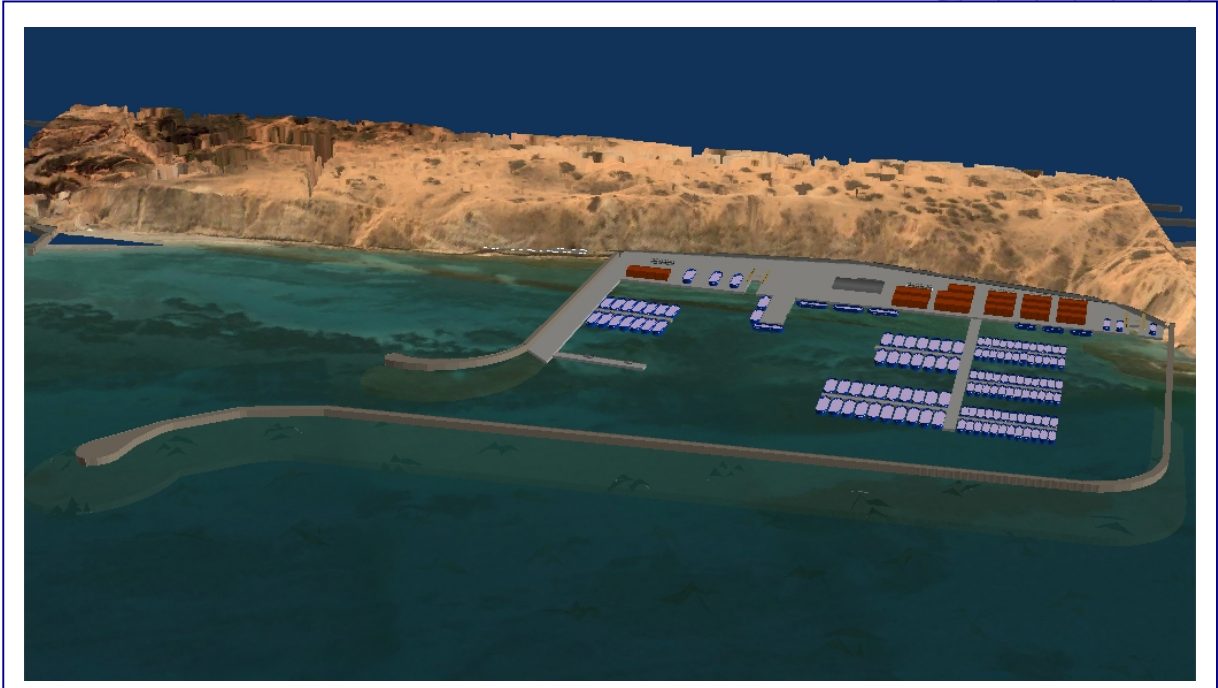


CHALMERS



Hamnprojektering

Projektering av fiskehamn Slesla, Libyen

Examensarbete inom civilingenjörsprogrammet Väg- och Vattenbyggnad

HENRIK JARLEDAL

ÖRJAN KARLSSON

Institutionen för Bygg- och Miljöteknik
Avdelningen för Vatten Miljö Teknik
Forskargruppen för Vattenbyggnad
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg 2007
Examensarbete 2007:27

EXAMENSARBETE 2007:27

Hamnprojektering
Projektering av fiskehamn Slesla, Libyen

Examensarbete inom civilingenjörsprogrammet Väg- och Vattenbyggnad

HENRIK JARLEDAL OCH ÖRJAN KARLSSON

Institutionen för bygg- och miljöteknik
Avdelningen för Vatten Miljö Teknik
Forskargruppen för Vattenbyggnad
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, 2007

Hamnprojektering
Projektering av fiskehamn Slesla, Libyen

Examensarbete inom civilingenjörsprogrammet Väg- och Vattenbyggnad
HENRIK JARLEDAL OCH ÖRJAN KARLSSON

© HENRIK JARLEDAL OCH ÖRJAN KARLSSON, 2007

Examensarbete 2007:27
Institutionen för Bygg och Miljöteknik
Avdelningen för *Vatten Miljö Teknik*
Forskargruppen för *Vattenbyggnad*
Chalmers tekniska högskola
412 96 Göteborg
Telefon: 031-772 10 00

Omslag:
Översikt av slutliga utformningen av fiskehamnen i Slesla, Libyen.

Chalmers reproservice/ Institutionen för Bygg- och Miljöteknik
Göteborg 2007

Harbour design
Design of fishing harbour Slesla, Libya
Master's Thesis in Civil and Environmental Engineering
HENRIK JARLEDAL AND ÖRJAN KARLSSON
Department of Civil and Environmental Engineering
Division of Water Environment Technology
Research group of Water Environment Technology
Chalmers University of Technology

ABSTRACT

Designs of new harbours are mainly done in the developing countries. In Sweden designs of new harbours is not common cause of the fact that most of them is already built. In these days harbour design relates mostly to rebuilding and improvements of existing harbours. The objective of this master thesis is to increase the knowledge and understanding for International project design, based on an actual project runned by RAMBÖLL SVERIGE AB:s Port- and Flight division in Gothenburg.

The project is based on a fishing harbour in Slesla, 30 kilometers east of Tripoli, the capitol of Libya. The design of the harbour is based on a 50-year returnperiod of wind measurements which develop the 50-year return period of the highest waves in the area, and the demands held by the water up rush. These demands gives the design of the wave breaker and therefore part of the final design of the harbour.

The client of the fishing harbour is concerned by the sediment transport in the area, and is very keen on that the harbour basin and the fairway doesn't require dredging more often then every fifth year. This master thesis has therefore made an effort to study the complexity of problems followed by the sediment transport. The estimations of the net transport in the area is based on the 1 year return period.

The design of the wave breaker is based on the two manuals Shore Protection Manual (1984) and Coastal Engineering Manual (2006) which are based on research and empirics. The results from the two are compared, to see the diffrences.

Four different suggestions are showed, where the suggestion that fulfils the clients demands the best will be used for further investigations.

Key words: Harbour design, revetment, jetty, wave breaker, sediment transport, run up, up rush, dredge, harbour basin, fairway.

Hamnprojektering
Projektering av fiskehamn Slesla, Libyen

Examensarbete inom civilingenjörsprogrammet Väg- och Vattenbyggnad
Institutionen för Bygg- och Miljöteknik
Avdelningen för *Vatten Miljö Teknik*
Forskargruppen för *Vattenbyggnad*
Chalmers Tekniska Högskola

SAMMANFATTNING

Av de nybyggnationer av hamnar som görs i dag sker de flesta i utvecklingsländerna. Projektering av nya hamnar är ingen vanlig företeelse i Sverige, eftersom de flesta hamnar redan har byggts. Därför handlar hamnprojektering idag mer om underhållsarbeten i form av upprustning eller ombyggnation av befintliga hamnar. Målet med detta examensarbete är att öka förståelsen för en internationell hamnprojektering, och baseras på ett aktuellt projekt som RAMBÖLL SVERIGE AB:s Hamn- och Flygavdelning i Göteborg driver för tillfället.

Projekteringen är gjord för en fiskehamn i Slesla, belägen 30 kilometer öster om Libyens huvudstad Tripoli. Dimensioneringen av vågbrytare, beräknad för olika material, har dimensionerats utifrån en våg med återkomsttiden 50-år samt de krav som ställs beroende på hur stor översköljning av vatten som får förekomma.

Då det förekommer sedimenttransport i området är beställaren mån om att hamnbassäng och inseglingrännor inte ska behöva muddras oftare än vart femte år. Vi har därför lagt stor vikt vid problematiken med sedimenttransporter, och de problem det kan medföra. Beräkningar visar en nettotransport av sediment om 734 000 m³/år i området vilket baseras på en 1-årig återkomsttid.

Beräkningarna vad gäller vågbrytarna är utförda enligt två dimensioneringsmanualer. Shore Protection Manual (1984) samt Coastal Engineering Manual (2006) vilka bygger på forskning och empiri. Skillnaden mellan de båda ligger i att CEM (2006) tar hänsyn till antalet inkommande vågor under 50-års stormens varaktighet medan SPM (1984) baserar beräkningarna på en stabilitetskoefficient, som är densamma oavsett antalet vågor.

Vid projekteringen har 4 förslag på olika hamnar tagits fram där det alternativ som bäst uppfyller den Libyska beställarens krav valts för fortsatt arbete.

Nyckelord: Hamnprojektering, vågbrytare, sedimenttransport, översköljning, muddring, erosionsskydd, hamnbassäng, inseglingrännor.

Innehåll

ABSTRACT	I
SAMMANFATTNING	II
INNEHÅLL	III
FÖRORD	VII
BETECKNINGAR	VIII
1 INLEDNING	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte	1
1.3 Målsättning	2
1.4 Avgränsningar	2
2 METOD	4
2.1 Tillvägagångssätt	4
2.2 Insamlande av data	4
2.3 Programvara	4
3 HUR EN HAMNPROJEKTERING GÅR TILL	6
3.1 Projektering	6
3.1.1 Hamnprojektering - Förstudie	7
3.1.2 Hamnprojektering - Utredning	8
3.1.3 Hamnprojektering - Arbetsplan och Bygghandling	8
3.2 Internationell hamnprojektering	8
4 OCEANOGRAFI	10
4.1 Vindar	10
4.2 Vågor	12
4.3 Sediment	18
4.4 Vågbrytare	21
4.4.1 Vågbrytarhuvud	23
4.4.2 Översköljning	25
4.4.3 Stenblock	29
4.4.4 Betongblock	32
4.4.5 Tribar	33
4.4.6 Tetrapod	34
4.5 Erosionsskydd	34
4.6 Inseglingränna och hamnbassäng	36
4.7 Muddring	37

4.8	Kaj	38
4.8.1	Kajtyper	38
4.8.2	Byggnader	39
4.8.3	Bryggor	39
4.8.4	Förtöjningar	40
4.8.5	Vägar och Logistik	41
5	FÖRUTSÄTTNINGAR	42
5.1	Kravspecifikation från beställare	42
5.2	Områdesbeskrivning	43
5.2.1	Markområde	44
5.2.2	Kustlinje	44
5.2.3	Geologiska förutsättningar mark	44
5.2.4	Material att tillgå i området	45
5.2.5	Vattenområde	45
5.2.6	Geologiska förutsättningar vatten	45
5.2.7	Vattendjup	45
5.2.8	Sediment och växtlighet	47
5.3	Vindar i området	47
5.3.1	Kelibia	48
5.3.2	Zuara	48
5.3.3	Tripoli	49
5.3.4	El Khoms	49
5.3.5	Misurata	49
5.3.6	Darnah	49
5.3.7	Lampedusa	50
5.3.8	Valletta	50
6	DIMENSIONERING	51
6.1	Dimensionerande vindar	51
6.1.1	Diskussion	52
6.2	Dimensionerande våghöjd	52
6.2.1	Diskussion	54
6.3	Sedimenttransport	54
6.3.1	Diskussion	55
6.4	Dimensionering av vågbrytare	55
6.4.1	Översköljning	55
6.4.2	Stenblock	57
6.4.3	Betongblock	58
6.4.4	Tribar	58
6.4.5	Tetrapod	59
6.5	Vågbrytarhuvud	60
6.5.1	Stenblock	60
6.5.2	Betongblock	61
6.5.3	Tribar	61
6.5.4	Tetrapod	61

6.6	Erosionsskydd	62
6.7	Inseglingränna och hamnbassäng	62
6.8	Kaj	63
7	FÖRSLAG PÅ HAMNLAYOUTER	64
7.1	Generella data för alla alternativ	64
7.2	Alternativ 1	65
7.3	Alternativ 2	67
7.4	Alternativ 3	68
7.5	Alternativ 4	70
8	REKOMMENDATION ALTERNATIV 1	71
8.1	Förklaring till val av alternativ	71
8.2	Muddring	72
8.3	Sedimentåtgärder	72
8.4	Kaj	73
8.4.1	Byggnader	74
8.5	Bryggor	74
8.6	Förtöjningar	74
8.7	Inseglingränna och hamnbassäng	75
8.8	Hamn- och Erosionsskydd	75
8.8.1	Vågbrytare	75
8.8.2	Vågbrytarhuvud	77
8.8.3	Erosionsskydd	79
8.8.4	Vägar	79
8.9	Underhåll	79
8.10	Kostnader	80
9	SLUTSATSER OCH REKOMMENDATIONER	82
10	REFERENSER	85

Förord

Detta examensarbete, som handlar om en internationell hamnprojektering, har utförts vid RAMBÖLL Sverige AB:s Hamn- och Flygavdelning i Göteborg och har genomförts under perioden september 2006 till februari 2007. Arbetet utgör den sista delen i civilingenjörsutbildningen Väg och Vattenbyggnad med inriktning Mark och Anläggning vid Chalmers Tekniska Högskola i Göteborg.

Arbetet har fördjupat våra kunskaper om hamnar och hamnprojektering, samtidigt som det har gett insikt om de problem som kan uppkomma vid ett internationellt projekt.

Initiativtagare till examensarbetet har varit RAMBÖLL:s avdelning för Hamn- och Flyg, och examinator tillika handledare för arbetet har varit professor Lars Bergdahl vid institutionen för Bygg och Miljöteknik, Chalmers. Lars har fortgående hjälpt oss i vårt arbete när vi själva kört fast. Handledare från RAMBÖLL:s sida har varit Matthew Batman.

Vi vill speciellt tacka professor Lars Bergdahl samt Matthew Batman, Magnus Harrysson och Adam Blom vid RAMBÖLL:s avdelning för Hamn och Flyg för deras stöd under arbetets gång. Vi vill även tacka Claes Eskilsson vid institutionen för Bygg och Miljöteknik, och alla de som arbetar vid Hamn- och Flygavdelningen för att de tagit hand om oss under den tid vi varit där.

Vi vill även tacka alla de som besvarat våra frågor, diskuterat problem och fungerat som bollplank under arbetets gång. Tack även till Hamn- och Flygavdelningens enhetschef Sten Munthe som givit oss ett intressant och högst aktuellt projekt att lösa.

Göteborg, februari 2007

Henrik Jarledal & Örjan Karlsson

Beteckningar

Latinska versaler

B	Översköljande vågs vattenvolym [m^3/m]
B_{Farled}	Farledsbredd på inseglingssärräna [m]
D_{n50}	Ekvivalent medianblockstorlek [m]
$D_{\text{Ränna}}$	Djupet i inseglingssärrännan [m]
$D_{\text{hamnassäng}}$	Djupet i hamnassängen [m]
H_b	Brytande våghöjd [m]
H_s	Signifikant våghöjd [m]
H_{s0}	Signifikant våghöjd på djupt vatten [m]
H_{toe}	Våghöjd vid vågbrytarens tå [m]
K	Karmans konstant [dimensionslös]
K_D	Stabilitetskoefficient [dimensionslös]
K_s	Uppgrundningskoefficient
L_0	Våglängd djupt vatten [m]
L_{pG}	Maximal våglängd på grunt vatten [m]
M_{n50}	Medelvärde av blockvikt [kg]
N_{od}	Antalet förskjutna enheter i en vågbrytare per vertikal kublängd
N_{ow}	Antal översköljande vågor per tidsenhet
N_w	Antal inkommande vågor per tidsenhet
N_z	Antal inkommande vågor under viss stormvaraktighet
P	Permeabilitetskoefficient
P_{ow}	Procentuell andel vågor som översköljer vågbrytarens krön
Q_{ls}	Årlig sedimenttransport [$\text{m}^3/\text{år}$]
R_c	Krönhöjd över medelvattenytan [m]
S	Skadegrad [dimensionslös]
$S_{op,toe}$	Grundvattenvågens branthet vid vågbrytarens fot [dimensionslös]
T_p	Vågperiod djupt vatten [s]
T_r	Återkomsttid [år]
V	Översköljande volym för en våg [m^3/m , vågbrytare]
V_{max}	Maximal översköljningsvolym [m^3/m , vågbrytare]
R_{us}	Signifikant vattenuppsköljning [m]
K_r	Refraktionskoefficient [dimensionslös]

Latinska gemena

$b_{\text{båtbredd}}$	Dimensionerande båts bredd
c	Koefficient för irreguljära vågor [dimensionslös]
c_{max}	Maximala värdet koefficienten c kan anta [dimensionslös]
d	Vattendjup [m]
$d_{\text{båt}}$	Dimensionerande båts djupgående [m]
d_{toe}	Vattendjup vid vågbrytarens tå [m]
f_r	Frekvens av inkommande vågor [%]
g	Jordaccelerationen [m/s^2]
h	Tid [h]
$l_{\text{båtlängd}}$	Dimensionerande båtlängd
n	Antal blocklager vågbrytaren
p	Sannolikhet
q	Översköljande vattenvolym [m^3/s]
s	Säkerhetsmarginal, beror av botten beskaffenhet [m]
t	En storms varaktighet [h]
$t_{x,u}$	Vindvaraktighet [s]

Grekiska versaler

Δ	Förhållande mellan vattendensitet och vågbrytarens elements densitet [dimensionslös]
----------	--

Grekiska gemena

α	Vågbrytarens lutning [grader e. radianer]
β	Bottenkonturens lutning [grader e. radianer]
θ_b	Inkommande vågs vinkel i förhållande till strandens ortogonal [grader]
γ_β	Reduceringsfaktor, tar hänsyn till ankommande vågs vinkel [dimensionslös]
γ_b	Reduceringsfaktor, tar hänsyn till om plåtå framför vågbrytare finns eller ej [dimensionslös]
γ_h	Reduceringsfaktor, tar hänsyn till eventuella uppgrundningseffekter [dimensionslös]
γ_r	Reduceringsfaktor, tar hänsyn till stenblockens ytråhet [dimensionslös]
ρ_b	Densitet betong [kg/m^3]
ρ_s	Densitet sten [kg/m^3]
ρ_w	Densitet vatten [kg/m^3]
ξ_{mc}	Surf similarity parameter (Iribarrens tal) [dimensionslös]
ξ_{pG}	Surf similarity parameter (Iribarrens tal) [dimensionslös]

1 Inledning

Människan har i alla tider haft fisk som ett av de större födoämnen. Därför är det av stor vikt att dagens fiskehamnar ska kunna leva upp till yrkesfiskares krav på säkerhet och funktion oavsett väder, vind och tidpunkt på året. Av den orsaken är projekterandet och uppförandet av nya hamnar viktigt och intressant då alla aspekter behöver ses över som t.ex. sedimenttransport, växtlighet, strömmar, vågor, verksamhet i hamnen, fartygs- och båtstorlek osv.

Av de nybyggnationer av hamnar som sker i dag finns de flesta i utvecklingsländerna. Detta beror på att den infrastruktur som finns i industriländerna är väl utbyggd och i de flesta fall bara behöver upprustning eller ombyggnation, varför det sällan förekommer nyproduktion. Därför verkar RAMBÖLL SVERIGE AB:s hamn- och flygavdelning för att öka sin kunskap inom hamnprojektering och internationella projekt över nationsgränserna genom att RAMBÖLL har antagit uppdraget att projektera en fiskehamn 30 km öster om Tripoli i Libyen. Avdelningen tar då upp den tråd som påbörjades för 40 år sedan då de var en stor aktör som konsult vid byggnationen av Tripolis internationella hamn.

Ett annat skäl till att RAMBÖLL har tagit detta uppdrag beror på att de vill etablera sitt bolagsnamn i denna del av världen för eventuella senare uppdrag. Detta är nu möjligt då en del av de sanktioner som funnits mot Libyen minskats och landet börjar tillåta utländska företag att verka i landet.

RAMBÖLL:s roll i projektet består i att agera underkonsult till Merit Consulting som har huvudansvaret för projekteringen. Uppgifterna som RAMBÖLL ska utföra är att ta fram ritningar och beräkningar för utformning av hamnen.

1.1 Bakgrund

En hamn i Medelhavet, där områdets bergarter är sedimentära, påverkas oftast av erosion varpå sedimenttransport kan uppstå. Detta beroende på bergarternas stora benägenhet att erodera vid vattenrörelse. Sedimenttransporten hindras sedan av naturliga halvöar eller anläggningar, som t.ex. en fiskehamn med dess konstruktioner i det kustnära vattnet. För en hamn medför detta stora problem då mindre fartyg eller större båtar hindras att angöra för t.ex. av- eller pålastning av gods.

Denna rapportens tillkomst beror av två saker, dels att RAMBÖLL:s avdelning Hamn och Flyg vill återuppta den internationella projekteringen i Libyen, samt utreda de problem som sedimenttransporter medför. Rapporten har därför en tyngdpunkt i att öka förståelsen för internationell projektering och sedimenttransport samt de problem som orsakas av detta. Förståelsen av sedimenttransporter är viktigt då problemet i stort inte finns i Sverige, med undantag för Skånes sydkust.

1.2 Syfte

Detta examensarbete syftar till att öka författarnas förståelse och kunskap inom internationell projektering i hamnbyggnad samt förståelse för sedimenteringsproblem vid kustnära stränder. Företaget RAMBÖLL:s syfte är att i och med denna rapport undersöka om de metoder de använder idag för att beräkna vissa konstruktioner, som t.ex. vågbrytare, fortfarande är aktuella.

Viljan att skriva och förkovra oss i detta ämne väcktes under kursen Vattenbyggnad som hölls under våren 2006 av professor Lars Bergdahl och Claes Eskilsson vid Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg.

1.3 Målsättning

Huvudmålsättningen med examensarbetet är att ta fram ett förslag på en fungerande fiskehamn utifrån de förutsättningar och krav som finns.

För att målet ska uppnås finns följande delmål:

- Söka relevant information för hantering av ett internationellt projekt
- Att utifrån beställarens krav samt de förutsättningar som finns dimensionera vågbrytare
- Att hamnens utformning skall vara enkel ur ett logistiskt perspektiv
- Belysa sedimenttransport och växtlighet för att kunna planera för en så låg underhållskostnad som möjligt
- Framställa fyra fungerande alternativa layouter, där layouten med bäst funktion väljs för vidare presentation

Resultatet av de ovanstående punkterna skall likna ett projekteringsunderlag som skall kunna användas som underlag för att gå vidare i byggprocessen. Noggrannheten i de delar som avhandlas i rapporten ska göra att det valda alternativet sedan ska kunna användas för det riktiga projektet i Libyen eller andra projekt med liknande förutsättningar.

1.4 Avgränsningar

Arbetet med att projektera en fiskehamn är ett stort projekt. Då examensarbetet är tidsbegränsat måste större avgränsningar ske. Därför kommer rapporten endast att fokusera på de, enligt författarna, tre viktigaste delarna av hamnen, nämligen:

- Vågbrytarens utformning – I rapporten avhandlas endast vågbrytarens yttre lager, det vill säga skyddslagret. Detta betyder att de inre lagren ej kommer att dimensioneras.
- Sedimenttransportproblematiken – Beräkningen ger ingen direkt uppfattning av framtida förhållanden, utan ska istället analyseras för att se om det finns ett över- eller underskott av sediment i området före byggnation, vilket senare kan användas som underlag för att avgöra var det kan bli sedimentansamlingar efter byggnation.
- Vågbrytarens placering – Placeringen av vågbrytaren kommer endast att bero av två parametrar, nämligen sedimenteringsproblemet samt lokalt djup.

I och med dessa fokuseringar kommer endast överskådliga beräkningar att genomföras för resterande delar av hamnen. Inga djupare beräkningar eller

undersökningar kommer att ske för exempelvis till- och utfartsvägar eller optimering av kajyta. Som avslutning kommer en mindre och överskådlig kalkyl för vågbrytaren samt hamnbassängens muddringsvolymerna att ske, för att få en inblick i hur stora kostnader de föreslagna konstruktionerna kommer att ge.

Enligt det resonemang som förts ovan kommer hamnen alltså inte att projekteras utifrån ett kostnadseffektivt synsätt utan ifrån ett funktionseffektivt då den ekonomiska aspekten inte ligger till grund för denna rapport. Viss hänsyn kommer tas till detta, men det är inte huvudmålet.

En annan begränsning är att landet Libyen fortfarande, trots att ändring håller på att ske, inte är lika öppet som andra länder. På grund av detta finns begränsningar i tillgång på information och data. Därför kommer antaganden att göras, med hjälp av handledare och litteratur, i vissa delar av rapporten

2 Metod

För genomföra och presentera en rapport behövs det i alla sammanhang en metod att luta sig mot, för att få ett så bra slutresultat som möjligt. Denna rapport är inget undantag, varför nedan beskrivs det tillvägagångssätt som används i detta fall. Även hur kunskapsinsamling samt hur skaffandet av indata ska gå till samt presentation av använda programvaror finns att tillgå i kapitlet. Det slutliga resultatet av rapporten visar om metoden, för hur författarna gick tillväga, var den riktiga för detta examensarbete eller ej.

2.1 Tillvägagångssätt

För att få inblick i hur en hamn projekteras bör en strategi utarbetas för att nå de mål som är uppsatta av författare och handledare. Detta ges genom att närvara vid en ”riktig” projektering av ett sådant projekt för att få tankar och idéer om hur det kan gå till. Av den anledningen bedrivs den mesta delen av projekteringen på avdelningen för Hamn och Flyg på konsultföretaget RAMBÖLL i Göteborg.

Specialistkompetensen för sedimenttransport är förhållandevis liten i Göteborgsområdet varför resa till Lund kommer att ske, för att träffa professor Hans Hansson samt professor Magnus Larsson. Även en konferens i ämnet kusterosion kommer författarna att närvara vid i Tylösand utanför Halmstad. Intervjuer och samtal med experter i ämnet är också en del av de intentioner som författarna vill uppnå för att nå en tillfredsställande rapport.

2.2 Insamlande av data

Underlag för arbetet kommer att omfatta geotekniska rapporter, sjökort, mätningar och bilder över området. Underlaget kommer även att innefatta litteraturstudier om hur befintliga hamnar byggts och hur dess verksamhet fungerar. Litteratur som använts består av lånat material från Chalmers bibliotek, RAMBÖLL och professor Lars Bergdahl samt tidigare examensarbeten. Mycket information har hämtats från dimensioneringsmanualerna Shore Protection Manual SPM (1984) och Coastal Engineering Manual CEM (2006), vilka är utgivna av Coastal Engineering Research Center, CERC.

Databaser världen över kommer även att nyttjas för att få tag i den information som kommer att behövas för att nå ett tillfredsställande resultat av examensarbetet. Exempel på information från databaser är statistik över vindar och klimat.

2.3 Programvara

Olika programvaror kommer att nyttjas för att nå de uppsatta delmålen. Framst gäller detta programvaran AutoCad vilken kommer att användas för att beskriva de olika hamnförslagen som tagits fram i form av ritningar.

Programvaran ArcGIS kommer att användas för att rita in hamnlayouterna i satellitbilder över området, för att ge en tredimensionell bild av hamnen och dess närliggande område. Programvaran kommer även att användas till att beräkna de volymer som behöver muddras.

Gratisbaserade kartprogrammet Google Earth kommer nyttjas till att få en överblick över området och även studera platsen för hamnens byggande i detalj. Programmet kommer även användas för att studera utseendet av andra hamnar i medelhavet. Bilder kommer även att användas för att beskriva olika platser och fenomen. Till sist kommer dessa bilder att, efter redigering i programmet ArcGIS, användas för presentation av hamnen och dess utformning.

Vissa beräkningar med avseende hur en våg uppträder vid bl.a. uppgrundning kommer att beräknas med hjälp av gratisprogram. Dessa program finns att tillgå vid University of Delawares hemsida.

Microsofts program Word och PowerPoint kommer att användas för att presentera rapporten i pappersform samt vid en muntlig presentation. Även Microsofts program Excel kommer att nyttjas för beräkningar och illustrationer i rapportens text- samt appendixdel.

3 Hur en hamnprojektering går till

Detta kapitel går ut på att beskriva hur en allmän projektering bedrivs. Därefter beskrivs hur projektering av en fiskehamn går till, vilken går ut på att hitta den ideala platsen för de konstruktioner som krävs för att uppnå god verksamhet. Sedan bör anpassning av konstruktioner och byggnader ske i förhållande till platsen. Även vägar bör anpassas för att all logistik skall fungera på ett tillfredsställande sätt. Det bör ses till att arbetsklimat för hamnens fiskeindustri upprätthålls genom att byggnader och utformning är enkla och säkra platser att verka i. Alla dessa moment, och fler därtill, skall vävas samman för att en hamn ska bli så funktionell och säker som möjligt och att slutresultatet överensstämmer med beställarens visioner om hamnen.

Slutet av kapitlet beskriver de skillnader som kan uppkomma vid internationell projektering.

3.1 Projektering

En projektering utförs i flera olika steg där huvuddragen är:

- Förstudie
- Utredning
- Arbetsplan
- Bygghandling

Förstudien syftar till att så långt som möjligt klargöra var och varför något skall projekteras genom att analysera dagens och framtida behov av t.ex. en fiskehamn. Den skall även se till så att myndigheter och andra intressenter får möjlighet att ge synpunkter på projektet. I förstudien löses inga problem, utan lösningar till eventuella problem och frågor ska lyftas fram. Det som framkommit skall vara tillräckligt underlag för fortsatt projektering.

Projekteringsens andra fas, utredningen, är lik förstudien med skillnaden att analysen fördjupas ytterligare. I detta skede ges projektet dess översiktsplan, vilken i stora drag beskriver vad som ska göras. Eventuellt påbörjas undersökningar, t.ex. mark- och vattenundersökningar, om det exempelvis överhuvudet taget går att bygga en hamn på den plats det är tänkt. I slutet av utredningen skall ansökningar om eventuella tillstånd som behövs för vidare projektering skickas in.

Den tredje fasen av ett projekt kallas arbetsplan. I denna fastställs detaljplanen för hur arbetet ska utföras, t.ex. hur en väg skall dras genom ett område. De undersökningar som tidigare är gjorda kompletteras och fler utförs om det behövs. Alla som är inblandade kontaktas för att se till att alla är informerade hur projektet kommer att drivas vidare.

Bygghandlingen är den sista delen i ett projekt. I denna sammanställs alla handlingar som behövs, t.ex. intyg från myndigheter, beräkningar från konsultbolag, miljökonsekvensbeskrivning osv. När detta är klart skall alla handlingar vara så tydliga att byggstart kan ske (www.vv.se).

3.1.1 Hamnprojektering - Förstudie

Det första som ingår i en projektering är att ta reda på vad för verksamhet som ska bedrivas i hamnen och hur många som ska utöva denna. Frågor som ska besvaras är t.ex. frågor som hamnstorlek, fartygs- eller båttyper, djupgående, besättningsantal, vad för sorts last, bränsle, säkerhet samt , vad för sorts infrastruktur som behövs osv. Innan detta är avgjort är det i stort sett omöjligt att gå vidare för senare planering.

De faciliteter som behövs i en hamn beror på den verksamhet som ska bedrivas. Dock finns det generella byggnader som i stort sett alltid återfinns i en hamn, som t.ex. lagerlokaler, lättare verkstadslokaler och administrationsutrymmen. Även parkeringar för bilar och lastbilar ska finnas med i beräkningarna. Därtill kommer de vattenbaserade faciliteterna som t.ex. vågbrytare, bryggor, navigationshjälpmedel som t.ex. fyrar vid inlopp, plats för lastning/lossningsutrustning osv.

Efter att all informationsinsamling är färdig kan en enkel utformning designas med alla faciliteter inritade, både till land och till sjöss. Dock bör denna vara av enkel art om inte platsen för hamnen är vald. Även om platsen är vald så bör endast en preliminär layout designas då det först är nu som de geotekniska undersökningar som ska göras kan ta vid (Bhakta 1968).

En fiskehamns placering är ofta ett resultat av kompromisser. Det ideala vore att anlägga en hamn i ett område där fiskrika vatten finns med närhet till den plats där fisken ska säljas. Denna plats finns i det normala fallet inte, utan placeringen sker oftast i det område där en väl inbyggd infrastruktur finns, eller som är relativt enkel att ansluta till. Att det då blir längre till fiskevattnen avhjälpas med att bygga större båtar som tids- och avståndsmässigt kan ligga ute längre till havs.

Andra faktorer som har stor inverkan är de naturliga omständigheterna som finns utmed en kustremsa. Om t.ex. ett bottenområde innefattar svåra geologiska jord- och/eller bergarter är denna plats inte lämplig ur ekonomisk synpunkt. Vindar och vågor har dock den största betydelsen för var hamnen kommer att placeras. Detta beror på att ju större vågor som kommer att träffa en eventuell vågbrytare, desto större och dyrare kommer densamme att bli.

Tillgängligheten från vattnet har också stor betydelse. Om hamnen kommer att placeras där det är svårt att angöra, kommer den snart att bli impopulär. Därför bör inseglingar genom trånga sund och kanaler, förbi grund och stora farleder med mycket trafik, undvikas så långt som det är möjligt. Detta både ur ekonomisk som naturlig synvinkel (Bhakta 1968).

3.1.2 Hamnprojektering - Utredning

För att få en hamn som inte fungerar t.ex. pga. undermåliga vågbrytare behövs det utförliga beräkningar i fråga om naturliga förutsättningarna. Det innebär att vindar och vågors riktning behöver undersökas, samt storleken på dessa. Ett framtida scenario behöver också tas med i beräkningarna, då det i framtiden kan komma fler kraftiga stormar med kortare intervall.

De beräkningar som utförts ligger till grund för hur utformningen på de vågbrytare som behövs på den aktuella platsen kommer att vara. Även inseglingstrännan dimensioneras efter detta då fartyg och båtar som angör eller lämnar hamnen behöver en säker in- och utsegling.

Även geotekniska undersökningar är av stor betydelse för hamnens byggande. Dessa ger en uppgift om hur lagerföljder i mark och botten ser ut, varpå det kan bestämmas om vilka förstärkningsmetoder som skall användas för att en hamn ska uppfylla den dimensionerande livslängden. Detta är en viktig punkt då det är stora och tunga konstruktioner som det handlar om när byggnationer av hamnar ska utföras, varför undersökningarna ur ekonomisk synpunkt inte är dyra i sammanhanget (Bhakta 1968).

3.1.3 Hamnprojektering - Arbetsplan och Bygghandling

När alla undersökningar och beräkningar är utförda påbörjas fastställandet av ett hamnförslag, som bygger på det tidigare preliminära förslaget, om inga ändringar från undersökningar och beräkningar framkommit till projektören. Om ändringar eller nya frågeställningar uppkommit bör ny utredning av detta göras för att nå ett tillfredsställande resultat att gå vidare med.

När utformningen av hamnen är klar presenteras det slutgiltiga resultatet för beställaren. Om beställarens vision om hamnens utformning är uppfylld kan beställning ske till entreprenör som därefter påbörjar byggnation av hamnen.

3.2 Internationell hamnprojektering

Ett projekt som skall projekteras utomlands blir inte mer annorlunda än om det hade gjorts i det land som projektörens bolag befinner sig i då de normer som bolagen arbetar efter ofta är internationella. Detta betyder att de skillnader som finns ligger utom det egentliga projektet, som t.ex. språkförbistringar, kulturella skillnader osv. Det beror på att projektets mål är detsamma var det än är i världen, att t.ex. en båt byggs, en skolas verksamhet förbättras eller en fiskehamn projekteras.

Tillvägagångssättet för att etablera ett projekt var förr att bolag letade efter projekt genom att hitta annonser på olika myndigheter och senare olika databaser och hemsidor. Dock har detta ersatts av att i stort sett alla kontrakt vinnas genom att ha en kontakt på det ställe där projekteringen ska etableras.

Både kultur och företagskultur är annorlunda i de flesta fall vid internationell projektering än vad som är vid nationell projektering. Detta märks t.ex. i den tid det tar för att få svar på hur ett uppkommet problem skall lösas. I väst är de flesta länder mer tidsstyrda än andra länder. Detta betyder att ett företag bör ha kontakter som vet

hur det aktuella landet behandlar ekonomi, vad för seder och bruk som är accepterat, arbetsförhållanden osv.

Kostnaden för en projektering är i de flesta fall högre än om det skulle ha varit i det egna landet. Detta beror på att kommunikationen är svårare, t.ex. om större tidsskillnader finns som ger upphov till andra arbetstider, en tolk behöver nyttjas i många fall även om alla kan engelska osv. Dock är den största posten vanligtvis de resor som bör göras för att se hur t.ex. ett område för en fiskehamn ser ut.

För att säkerställa att svenska bolag söker utlandsuppdrag, trots den högre kostnad som anbudsförfarandet medför, bidrar Sveriges exportråd med ekonomiskt stöd till dem som deltagit men ej vunnit ett kontrakt (Munthe 2007).

4 Oceanografi

Oceanografi är läran om havet, dess strömmar, vågor och havsvattnets fysikaliska egenskaper. Området omfattar även havets samspel med atmosfären och tillrinningen av vatten från land. Observationer från flera olika platser och tidpunkter av olika tillståndsvariabler utgör basen för kunskapen om oceanerna. Dessa tillståndsvariabler kan t.ex. vara temperatur, salthalt, vattenstånd, ström, istäcke, egenskaper för bottensediment och koncentrationer av näringsämnen för växter och olika arter av växt- och djurplankton, fiskar, valar osv. (SMHI 2007).

I oceanografi studeras även den mänskliga påverkan på havet ur miljösynpunkt, vilket utgörs av ex. marina konstruktioner. Detta kapitel kommer att beskriva en fiskehamns alla delar och hur de fungerar ur ett mer allmänt perspektiv. Kapitlet kommer även att behandla beräkningssteg och teorier om hur dimensionerande vindar omvandlas till dimensionerande vågor och den inverkan bottenkonturen har på dessa. Beräkningar vad gäller hur mycket vatten som översköljer vågbrytaren och vilka krav som ställs på detta kommer också att avhandlas, likaså sedimentering och sedimenttransport. Som avslutning kommer ett stycke som redogör för olika material de olika delarna av vågbrytarens yttre skyddslager kan bestå av, samt hur materialets vikt och storlek beräknas.

4.1 Vindar

De dimensionerande vindarna beräknas utifrån vindstatistik som inhämtats från lämpligt belägna meteorologiska mätstationer. Enligt kompendiet Oceanografi förutsätts att vinden uppmätts på en höjd om 10 meter över fastlandet eller en havsyta. Därför kan statistiken behöva korrigeras med hänsyn till stationens läge och den höjd vindhastigheterna uppmätts på. Denna korrigering görs enligt Häggström, Sjöberg med ekvation 4.1.

$$U_{10} = \frac{U_y}{\left(1 + \left(\frac{\sqrt{C_{10}} \times \ln(0,1y)}{K}\right)\right)} \quad (\text{ekv. 4.1})$$

där

U_{10} - Korrigerad vindhastighet på 10 m [m/s]

U_y - Uppmätt vindhastighet på höjden y [m/s]

C_{10} - Motståndskoefficient [dimensionslös]

y - Höjd över marken där mätningarna är utförda [m]

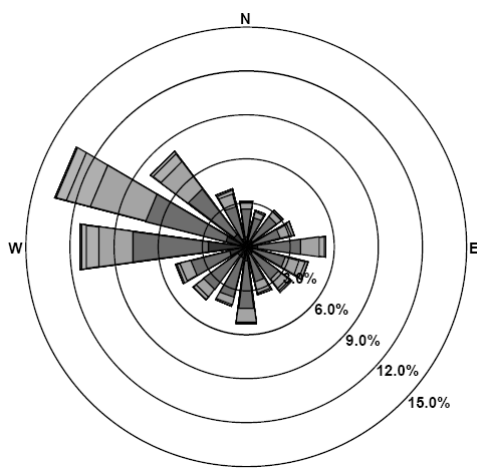
K - Karmans konstant [dimensionslös]

Motståndskoefficienten C_{10} beräknas antingen genom ekvation 4.2 om U_{10} beräknats större än 15 m/s, eller genom ekvation 4.3 om U_{10} beräknats mindre än 15 m/s.

$$C_{10} = 0,5 \times 10^{-3} \times \sqrt{U_{10}} \quad (\text{ekv. 4.2})$$

$$C_{10} = 2,6 \times 10^{-3} \quad (\text{ekv. 4.3})$$

Därefter konstrueras en vindros för att se hur vindarna fördelas vad gäller riktning och styrka (Häggström, Sjöberg). För exempel se Figur 4.1



Figur 4.1: Exempel på vindros

Det bearbetade observationsmaterialet används sedan för att konstruera sannolikhetsfördelningar, varifrån 50-årsvinden kan uppskattas. Antalet observationer summeras för de olika vindhastigheterna i respektive riktning. För respektive vindriktning beräknas sedan frekvensen av antalet observationer som sedan används i Weibulls plottningsekvation 4.4, för att beräkna sannolikheten.

$$P_n = \frac{n \times N}{T \times (N + 1)} \quad (\text{Ekv. 4.4})$$

där

P_n - Sannolikhet för årsöverskridande av en viss vindhastighet i rådande riktning.

n - Antal observationer i rådande riktning

N - Totala antalet observationer i rådande riktning

T - Antal år som statistiken omfattar

(Bergdahl)

Begreppet återkomsttid är ett mått på sannolikheten för att en viss företeelse ska överskridas under ett givet år. Exempelvis är sannolikheten för att en 100-års våg ska överskridas ett år 1 %. Återkomsttiden, T_r , beräknas enligt ekvation 4.5 och anges i år.

$$T_r = \frac{1}{P_n} \quad (\text{ekv. 4.5})$$

där

T_r - Återkomsttiden, [år]

(Bergdahl)

Återkomsttiden plottas sedan mot vindhastigheten i ett linjär-logaritmiskt diagram. I programvaran Excel kan punkterna över återkomsttid och hastighet, extrapoleras till en trendlinje, vars givna funktion sedan kan användas för att beräkna vindhastigheten för olika återkomsttider.

