot H_s^{1/3}$ er også vist.

I stedet for denne plottemetoden finnes det analytiske metoder for estimering av parametere, f.eks. momentmetoden som er basert på å beregne middelerverdi, varians og 3. ordens statistisk moment og deretter sette disse inn i teoretiske uttrykk hvor konstantene inngår. Vi får da tre ligninger med tre ukjente. Andre metoder er også tilgjengelige.

Proseduren for å bestemme den maksimale signifikante bølgehøyden H_{s,R_p} over en valgt returperiode R_p år går som følger: Returperioden er knyttet til sannsynlighetsnivået P_{H_s,R_p} i fordelingen gjennom uttrykket

$$R_p = \frac{\tau}{1 - P_{H_s,R_p}(H_{s,R_p})} \quad (0.0.17)$$

τ er gjennomsnittlig tid mellom observasjon av dataene som ble benyttet til å bestemme fordelingsfunksjonen. Dersom alle data benyttes, så er τ lik tiden mellom hver måling. Om man i stedet bruker f.eks. høyeste H_s -verdi fra forskjellige stormer til å etablere \hat{P}_{H_s} , så blir τ lik måleperioden (f.eks. 10 år) delt på antall stormer man har valgt maksimalverdier for. NB! Husk at tidsenheten for τ og R_p må være den samme.

En sjøtilstand med returperiode på 100 år – 100-års sjøtilstanden – finnes ved å sette $R_p = 100 \cdot 365 \cdot 24$. Dersom dataene er hentet fra en «Hindcast» bølgedatabase med verdier hver 6. time og alle data er benyttet i framstillingen av \hat{P}_{H_s} , settes $\tau = 6$ timer. Relasjonen som gir $H_{s,100}$ som funksjon av H_0 , H_c og γ , blir:

$$H_{s,100} = H_0 + (H_c - H_0) \cdot \left(\ln \frac{R_p}{\tau} \right)^{1/\gamma} \quad (0.0.18)$$

H_{\max} beregnet for denne sjøtilstanden vil være et estimat for høyden av bølgene som omtales som 100-års bølgen. Sjøtilstander med samme signifikante bølgehøyde er karakterisert ved stor variasjon i topp-periode T_p . Analyse av Hindcastdata fra Vestfjorden viser dette i figur 5-8. For de ekstreme sjøtilstander er følgende relasjon foreslått (Torsethaugen, 1990):

$$T_p \approx 6,6 \cdot H_s^{1/3}; \quad [H_s] = \text{m}; \quad [T_p] = \text{s}. \quad (0.0.19)$$

1.5 MODELLFORSØK

I tillegg til avsnitt 5.4.3 er det flere detaljerte hensyn som kan være nyttige i forbindelse med fysiske modellforsøk.

1.5.1 Valg av modellskala

Modellens skala bestemmes hovedsakelig av:

- Anvendte steinstørrelser i modellskala ikke er for små.
- Moloen i valgt skala må geometrisk passe inn i den anvendte bølgerenna eller bølgebassenget.
- Havbunnen må være korrekt representert for å oppnå den rette bølgepåvirkningen på modellen.
- Vanndybden ved bølgemaskinen må være tilstrekkelig til å tillate bølgene å bli generert av bølgemaskinen. Det må være mulig å generere 120–130 % av designbølgehøyden.
- Når det er tatt høyde for de overnevnte begrensningene, vil man typisk velge den største mulige skalaen. I noen tilfeller kan det være relevant å modellere bare en del av for eksempel en ny molo i 3D-modell for å oppnå en tilstrekkelig stor skala.

1.5.2 Konstruksjon av modell

Etter valg av skala skal modellen bygges. Havbunnen foran moloen bygges etter feltmålinger i et fast (ikke eroderbart) materiale. Modellen blir skalert i henhold til Froudes skaleringslov. Noen deler av moloen bør skaleres ved hjelp av andre skaleringsmetoder. Steinblokker og fotstein som utsettes for direkte bølgepåvirkning skaleres med Froude-skalering. Steinstørrelsen derimot justeres med Hudsons stabilitetsformel hvor det tas hensyn til tetthetsforskjellen mellom ferskvann (modell) og saltvann (fullskala). Formelen tar også hensyn til tetthetsforskjell mellom anvendt stein i modellen og tetthet av benyttet stein i byggingen.

