

Design af Hellstrandas flyttede ydermole, tværsnit

Projektnavn **E6 – Hellstranda**
 Projektnr. **1350057430-017**
 Version **1.0**

Udarbejdet af **THBU**
Kontrolleret af **KAPS**
Godkendt af

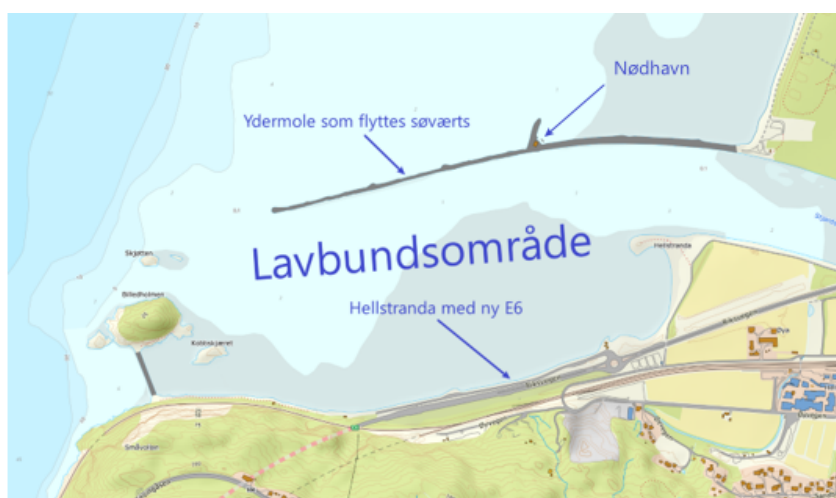
Dato 04.02.2025

1 Baggrund

I forbindelse med etableringen af motorvej E6 langs Hellstranda, skal der kompenseres for anvendt areal i havet ved flytning af en ydermole vist på Figur 1-1. Ydermolen flyttes søværts svarende til at der frigives et lavbundsareal på indersiden svarende til det areal der anvendes til sikring af E6 ved stranden.

Rambøll
Prinsensgade 11
DK-9000 Aalborg

T +45 5161 1000
<https://dk.ramboll.com>



Figur 1-1: Oversigt over projektområdet. Baggrundskort fra (Kartverket, 2025).

I forbindelse med at molen flyttes, dimensioneres nye tværsnit for at sikre at molen lever op til nutidige krav.

2 Beregningsgrundlag og konventioner

Molen dimensioneres baseret på Molehåndbogen (Kystverket, 2018).

Der beregnes tværsnit øst og vest for nødhavnen. Yderligere estimeres nødvendig øget topkote for strækningen der beskytter nødhavnen.

Vertikalreferencer er iht. NN2000.

Totalstabilitet af molen udføres i separat notat af geoafdelingen.

3 Input til beregning

3.1 Anvendt teori

Van der Meer (CIRIA C683, 2007) anvendes til dæklagsdimensioner baseret på følgende fra Molehåndbogen. Beregningerne er dokumenteret i Bilag 2, med input i form af 2% bølgen fra Bilag 1.

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

(Kystverket, 2018)

3.2 Geometriske parametre

3.2.1 Topkote

EFTERSKRIFT: I forbindelse med projekteringen er det grundet ønske om sænkning af topkoten aftalt at denne sættes til eksisterende topkote plus et klimatillegg på 0,5 m. Det vil sige, at endelig topkote sættes til +3,5 m. Bygherre informeres om denne ændrings effekt på overskylllet samt hvilke konsekvenser dette overskyl kan have for belægning og nødhavenens bygninger.

Baseret på overskylsberegninger vist i Bilag 6 og Bilag 7, sættes topkoten til 5,5 m langs størstedelen af strækningen. Dog 6 m nær nødhavnen for at beskytte asfaltbelægning og bygninger jf. (Kystverket, 2018).

Der vil opstå kraftigt overskyl på den lave del af molen på op til 500 l/s/m hvilket kan accepteres jf. nedenstående formulering fra (Kystverket, 2018). For den høje del af molen foran nødhavnen, begrænses overskylllet til 50 l/s/m svarende til skade på asfaltbelægning og bygninger. Den rummelige fordeling af overskylllet fra kronen til bygningen anvendes for at begrænse nødvendig topkote.

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

(Kystverket, 2018)

Tabel 3-1: Tilladeligt overskyl jf. (Kystverket, 2018).

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

3.2.2 Opbygning af tværsnittet

Generelt anvendes molehåndbogen til bestemmelse af tværsnittet. I Tabel 3-2 er vist anbefalede lagtykkelser for dæk og filterlag baseret på valgt permeabilitetsfaktor. Et tværsnit med dæk- og filterlag samt kerne vælges hvilket medfører $P=0,4$ og dermed lagtykkelser på hhv. 2 og 1,5 gange dæklagsstenstørrelsen for dæk- og filterlag. Som anvist i (Kystverket, 2018), anvendes et filterkriterie på 0,2. Filterstendiameteren skal således være 0,2 gange dækstensdiameteren.

Tabel 3-2: Lagtykkelser bestemt basert på middelstenstørrelse i dekkaget for forskjellige verdier af permeabiliteten P.

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

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

Baseret på følgende formulering i Molehåndboken, dimensioneres for og bagsiden af molen med samme stenstørrelse og opbygning.

"

- Dersom en molo er utsatt for hardt overskyll, vil baksiden av moloen være like utsatt for skader som innsiden, hvilket betyr at innsiden må sikres på samme måte som utsiden.

"

(Kystverket, 2018)

3.2.3 Tå

Tåens stendiameter er bestemt basert på Van der Meers formel som angivet i (CIRIA C683, 2007). Tåens dimensjoner fastsettes basert på nedenstående. Dog minimum 2 stendiameters tykkelse.

"

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

"

(Kystverket, 2018)

3.2.4 Molehoved

Som beskrevet i molehåndboget nedenfor, bør stenstørrelsen øges 25 % ved molehovedet. Dette implementeres i det omfang, som molehovedet ændres. Det er fortsat uvist, om molehovedet skal flyttes, eller om molejusteringen starter efter molehovedet.

”

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

”

(Kystverket, 2018)

3.2.5 Kernebredde

EFTERSKRIFT: For at indsnævre tværsnittet og grundet problemer med tilgang til området med materiel, antages konstruktion fra flåde, hvorfor der ikke implementeres noget krav på bredde eller topkote af kernen.

Af hensyn til udførsel fra land, laves kernen minimum 4 m bred i toppen og med topkote nær 0,0. Dette sikrer, at entreprenøren kan køre på kernen i etableringsfasen. En kernetop lidt under 0,0 kan accepteres idét entreprenøren kan øge topkoten i udførelsesfasen.

3.3 Returperiode og sikkerhedsklasse

Molehåndbogen beskriver følgende om sikkerhedsklassen for moler: En returperiode på 20 år vil være aktuelt for midlertidige moler. Permanente moler vil naturligt falde i klasse F2 (200 år) som en konsekvens af, at de normalt beskytter bygværk som henføres til F2.

Da nærværende mole ikke anvendes som beskyttelse af baglandet, men til korrekt udledning af ferskvand fra elven, anvendes konsekvensklasse F1 og 20 års returperiode på bølger og vandstand. Molen beskytter også nødhavnen, men da denne falder i kategorien F1, vurderes F1 også gældende der.

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

Tabell 7-1
Sikkerhetsklasser for byggverk i flomutsatt område (TEK17).

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

Tabell 7-2
Metode for bestemmelse av dimensjonerende vannstand.

Figur 3-1: Om returperiode for designhendelse i Molehåndbogen. (Kystverket, 2018)

3.3.1 Anvendt bølgehøjde

Dybvandsbølgeparametre er bestemt i (Rambøll, 2024). Disse bølger propageres ind mod molen og dybdebegrænses ved nødhavnen. Bølgeparametre er opsummeret i Tabel 3-3. Kun retningen 300° anvendes, da 270° næsten er parallelt med molen.

Tabel 3-3: Anvendte bølgeparametre og vandstande (Rambøll, 2024).

Retning [°N]	Returperiode [år]	Modellerede dybvandsbølger		Dybdebegrænsede bølgehøjder		Vandstand
		Sign. bølgehøjde [m]	Peak periode [s]	Fra mole-hoved til nødhavn [m]	Ved nødhavn [m]	Vandstand inkl. klimatillæg [mNN2000]
270	1	2,7	6,2	-	-	2,36
300	1	2,7	6,1	-	-	
270	5	3,6	6,9	-	-	2,51
300	5	3,6	6,8	-	-	
270	10	4,0	7,5	-	-	2,58
300	10	4,0	7,4	-	-	
270	20	4,5	7,8	4,4	3,3	2,64
300	20	4,4	7,7	4,4	3,3	
270	50	5,2	8,2	-	-	2,72
300	50	5,1	8,0	-	-	
270	100	5,8	8,8	-	-	2,77

300	100	5,6	8,6	-	-	
270	200	5,9	8,8	-	-	2,82
300	200	5,8	8,7	-	-	

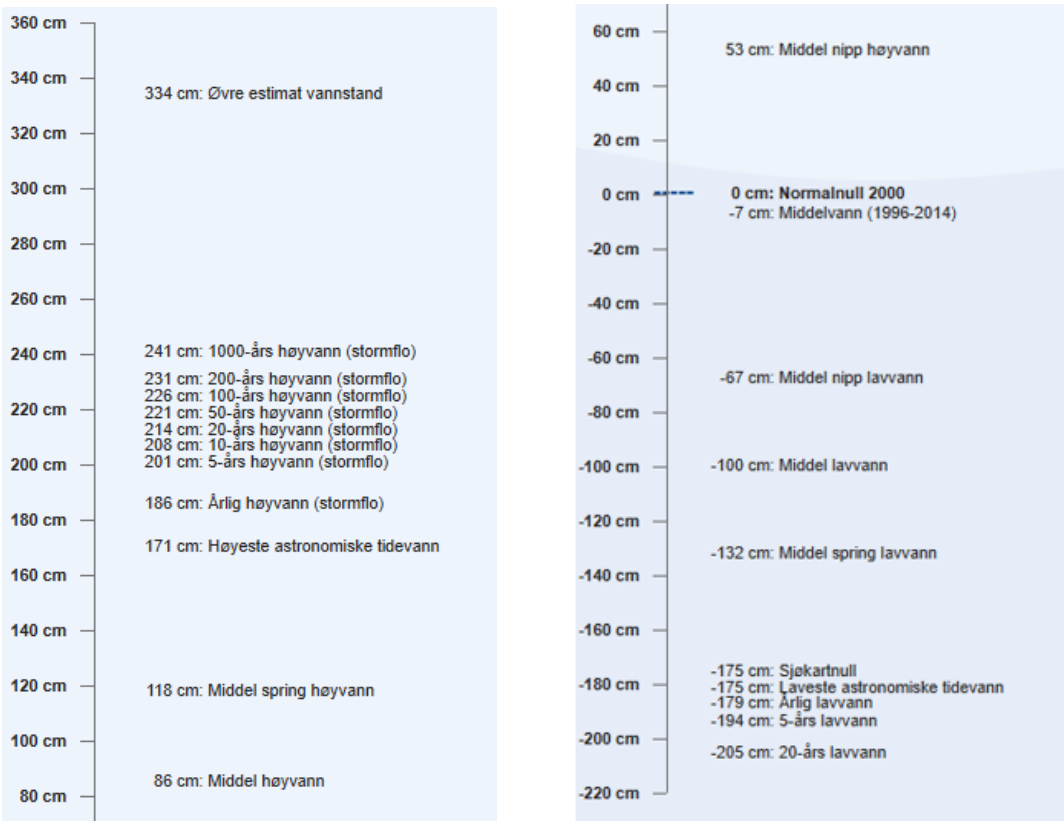
3.3.2
Anvendt vandstand

Vandstande er ligeledes bestemt i (Rambøll, 2024), se Tabel 3-3.