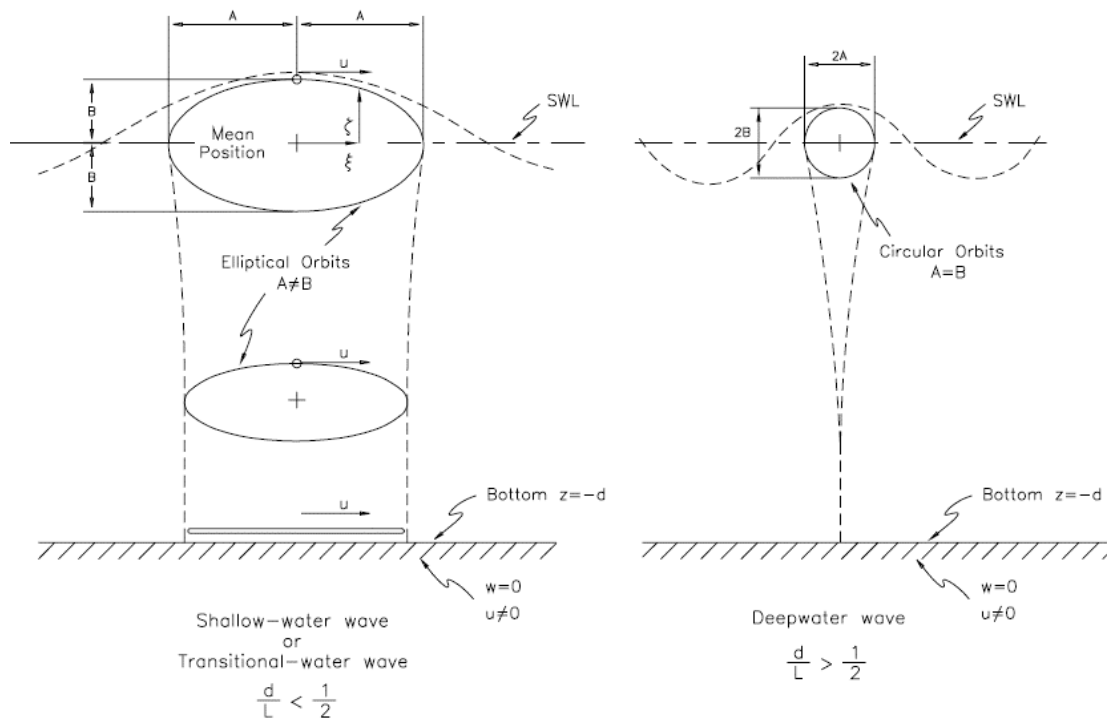
4.2 Vågor

Vågor genererade av vinden uppvisar stor variation vad gäller dess amplitud och period. Om vågorna registreras i en punkt kommer det visa att vågmönstret aldrig upprepas exakt likadant. Dock kan medelvärdet av våghöjderna användas för att utföra statistiska fördelningar som ger en viss sannolikhet att dessa våghöjder återkommer från en viss riktning.

Om vattenytan förutsätts vara opåverkad innan den påverkas av vinden kommer vågor att genereras i olika steg. Först kommer vindens turbulens att generera slumpmässiga tryckvariationer vid vattenytan, vilket medför små vågor med våglängder om ett par centimeter. Vinden påverkar dessa små vågor genom ytterligare tryckskillnader längs med vågen, vilket ökar våghöjden ytterligare. Till slut interagerar vågorna med de närliggande vilket resulterar i att de blir större och får längre våglängd. Detta medför att vågenergi överförs från de kortare vågorna till vågor med perioder något mindre än de högsta i vågserien. Detta leder till att vågornas hastighet är lika eller snabbare än den vind som genererat dem (Oceanworld 2007).

Vindgenererade vågor klassificeras som gravitationsvågor, och kan indelas i transporterande eller svängande vågor.

- Transporterande vågor karakteriseras av att vattenpartiklarna förflyttas något efter varje våg i den framåtskridande vågens riktning, se Figur 4.2. Vid denna projektering uppkommer transporterande vågor på grunt vatten då vågorna bryter på grund av havsbotten.
- Svängande fortskridande vågor karakteriseras av att vattenpartiklarnas banor i vågen är cirkel- eller ellipsformade och de förflyttas obetydligt framåt vid jämförelse med vågtoppen, se Figur 4.2. En annan typ av svängande våg är en stående våg. Denna karakteriseras av att vattenpartiklarna enbart har en vertikal rörelse. Detta tillstånd förekommer t.ex. då en fortskridande våg reflekteras fullständigt mot en vertikal vågbrytare, vilket medför att den vågamplitud som bildas är den dubbla jämfört med den inkommande vågen.



Figur 4.2: Vattenpartikelns förskjutning, x , från medelpositionen för grunt respektive djupt vatten (CEM II-1-17).

Storleksordningen på vågorna är en funktion av vindens hastighet U , vindens varaktighet t , samt över vilken sträcka, stryklängd F , vinden har påverkat en vattenyta. I regel anges stryklängden som det landbegränsade havsområdet, exempelvis avståndet till motsatta stranden mätt längs vindriktningen.

Dimensionerande våghöjd beräknas enligt dimensioneringsmanualen CEM (2006) för djupt vatten, där det finns två situationer där en förenklad vågprognos sägs vara tillförlitlig. Den första situationen beskriver då vinden under tillräcklig varaktighet blåser över stryklängden från en konstant riktning. Detta medför att vågorna tar upp vindenergi utmed hela stryklängden, varför stryklängden är den dimensionerande faktorn för bestämmandet av vågornas storlek.

Den andra situationen inträffar då vinden ökar mycket snabbt i tiden över en större stryklängd. Vinden blåser då under för kort tidsperiod för att vågorna ska kunna ta upp vindenergi utmed hela stryklängden, varför våghöjden är begränsad av varaktigheten. Enligt CEM är detta ett tillstånd som väldigt sällan uppstår, varför användningen av detta scenario ska tas med tillförsikt.

För att kontrollera om vågorna är begränsade av stryklängden eller vindens varaktighet $t_{x,u}$, används ekvation 4.6.

$$t_{x,u} = \frac{77,23 \times F}{U_{10}^{0,34} \times g^{0,33}} \quad (\text{ekv. 4.6})$$

där

F - Stryklängden [m]

g - Jordaccelerationen 9,81 [m/s²]

Signifikanta våghöjden på djupt vatten, H_{s0} [m], definieras enligt Häggström, Sjöberg som den våghöjd som representerar medelvärdet av de våghöjder som överstiger 66 % i en vågserie. Denna beräknas enligt CEM via ekvation 4.7.

$$H_{s0} = 4,13 \times 10^{-2} \times \sqrt{\frac{g \times F}{u_{star}^2}} \times \frac{u_{star}^2}{g} \quad (\text{ekv. 4.7})$$

där friktionshastigheten, u_{star} , behandlar nivån för överförandet av energi från vinden till vattnet som beräknas enligt ekvation 4.8.

$$u_{star} = \sqrt{0,001 \times (1,1 + 0,035 \times U_{10}) \times U_{10}^2} \quad (\text{ekv. 4.8})$$

Vågperioden, T_p [s], respektive våglängden, L_0 [m], för djupt vatten beräknas enligt ekvation 4.9 och 4.10.

$$T_p = 0,751 \times \left(\frac{g \times F}{u_{star}^2} \right)^{1/3} \times u_{star} \times g \quad (\text{ekv. 4.9})$$

$$L_0 = \frac{g \times T_p^2}{2\pi} \quad (\text{ekv. 4.10})$$

(CEM 2006)

När vågorna kommer in på grundare vatten sker en förändring i våglängden, L_{pG} . Detta beror på de fenomen som uppkommer vid bl.a. uppgrundning och refraktion som förklaras senare. Våglängden beräknas enligt ekvationen 4.11.

$$L_{pG} = L_0 \left(\tanh \left(\left(\frac{\sigma^2 \times d}{g} \right)^{3/4} \right) \right)^{2/3} \quad (\text{ekv. 4.11})$$

där

$$\sigma^2 = g \times k \times \tanh(k \times d) \quad (\text{ekv. 4.12})$$

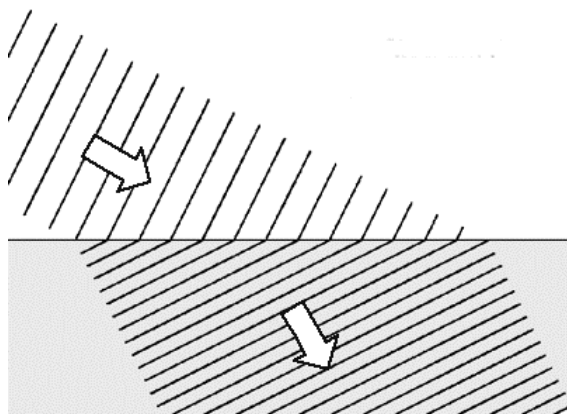
där

k - Vågtalet [1/m]

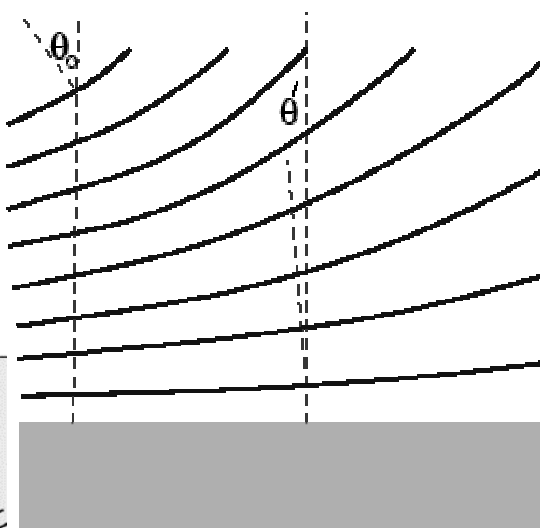
(Dalrymple 2007)

Vattenståndet i öppna hav växlar mellan låg- och högvatten, så kallad ebb och flod. Detta beror på solens och månens dragningskrafter på jorden. De vågor som uppkommer på grund av detta kallas tidvattenvågor och fortplantas likt andra typer av vågor. Detta fenomen har ibland inverkan på våghöjder beroende på omgivningen, t.ex. om det finns trånga sund där kraftiga strömmar bildas.

Vågens hastighet är beroende av vattendjupet då bottenpogografen inverkar med friktionskrafter på vågorna vid uppgrundning. Detta medför att den del av vågen som kommer in på grundare vatten får en lägre hastighet än den del av samma våg som fortfarande är på djupare vatten, och kommer därför att ändra riktning. Detta fenomen kommer att fortsätta ända till dess att en våg har blivit parallell med strandlinjen. Fenomenet, som kallas refraktion, kommer att påverka alla inkommande vågor, vilket ger att alla vågor kommer att vara parallella med strandlinjen, se Figur 4.3 och 4.4. Refraktionen bidrar därför till högre våghöjder när vågorna passerar uddar samt reduceras vid buktar (CEM 2006).

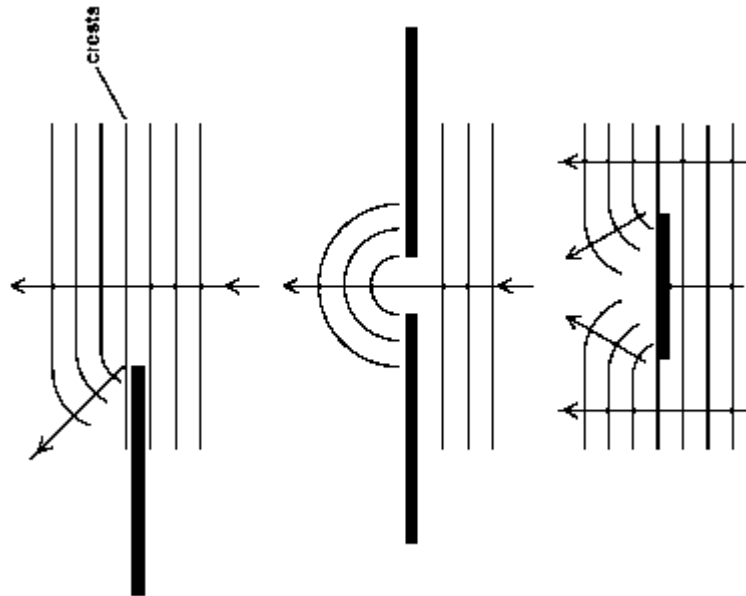


Figur 4.3: Exempel på refraktion



Figur 4.4: Exempel på refraktion

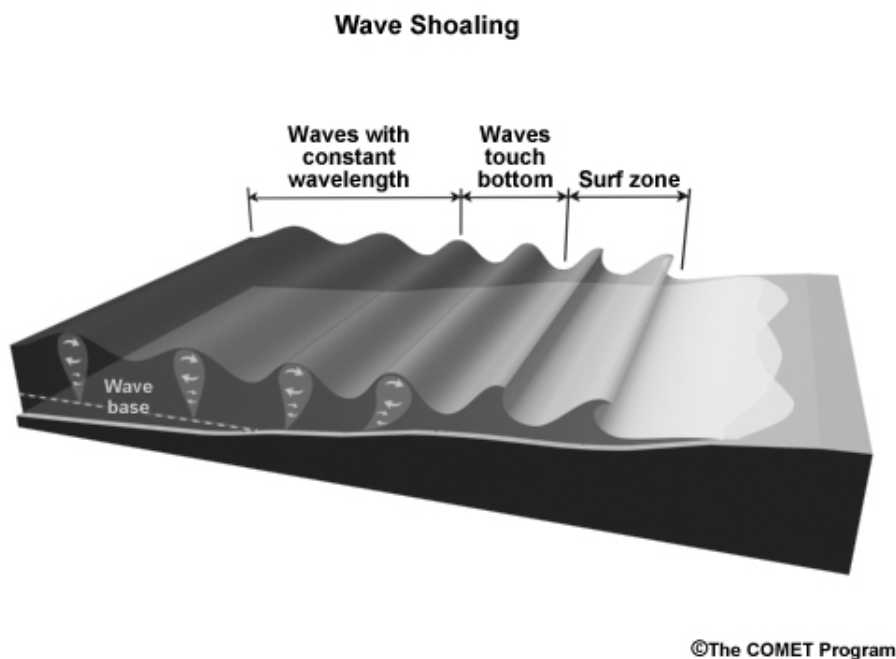
En annan företeelse som påverkar vågmönstret är diffraktion, som visar vågornas utbredning över en vattenyta. Detta inträffar då vågorna når ett hinder t.ex. i form av en vågbrytare. De vågor som träffar vågbrytaren reflekteras eller bryts ned, medan den energi som finns i de passerande vågorna fortplantas utmed vågkammen. Detta ger upphov till den riktningsändring och utseende av vågorna som ses i Figur 4.5.



Figur 4.5: Exempel på diffraktion vid passage

Denna avböjning beror på förändringar i våghöjden i en och samma våg. Om vågbrytaren är byggd med en lutande front kommer även refraction att påverka vågklimatet, vilket minskar våghöjden på de fortplantade vågorna.

Vid uppgrundning (*shoaling*) minskas vågens hastighet och våglängd, varför vågens energi per enhetsarea ökar. Detta leder i sin tur till en ökande våghöjd ända tills vågens branthet blir för stor och bryter, se Figur 4.6. Detta sker då kvoten mellan våghöjden och våglängden överstiger värdet 0,12.



Figur 4.6: Uppgrundning, dvs. bottens inverkan vid vågens bottenpåkning.

Den nya våghöjden, H , som tar hänsyn till refraktions- och uppgrundningskoefficienten före brytning, K_r respektive K_s , beräknas genom ekvation 4.13.

$$H_s = H_{s0} \times K_r \times K_s \quad (\text{ekv. 4.13})$$

(Oceanografi)

Klassificeringen av brytande vågor indelas i fyra typer. Dessa beror på vågens branthet i förhållande till bottenpografien eller en vågbrytares lutning, se Figur 4.7.

Brantheten, $S_{op,toe}$, på vågen vid en vågbrytares tå beräknas enligt ekvation 4.14:

$$S_{op,toe} = \frac{H_s}{L_{pG}} \quad (\text{ekv. 4.14})$$

(CEM 2006)

Det beräknade värdet av brantheten används därefter tillsammans med vågbrytarens lutning i ekvation 4.15 för att avgöra vilken klassificering av vågorna som skall användas.

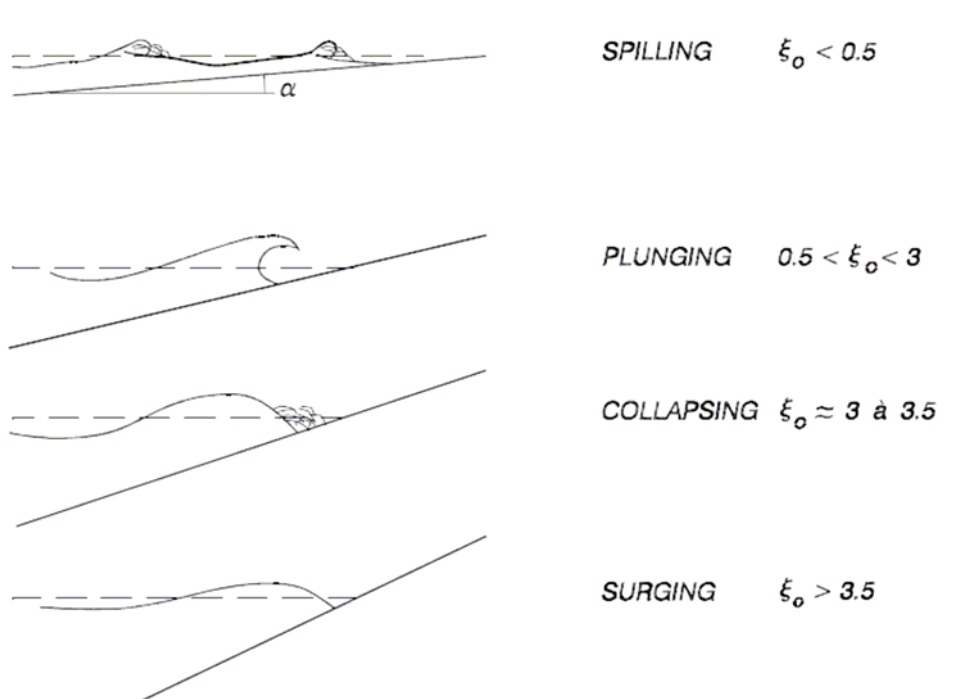
$$\xi_{pG} = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{S_{op,toe}}} \quad (\text{ekv. 4.15})$$

där

ξ_{pG} - Surf similarity parameter (Iribarrens tal)

α - Vågbrytarens lutning [grader/radianer]

(CEM 2006)



Figur 4.7: Olika typer av brytande vågor beroende på lutningen (CEM 2006).

Den första typen, "spilling", syftar till att vågens krön blir instabil varför vågen glider undan och producerar en vit skummande vattenyta.

Den andra typen, "plunging", syftar till att vågen reser likt en vertikal vägg. Därefter fortsätter vågkrönet med en hastighet snabbare än basen på vågen, varpå krönet slår över våldsamt.

Den tredje typen av brytande vågor kallas "collapsing". Vågkrönet bryts inte förrän den grundare delen av vågfronten stupar och faller över. Detta ger en turbulent och irreguljär vattenyta

Slutligen beskrivs den fjärde typen av brytande våg, "surging", som en våg där vågkrönet tenderar att avancera snabbare än basen på vågen. Dock slår aldrig krönet över utan vågen fortsätter med ett utseende av en brant våg in mot stranden (CEM 2006).

Som beskrivits ovan bryter inkommande vågor när vattendjupet minskar pga. att vågens branthet och vågtoppens spetsighet ökar när våglängden minskar över det uppgrundande vattnet. För att beräkna den brytande våghöjden på vågorna finns det två olika ekvationer att nyttja enligt Nelson (1994), nämligen

$$H_b = 0,8 \times d \quad (\text{ekv. 4.16})$$

där

H_b - Brytande våghöjd [m]

d - Lokalt vattendjup [m]

eller

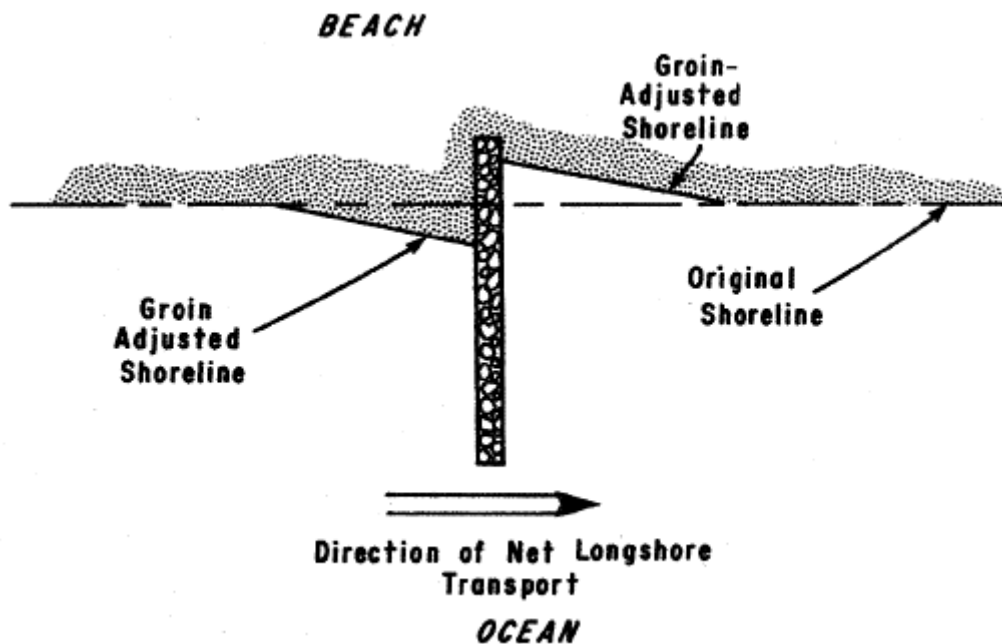
$$H_b = 0,55 \times d \quad (\text{ekv. 4.17})$$

Dessa ekvationer är beroende på av hur uppgrundningsförfarandet ser ut, dvs. mer exakt hur stor botten lutning är. Ekvation 4.17 används då bottenlutningen understiger 1 % under en längre sträcka. Är detta villkor ej uppfyllt används ekvation 4.16.

4.3 Sediment

Det material som återfinns längs stränder härstammar från flera olika källor, som t.ex. flodmynningar, flygsand eller vittrat material. De inkommande vågorna samt de kustnära strömmarna, sorterar sedan materialen kontinuerligt varpå de därefter sedimenterar på olika platser beroende på dess egenskaper, som kornstorlek, densitet osv.

Om området som ska studeras inte störts på många år, kommer den kustparallella sedimenttransporten först att påvisas efter det att dess naturliga transporter förhindras av en hamnkonstruktion. Beroende på hur strömmarna ser ut i området kommer, förenklat sett, sanden att anhopas på uppströmssidan och erodera på nedströmssidan. Detta kan jämföras med användandet av en hövd, även kallad "groin", som används för att minska sedimenttransporten eller erosion på uppströmssidan. Detta ses i Figur 4.8.

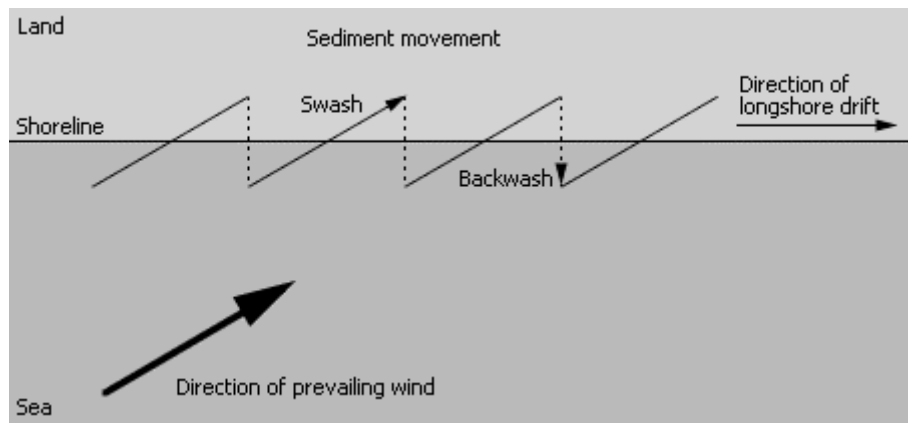


Figur 4.8: Kustlinjeförändringar genom användandet av en hövd.

Sedimenteringsprocessen är mycket komplicerad, vilket beror på de brytande vågornas generering av turbulens, bottenfriktion samt hur botten-topografin förändras längs kusten. Sediment med kornstorlekar av 0,1-0,5 mm sätts i rörelse vid vattenhastigheter högre än 0,4 m/s och sedimenterar vid hastigheter som understiger 0,2 m/s. Sedimenttransporten har sitt maximala värde mellan vågornas brytningslinje och där den kustparallella strömmen har sitt maximala värde.

Att försöka kvantifiera mängden av sand som transporteras är mycket svårt. Förändringar i sedimenterade volymer kan uppskattas från mätningar eller flygfoton. Detta ger nödvändigtvis inte några direkta värden på sandtransporten, utan mer en indikation på att det är obalans i bruttotransporten. Om däremot en marin anläggning byggs som skär av den kustparallella transporten kan jämförelser före och efter ge en god indikation på hur sandtransporten ser ut längs kusten.

Om det inte finns kännedom om vilka strömriktningar eller hastigheter som är gällande för området, kommer sandtransporten endast att uppskattas genom den kustparallella transporten genererad av vågor. Sedimentpartiklarna följer med i vågtopparnas rörelser snett in mot land vid deras uppsvallning, för att sedan rinna ortogonalt ut från stranden med nedsvallningen. Transporten kommer därför att följa ett sicksackmönster enligt Figur 4.9.



Figur 4.9: Sedimenttransport då vågorna inkommer i vinkel förhållande till strandlinjens ortogonal.

Kamphuis, Coastal Engineering (2004), har tagit fram en ekvation, ekvation 4.18, för att uppskatta den årliga sedimenttransporten orsakad av inkommande vågor, Q_{ls} , för sediment med diametern D_{50} . Vid beräkningarna av sandtransporten tas hänsyn till från vilken riktning och frekvens transporten sker. Summeras denna över alla riktningar fås nettotransporten i den punkt som studeras.

$$Q_{LS} = f_r \times 6,4 \times 10^4 \times H_b^2 \times T_p^{1,5} \times \tan(\beta)^{0,75} \times D_{50}^{-0,5} \times (\sin(2\theta_b))^{0,6} \quad (\text{ekv. 4.18})$$

där

Q_{ls} - Den årliga transporten av sediment med diametern D_{50} [$\text{m}^3/\text{år}$]

f_r - Frekvensen [%]

H_b - Första brytningen av djupvattenvåg [m]

T_p - Djupvattenvågens period [s]

β - Bottenkonturens lutning [grader]

θ_b - Inkommande vågs vinkel i förhållande till strandens ortogonal [grader]

(Reeve, Chadwick, Fleming 2004)

Som framgår av ovan nämnda problembeskrivning över sedimenttransporten krävs stor omsorg vid placeringen av vågbrytare, för att störa den naturliga vattenströmmen så lite som möjligt. Placeringen av vågbrytaren är också av betydelse för att inte tångdrift och övrig växtlighet ska ställa till problem för den verksamhet som ska bedrivas. Exempel på detta kan t.ex. vara att en muddrad ränna för insegling eller själva hamnbassängen kan återfyllas av sediment och växtlighet.

Olika åtgärder kan vidtagas för att inte sedimenteringen ska påverka vattendjupet antingen i hamnbassängen eller inseglingsrännan. En åtgärd är att bygga så kallade sandfällor, som stänger in sanden från fortsatt transport. En typ av sandfälla är att muddra en större sänka intill den anläggning som ska skyddas från sedimenttransport. När transporten av sediment kommer in över sänkan minskas vattnets hastighet kraftigt på grund av det större djupet varför sedimentation sker i sänkan. När denna är fylld kan den enkelt muddras ur för återanvändning (Hansson, Larsson 2007 och Panigrahi 2007).

En annan åtgärd för att stoppa sedimenttransporten är att bygga en hövd. Denna har en utformning som ser ut som en vågbrytare men är storleksmässigt mindre då den ej skall stoppa vågor. Denna fungerar som ett hinder som skär av den naturliga transporten av sediment, se Figur 4.8. Detta gör att det, likt sandfällan, är relativt enkelt att utföra underhållsmuddring på den sida om hövden där sediment samlats.

Bieffekten av att använda en hövd är att erosion uppkommer på nedströmssidan. Detta beroende på att störningen av den naturliga vattenströmmen skapar virvlar på nedströmssidan av hövden, varpå virvlarna skapar en eroderande effekt på strandlinjen. Det beror även på att balansen mellan sedimentering och erosion nedströms hövden har påverkats då det råder underskott på suspenderat sediment i vattnet. Detta bör beaktas vid planering av hövden.

4.4 Vågbrytare

Om kusten där en hamn ska anläggas är helt öppen medför det att vågor som kommer mot stranden kan vara väldigt höga vid dåligt väder. Det betyder att en hamns vågbrytare är av yttersta vikt för att säkerställa att verksamheten inte måste upphöra vid hårt väder. För att inte vågbrytaren ska undermineras, då vågorna kommer att bryta vid vågbrytarens tå, ställs ytterligare stabilitetskrav på botten där vågbrytaren ska anläggas. Ett erosionsskydd bör därför läggas minst en fjärdedels våglängd utanför vågbrytaren (CEM 2006).

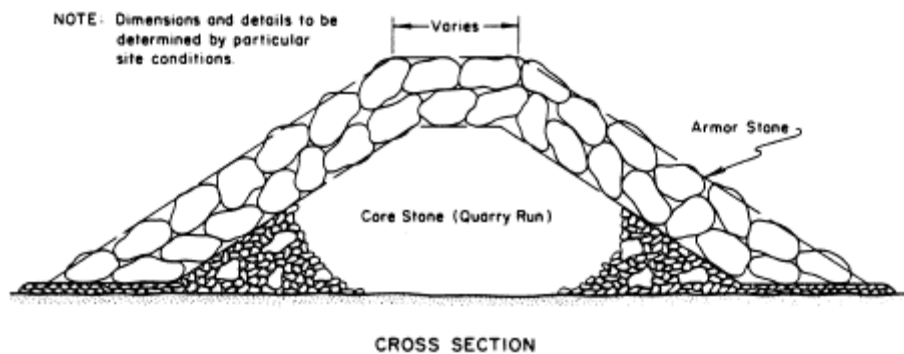
Vågbrytarens användningsområde är som nämnts ovan att skapa ett skyddat hamnområde på en öppen kust eller för att öka skyddet i en naturlig hamn. Det förekommer även att vågbrytare används för att minska vågbildningen i kanalinlopp.

Det förekommer konstruktioner av vågbrytare i skalan från små flytande pontoner för en fritidsbåtshamn i en skyddad skärgård, till större bottenfasta konstruktioner på 50 meters vattendjup utsatta för oceanvågor.

För större projekt genomförs modellförsök, både fysiska och datagenererade, för att studera hamnplaceringens läge i förhållande till vågor, både utanför och innanför vågbrytaren, inseglingsförhållanden och sedimenttransporter mm. Eftersom vågbrytaren oftast är den större kostnaden vid uppförandet av en hamn gäller det att försöka begränsa den sammanlagda längden av vågbrytaren, samt dess djupgående.

Principen för en vågbrytare med lutande front är att vågorna bryter på dess front och på så sätt förlorar energi, vilket sker på samma sätt som för vågor som rullar in mot en naturlig strand. Denna energiomvandling blir som mest effektiv om vågbrytarens yta har stor råhet och porositet. Därför är det lämpligt att använda stenblock vid denna typ av konstruktion, under förutsättningen att god tillgång på block eller berg finns i närheten. Genom att använda stenmaterial i vågbrytaren kan denna lätt fyllas på med nya block om skyddslagret skadats vid svårare stormar.

En vågbrytare är generellt uppbyggd enligt Figur 4.10.



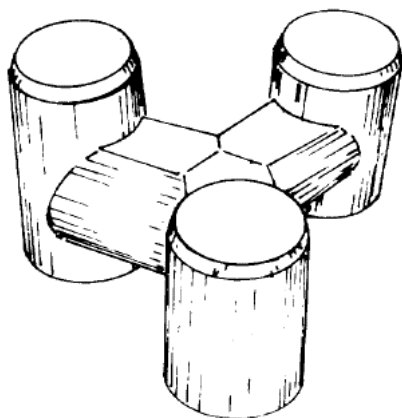
Figur 4.10: Översiktlig beskrivning av vågbrytare av sten.

Det innersta lagret, kärnan, består av osorterad sprängsten. Sprängstenen har förhållandevis liten kornstorlek, varför den inte släpper igenom alltför mycket vatten. Kärnans sammansättning bestämmer hur permeabel vågbrytaren är. Finare kärnmateriale betyder tätare och därför mindre permeabel vågbrytare och vice versa. Utanpå kärnan läggs med fördel en geotextilduk, om kärnmaterialet består av små fraktioner, som skydd för att inte kärnmaterialet ska sköljas ur vid påfrestningar från vågorna (CEM 2006).

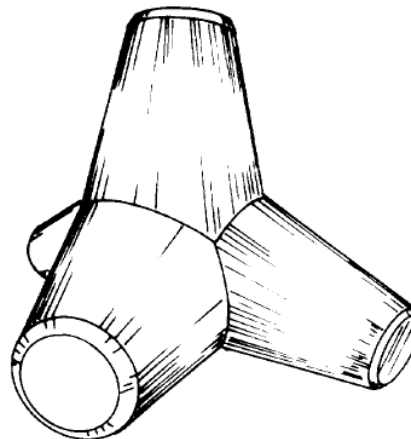
Andra lagret, filtret, består av större sten- och blockmaterial än kärnan. Dessa håller fast det finkornigare materialet samt eventuell geotextilduk. Dock är dess primära uppgift att skydda kärnan och dess material.

Det tredje och yttersta lagret kallas skyddslager, och har de kraftigaste blocken i hela konstruktionen. Den avsevärt mycket större blockstorleken på detta lager beror på att det ska klara av att ta emot den energi som de inkommande vågorna medför.

Det yttre lagret kan bestå av olika sorters block. De vanligaste blocken, i vatten där vågor med en våghöjd upp till 8 m finns, är sten- och betongblock (kompendium vågskydd). Betongblocken har fördelen att de kan tillverkas på plats. Det finns många olika betongblock att välja bland, som t.ex. patenterade Tetrapoder och Tribar. Dessutom har de, jämfört med betong- och stenblock, en utformning som gör att det vid samma våghöjd kan ges en lägre vikt än stenblock och enkla betongblock, eftersom de sprider och bryter vågorna effektivare.



Figur 4.11: Tribar



Figur 4.12: Tetrapod

En vågbrytare kan byggas antingen impermeabel eller permeabel, dvs. genomsläpplig eller icke genomsläpplig. Det som avgör om en vågbrytare är permeabel eller impermeabel är uppbyggnaden av filtret och kärnan. Om dessa består av tätt material med små fraktioner ger detta ett större motstånd mot det inkommande vattnet och vågbrytaren ses som impermeabel. Det innebär även att det vattentryck som uppstår mellan filtret och det yttre skyddslagret ökar, då vattnet bara kan ledas åt ett håll. Detta leder i sin tur till att det yttre skyddslagrets blockstorlekar måste vara större för att klara vattentrycket. Även krönhöjden på vågbrytaren görs högre då allt vatten får en skjuts uppåt istället för genom vågbrytaren.

Om däremot materialet i filter och kärna är grövre blir vågbrytaren mer permeabel. Detta beroende på att mycket av det inkommande vattnet strömmar genom vågbrytaren, vilket betyder att det vattentryck som bildas mellan filtret och det yttre skyddslagret inte är lika högt som för den impermeabla vågbrytaren. Även krönhöjden kan göras lägre då en större del av det inkommande vattnet får en riktning genom vågbrytaren istället för uppåt (CEM 2007).

Stenblock är i många fall oekonomiskt att använda när konstruktionen kräver blockvikter om 20-30 ton, varför det kan bli nödvändigt att utforma slänten med flackare lutning eller att använda något av de alternativa lösningar som nämnts ovan.

Kostnaden ligger i de många transporter från ett stenbrott och till den aktuella platsen för vågbrytarens anläggning. Att transporterna blir många beror på att det är stora mängder block som behövs samt att blocken är stora och otympliga, vilket betyder att det inte får plats många block på en transport. Även att vid sprängning få ut den storlek som behövs betyder att det bildas mycket spillmaterial som inte går att använda i konstruktionen.

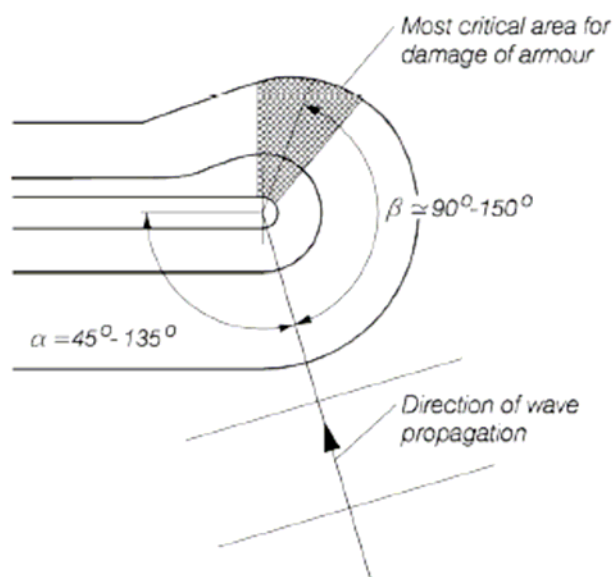
Genom användandet av Tetrapod eller Tribar fås möjligheten att kunna låsa blocken mot varandra, vilket dock ur arbetsteknisk och konstruktionssynpunkt är mer krävande. Om dessa block läggs slumpmässigt i dubbla lager fås en porvolym större än 50 %, vilket kan jämföras med 35-40 % för vanliga block (CEM 2006).

Om vågbrytaren anläggs på ett djup där vågorna inte brutits, används den signifikanta våghöjden H_s vid beräkningarna. Kommer vågorna att bryta innan de når området används den brytande våghöjden H_b beräknat enligt kapitel 3.2.