I tilfeller hvor moloen har en frittlagt bakside, for eksempel mot et havneområde og har permeabelt kjernemateriale, bør ikke kjernematerialet Froude-skaleres. Det burde skaleres slik at den hydrauliske gradienten gjennom moloen ved bølgepåvirkning er den samme i fullskala som i modellskala. Det finnes flere metoder til dette (Jensen og Klinting, H.F. Burchart, Vaneste).

Kjernemateriale og filterlag vil i modellskala ofte ha små steinstørrelser. De er så små at den eneste effektive måten

å oppnå størrelsen på er å blande kjente steingraderinger og/eller sikting av materialer. Steinblandinger med stein i modellskala med vekt > 15 gram bør håndsorteres hvor stein i skalert gradering veies enkeltvis.

Moloen bygges opp i laboratoriet med stor nøyaktighet i geometri og lagtykkelser. Når du legger steinblokkene, er det viktig å bruke samme leggingstype for fullskala prosjekt som i modellforsøkene. For eksempel kan stein dumpet fra et skip, flåte eller kran, legges seg til delvis tilfeldig. Alternativt kan steinene plasseres enkeltvis med en spesifikk orientering som fører til en tettere og oftere mer stabil pakning av steinene (som man ofte gjør i Norge). Det skal holdes styr på antall utplasserte steinblokker i dekklag og fot i modellen slik at tettheten kan beregnes, og skader under forsøk kan dermed oppgis som prosentvis skade.

Dekklaget og fotkonstruksjonen males med lyse farger slik at man enkelt kan telle antall stein som eventuelt flytter seg under forsøket. Den aktive delen av dekklaget er definert som SWL (rolig vanntilstand) trukket fra den dimensjonerte signifikante bølgehøyden H_s . Derfor er det anbefalt å ha et fargeskille i dette området. I tillegg burde fargene bidra til å visuelt skille konstruksjonsdelene.

1.5.3 Definerings og måling av bølger

Før man setter i gang med modellforsøk, blir moloen designet til å motstå utvalgte designbølge- og vannstandsforhold. Designforholdene er vanligvis utvalgt på grunnlag av simuleringer med numeriske modeller. Bølgene er bestemt nær moloen, men det tas ikke alltid hensyn til bølgebryting ved selve konstruksjonen. Det anbefales derfor å definere bølgene tett på bølgemaskinen i laboratoriet slik at man ved hjelp av forsøk kan måle bølgeforholdene rett foran moloen.

Derfor bør bølgene bestemmes ved bølgemaskinen ved å plassere en rekke bølgemålere (minst 3) slik at man kan bestemme de innkommende og reflekterte bølgehøydene ved å analysere målingene. Bølgene måles også i nærheten av moloen, men helst før en eventuell bølgebrytingszone. Til slutt kan man plassere bølgemålere bak moloen for å måle gjennomtrengningen av bølgene gjennom og over moloen.



Bølgemaskinen i en bølgerenne skal være utstyrt med et aktivt absorpsjonssystem slik at bølger reflektert på moloen ikke gjenreflekteres på bølgemaskinen og igjen påvirker moloen.

1.5.4 Måling av bølgeoverskyll

Man måler bølgeoverskyll i et modellforsøk ved å samle opp det overskyllende vannet like bak molokronen i en overskyllsbeholder eller kasse. Vannet føres til beholderen med en minimumsbredde på 3 meter (fullskala). Målingene kjøres i minst 1 time (fullskala) slik at man kan bestemme den gjennomsnittlige overskyllsraten (q) i liter/meter/sekund.

Hvis det oppsamlede vannet forårsaker at vannstanden i bølgerenna (ikke relevant for 3D forsøk) gjennom forsøket synker med 0,1 meter (fullskala), burde man sette opp et automatisert system som etterfyller bølgerenna for å sikre konstant vannstand under hele forsøket.

Overskyllsbeholderen kan plasseres på en vektcelle slik at mengden overskyll fra enkeltbølger kan bestemmes. Dette kan for eksempel være relevant for moloer med adgang for personer eller kjøretøy.

Man skal være oppmerksom på at måling av små overskyllsrater (< 2 l/m/s) er utsatt for betydelig usikkerhet.