Jf. Figur 3-2 ses en 20 års vandstandshændelse på +214 cm hertil lægges 50 cm klimatillæg for en forventet 20 års vandstand på +264 cm. Laveste astronomiske tidevand ses at lægge i -175 cm.

I forbindelse med beregning af tåstabilitet tjekkes 3 situationer:

1. Forsidens tå med påvirkning af bølger fra havs. Se Bilag 3.
2. Forsidens tå med påvirkning fra bølger fra havs i en situation med middelvandstand, altså 0,0. Se Bilag 4.
3. Bagsidens tå, med påvirkning som forsidens tå jf. (Kystverket, 2018), som foreskriver at bagsiden dimensioneres som forsidens ved så højt overskyl. Se Bilag 5.



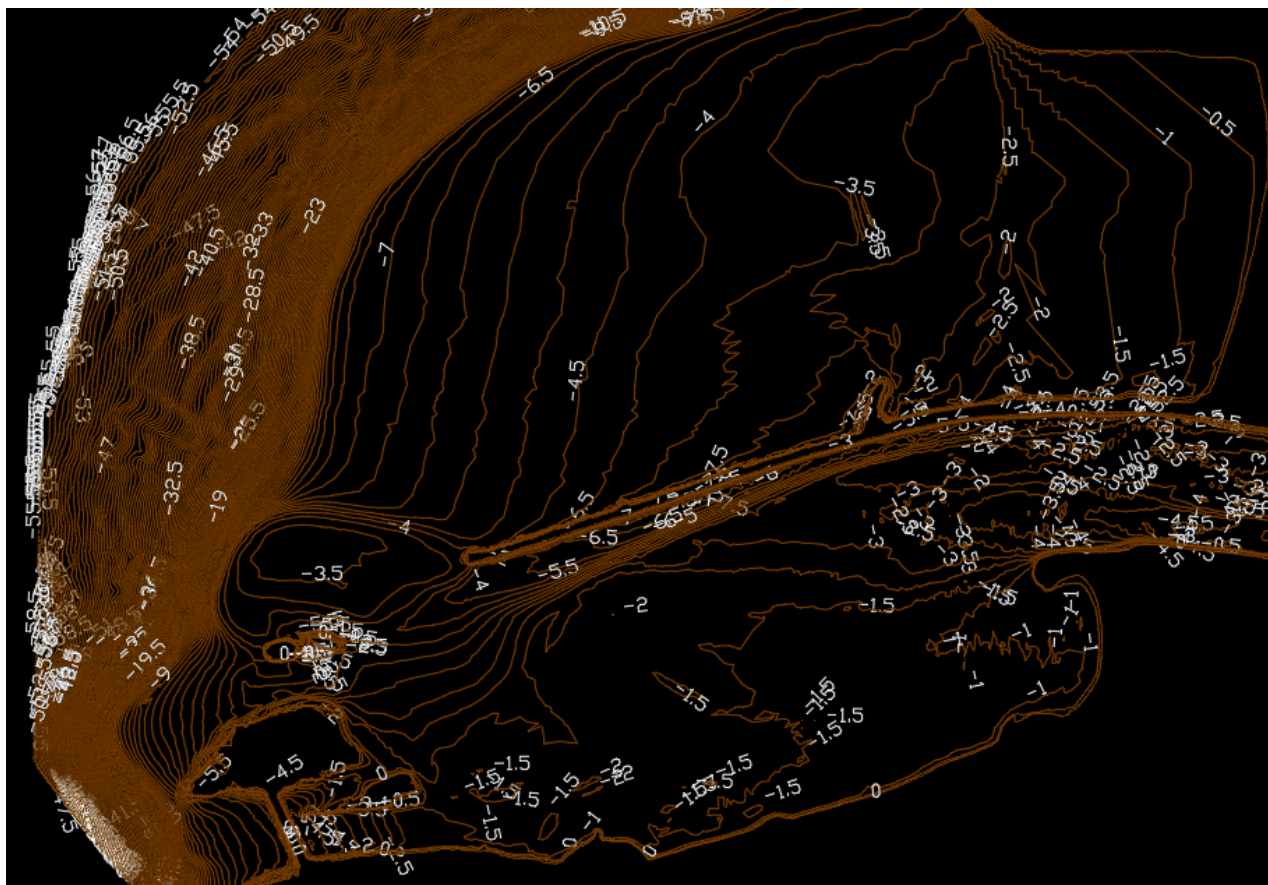
Figur 3-2: Vandstandsangivelser for Hellstranda. (Kartverket, 2025)

3.4
Vanddybde og hældning af havbunden

Bundhældningen er bestemt ud fra dybdemålinger til a = 90-150 alt efter hvor der måles. a = 100 anvendes til dimensioneringen. Hældningen er bestemt ud fra afstand og fald i lavvandsområdet ud for ydermolen.

Vanddybden sættes til 5 m for størstedelen af tværsnittet vest for nødhavnen. Dog anvendes 3 m for overskylsberegningen i nødhavnen, da 3 m dybdekonturlinjen befinder sig mere en 1 bølgelængde (ca. 70 m) fra molen. I beregning af tå stabilitet anvendes 4 m, da lavere vanddybde her er mere kritisk.

I beregningen af tværsnittet øst for nødhavnen, anvendes 2,5 m vanddybde til bølgehøjdeestimering, mens bundkoten sættes til -1,5 m ifm. tåstabilitetsberegninger.



Figur 3-3: Pejlinger af dybden i projektområdet. Udsnit fra (Rambøll, 2024).

3.5 Acceptabelt skadesniveau

Baseret på følgende formulering i Molehåndbogen sættes skadesniveauer S til 2. Hvis det ønskes at sænke stenstørrelsen, kan det argumenteres for at øge S. I så fald skal bygherre dog informeres om, at det vil medføre behov for periodisk inspektion af molen og øget vedligeholdelsesudgifter.

”

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

”

(Kystverket, 2018)

4.3 Genbrug af eksisterende mole

Den eksisterende mole, som skal flyttes, vil stadig delvist overlappe den nye. Udførelsestakten tænkes således:

1. Det eksisterende dæklag skræbes af og lægge i deponi på land.
2. Molen flyttes ved at grabbe materiale fra indersiden af molen til ydersiden indtil kernen ligger i nyt tracé. Nyt kernemateriale må tilføres for at opnå det fremtidige tværsnit som er større end det eksisterende.
3. Filter og dæklag tilføjes den nye kerne.

5 Bilag

Bilag 1.

- a. Estimat af $H_2\%$, vest
- b. Estimat af $H_2\%$, øst

Bilag 2.

- a. Front slope stability, vest
- b. Front slope stability, øst

Bilag 3.

- a. Toe stability – Forside, vest
- b. Toe stability – Forside, øst

Bilag 4.

- a. Toe stability – Forside, MWL, vest
- b. Toe stability – Forside, MWL, øst

Bilag 5.

- a. Toe stability – Bagside, vest
- b. Toe stability – Bagside, øst

Bilag 6. Overskylsberegning, generelt snit

Bilag 7. Overskylsberegning, ved nødhavnen

6 Referencer

CIRIA C683. (2007). The Rock Manual.

Kartverket. (2025). Hentet fra <https://kartverket.no/til-sjos/se-havniva/resultat?id=1076686&location=Hellstranda>

Kartverket. (2025). *Norgeskart*. Hentet fra

<https://www.norgeskart.no/#!?project=norgeskart&layers=1002&zoom=3&lat=7197864.00&lon=396722.00>

Kystverket. (2018). *Molohåndboka*.

Rambøll. (2024). *gd_geodata_Hellstranda seafloor 0_5m 2024. Pejlinger ud for Hellstranda*.

Rambøll. (2024). *Modellering af bølgeforhold ved Hellstranda*.

Estimat af H2% iht. til Batjjes and Groenendijk, 2002 (CIRIA 683C, BOX 4.4)

Projekt navn	E6 Hellstranda - Nye Veier
Projekt nummer	1350057430
Udført af	THBU
Dato	25-02-2025
Kontrol	KAPS
Dato	26-02-2025



Modelleret Hm0	Hsm	=	4.40 m
Dybdebegrænset Hs	Hs	=	4.43 m
Anvendt Hs	Hsa	=	4.40 m
Vanddybde ekskl. setup	h	=	6.64 m
Hældning af havbund	a	=	100.00
Bølgeperiode, middel	Tm	=	6.70 s

Hs

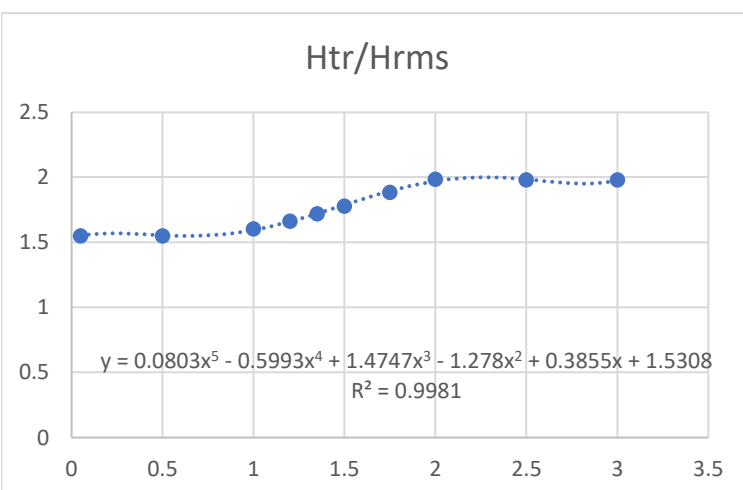
Beregninger	Htr	=	2.709
	Hrms	=	3.549
	Htr/Hrms	=	0.763
	H2%/Hrms	=	1.561
	H2%	=	5.542

H2%/Hs faktor	H2%/Hsm	=	1.26
---------------	---------	---	------

Hsm (ikke dybdebegrænset)

Beregninger	Htr	=	2.709
	H0rms	=	3.574

Estimeret setup	η	=	0.77 m
-----------------	--------	---	--------



Htr/Hrms	H2%/Hrms	Kontrol
0.05	1.548	1.547
0.5	1.549	1.553
1	1.603	1.594
1.2	1.662	1.658
1.35	1.717	1.720
1.5	1.778	1.786
1.75	1.884	1.892
2	1.985	1.968
2.5	1.978	1.981
3	1.978	1.972

Estimat af H2% iht. til Batjjes and Groenendijk, 2002 (CIRIA 683C, BOX 4.4)

Projekt navn	E6 Hellstranda - Nye Veier
Projekt nummer	1350057430
Udført af	THBU
Dato	25-02-2025
Kontrol	KAPS
Dato	26-02-2025