4.4.1 Vågbrytarhuvud

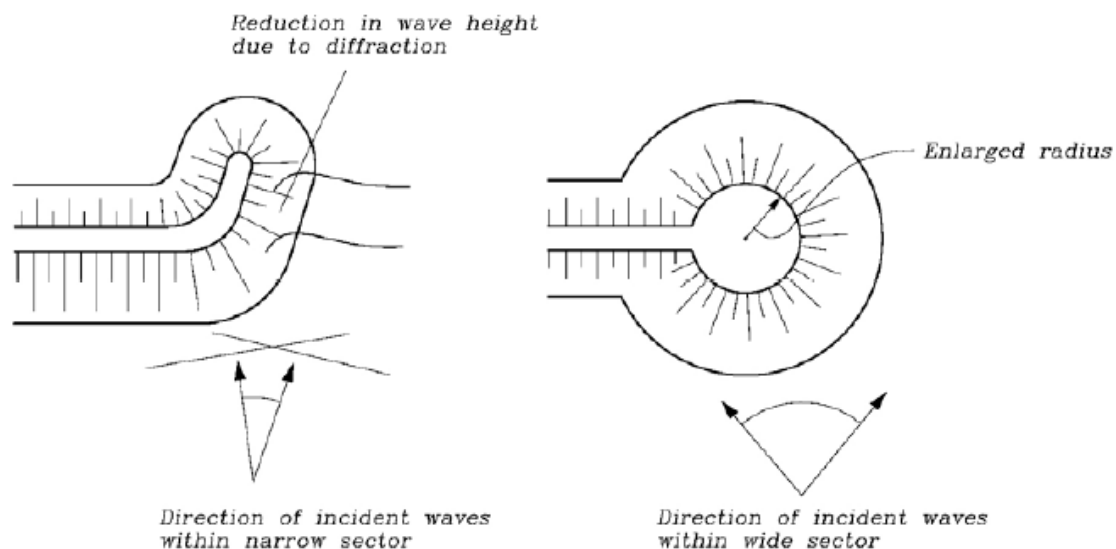
Dimensioneringen av vågbrytarhuvudet skiljs från dimensioneringen av den övriga delen av vågbrytaren. Påfrestningen är mycket större på dessa eftersom de ligger i en radie, till skillnad mot de raka vågbrytarna. Denna radie leder till att vågorna koncentreras mot huvudet pga. refraction med ökad våghöjd som följd, samtidigt som stödet från kringliggande stenar minskar i den översköljande vågens riktning på vågbrytarhuvudets läsida. Följden av detta blir att vågbrytarhuvudets rundning utsätts för mer omfattande och frekventa skador än övriga delar på vågbrytaren.

Även diffraktion kommer att påverka vågbrytarhuvudet varför det mest kritiska området vad gäller instabilitet visas i Figur 4.13.



Figur 4.13: Illustration som visar var kritiska skador kan uppstå på vågbrytarhuvudets skyddslager (CEM VI-5-37).

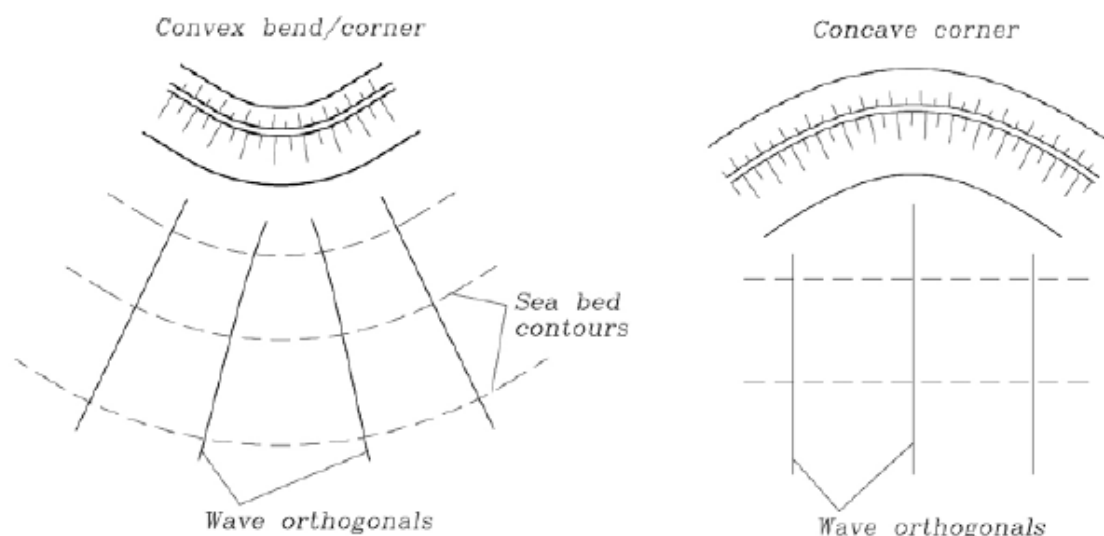
Stabiliteten för vågbrytarhuvudets mest kritiska områden kan förbättras genom att öka huvudets diameter eller genom att förse den med en svans och på så sätt göra den mer avlång, se Figur 4.14. Förutom att stödet från kringliggande stenar ökar så minskar våghöjderna genom diffraktion innan de når den känsligare läsidan.



Figur 4.14: Illustration som visar på förbättrad stabilitet genom förändrad geometri (CEM VI-5-38).

Skyddslagrets hörn är generellt sett, förutom vågbrytarhuvudet, mer utsatta än övriga delar av vågbrytaren. Ett konvext hörn följer ofta bottenkonturen eftersom en konstruktion på djupt vatten kostar mycket mer. Refraktion kan då orsaka en ökning av våghöjden vilket i sin tur ökar översköljningsvolymen. Vid konvexa hörn reduceras även stödet från kringliggande stenar.

Även ett konkavt hörn utsätts för större vågor än övriga delar av vågbrytaren, då vågenergi koncentreras pga. reflektion mot vågbrytarens slänt, se Figur 4.15. Detta förfarande leder i sin tur till ökad översköljning. Med hänsyn taget till ovanstående bör utsatta hörn och krökar förstärkas.



Figur 4.15: Exempel på konvexa och konkava hörn (CEM VI-5-39).

4.4.2 Översköljning

Översköljning sker då vattnets uppsköljningsnivå överstiger en vågbrytares krönhöjd, R_c . Den tillåtna mängden översköljt vatten beror på många faktorer, som t.ex. om verksamhet sker i anslutning till vågbrytaren, om båtar är förtöjda direkt innanför, om byggnader finns på eller i dess närhet osv. Detta leder fram till två kriterier, nämligen:

- Översköljning under normala omständigheter
- Översköljning under extrema förhållanden då viss skada tillåts på anläggningen.

Om en vågbrytare endast har som funktion att skydda hamnens inlopp eller om den är fristående kan en hög översköljning tillåtas. Men om dess funktion skall vara att skydda en hamn mot inkommande vågor bör en hög översköljning inte tillåtas under normala omständigheter. Detta beror på att vid hög översköljning kan det inkommande vattnet skapa vågor i hamnbassängen överstigande det krav som finns. Detta krav är satt då båtar och dess förtöjningar tar skada av dessa vågor på grund av nötning mot kaj, brygga eller andra båtar.

Även blockstorleken på de block som placeras på en vågbrytares insida bör vara större om hög översköljning tillåts. Detta beroende på att mer översköljning av vatten betyder mer erosion, vilket förklarar de större storlekarna.

För att motverka denna vågbildning används ekvationerna 4.19-4.20 genom att beräkna den lägsta krönhöjden som en vågbrytare kan anta för att klara kravet om farlig översköljning. Parametern som påvisar vågbrytarens lägsta höjd kallas den signifikanta uppsköljningsnivån, R_{us} , som beror på hur brant inkommande våg är i förhållande till lutningen på vågbrytaren:

$$\xi_{pG} > 2 \quad R_{us} = H_b \times (-0,15 \times \xi_{pG} + 3) \times \gamma_r \times \gamma_h \times \gamma_\beta \times \gamma_b \quad (\text{ekv. 4.19})$$

$$\xi_{pG} < 2 \quad R_{us} = H_b \times 1,35 \times \xi_{pG} \times \gamma_r \times \gamma_h \times \gamma_\beta \times \gamma_b \quad (\text{ekv. 4.20})$$

där

H_b - Brytande våghöjd [m]

γ_r - Reduceringsfaktor, tar hänsyn till släntytans råhet, samt antalet lager i vågbrytarens skyddslager [dimensionslös].

γ_h - Reduceringsfaktor, tar hänsyn till om vågen bryter innan den träffar vågbrytarens tå [dimensionslös].

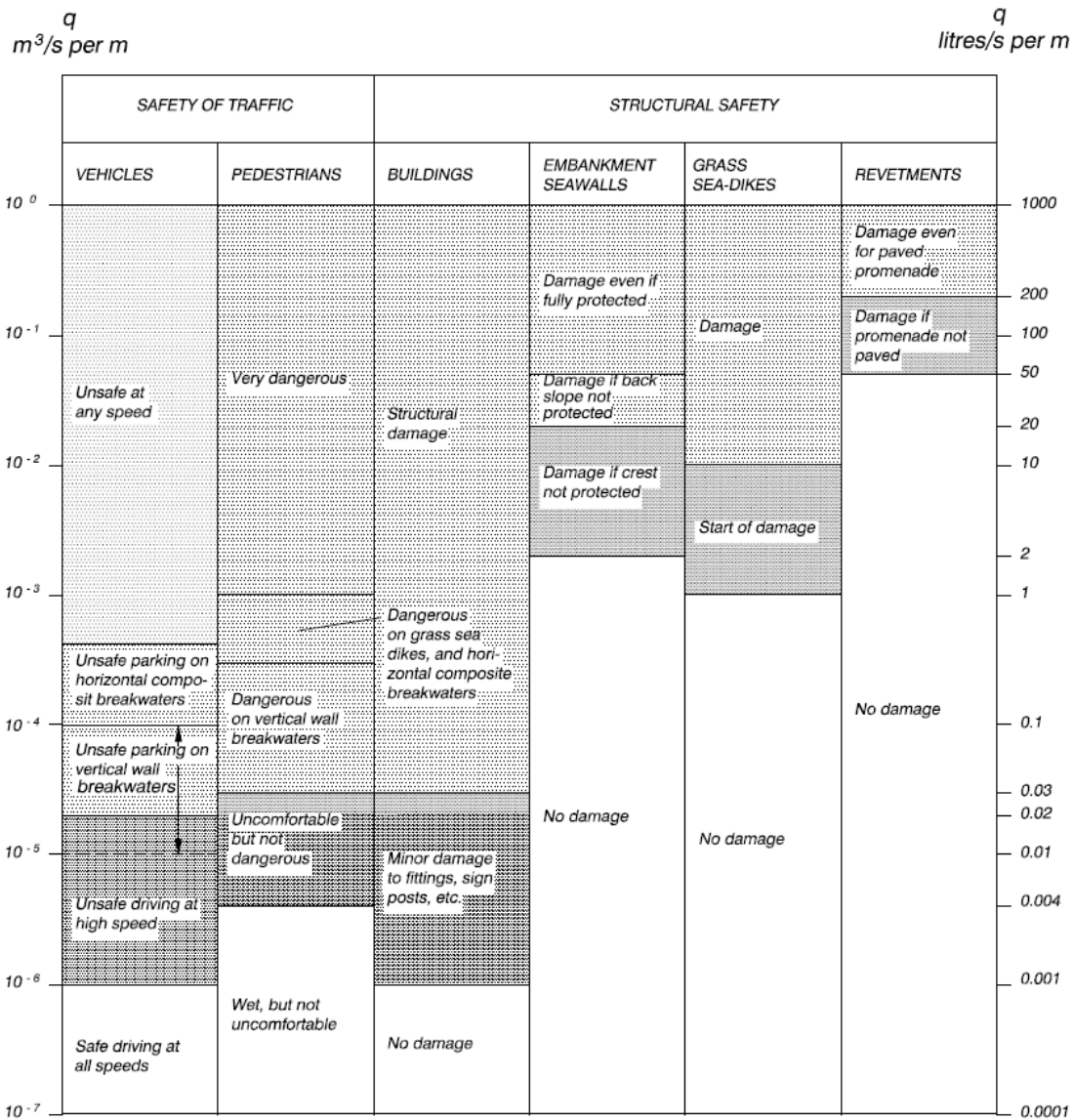
γ_β - Reduceringsfaktor, tar hänsyn till inkommande vågs vinkel i förhållande till vågbrytaren [dimensionslös].

γ_b - Reduceringsfaktor, tar hänsyn till om plåtå framför vågbrytare finns eller ej [dimensionslös]

(CEM 2006)

Det översköljande flödet från vindgenererade vågor är mycket ojämnt distribuerat i tid och rum, då vattenvolymen varierar avsevärt från våg till våg. Den största delen av flödet som sköljer över vid en storm kommer från en mycket liten del av vågorna.

Kritiska värden av det genomsnittliga översköljningsflödet ges av skadediagrammet i Figur 4.16. Dessa ska ses som grova uppskattningar, då intensiteten av hur vattnet träffar en punkt bakom vågbrytaren beror på dess geometri och avstånd från tån till krönet.



Figur 4.16: Skadediagram vid olika översköljningsflöden (CEM).

Översköljningen av vatten sker antingen som en massa eller som en dimma. Vattendimman kan föras över långa avstånd av vinden, varför den bör tas i beaktning då dimman kan orsaka fuktskador på gods eller närliggande byggnader. Vattenmassan påverkas däremot inte i någon större grad av vinden, utan faller ned precis innanför vågbrytaren. Översköljningens storlek beräknas enligt ekvationerna 4.21-4.22 nedan. Att ekvationerna är två beror på de villkor som står innan ekvationerna.

$$\xi_{pG} < 2 \quad q = \frac{0,06 \times \exp\left(-5,2 \times \frac{R_c}{H_b} \times \frac{\sqrt{S_{op, toe}}}{\tan \alpha} \times \frac{1}{\gamma_r \times \gamma_b \times \gamma_h \times \gamma_\beta}\right) \times \sqrt{g \times H_b^3}}{\sqrt{\frac{S_{op}}{\tan \alpha}}} \quad (\text{ekv. 4.21})$$

$$\xi_{pG} > 2 \quad q = 0,2 \times \exp\left(-2,6 \times \frac{R_c}{H_b} \times \frac{1}{\gamma_r \times \gamma_b \times \gamma_h \times \gamma_\beta}\right) \times \sqrt{g \times H_b^3} \quad (\text{ekv. 4.22})$$

där R_c – Krönhöjd

S_{op} - Vågens branthet

(CEM 2006)

Det genomsnittliga värdet på översköljningsflödet q ger ingen information om flödesintensiteten för varje enskild översköljande våg. Detta är dock av stor vikt eftersom de största skadorna uppstår av enskilda stora översköljande vågor. Volymen vatten som varje enskild våg medför, B , per meter vågbrytare beräknas enligt ekvation 4.23.

$$B = 0,84 \times \left(\frac{T_p \times q}{P_{ow}} \right) \quad (\text{ekv. 4.23})$$

P_{ow} är den procentuella andelen vågor av det totala antalet inkommande vågor, som översköljer krönet [%] och beräknas genom ekvation 4.24.

$$P_{ow} = \exp \left(- \left(\frac{R_c}{c \times H_b} \right)^2 \right) \quad (\text{ekv. 4.24})$$

c är en konstant som beror av vågbrytarens lutning och under förutsättning att de inkommande vågorna är irreguljära. Denna konstant beräknas enligt ekvation 4.25 med villkoret att resultatet ej överstiger värdet c_{max} , som beräknas enligt ekvation 4.26.

$$c = 0,81 \times \xi_{pG} \times \gamma_r \times \gamma_h \times \gamma_\beta \times \gamma_b \quad (\text{ekv. 4.25})$$

$$c_{max} = 1,62 \times \gamma_r \times \gamma_h \times \gamma_\beta \times \gamma_b \quad (\text{ekv. 4.26})$$

När detta beräknats kan senare den maximala översköljningsvolymen per meter vågbrytare, V_{max} , beräknas genom ekvation 4.27.

$$V_{max} = B (\ln(N_{ow}))^{\frac{4}{3}} \quad (\text{ekv. 4.27})$$

där

N_{ow} - antalet vågor som sköljer över vågbrytaren

Om V_{max} plottas över tiden fås en graf som visar översköljningsvolymen vid olika stormvaraktigheter. Ur denna framgår även vid vilken stormvaraktighet som översköljningen statistiskt sett börjar.

CEM (2006)

4.4.3 Stenblock

I det yttre skyddslagret på en vågbrytare är det vanligt att ha ordinära stenblock. Dock beror detta på hur det ser ut i närmiljön av den plats där vågbrytaren skall byggas då det går åt stora mängder block vilket medför många tunga transporter om det är långt till närmsta stenbrott. Givetvis är också kvaliteten avgörande då det krävs att dessa block är kraftiga nog att stå emot all den energi som vågorna medför.

Det finns olika manualer för att beräkna storleken och tyngden på blocken. I denna rapport är det två olika manualer som används, nämligen CEM (2006) och SPM (1984), vilka påvisar olika resultat. Nedan visas en beräkningsgång med ingående parametrar redovisade.

CEM

För att beräkna den ekvivalenta kublängden D_{n50} , dvs. medellängden av en kubs sida, används ekvation 4.28:

$$D_{n50} = \frac{H_b}{1,4 \times 6,2 \times S^{0,2} \times P^{0,18} \times N_z^{-0,1} \times \zeta_{mG}^{-0,5} \times \Delta} \quad (\text{ekv. 4.28})$$

där

S - Skadegraden [dimensionslös]

P - Vågbrytarens noterbara permeabilitetskonstant [dimensionslös]

N_z - Antal vågor som kommer in mot vågbrytaren under stormens varaktighet

$$\Delta = \frac{\rho_s}{\rho_w} - 1 \quad (\text{ekv. 4.29})$$

där

ρ_s - Stenblockens densitet [kg/m^3]

ρ_w - Vattnets densitet [kg/m^3]

Det antal vågor som under en storms varaktighet inkommer mot vågbrytaren beräknas enligt ekvationen:

$$N_z = \frac{T_p}{3600} \times t \quad (\text{ekv. 4.30})$$

där

t - En storms varaktighet [h]

M_{50} är medelvärde av stenens blockvikt och beräknas genom ekvation 4.31.

$$M_{50} = \rho_s \times D_{n50}^3 \quad (\text{ekv. 4.31})$$

N_z kan aldrig ges ett värde vid beräkning av stenblock på mer än 7500 då det antas att större tal inte ger mer skada på det yttre skyddslagret då skadejämvikt uppnåtts i det yttre skyddslagret.

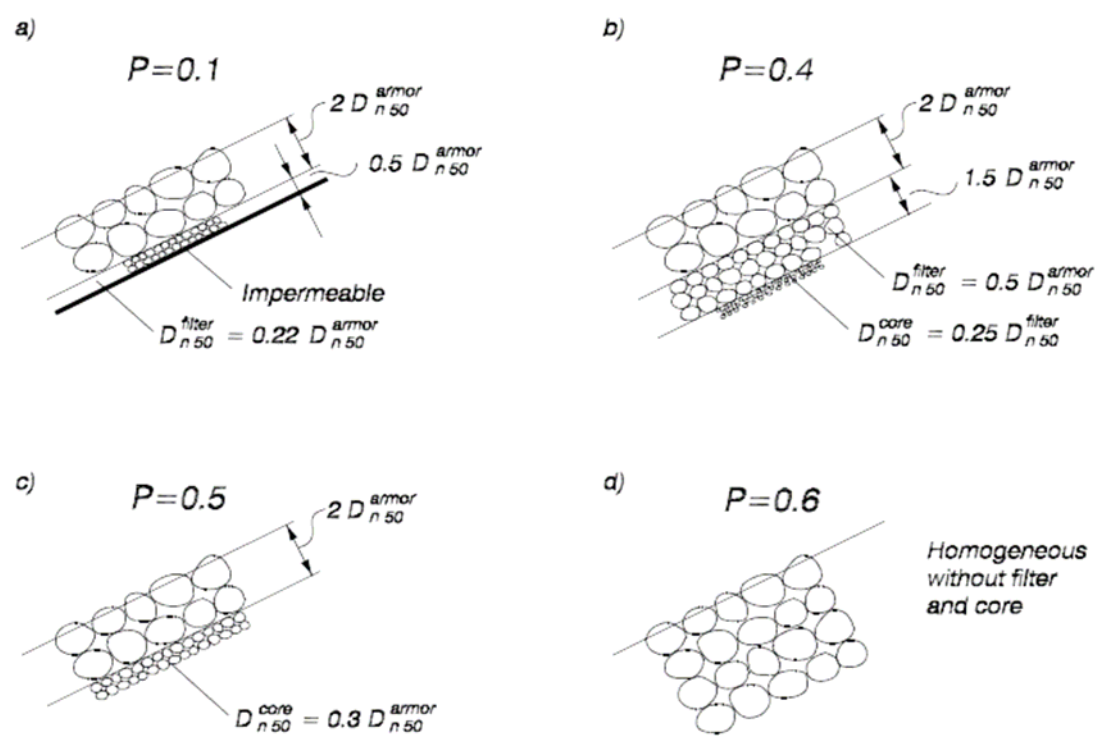
Att definitionen är ”den ekvivalenta kublängden för ett stenblocks median” beror på att i stenbrotten som dessa block framställs är det svårt att ha en exakt noggrannhet, vilket medför att detta uttryck används för att beskriva blockens medianstorlek.

Skadegraden visar hur mycket en vågbrytare tål innan den börjar ta skada av stormvågor, och enligt CEM (2006) ges följande kriterier:

- Skadegrad 2 syftar till att få block i konstruktionens ytterlager förskjuts eller flyttas
- Skadegrad 5-7,5 beräknar att flera block förskjuts eller flyttas i ytterlagret, dock utan att exponera vågbrytarens kärna.
- Skadegrad över 10 innebär en risk att underliggande lager kan exponeras för angripande vågor, som i sin tur eventuellt resulterar i en kollaps av vågbrytaren.

Dessa skadegrader i CEM (2006) liknar de i SPM (1984) där skadegrad 2 korresponderar med att 5 % av blocken, från mitten av krönet ned till ett djup om halva våghöjden, förskjuts över en blockdiameter (SPM (1984)).

Beroende på hur permeabel en vågbrytare är, som beskrevs i kap 4.4, används vid beräkning av stenblock en permeabilitetskonstant, P . Denna ses i Figur 4.17 nedan.



Figur 4.17: Olika värden på permeabilitetskonstanten, P , beroende på uppbyggnad av vågbrytare (CEM VI-5-16).

SPM

Enligt manualen SPM (1984) skiljs ekvationerna åt gentemot CEM (2006). Medianvärdet av stenens blockvikt, M_{50} , beräknas enligt SPM genom ekvation 4.32.

$$M_{50} = \frac{\rho_s \times H_b}{K_D \times \Delta^3 \times \cot \alpha} \quad (\text{ekv. 4.32})$$

där

K_D – Stabilitetskoefficient

α – Vågbrytarens lutning

Stabilitetskoefficienten K_D har tagits fram empiriskt och varierar beroende på vad för sorts material vågbrytaren består av, hur många lager skyddslagret består av samt om materialet är lagt i ordnat eller oordnat mönster. Stabilitetskoefficienten beror även på var i vågbrytaren materialet påträffas, varför K_D antar olika värden i vågbrytarhuvudet jämfört med resterande del av vågbrytare, se Figur 4.18. Detta beror på att vågbrytarhuvudet utsätts för andra sorters påfrestningar, se kapitel 4.4.1. K_D baseras även på antagandet om att inga stenar förskjuts från mitten av krönet och ner till ett djup om halva våghöjden, där sannolikheten för förskjutning är mindre än 5 %.

No-Damage Criteria and Minor Overtopping							
Armor Units	n ³	Placement	Structure Trunk		Structure Head		Slope Cot θ
			K_D^2		K_D		
			Breaking Wave	Nonbreaking Wave	Breaking Wave	Nonbreaking Wave	
Quarrystone Smooth rounded Smooth rounded Rough angular	2	Random	1.2	2.4	1.1	1.9	1.5 to 3.0 ⁵
	>3	Random ⁴	1.6 ₄	3.2	1.4 ₄	2.3	
	1	Random		2.8		2.3	
Rough angular	2	Random	2.0	4.0	1.8 1.6 1.3	3.2 2.8 2.3	1.5 2.0 3.0
	>3	Random	2.2	4.5	2.1	4.2	5 ⁵
Rough angular Parallelepiped ⁷	2	Special ⁶	5.8	7.0	5.3	6.4	5
	2	Special ¹	7.0 - 20.0	8.5 - 24.0	—	—	
Tetrapod and Quadripod	2	Random	7.0	8.0	5.0 4.5 3.5	6.0 5.5 4.0	1.5 2.0 3.0
	2	Random	9.0	10.0	8.3 7.8 6.0	9.0 8.5 6.5	1.5 2.0 3.0
Dolos	2	Random	15.8 ⁸	31.8 ⁸	8.0 7.0	16.0 14.0	2.0 ⁹ 3.0
Modified cube Hexapod Toskane Tribar	2	Random	6.5	7.5	—	5.0	5
	2	Random	8.0	9.5	5.0	7.0	5
	2	Random	11.0	22.0	—	—	5
	1	Uniform	12.0	15.0	7.5	9.5	5
Quarrystone (K_{RP}) Graded angular	—	Random	2.2	2.5	—	—	

Figur 4.18: Tabell över K_D -värden från SPM (1984).

Det framräknade värdet på stenens medelblockvikt används sedan för att beräkna den ekvivalenta kublängden genom ekvation 4.33.

$$D_{n50} = \left(\frac{M_{50}}{\rho_s} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (\text{ekv. 4.33})$$

4.4.4 Betongblock

Om naturliga förutsättningar saknas för att bryta stenblock i närhet av den plats där vågbrytare skall anläggas, är ett annat alternativ till det yttre skyddslagret betongblock. Dessa tillverkas vanligen på plats då blocken är stora samt att antalet som behövs är stort, vilket betyder att transportkostnader minimeras.

Precis som för stenblocken finns det olika beräkningsmanualer att utgå ifrån, nämligen CEM (2006) och SPM (1984). Nedan beskrivs först beräkningsgången för CEM och därefter för SPM.

CEM

Den ekvivalenta kublängden, D_{n50} , beräknas enligt CEM med ekvationen 4.34.

$$D_{n50} = \frac{H_b}{\Delta \times \left(6,7 \times \frac{N_{od}^{0,4}}{N_z^{0,3}} + 1 \right) \times S_{op, toe}^{-0,1}} \quad (\text{ekv. 4.34})$$

där

N_{od} - Antalet betongblock som omplaceras över den horisontella längden en kublängd vilket motsvarar olika skadegrader.

Enligt dimensioneringsmanualen CEM (2006) dimensioneras betongblocken enligt van der Meers formler under antagandet om att blocken läggs i oordnat mönster och dubbla lager med lutningen 1:2,5. Beräkningarna är baserade enligt efter hur många enheter som förskjuts, N_{od} , inom området med längden av en kublängd i vertikalled. Enligt van der Meer kollapsar vågbrytaren då mer än två block förskjuts, varpå dimensionering utförs då maximalt ett block förskjuts som motsvarar skadegrad 2.

För att därefter beräkna betongblockens vikt, M_{n50} , används ekvation 4.35.

$$M_{n50} = D_n^3 \times \rho_b \quad (\text{ekv. 4.35})$$

där

ρ_b – Betongens densitet [kg/m^3]

(CEM 2006)

SPM

Den äldre manualen SPM beräknar betongblockens vikt med ekvation 4.36. Ekvationen är den samma som används för att beräkna stenblockens vikt, med skillnad i K_D -värde och densitet.

$$M_{50} = \frac{\rho_b \times H_b}{K_D \times \Delta^3 \times \cot \alpha} \quad (\text{ekv. 4.36})$$

där

α – Vågbrytarens lutning

På samma sätt som för stenblocken beräknas betongblockens ekvivalenta kublängd enligt ekvation 4.37.

$$D_{n50} = \left(\frac{M_{50}}{\rho_b} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (\text{ekv. 4.37})$$

4.4.5 Tribar

Beräkningar för dimensionering av en vågbrytare med användandet av Tribar görs enligt dimensioneringsmanualen SPM (1984). Denna metod har inte reviderats, varför CEM (2006) använder samma ekvationer.

Storlekarna på Tribar dimensioneras antingen efter icke brytande vågor eller efter vågor som bryter framför eller på vågbrytaren. För att ekvationerna ska gälla bör vågbrytarens front ha en lutning på 1:1,5-1:3. Enheterna kan placeras ordnat i ett lager vilket enligt kapitel 4.4.5 gör att enheterna låser varandra och medför minskning av blockvikt, eller oordnat i lager om två.

Beräkningarna utförs under antaganden om att inga Tribar förskjuts från mitten av krönet och ner till ett djup om halva våghöjden. Sannolikheten för förskjutning är mindre än 5 %. Dessa antaganden, tillsammans med om vågorna bryter eller inte och om enheterna läggs slumpmässigt eller i mönster, ger ett värde på stabilitetskoefficienten K_D . Ekvation 4.38 används för att beräkna medelvärdet av blockvikten M_{50} , och ekvation 4.39 används för att beräkna den ekvivalenta kublängden D_{n50} .

$$M_{50} = \frac{\rho_s \times H_b^3}{K_D \times \Delta^3 \times \cot(\alpha)} \quad (\text{ekv. 4.38})$$

där

K_D - Stabilitetskoefficienten [dimensionslös].

α - Vågbrytarens lutning [grader el. radianer].

$$D_{n50} = \left(\frac{M_{50}}{\rho_b} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (\text{ekv. 4.39})$$

4.4.6 Tetrapod

Som nämndes i kapitel 4.4 om vågbrytare, fås möjligheten att kunna låsa blocken mot varandra vid användandet av Tetrapoder, vilket minskar kravet på blockvikten.

CEM

Enligt dimensioneringsmanualen CEM (2006) dimensioneras Tetrapoder enligt van der Meers formler under antagandet om att enheterna läggs i oregelbundna lager om två med lutningen 1:2,5. Beräkningarna är baserade enligt efter hur många enheter som förskjuts, N_{od} , inom området med längden av en kublängd i vertikalled. Enligt van der Meer kollapsar vågbrytaren då mer än 1,5 Tetrapoder förskjuts. Dimensioneringen genomförs enligt CEM med $N_{od} = 1$ vilket motsvarar skadegrad 2. Kublängden D_{n50} beräknas enligt ekvation 4.40.

$$D_{n50} = \frac{H_b}{\left(3,75 \times \frac{N_{od}^{0,5}}{N_z^{0,25}} + 0,85\right) \times \Delta \times S_{op, toe}^{-0,2}} \quad (\text{ekv. 4.40})$$

där

D_{n50} – Ekvivalenta längden av en kub med samma volym som en Tetrapod.

SPM

Enligt SPM (1984) dimensioneras enheterna enligt antaganden om att inga Tetrapoder förskjuts från mitten av krönet och ner till ett djup om halva våghöjden. Sannolikheten för förskjutning är mindre än 5 %. Dessa antaganden ger ett värde på stabilitetskoefficienten K_D som sedan används i ekvation 4.41 för att beräkna M_{50} . Ekvation 4.42 används för att beräkna den ekvivalenta kublängden D_{n50} .

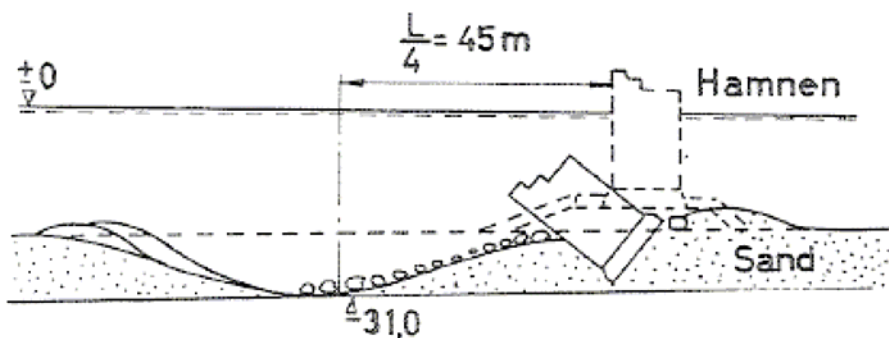
$$M_{50} = \frac{\rho_s \times H_b^3}{K_D \times \Delta^3 \times \cot(\alpha)} \quad (\text{ekv. 4.41})$$

$$D_{n50} = \left(\frac{M_{50}}{\rho_b}\right)^{\frac{1}{3}} \quad (\text{Ekv. 4.42.})$$

(CEM 2006)

4.5 Erosionsskydd

När vågor kommer in mot vågbrytaren kommer dessa att bryta, varpå bottenmaterial grävs ur framför vågbrytaren. För att inte denna ska undermineras då vågorna bryter, bör ett erosionsskydd anläggas minst en fjärdedels våglängd ut från vågbrytaren. Om denna längd ej uppfylls kommer vågen i sitt lägsta läge, vågbuken, att erodera bort botten, vilket förklaras i Figur 4.19 för att sedan äventyra hela vågbrytarkonstruktionen.



Figur 4.19: Figur föreställande hur långt ett erosionskydd bör läggas ut från en vertikal vågbrytare. I detta fall har inkommande våg en våglängd på 180m (E. Reinius 1973).

Att vågbuken är den farligaste delen av vågen med avseende på erosion beror på att vattenpartiklarna i dessa lägen har de högsta hastigheterna då vattenpartiklarna vid noderna i stort sett står still.

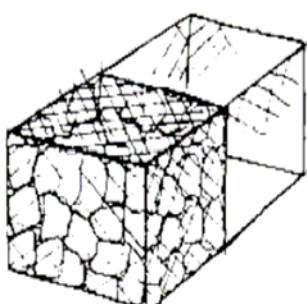
Valet av material beror på vad som finns att tillgå i området, men det vanligaste är stenblock. Dessa beräknas enligt CEM (2006) via ekvationen 4.43.

$$D_{n50} = \frac{H_b}{\Delta \times \left(0,24 \times \frac{h_b}{D_{n50}} + 1,6 \right) N_{od}^{0,15}} \quad (\text{ekv. 4.43})$$

där

h_b – Avståndet från medelvattenytan till erosionskyddets översta del [m]

$$M_{n50} = D_n^3 \times \rho_b \quad (\text{ekv. 4.44})$$



Figur 4.20: Figur över gabion (Vägverket 2007)

Om tillgången på sten är dålig går det t.ex. att fylla gabioner, Figur 4.20, med mindre sten, som tillsammans har den minsta erforderliga vikten som beräknats. Andra typer av erosionsmaterial är betong som läggs ut som en matta framför vågbrytaren. Det finns även olika kombinationer, en sorts matta med hål som fylls med betong och sten, gabioner fyllda med både sten och betong osv. (Vägverket 2007)

4.6 Inseglingrännan och hamnbassäng

Inseglingrännan är den sjöväg som båtarna använder som in- och utfartsled till hamnen. Vid hård sjö behöver farleden vara säker och skyddad mot vågor. Därför bör detta tas i stort beaktande vid projektering och planering av en ny hamn.

En inseglingrännan beskrivs enklast som en muddrad korridor in i hamnen och dess hamnbassäng. Om djupet i rännan är större än båtarnas dimensionerande djupgående behövs ingen muddring. Det minsta erforderliga djupet på rännan beräknas enligt Handboken Bygg (1985) genom ekvation 4.45.

$$D_{Ränna} = 1,15 \times d_{båt} + s \quad (\text{ekv. 4.45})$$

där

$D_{Ränna}$ – Djupet i inseglingrännan [m]

$d_{båt}$ – Båtens djupgående [m]

s – Säkerhetsmarginal, beror på bottens beskaffenhet [m]

Detta betyder att inseglingrännan bör vara 15 % djupare än båtarnas djupgående, under förutsättningen att inseglingen sker under oskyddade förhållanden. Är inseglingen skyddad kan koefficienten minskas till 10 %. Säkerhetsmarginalens storlek beror av extremväder, men även på vilken typ av material som botten består av. Är det hårdare material ansätts den till 0,9-1,5 meter och är botten av mjukare material ansätts den till 0,3-0,5 meter.

Den erforderliga bredden på farleden beror på om den ska vara en enkel- eller en dubbelsidig farled. En enkel farled beräknas enligt ekvation 4.46 och en dubbelsidig enligt ekvation 4.47.

$$B_{Farled} = 3 \times b_{båtbredd} \quad (\text{ekv.4.46})$$

där

B_{Farled} – Farledsbredd på inseglingrännan

$b_{båtbredd}$ – Dimensionerande båts bredd

$$B_{Farled} = 5 \times b_{båtbredd} \quad (\text{ekv. 4.47})$$

(Handboken Bygg 1985)

Om en inseglingrännan anläggs så att den kommer kröka, finns regler för hur stor innerradien får vara. Enligt Handboken Bygg (1985) är den minimala kurvradien 5 dimensionerande båtlängder. Om det enbart är mindre båtar som använder inseglingrännan kan denna radie minskas något, då de har mindre svängradie än större båtar.

Hamnbassängen är det vattenområde som finns innanför vågbrytarna, där båtar ska kunna lossa och lasta under skyddande förhållanden. Bassängens storlek beror på hur stor yta båtarna tillsammans med bryggorna upptar, samt de ytor som behövs för manövrering och förtöjning. Utformningen ska också eliminera risken för att det ska uppstå resonansfenomen i bassängen som t.ex. stående vågor.

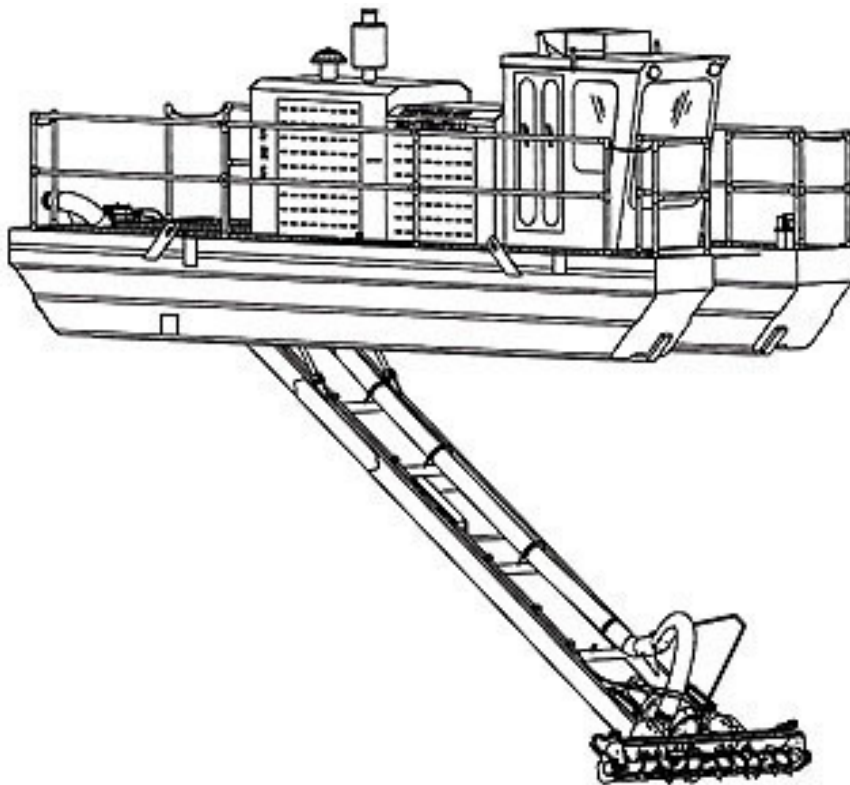
Då båtarnas hastighet i hamnbassängen är lägre än i inseglingrännan kan hamnbassängens djup vara något mindre. Enligt Handboken bygg (1985) beräknas generellt sett vattendjupet i hamnbassängen, $D_{\text{hamnbassäng}}$, genom ekvation 4.48, dock med minsta avståndet 0,5 m mellan båtens köl och hamnbassängens botten.

$$D_{\text{Hamnbassäng}} = 1,05 \times d_{\text{båt}} \quad (\text{ekv. 4.48})$$

4.7 Muddring

För att en hamn överhuvudtaget skall fungera krävs att vattendjupet i hamnbassäng och inseglingränna överstiger fartygens och båtarnas djupgående. Om vattendjupet där en hamn ska anläggas är mindre än båtarnas, måste muddring ske. Muddring kan liknas vid ordinär schaktning fast under vattenytan.

