

Höganäs Kommun

DIMENSIONERING VÅGSKYDD ARILDS HAMN

**Stockholm 2010-03-01
Sweco Infrastructure AB
Sth Strömningsteknik & Dammar**

Fredrick Marelius

Uppdragsnummer 2156034000

re01s 2008-09-11

SWECO
Gjörwellsgatan 22
Box 34044, 100 26 Stockholm
Telefon 08-695 60 00
Telefax 08-695 60 10

p:\21113\2156034\000\19 original\pm dimensionering vågskydd
arilds hamn slutversion.doc fkma

1 Bakgrund

Uppdraget syftar till att beräkna erforderlig stenstorlek samt nivå för att förstärka vågskyddet för den norra pirarmen (se figur 1) vid Arilds hamn i Höganäs kommun. Dimensionerande förhållanden har angetts av kunden där pirens vågskydd ska dimensioneras för en våg som är 3,5 m hög (antas motsvara H_{10} dvs. medelhöjden hos de 10% största vågorna) med en vågperiod på ca 10 s (stormvaraktighet 10 h med 30 m/s) och ett vattenstånd som är 0,5 m över medelvattenytan. Djupet omedelbart utanför vågbrytarens yttre del är ca 3 m, därefter sluttar botten relativt kraftigt och 20 m längre ut är djupet ca 6 m. Den dimensionerande vågen börjar bryta vid djupet ca 4,5 m men med tanke på bottenens kraftiga lutning och vattenståndsökningen kan ändå en dimensionerande våghöjd på 3,5 m vara rimlig (eftersom vågens brytning endast initieras vid djupet ca 4,5 m).

a)



b)



Figur 1 Norra pirarmen vid Arilds hamn, a) – pirnocken och b) – piren
mellersta del.

2 Metod

2.1 Erforderlig stendimension

Erforderlig dimension för stenarna i vågskyddet beräknas med tre olika metoder enligt Hudson (efter SPM 1977 och 1984), Van der Meer (1988) (efter CEM 2008) och Hedar (1960, 1985, 1986, efter Cederwall m fl. 1992). Beräkning av överspolad volym vatten görs enligt Coastal Engineering Manual (USACE, 2008)

2.1.1 Hudsons ekvation:

$$W_{50} = \frac{\rho_s H^3}{K \left(\frac{\rho_s}{\rho_w} - 1 \right)^3 \cot(\alpha)}$$

Där W_{50} är medeltynghden av stenblock (kg), H är våghöjden som är $1,27 \cdot H_s$ eller H_s (signifikant våghöjd, m) beroende på vilken version av ingående koefficienter som används, K är en dimensionslös konstant som tar hänsyn till bl.a. skadegrad, blockform, inre friktion ρ_s är densiteten för stenblock (kg/m^3), ρ_w är densiteten för vatten (kg/m^3) och α är släntlutningen som vinkeln till horisontalen ($^\circ$)

2.1.2 Van der Meers ekvation:

$$W_{50} = \left[\frac{H_s}{\left(\frac{\rho_s}{\rho_w} - 1 \right) \left(6,2P^{0,18} \left(\frac{S_d}{\sqrt{N}} \right)^{0,2} \frac{1}{\sqrt{\xi_m}} \right)} \right]^3 \rho_s$$

där P är en permeabilitetsparameter (-), S_d är en skadeparameter som relaterar skadans area till blockstorleken (-), N är antalet vågor (-) och ξ_m är Iribarrens tal, en branthetsparameter (-) som ges av,

$$\xi_m = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{H_s / L_{0m}}}$$

Där L_{0m} är medelvåglängden på djupt vatten (m).

Ekvationen är giltig för $\xi_m < \xi_{mc}$, där ξ_{mc} ges av,

$$\xi_{mc} = (6,2P^{0,31} \sqrt{\tan(\alpha)})^{1/(P+0,5)},$$

som definierar gränsen mellan ett "plunging" och "surging" vågbrott (i det aktuella fallet är ξ_{mc} ca 3,5 och ξ_m ca 2,9).