Modelleret Hm0	Hsm	=	4.40 m
Dybdebegrænset Hs	Hs	=	3.00 m
Anvendt Hs	Hsa	=	3.00 m
Vanddybde ekskl. setup	h	=	5.14 m
Hældning af havbund	a	=	100.00
Bølgeperiode, middel	Tm	=	6.70 s

Hs

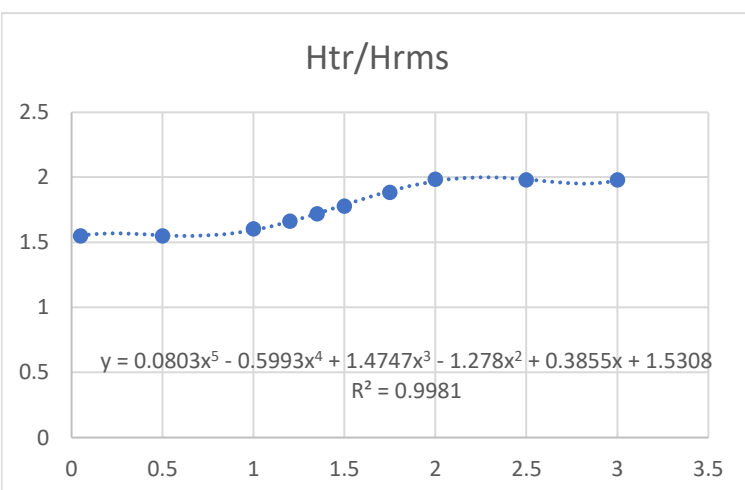
Beregninger	Htr	=	2.097
	Hrms	=	2.372
	Htr/Hrms	=	0.884
	H2%/Hrms	=	1.588
	H2%	=	3.768

H2%/Hs faktor	H2%/Hsm	=	1.26
---------------	---------	---	------

Hsm (ikke dybdebegrænset)

Beregninger	Htr	=	2.097
	H0rms	=	2.538

Estimeret setup	η	=	0.65 m
-----------------	--------	---	--------



Htr/Hrms	H2%/Hrms	Kontrol
0.05	1.548	1.547
0.5	1.549	1.553
1	1.603	1.594
1.2	1.662	1.658
1.35	1.717	1.720
1.5	1.778	1.786
1.75	1.884	1.892
2	1.985	1.968
2.5	1.978	1.981
3	1.978	1.972

Project: 1350057430-017
 Customer: XX
 Worksheet: XX
 Reference: THBU
 Date: 05-02-2025
 Section: Nær molehoved på 4 m vand.

General note: The stone sizes defined by Hudson SPM77 and Hudson SPM84 only serves as a reference and should not be used. The main formula work is based on Van de Meer.

General Parameters

Hs	Significant wave height
pa	Mass density of armour blocks
pw	Mass density of sea water
Δ	Submerged specific density of armour blocks
a	Slope
KD	Stability coefficient
M ₅₀	Medium mass of armour blocks
Dn ₅₀	Equivalent cube length of median block
P	Porosity
Sd	Damage level
sm	wave steepness
x	Surf similarity parameter
n	Number of waves

Design assumptions, geometric

Water depth (MSL):		$h_{MSL} := 5 \cdot m$
Tide:		$\Delta h_{tide} := 2.64 \cdot m$
Surge and Wave setup:		$\Delta h_{surge} := 0 \cdot m$
Total water depth	$h := h_{MSL} + \Delta h_{tide} + \Delta h_{surge}$	$h = 7.64 \cdot m$

Design assumptions, hydraulic

Inclination of seabed (1/m):		$m. := 100$
Max. Significant wave height:	$Hs_{depth} := 0.56 \cdot \exp\left(3.5 \cdot \frac{1}{m.}\right) \cdot h$	$Hs_{depth} = 4.43 \cdot m$

Note: The maximum significant wave height is overruled by the modelled significant wave height, if the modelled significant wave height is smaller.

Modelled significant wave height:		$Hs_{model} := 4.4 \cdot m$
Significant wave height:	$Hs := \min(Hs_{model}, Hs_{depth})$	$Hs = 4.40 \cdot m$
Significant wave height at toe:		$Hs_{Toe} := Hs$
Wave height, H ₀₂ :	$H_{02} := 1.3 \cdot Hs_{Toe}$	$H_{02} = 5.72 \cdot m$
Peak wave period:		$Tp := 7.7 \cdot s$
Mean wave period, T _m :	$Tm := 0.87 \cdot Tp$	$Tm = 6.70 \cdot s$
Mean energy wave period:	$T_E := 0.9 \cdot Tp$	$T_E = 6.93 \cdot s$

NOTE: The conversion from T_p to T_{01} is only valid for deep water wave spectre (JONSWAP). When using T_{01} in a shallow water case the period should be determined locally. See tabe 4.12 in the Rock Manual to see the relation between T_p and T_{01} for a JONSWAP spectrum.

Water depth theory: $h > 3 \cdot H_{S_{Toe}} = 0$ 0 = shallow water; 1 = Deepwater

Storm/high water duration: $\Delta t := 10 \cdot hr$

NOTE: The number of waves, N , in the Van der Meer formula depends on this value

Density of Armour rocks and sea water

Armour rocks $\rho_a := 2650 \cdot \frac{kg}{m^3}$

Filter materials $\rho_f := 2650 \cdot \frac{kg}{m^3}$

Sea water $\rho_w := 1025 \cdot \frac{kg}{m^3}$

Specific density of armour rocks $\Delta := \frac{\rho_a}{\rho_w} - 1$ $\Delta = 1.59$

Cross section levels

Proposed Crest level $z_{crest} := \Delta h_{tide} + \Delta h_{surge} + 1.5 \cdot H_s$ $z_{crest} = 9.24 \text{ m}$

Note: If the proposed crest level is higher than the design level, wave overtopping can be an issue and must be considered.

Armour Layer stability

Front slope: $a := 1.5$
 $\alpha := \text{atan}\left(\frac{1}{a}\right)$ $\alpha = 33.7 \text{ deg}$

Permeability, jf. Figure VI-5-11, CEM: $P := 0.4$

Damage level, jf. Table 5.23 Rock manual: $S_d := 2$

EM 1110-2-1100 (Part VI)
Proposed Publishing Date: 30 Apr 03

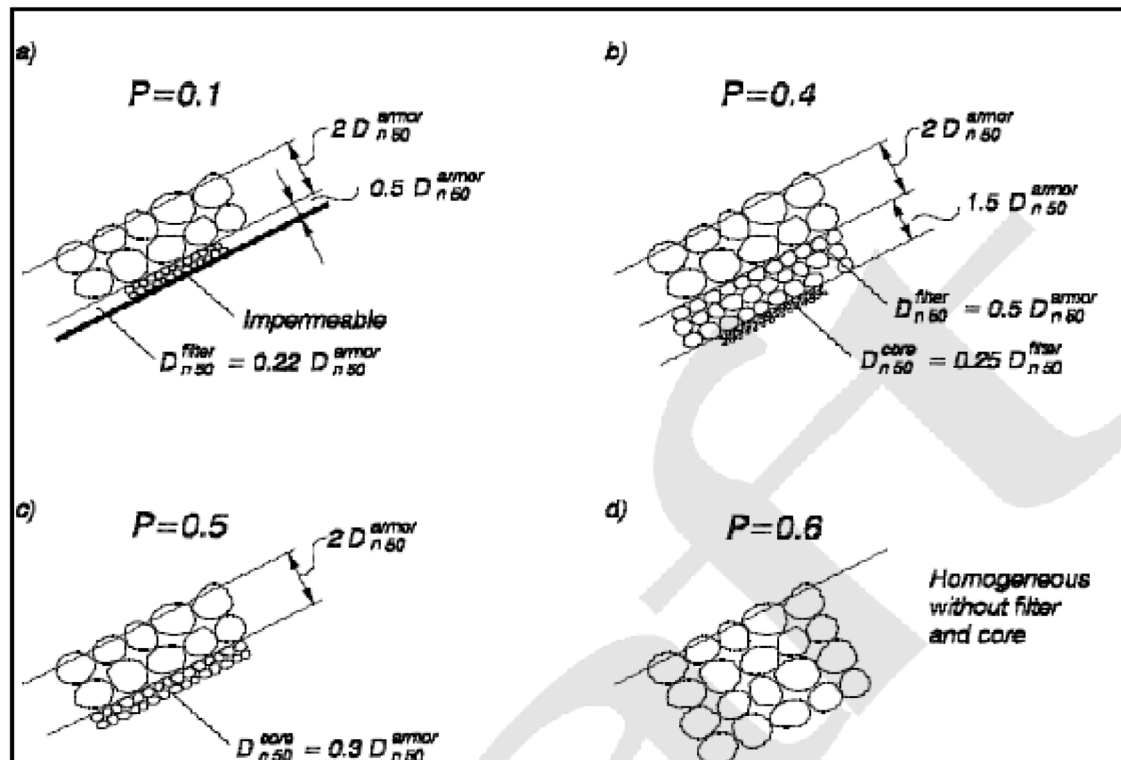


Figure VI-6-11. Notational permeability coefficients (van der Meer 1988)

Table 5.23 Design values of the damage parameter, S_d , for armourstone in a double layer

Slope (cotα)	Damage level		
	Start of damage	Intermediate damage	Failure
1.5	2	3-5	8
2	2	4-6	8
3	2	6-9	12
4	3	8-12	17
6	3	8-12	17

Hudson, SPM77

Breaking waves:

$$i := 0 \dots 1$$

$$Kd77_0 := 3.5$$

Nonbreaking waves:

$$Kd77_1 := 4.0$$

Weight of stones, M50:

$$M_{Hud77_i} := \rho_a \cdot \frac{Hs^3}{Kd77_i \cdot \Delta^3 \cdot a}$$

$$M_{Hud77_0} = (1 \cdot 10^4) \text{ kg}$$

$$M_{Hud77_1} = 9442 \text{ kg}$$

Size of stones, Dn50:

$$d50_{Hud77_i} := \sqrt[3]{\frac{M_{Hud77_i}}{\rho_a}}$$

$$d50_{Hud77_0} = 1.60 \text{ m}$$

$$d50_{Hud77_1} = 1.53 \text{ m}$$

Hudson, SPM84

Breaking waves

$$i := 0 \dots 1$$

$$Kd84_0 := 2$$

Nonbreaking waves

$$Kd84_1 := 4.0$$

Weight of armour stones, M50:

$$M_{Hud84_i} := \rho_a \cdot \frac{(1.27 \cdot Hs)^3}{Kd84_i \cdot \Delta^3 \cdot a}$$

$$M_{Hud84_0} = (4 \cdot 10^4) \text{ kg}$$

$$M_{Hud84_1} = (2 \cdot 10^4) \text{ kg}$$

Size of armour stones, Dn50:

$$d50_{Hud84_i} := \sqrt[3]{\frac{M_{Hud84_i}}{\rho_a}}$$

$$d50_{Hud84_0} = 2.44 \text{ m}$$

$$d50_{Hud84_1} = 1.94 \text{ m}$$

NOTE: Hudson covers both deep water and shallow water conditions. It is only valid for non-overtopped and permeable structures. For SPM84 the design wave is $H1/10 = 1.27Hs$ instead of Hs

Van der Meer (ROCK CEM VI-5-68 and -69 p. VI-5-66)

Note: The formula is modified by use of Van Gent so that the method is valid for deep water ($h > 3H_{s-toe}$) and shallow foreshore.