Beroende av vad botten består av finns det olika lösningar och maskiner för att muddra. Består botten av lösare material finns det en sorts "dammsugararm" från ett mindre fartyg/pråm som gräver och sedan suger bort bottenmaterialet, se Figur 4.21. Om botten är hårdare finns det grävskopor ståendes på pråmar som istället gräver upp materialet. Består botten däremot av hårdare material som t.ex. berg, kan undervattenssprängning behöva utföras. Vattendjupet spelar också in i vilken sorts muddringslösning som skall användas.



Figur 4.21: Exempel på muddringspråm.

Om bottenmaterialet på den plats där vågbrytaren skall anläggas består av lösare material skall muddring av hamnbassängen ske till halva vågbrytarens bredd. Detta beroende på att vågbrytarens insida skall gå ända ned till botten för att inte underminering på grund av erosion skall ske. Om däremot bottenmaterialet består av hårdare material, som t.ex. berg, kan vågbrytaren anläggas ovanpå detta, utan att vara anlagd till hamnbassängens botten. Dock bör ett större spår muddras för att vågbrytarens inre tå inte skall halka ut i bassängen.

Muddring är oftast en stor del i en hamns anläggningskostnad och valet av hamnens placering bör ses ur ett muddringsperspektiv. Dock är det oftast så att platsen helt enkelt får anpassas efter den verksamhet som skall ske i hamnen. Då gäller det vid projektering att, i den mån det går, se till att hamnen och dess inseglingstränna inte sedimenterar igen med korta intervall. Annars leder det till stora kostnader i form av underhållsmuddring (Harryson 2007).

4.8 Kaj

En kaj definieras som en marin konstruktion där fartyg kan förtöja, lossa eller lasta, och som är landansluten utefter hela dess längd. Med hänsyn till kajens funktion, vattendjup, grundförhållanden m.m. finns det många olika typer av kajkonstruktioner. De fyra vanligaste är spontkajer, pålkajer, pelarkajer samt murkajer, se Figur 4.22.

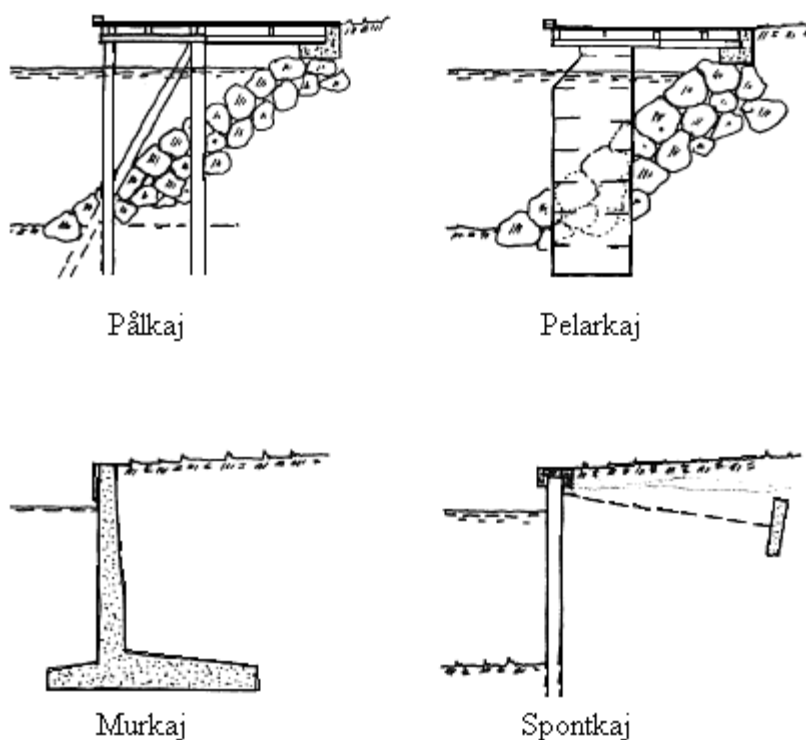
4.8.1 Kajtyper

Spontkajer består av en spont som är slagen ned till berg eller ett bestämt djup. Spontens uppgift är att stå emot det jordtryck som massorna bakom sponten bildar, för att inte hela kajen ska rasa ned i vattnet. Sponten kan bestå av stål, trä eller betong, där stålsPonten vanligen används. Spontkajen tillämpas bäst då undergrunden består av friktionsmaterial (sand eller grus) eller då belastningarna på kajplanet är stora. Förekommer det sten eller block i marken förhindras neddrivningen av sponten. Fördelen med en spontkaj är att den är relativt okänslig för större punktlaster och för erosionsskador. I och med att det är en vertikal konstruktion kan det dock bli problem med vågreflektion vid kajkanten varför det kan vara svårt att angöra, samtidigt som riskerna ökar för att båtarna slås sönder mot kajen vid hårt väder.

Kajdäcket för en pålkaj bärs som namnet avslöjar upp av pålar. Däcket kan antingen utformas som en lätt konstruktion av ex. betong eller så kan den fyllas med friktionsmaterial. Denna typ av konstruktion är mycket tillämpbar då undergrunden består av lera, eller då inga vågreflektioner tillåts mot kajkanten. Detta görs genom att utrymmet under kajdäcket är öppet och material läggs i en relativt flack lutning för att mindre reflektion skall uppstå. Dock erfordras ett erosionskydd för att bortspolning ej ska ske av materialet. Pålkajen är som mest ekonomisk då grundförhållandena gör att spontkajer inte kan tillämpas. Pålarna kan antingen bestå utav betong, trä eller stål.

En pelarkaj utformas i princip på samma sätt som en pålkaj, med skillnaden att pålarna byts ut mot bärande pelare eller kassuner som oftast är kraftigare och tar då större laster än pålarna. Detta leder till att avståndet mellan pelarna görs större än vid pålkajerna. Denna konstruktion är lämplig att använda då pålning ej kan ske pga. mäktiga vattendjup.

En murkaj består utav en stödmur som grundläggs på fast botten. Stödmuren består antingen utav armerad betong eller i form av betongkassuner, vilka bildar en vertikal vägg. De olika typerna av murkajer är alla relativt tunga konstruktioner, varför grunden bör vara så pass bärig att den tål de uppkomna grundtrycken. Då murkajen utformas som en vertikal vägg kan det uppstå problem med reflekterande vågor.



Figur 4.22: Figur över olika typer av kajkonstruktioner (utdrag ur fritidshamnar konstruktionsuppgift).

Vad gäller övriga landområden vid kajen behövs platser för upptagning och sjösättning av båtar. Antingen via ramper eller genom dockor, där kranar används för att lyfta upp respektive sjösätta båtarna. Kajytan inom båtupptagningsområdet måste därför kunna tåla relativt tung trafik. Då det ofta återfinns torrdockor intill båtupptagningsområdet bör kajytan ha en ytbeläggning som inte ger upphov till damm, då detta kan vålla problem vid målning eller annan ytbehandling av båtarna (Handboken Bygg (1985)).

4.8.2 Byggnader

I fiskehamnar behövs tillgång till redskapsbodar där yrkesfiskarna kan förvara fiskeutrustning i form av nät osv. Det behövs även en byggnad där is framställs som används för att hålla fångsten kall. Det finns även behov av en mindre reparationsverkstad samt en anläggning för förvaring och bunkring av bränsle.

4.8.3 Bryggor

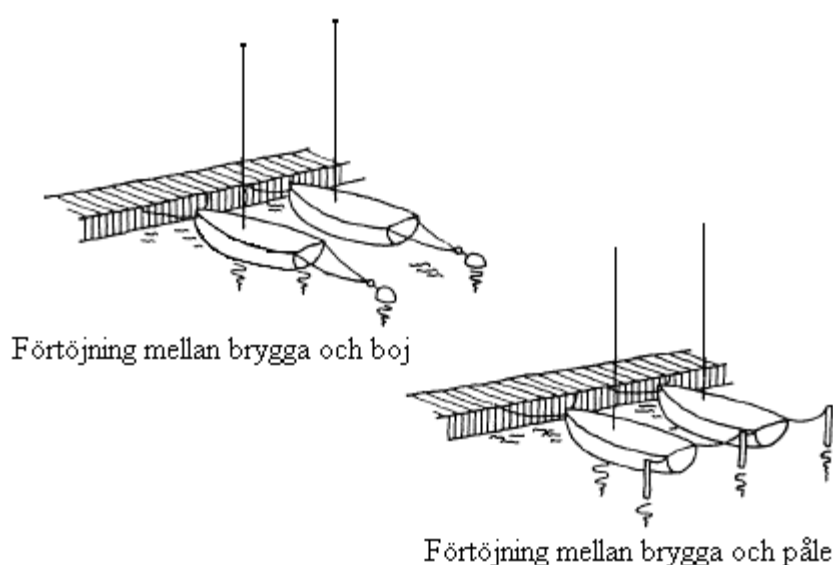
En brygga definieras som en marin konstruktion, antingen permanent eller provisorisk, som båtar kan lägga till vid. Bryggan har dock bara förbindelse med land på vissa ställen. Bryggorna kan antingen utföras som öppna konstruktioner, flytande

eller grundlagda på pålar/pelare, eller som massiva konstruktioner. Typen av brygga baseras på rådande klimatförhållanden samt de ekonomiska ramarna för projektet.

Då hamnen är skyddad kan den enklare typen av bryggor grundlagda på pålar med däck av trä eller betong användas. Om det råder ogynnsamma förhållanden för pålning, pga. geotekniska förhållanden, kan mellanstöd utförda som kassuner användas. Om hamnen är utsatt för väder och vindpåverkan väljs istället en massiv konstruktion eller någon typ av fristående murkaj. Flytande bryggor används vid skyddade hamnar med stora nivåvariationer mellan ebb och flod.

4.8.4 Förtöjningar

En båt kan förtöjas intill en brygga på flera olika sätt. Den kan antingen förtöjas mellan brygga och boj eller mellan brygga och påle, se Figur 4.23.



Figur 4.23: Princip över hur båtar lägger till mellan brygga och boj respektive brygga och påle. (Utdrag ur hamnar, konstruktionsuppgift)

Förtöjning mellan brygga och boj är i de flesta fall användbart, men denna lösning bör undvikas då vattendjupet är större än 6 meter. Vid stora vattendjup ökar risken för båtarnas svängning i sidled pga. ankarkättingens längd. Detta gäller också vid stora vattenståndsvariationer pga. tidvatten. Denna lösning kräver relativt sett stora avstånd mellan bryggorna. Vid beräkning av avståndet, A , mellan bryggorna krävs ett minimiavstånd om 3,5 gånger dimensionerande båtlängden, det vill säga enligt följande ekvation:

$$A = 2 \times l_{\text{båtlängd}} + 1,5 \times l_{\text{båtlängd}} = 3,5 \times l_{\text{båtlängd}} \quad (\text{ekv. 4.49})$$

där

$l_{\text{båtlängd}}$ – Dimensionerande båtlängd

Vid förtöjning mellan brygga och pålar bör vattendjupet inte överstiga 5-6 meter på grund av för stor hävvarm bildas. Det bör inte heller förekomma stora vattenståndsvariationer på grund av att spänningarna i förtöjningarna blir för stora vid variationer. Pålmateriäl av trä bör inte användas då bryggan anläggs i varmare vatten med salthalter över 0,8 %, eftersom där finns angripande pålmask. Ett bättre alternativ är att använda korrosionsskyddade pålar av metall.

Vid kajer där mindre båtar förtöjer med sidorna mot kajkanten är det både enklast och billigast att använda bildäck som skydd mellan båtens sida och kajkant. Detta alternativ är också billigast vid bryggförtöjning (Bergdahl L).

4.8.5 Vägar och Logistik

En hamn är egentligen inget annat än en plats där omlastning sker från farkoster på vatten till farkoster på land, eller tvärtom. Detta betyder att logistiken i en hamn bör vara så enkelt uppbyggd som möjligt, vilket gäller allt från till- och utfarter till framkomligheten på kajen.

Till- och utfarter bör helst, om omgivande natur och ekonomi tillåter, vara separata vägar. Detta för att det ofta sker stora och tunga transporter till och från hamnen. Exempel på detta kan vara lastbilstransporter av båtar och bränsle. Om den omgivande naturen inte tillåter separata vägar, bör vägen konstrueras så att den är bredare än normalt för att inga incidenter skall ske pga. Tunga och breda transporter. (Handboken Bygg (1985))

Framkomligheten på en kaj är av största betydelse då det ofta är stor trafik vid av- och pålastning av båtar. Trafiken består mest av truckar som kör mellan båtarna och den plats där lasten avlastas. Därför är den ideala kajen en plats med stora ytor och avlastningsplatser. Dock är detta en ekonomisk fråga, varpå de flesta hamnar inte har de ekonomiska möjligheterna för detta. Det gäller då att på ett tidigt stadium planera trafikens rörelsemönster på kajen för att utforma denna på bästa sätt.

5 Förutsättningar

Detta kapitel beskriver hur kravspecifikationen från de Libyska beställarna ser ut, t.ex. vilket djup de vill att hamnen minst ska ha, hur många fiskebåtar som skall få plats, hur inseglingrännan ska se ut osv. Även de geologiska förhållanden som platsen för byggandet av hamnen ser ut, såväl i vatten som på land. Efter utredning av dessa punkter börjar en preliminär utformning av hamnen ske, då dessa punkter tillsammans styr den resterande projekteringen.

5.1 Kravspecifikation från beställare

Beställaren av fiskehamnen är ”People’s Committee of Tajoura nawahy Elarbha”, och projektet ingår i ett större planeringsprojekt för regionen närmast Tripoli.

De krav som beställaren ställt inom ramen för de avgränsningar som författarna av denna rapport gjort är följande:

- Hamnbassängen ska ha ett djup om minst 4 meter vid lågvattenstånd
- Fiskehamnen ska hysa 72 st. kajplatser för båtar om 3,5 x 12 meter med djupgåendet 2 meter, 48 platser för båtar om 5,5 x 18 meter med djupgåendet 1,3 meter
- Vågbrytaren ska dimensioneras efter 50-årsvågen.
- Muddring ska ej ske med tätare intervall än vart femte år.
- Verksamheten i hamnen ska kunna fortskrida dygnet runt utan att säkerhet eller användarvänlighet åsidosätts, t.ex. lastning och lossning av fångst.
- Kostnaden för underhåll ska vara lågt under hamnens livstid då beställaren hellre tar en högre anläggningskostnad för att minska underhållskostnad.
- Tång och annan växtlighet ska ej ansamlas vid inlopp eller i hamnbassäng

Utöver de krav som beskrivs ovan är följande beställarkrav ledande för vissa antaganden samt för vissa enklare beräkningar:

- Inseglingsrännan ska vara säker och funktionell för att kunna angöra hamnen på säkert sätt vid hårt väder
- Våghöjden i hamnbassängen får ej vid normala förhållanden överstiga 0,3 meter, samt ej överstiga 0,5 meter vid extrema förhållanden
- Bryggorna till båtarna ska vara minst 4 meter breda där de större båtarna lägger till, samt 3 meter för de mindre båtarna

- Kajen ska utformas så att verksamhet kan bedrivas enkelt och säkert
- Det ska finnas en ramp för upptagning av mindre båtar, samt en plats där lyftkran med lyftkapacitet på minst 50 ton kan ta upp större båtar
- Verkstad med enklare form av ramp eller kran ska finnas
- Förrådsbyggnader: 72 byggnader av storleken 3 x 4 meter och 48 st. av storleken 4 x 5 meter
- Lagerlokaler samt servicestationer för is och bränsle ska vara lättåtkomliga och funktionella
- Vägar till och från hamnen måste fungera tillfredsställande med hänsyn tagen till säkerhet och funktionalitet

5.2 Områdesbeskrivning

Det tänkta området där fiskehamnen ska anläggas ligger vid Slesla, belägen ca 30 km öster om Tripoli i Libyen. Området direkt söder om hamnens tänkta position, dvs. Libyens inland, består mestadels av flack jordbruksmark på ett välkonsoliderat sandlager med underliggande sandstensberggrund, se Figur 5.1. Eftersom jordbruksmarken tar upp det mesta av ytan, finns ingen skog och få träd och buskar. En större väg från väster, Tripolihållet, passerar nära området för den tilltänkta hamnen. Till denna väg är det tänkt att det ska byggas en på- och avfart för att täcka upp hamnens logistik och försörjningsbehov.



Figur 5.1: Satellitbild över området där hamnen ska anläggas, samt beskrivning av kustlinjens geografi.

5.2.1 Markområde

Det markområde 1,5 km österut från det område där hamnen ska byggas har ett ganska likartat utseende utmed hela sträckningen. Området består av höga klippor som har en brant sluttning ned mot en minimal sandstrand (maximalt 20 meter bred och minimalt 5 meter bred), som har fått sitt utseende från erosion genom årens lopp, se Figur 5.1. Erosionen från nederbörd har också satt sina tydliga spår i de sprickor vilket tydligt ses i bilderna i appendix 14. Materialet från dessa raviner och övrig stranderosion har tillsammans med sedimenttransporten byggt upp den strand som går utmed delar av den relativt karga kusten.

Området 1,5 km västerut från hamnen sett har ett annat utseende. Dock återfinns fortfarande höga klippor med brant sluttning ned mot smalare stränder. Här har erosionen satt djupare spår och grävt ut vikformationer mellan de områden som har mindre erosionsbenägenhet, se Figur 5.1. Det sediment som har lösgjorts pga. erosion har byggt upp de stränder som finns österut efter en viss sedimenttransport. Detta kan leda till problem för den tänkta hamnen i form av att muddringar behöver utföras med vissa års mellanrum.

Växtligheten på klipporna består av mindre träd och buskage. Dessa hjälper till att hålla ihop den annars ganska lätteroderade marken mot nederbörd och vind med sina rötter. Dock är växtligheten mindre utbredd västerut, och därför kan erosionen där vara mer påtaglig.

5.2.2 Kustlinje

Det område där hamnen ska byggas avgränsas i väster av en utskjutande udde och i öster av en gammal stenpir. Området mellan dessa avgränsningar består främst av flackt berg som sedan sluttar starkt ned mot havet, där brantaste lutningen är ca 60 % och den flackaste lutningen 19 %. Kustlinjen utmed samma sträckning är i det närmaste rak efter uddens slut i väster. Stranden i den västra delen är smal för att sedan i öster övergå till en strandbredd om ca 30 meter. Denna strand har dock tillkommit efter att stenpiren byggts, pga. sedimenttransport, se Figur 5.2 i Kapitel 5.2.7 .

5.2.3 Geologiska förutsättningar mark

Hela Libyen ligger i ett område som i stort sett domineras av öken, ett resultat av det varma klimat som är och har varit i området. Detta har gett spår som syns tydligt i geologin för området. Platsen för hamnens byggande är inte något undantag. Enligt rapporten *Geotechnical Investigations Slesla Harbour (2005)*, där lagerföljden beskrivs i två borrhål ovanför branten ned mot vattnet, består de översta 30 meter av bunden sand. Denna bundna sand är, som sagts i kap 5.2.1, ett erosionskänsligt material. Rapporten beskriver även ett tredje borrhål som i djupled nästan tar vid där de andra slutar. Det är borrarat vid stenpiren i närheten vid stranden, där lagerföljden är annorlunda. Här är kalksten dominerande vilken är betydligt mindre känslig för erosion än den bundna sanden.

5.2.4 Material att tillgå i området

Enligt stycket 5.2.3 ovan består markprofilen av bunden sand som övergår till kalksten. Den bundna sanden är inte lämplig att använda som byggmaterial då det är poröst och har låg hållfasthet. Det enda användningsområdet är därför att använda det som fyllning i t.ex. vägbankar eller kassuner, för förklaring av kassuner se kapitel 4.8.1 samt 8.4. Även kalkstenen har visat genom undersökningar att det är för dålig kvalitet för att använda som byggmaterial för det yttre skyddslagret på vågbrytaren, vilket betyder att det endast kan nyttjas som fyllning eller kärnmaterial.

För att använda material som uppnår de krav för porositet, hållfasthet och storlek finns en bergtäkt ca 80 km in i Libyens inland. Detta kommer att medföra en hög påfrestning för miljön pga. de många transporter som behövs (Batman 2007).

5.2.5 Vattenområde

Det är svårt att genom okulärbesiktning avgöra hur djupförhållandena är i området utanför stranden. Därför måste antaganden om hur vattenområdet ser ut säkerställas genom undersökningar. Detta sker genom besiktning av sjökort, hydrografi djupkartering i området, se appendix 1, samt borrhålsundersökningar, Geotechnical Investigations Slesla Harbour (2005).

I det aktuella området finns de ovan beskrivna mätningarna endast i det område som ska nyttjas, dvs. mellan den västra udden och den östra stenpiren samt 330 meter norrut. Utöver detta kommer sjökort nyttjas, dock finns inget mer detaljerat att tillgå i området än över hela Libyens kust i skala 1:500 000 (International Chart Series).

5.2.6 Geologiska förutsättningar vatten

Enligt rapporten Offshore Geotechnical Investigations Slesla Harbour (2005), har 8 borrhål utförts utanför stranden ned till ett djup om 10 meter under medelvattenytan. Resultatet från borrhållarna visar att samma berg- och jordarter framkommer i stort sett i alla borrhål, dock med olika lagerföljder. Skillnaden i lagerföljd visar att området har genomgått olika stadier av erosion och sedimentering. För att få en helt klar bild av hur det ser ut just där hamnen ska byggas bör en mer utförlig analys och undersökning av området utföras efter det att läget av hamnen är bestämt, och då med djupare borrhåll. Dock kan en generell lagerföljd bestämmas, med de hittills gjorda undersökningarna. På botten ligger ett hårdare material, oftast i form av kalkrik sandsten eller kalksten. Två borrhål längre ut från kusten påvisar hård packad lera och silt, se appendix 2.

5.2.7 Vattendjup

För att projektera en hamn måste de största förväntade fartygens eller de största båtarnas djupgående bestämmas. För denna hamn i Libyen ligger fiskebåtarnas djupgående på 2 meter, vilket, enligt ekvation 4.48, medför ett minsta vattendjup om 2.5 meter. Detta värde är mindre än beställarens krav på 4 meter, varför det dimensionerande djupet på hamnbassäng och inseglingräna väljs till 4 meter vid senare dimensionering.

Vattendjupet har dokumenterats grundligt i det aktuella och avgränsade området på den plats där hamnen är tänkt att placeras (se appendix 1). Undersökningar visar att vattenområdet är relativt grunt i hela området, där det största vattendjupet är 7,3 meter mätt ca 330 meter nord-nordost från strandlinjen. Dock varierar djupen, men oavsett var hamnen ska anläggas behövs omfattande muddringsarbeten för hamnbassäng och, beroende på hamnutformning, även inseglingränna. Bottens lutning på platsen för hamnens tänkta plats är generellt sett 1:30.

Tidvattnet på denna plats i Medelhavet är relativt liten, undersökningar har påvisat om vattendjupsförändringar om 0,5 meter vid flod samt -0,1 meter vid ebb i förhållande till medelvattendjupet (International Chart Series).

En annan parameter som indata skall korrigeras för är de klimatförändringar som sker och kommer att fortgå, där det förutspås att isen vid de båda polerna kommer att smälta något. Gällande direktiv för hur vattendjupet vid Norra Afrikas kust kommer att förändras ligger på + 0,3 meter, vilket hänsyn kommer att tas till.

Vid atmosfäriska tryckförändringar kan vattennivån antas öka med 0,2 meter, vilket hänsyn tas i dimensioneringen av vågbrytare och kajer.

De undersökningar som är gjorda med avseende på vattendjupet, appendix 1, antas vara gjorda vid lägsta vattenstånd, det vill säga vid normala tryckförhållanden och vid ebb.

Utmed en kust finns det alltid strömmar, antingen vinddrivna eller naturliga, som t.ex. kustnära - eller tidvattenströmmar. Genom okulär besiktning av de bilder som finns från den tänkta platsen för hamnens byggande antas strömmarna generellt komma från väster. Denna slutsats bygger på den ansamling av sediment som under årens lopp lagrats på västra delen av stenpiren, ett antagande som Figur 5.2 påvisar.



Figur 5.2: Satellitbild över området som visar den sedimentansamling som skett intill den gamla stenpiren.

5.2.8 Sediment och växtlighet

På platsen för anläggandet av hamnen finns det tecken på sedimenttransport, vilket går att se i Figur 5.2. Även befintliga hamnar i området har påvisat problem med detta, vilket betyder att problemet finns och bör ges stort utrymme i de hamnutformningar som föreslås (Munthe).

Dock har strömmars riktning och storlek inte fastställts i området genom undersökningar, utan bara antagande om hur stora de är. Detta betyder att resultatet av de gjorda beräkningarna får ses som en översiktlig prognos av sedimentvolym, och nya undersökningar för exakta beräkningar bör göras.

Bottenväxtligheten på den tänkta platsen är inte stor. Däremot är detta ett problem då det, med ytvattnets hjälp, flyter iland stora sjök av tång och annat sjögräs som lossnat från botten. Detta problem finns ingen direkt lösning på då ytvattnet uppträder olikt vattnets huvudmassa.

Även på botten sker en viss drift av växtlighet. Denna följer med bottenströmmarna för att vid ett hinder stanna upp tills en bottenström av en annan riktning tar tag i den. Slutmålet på denna förflyttning av växtlighet blir oftast en strand eller i någon djupare form av bottensänka (Munthe 2007).

För en hamns del är bottenväxtligheten oftast inte ett stort problem förrän det släpper från botten och når en inseglingräna. Denna räna styr bottenväxtligheten in i hamnen, vilket kan medföra uppgrundningseffekter och försvåra för fartyg eller båtars navigation inom hamnområdet.

5.3 Vindar i området

Statistik över vindförhållandena för norra Afrikas kust har hämtats från organisationen NOAA, National Oceanic & Atmospheric Administration, som innehar databasen NNDS CLIMATE DATA ONLINE. Statistiken varar över en 10-årsperiod och har hämtats från kuststäderna Zuara, Tripoli, El Khoms, Misurata och Darnah. Statistik har även hämtats från Kelibia i östra Tunisien samt från öar med väderstationer i Valletta (Malta) och Lampedusa.

Statistiken består av registrerade vindhastigheter och vindriktningar för de ovan nämnda mätstationerna, vilket sedan har sammanställts i vindrosor för var och en av städerna. Statistiken är baserad på medelvindar som registrerats 24 gånger per dygn.

Då ingen väderstation finns på den plats där fiskehamnen skall anläggas finns inga exakta statistiska uppgifter om vindförhållandena. Detta betyder att beräkningarna av de dimensionerande parametrarna inte kommer att stämma helt överens med verkligheten.



Figur 5.3: Översiktskarta på nordvästra Afrika med använda väderstationer markerade (Google Earth).

5.3.1 Kelibia

Staden Kelibia hör till grannlandet Tunisien och ligger ca 500 km nordväst om Slesla, se Figur 5.3. Kelibia ligger på precis intill det sund som går mellan Sicilien och Tunisien och kan därför sägas återspegla det vindklimat som kommer in västerifrån mot Medelhavet mycket bra. Vid Kelibia har det under perioden 1995-2006 uppmätts maximala medelvindstyrkor mellan 11-13 m/s från väst nordväst på nivån 30 meter över havet. Enligt statistiken är de dimensionerande vindriktningarna väst, väst-nordväst, varifrån 11,8 % respektive 10,4 % av det totala antalet registrerade vindar kommer.

Att den dimensionerande vindriktningen kommer från väster kan förklaras med att Kelibia ligger långt ut på en udde i norra Tunisien, helt öppet mot väster, varför stryklängden i denna riktning sägs vara oändlig.

5.3.2 Zuara

Zuara är belägen 140 km väster om den plats i Slesla där hamnen ska anläggas, se Figur 5.3. Mätningarna av vindhastigheterna har utförts tre meter över havsnivån, och statistiken har genomförts under åren 1996-2006.

De dimensionerande vindarna kommer från väster, där maximala vindhastigheten under denna period uppgår till mellan 16-18 m/s. Av det totala antalet vindarna under mätperioden var 0,1 % av denna högsta hastighet. För stationen i Zuara kommer 18 % av vindarna från öster, 13 % från öst nordöst samt 12 % från norr.

Zuara ligger i en bukt som skyddas från västliga vindar av Tunisiens landmassor, vilket förklarar varför det under mätperioden inte förekommit någon större andel västliga vindar.

5.3.3 Tripoli

Libyens huvudstad Tripoli ligger ca 30 km väster om Slesla, och mätstationen är placerad vid Tripolis internationella flygplats, se Figur 5.3, på en höjd av 63 meter över havet. De högsta uppmätta vindarna har en hastighet av 13-15 m/s och har av det totala antalet vindar under perioden 1996-2006 registrerats 0,1 % för riktningarna öst-nordöst, sydöst, syd-sydöst samt syd. Dimensionerande vindriktning för Tripolis internationella flygplats är öster varifrån 10 % av vindarna kommer. Andra frekventa riktningar är öst-nordöst samt väst.

Mätstationen i Tripolis internationella flygplats skyddas från nordväst av Tunisiens landmassor, vilket kan vara en förklaring till att det uppmätts få vindar från denna riktning.

5.3.4 El Khoms

Staden El Khoms ligger ca 65 km öster om Slesla, se Figur 5.3. Vid El Khoms har det under perioden 1996-2006 uppmätt högsta vindhastigheter om 13-15 m/s, på en höjd av 22 meter över havsnivån. Den mest förekommande vindriktningen är norr 12,3 %, men det förekommer även många vindar från öster 8,8 % samt från söder 7,6 %. Se vidare.

El Khoms skyddas ifrån väster av Tunisiens landmassa samt den större udde i Libyen där staden Tripoli är anlagd. Däremot norrifrån är området oskyddat vilket ger en stryklängd på 460 km, varför de dimensionerande vindarna kommer härifrån. Österifrån skyddas El Khoms av Libyens Östra bukt där städerna Benghazi samt Al Bayda är belägna. Längsta stryklängden, 800 km, är uppmätt mot Grekland som ligger nordost i förhållande till El Khoms

5.3.5 Misurata

Misurata ligger ca 150 km öster om Slesla, Figur 5.3, och statistiken för mätstationen gäller mellan åren 1996-2006. Mätningarna har utförts 32 meter över havsnivån. De högsta uppmätta vindhastigheterna ligger mellan 13-15 m/s och kommer då främst från norr. Dimensionerande vindriktning för Misurata är norr, varifrån 14,2 % av vindarna kommer. Övriga dominanta vindriktningar är nord-nordväst samt söder. Att den dimensionerande vindriktningen får vågor är nordlig beror på att den längsta stryklängden är uppmätt i denna riktning.

5.3.6 Darnah

Darnah ligger ca 850 km öster om Slesla, på andra sidan av den stora bukt som innefattar större delen av norra Libyen, se Figur 5.3. Mätningarna av vindhastigheterna har utförts 26 meter över havsnivån, där de högst uppmätta vindarna främst kommer från sydväst med styrkor upp mot 16-18 m/s. Dessa vindstyrkor har även uppmätts väst-nordväst, samt nordväst. Dimensionerande

vindriktning för Darnah är nord-nordväst samt nordväst varifrån 24,4 % respektive 21,2 % av vindarna kommer.

Den dimensionerande vindriktningen kan förklaras genom att staden är skyddad av landmassor mot väster, men ligger helt öppen för nordvästliga vindar, och har en uppmätt stryklängd av 830 km.

Då Darnah ligger på den östra sidan av den stora bukten, anses inte dess statistik vara representativ för Sleslaområdet.

5.3.7 Lampedusa

Lampedusa ligger på ön med samma namn och hör till Sicilien. Lampedusa ligger strax väster om Malta, se figur 5.3. Staden där mätningarna utförts ligger ca 310 km nord-nordväst om Slesla, och dessa har utförts 20 meter över havsnivån. Högsta uppmätta vindhastigheter ligger kring 14 m/s och dimensionerande vindriktningar är nord, nord- nordväst.

Då ön Lampedusa ligger i mitten av sundet mellan Tunisien och Malta kan statistiken från denna ses som god för att förutsäga hur vindarna som kommer in från nordväst, påverkar vågklimatet i västra Medelhavet. Att det blåser så lite från väster kan förklaras genom att stryklängden i den riktningen är förhållandevis liten, då Tunisien ligger rakt västerut från ön Lampedusa.

5.3.8 Valletta

Valletta är Maltas huvudstad och ligger ca 350 km nord-nordöst i förhållande till Slesla, se Figur 5.3. Högsta uppmätta vindhastigheter för perioden 1995-2006 ligger mellan väst och väst nordväst, och mätningarna har utförts 91 meter över havet. Se vidare appendix 3.1-3.3.

Malta ligger relativt öppet mot väster, varför den dimensionerande vindriktningen kommer härifrån. Högsta uppmätta vindhastighet för perioden är 13-15 m/s från väster, respektive väst-nordväst.

Även om Valletta ligger helt öppet mot öster och sydöst, varför den största stryklängden ligger i denna riktning, kommer väldigt få vindar från denna detta håll. Även om Valletta skyddas i väster av Sardinien och senare Spanien och Gibraltar, så måste ändå den stora stryklängden över Atlanten beaktas. Därav är de mest frekventa uppmätta vindarna på Valletta från väst-nordväst.

6 Dimensionering

Detta kapitel beskriver dimensioneringen av fiskehamnen i Slesla. Kapitlet kommer att redovisa resultat från beräkningar vad gäller dimensionerande vindar, vågor och den vågdrivna sedimenttransporten i området. Vidare redovisas resultat för beräkningar av blockstorlekar för flera typer av material vid olika vattendjup. Även krönhöjder för olika vattendjup och den översköljning de medför kommer att redovisas. Beräkningarna är grundade på de teorier som beskrivits i kapitel 4. Resultaten kommer sedan att användas till den slutgiltiga utformningen av fiskehamnen i Slesla.

6.1 Dimensionerande vindar

Enligt redogörelsen i kapitel 5.3 för respektive mätstation framgår det att vindar kommer från i stort sett alla riktningar. Den statistik över vindarna som antas återspegla vågklimatet bäst är statistiken från Valletta. Denna station ligger längst från land, vilket betyder att den är minst påverkad av landmassor. Detta antagande bygger på många faktorer i området, där den ena är att en landbaserad station i norra Afrika är starkt påverkad av vindar som uppkommer i den varma Saharaöknen.

Resultaten visar en högsta vindhastighet från riktningen NV om 23,1 m/s för 50-årsvinden, se Tabell 6.1. Dimensionerande riktning för 1-årsvinden är densamma med hastigheten 15,7 m/s.

Tabell 6.1: Vindhastighet och dess riktning för beräknad 50- respektive 1-årsvind.

Riktning	F [km]	U ₁₀ 50-år [m/s]	U ₁₀ 1-år [m/s]
NV	500	23,1	15,7
NNV	930	21,4	14,0
N	490	17,3	11,4
NNÖ	940	17,8	11,5
NÖ	860	17,2	11,3
ÖNÖ	890	20,5	13,4
Ö	670	20,7	13,9

Det högsta resultat som visas i tabellen kommer att användas för senare beräkning av den dimensionerande våghöjden.

Beräkningen för 1-årsvinden har beräknats för att återspegla hur vindklimatet, och därefter kan 1-årsvågen beräknas, kommer att se ut under ett år. Detta för att kunna förutse hur många dagar under ett år som det kommer att ske ev. översköljningar, hur höga vågor som befaras att vara i hamninloppet osv.

6.1.1 Diskussion

Då de indata som inhämtats begränsas till 10 år föreligger det osäkerheter. Dels kan vindmätningarna skett under ovanligt lugna 10 år och dels kan extrapoleringen till 50-årsvinden vara felaktig. Konsekvenserna av detta är att vindhastigheten kan vara för låg, vilket resulterar i att all data som vindhastigheten baseras på får för små värden. Dock kan det vara precis tvärtom, att dessa 10 år har varit extremår. Då fås en vindhastighet som är alldeles för stor för normalfallet, vilket får konsekvensen att anläggandet av hamnen kommer bli dyrare än normalfallet.

Även antagandet hur länge en storms varaktighet kan vara fel. I normalfallet varar en storm i detta område ett dygn men extremfall kan inträffa (Alexandersson 2007). Detta betyder att vinden blåser under en längre tid vilket resulterar i högre vågor som slår in mot den framtida hamnen.

6.2 Dimensionerande våghöjd

De dimensionerande 50-årsvågorna är beräknade utifrån vindstatistik från mätstationen på Valletta, där vågornas riktning antas följa vindarnas. Beräkningarna är utförda enligt kapitel 4.2 för de vågor som inkommer för riktningar $\pm 90^\circ$ räknat från strandens ortogonal.

De dimensionerande riktningarna som används är de med högst beräknad våghöjd för vardera sidan av strandens ortogonal. Enligt resultatet kommer de högsta vågorna från riktningarna nord-nordväst samt öst-nordöst. Med hjälp av Google Earth uppskattades stryklängderna till 930 km samt 890 km, se Tabell 6.2. De dimensionerande vågorna infaller i $-47,5$ graders vinkel i förhållande till strandlinjens ortogonal för de nord-nordvästliga vågorna samt $42,5$ graders vinkel för de öst-nordöstliga.

Tabell 6.2: Dimensionerande 50-års våg, H_{s0} , med avseende på stryklängd.

Riktning	Stryklängd [km]	Varaktighet [h]	U_{10} [m/s]	H_{s0} [m]	T_p [s]	L_0 [m]
NV	500	22,9	23,1	9,41	13,05	266
NNV	930	35,7	21,4	11,68	15,55	377
N	490	24,9	17,3	6,59	11,55	208
NNÖ	940	38,1	17,8	9,44	14,51	328
NÖ	860	36,3	17,2	8,68	13,90	301
ÖNÖ	890	35,0	20,5	10,88	15,07	354
Ö	670	28,8	20,7	9,57	13,78	396

Dessa stryklängder kräver dock en varaktighet om 35,7 samt 35,0 timmar, vilket överskrider den stormvaraktighet om 24 timmar som rekommenderats enligt Alexandersson (2007). Genom att iterera fram ett nytt värde på stryklängderna för att på så sätt uppfylla kravet om varaktigheten 24 timmar fås en ny våghöjd, se Tabell 6.3.

Tabell 6.3: Dimensionerande 50-års våg, H_{s0} , med avseende på varaktigheten 24 timmar.

Riktning	Stryklängd [km]	Varaktighet [h]	U_{10} [m/s]	H_{s0} [m]	T_p [s]	L_0 [m]
NV	500	22,9	23,1	9,41	13,05	266
NNV	517	24,0	21,4	8,71	12,78	255
N	465	24,0	17,3	6,42	11,34	201
NNÖ	471	24,0	17,8	6,68	11,53	207
NÖ	463	24,0	17,2	6,37	11,31	200
ÖNÖ	506	24,0	20,5	8,20	12,49	243
Ö	510	24,0	20,8	8,35	12,57	247

Ur tabellen ses att de dimensionerande riktningarna vid beräkning med en varaktighet på 24 timmar är NV och Ö, med våghöjderna 9,41 respektive 8,35 meter. Se beräkningar appendix 4.1

Då vågorna infaller med riktningarna $\pm 90^\circ$ från strandens ortogonal bör koefficienterna för refraktion och uppgrundning, K_r respektive K_s , beräknas. Dessa koefficienter beräknas med hjälp av programmet Wave Calculator (Dalrymple 2007). Efter beräkning konstateras att den dimensionerande våghöjden inkommer från NNV, vilken ses i Diagram 6.1.