2.1.3 Hedars ekvation

$$W = \frac{\pi}{6} \rho_s k^3$$

Där k är medeldiametern hos ett fiktivt sfäriskt block med massan W . Värdet på k beräknas olika om vågen är uppåtgående eller nedåtgående samt om underlaget är permeabelt eller tätt.

För en uppåtgående våg är,

$$k = \frac{A(d_b + 0,7H_b)(\tan \varphi + 2)}{\left(\frac{\rho_s}{\rho_w} - 1 \right) \left(B - \frac{1}{e^{4 \tan \beta}} \right) \cos \alpha (\tan \varphi + \tan \alpha)},$$

där φ är blockmaterialets rasvinkel och $\beta = \alpha + \varphi - 48^\circ$ för en uppåtgående våg. Konstanterna A och B är 0,33 respektive 3,6 i nämnd ordning om underlaget är genomsläppligt och 0,41 respektive 3,3 om underlaget är tätt.

För en nedåtgående våg är,

$$k = \frac{C(d_b + 0,7H_b)(\tan \varphi + 2)}{\left(\frac{\rho_s}{\rho_w} - 1\right)(e^{4 \tan \beta} + D)\cos \alpha(\tan \varphi - \tan \alpha)}$$

där $\beta = \alpha - \varphi + 48^\circ$ för en nedåtgående våg. Konstanterna C och D är 1 respektive 13,7 i nämnd ordning om underlaget är genomsläppligt och 1,6 respektive 16,5 om underlaget är tätt.

2.1.4 Parametrar

Använda värden för olika ingående parametrar redovisas i tabell 1 nedan.

Tabell 1 – parametrar med valda värden

Parameter	Beskrivning	Värde
H	Dimensionerande våg antas motsvara 1,27 gånger den signifikanta våghöjden, H_s , dvs ca H_{10} utom med Hudsons ekvation enligt SPM 1977 där dimensionerande våg motsvaras av signifikant våghöjd, H_s .	3,5 m
T	Vågperioden, T_p , ("peak wave period" används enbart i van der Meers ekvation för att beräkna Iribarrens tal).	10 s
α	Vågbrytarens släntlutning, uppskattas från ritningsmaterial.	26 °
ρ_s	Blockens densitet	2,5-3 ton/m ³
ρ_w	Vattnets densitet	1 ton/m ³
K	Dimensionslös parameter, valt värde är i intervallet där begränsade skador kan accepteras	1,6 (SPM 1984) och 2,1 (SPM 1977)
P	Permeabilitetsparameter, valt värde gäller för en situation där underliggande material (två stenlager under ytan) utgörs av mindre stenar med en diameter som är ca en tredjedel av ytlagrets blockdiameter	0,5
S_d	Skadeparameter, valt värde motsvarar "initiell skada"	2
N	Antal vågor, valt värde motsvarar en varaktighet på 10 timmar för vågor med en period på 10 s	3600 st
φ	Rasvinkeln för blockmaterialet, valt värde motsvarar rasvinkeln för sprängsten	45 °

2.2 Erforderlig volym sten

Det går inte att göra någon noggrannare beräkning av erforderlig volym stenmaterial eftersom ritningsunderlag för pirens utsida saknas. En uppskattning för erforderlig volym kan dock göras antaget att de yttersta 50 metrarna av den norra pirarmen täcks med ett skyddslager som är ca två stendiametrar tjockt och att slänten sträcker sig till djupet 3 m med lutningen 1:2.

2.3 Uppspolat flöde

Det överspolade flödet, Q , beräknas enligt (Bradbury and Allsop 1988, efter CEM),

$$Q = gH_s T_{0m} \cdot a \left[\left(\frac{R_c}{H_s} \right)^2 \sqrt{\frac{s_{0m}}{2\pi}} \right]^{-b},$$

och (Pedersen och Burcharth 1992, Pedersen 1996, efter CEM)