Wave length (deep):	$L_o(T) := \frac{g}{2 \cdot \pi} \cdot T^2$	$L_o(T_m) = 70 \text{ m}$
---------------------	---	---------------------------

Wave steepness	$sm(T) := \frac{H_s}{L_o(T)}$	$sm(T_m) = 0.063$
----------------	-------------------------------	-------------------

Surf similarity	$\xi_m(T) := \frac{\tan(\alpha)}{\sqrt{sm(T)}}$	$\xi_m(T_m) = 2.66$
-----------------	---	---------------------

	$\xi_s(T) := \frac{\tan(\alpha)}{\sqrt{\frac{2 \cdot \pi \cdot H_s}{g \cdot T^2}}}$	$\xi_s(T_E) = 2.75$
--	---	---------------------

Critical ξ_m , plunging/surging waves:	$\xi_{cr} := \left(6.2 \cdot P^{0.31} \cdot \sqrt{\tan(\alpha)} \right)^{\frac{1}{P+0.5}}$	$\xi_{cr} = 4.42$
--	---	-------------------

Rigth hand side of Van der Meer equation (Breakwaters and closure dams 7.11 and 7.12 p. 112)

Determining C_{pl} and C_s :	$c_{pl} := \left\ \begin{array}{l} \text{if } h > 3 \cdot H_{s_{Toe}} \\ \left\ \begin{array}{l} 6.2 \\ \text{if } h < 3 \cdot H_{s_{Toe}} \\ \left\ \begin{array}{l} 8.4 \end{array} \right\ \end{array} \right\ \end{array} \right\ $	$c_{pl} = 8.40$
----------------------------------	--	-----------------

	$c_s := \left\ \begin{array}{l} \text{if } h > 3 \cdot H_{s_{Toe}} \\ \left\ \begin{array}{l} 1 \\ \text{if } h < 3 \cdot H_{s_{Toe}} \\ \left\ \begin{array}{l} 1.3 \end{array} \right\ \end{array} \right\ \end{array} \right\ $	$c_s = 1.30$
--	---	--------------

Number of waves:	$N(T) := \left\ \begin{array}{l} \text{if } h > 3 \cdot H_{s_{Toe}} \\ \left\ \begin{array}{l} \min\left(7500, \frac{\Delta t}{T}\right) \\ \text{if } h < 3 \cdot H_{s_{Toe}} \\ \left\ \begin{array}{l} \min\left(3000, \frac{\Delta t}{T}\right) \end{array} \right\ \end{array} \right\ \end{array} \right\ $	$N(T_E) = 3000$
------------------	--	-----------------

$$temp(T) := \begin{cases} \text{if } h > 3 \cdot Hs_{Toe} \\ \quad \text{if } \xi_m(T) < \xi_{cr} \\ \quad \quad \left| c_{pl} \cdot P^{0.18} \cdot \left(\frac{S_d}{\sqrt{N(T)}} \right)^{0.2} \cdot \xi_m(T)^{-0.5} \right| \\ \quad \text{if } \xi_m(T) > \xi_{cr} \\ \quad \quad \left| c_s \cdot P^{-0.13} \cdot \left(\frac{S_d}{\sqrt{N(T)}} \right)^{0.2} \cdot \sqrt{\cot(\alpha)} \cdot \xi_m(T)^P \right| \\ \text{if } h < 3 \cdot Hs_{Toe} \\ \quad \text{if } \xi_s(T) < \xi_{cr} \\ \quad \quad \left| c_{pl} \cdot P^{0.18} \cdot \left(\frac{S_d}{\sqrt{N(T)}} \right)^{0.2} \cdot \left(\frac{Hs}{H_{02}} \right) \cdot \xi_s(T)^{-0.5} \right| \\ \quad \text{if } \xi_s(T) > \xi_{cr} \\ \quad \quad \left| c_s \cdot P^{-0.13} \cdot \left(\frac{S_d}{\sqrt{N(T)}} \right)^{0.2} \cdot \left(\frac{Hs}{H_{02}} \right) \cdot \sqrt{\cot(\alpha)} \cdot \xi_s(T)^P \right| \end{cases}$$

Weight of armour stones, Dn50:

$$d50_Meer(T) := temp(T)^{-1} \cdot \frac{Hs}{\Delta}$$

$$M_Meer(T) := d50_Meer(T)^3 \cdot \rho_a$$

$$M_Meer(T_E) = 11455 \text{ kg}$$

Critical waveperiod

Accuracy factor:

$$a_f := 0.0$$

Determining T_c :

$$T_n := \begin{cases} \text{if } h > 3 \cdot Hs_{Toe} \\ \quad T_m \\ \text{if } h < 3 \cdot Hs_{Toe} \\ \quad T_E \end{cases}$$

$$T_c := T_n$$

SolverGuessValues

$$\begin{cases} (1 - a_f) \cdot T_n < T_c < (1 + a_f) \cdot T_n \\ T_c := \text{Maximize}(M_Meer, T_c) \end{cases}$$

$$T_c = 6.93 \text{ s}$$

Armour layer specification, weight

Mean weight, M50,armour:	$M_{50.armour} := \text{Round} (M_Meer (T_c), 1 \cdot \text{kg})$	$M_{50.armour} = 11455 \text{ kg}$
Weight, M10,armour	$M_{10} := 1 \cdot \text{kg} \cdot \left(0.156 \cdot \left(M_{50.armour} \cdot \frac{1}{\text{kg}} \right)^{1.16} \right)$	$M_{10} = 7972 \text{ kg}$
Weight, M70,armour	$M_{70} := 1 \cdot \text{kg} \cdot \left(2.52 \cdot \left(M_{50.armour} \cdot \frac{1}{\text{kg}} \right)^{0.92} \right)$	$M_{70} = 13667 \text{ kg}$
Max. weight, M85,armour:	$M_{85} := 1 \cdot \text{kg} \cdot \left(3.34 \cdot \left(M_{50.armour} \cdot \frac{1}{\text{kg}} \right)^{0.918} \right)$	$M_{85} = 17779 \text{ kg}$
Minimum weight, M15,armour:	$M_{15} := 1 \cdot \text{kg} \cdot \left(0.16 \cdot \left(M_{50.armour} \cdot \frac{1}{\text{kg}} \right)^{1.171} \right)$	$M_{15} = 9062 \text{ kg}$

Armour layer specification, size

Mean size, Dn50,armour:	$D_{n50.armour} := \sqrt[3]{\frac{M_{50.armour}}{\rho_a}}$	$D_{n50.armour} = 163 \text{ cm}$
Max. size, Dn85,armour:	$D_{n85.armour} := \sqrt[3]{\frac{M_{85}}{\rho_a}}$	$D_{n85.armour} = 189 \text{ cm}$
Minimum size, Dn15,armour:	$D_{n15.armour} := \sqrt[3]{\frac{M_{15}}{\rho_a}}$	$D_{n15.armour} = 151 \text{ cm}$
Thickness of armour layer:	$t_{armour} := 2 \cdot D_{n50.armour}$	$t_{armour} = 3.26 \text{ m}$

Validation

Note: The Van der Meer formula is valid, if the following equals 1:

$$\tan\left(\frac{1}{6}\right) \leq \alpha \leq \tan\left(\frac{1}{1.5}\right) = 1.00$$

$$N(T_c) \leq 7500 = 1.00$$

$$0.01 \leq sm(T_c) \leq 0.06 = 1.00$$

$$0.7 \leq \xi_m(T_c) \leq 7 = 1.00$$

$$1 \leq \Delta \leq 2.1 = 1.00$$

$$\frac{h}{Hs_{Toe}} > 3 = 0.00 \quad \text{If the result is 0, there is shallow foreshore!}$$

$$\tan\left(\frac{1}{6}\right) \leq \alpha \leq \tan\left(\frac{1}{1.5}\right) = 1.00$$

$$\frac{S_d}{\sqrt{N(T_E)}} < 0.9 = 1.00$$

$$1 \leq \frac{Hs}{\Delta \cdot D_{n50.armour}} \leq 4 = 1.00$$

Filter criteria for $P=0.40$

Note: The filter criteria and thickness of the layers is according to figure VI-5-11, CEM

Mean stone size, Dn50,filter:	$D_{n50.filter} := 0.2 \cdot D_{n50.armor}$	$D_{n50.filter} = 326 \text{ mm}$
Mean stone weight, M50, filter:	$M_{50.filter} := \rho_f \cdot (D_{n50.filter})^3$	$M_{50.filter} = 92 \text{ kg}$
Weight, M10,filter:	$M_{10.filter} := 1 \cdot \text{kg} \cdot \left(0.156 \cdot \left(M_{50.filter} \cdot \frac{1}{\text{kg}} \right)^{1.16} \right)$	$M_{10.filter} = 29 \text{ kg}$
Mean size, Dn10,filter:	$D_{n10.filter} := \sqrt[3]{\frac{M_{10.filter}}{\rho_a}}$	$D_{n10.filter} = 223 \text{ mm}$
Weight, M70,filter:	$M_{70.filter} := 1 \cdot \text{kg} \cdot \left(2.52 \cdot \left(M_{50.filter} \cdot \frac{1}{\text{kg}} \right)^{0.92} \right)$	$M_{70.filter} = 161 \text{ kg}$
Mean size, Dn70,filter:	$D_{n70.filter} := \sqrt[3]{\frac{M_{70.filter}}{\rho_a}}$	$D_{n70.filter} = 393 \text{ mm}$
Max. weight, M85,filter:	$M_{85.filter} := 1 \cdot \text{kg} \cdot \left(3.34 \cdot \left(M_{50.filter} \cdot \frac{1}{\text{kg}} \right)^{0.918} \right)$	$M_{85.filter} = 211 \text{ kg}$
Mean size, Dn85,filter:	$D_{n85.filter} := \sqrt[3]{\frac{M_{85.filter}}{\rho_a}}$	$D_{n85.filter} = 430 \text{ mm}$
Minimum weight, M15,filter:	$M_{15.filter} := 1 \cdot \text{kg} \cdot \left(0.16 \cdot \left(M_{50.filter} \cdot \frac{1}{\text{kg}} \right)^{1.171} \right)$	$M_{15.filter} = 32 \text{ kg}$
Mean size, Dn15,filter:	$D_{n15.filter} := \sqrt[3]{\frac{M_{15.filter}}{\rho_a}}$	$D_{n15.filter} = 229 \text{ mm}$
Thickness of filter layer:	$t_{filter} := 1.5 \cdot D_{n50.armor}$	$t_{filter} = 2.44 \text{ m}$

Project: 1350057430-017
Customer: XX
Worksheet: XX
Reference: THBU
Date: 05-02-2025
Section: Øst for nødahvn på 2 m vand.

General note: The stone sizes defined by Hudson SPM77 and Hudson SPM84 only serves as a reference and should not be used. The main formula work is based on Van de Meer.