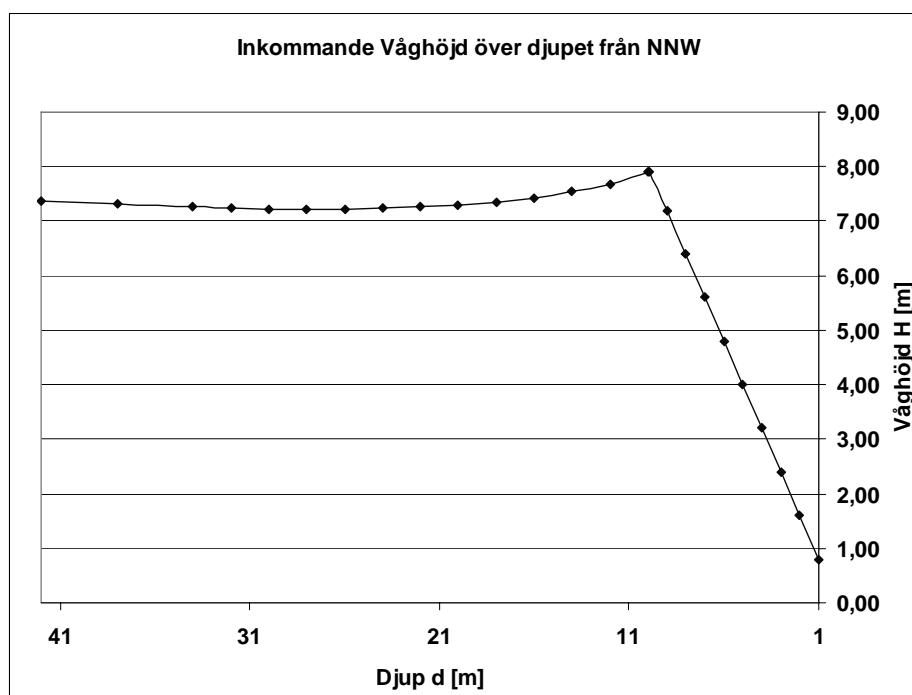


Diagram 6.1: Dimensionerande våghöjd från nord-nordväst med hänsyn till refraktion och uppgrundningseffekter.

Då vågen kommer in på ett djup mindre än 10 meter medför detta att den signifikanta vågen bryter. Då botten lutning är 1:30-1:50 kommer de brytande vågorna, enligt kapitel 4.2, att få en höjd som motsvarar 0,8 gånger vattendjupet. Detta uttryck ersätter effekterna av refraktion och uppgrundning.

6.2.1 Diskussion

Enligt de första beräkningarna måste 50-årsstormens varaktighet bestå mellan 22,9 och 38,1 timmar för att stryklängden ska vara dimensionerande vid vågberäkningarna. Enligt SMHI (2007) bör en 50-årsstorm kring Medelhavet ha en varaktighet om 24 timmar. CEM menar att detta är ett tillstånd som väldigt sällan uppstår, se kapitel 4.2, varför användningen av detta scenario ska tas med tillförsikt. Men då vågbrytaren kommer att anläggas på ett djup som understiger den signifikanta våghöjden anses det vidare att dimensioneringen kan baseras på att stormvaraktigheten är den dimensionerande faktorn vid beräkningarna av dimensionerande våghöjd.

6.3 Sedimenttransport

Vid analys av den geotekniska rapporten Geotechnical Investigations Slesla Harbour (2005), uppskattas sandkornens diameter D_{50} till 0,4 mm.

På grund av beställarens restriktioner vad gäller muddring måste särskild hänsyn tas till problematiken med sedimentering och sedimenttransporter. Detta görs genom uppskattningar av sedimenteringsvolymerna baserade på nettotransporten av sediment i området. Dessa ger ingen direkt uppfattning av framtida förhållanden, utan ska istället analyseras för att se om det finns ett över- eller underskott i området och i så fall var det kan bli ansamlingar av sediment. Resultatet över vilken riktning som nettotransporten sker åt ska sedan användas som underlag för att bestämma vilket av de fyra hamnförslagen som är bäst för att undvika sedimentering av farleder och hamnbassäng. Beräkningarna av den potentiella sedimenttransporten är gjorda enligt kapitel 6.3 om sedimenttransport och resultatet redovisas i sin helhet i appendix 5.

Resultatet från uppskattningen av den kustparallella sedimenttransporten genererad av vågor visar ett nettoflöde från väster till öster om ca 734 000 m³ per år. Se diagram 6.2.

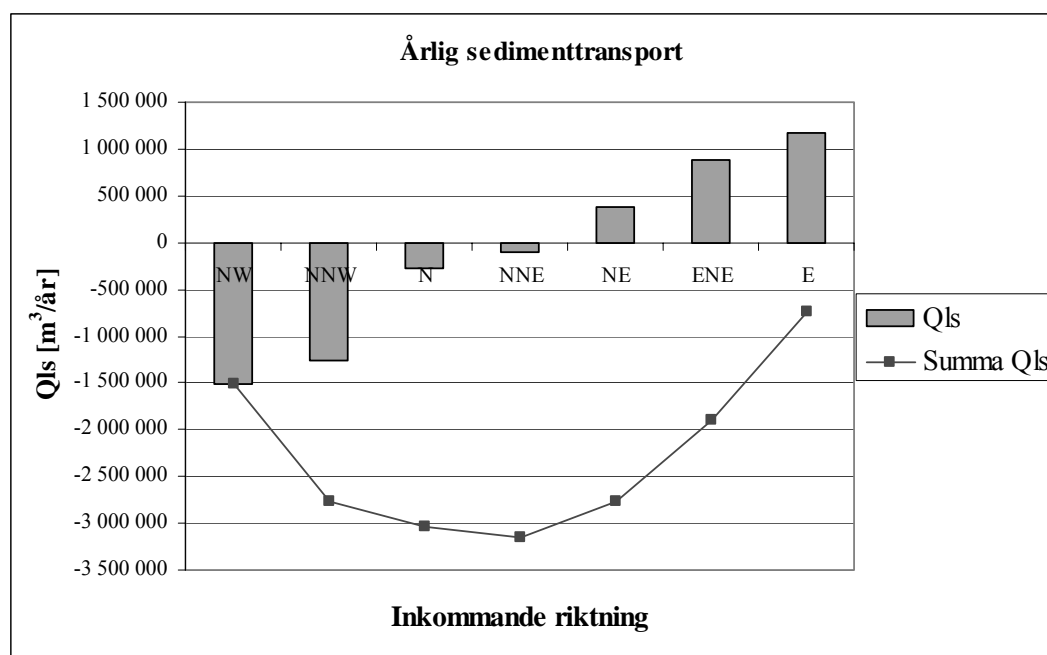


Diagram 6.2: Diagram över den årliga sedimenttransporten.

Att nettotransporten går åt detta håll överensstämmer väl med vad som observerats på plats. Vid studier av bilder tagna över den gamla stenpiren, belägen i den östra utkanten av området, ses en sedimentansamling på den västra sidan, se Figur 5.2. Detta indikerar att nettotransporten generellt sätt är riktad från väster till öster.

6.3.1 Diskussion

Ekvationen 4.18, som använts för att beräkna diagram 6.2 har visats vara gällande både vid tester i laboratorier och i fältstudier (Reeve D., Chadwick A., Fleming C. (2004)).

Beräkningarna, vad gäller nettotransporten, indikerar att det kan bli framtida problem med sedimentering. Dock går det inte via detta resultat att avgöra hur mycket som kommer att sedimentera, eller hur högt sedimenteringen kommer att bygga. Det går alltså inte att med säkerhet förutsäga om det kommer att bli ett problem med sedimentering i hamnbassäng eller hamninlopp.

Det går heller inte med fullständig säkerhet säkerställa att nettotransporten alltid sker från väster. Det kan förekomma enskilda år då nettotransporten går åt den andra riktningen, eftersom de inkommande vågornas riktning är baserat på 10-års statistik. Om tillgång hade funnits till statistik över 50 år hade resultatet givit en större säkerhet.

6.4 Dimensionering av vågbrytare

Vågbrytaren dimensioneras för lovartsidan (yttersidan av vågbrytaren) med en lutning på 1:2,5. Den inre sidan, läsidan, anläggs med en lutning på 1:1,5 för att minska materialåtgången. Att lutningen inte är brantare på läsidan beror på att en flackare lutning ger ett mer gynnsamt vågklimat inne i hamnbassängen.

Läsidan, det vill säga insidan av vågbrytaren, kommer att dimensioneras med samma storlekar på blocken som på lovartsidan. Detta beroende på att viss översköljning kommer att ske, vilket ökar erosionen på läsidan. Även på krönet av vågbrytaren kommer det att vara samma blockstorlek. Bredden på krönet kommer att konstant vara tre block för hela vågbrytarens längd.

6.4.1 Översköljning

Vid beräkning av översköljning har hänsyn tagits till reduceringsfaktorerna γ_r , γ_h , γ_β och γ_b , se appendix 6.1-6.3. Som nämnts i kapitel 4.4.2, dimensioneras översköljningen efter två kriterier, antingen under normala omständigheter eller extrema förhållanden då viss skada tillåts på anläggningen. Exempel på olika krav vad gäller översköljning kontra verksamhet ges i Figur 4.16 i Kapitel 4.4.2. Våghöjder vad gäller normal verksamhet är de som uppkommer 1 gång per år, och våghöjder vid extrema förhållanden är de som återkommer var 50:e år. Då vågorna vid 50-års stormen bryter på djupet 10 meter, är den högsta våghöjden som träffar konstruktionen 5,6 meter. Detta medför i praktiken att tillståndet uppkommer oftare än vart 50:e år dvs. vart 5:e år.

Då inga båtar kommer att vara förtöjda i direkt anslutning till vågbrytarna anses det att toleransen för översköljning under normala förhållanden är hög. Denna ansätts till

2 liter per sekund och meter vågbrytare. Om krönhöjden vid normala förhållanden beräknas lägre än den signifikanta används R_{us} som minsta höjden vid dimensioneringen.

Under extrema förhållanden dimensioneras krönhöjden efter signifikanta krönhöjden såvida denna inte understiger kravet om 2 liter per sekund vid normala förhållanden.

De ställda kraven under normala respektive extrema förhållanden ger olika värden på krönhöjden. Den dimensionerande höjden som vågbrytarna kommer att dimensioneras efter är den högst beräknade vid normala respektive extrema förhållanden, samt den signifikanta krönhöjden. För resultat se Tabell 6.4.

Tabell 6.4: Tabell över krönhöjder för gällande villkor enligt CEM (2006).

Djup d [m]	R_{us} 50år [m]	q [l/s*m]	R_{us} 1år [m]	q [l/s*m]	R_c q=2 [m]	q [l/s*m]	Dim R_c [m]
1	0,76	0,551	0,77	0,505	0,61	2,069	0,77
2	1,56	1,307	1,58	1,197	1,46	2,032	1,58
3	2,37	2,199	2,40	2,013	2,40	2,013	2,40
4	3,16	1,062	3,16	1,062	2,90	2,041	3,16
5	3,73	1,378	3,29	3,523	3,55	2,023	3,73
6	4,27	1,018	3,58	3,944	3,95	1,907	4,27
7	4,78	0,470	3,66	4,027	4,00	2,098	4,78
7,5	5,03	0,325	3,70	4,049	4,05	2,084	5,03
8	5,27	0,497	4,00	4,623	4,45	2,097	5,27

Beräkningar har visat att den signifikanta krönhöjden för ett år är dimensionerande till vattendjupet tre meter, där även kravet för en maximal översköljning om 2 liter per sekund är dimensionerande. Därefter dimensioneras krönhöjden efter signifikant krönhöjd för 50-års scenario.

Anledningen till att krönhöjden för ett år är dimensionerande beror på de villkor som är uppställda i kap 4.4.2. Dessa villkor gör att ekvationerna för 1-års vågen hamnar precis i gränslandet för vilken av ekvationerna som ska nyttjas. Dock ses det i tabellen att det endast är en höjdskillnad på maximalt 3 centimeter vilket anses försumbart.

Beräkningar har även gjorts gällande hur stor procentuell andel, P_{ow} , av de inkommande vågorna som översköljer och hur stor volym varje våg översköljer, B och presenteras i Tabell 6.5.

Tabell 6.5: Tabell över andel översköljande vågor samt översköljande volym per våg vid signifikanta krönhöjden.

Djup d [m]	R _c [m]	P _{ow} [%]	B [l/våg]
1,00	0,77	26,71	16
2,00	1,58	20,71	49
3,00	2,40	17,02	60
4,00	3,16	15,18	59
5,00	3,73	15,13	77
6,00	4,27	13,67	63
7,00	4,78	11,35	35
7,50	5,03	10,38	27
8,00	5,27	11,10	38

I Tabell 6.5 ovan syns att vid storm sker det översköljning av vatten för mellan var 4:e våg och var 10:e våg. Volymen av de översköljande vågorna ligger i ett intervall mellan 16 och 77 liter per våg.

6.4.2 Stenblock

Beräkningarna har utförts enligt kapitel 4.4.3. under förutsättningen att skyddslagret på vågbrytaren består av två lager sten. Då vågbrytaren ses som semipermeabel sätts noterbara permeabilitetskonstanten till 0,4. Beräkningarna baseras på stormvaraktigheten 24 timmar. Vågbrytaren har en lutning om 1:2,5 på lovartsidan samt lutningen 1:1,5 på läsidan. Densiteten för sten har antagits till 2650 kg/m³.

I beräkningarna kommer antalet inkommande vågor under stormens varaktighet att begränsas till 7 500 under ett stormtillfälle på 24 timmar om då antalet vågor överskrider detta värde (CEM 2006).

De resultat som beräknats enligt de båda manualerna ses i Tabell 6.6. För beräkningar se appendix 7.1 samt 7.5.

Tabell 6.6: Resultat för stenblocksstorlekar vid beräkning för CEM (2006) och SPM (1984).

Djup [m]	CEM		SPM	
	M ₅₀ [kg]	D _{n50} [m]	M ₅₀ [kg]	D _{n50} [m]
1	106	0,34	70	0,3
2	651	0,63	558	0,59
3	1 882	0,89	1 883	0,89
4	3 992	1,15	4 464	1,19
5	8 022	1,45	8 718	1,49
6	11 501	1,63	15 065	1,78
7	17 183	1,86	23 923	2,08
8	24 319	2,09	35 709	2,38

Stora skillnader i blockstorlek kan ses efter djupet 3 meter i Tabell 6.6 ovan. Detta beror på att beräkningarna i SPM (1984) utförs med konservativt tänkande och stora säkerhetsmarginaler. CEM (2006) däremot har reviderat SPMs beräkningar vid modelleringar och tester som påvisat att stenblocken är överdimensionerade om beräkningsgången för SPM (1984) följs.

Enligt de båda manualerna finns det variationer i beräkningarna. SPM uttrycker en osäkerhetsfaktor på att dess K_D -värde har en variation på 18 %. Detta beror på att stenblockens sammansättning inte är homogen utan varierar från stenblock till stenblock (CEM 2006). Den variation som CEM påvisar är för koefficienten 1,4 i ekvation 4.28. Denna varierar med 6,5 % på grund av samma skäl som för SPM (CEM 2006).

6.4.3 Betongblock

Beräkningarna har utförts enligt kapitel 4.4.4, under förutsättningen att vågbrytaren är semi-impermeabel och skyddslagret består av två lager betongblock. Beräkningarna baseras på en stormvaraktighet om 24 timmar. Vågbrytaren har en lutning om 1:2,5 på lovartsidan samt lutningen 1:1,5 på läsidan. För beräkningar se appendix 7.2 samt 7.6.

Tabell 6.7: Resultat för betongblocksstorlekar vid beräkning för CEM (2006) och SPM (1984).

Djup [m]	CEM		SPM	
	M_{50} [kg]	D_{n50} [m]	M_{50} [kg]	D_{n50} [m]
1	50	0,28	42	0,25
2	447	0,57	334	0,5
3	1 606	0,87	1 128	0,75
4	3 980	1,18	2 674	1
5	10 852	1,65	5 222	1,25
6	14 311	1,81	9 023	1,5
7	23 287	2,13	14 329	1,76
8	35 510	2,45	21 389	2,01

Enligt resultatet i Tabell 6.7 ovan, krävs enligt CEM blockstorlekar om 50 kg vid vattendjupet en meter upp mot 35,5 ton vid vattendjup om 8 meter. Beräkningar utförda enligt SPM kräver blockstorlekar om 42 kg vid en meters djup till blockvikter om 21,4 ton för djupet 8 meter.

Osäkerheten i beräkningarna utförda enligt CEM korresponderar mot en variationskoefficient av storleksordningen 10 %. Detta beror på att betongblockens sammansättning inte är homogen utan varierar från block till block (CEM 2006).

6.4.4 Tribar

Tribar har beräknats för vågbrytare som varierar i intervallet mellan ett till 8 meters djup. Beräkningarna har gjorts enligt SPM (1984), se kapitel 4.4.5. Det har inte skett någon revidering av beräkningsmetoden varför CEM beräknar Tribar enligt samma metodik.

Storlekarna på Tribar dimensioneras efter brytande vågor framför och på vågbrytaren. Enheterna är oordnat placerade i två lager och vågbrytarens kärna är impermeabel. För beräkningar se appendix 7.3 samt 7.6

Tabell 6.8: Resultat för storlekar av Tribar vid beräkning för SPM (1984).

SPM		
Djup [m]	M ₅₀ [kg]	D _{n50} [m]
1	23	0,21
2	186	0,43
3	627	0,64
4	1 485	0,85
5	2 901	1,07
6	5 013	1,28
7	7 961	1,49
8	11 883	1,7

Beräkningar har utförts för de aktuella djupen från ett till 8 meter. Resultatet över beräkningar, Tabell 6.8, visar på att Tribar bör ha en vikt om drygt 23 kg på en meters djup och upp till vikten 11,9 ton för att klara våghöjden 6,4 meter på 8 meters vattendjup.

På grund av den patenterade utformningen av Tribar blir denna konstruktion varken stor eller tung, vilket förenklar arbetet. Dock krävs mer varsamhet vid tillverkandet och utläggning på vågbrytaren då ingen armering finns i dessa konstruktioner, vilket beror på den korrosion som uppstår pga. vattnets salthalt (CEM 2006).

6.4.5 Tetrapod

Beräkningarna har utförts för både CEM och SPM enligt kapitel 4.4.6. Dessa har utförts under antagandet om att Tetrapod läggs i oregelbundna lager om två med lutningen 1:2,5 för lovartsidan samt i lutningen 1:1,5 för läsidan. Vidare antas det att vågbrytaren är impermeabel. För beräkningar se appendix 7.4 samt 7.7

Tabell 6.9: Resultat för storlekar på Tetrapoder vid beräkning för CEM (2006) och SPM (1984).

Djup [m]	CEM		SPM	
	M ₅₀ [kg]	D _{n50} [m]	M ₅₀ [kg]	D _{n50} [m]
1	34	0,24	30	0,23
2	331	0,52	239	0,46
3	1 266	0,81	806	0,69
4	3 279	1,11	1 910	0,93
5	6 866	1,42	3 730	1,16
6	12 563	1,74	6 445	1,39
7	20 947	2,06	10 235	1,62
8	32 629	2,39	15 278	1,85

Enligt resultatet i Tabell 6.9 ovan, krävs enligt beräkningar utförda efter CEM blockstorlekar om 34 kg vid vattendjupet en meter upp mot 32,6 ton vid vattendjupet 8 meter. Beräkningar utförda enligt SPM kräver blockstorlekar om 30 kg vid en meters djup till blockvikter om 15,3 ton för djupet 8 meter.

Osäkerheten i beräkningarna enligt CEM korresponderar mot en variationskoefficient av storleksordningen 10 % (CEM 2006).

6.5 Vågbrytarhuvud

Beräkningarna för vågbrytarhuvudet är utförda enligt CEM (2006) och SPM (1984). Beräkningsmetodikerna för dessa ses i stycke 4.4.3-4.4.5.

Dimensioneringen av det yttre skyddslagret på vågbrytarhuvudena skiljs från beräkningsgången i den övriga delen av vågbrytaren, då beräkningarna baseras på andra K_D -värden. Dessa skillnader i K_D beror på, som sagts tidigare i kap 4.4.1-4.4.5, att vågbrytarhuvudena är mer utsatta av bl.a. diffraktion. Dessa värden på K_D ger större blockstorlekar än för övriga vågbrytaren varför en flackare lutning på 1:3 väljs, för att minska blockstorleken. Vidare anpassas geometrin enligt kapitel 4.4.1 för att förbättra vågbrytarhuvudets stabilitet.

De olika resultaten av beräkningarna ses i tabeller för de olika materialerna i nedanstående kapitel.

6.5.1 Stenblock

Beräkningarna visar att vågbrytarhuvudet bör dimensioneras med stenblock om 2,4 ton vid 3 meters djup upp till 45,8 ton för 8 meters djup om beräkningarna för SPM används, se vidare appendix 8.1. Om däremot CEM nyttjas fås en blockstorlek om 1,9 ton vid 3 meters djup och 23,6 ton vid 8 meters djup. För övriga djup, se Tabell 6.10 nedan.

Tabell 6.10: Tabell över CEM (2004)- och SPM (1984)-beräkningar för stenblock i vågbrytarhuvudet.

Djup [m]	CEM		SPM	
	M_{50} [kg]	D_{n50} [m]	M_{50} [kg]	D_{n50}
3	1 852	0,89	2414	0,97
4	3 894	1,14	5 723	1,29
5	6 937	1,38	11 177	1,62
6	11 140	1,61	19 314	1,94
7	16 638	1,85	30 667	2,26
8	23 569	2,07	45 781	2,59

Om jämförelse mellan blockstorlekarna i övriga vågbrytaren och vågbrytarhuvudet sker ses att skillnaden mellan SPMs beräkningar ger en differens på ca 10 ton, där vågbrytarhuvudet är tyngre. Däremot vid jämförelse mellan CEM:s värden ses att vågbrytarhuvudets block endast är ett ton tyngre. Detta beror på den lutningsändring som skett mellan de två tas med i CEM:s ekvation. I SPM sker en ändring i K_D -värdet som är mer konservativ än CEM.

6.5.2 Betongblock

Beräkningar för betongblock i vågbrytarhuvudet är endast gjort via SPMs manual, se appendix 8.2, eftersom metoden inte reviderats i CEM. Nedan följer Tabell 6.11 för resultat.

Tabell 6.11: Tabell beskrivande betongblocksstorlekar beräknade enligt SPM (1984).

Djup [m]	M ₅₀ [kg]	D _{n50} [m]
3	1 880	0,89
4	4 456	1,19
5	8 703	1,49
6	15 039	1,78
7	23 882	2,08
8	35 648	2,38

Beräkningarna visar på att vågbrytarhuvudet bör dimensioneras med betongblock om 1,9 ton vid tre meters djup upp till 35,6 ton för 8 meters djup.

6.5.3 Tribar

Beräkningar för Tribar i vågbrytarhuvudet är endast gjort via SPMs manual se appendix 8.3, eftersom metoden inte reviderats i CEM. Nedan följer Tabell 6.12 för resultat.

Tabell 6.12: Tabell beskrivande storlekar på Tribar beräknade enligt SPM (1984).

Djup [m]	M ₅₀ [kg]	D _{n50} [m]
3	783	0,69
4	1 857	0,92
5	3 626	1,15
6	6 266	1,38
7	9 951	1,61
8	14 853	1,84

Beräkningarna visar på att vågbrytarhuvudet bör dimensioneras med Tribar om 783 kg vid 3 meters djup upp till 14,9 ton för 8 meters djup.

6.5.4 Tetrapod

Beräkningar för Tetrapod i vågbrytarhuvudet är endast gjort via SPMs manual se appendix 8.4, eftersom metoden inte reviderats i CEM. Nedan följer Tabell 6.13 för resultat.

Tabell 6.13: Tabell beskrivande storlekar på Tetrapoder beräknade enligt SPM (1984).

Djup [m]	M ₅₀ [kg]	D _{n50} [m]
3	1 343	0,82
4	3 183	1,1
5	6 217	1,37
6	10 742	1,65
7	17 058	1,92
8	25 463	2,2

Beräkningarna visar på att vågbrytarhuvudet bör dimensioneras med Tetrapoder om 1,3 ton vid 3 meters djup upp till 25,5 ton för 8 meters djup

6.6 Erosionsskydd

Erosionsskydd har beräknats för stenblock enligt manualen CEM (2006), dvs. enligt förfarandet som beskrivs i kapitel 4.5. För beräkningar se appendix 9 samt Tabell 6.14 för resultat.

Tabell 6.14: Erosionsskyddets stenstorlek beräknat enligt CEM (2006).

Djup	H _b [m]	D _{n50} [kg]	M50 [m]
1	0,8	0,2	21
2	1,6	0,39	157
3	2,4	0,59	544
4	3,2	0,78	1 258
5	4	0,98	2 494
6	4,8	1,17	4 244
7	5,6	1,37	6 814
8	6,4	1,56	10 061

6.7 Inseglingsränna och hamnbassäng

Inseglingsrännan har beräknats enligt kapitel 4.6 där resultatet visar att möjligheten för att minst två båtar skall mötas i denna ger en bredd på 27,5 meter. Det dimensionerande djupet uppgår till 3,2 meter. Dock är beställarens krav 4 meter fritt seglingsdjup vilket betyder att detta värde är dimensionerande.

Hamnbassängens beräknade djup är 2,6 meter. Även detta värde understiger beställarens krav om ett seglingsfritt djup på 4 meter, varpå detta värde är dimensionerande.

Hamnbassängens storlek beror på val av lösning hur utformningen av hamnen ser ut. Detta redovisas i de alternativ som presenteras i kap 7. Dock beräknas det avstånd mellan de bryggor där båtarna förtöjs till ett dimensionerande värde av 42 meter för de små båtarna samt ett värde av 63 meter för de större båtarna. Dessa värden har stor del i hur hamnbassängens storlek kommer att bli, då dessa värden är det minsta avstånd som tillåts mellan bryggorna i hamnbassängen.

6.8 Kaj

Kajens storlek beror på val av utformning av hamnen, som redovisas i kap 8. Dock kan Tabell 6.15 visa hur stor plats de fiskebodas som skall finnas ge en uppfattning av hur stor areal på kajen som går åt:

Tabell 6.15: Den area som går åt för totalt 140 fiskebodas.

Skjul	Antal	Längd [m]	Bredd [m]	Tot. yta [m ²]
Stora	48	5	4	960
Små	72	4	3	864
Yta runt om skjulen			2	1056

Av tabellen ovan ses att en yta på ca 1100 m² på kajen går åt till fiskebodas.

Övriga byggnader för att överslagsmässigt beräkna hur stor den minsta yta på en kaj ses i Tabell 6.16.

Tabell 6.16: Överslagsmässiga storleksberäkningar på övriga byggnader.

Övrigt	[m ²]
Tot. Vägbredd 6 m	
Verkstad samt 4 stora båtar på land	568
Vattentorn	10
Sanitetsfaciliteter	50
Mindre lager samt is-tillverkning	600
Bränsletankar 2*25 m ²	50
Parkering för 60 bilar	2000
Reservyta	2000
Totalt	5303

Till detta krävs den yta som en tvåfilig väg upptar. Denna beräknas enligt tabellen med en total bredd på 6 meter. Denna bredd multipliceras därefter med hur lång kajen skall vara, vilket betyder att detta värde beräknas efter att ett alternativ på erforderlig kajbredd tagits fram.

De beräkningar som gjorts i detta kapitel är, som tidigare nämnts, överslagsmässiga. Därför bör en större reservyta läggas till i den totala ytan för att se till att kajytan inte blir för liten.

7 Förslag på Hamnlayouter

För att lyckas med en projektering är det många faktorer som spelar in, vilket betyder att det oftast inte finns ett entydigt svar på vad som är bäst. Detta kapitel beskriver fyra alternativa hamnar som tagits fram efter de beräkningar och antaganden som gjorts tidigare i rapporten. Av dessa väljs därefter det alternativ som bäst uppfyller beställarens krav.

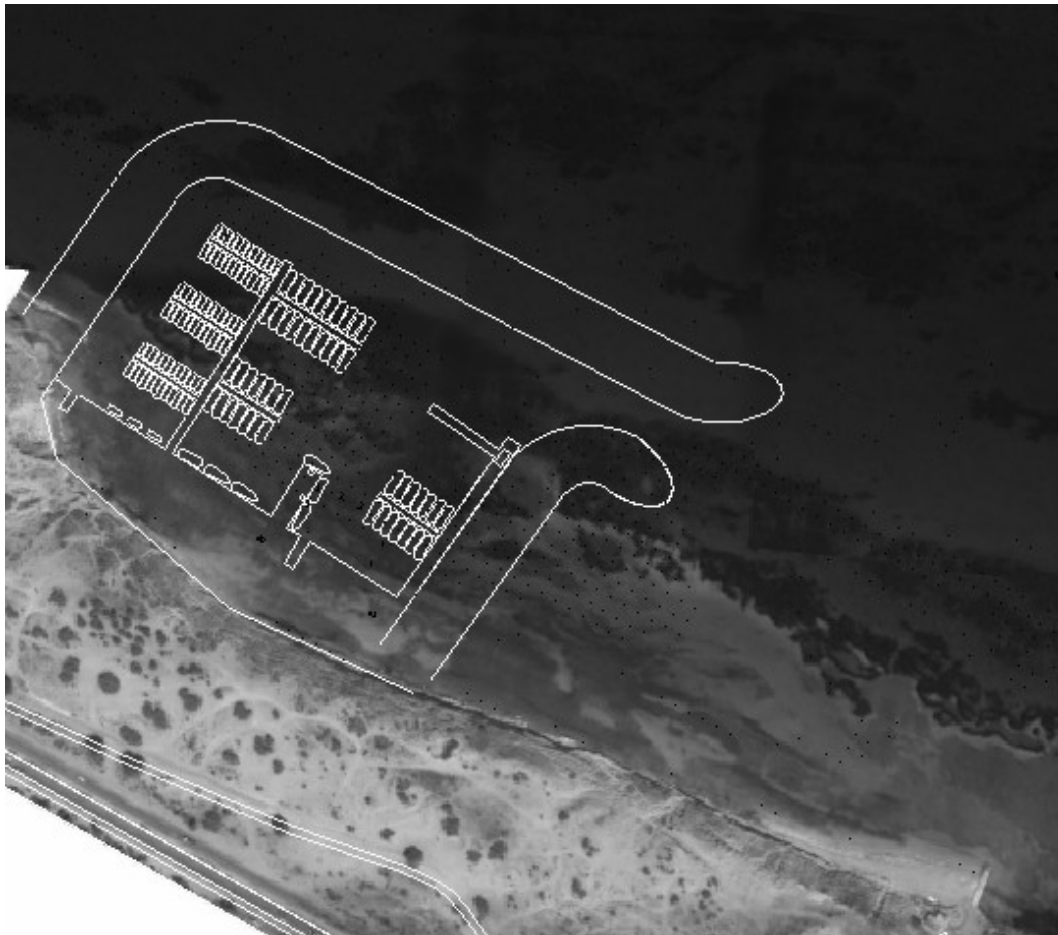
7.1 Generella data för alla alternativ

Alla de olika alternativen är baserade på beställarens krav samt de antaganden och beräkningar som gjorts. Dessa är som följer:

- Då hamnen inte ligger vid en större stad antas det att de som skall verka i hamnen är bilburna. Dock har ingen hänsyn tagits till att alla skall kunna parkera på kajen, då plats för parkering finns utanför hamnområdet.
- Till- och utfartsvägar finns inte med i något av alternativen. Detta kommer att redovisas på det utvalda alternativet i kap 8.
- Djupet i hamnbassäng och inseglingränna är 4 meter för alla alternativ enligt beställarens krav.
- Inseglingrännans bredd är 27,5 meter i alla alternativ vilket ger goda möjligheter för två större båtar att mötas, även vid hårt väder.
- Båtplatser finns för alla 120 båtar, med fördelningen 72 mindre och 48 större båtar.
- Alla båtar har tillgång till en fiskebod där de kan förvara material. Dessa är i alla alternativ 120 st. till antalet.
- Övriga faciliteter som lagerbyggnad, verkstad, istillverkning, bränsle och dylikt finns med i beräkningarna för hamnens storlek.

7.2 Alternativ 1

Det första alternativet, som ses i Figur 7.1, har en hamnbassäng vars yta upptar ca 57 000 m², där muddringsvolymen uppgår till 108 000 m³. Se även appendix 10 för illustration i CAD.



Figur 7.1: Illustration över hamnförslag 1.

Vågbrytaren har en total längd av 720 m, varav det norra vågbrytarhuvudet är 50 meter och det östra 60 meter. Anläggningsdjupet för vågbrytaren på det grundaste stället är 0 meter och på det djupaste 6,5 meter. För det norra respektive det östra vågbrytarhuvudet är djupen 5 meter respektive 2,5 meter.

Problemet med sedimentering löses med att sandfällor muddras, en utanför västra delen av vågbrytaren och en utanför den östra delen. Dessa ska ha en yta som klarar den sedimenttransport som antas finnas på platsen. Det som inte ”fastnar” i dessa fällor får istället en skjuts ut på djupare vatten på grund av att vågbrytarens anläggningsdjup.

Insegling in i hamnen sker från öster. Inseglingsrännan är förlagd på denna plats för att de högsta vågorna kommer från nord-nordväst samt att sikten vid in- och utsegling är god.

De mindre fiskebåtarna har förtöjningsplatser i den västra delen av hamnbassängen. Där finns vid behov för denna båtstorlek en ramp för sjösättning och upptagning. Vid kajen är det reserverat plats för lastning och lossning.

De större fiskebåtarna ligger i mitten och i den östra delen av hamnbassängen, där det även finns lastnings- och lossningsmöjligheter vid kaj. En kran finns i närheten av deras förtöjningsplatser för att relativt enkelt kunna lyfta i och ur båtarna vid behov.

Bränslepåfyllning av båtarna sker vid östra delen av hamnbassängen. Platsen för denna är vald av två skäl, dels för att få bort bränslet från övrig verksamhet samt att den pir där påfyllning sker vid är en enklare form av vågdämpare. Denna anläggs så att om vågor skulle komma in i farleden slås dessa ut eller reflekteras till motstående vågbrytare. Detta leder till att våghöjden minskas innan de kommer in i hamnbassängen. Dock sker detta inte ofta, vilket betyder att båda sidor av piren kan nyttjas som tankplats till största delen av tiden.

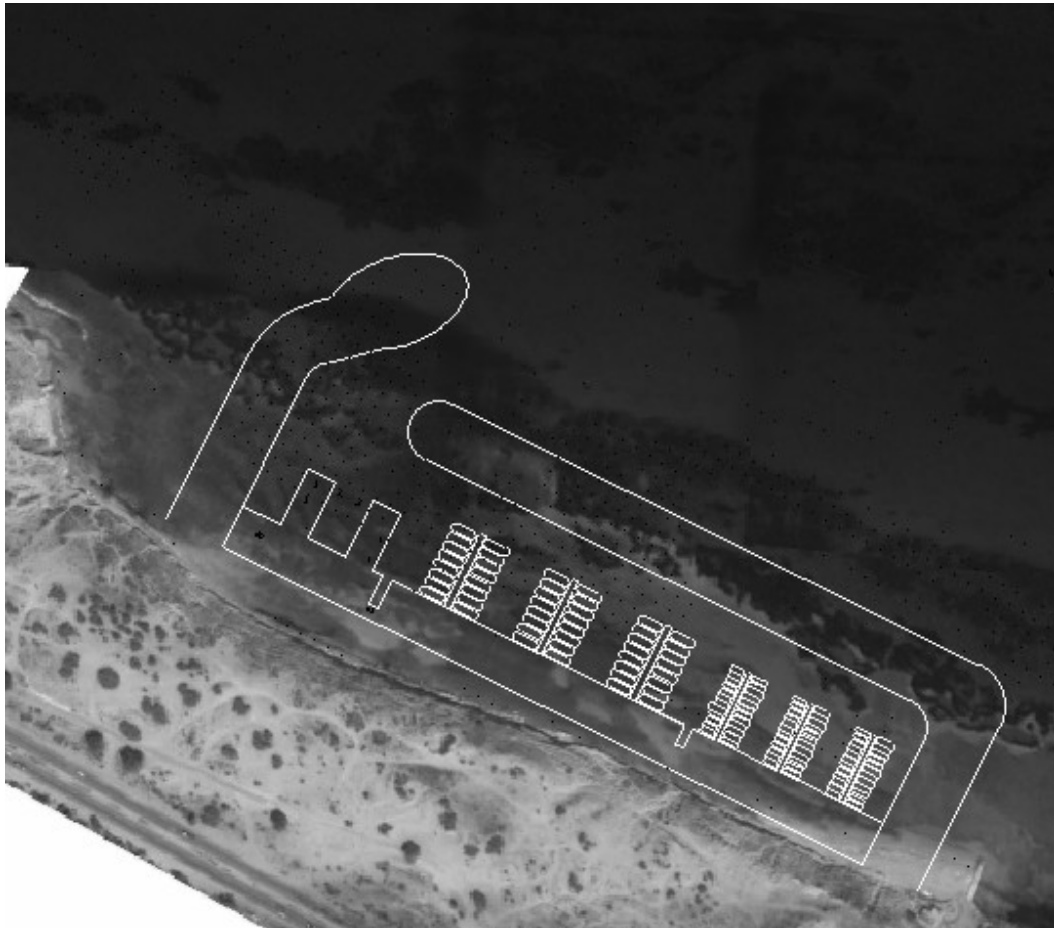
I närheten av lastnings- och lossningskajerna finns en byggnad där det produceras is. Denna är belägen så att yrkesfiskarna kan lägga till med sin båt intill byggnaden för påfyllning av is, vilket förenklar logistiken då ingen transport av is behövs.

Varje båt har tillgång till fiskebodas som är uppställda nära den brygga där båtarna är förtöjda. Anledningen till placeringen är att avståndet till båtarna skall vara så litet som möjligt.

Uppdelningen av mindre båtar i väster och större i öster beror på att de största båtarna ska ha kortare sträcka till sin förtöjningsplats beroende på att de är mer svårmanövrerade än de mindre båtarna.

7.3 Alternativ 2

Det andra alternativets utformning av hamnbassängen, som ses i Figur 7.2, har en yta som upptar ca 70 000 m² där en volym på 153 000 m³ behöver muddras. På grund av att vattendjupet är lågt blir detta alternativ dyrt om bara muddringskostnaden tas i beaktning. Se även appendix 11 för illustration i CAD.



Figur 7.2: Illustration över hamnförslag 2.

Vågbrytaren är grundlagd på ett minsta djup på 0 meter och maximalt 3,5 meter. För det norra vågbrytarhuvudet är djupet maximalt 5,3 meter och det östra -3,2 meter. Den totala längden på vågbrytaren är 720 meter. På grund av de små vattendjupen är detta ett billigt alternativ att bygga en vågbrytare på, tvärt emot muddringskostanden.

Sedimenttransporten löses med hjälp av två sandfällor, en utanför den östra vågbrytaren och en utanför den västra. Vågbrytarhuvudet har förlängts för att på så sätt föra det transporterade sedimentet ut på djupare vatten. Dock finns här en risk att inseglingrännan kommer att bli fylld av sediment snabbare än under de 5 år som beställaren krävt. Detta löses med att bygga en hövd i samma riktning som den västra vågbrytaren, dvs. rakt norrut, för att på så sätt minska sedimenttransporten förbi inseglingrännan. Dock kvarstår sanddriftsproblematiken de tider då transporten kommer från öster. För att avhjälpa detta kan en mindre hövd byggas vinkelrätt mot norra vågbrytaren.

Inseglingstrännan ligger i hamnens västra del. Läget beror på att utanför denna finns det naturligt största vattendjupet. Detta medför att muddringen för trännan blir mindre samt att den bör bli mindre påverkad av sedimentation.

Dock är svagheten på detta alternativ just att inseglingen ligger i väster. Detta beroende på att de inkommande vågorna från öster går rakt in i inseglingstrännan. Detta medför inte bara att båtarnas insegling blir svår, utan även att vågbrytaren måste förstärkas på insidan av den västra delen. Vågklimatet kan också bli lidande om vågen reflekterar på vågbrytaren och in i hamnen. Dock är tanken med placeringen av kajerna att dessa ska ta upp eventuella reflekterade vågor.

En annan svaghet är den båttrafik som kommer att trafikera inne i hamnen. I och med att alla båtar ligger österut om inseglingen måste alla båtar ta sig förbi utanför de båda kajerna samt den första bryggan av stora båtar.