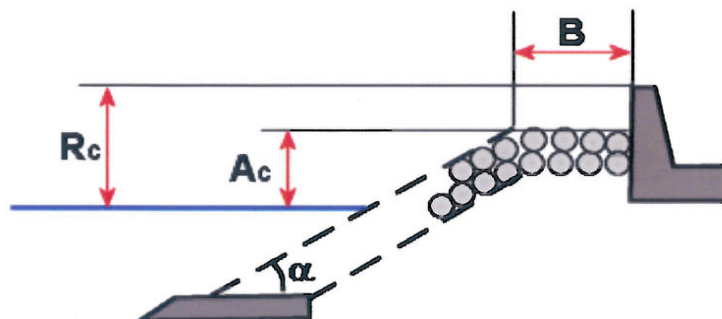
$$Q = \frac{L_{0m}^2}{T_{0m}} 3,2 \cdot 10^{-5} \left(\frac{H_s}{R_c} \right)^3 \frac{H_s^2}{A_c B \cot \alpha},$$

där,

$$s_{0m} = \frac{2\pi H_s}{g T_{0m}^2}$$

och g är gravitationskonstanten (m/s^2), T_{0m} är medelvågperioden (s), a och b är konstanter som beror av vågbrytarens dimensioner, R_c , A_c och B är geometriska parametrar (m) (se figur 2), L_{0m} är medelvåglängden på djupt vatten (m) och α är släntlutningen ($^\circ$).

Första ekvationen (Bradbury and Allsop 1988) förutsätter att det finns ett impermeabelt undre lager och att släntlutningen är 1:2 medan andra ekvationen (Pedersen och Burcharth 1992, Pedersen 1996) förutsätter en permeabel vågbrytare.

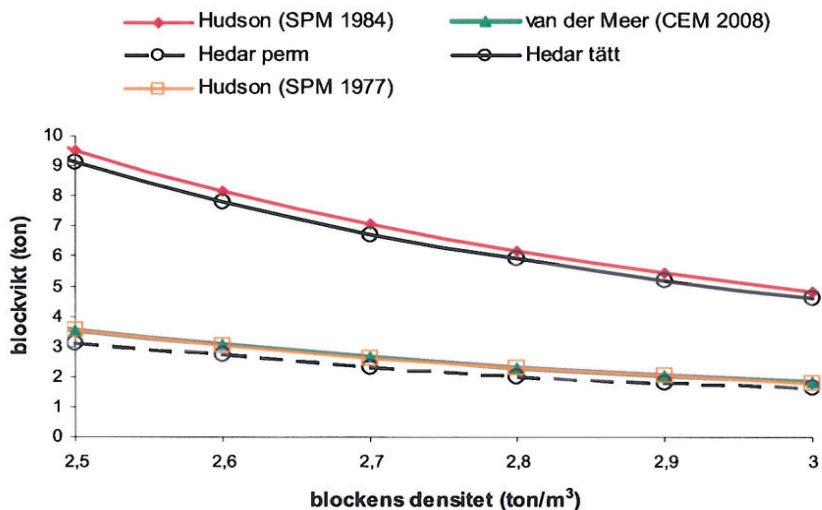


Figur 2 Schematisk skiss av tvärsnitt med geometriska parametrar.
I det aktuella fallet antas $R_c = A_c$.

3 Resultat

3.1 Erforderlig stendimension

Resultatet av beräknad stendimension visas i figur 3 nedan.



Figur 3 Beräknad stendimension för densitetsintervallet 2,5 till 3 ton/m³.

Utän kännedom om underlagets genomsläpplighet är inte resultatet av beräkningen med Hedars ekvation särskilt användbart. För Hudsons ekvation finns olika parametervärden i olika referenser och resulterande stendimension skiljer sig markant, i den senare versionen av SPM 1984 (shore protection manual) har dock en betydande säkerhetsmarginal införts och värdena kan möjligen tyckas alltför konservativa. Hudson (efter SPM 1977) och Van der Meers ekvation ger ett samstämmigt resultat och förslagsvis används dessa

som en undre gräns för stenmaterialet. Antaget att stenmaterialet har en lägsta densitet på ca 2,6 ton/m³ bör blockvikten inte underskrida ca 3 ton/block förutsatt att vågbrytaren är permeabel och att materialet i vågbrytarens "kärna" inte har en diameter som är mindre än $D_{n50}/3,2$ (D_{n50} - ekvivalent kubisk sidlängd av medianstenen) dvs ca 0,4 m i aktuellt fall. Blocken bör också vara relativt symmetriska i den bemärkelse att axlarnas längd (i de tre riktningarna) är relativt lika (dvs en rund eller kubisk form).