General Parameters

Hs	Significant wave height
pa	Mass density of armour blocks
pw	Mass density of sea water
Δ	Submerged specific density of armour blocks
a	Slope
KD	Stability coefficient
M ₅₀	Medium mass of armour blocks
Dn ₅₀	Equivalent cube length of median block
P	Porosity
Sd	Damage level
sm	wave steepness
x	Surf similarity parameter
n	Number of waves

Design assumptions, geometric

Water depth (MSL):		$h_{MSL} := 2.5 \cdot m$
Tide:		$\Delta h_{tide} := 2.64 \cdot m$
Surge and Wave setup:		$\Delta h_{surge} := 0 \cdot m$
Total water depth	$h := h_{MSL} + \Delta h_{tide} + \Delta h_{surge}$	$h = 5.14 \cdot m$

Design assumptions, hydraulic

Inclination of seabed (1/m):		$m. := 100$
Max. Significant wave height:	$Hs_{depth} := 0.56 \cdot \exp\left(3.5 \cdot \frac{1}{m.}\right) \cdot h$	$Hs_{depth} = 2.98 \cdot m$

Note: The maximum significant wave height is overruled by the modelled significant wave height, if the modelled significant wave height is smaller.

Modelled significant wave height:		$Hs_{model} := 4.4 \cdot m$
Significant wave height:	$Hs := \min(Hs_{model}, Hs_{depth})$	$Hs = 2.98 \cdot m$
Significant wave height at toe:		$Hs_{Toe} := Hs$
Wave height, H ₀₂ :	$H_{02} := 1.3 \cdot Hs_{Toe}$	$H_{02} = 3.88 \cdot m$
Peak wave period:		$Tp := 7.7 \cdot s$
Mean wave period, T _m :	$Tm := 0.87 \cdot Tp$	$Tm = 6.70 \cdot s$
Mean energy wave period:	$T_E := 0.9 \cdot Tp$	$T_E = 6.93 \cdot s$

NOTE: The conversion from T_p to T_{01} is only valid for deep water wave spectre (JONSWAP). When using T_{01} in a shallow water case the period should be determined locally. See tabe 4.12 in the Rock Manual to see the relation between T_p and T_{01} for a JONSWAP spectrum.

Water depth theory: $h > 3 \cdot H_{S_{Toe}} = 0$ 0 = shallow water; 1 = Deepwater

Storm/high water duration: $\Delta t := 10 \cdot hr$

NOTE: The number of waves, N , in the Van der Meer formula depends on this value

Density of Armour rocks and sea water

Armour rocks $\rho_a := 2650 \cdot \frac{kg}{m^3}$

Filter materials $\rho_f := 2650 \cdot \frac{kg}{m^3}$

Sea water $\rho_w := 1025 \cdot \frac{kg}{m^3}$

Specific density of armour rocks $\Delta := \frac{\rho_a}{\rho_w} - 1$ $\Delta = 1.59$

Cross section levels

Proposed Crest level $z_{crest} := \Delta h_{tide} + \Delta h_{surge} + 1.5 \cdot H_s$ $z_{crest} = 7.11 \text{ m}$

Note: If the proposed crest level is higher than the design level, wave overtopping can be an issue and must be considered.

Armour Layer stability

Front slope: $a := 1.5$
 $\alpha := \text{atan}\left(\frac{1}{a}\right)$ $\alpha = 33.7 \text{ deg}$

Permeability, jf. Figure VI-5-11, CEM: $P := 0.4$

Damage level, jf. Table 5.23 Rock manual: $S_d := 2$

EM 1110-2-1100 (Part VI)
Proposed Publishing Date: 30 Apr 03

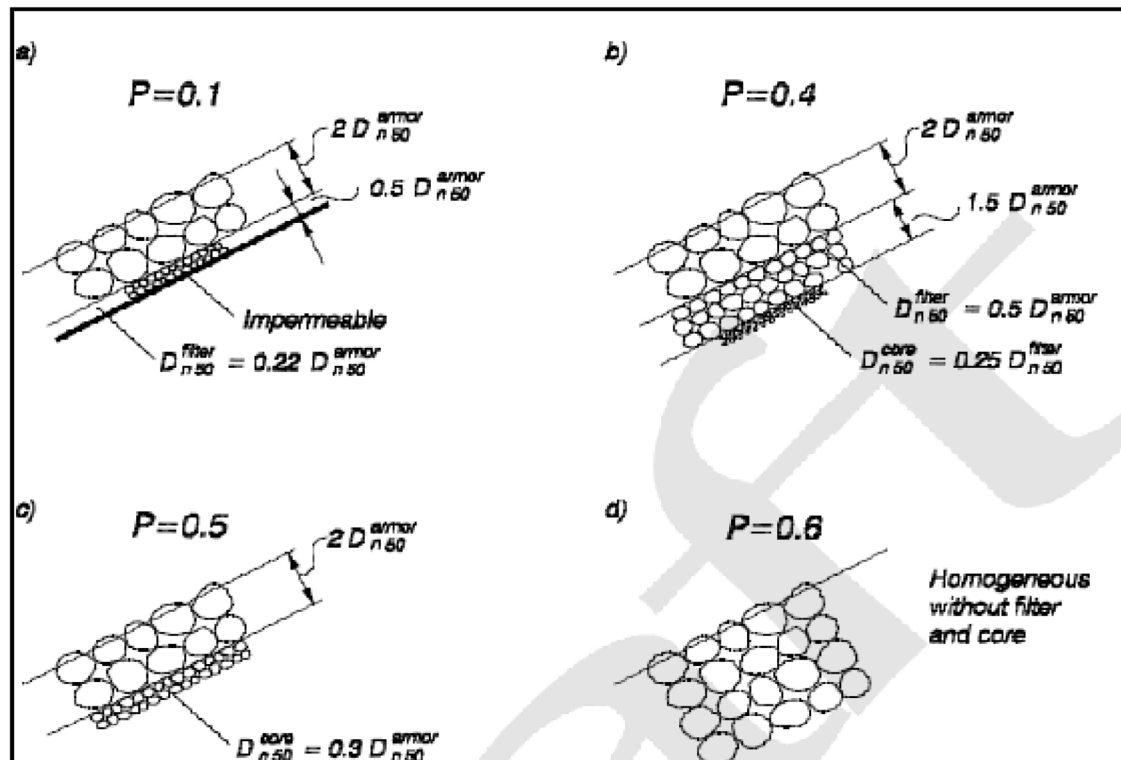


Figure VI-6-11. Notational permeability coefficients (van der Meer 1988)

Table 5.23 Design values of the damage parameter, S_d , for armourstone in a double layer

Slope (cotα)	Damage level		
	Start of damage	Intermediate damage	Failure
1.5	2	3-5	8
2	2	4-6	8
3	2	6-9	12
4	3	8-12	17
6	3	8-12	17

Hudson, SPM77

Breaking waves:

$$i := 0 \dots 1$$

$$Kd77_0 := 3.5$$

Nonbreaking waves:

$$Kd77_1 := 4.0$$

Weight of stones, M50:

$$M_{Hud77_i} := \rho_a \cdot \frac{Hs^3}{Kd77_i \cdot \Delta^3 \cdot a}$$

$$M_{Hud77_0} = 3355 \text{ kg}$$

$$M_{Hud77_1} = 2936 \text{ kg}$$

Size of stones, Dn50:

$$d50_{Hud77_i} := \sqrt[3]{\frac{M_{Hud77_i}}{\rho_a}}$$

$$d50_{Hud77_0} = 1.08 \text{ m}$$

$$d50_{Hud77_1} = 1.03 \text{ m}$$

Hudson, SPM84

Breaking waves

$$i := 0 \dots 1$$

$$Kd84_0 := 2$$

Nonbreaking waves

$$Kd84_1 := 4.0$$

Weight of armour stones, M50:

$$M_{Hud84_i} := \rho_a \cdot \frac{(1.27 \cdot Hs)^3}{Kd84_i \cdot \Delta^3 \cdot a}$$

$$M_{Hud84_0} = (1 \cdot 10^4) \text{ kg}$$

$$M_{Hud84_1} = 6014 \text{ kg}$$

Size of armour stones, Dn50:

$$d50_{Hud84_i} := \sqrt[3]{\frac{M_{Hud84_i}}{\rho_a}}$$

$$d50_{Hud84_0} = 1.66 \text{ m}$$

$$d50_{Hud84_1} = 1.31 \text{ m}$$

NOTE: Hudson covers both deep water and shallow water conditions. It is only valid for non-overtopped and permeable structures. For SPM84 the design wave is $H1/10 = 1.27Hs$ instead of Hs

Van der Meer (ROCK CEM VI-5-68 and -69 p. VI-5-66)

Note: The formula is modified by use of Van Gent so that the method is valid for deep water ($h > 3H_{s-toe}$) and shallow foreshore.

Wave length (deep):	$L_o(T) := \frac{g}{2 \cdot \pi} \cdot T^2$	$L_o(T_m) = 70 \text{ m}$
---------------------	---	---------------------------

Wave steepness	$sm(T) := \frac{H_s}{L_o(T)}$	$sm(T_m) = 0.043$
----------------	-------------------------------	-------------------

Surf similarity	$\xi_m(T) := \frac{\tan(\alpha)}{\sqrt{sm(T)}}$	$\xi_m(T_m) = 3.23$
-----------------	---	---------------------

	$\xi_s(T) := \frac{\tan(\alpha)}{\sqrt{\frac{2 \cdot \pi \cdot H_s}{g \cdot T^2}}}$	$\xi_s(T_E) = 3.34$
--	---	---------------------

Critical ξ_m , plunging/surging waves:	$\xi_{cr} := \left(6.2 \cdot P^{0.31} \cdot \sqrt{\tan(\alpha)} \right)^{\frac{1}{P+0.5}}$	$\xi_{cr} = 4.42$
--	---	-------------------

Rigth hand side of Van der Meer equation (Breakwaters and closure dams 7.11 and 7.12 p. 112)

Determining c_{pl} and c_s :	$c_{pl} := \left\ \begin{array}{l} \text{if } h > 3 \cdot H_{s_{Toe}} \\ \left\ \begin{array}{l} 6.2 \\ \text{if } h < 3 \cdot H_{s_{Toe}} \\ \left\ \begin{array}{l} 8.4 \end{array} \right\ \end{array} \right\ \end{array} \right\ $	$c_{pl} = 8.40$
----------------------------------	--	-----------------

	$c_s := \left\ \begin{array}{l} \text{if } h > 3 \cdot H_{s_{Toe}} \\ \left\ \begin{array}{l} 1 \\ \text{if } h < 3 \cdot H_{s_{Toe}} \\ \left\ \begin{array}{l} 1.3 \end{array} \right\ \end{array} \right\ \end{array} \right\ $	$c_s = 1.30$
--	---	--------------