De mindre båtarna ges förtöjningsplatser i den östra delen av hamnbassängen och de stora båtarna i mitten. Detta beror på att de små båtarna har lättare att mötas, på grund av sin storlek, med fler båtar än de större.

En ramp för sjösättning och upptagning av de små båtarna finns i mitten på kajen. För de stora båtarna finns en anordning bestående av en kran eller större truck vid en docka invid bränslestationen.

Stationen för bränsle ligger på den mindre av de två kajerna. Runt denna plats kan det samtidigt angöra 4 stora båtar för att fylla på bränsle.

Den större kajen av de två samt utrymmet mellan används för lastning, lossning samt påfyllning av is. Att det är så många funktioner på ett och samma ställe betyder att det kan bli trångt om många båtar ligger där samtidigt. Dock har det antagits att de som fyller på is är vid denna plats vid andra tider än de som ska lasta eller lossa sin last. Om trängsel ändå uppstår finns utrymmet mellan vågbrytaren och den större kajen att tillgå, då denna är tänkt att fungera som extra yta.

7.4 Alternativ 3

Alternativ tre, Figur 7.3, har en yta av hamnbassängen på 48 000 m². Den volym som måste muddras för att erhålla det erforderliga vattendjupet om 4 meter är 108 000 m³.

Den totala längden på vågbrytaren i detta alternativ är beräknad till 670 meter. Av denna längd består 100 meter av vågbrytarhuvud. Anläggningsdjupet är maximalt 3 meter och minimalt 0 meter för vågbrytaren, medan för vågbrytarhuvudet djupet maximalt uppgår till 6,5 meter.

Sedimenteringsproblemet löses genom att tre sandfällor muddras, en utanför östra vågbrytaren och en utanför den västra. Den tredje sandfällan byggs mellan norra vågbrytaren och det utskjutande vågbrytarhuvudet. Anledningen till att det behövs en sandfälla vid norra vågbrytaren beror på att den utskjutande del som vågbrytarhuvudet utgör skär av den naturliga sedimenttransporten, varför ansamling antas ske på denna plats.

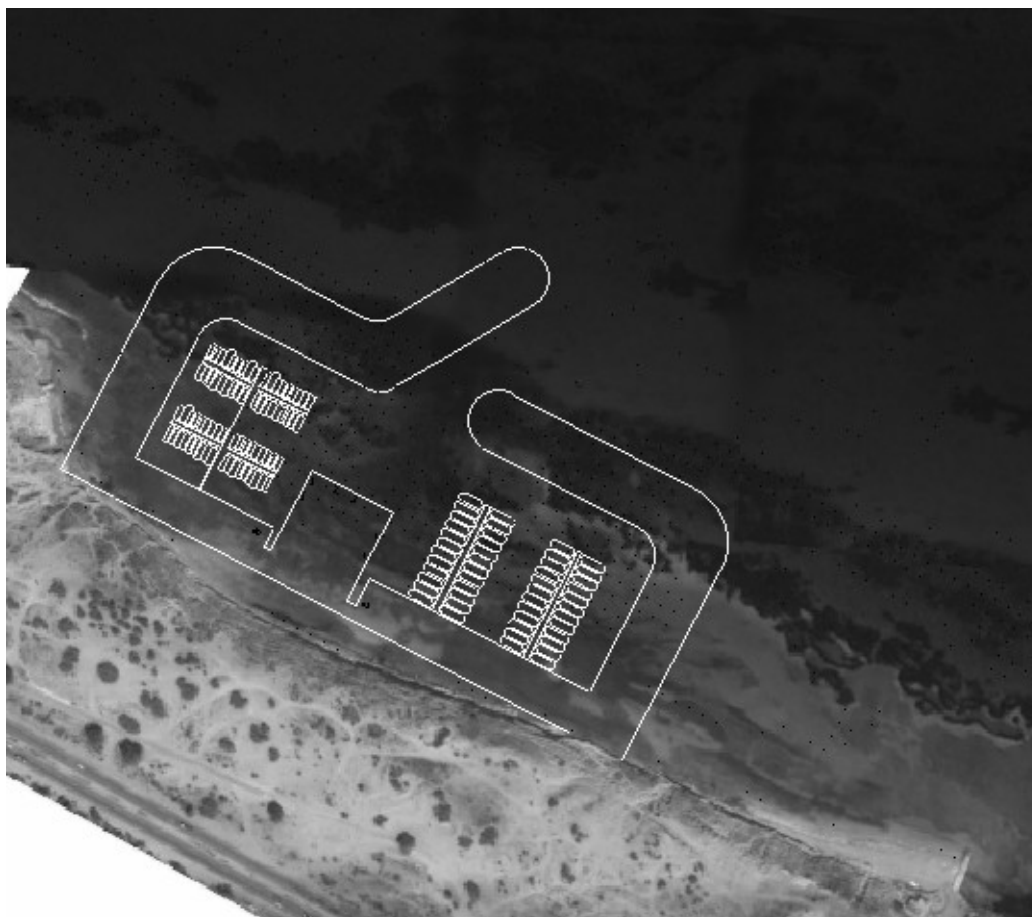
De mindre båtarna ligger i västra delen av hamnen medan de större ligger i östra. Detta beror på att ytan i väster är mindre än den i öster, då de stora båtarna kräver mer utrymme på grund av deras större svängradie.

Detta alternativ har en kaj där det mesta är samlat på en plats i hamnen, som bränsle, is och lastning och lossning. Det betyder att det är nära till det som yrkesfiskarna behöver när de ligger vid kaj, dock så blir det trängre om det är många båtar som lägger till samtidigt.

Inseglingrännan på detta alternativ ligger i mitten av norra vågbrytaren. Detta beroende på att det naturligt finns en djupare del i detta område. På grund av detta behöver inte en inseglingränna muddras.

Utformningen av hamnen, med kajen i mitten, beror på att detta alternativ ger en båttrafik där de olika båtstorlekarna delas upp precis vid ankomst till hamnen.

Ur vågsynpunkt ger detta alternativ relativt gott skydd, dock kan vågor från öster komma in i hamnen. Vid de tillfällen som vågor kommer från denna riktning reflekteras de på vågbrytaren eller vågbrytarhuvudet för att sedan komma in i hamnbassängen. Därför är kajytan belägen på denna plats för att dämpa de reflekterade vågorna. Se vidare appendix 12 för illustration i CAD.



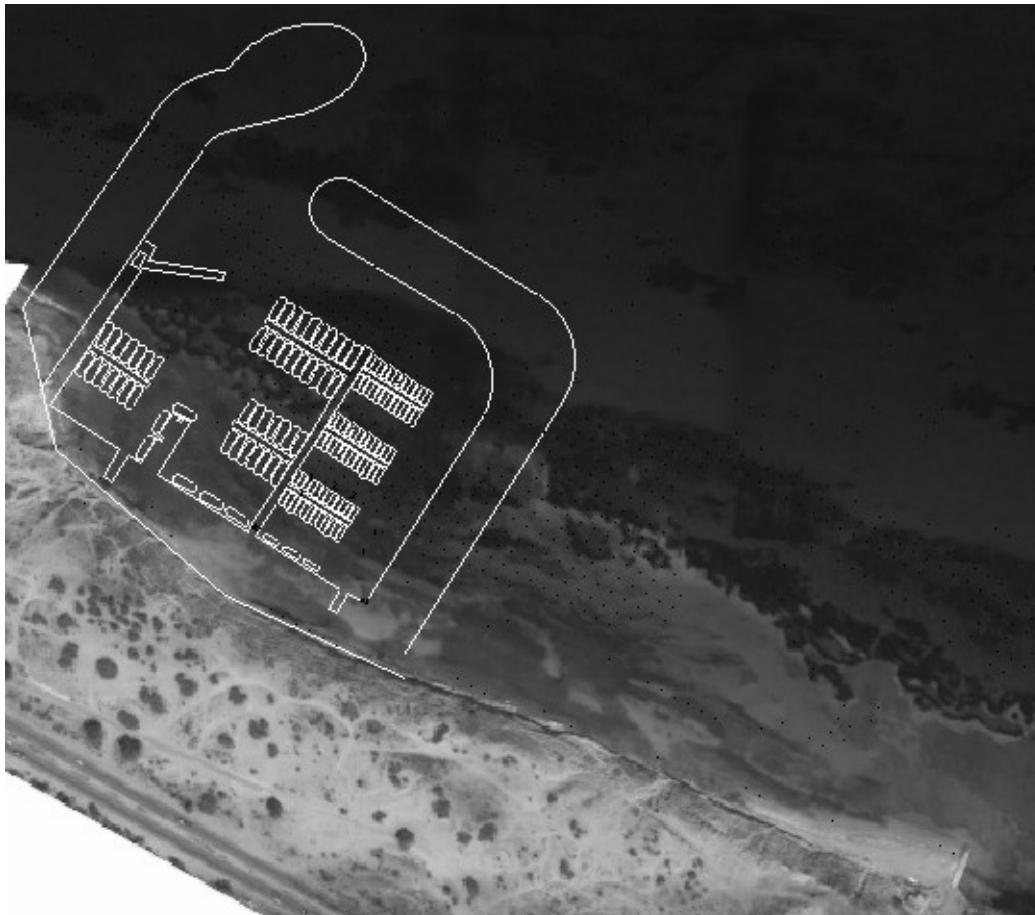
Figur 7.3: Illustration över hamnförslag 3.

7.5 Alternativ 4

Det fjärde alternativet, Figur 7.4, är i stort sett en spegelvänd variant av alternativ ett. Detta betyder att det är samma sorts ytor och längd på vågbrytaren och anläggningsdjup. Skillnaden ligger i att vågbrytarhuvudet har en annan utformning och att piren med bränsle är svagt vinklad.

Vågbrytarhuvudets annorlunda form beror på att sedimenttransporten skall få en skjuts utåt på djupare vatten. Detta är anlagt på djupet 6,5 meter, varför den åtgärden är bidragande till att endast två sandfällor behövs. Dessa muddras utanför den västra samt den östra vågbrytaren.

Öppningen är dock relativt öppen för vågor inkommande från öster, vilket betyder att den västra vågbrytaren måste förstärkas på den sida som vetter mot hamnbassängen. Förstärkningen bör bestå hela vägen till den svagt vinklade piren med bränsle. Anledningen till att denna är vinklad är för den ska fungera som vågdämpare om vågor inkommer i hamnbassängen på detta vis. Se vidare appendix 13 för illustration i CAD.



Figur 7.4: Illustration över hamnförslag 4.

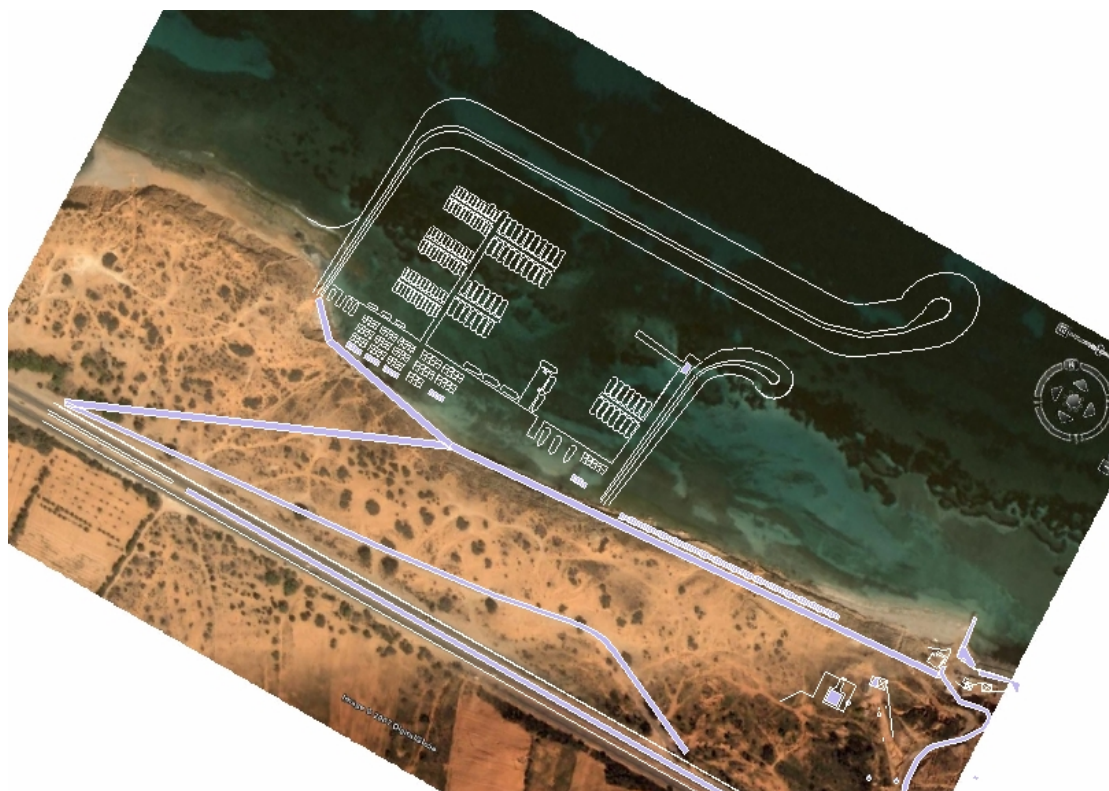
8 Rekommendation alternativ 1

I kapitlet som följer kommer det valda alternativet beskrivas mer utförligt samt beskriva vilka modifieringar som gjorts. Även en överskådlig kostnad kommer att redovisas för att få en uppfattning om hur mycket delar av hamnkonstruktionen kommer att kosta om den byggs enligt detta alternativ.

8.1 Förklaring till val av alternativ

Efter jämförelse av de olika hamnalternativen anses det av författarna att alternativ 1 ger det bästa resultatet. Detta beroende på att alternativet har de bästa förutsättningarna för bla vågskydd, inseglingsförhållanden, sedimenttransport och vågklimat i hamnbassängen. Logistiken inne i hamnen är också god, vilket resulterar i bra arbetsförhållanden för de som ska verka i hamnen.

Modifiering har skett från det tidigare presenterade förslaget för att det ska bli så bra som möjligt. Modifieringarna har skett i samråd med Jittendra Panigrahi, indisk modelleringsspecialist inom vågklimat och sedimentering, samt med Matthew Batman, RAMBÖLL. Modifieringarna beskrivs i nedanstående berörda kapitel och det nya förslaget redovisas av Figur 8.1, samt appendix 15.



Figur 8.1: Figur över rekommenderat hamnförslag.

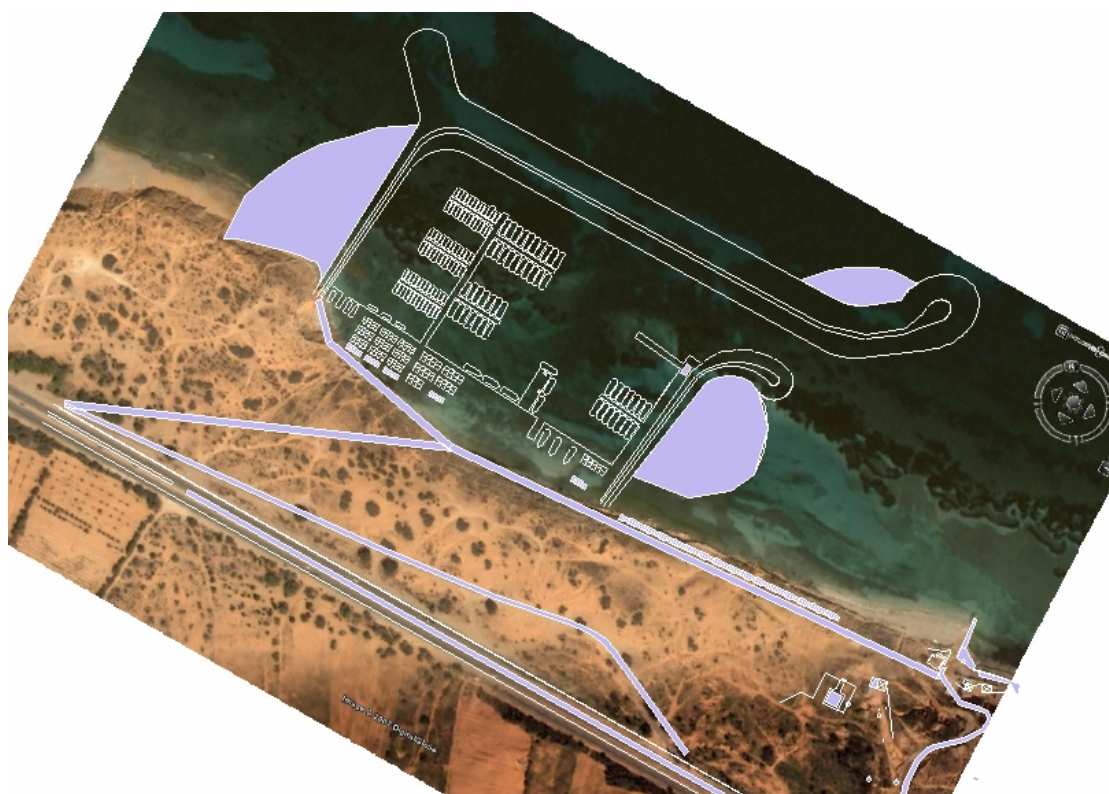
8.2 Muddring

Hamnbassängen i det modifierade alternativ ett har en yta innanför vågbrytaren på 67 000 m². Muddringsvolymerna för att vattendjupet i hamnbassängen inte ska överstiga 4 meter är beräknade till 120 000 m³. Muddermassorna kommer att användas som utfyllnad i kassunerna vilka används som pelare för att bära upp kajen. Inseglingrännan med dess område ska muddras ca 32 000 m³ för att beställarens krav om 4 meters djup ska gälla.

8.3 Sedimentåtgärder

För att motverka sedimenttransporten förbi inseglingrännan anläggs två sedimentfällor, där den ena är belägen utanför den östra vågbrytaren. Den ska ha en storlek på XXX m³. Den andra fällan muddras utanför väster om vågbrytarhuvudet med en total volym på XXX m³.

Efter att hamnen är anlagd bör utvärdering av sedimenttransporten ske genom att mäta hur snabbt sedimentfällorna fylls. Om dessa fällor fylls snabbare än vad som är beräknat bör en hövd byggas. Denna skall byggas från det nordvästra hörnet av vågbrytaren och ut till ett djup av 7 meter. Se vidare Figur 8.2 samt appendix 16 över sedimentåtgärder.



Figur 8.2: Figur över rekommenderat hamnförslag med sedimentåtgärder.

Materialet i hövden bör vara av samma storlek som får vågbrytaren för att klara av de inkommande vågorna utan att kollapsa. Dock behöver den inte vara lika tät som vågbrytaren, dvs. filtret behöver inte vara så tätt.

Enligt RAMBÖLL:s egna observationer på plats är tångdriften i området relativt hög, se appendix 14. Den drift som sker vid botten stoppas med hjälp av två låga nät som spänns upp på botten, vinkelrätt mot inseglingrännans riktning. Det ena nätet spänns upp innan hamnbassängens början och det andra utanför vågbrytarhuvudet. Det yttersta tar då hand om det mesta av den tång och annan växtlighet som sker vid botten.

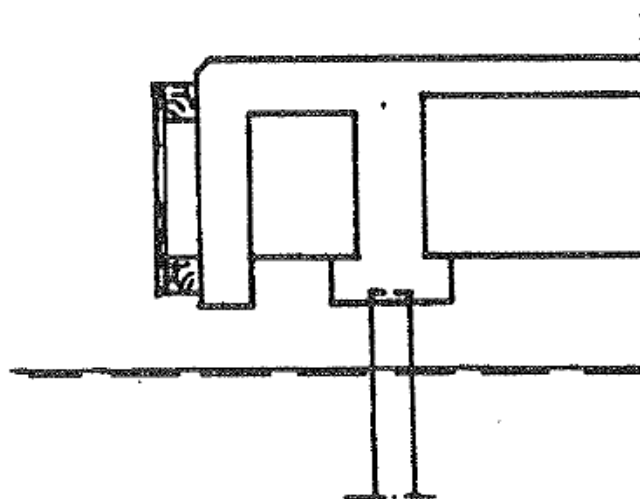
Näten ska inte vara högre än att ett minsta djup av 4 meter upprätthålls.

8.4 Kaj

Då grundläggningsförhållandena där kajen ska grundläggas anses vara goda kommer kajen att vara av typen pelarkaj. Pelarna består av kassuner som byggs upp av ringar av betong som läggs ovanpå varandra för att nå den höjd som behövs. Dessa ringar fylls därefter med muddringsmaterial för bättre stabilitet.

Ovanpå dessa pelare läggs en betongplatta. Denna skall luta svagt från vattnet som säkerhet om ett fordon börjar rulla ska det inte rulla ned i vattnet eller på en förtöjd båt.

Överkant på kajplanet skall vara 2 meter över medelvattenståndet. Denna höjd är baserad på det högsta vattenstånd som beräknas inträffa i hamnen, vilket är 1,5 meter högre än medelvattenståndet. Den undre kajkanten skall ha en höjd på 1 meter över medelvattenytan.



Figur 8.3. Beskrivning av hur kajkant skall se ut (ur Kajer, Pirar, Bryggor osv.).

För de små båtarna sker lastning och lossning av last vid kajen närmast deras förtöjningsplats och de stora lastar och lossar på andra sidan om bryggan. På vardera av dessa platser får det plats minst tre båtar samtidigt. Uppdelningen beror på att det inte skall bli så mycket båttrafik på ett ställe om båtarna kommer in vid samma tidpunkt. Denna uppdelning berör dock inte logistiken uppe på kajen, då det skiljer 5 meter mellan lastning- och lossningsplatserna.

8.4.1 Byggnader

De byggnader som ska anläggas intill fiskehamnen är företrädesvis fiskebodar. Enligt beställarkraven ska det finnas 48 bodar av större modell, 5 x 4 meter, samt 72 bodar av storleken, 4 x 3 meter. Dessa är belägna på kajen intill bryggorna för att lätt transportera materiel mellan båt och bod. Andra byggnader som ska uppföras på platsen är byggnad för framställning av is, mindre lager för mellanlagring samt en mindre verkstadslokal.

Bränslestationen är belägen på piren vid den östra vågbrytaren. Den är placerad där för att få bort den så långt som möjligt från den övriga hamnverksamheten. Detta betyder att på piren står fyra bränslepumpar, anslutna till rör som ligger inuti kajen, väl skyddad från trafik på kajen. Om det skulle ske översköljning från inkommande vågor från öster bör en betongvägg byggas utmed vågbrytaren för att minska det översköljande vattnet att slå över pumparna. För byggnadernas placering se Figur 8.1-8.2, samt CAD-illustration i appendix 15.

8.5 Bryggor

Bryggorna kommer att ha en bredd av 3 meter för de mindre båtarna och 4 meter för de större båtarna. Detta för att det ska finnas plats för yrkesfiskarna att torka sina nät och annan utrustning på bryggorna. Bryggan i mitten har getts en bredd av 6 meter då de flesta båtarna är förtöjda vid bryggor utgående från denna, se appendix 15.

Avståndet mellan bryggorna är satt till 3,5 meter gånger båtarnas längd. Detta för att en båt skall ha 1,5 båtlängder kvar att gira på för att lämna sin förtöjningsplats. För bryggornas placering se Figur 8.1-8.2, samt CAD-illustration i appendix 15.

8.6 Förtöjningar

Förtöjningarna i hamnen kommer att ske mellan brygga och påle. Pålarna skall bestå av korrosionsbeständig metall. Anledningen till att pålar valts är att detta sparar yta bakom båten.

(Handboken Bygg (1985)).

I fören förtöjs båten direkt vid bryggan. För att skydda fören mot nötning mot bryggan nyttjas enklast bildäck som fendrar.

8.7 Inseglingssäns och hamnbassäng

Inseglingssänsens bredd är 27,5 meter mellan de båda vågbrytarnas tår, vilket betyder att minst två båtar kan mötas samtidigt. Vattendjupet är 4 meter enligt beställarnas krav i både hamnbassäng och inseglingssäns.

Inseglingssänsens sträcker sig 150 meter ut från hamninloppet i öst-nordöstlig riktning. Den är även bredare utanför hamnen för att båtarna vid hård sjö skall ha en säker insegling, utan risk för att gå på grund.

Inseglingssänsens bredd utanför hamnen är breddad för att båtarna vid hårt väder inte skall gå på grund.

Hamnbassängen är något breddad jämfört med det valda alternativet, beroende på att detta gav en bättre planering av hamnen utan att kostnaden ökade något nämnvärt.

8.8 Hamn- och Erosionsskydd

Hamn och kustskydden är dimensionerade med hänsyn tagen till ett ökat vattendjup pga. klimatförändringar, vattenståndsvariationer vid ebb och flod och variationer pga. tryckförändringar, se vidare kapitel 5.2.7. Denna variation i vattendjup uppgår till maximalt en meter över medelvattenytan.

Beräkningarna baseras på våghöjder som uppkommer på 5 våghöjders avstånd från vågbrytarens tå. Detta för, enligt CEM (2006), att de mest kritiska vågorna bryter direkt på vågbrytaren.

8.8.1 Vågbrytare

Då vågbrytarkonstruktionen för de olika vågbrytarna samtidigt är grundlagd på olika djup har dessa delats in i sektioner med förändringen 1 m i djupled, för att lättare beräkna materialåtgången. Tabellerna 8.1-8.5, samt appendix 17.1-17.6, visar hur sektionerna på de olika vågbrytarna är indelade, med resultat från beräkningarna av materialåtgången.

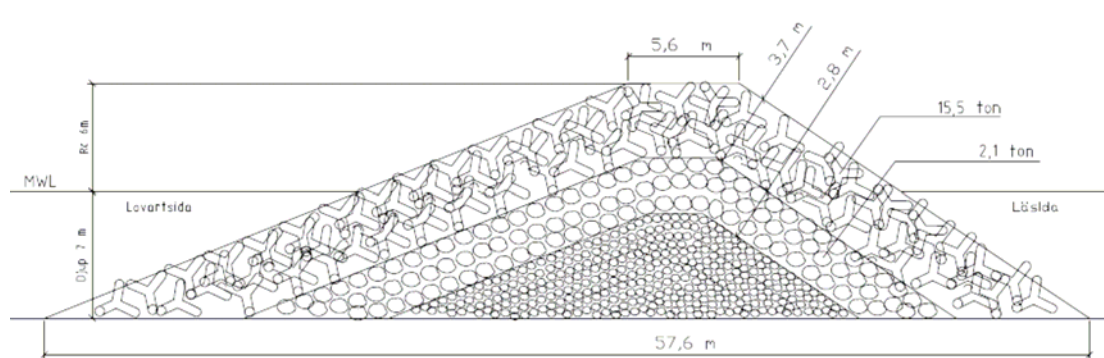
Den västra vågbrytaren är anlagd på vattendjup mellan noll och fem meter med avseende på medelvattenytan. Efter hänsyn tagits till vattenståndsvariationer varierar djupen istället mellan noll och sex meter, där krönhöjden varierar mellan 1 till 4,7 meter. Den maximala bottenbredden på vågbrytaren är beräknad till 53 meter. Se Figur 8.5 för tvärsnittsektion vid djupet 4 meter.

För beräkningsresultat över materialåtgång till den västra vågbrytaren se Tabell 8.1.

Tabell 8.1. Materialåtgång för den västra vågbrytaren.

Djup	R _{cm}	D _{n50} skydd	D _{n50} filter	D _{n50} kärna	Vol. Skydd	Vol. filter	Vol. kärna
0-1 m	1,50	0,34	0,17	0,085	464	239	25
1-2 m	1,70	0,49	0,32	0,12125	253	185	33
2-3 m	2,70	0,76	0,45	0,19	2 405	1 565	366
3-4 m	4,09	1,02	0,58	0,255	3 330	2 120	590
4-5 m	4,94	1,30	0,73	0,325	2 362	1 467	427
5-6 m	5,60	1,54	0,82	0,385	4 888	2 865	894
summa					13 701	8 440	2 335

Den norra vågbrytaren som ligger parallellt med strandlinjen är, med hänsyn tagen till vattenståndsförändringar, anlagd på djupet 7 meter med krönhöjden 6 meter. Bottenbredden på vågbrytaren är konstant 57,6 meter utmed hela norra vågbrytarens längd. För tvärsnitt vid djupet 7 meter se Figur 8.4.



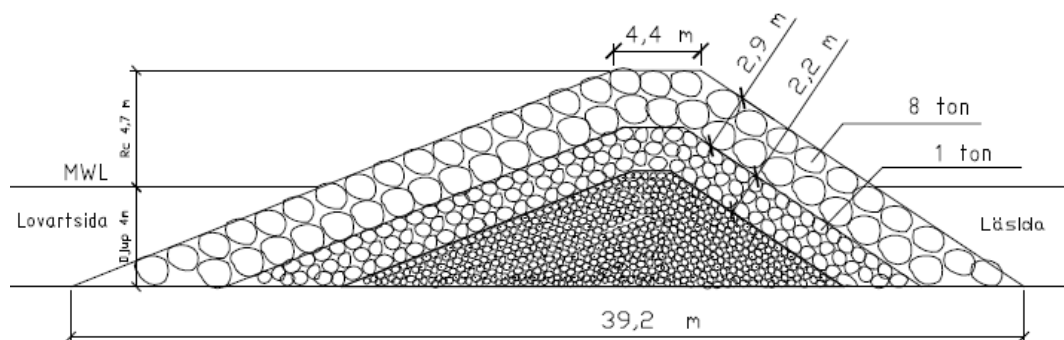
Figur 8.4: Tvärsektion för norra vågbrytaren vid djupet 7 meter.

Då det inte kommit tillkännedom huruvida det går att utvinna sten med den ekvivalenta kublängden 1,86 meter, består det yttre skyddslagret av Tetrapoder. Materialåtgången för den norra vågbrytaren redovisas i Tabell 8.2.

Tabell 8.2. Materialåtgång för norra vågbrytaren.

Djup	R _c	D _{n50} skydd	D _{n50} filter	D _{n50} kärna	Vol. Skydd	Vol. filter	Vol. kärna
7	6	1,86	0,93	0,47	109 707	59 885	36 918

Den östra vågbrytaren anläggs på djupet noll till 4 meter, med krönhöjder som varierar mellan 1 till 4,7 meter, se Figur 8.5 för tvärsektion.



Figur 8.5: Tvärsektion för västra respektive östra vågbrytaren vid djupet 4 meter.

Material åtgången för den östra vågbrytaren redovisas i Tabell 8.3.

Tabell 8.3. Materialåtgång för den östra vågbrytaren.

Djup	R _{cm}	D _{n50} Skydd	D _{n50} filter	D _{n50} kärna	Vol. Skydd	Vol. filter	Vol. kärna
0-1 m	1,50	0,34	0,17	0	66	34	7
1-2 m	1,93	0,63	0,32	0	696	362	158
2-3 m	2,93	0,89	0,45	0	1 952	1 036	562
3-4 m	4,09	1,15	0,58	1	12 372	6 693	4 015

Krönhöjderna som använts är högre än vad som beräknats pga. två orsaker. Den ena beror på att det ansågs att den procentuella andelen vågor som översköljde var högre än vad som kan accepteras. Enligt beräkningarna skulle ungefär vart 5:e inkommande våg överskölja krönet. Med de nya krönhöjderna kommer endast mellan 7-10% av vågorna att överskölja. Den andra orsaken är att lutningen på vågbrytarkrönet i höjddled inte ska bli alltför markant.

På grund av olika djup blir översköljningen också olika på olika platser på vågbrytaren. Detta medför att vid en ordentlig storm kommer det att skölja över mer vatten på ett ställe än ett annat. Detta skall dock inte påverka hamnens verksamhet då kraven för översköljning är uppfyllda.

8.8.2 Vågbrytarhuvud

Till skillnad från alternativ ett har det norra vågbrytarhuvudet förlängts 50 m nordöst om hamnöppningen. Denna åtgärd gjordes för att ge hamnen bättre skydd för inkommande vågor från öster.

Det norra vågbrytarhuvudets form har även anpassats för att bättre skydda inseglingrännan och hamnbassängen från sedimenttransport. I den slutgiltiga versionen skär detta huvud av sedimenttransportens sträckning, varpå sedimentation sker väster om huvudet.

Norra vågbrytarhuvudets anläggningsdjup ligger på 7 meter med lutningen 1:3. Krönhöjden är satt till 6 meter, dvs. samma som för den norra vågbrytaren. Detta beror på att det tilläts mer översköljning på denna plats då det är långt till byggnader och förtöjda båtar som annars skulle kunna ta skada av detta. Tabell 8.4 redovisar den beräknade materialåtgången för det norra vågbrytarhuvudet. Då det inte kommit

tillkännedom huruvida det går att utvinna sten med den ekvivalenta kublängden 1,86 meter, består det yttre skyddslagret utav Tetrapoder.

Tabell 8.4. Materialåtgång för norra vågbrytarhuvudet.

Djup	R_{cm}	D_{n50} skydd	D_{n50} filter	D_{n50} kärna	Vol. Skydd	Vol. filter	Vol. kärna
7	6	1,86	0,93	0,47	23 776	9 357	5 768

Det östra vågbrytarhuvudet har även det anpassas något. Främst för att fungera som sedimentfälla för den östliga transporten. Huvudet är anlagt på djupet 5 meter, med material åtgång enligt Tabell 8.5.

Tabell 8.5. Materialåtgång för östra vågbrytarhuvudet.

Djup	R_{cm}	D_{n50} skydd	D_{n50} filter	D_{n50} kärna	Vol. Skydd	Vol. filter	Vol. kärna
5	4,7	1,45	0,725	0,3625	2 893	2 190	1 164

8.8.3 Erosionsskydd

Provboringar har visat att det endast på en plats finns annat bottenmaterial än berg på platsen för vågbrytarens anläggande. Detta medför att det bara behövs ett erosionsskydd på denna plats, vilket är längs med den västra delen av den norra vågbrytaren. Det skall utformas med en stenstorlek på 4,3 ton på ett avstånd från vågbrytarens tå och 12 meter ut. Det bör även utföras ett erosionsskydd vid inbuktningen intill det norra vågbrytarhuvudet, samt vid hörnet som bildas av den västra och norra vågbrytaren. Intill norra vågbrytarhuvudet bör erosionsskyddet läggas 12 meter utanför tån med en stenstorlek av 6,8 ton. Vid hörnet mellan västra och norra vågbrytaren bör erosionsskyddet läggas 12 meter utanför tån med stenstorleken 2,5 ton, se appendix 9.

8.8.4 Vägar

Trafiken till hamnen kommer att bestå av lastbilar med bränsle för att fylla på bränsletankarna, lastbilar för att transportera fiskefångsten från hamnen, lastbilar med reservdelar och framförallt de som ska arbeta i hamnen. Därför är den väg som idag finns i östra delen av området, se Figur 5.2, alldeles för brant för att t.ex. en tungt lastad lastbil ska klara av att nå hamnen. Därför har alternativ till denna framtagits genom okulär bearbetning av de ritningar och kartor som finns. Detta betyder att inga geotekniska beräkningar ligger bakom förslaget, utan bara en översiktsmässig idé.

Dragningen av vägen som ska anslutas till hamnen kommer att byggas med en brant lutning, ca 9 % (1:11,5). Detta värde ligger över de 6 % som rekommenderas enligt VGU (2004). Detta får dock förbises då en annan dragning hade gett ännu större ingrepp i naturen. För vägens placering se Figur 8.1-8.2, samt CAD-illustration i appendix 15-16.

Den väg som nämnts i öster kommer att anslutas med en väg som dras utmed strandlinjen för att avlasta den nya vägen. Dock kommer östra vägen fortfarande vara alldeles för brant för att lastbilar skall kunna nyttja den. Detta betyder att det bara är bilar som kommer använda den varpå endast en mindre upprustning av vägen kommer att ske.

8.9 Underhåll

Ingenting som byggs eller har byggts är underhållsfritt. Dock går det att minimera underhållet och dess kostnader om det i en projektering redan från början är ett uttalat mål. I detta projekt är förutsättningarna att hamnen ej behöver muddras med tätare intervall än 5 år, att konstruktioner som t.ex. kajer, bryggor, byggnader osv. ska bestå av material som kan ses som mer eller mindre underhållsfria material.

Då det inte framkommit med säkerhet hur mycket sediment som kommer att sedimentera i och intill hamnen föreslås att åtgärderna som gavs i kapitel 8.3 följs för att underhåll i form av muddring inte ska behöva göras med tätare intervall än 5 år.

Vad gäller vågbrytaren har den dimensionerats efter en sannolikhet om 5 % att vågbrytaren inte klarar av de laster som verkar mot den. Detta anses vara ett strängt

krav som borde leda till att vågbrytaren inte kommer att behöva underhållas i någon större utsträckning i framtiden.

8.10 Kostnader

Det stenmaterial som skall användas till vågbrytaren skall utvinnas ur det stenbrott som finns ca 80 km från den tänkta platsen. Detta medför att transportkostnaderna kommer ha en stor betydelse för kostnadsberäkningarna. Transportkostnaden uppskattas till 600 kr per timme under antagandet att frakten tar 20 timmar och att lastbil med släpp får lasta 53 ton stenmaterial. Detta ger att ca 20 kubik stenmaterial kan fraktas per resa. Då sten är billigare att använda än tetrapod är detta att föredra, men då det inte kommit till kännedom huruvida det går att utvinna sten med den ekvivalenta kublängden 1,86 meter används Tetrapoder som material för den norra vågbrytaren. Dock har kostnadsberäkningar utförts för båda alternativen. Från resultaten i Tabell 8.6 och 8.7, framgår det att material, transport och muddringskostnader vid nyttjandet av Tetrapoder vid den norra vågbrytaren uppgår till 415 miljoner svenska kronor. Om det går att framställa sten till denna vågbrytare minskar materialkostnaden varför den totala kostnaden uppgår till 281 miljoner svenska kronor.

Tabell 8.6: Total kostnad vid användandet av Tetrapoder i norra vågbrytaren.

	Enhet	Kvantitet	a'pris	Kostnad	Summa
Muddring					
Etableringskostnad			500 000	500 000	
Muddring hamnbassäng	m ³	120 000	100	12 000 000	
Muddring inseglingränna	m ³	32 000	100	3 200 000	
					15 700 000
Vågbrytare					
Skyddslager					
-Stenmaterial	m ³	22 642	400	9 056 800	
-Tetrapoder	m ³	133 483	2 000	266 965 619	
Filter	m ³	91 917	300	27 575 084	
Kärna	m ³	44 490	50	2 224 489	
					305 821 993
Frakt					
Kostnad per ton och km	kr	18 329 432	1,5	27 494 148	
					27 494 148
Utläggingskostnad	kr/m ³	292 532	100		29 253 155
				Totalt	378 269 295

Tabell 8.7: Total kostnad vid användandet av sten i alla vågbrytare.

	Enhet	Kvantitet	a´pris	Kostnad	Summa
Muddring					
Etableringskostnad			500 000	500 000	
Muddring hamnbassäng	m ³	120 000	100	12 000 000	
Muddring inseglingsränna	m ³	32 000	100	3 200 000	
					15 700 000
Vågbrytare					
Skyddslager -Stenmaterial	m ³	156 125	400	62 449 924	
Filter	m ³	91 917	300	27 575 084	
Kärna	m ³	44 490	50	2 224 489	
					92 249 498
Frakt Kostnad per ton och km	kr	39 686 681	1,5	59 530 022	
					59 530 022
Utläggingskostnad	kr/m ³	292 532	100		29 253 155
				Totalt	196 732 674

Vid beräkningarna har ingen hänsyn tagits till transportkostnaden av material eller framställningskostnaden vid användandet av Tetrapod i den norra vågbrytaren. Detta medför att den totala kostnaden i detta fall torde vara större än den beräknade.

Därför rekommenderas det att undersökningar utförs om utvinning av stenblock med en sidlängd på 2 meter är genomförbar, både ur ekonomisk och arbetsmässig synpunkt.