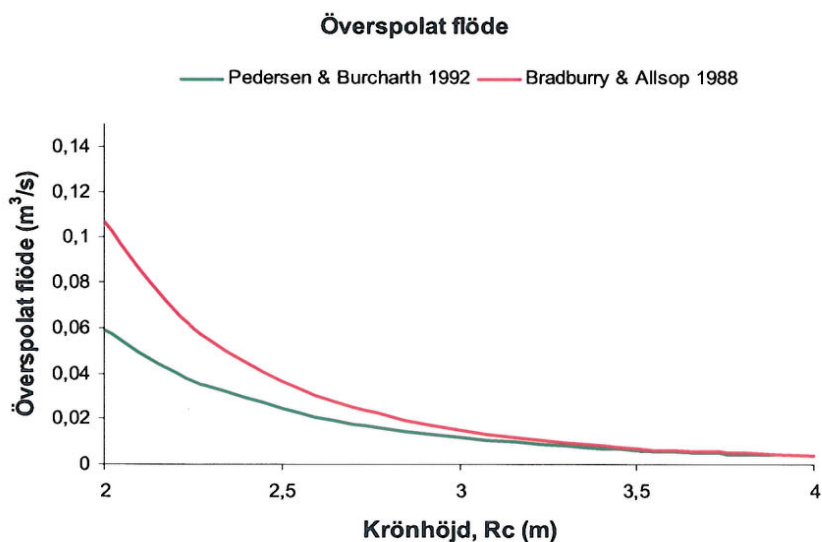
3.2 Erforderlig volym sten

Om krönhöjden har nivån +3,0 (med acceptabelt överspolat flöde 40l/s, se nästa rubrik) blir den totala höjden ca 6 m. Med en tjocklek på 2.6 m blir tvärsnittsarean ca 40 m² och den totala volymen för att täcka de yttre 50 metrarna i storleksordningen ca 2000 m³. Eventuellt bortplockade stenar kan användas för att höja nivån för den inre delen av vågbrytaren.

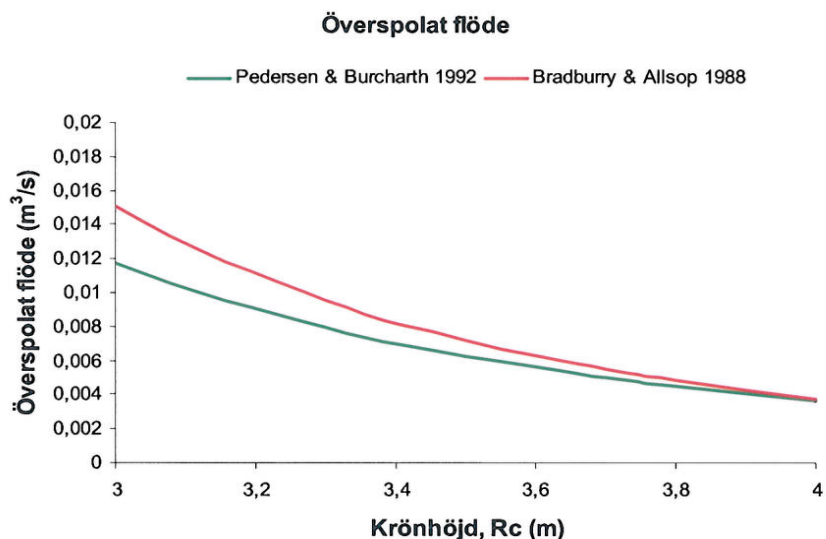
3.3 Uppspolat flöde

Beräknat överspolat flöde redovisas i figur 4 a och b.

a)



b)



Figur 4 Överspolat flöde (m^3/sm), skillnaden mellan de två ekvationerna beror antagligen på att Bradbury och Allsops ekvation förutsätter en impermeabel undergrund medan Pedersen och Burcharth förutsätter en permeabel vågbrytare.