Number of waves:	$N(T) := \left\ \begin{array}{l} \text{if } h > 3 \cdot H_{s_{Toe}} \\ \left\ \begin{array}{l} \min\left(7500, \frac{\Delta t}{T}\right) \\ \text{if } h < 3 \cdot H_{s_{Toe}} \\ \left\ \begin{array}{l} \min\left(3000, \frac{\Delta t}{T}\right) \end{array} \right\ \end{array} \right\ \end{array} \right\ $	$N(T_E) = 3000$
------------------	--	-----------------

$$temp(T) := \begin{cases} \text{if } h > 3 \cdot Hs_{Toe} \\ \quad \text{if } \xi_m(T) < \xi_{cr} \\ \quad \quad \left| c_{pl} \cdot P^{0.18} \cdot \left(\frac{S_d}{\sqrt{N(T)}} \right)^{0.2} \cdot \xi_m(T)^{-0.5} \right| \\ \quad \text{if } \xi_m(T) > \xi_{cr} \\ \quad \quad \left| c_s \cdot P^{-0.13} \cdot \left(\frac{S_d}{\sqrt{N(T)}} \right)^{0.2} \cdot \sqrt{\cot(\alpha)} \cdot \xi_m(T)^P \right| \\ \text{if } h < 3 \cdot Hs_{Toe} \\ \quad \text{if } \xi_s(T) < \xi_{cr} \\ \quad \quad \left| c_{pl} \cdot P^{0.18} \cdot \left(\frac{S_d}{\sqrt{N(T)}} \right)^{0.2} \cdot \left(\frac{Hs}{H_{02}} \right) \cdot \xi_s(T)^{-0.5} \right| \\ \quad \text{if } \xi_s(T) > \xi_{cr} \\ \quad \quad \left| c_s \cdot P^{-0.13} \cdot \left(\frac{S_d}{\sqrt{N(T)}} \right)^{0.2} \cdot \left(\frac{Hs}{H_{02}} \right) \cdot \sqrt{\cot(\alpha)} \cdot \xi_s(T)^P \right| \end{cases}$$

Weight of armour stones, Dn50:

$$d50_Meer(T) := temp(T)^{-1} \cdot \frac{Hs}{\Delta}$$

$$M_Meer(T) := d50_Meer(T)^3 \cdot \rho_a$$

$$M_Meer(T_E) = 4770 \text{ kg}$$

Critical waveperiod

Accuracy factor:

$$a_f := 0.0$$

Determining T_c :

$$T_n := \begin{cases} \text{if } h > 3 \cdot Hs_{Toe} \\ \quad T_m \\ \text{if } h < 3 \cdot Hs_{Toe} \\ \quad T_E \end{cases}$$

$$T_c := T_n$$

SolverGuessValues

$$\begin{cases} (1 - a_f) \cdot T_n < T_c < (1 + a_f) \cdot T_n \\ T_c := \text{Maximize}(M_Meer, T_c) \end{cases}$$

$$T_c = 6.93 \text{ s}$$

Armour layer specification, weight

Mean weight, M50,armour:

$$M_{50.armour} := \text{Round} \left(M_Meer \left(T_c \right), 1 \cdot \text{kg} \right)$$

$$M_{50.armour} = 4770 \text{ kg}$$

Weight, M10,armour

$$M_{10} := 1 \cdot \text{kg} \cdot \left(0.156 \cdot \left(M_{50.armour} \cdot \frac{1}{\text{kg}} \right)^{1.16} \right)$$

$$M_{10} = 2885 \text{ kg}$$

Weight, M70,armour

$$M_{70} := 1 \cdot \text{kg} \cdot \left(2.52 \cdot \left(M_{50.armour} \cdot \frac{1}{\text{kg}} \right)^{0.92} \right)$$

$$M_{70} = 6104 \text{ kg}$$

Max. weight, M85,armour:

$$M_{85} := 1 \cdot \text{kg} \cdot \left(3.34 \cdot \left(M_{50.armour} \cdot \frac{1}{\text{kg}} \right)^{0.918} \right)$$

$$M_{85} = 7955 \text{ kg}$$

Minimum weight, M15,armour:

$$M_{15} := 1 \cdot \text{kg} \cdot \left(0.16 \cdot \left(M_{50.armour} \cdot \frac{1}{\text{kg}} \right)^{1.171} \right)$$

$$M_{15} = 3248 \text{ kg}$$

Armour layer specification, size

Mean size, Dn50,armour:

$$D_{n50.armour} := \sqrt[3]{\frac{M_{50.armour}}{\rho_a}}$$

$$D_{n50.armour} = 122 \text{ cm}$$

Max. size, Dn85,armour:

$$D_{n85.armour} := \sqrt[3]{\frac{M_{85}}{\rho_a}}$$

$$D_{n85.armour} = 144 \text{ cm}$$

Minimum size, Dn15,armour:

$$D_{n15.armour} := \sqrt[3]{\frac{M_{15}}{\rho_a}}$$

$$D_{n15.armour} = 107 \text{ cm}$$

Thickness of armour layer:

$$t_{armour} := 2 \cdot D_{n50.armour}$$

$$t_{armour} = 2.43 \text{ m}$$

Validation

Note: The Van der Meer formula is valid, if the following equals 1:

$$\text{atan} \left(\frac{1}{6} \right) \leq \alpha \leq \text{atan} \left(\frac{1}{1.5} \right) = 1.00$$

$$N \left(T_c \right) \leq 7500 = 1.00$$

$$0.01 \leq sm \left(T_c \right) \leq 0.06 = 1.00$$

$$0.7 \leq \xi_m \left(T_c \right) \leq 7 = 1.00$$

$$1 \leq \Delta \leq 2.1 = 1.00$$

$$\frac{h}{Hs_{Toe}} > 3 = 0.00 \quad \text{If the result is 0, there is shallow foreshore!}$$

$$\text{atan} \left(\frac{1}{6} \right) \leq \alpha \leq \text{atan} \left(\frac{1}{1.5} \right) = 1.00$$

$$\frac{S_d}{\sqrt{N \left(T_E \right)}} < 0.9 = 1.00$$

$$1 \leq \frac{Hs}{\Delta \cdot D_{n50.armour}} \leq 4 = 1.00$$

Filter criteria for $P=0.40$

Note: The filter criteria and thickness of the layers is according to figure VI-5-11, CEM

Mean stone size, Dn50,filter:	$D_{n50.filter} := 0.2 \cdot D_{n50.armor}$	$D_{n50.filter} = 243 \text{ mm}$
Mean stone weight, M50, filter:	$M_{50.filter} := \rho_f \cdot (D_{n50.filter})^3$	$M_{50.filter} = 38 \text{ kg}$
Weight, M10,filter:	$M_{10.filter} := 1 \cdot \text{kg} \cdot \left(0.156 \cdot \left(M_{50.filter} \cdot \frac{1}{\text{kg}} \right)^{1.16} \right)$	$M_{10.filter} = 11 \text{ kg}$
Mean size, Dn10,filter:	$D_{n10.filter} := \sqrt[3]{\frac{M_{10.filter}}{\rho_a}}$	$D_{n10.filter} = 159 \text{ mm}$
Weight, M70,filter:	$M_{70.filter} := 1 \cdot \text{kg} \cdot \left(2.52 \cdot \left(M_{50.filter} \cdot \frac{1}{\text{kg}} \right)^{0.92} \right)$	$M_{70.filter} = 72 \text{ kg}$
Mean size, Dn70,filter:	$D_{n70.filter} := \sqrt[3]{\frac{M_{70.filter}}{\rho_a}}$	$D_{n70.filter} = 300 \text{ mm}$
Max. weight, M85,filter:	$M_{85.filter} := 1 \cdot \text{kg} \cdot \left(3.34 \cdot \left(M_{50.filter} \cdot \frac{1}{\text{kg}} \right)^{0.918} \right)$	$M_{85.filter} = 95 \text{ kg}$
Mean size, Dn85,filter:	$D_{n85.filter} := \sqrt[3]{\frac{M_{85.filter}}{\rho_a}}$	$D_{n85.filter} = 329 \text{ mm}$
Minimum weight, M15,filter:	$M_{15.filter} := 1 \cdot \text{kg} \cdot \left(0.16 \cdot \left(M_{50.filter} \cdot \frac{1}{\text{kg}} \right)^{1.171} \right)$	$M_{15.filter} = 11 \text{ kg}$
Mean size, Dn15,filter:	$D_{n15.filter} := \sqrt[3]{\frac{M_{15.filter}}{\rho_a}}$	$D_{n15.filter} = 163 \text{ mm}$
Thickness of filter layer:	$t_{filter} := 1.5 \cdot D_{n50.armor}$	$t_{filter} = 1.82 \text{ m}$

Project: E6 Hellstranda
Customer: XX
Worksheet: XX
Reference: THBU
Date: 05-02-2025
Section: Nær molehoved på 4 m vand, forside



The stability of the toe is determined by Van der Meer, 1995, eq. 5.187 and 5.188, CIRIA C683.

Input data

Significant wave height:		$H_s := 4.4 \cdot m$
Level of sea bed:		$d := -4 \cdot m$
Water level:		$WL := 2.64 \cdot m$
Thickness of toe:		$t_{toe} := 1.8 \cdot m$
Inclination of seabed (1/m):		$m. := 100$
Density of rock at toe:		$\rho_{toe} := 2650 \cdot \frac{kg}{m^3}$
Nominal stone diameter:		$D_{n50} := 0.9 \cdot m$
Mean weight of stones:	$W_{50} := D_{n50}^3 \cdot \rho_{toe}$	$W_{50} = 1931.9 \cdot kg$
Weight, W10, armour	$W_{10} := 1 \cdot kg \cdot \left(0.156 \cdot \left(W_{50} \cdot \frac{1}{kg} \right)^{1.16} \right)$	$W_{10} = 1011 \cdot kg$
Weight, W70, armour	$W_{70} := 1 \cdot kg \cdot \left(2.52 \cdot \left(W_{50} \cdot \frac{1}{kg} \right)^{0.92} \right)$	$W_{70} = 2658 \cdot kg$
Water depth:	$h := -d + WL$	$h = 6.6 \cdot m$
Level of toe:	$L_t := d + t_{toe}$	$L_t = -2.2 \cdot m$
Water depth at toe:	$h_t := -d + WL - t_{toe}$	$h_t = 4.8 \cdot m$
Density of sea water:		$\rho_w := 1025 \cdot \frac{kg}{m^3}$
Specific density of armour rocks	$\Delta := \frac{\rho_{toe}}{\rho_w} - 1$	$\Delta = 1.6$

Damage level:

Nod = 0.5 : Start of damage (stable)

Nod = 2.0 : Preliminary damage (Some flattening)

Nod = 4.0 : Failure (Complete flattening)

Usually Nod<2 is accepted

Equation 5.187:

$$N_{od1} := \left(\frac{\left(\frac{H_s}{\Delta \cdot D_{n50}} \right)}{1.6 + 0.24 \cdot \left(\frac{h_t}{D_{n50}} \right)} \right)^{\frac{1}{0.15}} \quad N_{od1} = 1.54$$

Applicable area:

$$k_{1.1} := \text{if} \left(0.4 < \frac{h_t}{h} < 0.9, \text{"ok"}, \text{"Not ok"} \right)$$

$k_{1.1} = \text{"ok"}$

$$k_{1.2} := \text{if} \left(\left(\frac{h_t}{H_s} \right) < 2, \text{"ok"}, \text{"Not ok"} \right)$$

$k_{1.2} = \text{"ok"}$

Equation 5.188:

$$N_{od} := \left(\frac{\left(\frac{H_s}{\Delta \cdot D_{n50}} \right)}{2 + 6.2 \cdot \left(\frac{h_t}{h} \right)^{2.7}} \right)^{\frac{1}{0.15}} \quad N_{od} = 0.1$$

Applicable area:

$$k_2 := \text{if} \left(3 < \frac{h_t}{D_{n50}} < 23, \text{"ok"}, \text{"Not ok"} \right)$$

$k_2 = \text{"ok"}$

Project: E6 Hellstranda
Customer: XX
Worksheet: XX
Reference: THBU
Date: 05-02-2025
Section: Øst for nødhavnen på 2 m vand, forside



The stability of the toe is determined by Van der Meer, 1995, eq. 5.187 and 5.188, CIRIA C683.