9 Slutsatser och rekommendationer

De våghöjder som beräknats för brytande vågor i rapporten har skett via ett antagande om att våghöjden är lika med faktor 0,8 gånger det aktuella djupet på platsen, dvs. ekv 4.16. Detta värde har visat sig vara i underkant efter genomgång av resultat av experter inom vågteori. De påvisade en ekvation i CEM (2006) som ger faktorn ett värde på 0,93 vid en bottenlutning på 1:30 och ett värde på 0,82 vid en bottenlutning på 1:100. Anledningen av att jämförelse skett mellan dessa båda lutningar är att den brantare lutningen av de två är beräknad som ett genomsnitt från stranden och ut till randen av befintliga mätningar. Mer rättvisande bild av hur vattendjupet ser ut utanför vågbrytaren ger den flackare lutningen, vilket är den bottenlutning som faktorn i ekvationen bör baseras på. Dock är avståndet mellan vågbrytaren och mätningarnas slut ganska precis en halv våglängd, 130 meter, vilket är aningen kort. På grund av detta rekommenderas vidare mätningar över vattendjupet för att få klarhet över vilka ekvationer som skall nyttjas.

Enligt ekvation 4.17 beräknas den brytande våghöjden med en faktor på 0,55. Anledningen att detta inte använts ytterligare, då kravet om lutningen på botten om 1:100 är uppfyllt, beror på att samma sak som ovan, dvs. att mer indata behövs för att verifiera kravet ytterligare. Denna faktor redovisades av Nelson 1994, men då CEM reviderades 2006, och inte nämner den nya reduceringsfaktorn 0,55 antas det att denna inte anses tillförlitlig av Coastal Engineering Research Center, CERC, som är utgivare av CEM (2006).

I och med att den brytande våghöjden är indata för i stort sett alla de beräkningar som gjorts i rapporten betyder det att detta är en stor felkälla. Det innebär i sin tur att dimensioneringen av vågbrytaren och dess dimensioner är i underkant.

Anledningen att detta inte har korrigerats för i beräkningarna beror på att detta har uppkommit efter att alla beräkningar har utförts, och tid finnes ej för att rätta till det aktuella problemet. Dock om korrektion skulle ske skulle det ske efter den rekommenderade mätningen av vattendjup som nämndes i ett tidigare stycke.

Även de geotekniska rapporterna visar på osäkerheter. Då borrprovtagningarna endast är utförda ned till ett djup om 10 meter, finns ingen kännedom om lagerföljden under detta djup. Då vågbrytaren på djupet 7 meter kommer ha en total höjd om 13 meter och en bottenbredd om närmare 60 meter, kommer denna att påverka botten med en ansevärd last. Skulle det visa sig att materialet under 10 meter har mycket sämre hållfasthet än det överliggande kan det bildas glidytor som leder till brott på konstruktionen.

Vad gäller själva informationsinsamlingen av data till beräkningarna så har det skett med blandat resultat. Libyen är på väg att öppna sina gränser i vissa avseenden gentemot länderna i väst, men fortfarande kan det uppfattas som mycket byråkratiskt. Detta gäller i mångt och mycket informationsinsamlingen för denna projektering.

Redan i början av arbetet stod det klart att vindstatistik över området var att prioritera. De kanaler som användes var bl.a. SMHI, den Libyska motsvarigheten till SMHI, hamnchefer i Libyen etc. Under den tid som detta examensarbete har genomförts har kontakt med över 100 personer tagits inom statliga samt ”privata” bolag i Libyen,

samt ett 50 tal i övriga världen. Detta har varit en tidsödande process som tagit stor tid och en hel del kraft i anspråk. Via företag som inte har sin bas i Libyen, och som vill förbli anonyma, kom mycket av den sökta informationen till kännedom. Det visade sig dock senare att denna information var för ofullständig för att kunna användas. Informationen har funnits hos andra företag, men med höga ersättningskrav. Det var först sju till åtta veckor in i arbetet som tillförlitlig information hittades, utan krav på ersättning. Tiden där emellan användes till att läsa in teori vad gällde vågbrytare, erosionsskydd, översköljning, sedimentproblematik etc.

Om den ”rätta” vägen hade tagits genom den Libyska byråkratin hade nog information inte kommit fram förrän det var dags att avsluta detta examensarbete.

Däremot svarade många av de internationella organisationer som kontaktades på de frågor som ställts. Detta var organisationer som har, eller har haft någon form av verksamhet i området utanför Libyen, som t.ex. mätningar av vindar i Medelhavet. Flertalet av dessa organisationer har sedan försökt hjälpt till med att skicka frågorna vidare till rätt person. Denna hjälpsamhet var ny för oss, vilket visade att det finns många som vill och kan tänka sig att hjälpa till med problem kan uppstå i framtida projekt.

Med större erfarenhet hade det framkommit att statistiken inte hade någon avgörande betydelse för dimensioneringen av vågbrytaren, eftersom det lokala vattendjupet på den plats där fiskehamnen ska anläggas är så grunt att vågorna skulle ha brutits oavsett storlek på 50-årsvågen. Arbetet kunde då ha fortgått till dess att statistiken kommit tillhanda.

Om man väljer att gå vidare med det förslag som framtagits rekommenderas det att man utför vågbrytarna med stenblock och den noterbara permeabiliteten 0,4 enligt de beräkningar som gjorts. Dessa bygger på empiriskt framtagna ekvationer, som är väl grundade i dessa sammanhang. Osäkerheten vad gäller vågbrytarna ligger i att det inte framkommit hur ofta beställaren kan tolerera översköljning och i vilken utsträckning. Därav kan vågbrytarens krön antingen blivit överdimensionerad eller underdimensionerad. Konsekvenserna av detta blir att anläggningskostnaden blir större med det högre vågbrytarkrönet. Om krönet dimensioneras för lågt kan det leda till missnöje bland yrkesfiskarna pga. vattenfyllda båtar eller att det blir ett ogynnsamt vågklimat i hamnbassängen.

Vad gäller sedimenttransporten har denna endast uppskattats genom beräkningar av nettotransporten i området. Vi kan alltså inte förutsäga hur sedimenteringen kommer att ske i hamnen eller i inseglingstrännan. Dock kan vi jämföra det valda hamnförslaget med ett liknande förslag som RAMBÖLL själva gjort. Till detta förslag har en modellering av sedimenttransporten och sedimenteringen gjorts. Denna visar på att det föreligger risk för sedimentering intill hamninloppet, vilket kan förhindras med så kallade sandfällor. Då förslaget vi tagit fram ligger på ett större djup antas det vidare att detta förslag inte kommer hantera sedimentationen sämre.

Även vågklimatet inne i hamnbassängen anses vara tillfredsställande. Detta baseras på den modellering som gjorts av RAMBÖLL själva.

Med hänsyn tagen till det som nämnts ovan rekommenderas det vidare att vidare undersökningar bör utföras innan beslut kan tas angående detta förslag på fiskehamn.

De undersökningar som syftas till är bla en mer detaljerad geoteknisk undersökning. Mätningar av bottenprofilen bör också kompletteras 150 meter utanför de tidigare genomförda mätningarna. Därefter bör en modellering göras innan det går att fastställa huruvida förslaget helt uppfyller beställarens krav angående sedimentering och beständighet.

10 Referenser

Litteraturreferenser

Bergdahl L: Litteratur till konstruktionsuppgift I kursen vattenbyggnad

Bhakta N.P (1968): Planning and designing of fishing harbours, A.M.I.E 1968, Bangalore, India

Coastal Engineering Manual, CEM (2006): Coastal Engineering Research Centre,

Crown (2005): International chart series -Mediterranean sea Tunisia and Libya, utgåva nr 4, Taunton, United Kingdom

D.Reeve, A. Chadwick, C. Fleming (2004): Coastal Engineering, Spon Press 2004, Padstow, Great Britain, kap 5 ISBN 0-415-26840-0 och 0-415-26841-9

Häggström S., Sjöberg A.: Oceanografi, Institutionen för vattenbyggnad, Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg, Sverige

Handboken Bygg (1985): Väg och Vattenbyggnader, Liber Tryck AB 1985, Stockholm, Sverige

Merit Consulting Engineers (2005): Geotechnical Investigations Slesla Harbour For Fishing Tajoura Part One, Merit Consulting Engineers, Tajoura, Libya,

Merit Consulting Engineers (2005): Offshore Geotechnical Investigations Slesla Harbour For Fishing Tajoura, Merit Consulting Engineers, Tajoura, Libya,

Nelson R.C. (1994): Depth limited design wave heights in very flat regions, Coastal Engineering 23, pp. 43-59

Rahm L.1967): Tripolis Hamn, utredning beträffande vågrörelser I hamnen och utformning av vågbrytare, Institutionen för vattenbyggnad, Chalmers Tekniska Högskola, Meddelande Nr 34, Göteborg, Sverige

Reeve D., Chadwick A., Fleming C. (2004): Coastal Engineering, Spon Press 2004, Padstow, Great Britain, kap 5.2.12

Reinius E. (1973): Vattenbyggnad del 4, Hamnar och Farleder, acoprint 1973, Lidingö, Sverige

Shore Protection Manual SPM (1984), Coastal Engineering Research Center

Intervjuer

Alexandersson H, 061212, SMHI, Mailkontakt

Larson M., Hansson H., LTH, Lund, 061122 (Sedimentationsspecialister)

Munthe S. 070208, Enhetschef Hamn- och Flygavdelningen, RAMBÖLL SVERIGE AB

Panigrahi J. 070116-070123, LNT Ramboll, Indien (Specialist inom modellering av bla sedimentering)

Hemsidor

Vägverket:

”VGU (2004)” http://www.vv.se/templates/page3Listing_8090.aspx 071112

”En väg blir till” http://www.vv.se/filer/10821/vv_88210.pdf 070213

Erosionsskydd http://www.vv.se/filer/publikationer/Utf%C3%B6rande_erision.pdf
070206

NOAA: <http://www.ncdc.noaa.gov/cgi-bin/res40.pl?page=gsod.html> 061018

Oceanworld:

http://oceanworld.tamu.edu/resources/ocng_textbook/chapter16/chapter16_04.htm
070205

SMHI 2007: <http://www.smhi.se/> 070115

R.Dalrymple: <http://www.coastal.udel.edu/faculty/rad/wavetheory.html> 070110

Rekommenderad läsning

E. Lindkvist, N. Rosell (2006): Utformning och konstruktion av vågbrytare i Mollösunds småbåtshamn, Examensarbete 2006:60, Avdelningen för Byggt teknik, Chalmers Lindholmen, Göteborg, Sverige

Gregory P. Sinker (1995): Marine Structures Engineering, Chapman & Hall 1995, USA ISBN 0-412-98571-3

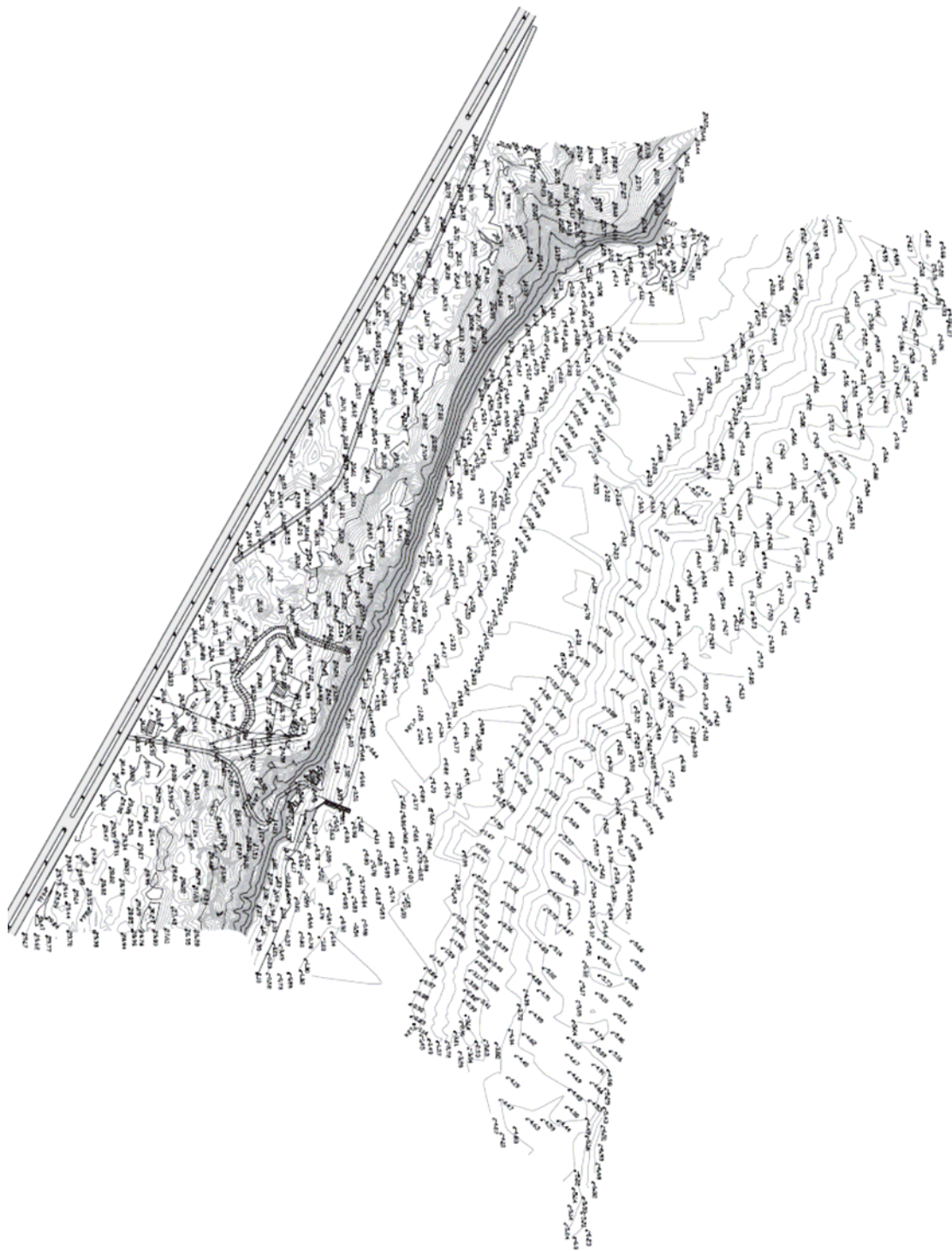
H.F Burcharth (1994): An international journal for coastal, harbour and offshore engineers, Elsevier Science Publisher, Vol. 22, 1994

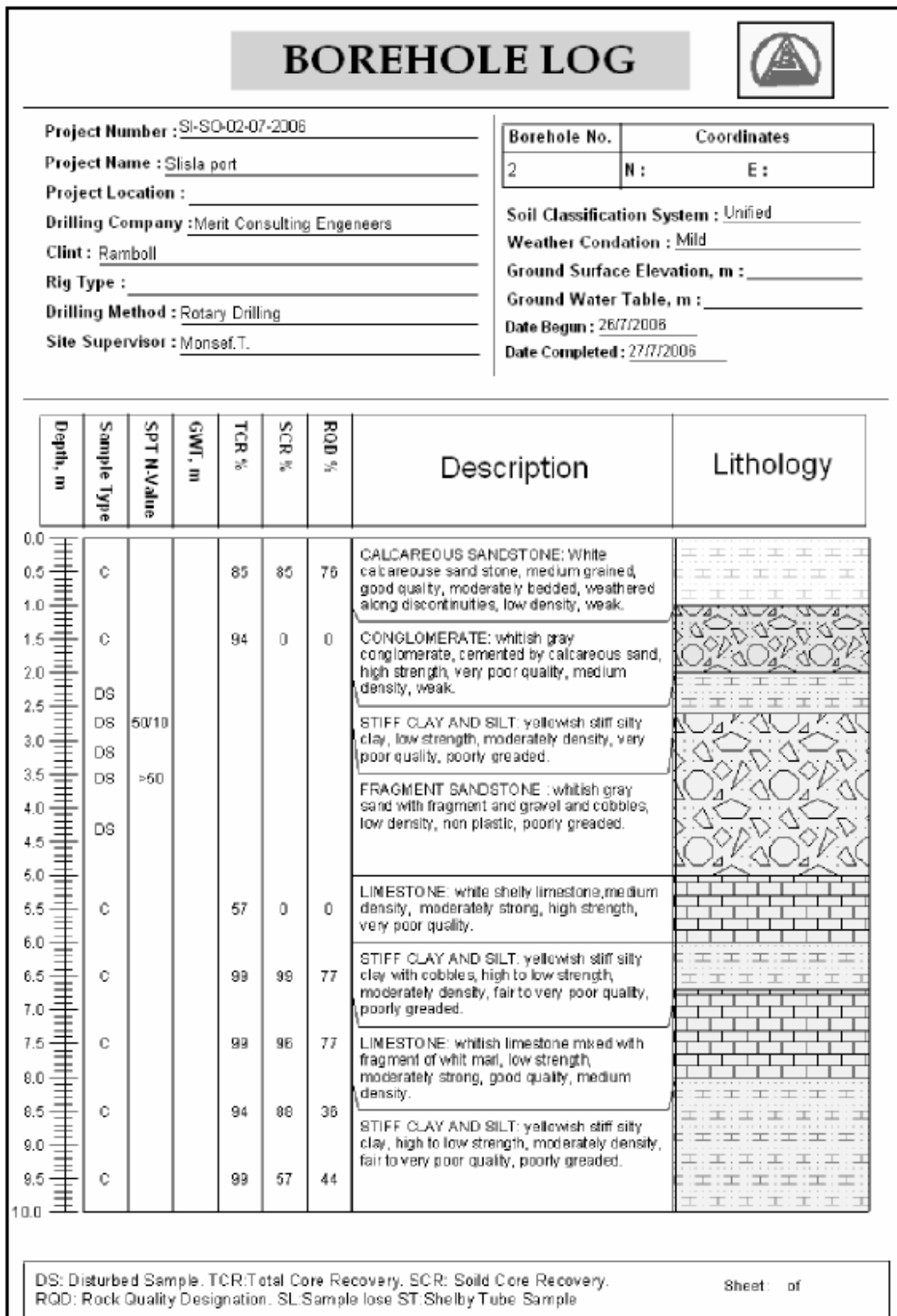
J. Persson (1990): Kustnära effekter till följd av en Öresundsbro, Examensarbete 1990:3, Institutionen för vattenbyggnad, Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg, Sverige

K.d'Angremond, F.C van Roode (2004): Breakwaters And Closure Dams, Spon Press 2004, Padstow, Great Britain ISBN 0-415-33256-7

Pierre Y. Julien (1995): Erosion and Sedimentation, Cambridge University Press 1995, USA ISBN 0-521-44237-0

Robert G. dean, Robert A. Dalrymple (1984): Waterwave Mechanics for Engineers and Scientists, Prentice-Hall, USA ISBN 0-13-946038-1





Statistik över vindar vid mätstationen i Valetta under perioden 1996-2006

87600 Antalet observationer under 10 år baserade på avläsningar varje timme

Hastighet [m/s]	N	NNO	NO	ONO	O	OSO	SO	SSO	S	SSV	SV	VSV	V	VNV	NV	NNV
2,5	613	438	526	438	701	438	526	701	876	701	701	1051	2278	1314	964	526
5	1664	1402	1752	1664	2628	2015	1927	1664	2891	2453	2540	2365	4555	4906	3416	2015
7,5	438	350	438	701	1139	876	701	701	788	438	613	701	2102	3416	2015	788
10	88	88	88	175	263	350	175	88	88	88	175	175	701	1489	613	175
12,5	0	0	0	0	88	175	88	0	0	0	0	88	350	613	175	88
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	88	88	0	0
17,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ALL	2803,2	2277,6	2803,2	2978,4	4818	3854,4	3416,4	2978,4	4642,8	3679,2	4029,6	4380	10074	11826	7183,2	3591,6
%	3,71%	3,01%	3,71%	3,94%	6,37%	5,10%	4,52%	3,94%	6,14%	4,87%	5,33%	5,79%	13,33%	15,64%	9,50%	4,75%

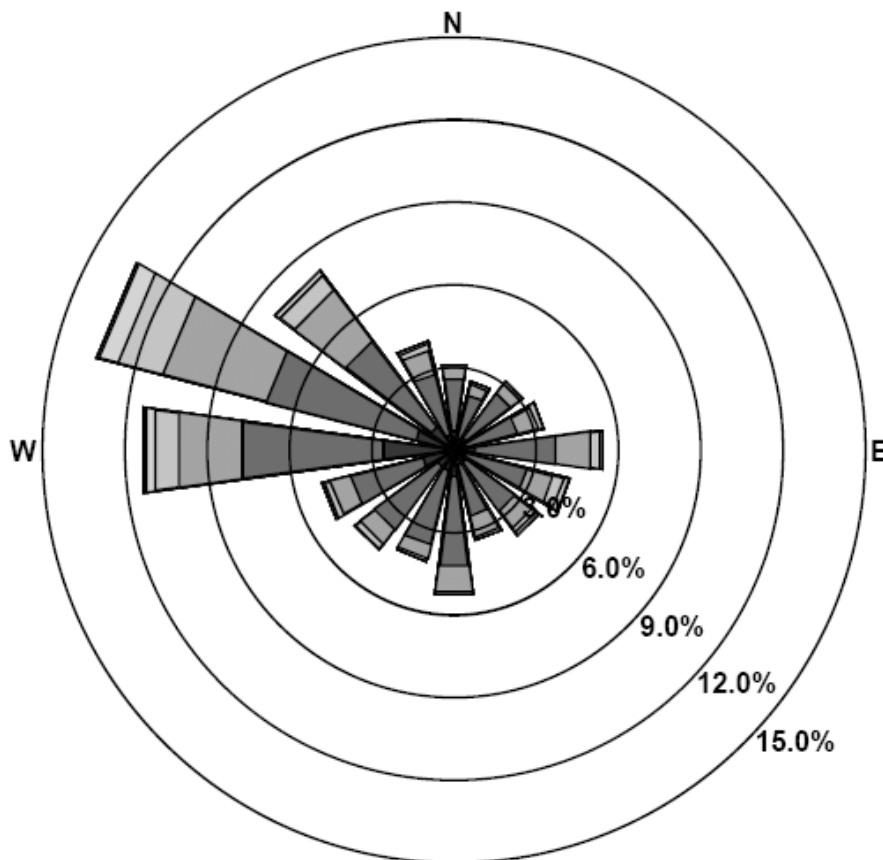
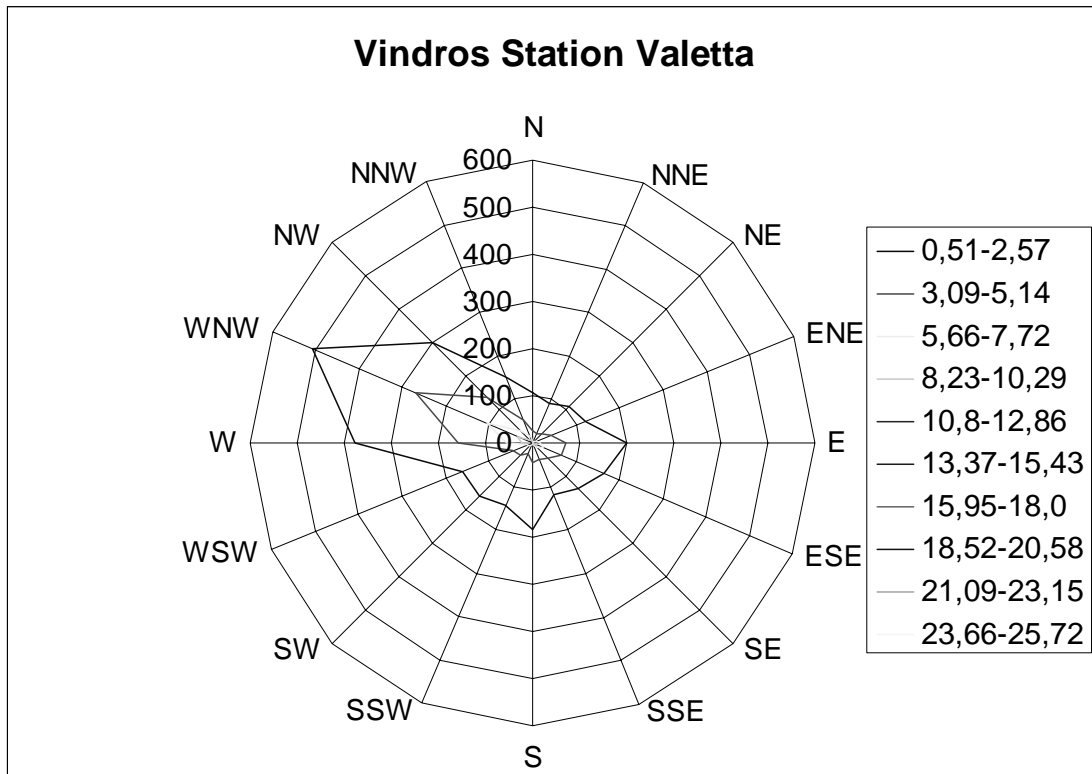
Haslighthet [m/s]	NV	NNV	V	VVO	NO	ONO	O
2,5	7 183	3 592	2 803	2 278	2 803	2 978	4 818
5	6 220	3 066	2 190	1 840	2 278	2 540	4 117
7,5	2 803	1 051	526	438	526	876	1 489
10	788	263	88	88	88	175	350
12,5	175	88	0	0	0	0	88
15	0	0	0	0	0	0	0
17,5	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0
22,5	0	0	0	0	0	0	0
25	0	0	0	0	0	0	0
	7 183	3 592	2 803	2 278	2 803	2 978	4 818

V/ind	NV	NNV	V	VVO	NO	ONO	O
2,5	718	359	280	228	280	298	482
5	622	307	219	184	228	254	412
7,5	280	105	53	44	53	88	149
10	79	26	9	9	9	18	35
12,5	18	9	0	0	0	0	9
15	0	0	0	0	0	0	0
17,5	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0
22,5	0	0	0	0	0	0	0
25	0	0	0	0	0	0	0

Returnperiod	NV	NNV	V	VVO	NO	ONO	O
Windspeed							
2,5	0,001	0,003	0,004	0,004	0,004	0,003	0,002
5	0,002	0,003	0,005	0,005	0,004	0,004	0,002
7,5	0,004	0,010	0,019	0,023	0,019	0,011	0,007
10	0,013	0,038	0,114	0,114	0,114	0,057	0,029
12,5	0,057	0,114					0,114
15							

$$P_n = \frac{n \times N}{T \times (N + 1)}$$

n= The number of observations from a certain angel and speed
 N= The total amount of observations from a certain angel and speed
 T= The number of years the statistics are valid



For the 50-year wind, the windspeed from NNW is
27,38 m/s

Correction: Measurements are done on another altitude then 10 meters
Ur oceanografi, s 4:34

Indata:

$$y = 91$$

$$C_{10} = 0,0026$$

$$K = 0,4$$

$$U_{10} = 21,37$$

$y =$ Höjd [m] på vilken mätningarna utförts

$$U_{10} = \frac{U_y}{\left(1 + \left(\frac{\sqrt{C_{10}} \times \ln(0,1y)}{K}\right)\right)}$$

Calculation of H_{m0} [energy based significant wave height [m]

friction velocity u_{star} Uppmätt Stryklängd 930000
Beräknad stryklängd 516990 meter
Chapter 2 i CEM, s II-2-44

Minsta erforderliga varaktighet $t_{x,u}$ $\rightarrow t_{x,u}:$ 86390,73 s
 $t_{x,u} = 77,23 * F_{eff}^{0,67} / (u^{0,34} * g^{0,33})$ 24,00 h

$u_{star} = \text{rot}(0,001 * (1,1 + 0,035 * U_{10}) * U_{10}^2)$ $\rightarrow u_{star}:$ 0,92

$H_{sm} = 4,13 * 10^{-2} * (g * F_{eff} / u_{star}^2)^{0,5} * u_{star}^2 / g$ $\rightarrow H_{sm}$ 8,71 m

$T_{pm} = 0,751 * (g * F_{eff} / u_{star}^2)^{1/3} * u_{star} * g$ $\rightarrow T_{pm}$ 12,78 s

$L_0 = 1,56 * T_p^2$ $\rightarrow L$ 254,99 m
(s VI-5-6, CEM)

For the 1-year wind, the windspeed from NNW is
17,96 m/s

Correction: Measurements are done on another altitude then 10 meters
Ur oceanografi, s 4:34

Indata:

$$y = 91$$

$$C_{10} = 0,0026$$

$$K = 0,4$$

$$U_{10} = 14,01$$

$y =$ Höjd [m] på vilken mätningarna utförts

$$U_{10} = \frac{U_y}{\left(1 + \left(\frac{\sqrt{C_{10}} \times \ln(0,1y)}{K}\right)\right)}$$

Calculation of H_{m0} [energy based significant wave height [m]

Uppmätt Stryklängd 930000

friction velocity u_{star}

Beräknad stryklängd 417500 meter

Chapter 2 i CEM, s II-2-44

$$\text{Minsta erforderliga varaktighet } t_{x,u} \rightarrow t_{x,u} = 86410,85 \text{ s}$$

$$t_{x,u} = 77,23 * F_{eff}^{0,67} / (u^{0,34} * g^{0,33}) \rightarrow 24,00 \text{ h}$$

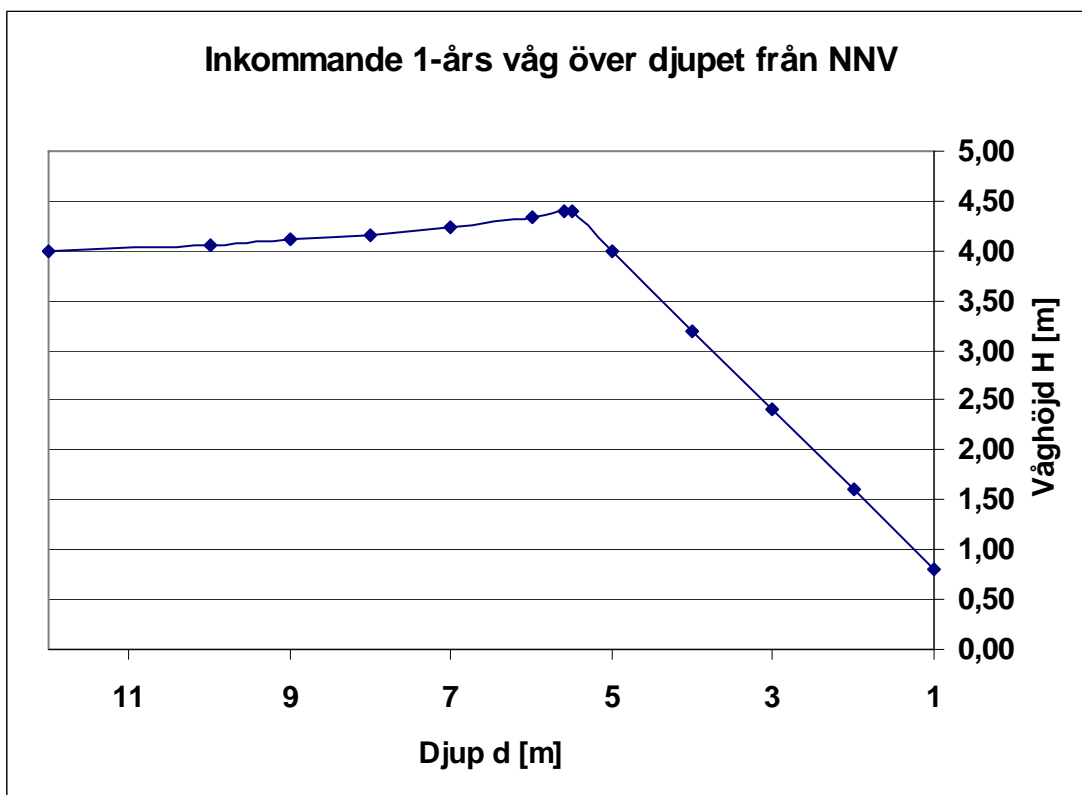
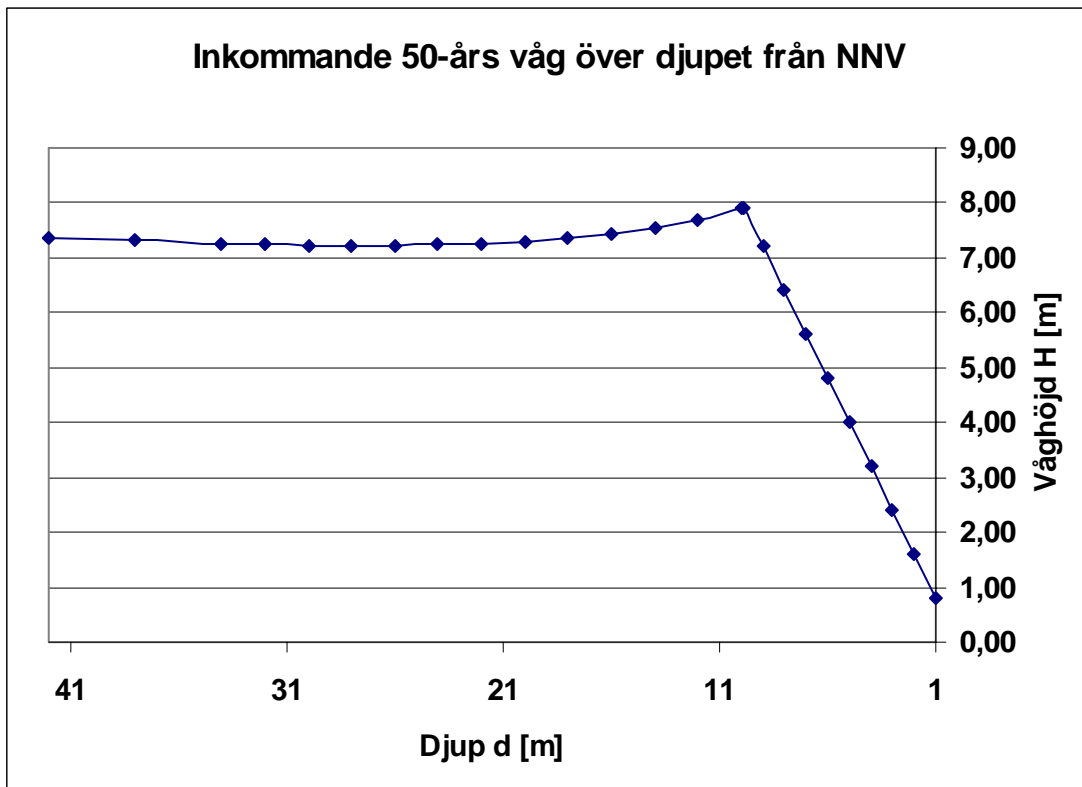
$$u_{star} = \text{rot}(0,001 * (1,1 + 0,035 * U_{10}) * U_{10}^2) \rightarrow u_{star} = 0,56$$

$$H_{sm} = 4,13 * 10^{-2} * (g * F_{eff} / u_{star}^2)^{0,5} * u_{star}^2 / g \rightarrow H_{sm} = 4,76 \text{ m}$$

$$T_{pm} = 0,751 * (g * F_{eff} / u_{star}^2)^{1/3} * u_{star} * g \rightarrow T_{pm} = 10,09 \text{ s}$$

$$L_0 = 1,56 * T_{pm}^2 \rightarrow L_0 = 158,77 \text{ m}$$

(s VI-5-6, CEM)



Beräkning av potentiell sedimenttransport enligt vågklimat baserat på data från Valetta

Sedimenttransporten baseras på beräkningar för 1-årsvågen utifrån vinddata från mätstationen i Valetta. Transporten baseras på den brytande våghöjd H_b , vågperioden T_p samt vågens infallsvinkel och frekvens. Beräkningarna är utförda enligt Coastal Engineering Processes, Kap 5.2.12.

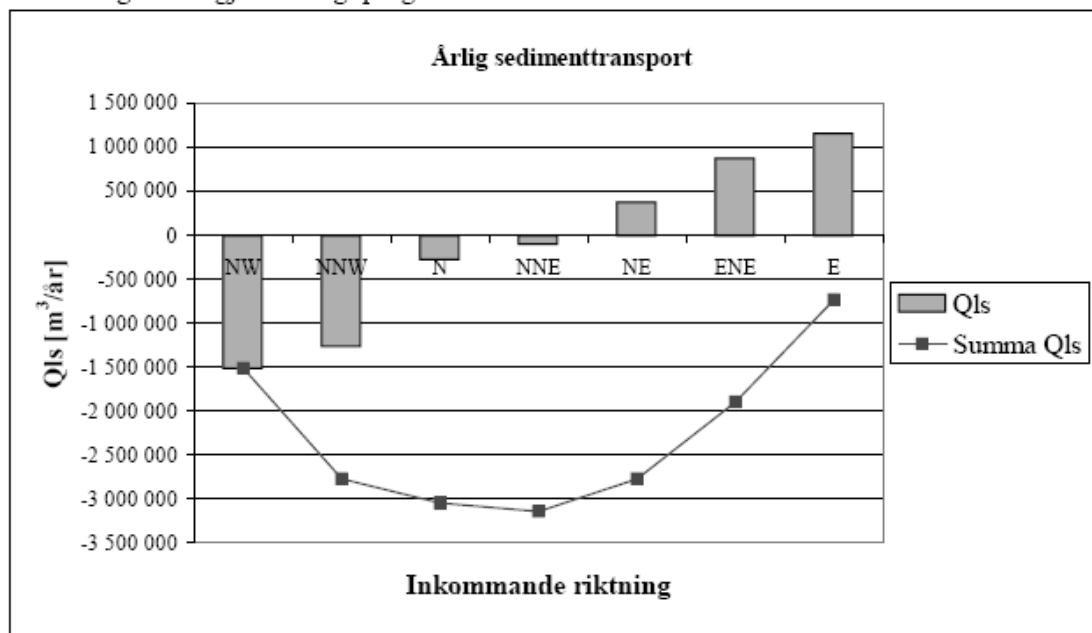
Indata		
β	1/30	Strand lutning
D_{50}	0,0004	

	H_s	T_p	H_b	Grader ¹	Grader ²	Radianer ²	Frekvens %	Q _{ls}	Summa Q _{ls}
NW	5,58	10,74	3,98	-70,0	-22,2	-0,39	9,50%	-1 509 566	-1 509 566
NNW	4,76	10,09	5,51	-47,5	-20,4	-0,36	4,75%	-1 264 382	-2 773 949
N	3,56	8,99	3,69	-25,0	-11,2	-0,20	3,71%	-269 492	-3 043 440
NNE	3,62	9,06	4,81	-2,5	-1,2	-0,02	3,01%	-99 987	-3 143 427
NE	3,54	8,98	4,62	20,0	9,1	0,16	3,71%	373 877	-2 769 550
ENE	4,45	9,83	5,31	42,5	17,8	0,31	3,94%	873 274	-1 896 276
E	4,70	10,04	4,50	65,0	21,9	0,38	6,37%	1 162 428	-733 848
Summa									-733 848

¹Inkommande djupvattenvågs vinkel i förhållande till strandlinjens ortogonal. Postiv vinkel räknas öster om ortogonalen och negativt väster.

²Inkommande grundvattenvågs vinkel, med hänsyn tagen till refraktion, i förhållande till strandlinjens ortogonal. Postiv vinkel räknas öster om ortogonalen och negativt väster.

Beräkningarna är gjorda enligt programmet Wave Calculator



Dimensionering av översköljning för 50-årsvågen

Beräkningarna gör utifrån signifikanta översköljningshöjden R_{us}

Indata baserad på 50-års vågen:	
Signifikant våghöjd H_s	9,71
Vågperioden T_p [s]	12,78
Våglängd L_0 [m]	255
Lutning vågbrytare	1/ 2,5

Beräkningar för bestämmande av översköljning för impermeabel vågbrytare CEM s VI-5-7		
γ_r	0,5	reduceringsfaktor, tar hänsyn till släntytans råhet samt och antalet lager i vågbrytarens slänt
γ_h	0,9	reduceringsfaktor, tar hänsyn till ifall vågen bryter innan den träffar vågbrytarens fot
γ_β	0,82	reduceringsfaktor, tar hänsyn till hänsyn till inkommande vågs vinkel i förhållande till vågbrytaren
γ_b	1	Reduceringsfaktor, tar hänsyn till om plåtå innan vågbrytare finns

beräkningarna vad gäller:

- signifikant uppsköljning R_{us}
 - Medeltal för hur mycket vatten som översköljer krönet per meter vågbrytare q
 - Procentuella andelen vågor som översköljer krönet, P_{ow}
 - Varje enskild Inkommande vågs översköljningsvolym B
- är gjorda enligt kapitel 4 i rapporten Hamnprojektering Slesla, Libyen.

Djup d	H_b	L_{pG}	$S_{op, toe}$	ξ_{pG}	Vilkor	R_{us}	q [l/s*m]	P_{ow}	B [l/våg]
8	6,40	109,5	0,058	1,65	$\xi_{pG} < 2$	5,27	7,12	18,89%	250
7,5	6,00	106,3	0,056	1,68	$\xi_{pG} < 2$	5,03	6,54	18,87%	230
7	5,60	102,9	0,054	1,71	$\xi_{pG} < 2$	4,78	6,02	18,87%	212
6	4,80	95,7	0,050	1,79	$\xi_{pG} < 2$	4,27	4,95	18,85%	174
5	4,00	87,7	0,046	1,87	$\xi_{pG} < 2$	3,16	3,97	18,87%	140
4	3,20	78,8	0,041	1,98	$\xi_{pG} < 2$	3,16	3,02	18,89%	106
3	2,40	68,5	0,035	2,14	$\xi_{pG} < 2$	2,37	2,20	21,27%	69
2	1,60	56,2	0,028	2,37	$\xi_{pG} > 2$	1,56	1,31	25,21%	34
1	0,8	39,9	0,020	2,82	$\xi_{pG} > 2$	0,76	0,55	27,17%	22

Dimensionering av översköljning för 1-årsvågen

Beräkningarna gör utifrån signifikanta översköljningshöjden R_{us}

Indata baserad på 1-års vågen:	
Signifikant våghöjd H_s	4,76
Vågperioden T_p [s]	10,09
Våglängd L_0 [m]	159
Lutning vågbrytare	1/ 2,5

Beräkningar för bestämmande av översköljning för impermeabel vågbrytare CEM s VI-5-7

γ_r	0,5	reduceringsfaktor, tar hänsyn till släntytans råhet samt och antalet lager i vågbrytarens slänt
γ_h	0,9	reduceringsfaktor, tar hänsyn till ifall vågen bryter innan den träffar vågbrytarens fot
γ_β	0,82	reduceringsfaktor, tar hänsyn till hänsyn till inkommande vågs vinkel i förhållande till vågbrytaren
γ_b	1	Reduceringsfaktor, tar hänsyn till om plåtå innan vågbrytare finns

beräkningarna vad gäller:

- signifikant uppsköljning R_{us}
 - Medeltal för hur mycket vatten som översköljer krönet per meter vågbrytare q
 - Procentuella andelen vågor som översköljer krönet, P_{ow}
 - Varje enskild Inkommande vågs översköljningsvolym B
- är gjorda enligt kapitel 4 i rapporten Hamnprojektering Slesla, Libyen.

Djup d	H_s el H_b^*	L_{pG}	$S_{op,toe}$	ξ_{pG}	Vilkor	R_{us}	q [l/s*m]	P_{ow}	B [l/våg]
8	4,76	84,68	0,056	1,69	$\xi_{pG} < 2$	4,00	4,62	18,86%	208
7,5	4,20	82,27	0,051	1,77	$\xi_{pG} < 2$	3,70	4,05	18,89%	182
7	4,24	79,76	0,053	1,73	$\xi_{pG} < 2$	3,66	4,03	18,89%	181
6	4,34	74,36	0,058	1,66	$\xi_{pG} < 2$	3,58	3,94	18,85%	177
5	4	68,35	0,059	1,65	$\xi_{pG} < 2$	3,29	3,52	18,90%	158
4	3,2	61,55	0,052	1,75	$\xi_{pG} < 2$	2,79	2,69	18,93%	121
3	2,4	53,67	0,045	1,89	$\xi_{pG} < 2$	2,40	2,01	17,02%	100
2	1,6	44,11	0,036	2,10	$\xi_{pG} > 2$	1,58	1,20	20,71%	49
1	0,8	44,11	0,025	2,51	$\xi_{pG} > 2$	0,77	0,50	26,71%	16

* Enligt diagram i bilaga bryter vågen vid djupet 5,5 meter.

Dimensionering av översköljning för 1-årsvågen

Beräkningarna gör utifrån krönhöjden R_c baserad på översköljningskravet

$$q = \frac{2l}{s \times m}$$

Indata baserad på 1-års vågen:	
Signifikant våghöjd H_s	4,76
Vågperioden T_p [s]	10,09
Våglängd L_0 [m]	159
Lutning vågbrytare	1/ 2,5

Beräkningar för bestämmande av översköljning för impermeabel vågbrytare CEM s VI-5-7

γ_r	0,5	reduceringsfaktor, tar hänsyn till släntytans råhet samt och antalet lager i vågbrytarens slänt
γ_h	0,9	reduceringsfaktor, tar hänsyn till ifall vågen bryter innan den träffar vågbrytarens fot
γ_β	0,82	reduceringsfaktor, tar hänsyn till hänsyn till inkommande vågs vinkel i förhållande till vågbrytaren
γ_b	1	Reduceringsfaktor, tar hänsyn till om plåtå innan vågbrytare finns

beräkningarna vad gäller:

- Medeltal för hur mycket vatten som översköljer krönet per meter vågbrytare q
 - Procentuella andelen vågor som översköljer krönet, P_{ow}
 - Varje enskild Inkommande vågs översköljningsvolym B
- är gjorda enligt kapitel 4 i rapporten Hammprojektering Slesla, Libyen.

Djup d	H_s el H_b^*	L_{pG}	$S_{op, toe}$	ξ_{pG}	Vilkor	R_c [m]	q [l/s*m]	P_{ow}	B [l/våg]
8	4,76	84,677	0,056	1,68709	$\xi_{pG} < 2$	4,45	2,10	15,63%	114
7,5	4,2	82,274	0,051	1,77038	$\xi_{pG} < 2$	4,05	2,08	16,13%	109
7	4,24	79,762	0,053	1,7349	$\xi_{pG} < 2$	4	2,10	16,18%	110
6	4,34	74,358	0,058	1,65569	$\xi_{pG} < 2$	3,95	1,91	15,87%	102
5	4	68,35	0,059	1,65348	$\xi_{pG} < 2$	3,55	2,02	16,57%	104
4	3,2	61,55	0,052	1,75428	$\xi_{pG} < 2$	2,9	2,04	17,73%	98
3	2,4	53,67	0,045	1,89156	$\xi_{pG} < 2$	2,4	2,01	17,02%	100
2	1,6	44,11	0,036	2,10024	$\xi_{pG} > 2$	2,9	2,03	23,34%	74
1	0,8	44,11	0,025	2,50599	$\xi_{pG} > 2$	0,61	2,07	35,14%	50

*Enligt diagram i bilaga bryter vågen vid djupet 5,5 meter.

Beräkning av likformiga stenblock enligt CEM 2006.**CEM 2006 Tabell VI-5-23**

För att göra beräkningarna krävs ytterligare antaganden enligt tabell VI-5-23 i CEM 2006

Ytterkonturen på vågbrytaren består av 2 lager sten, med semimpermeabel struktur.

Enligt beräkningarna för dimensionerande våg är erforderlig vindvaraktighet 24 timmar.

permeabilitetskoef. $p = 0,4$ Sidan VI-5-16 i CEM, Med permeabel vågbrytare.

Skadegraden fås från tabell VI-5-21 CEM 2006(enligt Van der Meer 1988)

Slope 1:2,5	Initial damage	Intermediate damage	Failure
S	2	5-7,5	>10

N_z^*	6761
ρ_w	1030
ρ_s	2650
Två lager n	2

*Antalet inkommande vågor är enligt CEM (2006) begränsade till 7500

$$D_{n50} = \frac{H_b}{\Delta \times 6,2 \times S^{0,2} \times P^{0,18} \times N_z^{-0,1} \times \frac{\rho_w}{\rho_s}^{-0,5}}$$

Resultat:

Vattendjup [m]	D_{n50} [m]	M_{50} [kg]
1	0,34	106
2	0,63	651
3	0,89	1 882
4	1,15	3 992
5	1,45	8 022
6	1,63	11 501
7	1,86	17 183
7,5	1,99	21 032
8	2,09	24 319

Beräkning av likformiga betongblock enligt CEM 2006.
Enligt CEM tabell VI-5-29.

Indata	
ρ_w	1 030
ρ_{betong}	2 400
Två lager n	2
Δ	1,3301
N_z	6761

Enligt beräkningarna för dimensionerande våg är erforderlig vindvaraktighet 24 timmar.
Den ekvivalenta kublängden beräknas för varierande antal block som omplaceras N_{od}
 N_{od} definieras som antalet kuber som omplaceras inom området en kublängd vertikalt.

$$D_{n50} = \frac{H_b}{\Delta \times \left(\frac{6,7 \times N_{od}^{0,4}}{N_z} + 1 \right) \times S_{op,rov}^{-0,1}}$$

Vattendjup [m]	H_{toe} [m]	$N_{od} = 0$		$N_{od} = 1$		$N_{od} = 2$	
		D_{n50} [m]	M_{50} [kg]	D_{n50} [m]	M_{50} [kg]	D_{n50} [m]	M_{50} [kg]
1	0,80	0,32	81	0,24	34	0,22	25
2	1,60	0,84	1 437	0,57	447	0,43	193
3	2,40	1,29	162	0,87	50	0,66	22
4	3,20	1,75	12 784	1,18	3 980	0,90	1 722
5	4,00	2,21	25 850	1,65	10 852	1,32	5 540
6	4,80	2,68	45 966	1,81	14 311	1,81	14 311
7	5,60	3,15	74 794	2,13	23 287	1,61	10 074
7,5	6,00	3,37	92 173	2,29	28 698	1,73	12 415
8	6,40	3,62	114 051	2,45	35 510	1,86	15 361

Beräkning av likformiga tribar enligt CEM 2006.**Enligt CEM tabell VI-5-36**

Värdet på K_D gäller under förutsättningen att vågorna brutits innan de når vågbrytaren.
(CEM 2006 sid VI-5-79)

Indata

ρ_w	1 030 kg/m ³
ρ_{betong}	2 400 kg/m ³
Två lager n	2
Δ	1,3301
K_D	9,00

Den ekvivalenta kublängden enligt $D_{n50} = \frac{H_b}{\Delta \times (K_D \times \cot \alpha)^{\frac{1}{3}}}$

Vattendjup [m]	H_{50e} [m]	D_{n50} [m]	M_{50} [kg]
1	0,80	0,21	23
2	1,60	0,43	186
3	2,40	0,64	627
4	3,20	0,85	1 485
5	4,00	1,07	2 901
6	4,80	1,28	5 013
7	5,60	1,49	7 961
7,5	6,00	1,60	9 791
8	6,40	1,70	11 883

Beräkning av likformiga tetrapods enligt CEM 2006. Enligt CEM tabell VI-5-30							
Indata							
ρ_w		1 030					
ρ_{betong}		2 400					
Δ		1,3301					
Antal lager n		2					
N_z		1441					
<p>Enligt beräkningarna för dimensionerande våg är erforderlig vindvaraktighet 24 timmar. Den ekvivalenta kublängden beräknas för varierande antal block som omplaceras N_{od} N_{od} definieras som antalet kuber som omplaceras inom området en kublängd vertikalt.</p> $D_{n50} = \frac{H_b}{\Delta \times \left(3,75 \times \frac{N_{od}^{0,5}}{N_z^{0,25}} + 0,85 \right) \times S_{op,10\%}^{-0,2}}$							
Vattendjup [m]	$H_{10\%}$ [m]	$N_{od}=0$		$N_{od}=1$		$N_{od}=1,5$	
		D_{n50} [m]	M_{50} [kg]	D_{n50} [m]	M_{50} [kg]	D_{n50} [m]	M_{50} [kg]
1	0,80	0,32	81	25	0,22	0,20	20
2	1,60	0,69	804	245	0,47	0,44	198
3	2,40	1,09	3 074	936	0,73	0,68	756
4	3,20	1,49	7 962	2 424	1,00	0,93	1 959
5	4,00	1,91	16 670	5 075	1,28	1,20	4 101
6	4,80	2,33	30 502	9 285	1,57	1,46	7 505
7	5,60	2,77	50 857	15 482	1,86	1,73	12 513
7,5	6,00	2,97	62 796	19 116	2,00	1,86	15 450
8	6,40	3,21	79 220	24 116	2,16	2,01	19 491

Dimensionering av vågbrytare enligt SPM 1984.

Indata baserad på 50-års vågen:

Signifikant djupvattenvåg H_s	9,71
Vågperioden T_p [s]	12,78
Våglängd L_0 [m]	377,16
Lutning vågbrytare	1/ 2,5

Beräkning av likformiga stenblock med skrovlig yta i två lager enligt SPM 1984.

Lutning vågbrytare	2,5
K_D	2
ρ_w [kg/m ³]	1 030
ρ_s [kg/m ³]	2 650
Två lager n	2

Beräkningarna är utförda enligt kapitel 4 i rapporten Projektering av fiskehamn Slesla, Libyen

Resultat:

Vattendjup [m]	H_{toe}	D_{n50} [m]	M_{50} [kg]
1	0,8	0,30	70
2	1,6	0,59	558
3	2,4	0,89	1 883
4	3,2	1,19	4 464
5	4	1,49	8 718
6	4,8	1,50	9 023
7	5,6	2,08	23 923
7,5	6	2,23	29 424
8	6,4	2,38	35 709

Beräkning av likformiga betongblock i två lager enligt SPM 1984.

Beräkningarna är utförda enligt kapitel 4 i rapporten Projektering av fiskehamn Slesla, Libyen

Indata

ρ_w	1 030 [kg/m ³]
ρ_b	2 400 [kg/m ³]
K_D betongblock	6,5

Resultat:

Vattendjup [m]	H_{tce}	D_{n50} [m]	M_{50} [kg]
1	0,8	0,25	42
2	1,6	0,50	334
3	2,4	0,75	1 128
4	3,2	1,00	2 674
5	4	1,25	5 222
6	4,8	1,50	9 023
7	5,6	1,76	14 329
7,5	6	1,88	17 624
8	6,4	2,01	21 389

Beräkning av likformiga tribar i två lager enligt SPM 1984.

Beräkningarna är utförda enligt kapitel 4 i rapporten Projektering av fiskehamn Slesla, Libyen

Indata

ρ_w	1 030 [kg/m ³]
ρ_b	2 400 [kg/m ³]
K_D tribar	9

Resultat:

Vattendjup [m]	H_{tce}	D_{n50} [m]	M_{50} [kg]
1	0,8	0,21	23
2	1,6	0,43	186
3	2,4	0,64	627
4	3,2	0,85	1 485
5	4	1,07	2 901
6	4,8	1,28	5 013
7	5,6	1,49	7 961
7,5	6	1,60	9 791
8	6,4	1,70	11 883

Beräkning av likformiga Tetrapods i två lager för enligt SPM 1984.

Beräkningarna är utförda enligt kapitel 4 i rapporten Projektering av fiskehamn Slesla, Libyen

Indata

ρ_w	1 030 [kg/m ³]
ρ_b	2 400 [kg/m ³]
K_D tetrapod	7

Resultat:

Vattendjup [m]	H_{ice}	D_{n50} [m]	M_{50} [kg]
1	0,8	0,23	30
2	1,6	0,46	239
3	2,4	0,69	806
4	3,2	0,93	1 910
5	4	1,16	3 730
6	4,8	1,39	6 445
7	5,6	1,62	10 235
7,5	6	1,74	12 589
8	6,4	1,85	15 278

Dimensionering av vågbrytarhuvud vid djupet 3-8m enligt CEM	
Signifikant våghöjd H_s	12,78
Lutning vågbrytare	3
Lutning vågbrytarhuvud α_{grader}	18,4
$\tan \alpha$	0,3
$\rho_w [kg/m^3]$	1 030
$\rho_s [kg/m^3]$	2 650
Antal lager	2
Lokal våglängd, L	40
A	0,198
B	-1,234
C	3,289

Beräkningarna sker under antagande från tabell VI-5-37 i CEM 2006

$$D_{n50} = \frac{H}{\Delta(A\xi^2 + B\xi + C_c)} \quad \xi = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{(H/L)}}$$

Vattendjup	H_{toe}	Lok. Våglängd	ξ	D_{n50}	M_{50}
3	2,4	68,5	1,78	0,89	1 852
4	3,2	78,8	1,65	1,14	3 894
5	4	87,7	1,56	1,38	6 937
6	4,8	95,7	1,49	1,61	11 140
7	5,6	102,9	1,43	1,84	16 637
8	6,4	109,5	1,38	2,07	23 569

Dimensionering av vågbrytarhuvud enligt SPM 1984.

Beräkning av likformiga stenblock i två lager för ej översköljande vågor [SPM 1984].

Signifikant våghöjd H_s	8,71
Vågperioden T_p [s]	12,78
Våglängd L_0 [m]	255,00
Lutning vågbrytare	3
Lutning vågbrytarhuvud α_{grader}	18,4
ρ_w [kg/m ³]	1 030
ρ_s [kg/m ³]	2 650
Antal lager	2
K_D	1,3

Beräkningarna sker under antagande från tabell VI-5-22 i CEM 2006

Initial damage:

Från mitten av krönet och ner till ett djup under halva H_s , sker ingen eller liten omplacering.Sannolikhet för omplacering är $0 < 5\%$ enligt SPM 1984Från dessa antaganden fås värden på stabilitetskoefficienten k_d , med förutsättningen att vågbrytaren har 2 lager sten i ytskiktet

$$M_{50} = \frac{\rho_s H_{BG}^3}{K_d \left(\frac{\rho_s}{\rho_w} - 1 \right)^3 \cot \alpha} \quad D_{n50} = \left(\frac{M_{50}}{\rho_s} \right)^{\frac{1}{3}}$$

Vattendjup [m]	D_{n50}	M_{50}
3	0,97	2 414
4	1,29	5 723
5	1,62	11 177
6	1,94	19 314
7	2,262	30 670
8	2,59	45 781

Beräkning av likformiga betongblock i två lager för ej översköljande vågor.
 Beräkningarna utförs på samma sätt som för stenblock, där endast värdena för K_d och r_b ändras.

Indata	
ρ_w	1 030 [kg/m ³]
ρ_s	2 400 [kg/m ³]
$K_{D \text{ betongblock}}$	6,5

Vattendjup [m]	$D_{n\%0}$	M_{50}
3	0,89	1 880
4	1,19	4 456
5	1,49	8 703
6	1,78	15 039
7	2,08	23 882
8	2,38	35 648

Beräkning av likformiga tribar i två lager för ej översköljande vågor enligt SPM 1984.
 Beräkningarna utförs på samma sätt som för stenblock, där endast värdena för K_d och r_b ändras.

Indata	
ρ_w	1 030 [kg/m ³]
ρ_s	2 400 [kg/m ³]
$K_{D \text{ tribar}}$	6

Resultat		
Vattendjup [m]	$D_{n\%0}$	M_{50}
3	0,69	783
4	0,92	1 857
5	1,15	3 626
6	1,38	6 266
7	1,61	9 951
8	1,84	14 853

Beräkning av likformiga tetrapods i två lager för ej översköljande vågor enligt SPM 1984.
Beräkningarna utförs på samma sätt som för stenblock, där endast värdena för K_d och r_b ändras.

Indata

ρ_w	1 030 [kg/m ³]
ρ_s	2 400 [kg/m ³]
$K_{D \text{ tetrapod}}$	3,5

Resultat

Vattendjup [m]	D_{n50}	M_{50}
3	0.82	1 343
4	1.10	3 183
5	1.37	6 217
6	1.65	10 742
7	1.92	17 058
8	2.20	25 463

Beräkning av erforderligt erosionsskydd enligt CEM 2006

Beräkningarna är gjorda enligt CEM VI-5-106

Indata

ρ_s	2650
ρ_w	1030
N_{od}	2

där $N_{od}=2$ är den acceptabla skadan, dvs 2 block kan förskjutas

$$\frac{H_b}{\Delta \times D_{n50}} = \left(0,24 \times \frac{h_b}{D_{n50}} + 1,6 \right) N_{od}^{0,15}$$

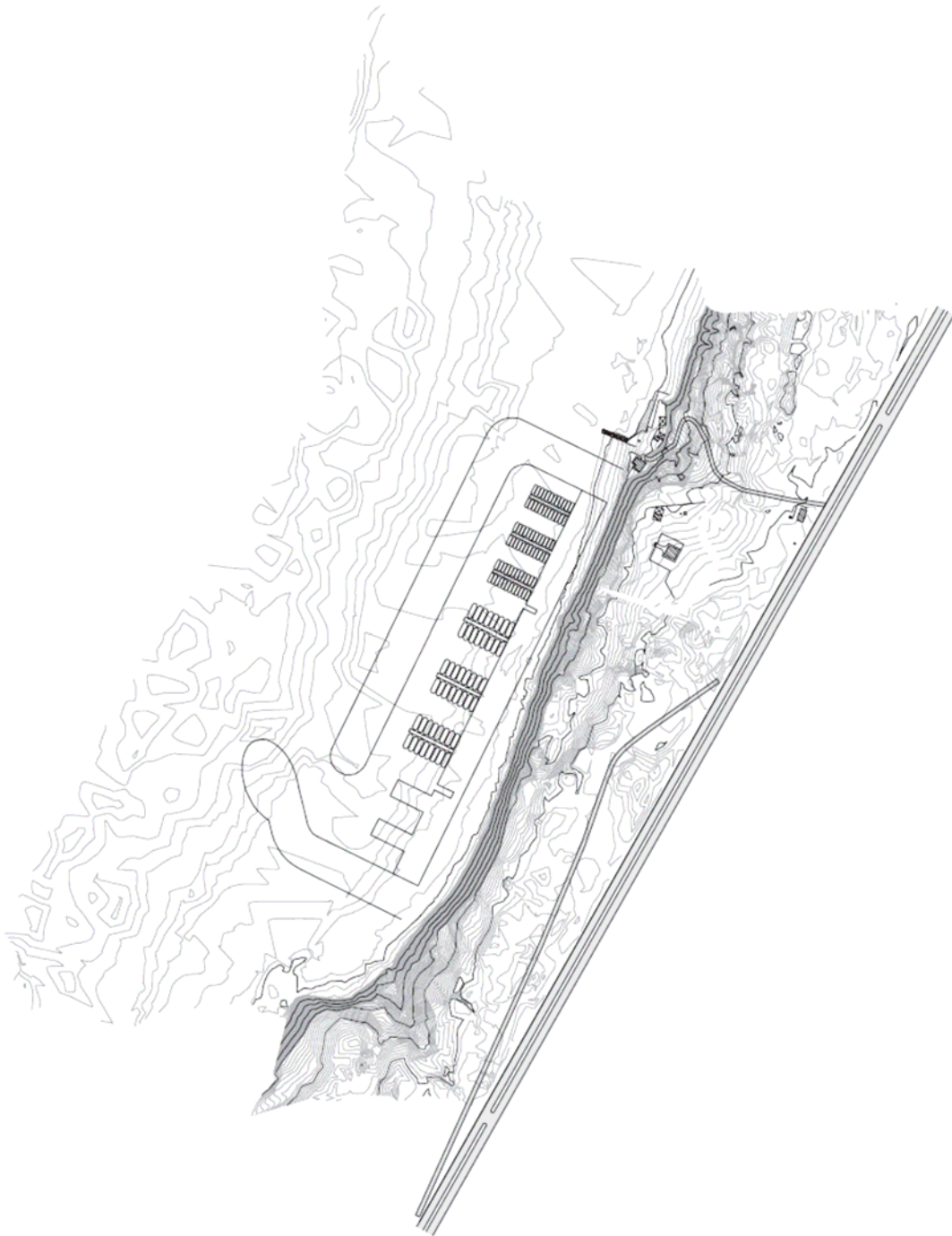
$$h_b = \text{Vattendjup} - 2 \times D_{n50}$$

Resultat

Vattendjup	H_b	D_{n50}	L_{pG}	$0,25 L_{pG}$	L_{min}
1	0,8	0,2	39,88	9,97	7,97
2	1,6	0,39	56,16	14,04	10,04
3	2,4	0,59	68,5	17,13	11,13
4	3,2	0,78	78,77	19,69	11,69
5	4	0,98	87,70	21,92	11,92
6	4,8	1,17	95,66	23,92	11,92
7	5,6	1,37	102,89	25,72	11,72
8	6,4	1,56	109,53	27,38	11,38

* L_{min} syftar till den minsta erforderliga längd som erosionsskyddet måste läggas utanför vågbrytarens tå.

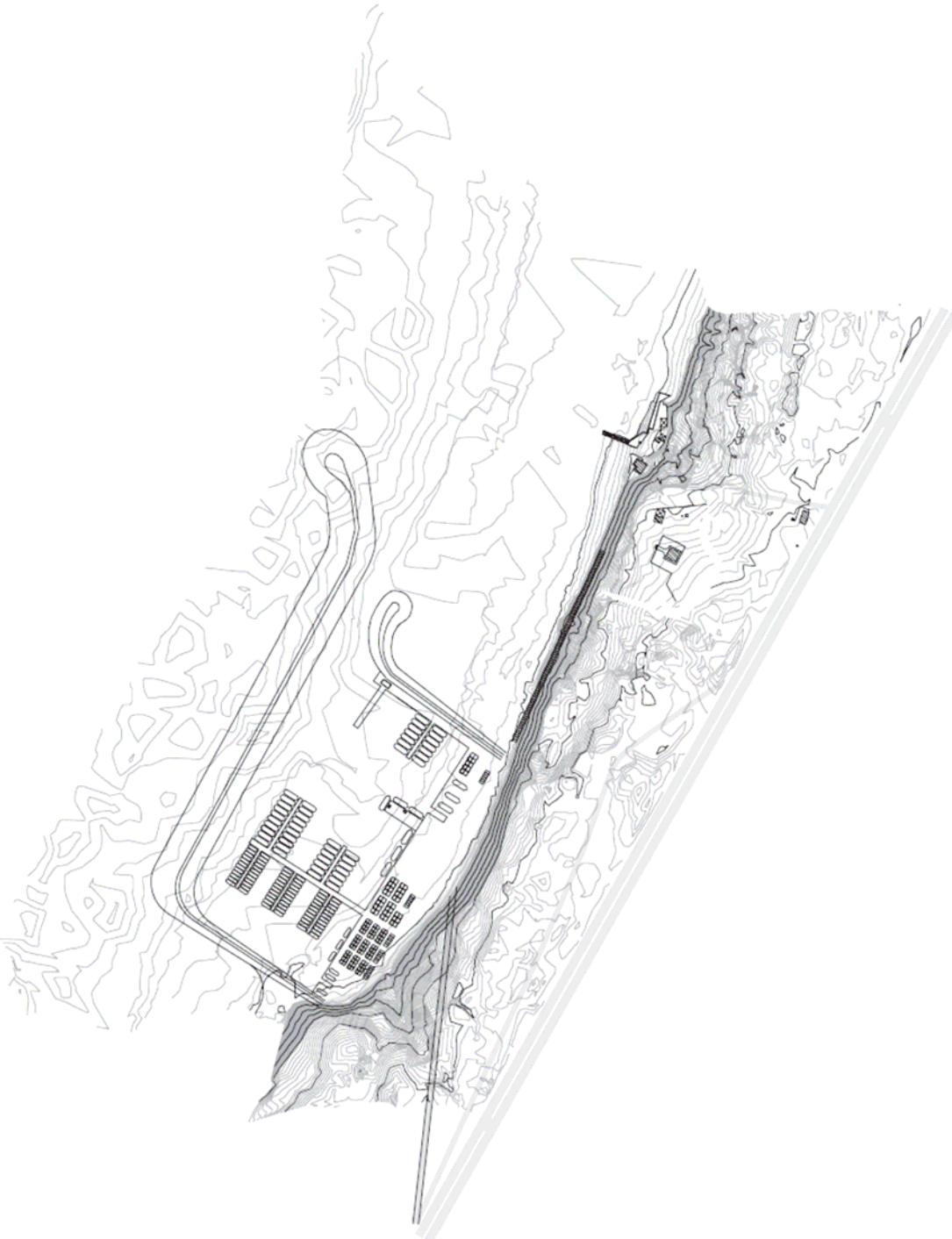


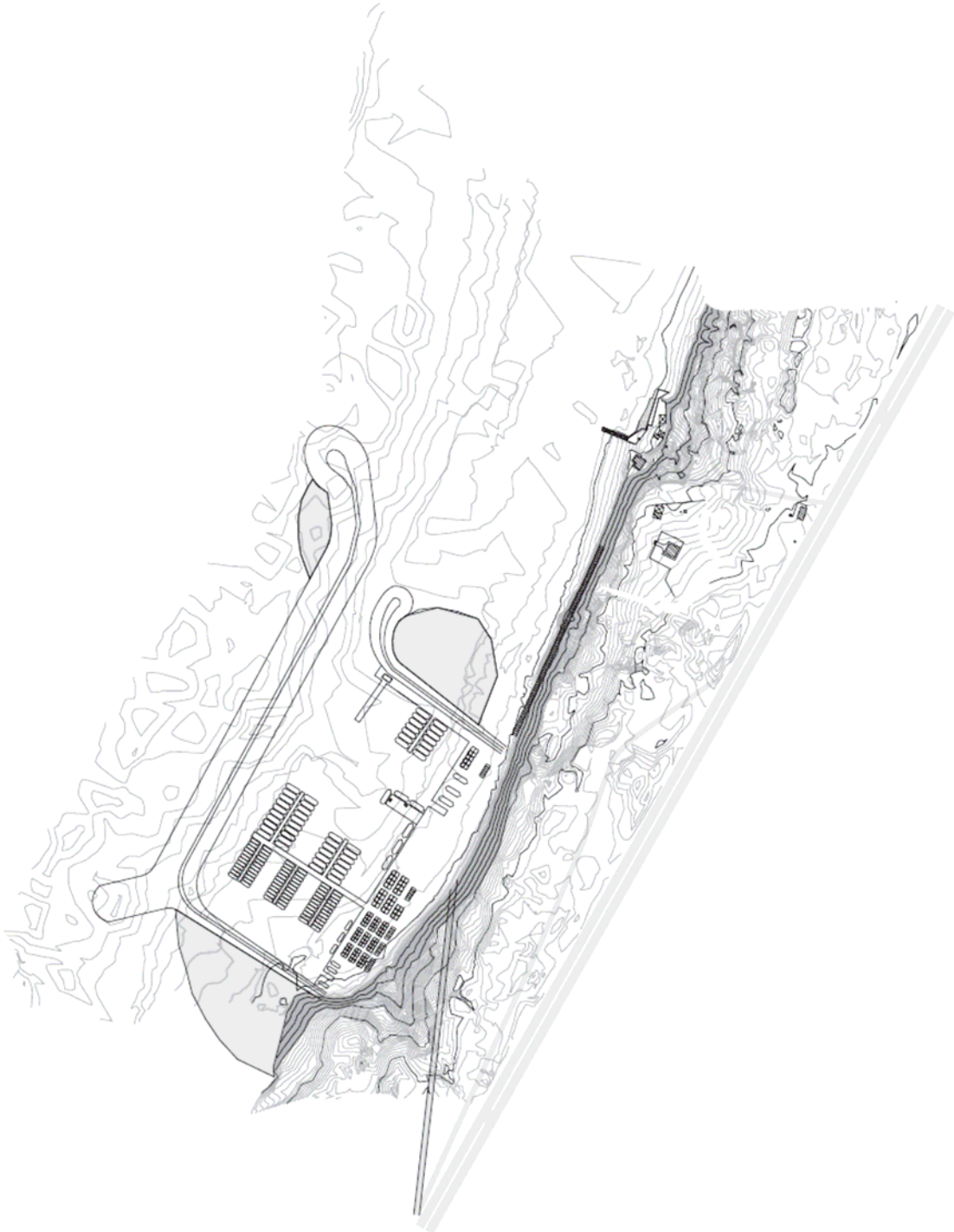












Bestämmande av volymmängder i vågbrytaren

Permeabiliteten 0,4 gäller under förutsättningen att:

Skyddslagret består av två lager sten med diametern D_{n50}

Filtret består av tre lager sten med diametern $0,5 D_{n50}$

Kärnan består av material med diametern $0,25 D_{n50}$

Den västra vågbrytaren är anlagd på djupen mellan 0-6 meter. Skyddslagret kommer att bestå av stenblock i två lager

Lutning lovartsida 1: 2,5

Lutning läsida 1: 1,5

Djup	Krönhöjd	Krönbredd	D_{n50} skydd*	D_{n50} filter	D_{n50} kärna
1	1,5	3	0,34	0,17	0,085
2	1,9	3	0,63	0,315	0,1575
3	3,5	3,45	0,89	0,445	0,2225
4	4,67	4,35	1,15	0,575	0,2875
5	5,2	4,35	1,45	0,725	0,3625
6	6	4,89	1,63	0,815	0,4075

* Skyddslagret består av två lager sten

Beräkning av Skyddslager volym för de olika intervallen.

djup	Re medel	medel höjd	D_{n50} medel	längd	volym lovert	Volym lä	Volym center	Tot. Volym	Antal sten
0-1 m	1,5	1,5	0,34	70	192	129	143	464	11 800
1-2 m	1,7	3,2	0,485	15	125	84	44	253	1 012
2-3 m	2,7	5,2	0,76	60	1 277	855	274	2 405	3 412
3-4 m	4,085	7,585	1,02	44	1 833	1 227	269	3 330	2 189
4-5 m	4,935	9,435	1,3	20	1 321	884	156	2 362	775
5-6 m	5,6	11,1	1,54	30	2 762	1 849	277	4 888	1 129
Tot volym								13 701	

Beräkning av filtrets volym för de olika intervallen.

djup	Medelhöjd	D_{n50} medel	längd	volym lovert	Volym lä	Volym center	Tot. Volym
0-1 m	0,82	0,17	70	79	53	107	239
1-2 m	2,23	0,315	15	85	57	43	185
2-3 m	3,68	0,445	60	794	531	240	1 565
3-4 m	5,545	0,575	44	1 133	759	228	2 120
4-5 m	6,835	0,725	20	801	536	131	1 467
5-6 m	8,02	0,815	30	1 584	1 061	220	2 865
Tot. Volym							8 440

Beräkning av kärnans volym för de olika intervallen.

djup	längd	Medelhöjd	D_{n50} medel	längd	volym lovert	Volym lä	Volym center	Tot. Volym
0-1 m	70	0,31	0,085	70	15	10	0	25
1-2 m	15	1,285	0,12125	15	19	13	2	33
2-3 m	60	2,345	0,19	60	216	145	5	366
3-4 m	44	3,82	0,255	44	346	232	12	590
4-5 m	20	4,66	0,325	20	245	164	18	427
5-6 m	30	5,575	0,385	30	520	348	26	894
Tot. Volym								2 335

Östra Vågbrytaren

Djup	Krönhöjd	Krönbredd	D_{n50} skydd [*]	D_{n50} filter	D_{n50} kärna
1	1,5	3	0,34	0,17	0,085
2	2,36	3	0,63	0,315	0,1575
3	3,5	3,45	0,89	0,445	0,2225
4	4,67	4,35	1,15	0,575	0,2875

* Skyddslagret består av två lager sten

Beräkning av Skyddslager volym för de olika intervallen.

djup	Re medel	medel höjd	D_{n50} medel	längd	volym lovert	Volym lä	Volym center	Tot. Volym	Antal sten
0-1 m	1,5	1,5	0,34	10	27	18	20	66	1 686
1-2 m	1,93	3,43	0,485	30	269	180	87	536	2 144
2-3 m	2,93	5,43	0,76	40	889	595	182	1 667	2 364
3-4 m	4,085	7,585	1,02	145	6 041	4 045	887	10 973	7 215
								Tot. Volym	13 242

Beräkning av filterrets volym för de olika intervallen.

djup	Medelhöjd	D_{n50} medel	längd	volym lovert	Volym lä	Volym center	Tot. Volym	
0-1 m	0,82	0,17	10	11	8	15	34	
1-2 m	2,46	0,2425	30	145	97	65	307	
2-3 m	3,91	0,38	40	480	321	137	938	
3-4 m	5,545	0,51	145	3 312	2 218	666	6 196	
							Tot. Volym	7 475

Beräkning av kärnans volym för de olika intervallen.

djup	Medelhöjd	D_{n50} medel	längd	volym lovert	Volym lä	Volym center	Tot. Volym	
0-1 m	0,31	0,085	10	8	6	0	14	
1-2 m	1,7325	0,12125	30	140	94	1	234	
2-3 m	2,77	0,19	40	298	200	2	500	
3-4 m	4,015	0,255	145	1 568	1 050	3	2 620	
							Tot. Volym	3 368

Östra Vågbrytarhuvudet

djup	längd	Krönbredd	Medelhöjd	volym lovert	Volym lä	Volym center	Tot. Volym
5	45	3	10,2	7 022,70	7 023	1 377	15 422

Beräkning av Skyddslager volym för de olika intervallen.

djup	Re medel	medel höjd	D_{n50} medel	längd	volym lovert	Volym lä	Volym center	Tot. Volym	Antal Sten
5	4,7	10,2	1,45	45	4 209	4 209	522	8 941	4 252

Beräkning av filtrets volym.

djup	Re medel	medel höjd	D_{n50} medel	längd	volym lovert	Volym lä	Volym center	Tot. Volym
5	4,7	7,3	0,725	45	1 506	1 506	196	3 208

Beräkning av kärnans volym

djup	längd	Medelhöjd	D_{n50} medel	längd	volym lovert	volym lä	volym center	Tot. volym
5	45	5,125	0,3625	45	729	729	147	1 605

Norra vågbrytaren

Då den norra vågbrytaren är anlagd på djupet 7 meter måste Tetrapods användas istället för stenblock i skyddslagret, vilka läggs i 2 lager. Skulle det gå att utvinna sten till detta djup ansetts även D_{n50} för sten till 1,86 m.

Djup	Krönhöjd	Krönbredd	D_{n50} skydd	D_{n50} filter	D_{n50} kärna
7	6	5,58	1,86	0,93	0,465

Beräkning av skyddslagrets volym.

djup	R_c medel	medel höjd	D_{n50} medel	längd	volym lövart	volym lä	Volym center	Tot. Volym	antal sten	
7	6	13	1,86	480	480	62 502	41 847	5 357	109 707	31 711

Beräkning av filtrets volym.

djup	längd	Medelhöjd	D_{n50} medel	längd	volym lövart	Volym lä	Volym center	Tot. Volym
7,00	480	9,28	0,93	480	33 463	22 404	4 018	59 885

Beräkning av kärnans volym

djup	längd	Medelhöjd	D_{n50} medel	längd	volym lövart	Volym lä	Volym center	Tot. Volym
7,00	480	6,49	0,465	480,00	8 388	5 616	17 383	31 387

Norra vågbrytarhuvudet

Då den norra vågbrytarhuvudet är anlagd på djupet 7 meter måste Tetrapods användas istället för stenblock i skyddslagret, vilka läggs i 2 lager. Skulle det gå att utvinna sten till detta djup ansetts även D_{n50} för sten till 1,86 m.

Djup	Krönhöjd	Krönbredd	D_{n50} skydd	D_{n50} filter	D_{n50} kärna
7	6	5,58	1,86	0,93	0,465

Beräkning av skyddslagrets volym.

djup	Re medel	medel höjd	D_{n50} medel	längd	volym lovert	Volym lä	Volym center	Tot. Volym	Antal sten
7	6	13	1,86	75	11 470	11 470	837	23 776	6 873

Beräkning av filtrets volym.

djup	längd	Medelhöjd	D_{n50} medel	längd	volym lovert	Volym lä	Volym center	Tot. Volym
7,00	480	9,28	0,93	75	6 141	6 141	628	12 909

Beräkning av kärnans volym

djup	längd	Medelhöjd	D_{n50} medel	längd	volym lovert	Volym lä	Volym center	Tot. Volym
07-jan	480	6,49	0,465	75,00	1 539	1 539	2 716	5 795