Som framgår av ekvationen blir överspolningen liten när krönhöjden R_c är i samma storleksordning som den dimensionerande vågens höjd (3,5 m).

4 Rekommendationer

Stenarna som används för att förstärka vågbrytaren bör ha en blockvikt som är större än ca 3 ton förutsatt att densiteten inte är mindre än ca $2,6 \text{ ton}/m^3$.

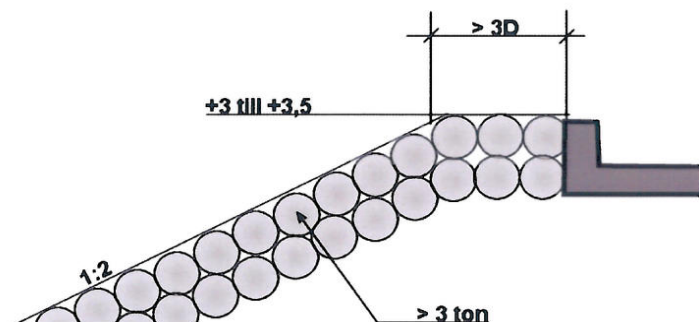
Krönets bredd (B i figur 2) bör vara i storleksordningen minst 3 gånger stendiametern, D, dvs. knappa 4 m i aktuellt fall (med en fiktiv klotdiameter på knappt 1,3 m).

Vågbrytarens släntlutning bör inte vara brantare än ca 1:2 (α - ca 26° i figur 2).

Vågbrytarsläntens tå bör vara skyddad mot erosion i det fall botten utgörs av eroderbart material, förmodligen är tån skyddad mot erosion redan idag men frågan går inte att utreda utan en geoteknisk undersökning eller besiktning av botten och vågbrytarsläntens tå.

Antaget att en viss överspolning med ca $< 20 \text{ l/s}$ per breddmeter kan accepteras under dimensionerande förhållanden bör vågbrytarens krönhöjd R_c höjas till nivån ca +3,5 (krönhöjd 3 m plus en

vattennivåhöjning på 0,5 m) vilket är ca 0,5 m högre än överkanten av befintlig mur som syns i figur 1. Om det acceptabla överspolade flödet ökas till < 40 l/s och breddmeter kan krönhöjden minskas till ca + 3,0, dvs. ungefär samma nivå som murens överkant. I det fall krönets bredd (B i figur 2) ökas minskar det överspolade flödet. Valet av acceptabel överspolning beror på vilka risker som ses som acceptabla och vilka restriktioner som finns för pirenns användning.



Figur 5 Sammanfattning av beräknade dimensioner.

Underliggande stenmaterial förutsätts fungera väl som filter mot det material som finns i vågbrytarens "kärna". De beräknade dimensionerna och nivåerna gäller främst för den yttre delen av pirarmen. Närmare land kan stendimensionen minskas i takt med det minskande vattendjupet. Förslagsvis täcks de yttre 50 metrarna (motsvarar en volym på i storleksordningen 2000 m^3) av piren med nya block medan mindre block används till den inre delen (eventuellt borttagna block från den yttre delen av piren) där vattendjupet direkt utanför piren förmodligen är mindre. Hur långt in skyddet behöver förstärkas går inte att ge något definitivt svar på utan vetskap om djupförhållanden. Förslagsvis förstärks den inre delen av piren för de områden där befintligt erosionsskydd visar tecken på skada eller dit man av erfarenhet vet att en alltför kraftig överspolning skett.

Referenser:

"CEM – Coastal Engineering Manual", (2006), US Army Corps of Engineers, EM 1110-2-1100 (Part VI).

SPM, (1984). "Shore Protection Manual, volume II." US Army Corps of Engineers, Vicksburg, Mississippi.

Cederwall, K., Mattsson, A., Sjöberg, A., (1992), "Kompendium i hamnbyggnad", 4:e upplagan, Institutionen för Vattenbyggnad, KTH och CTH.

Stockholm 100301

Fredrick Marelus
Fredrick Marelus

Carsten Staub
Carsten Staub (granskning)