Input data

Significant wave height:		$H_s := 3 \cdot m$
Level of sea bed:		$d := -1.5 \cdot m$
Water level:		$WL := 2.64 \cdot m$
Thickness of toe:		$t_{toe} := 1.3 \cdot m$
Inclination of seabed (1/m):		$m. := 100$
Density of rock at toe:		$\rho_{toe} := 2650 \cdot \frac{kg}{m^3}$
Nominal stone diameter:		$D_{n50} := 1.3 \cdot m$
Mean weight of stones:	$W_{50} := D_{n50}^3 \cdot \rho_{toe}$	$W_{50} = 5822.1 \text{ kg}$
Weight, W10, armour	$W_{10} := 1 \cdot kg \cdot \left(0.156 \cdot \left(W_{50} \cdot \frac{1}{kg} \right)^{1.16} \right)$	$W_{10} = 3636 \text{ kg}$
Weight, W70, armour	$W_{70} := 1 \cdot kg \cdot \left(2.52 \cdot \left(W_{50} \cdot \frac{1}{kg} \right)^{0.92} \right)$	$W_{70} = 7333 \text{ kg}$
Water depth:	$h := -d + WL$	$h = 4.1 \text{ m}$
Level of toe:	$L_t := d + t_{toe}$	$L_t = -0.2 \text{ m}$
Water depth at toe:	$h_t := -d + WL - t_{toe}$	$h_t = 2.8 \text{ m}$
Density of sea water:		$\rho_w := 1025 \cdot \frac{kg}{m^3}$
Specific density of armour rocks	$\Delta := \frac{\rho_{toe}}{\rho_w} - 1$	$\Delta = 1.6$

Damage level:

Nod = 0.5 : Start of damage (stable)

Nod = 2.0 : Preliminary damage (Some flattening)

Nod = 4.0 : Failure (Complete flattening)

Usually Nod<2 is accepted

Equation 5.187:

$$N_{od1} := \left(\frac{\left(\frac{H_s}{\Delta \cdot D_{n50}} \right)}{1.6 + 0.24 \cdot \left(\frac{h_t}{D_{n50}} \right)} \right)^{\frac{1}{0.15}} \quad N_{od1} = 0.08$$

Applicable area:

$$k_{1.1} := \text{if} \left(0.4 < \frac{h_t}{h} < 0.9, \text{"ok"}, \text{"Not ok"} \right)$$

$k_{1.1} = \text{"ok"}$

$$k_{1.2} := \text{if} \left(\left(\frac{h_t}{H_s} \right) < 2, \text{"ok"}, \text{"Not ok"} \right)$$

$k_{1.2} = \text{"ok"}$

Equation 5.188:

$$N_{od} := \left(\frac{\left(\frac{H_s}{\Delta \cdot D_{n50}} \right)}{2 + 6.2 \cdot \left(\frac{h_t}{h} \right)^{2.7}} \right)^{\frac{1}{0.15}} \quad N_{od} = 0$$

Applicable area:

$$k_2 := \text{if} \left(3 < \frac{h_t}{D_{n50}} < 23, \text{"ok"}, \text{"Not ok"} \right)$$

$k_2 = \text{"Not ok"}$

Project: E6 Hellstranda
Customer: XX
Worksheet: XX
Reference: THBU
Date: 05-02-2025
Section: Nær molehoved på 4 m vand. Forside, middelvandstand.



The stability of the toe is determined by Van der Meer, 1995, eq. 5.187 and 5.188, CIRIA C683.

Input data

Significant wave height:		$H_s := 2.9 \cdot m$
Level of sea bed:		$d := -4 \cdot m$
Water level:		$WL := 0 \cdot m$
Thickness of toe:		$t_{toe} := 1.8 \cdot m$
Inclination of seabed (1/m):		$m. := 100$
Density of rock at toe:		$\rho_{toe} := 2650 \cdot \frac{kg}{m^3}$
Nominal stone diameter:		$D_{n50} := 0.9 \cdot m$
Mean weight of stones:	$W_{50} := D_{n50}^3 \cdot \rho_{toe}$	$W_{50} = 1931.9 \cdot kg$
Weight, W10, armour	$W_{10} := 1 \cdot kg \cdot \left(0.156 \cdot \left(W_{50} \cdot \frac{1}{kg} \right)^{1.16} \right)$	$W_{10} = 1011 \cdot kg$
Weight, W70, armour	$W_{70} := 1 \cdot kg \cdot \left(2.52 \cdot \left(W_{50} \cdot \frac{1}{kg} \right)^{0.92} \right)$	$W_{70} = 2658 \cdot kg$
Water depth:	$h := -d + WL$	$h = 4 \cdot m$
Level of toe:	$L_t := d + t_{toe}$	$L_t = -2.2 \cdot m$
Water depth at toe:	$h_t := -d + WL - t_{toe}$	$h_t = 2.2 \cdot m$
Density of sea water:		$\rho_w := 1025 \cdot \frac{kg}{m^3}$
Specific density of armour rocks	$\Delta := \frac{\rho_{toe}}{\rho_w} - 1$	$\Delta = 1.6$

Damage level:

Nod = 0.5 : Start of damage (stable)

Nod = 2.0 : Preliminary damage (Some flattening)

Nod = 4.0 : Failure (Complete flattening)

Usually Nod<2 is accepted

Equation 5.187:

$$N_{od1} := \left(\frac{\left(\frac{H_s}{\Delta \cdot D_{n50}} \right)}{1.6 + 0.24 \cdot \left(\frac{h_t}{D_{n50}} \right)} \right)^{\frac{1}{0.15}} \quad N_{od1} = 0.61$$

Applicable area:

$$k_{1.1} := \text{if} \left(0.4 < \frac{h_t}{h} < 0.9, \text{"ok"}, \text{"Not ok"} \right)$$

$k_{1.1} = \text{"ok"}$

$$k_{1.2} := \text{if} \left(\left(\frac{h_t}{H_s} \right) < 2, \text{"ok"}, \text{"Not ok"} \right)$$

$k_{1.2} = \text{"ok"}$

Equation 5.188:

$$N_{od} := \left(\frac{\left(\frac{H_s}{\Delta \cdot D_{n50}} \right)}{2 + 6.2 \cdot \left(\frac{h_t}{h} \right)^{2.7}} \right)^{\frac{1}{0.15}} \quad N_{od} = 0$$

Applicable area:

$$k_2 := \text{if} \left(3 < \frac{h_t}{D_{n50}} < 23, \text{"ok"}, \text{"Not ok"} \right)$$

$k_2 = \text{"Not ok"}$

Project: E6 Hellstranda
Customer: XX
Worksheet: XX
Reference: THBU
Date: 05-02-2025
Section: Øst for nødhavn på 2 m vand. Forside, middelvandstand.



The stability of the toe is determined by Van der Meer, 1995, eq. 5.187 and 5.188, CIRIA C683.

Input data

Significant wave height:		$H_s := 3 \cdot m$
Level of sea bed:		$d := -1.5 \cdot m$
Water level:		$WL := 0 \cdot m$
Thickness of toe:		$t_{toe} := 1.3 \cdot m$
Inclination of seabed (1/m):		$m. := 100$
Density of rock at toe:		$\rho_{toe} := 2650 \cdot \frac{kg}{m^3}$
Nominal stone diameter:		$D_{n50} := 1.3 \cdot m$
Mean weight of stones:	$W_{50} := D_{n50}^3 \cdot \rho_{toe}$	$W_{50} = 5822.1 \text{ kg}$
Weight, W10, armour	$W_{10} := 1 \cdot kg \cdot \left(0.156 \cdot \left(W_{50} \cdot \frac{1}{kg} \right)^{1.16} \right)$	$W_{10} = 3636 \text{ kg}$
Weight, W70, armour	$W_{70} := 1 \cdot kg \cdot \left(2.52 \cdot \left(W_{50} \cdot \frac{1}{kg} \right)^{0.92} \right)$	$W_{70} = 7333 \text{ kg}$
Water depth:	$h := -d + WL$	$h = 1.5 \text{ m}$
Level of toe:	$L_t := d + t_{toe}$	$L_t = -0.2 \text{ m}$
Water depth at toe:	$h_t := -d + WL - t_{toe}$	$h_t = 0.2 \text{ m}$
Density of sea water:		$\rho_w := 1025 \cdot \frac{kg}{m^3}$
Specific density of armour rocks	$\Delta := \frac{\rho_{toe}}{\rho_w} - 1$	$\Delta = 1.6$

Damage level:

Nod = 0.5 : Start of damage (stable)

Nod = 2.0 : Preliminary damage (Some flattening)

Nod = 4.0 : Failure (Complete flattening)

Usually Nod<2 is accepted

Equation 5.187:

$$N_{od1} := \left(\frac{\left(\frac{H_s}{\Delta \cdot D_{n50}} \right)}{1.6 + 0.24 \cdot \left(\frac{h_t}{D_{n50}} \right)} \right)^{\frac{1}{0.15}} \quad N_{od1} = 0.46$$

Applicable area:

$$k_{1.1} := \text{if} \left(0.4 < \frac{h_t}{h} < 0.9, \text{"ok"}, \text{"Not ok"} \right)$$

$k_{1.1} = \text{"Not ok"}$

$$k_{1.2} := \text{if} \left(\left(\frac{h_t}{H_s} \right) < 2, \text{"ok"}, \text{"Not ok"} \right)$$

$k_{1.2} = \text{"ok"}$

Equation 5.188:

$$N_{od} := \left(\frac{\left(\frac{H_s}{\Delta \cdot D_{n50}} \right)}{2 + 6.2 \cdot \left(\frac{h_t}{h} \right)^{2.7}} \right)^{\frac{1}{0.15}} \quad N_{od} = 0.1$$

Applicable area:

$$k_2 := \text{if} \left(3 < \frac{h_t}{D_{n50}} < 23, \text{"ok"}, \text{"Not ok"} \right)$$

$k_2 = \text{"Not ok"}$

Project: E6 Hellstranda
Customer: XX
Worksheet: XX
Reference: THBU
Date: 05-02-2025
Section: I rænde bag mole på 7 m vand. Bagside.



The stability of the toe is determined by Van der Meer, 1995, eq. 5.187 and 5.188, CIRIA C683.