1.5.5 Ytterlige forhold ved design av 3D-modeller

For 3D-modeller i et bølgebasseng er det viktig at man nøye vurderer hvilken eller hvilke bølgeretninger som skal undersøkes. Når bølgeretningen er valgt, plasseres flyttbare vegger (bølgeskjold) i tanken. Disse plasseres fra sidene av bølgemaskinen frem mot modellen for å sikre at bølgene ikke taper høyde før de når moloen. Man kan ofte visuelt vurdere om bølgene holder sin høyde og retning mot moloen.

1.5.6 Gjennomføring av forsøk

Verifisering av stabiliteten til plastrete moloer skjer ved å utføre typisk en rekke 4 til 10 enkeltforsøk med det valgte designet av et molohode eller tverrsnittsseksjon.

Hvert enkeltforsøk representerer en konkret kombinasjon av en uregelmessig sjøtilstand og en vannstand. Hvert enkeltforsøk bør vare i minimum 5 timer (fullskala, $N \sim 2500$ bølger). Sjøtilstanden i hvert enkeltforsøk er representert ved et relevant bølgespektrum (for eksempel JONSWAP spektrum), som typisk er karakterisert med en signifikant bølgehøyde, H_s , og en topp («peak») bølgeperiode, T_p . Bølgehøyden, og perioden, økes normalt fra forsøk til forsøk. Etter hvert enkeltforsøk, registreres det hvor mange stein som har flyttet på seg. Stein som flyttes mer enn dens egen diameter, betegnes som skade. Moloen repareres ikke mellom hvert enkeltforsøk på grunn av at man vanligvis ønsker å kjenne den akkumulerte skade.



I tilfeller hvor en dynamisk stabil skuldermolo testes, må den utviklede profilen måles mellom hvert enkeltforsøk.

Typisk vil en forsøksserie omfatte bølgeforhold som svarer til returperioder på 25 år og opp til designkriteriet, som for eksempel tilsvarer en 100 års returperiode. I tillegg testes det et overbelastningsscenario.

Et eller flere enkeltforsøk gjentas ved lav vannstand for å vurdere om denne tilstanden er kritisk for fotkonstruksjonen.

1.5.7 Kriterier for akseptabel skade og overskyll

Graden av skader på en molo oppgis ofte i en skadeprosent som er beregnet som antall flyttede stein delt på den totale antall stein i et lag, eller i et delområde av et lag. Også andre skademål som skadenivå S_d eller skadetallet Nod kan også anvendes. Overskyll defineres ofte som den gjennomsnittlige overskyllsraten q [l/m/s] per meter molo. Det er helt avgjørende at den akseptable graden av skade (etter at designtilstanden er testet) er definert på forhånd av firmaet og laboratoriet. Skader som forekommer i en overbelastningssituasjon, bør man også forholde seg til.

Tilsvarende må den akseptable overskyllsraten for en gitt sjøtilstand (returperiode) defineres på forhånd.

Når disse kriterier er bestemt, er det relativt enkelt, basert på de oppnådde testresultatene, å vurdere om den undersøkte moloprofilen er innenfor grensene, eller om det er behov for å optimere designet og gjennomføre ytterligere forsøk med en modifisert utgave av moloen.

1.5.8 Kvalitetssikring av forsøk

Den beste måten å sikre og forstå modellforsøkene på, er å være tilstede i laboratoriet gjennom hele forsøksperioden. Det bør være enten permanent eller under regelmessige besøk.

Ikke bare kan tilstedeværelsen bidra til å oppdage misforståelser før konsekvensene blir alvorlige, men det kan også bidra til at forsøktiden holder seg innenfor avtalt tidsramme. I tillegg muliggjør det raske avgjørelser om endringer i modelldesign eller forsøksparametre.

Laboratoriet bør rapportere resultatene og statusen til forsøket daglig. Resultatene fra målte bølgeparametre og observerte skader bør derfor rapporteres så snart disse er utført og kvalitetssikret, eller senest dagen etter.



KYSTVERKET

KYSTVERKET

Telefon 07847

Postboks 1502

6025 Ålesund

post@kystverket.no

www.kystverket.no

www.kystverket.no/molohandbok

ISBN 978-82-93427-07-0