Input data

Significant wave height:		$H_s := 4.4 \cdot m$
Level of sea bed:		$d := -7 \cdot m$
Water level:		$WL := 2.64 \cdot m$
Thickness of toe:		$t_{toe} := 1 \cdot m$
Inclination of seabed (1/m):		$m. := 100$
Density of rock at toe:		$\rho_{toe} := 2650 \cdot \frac{kg}{m^3}$
Nominal stone diameter:		$D_{n50} := 0.35 \cdot m$
Mean weight of stones:	$W_{50} := D_{n50}^3 \cdot \rho_{toe}$	$W_{50} = 113.6 \cdot kg$
Weight, W10, armour	$W_{10} := 1 \cdot kg \cdot \left(0.156 \cdot \left(W_{50} \cdot \frac{1}{kg} \right)^{1.16} \right)$	$W_{10} = 38 \cdot kg$
Weight, W70, armour	$W_{70} := 1 \cdot kg \cdot \left(2.52 \cdot \left(W_{50} \cdot \frac{1}{kg} \right)^{0.92} \right)$	$W_{70} = 196 \cdot kg$
Water depth:	$h := -d + WL$	$h = 9.6 \cdot m$
Level of toe:	$L_t := d + t_{toe}$	$L_t = -6 \cdot m$
Water depth at toe:	$h_t := -d + WL - t_{toe}$	$h_t = 8.6 \cdot m$
Density of sea water:		$\rho_w := 1025 \cdot \frac{kg}{m^3}$
Specific density of armour rocks	$\Delta := \frac{\rho_{toe}}{\rho_w} - 1$	$\Delta = 1.6$

Damage level:

Nod = 0.5 : Start of damage (stable)

Nod = 2.0 : Preliminary damage (Some flattening)

Nod = 4.0 : Failure (Complete flattening)

Usually Nod<2 is accepted

Equation 5.187:

$$N_{od1} := \left(\frac{\left(\frac{H_s}{\Delta \cdot D_{n50}} \right)}{1.6 + 0.24 \cdot \left(\frac{h_t}{D_{n50}} \right)} \right)^{\frac{1}{0.15}} \quad N_{od1} = 1.42$$

Applicable area:

$$k_{1.1} := \text{if} \left(0.4 < \frac{h_t}{h} < 0.9, \text{"ok"}, \text{"Not ok"} \right)$$

$k_{1.1} = \text{"ok"}$

$$k_{1.2} := \text{if} \left(\left(\frac{h_t}{H_s} \right) < 2, \text{"ok"}, \text{"Not ok"} \right)$$

$k_{1.2} = \text{"ok"}$

Equation 5.188:

$$N_{od} := \left(\frac{\left(\frac{H_s}{\Delta \cdot D_{n50}} \right)}{2 + 6.2 \cdot \left(\frac{h_t}{h} \right)^{2.7}} \right)^{\frac{1}{0.15}} \quad N_{od} = 3.4$$

Applicable area:

$$k_2 := \text{if} \left(3 < \frac{h_t}{D_{n50}} < 23, \text{"ok"}, \text{"Not ok"} \right)$$

$k_2 = \text{"Not ok"}$

Project: E6 Hellstranda
Customer: XX
Worksheet: XX
Reference: THBU
Date: 05-02-2025
Section: I rænde bag mole på 7 m vand. Bagside.



The stability of the toe is determined by Van der Meer, 1995, eq. 5.187 and 5.188, CIRIA C683.

Input data

Significant wave height:		$H_s := 3 \cdot m$
Level of sea bed:		$d := -7 \cdot m$
Water level:		$WL := 2.64 \cdot m$
Thickness of toe:		$t_{toe} := 1 \cdot m$
Inclination of seabed (1/m):		$m. := 100$
Density of rock at toe:		$\rho_{toe} := 2650 \cdot \frac{kg}{m^3}$
Nominal stone diameter:		$D_{n50} := 0.3 \cdot m$
Mean weight of stones:	$W_{50} := D_{n50}^3 \cdot \rho_{toe}$	$W_{50} = 71.6 \cdot kg$
Weight, W10, armour	$W_{10} := 1 \cdot kg \cdot \left(0.156 \cdot \left(W_{50} \cdot \frac{1}{kg} \right)^{1.16} \right)$	$W_{10} = 22 \cdot kg$
Weight, W70, armour	$W_{70} := 1 \cdot kg \cdot \left(2.52 \cdot \left(W_{50} \cdot \frac{1}{kg} \right)^{0.92} \right)$	$W_{70} = 128 \cdot kg$
Water depth:	$h := -d + WL$	$h = 9.6 \cdot m$
Level of toe:	$L_t := d + t_{toe}$	$L_t = -6 \cdot m$
Water depth at toe:	$h_t := -d + WL - t_{toe}$	$h_t = 8.6 \cdot m$
Density of sea water:		$\rho_w := 1025 \cdot \frac{kg}{m^3}$
Specific density of armour rocks	$\Delta := \frac{\rho_{toe}}{\rho_w} - 1$	$\Delta = 1.6$

Damage level:

Nod = 0.5 : Start of damage (stable)

Nod = 2.0 : Preliminary damage (Some flattening)

Nod = 4.0 : Failure (Complete flattening)

Usually Nod<2 is accepted

Equation 5.187:

$$N_{od1} := \left(\frac{\left(\frac{H_s}{\Delta \cdot D_{n50}} \right)}{1.6 + 0.24 \cdot \left(\frac{h_t}{D_{n50}} \right)} \right)^{\frac{1}{0.15}} \quad N_{od1} = 0.14$$

Applicable area:

$$k_{1.1} := \text{if} \left(0.4 < \frac{h_t}{h} < 0.9, \text{"ok"}, \text{"Not ok"} \right)$$

$k_{1.1} = \text{"ok"}$

$$k_{1.2} := \text{if} \left(\left(\frac{h_t}{H_s} \right) < 2, \text{"ok"}, \text{"Not ok"} \right)$$

$k_{1.2} = \text{"Not ok"}$

Equation 5.188:

$$N_{od} := \left(\frac{\left(\frac{H_s}{\Delta \cdot D_{n50}} \right)}{2 + 6.2 \cdot \left(\frac{h_t}{h} \right)^{2.7}} \right)^{\frac{1}{0.15}} \quad N_{od} = 0.7$$

Applicable area:

$$k_2 := \text{if} \left(3 < \frac{h_t}{D_{n50}} < 23, \text{"ok"}, \text{"Not ok"} \right)$$

$k_2 = \text{"Not ok"}$

**Beregninger på overtopping af bølgevæg med stenskråningsbeskyttelse.
Baseret på EurOtop 2018**

Geoemtriske input

Højvandspejl

$$HVS := 2.65 \text{ m}$$

Kronekote [NN2000] (sættes til bølgevægs top)

$$KK := 5.5 \text{ m}$$

Fribord

$$R_c := KK - HVS$$

$$R_c = 2.85 \text{ m}$$

Bølgeparametre

$$H_{s0} := 4.4 \text{ m}$$

Sign. bølgehøjde, 3,5 m
vanddybde

$$H_s := 4.4 \text{ m}$$

Peak periode

$$T_p := 7.7 \text{ s}$$

Bølgens angrebsvinkel

$$\beta := 0 \text{ deg}$$

Rughedsfaktor for stenskråning. (tab 6.2
eurotop)

$$\gamma_f := 0.55$$

Afledte parametre, generelt

Faktor for angrebsvinkel, min
0,8

$$\gamma_\beta := 1 - 0.0063 \cdot \beta$$

$$\gamma_\beta = 1$$

(6,9

Spektralperiode

$$T_{m1} := \frac{T_p}{1.1}$$

$$T_{m1} = 7 \text{ s}$$

Dybvandsbølgelængde

$$L_{m1} := \frac{g \cdot T_{m1}^2}{2 \cdot \pi}$$

$$L_{m1} = 77 \text{ m}$$

Dybvands bølgestejlhed

$$S_{0p} := \frac{H_{s0}}{L_{m1}}$$

$$S_{0p} = 0.057$$

Estimeret overskyl baseret på EurOtop, stenskråning, uden banket

Overtopping over bølgevæg og skråning uden banket
(gælder for hældning 1:2 til 1:1,3

$$q := \sqrt{g \cdot H_s^3} \cdot 0.1035 \cdot \exp \left(- \left(1.35 \cdot \frac{R_c}{H_s \cdot \gamma_f \cdot \gamma_\beta} \right)^{1.3} \right)$$

$$q = 482 \frac{l}{s \cdot m}$$

Effekt af rummelig fordeling af overskyl

vejkote

$KV := KK$

Forskel på kronekote væg og vejkote

$y := KK - KK$

$y = 0 \text{ m}$

Overskylsrate som fkt af afstand horisontal afstand fra væg

$$F(x) := \exp \left(\frac{-1.3}{H_s} \cdot \left(\max \left(\frac{x}{\cos(\beta)} - 2.7 \cdot y \cdot S_{0p}^{0.15}, 0 \right) \right) \right)$$

(6.1

Horisontal afstand til bygningen fra kronen

$x = 2 \text{ m}$

Andel af overskyl der når bygningen

$k := F(x) = 55.4\%$

$q_{red} := q \cdot k$

$q_{red} = 267 \frac{l}{s \cdot m}$

Plot af overskylsfordeling:



**Beregninger på overtopping af bølgevæg med stenskråningsbeskyttelse.
Baseret på EurOtop 2018**

Geoemtriske input

Højvandspejl

$$HVS := 2.65 \text{ m}$$

Kronekote [NN2000] (sættes til bølgevægs top)

$$KK := 6 \text{ m}$$

Fribord

$$R_c := KK - HVS$$

$$R_c = 3.35 \text{ m}$$

Bølgeparametre

$$H_{s0} := 4.4 \text{ m}$$

Sign. bølgehøjde, 3,5 m
vanddybde

$$H_s := 3.3 \text{ m}$$

Peak periode

$$T_p := 7.7 \text{ s}$$

Bølgens angrebsvinkel

$$\beta := 0 \text{ deg}$$

Rughedsfaktor for stenskråning. (tab 6.2
eurotop)

$$\gamma_f := 0.55$$

Afledte parametre, generelt

Faktor for angrebsvinkel, min
0,8

$$\gamma_\beta := 1 - 0.0063 \cdot \beta$$

$$\gamma_\beta = 1$$

(6,9

Spektralperiode

$$T_{m1} := \frac{T_p}{1.1}$$

$$T_{m1} = 7 \text{ s}$$

Dybvandsbølgelængde

$$L_{m1} := \frac{g \cdot T_{m1}^2}{2 \cdot \pi}$$

$$L_{m1} = 77 \text{ m}$$

Dybvands bølgestejlhed

$$S_{0p} := \frac{H_{s0}}{L_{m1}}$$

$$S_{0p} = 0.057$$

Estimeret overskyl baseret på EurOtop, stenskråning, uden banket

Overtopping over bølgevæg og skråning uden banket
(gælder for hældning 1:2 til 1:1,3

$$q := \sqrt{g \cdot H_s^3} \cdot 0.1035 \cdot \exp \left(- \left(1.35 \cdot \frac{R_c}{H_s \cdot \gamma_f \cdot \gamma_\beta} \right)^{1.3} \right)$$

$$q = 73 \frac{l}{s \cdot m}$$

Effekt af rummelig fordeling af overskyl

vejkote

$KV := KK$

Forskel på kronekote væg og vejkote

$y := KK - KK$

$y = 0 \text{ m}$

Overskylsrate som fkt af afstand horisontal afstand fra væg

$$F(x) := \exp \left(\frac{-1.3}{H_s} \cdot \left(\max \left(\frac{x}{\cos(\beta)} - 2.7 \cdot y \cdot S_{0p}^{0.15}, 0 \right) \right) \right)$$

(6.1

Horisontal afstand til bygningen fra kronen

$x := 2 \text{ m}$

Andel af overskyl der når bygningen

$k := F(x) = 45.5\%$

$q_{red} := q \cdot k$

$q_{red} = 33 \frac{l}{s \cdot m}$

Plot af overskylsfordeling:

