

E4 Förbifart Stockholm

**FS1
Konsortiet Förbifart Stockholm**

**Ansökan om tillstånd enligt miljöbalken
Tillfällig hamn vid Malmviken
MKB-Bilaga - Fartygspåverkan
Tillståndsansökan Miljöbalken**

SYSTEMHANDLING

2011-06-01
0N140896.doc

Granskare	Godkänd av	Ort	Datum
			2011-06-01

Objektnamn E4 Förbifart Stockholm
Entreprenadnummer FS1
Entreprenadnamn Konsortiet Förbifart Stockholm
Beskrivning 1 Ansökan om tillstånd enligt miljöbalken
Beskrivning 2 Tillfällig hamn vid Malmviken
Beskrivning 3 MKB-Bilaga - Fartygspåverkan
Beskrivning 4 Tillståndsansökan Miljöbalken
Information
Diarienummer
Konstruktionsnummer
Objektnummer 8448590
Projekteringssteg SYSTEMHANDLING
Statusbenämning
Företag Konsortiet Förbifart Stockholm
Författare/Konstruktör Fredrik Marelius
Externnummer



TRAFIKVERKET

Bakgrund

Arbetet syftar till att utröna vilken inverkan en ökad fartygstrafik från Malmviken har på spridningen av bottensedimenten i området.

Området

Inverkan från fartygstrafiken undersöks för två snitt där vattenområdet är något smalare. Största vattendjupen är i storleksordningen 21 m vid utloppet från Malmviken (röd linje i figur 1) och ca 23 m vid slambanken från reningsverket (blå linje). Medelvattendjupet antas vara ca 2/3 av maxdjupet. Djupet vid kajanläggningen är i ca 7 m. Avstånden mellan stränderna vid den röda linjen är ca 460 m och vid den blå linjen ca 730 m.



Figur 1 Området norr om Malmviken med slambanken från reningsverket.

Metod

Fartygens storlek

Fartygens storlek har betydelse både för storleken på svallvågor och propellerströmmar. I den tekniska beskrivningen anges ett typfartyg (M/S Falknes) med dimensionerna 74 x 10,5 x 4,4. Det saknas uppgifter om maskinstyrka och propellerns/propellrarnas dimension och placering. Vanligen är motoreffekten i storleksordningen ca 1200-1700 kW för fartyg i den här storleksklassen. Enligt Sjöfartsverkets Författningssamling bör propellerdiametern vara 0,45 till 0,75 gånger djupgåendet med hänsyn till is. För beräkningen antas att fartyget har en maximal motoreffekt på 1400 kW (ca 1900 Hk), att fartyget endast har 1 propeller utan propellertrumma, att propellerns underkant är i nivå med kölen och att propellerdiametern motsvarar ca 0,6 gånger djupgåendet dvs 2,7 m.

Fartygsgenererade vågor

Storleken på fartygsgenererade vågor beror av fartygets hastighet, djupgående och skrovform, vattendjup samt förhållandet mellan fartygets tvärsnittsarea relativt vattenområdets tvärsnittsarea. Generellt ökar vågbildningen när fartyg passerar genom trånga passager. Vågparametrar kan grovt uppskattas som (USACE 1984),

$$L = \frac{1}{3} L_f \quad [1]$$

$$H = 2Z \quad [2]$$

Där L (m) är våglängden, L_f (m) är fartygets längd, H (m) är våghöjden och Z (m) är fartygets nedsjunkning (eng. "squat") på grund av fartygets hastighet.

Fartygets nedsjunkning, Z , kan uppskattas genom att först beräkna,

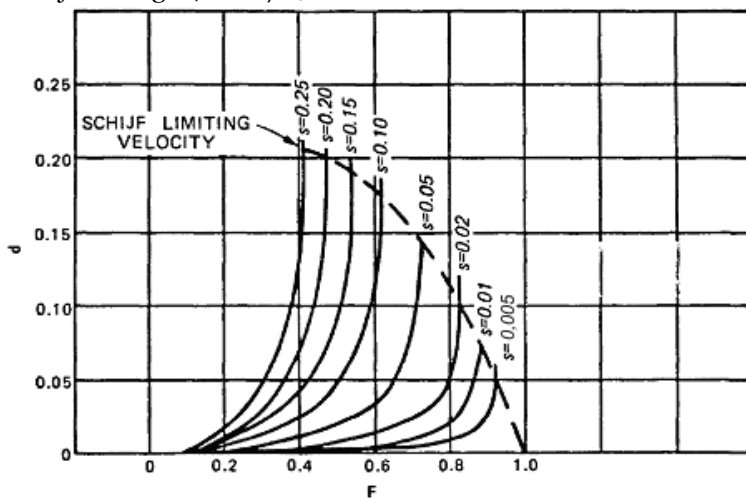
$$s = \frac{A_s}{Wd_c} \quad [3]$$

och

$$F = \frac{V_s}{\sqrt{gd_c}} \quad [4]$$

Där s (-) är kvoten av fartygets respektive kanalens tvärsnittsareor, A_s (m²) är tvärsnittsarean av fartygets undervattensskrov, W (m) är vattenområdets (kanalens) bredd, d_c (m) är vattendjupet, F (-) är Froudes tal, V_s (m/s) är fartygets hastighet och g (m/s²) är gravitationskonstanten.

Parametrarna s och F används därefter i ett nomogram för att bestämma den dimensionslösa nedsjunkningen, $d = Z/d_c$.



Figur 2 Nomogram för att bestämma dimensionslös nedsjunkning (från USACE (1984)).

Propellerström

Hastigheten i propellerströmmen relativt fartyget uppskattas från (Thoresen C. A. 2003),

$$V_0 = c \cdot \left(\frac{P}{\rho_w D_p^2} \right)^{1/3} \quad [5]$$

Där V_0 (m/s) är hastigheten direkt bakom propellern, c (-) är en konstant som beror av om propellern har en propellertunnel (1,17) eller inte (1,48), P (kW) är motoreffekten, ρ_w (kg/m³) är vattnets densitet och D_p (m) är propellerns diameter.

Eftersom V_0 är propellerströmmens hastighet relativt fartyget bör propellerströmmens hastighet justeras med hänsyn till fartygets hastighet genom vattnet för att beräkna vattenhastigheten relativt botten, vilket är aktuellt främst vid gång norröver då botten kommer att vara påverkad av propellerströmmen under en begränsad tid eftersom fartyget rör sig. I beräkningen används dock inte den här kompenseringen av propellerstrålens hastighet eftersom sambandet mellan effektpådraget och fartygets hastighet inte är känt, beräkningen av erosionsdjupet är då på "säkra sidan". Ett empiriskt uttryck som beskriver erosionshållets största djup, S_t (mm), som en funktion av tiden, t (s), är (Sumer och Fredsøe 2002),

$$S_t = k\Omega \Gamma(t)^{\Gamma} \quad [6]$$

Där k är en konstant lika med 38,97,

$$\Gamma = F_0^{-0,53} \left(\frac{D_p}{d_{50}} \right)^{-0,48} \left(\frac{C}{d_{50}} \right)^{0,94} \quad [7]$$

$$\Omega = \Gamma^{-6,38} \quad [8]$$

och

$$F_0 = \frac{V_0}{\sqrt{gd_{50} \frac{\Delta\rho}{\rho_w}}} \quad [9]$$

Där g är gravitationskonstanten, d_{50} (mm) är sedimentens mediandiameter, C (m) är avståndet mellan propellerns underkant och botten och $\Delta\rho$ (kg/m³) är skillnaden mellan sedimentens och vattnets densitet.

Ekvationerna gäller strängt taget för friktionsmaterial och för djupintervallet $0,5 D_p < C < 2,5 D_p$ medan bottenmaterialet i Mörbyfjärden sannolikt till största delen utgörs av kohesionsmaterial. Eventuell erosion av kohesionsmaterial går dock inte att utvärdera utan kännedom om sedimentens kritiska skjuvspänning eller kritisk vattenhastighet. Ofta används exempelvis diagram som beskriver kritisk vattenhastighet som funktion av portalet för att beskriva lerors erosionsbenägenhet (portalet ska i sin tur i viss mån återspegla lerans konsolideringsgrad). Om portalet minskar från exempelvis 60 till 20 % ökar den kritiska vattenhastigheten från ca 0,4 m/s till 1,6 m/s. Lerans motståndskraft mot erosion är med andra ord relativt känslig för variationer av lerans egenskaper.

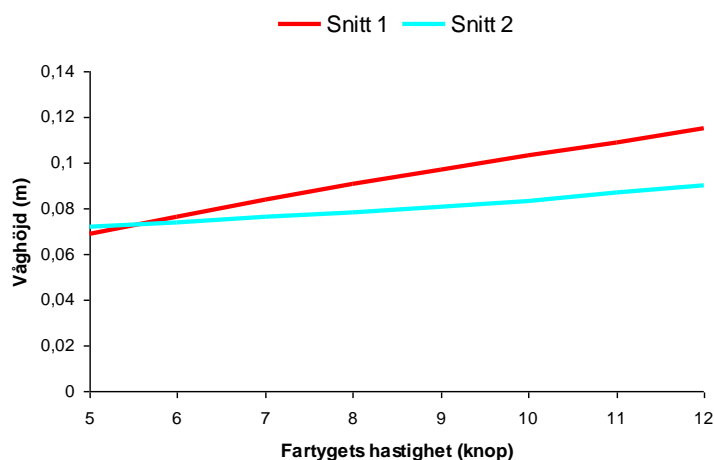
I beräkningen av erosionsdjupet används värden för fint friktionsmaterial.

I det fall Mörbyfjärden är temperaturskiktad kommer språngskiktet till viss del att hindra propellerstrålen från att nå botten.

Resultat

Fartygsgenererade vågor

Våglängden, L , för vald fartygsstorlek uppskattas till knappa 25 m med ekvation [1]. Fartygets tvärsnittsarea uppskattas till 46 m². Vid snitt 1 (röd linje i figur 1) uppskattas medeldjupet till 14 m och i snitt 2 (blå linje i figur 1) till drygt 15 m. Kvoten mellan tvärsnittsareorna blir $s_1 = 0,007$ respektive $s_2 = 0,004$. Om hastigheten exempelvis är ca 7 knop blir Froudes tal, F , i storleksordningen ca 0,3. Avläsningen i nomogrammet figur 2 är något svår men den dimensionslösa nedsjunkningen, d , kan antas vara betydligt mindre än 0,003, vilket motsvarar en nedsjunkning på ca $Z_1 = 0,042$ respektive $Z_2 = 0,046$. De fartygsgenererade vågorna blir då i storleksordningen 0,09 m (notera att beräkningen gäller när vågen propagerat en sträcka från fartyget, ca 2 våglängder). Diagrammet i figur 3 nedan visar beräknad våghöjd relativt fartygets hastighet.



Figur 3 Våghöjd för några olika fartygshastigheter i snitt 1 och 2.

När vågen når stranden kommer våghöjden att minska något initialt (mellan djupen ca $d/L_0 = 0,4$ till $d/L_0 = 0,04$, där L_0 är våglängden på djupt vatten) för att därefter öka med uppgrundningen. Våglängden minskar med uppgrundningen tills dess att vågen bryter.

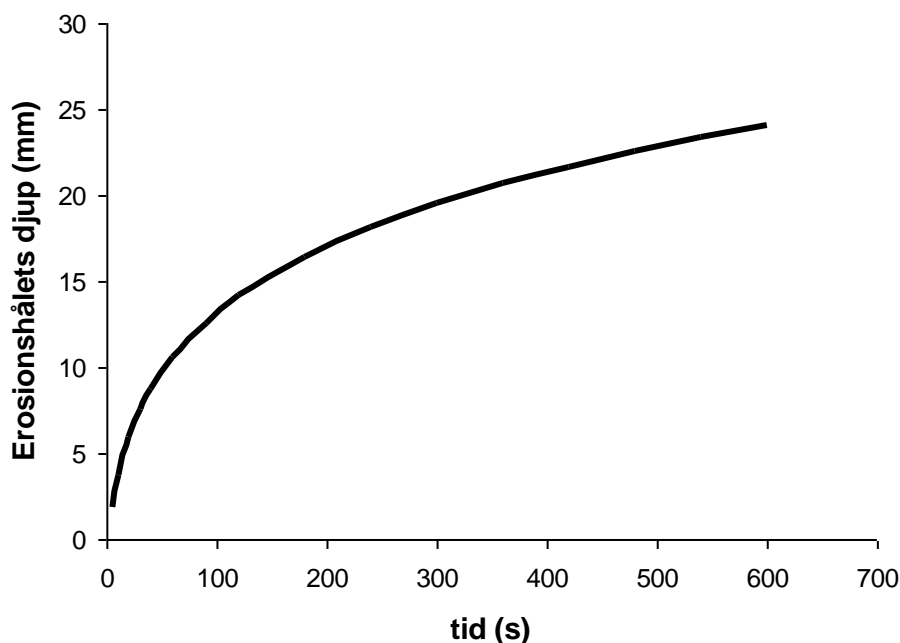
Propellerström

Antaget att maximal hastighet är 12 knop med motoreffekten ca 1900 Hk. Vid till och frånläggning används sällan maximal motoreffekt och effekten "långsamt framåt" motsvarar ca 30 % av högsta hastigheten ("rated velocity") och "halv fart framåt" ca 65-80 %. Anta vidare att manövrar i Malmviken begränsas till effektspannet ca 0-30 % av maxfarten med ett minsta djup på ca 7 m.

Propellerstrålens hastighet vid propellern är med 30 % effektpådrag ca 5,2 m/s vilket, om propellerns underkant är i nivå med kölen och vattendjupet är 7 m, ger en bottennära hastighet på ca 2,5 m/s.

Figur 4 visar utvecklingen av erosionshålets (den fördjupning av botten som bildas när material eroderas av propellerstrålen) största djup med tiden med vattendjupet 7 m och ca 30 % effektpådrag.

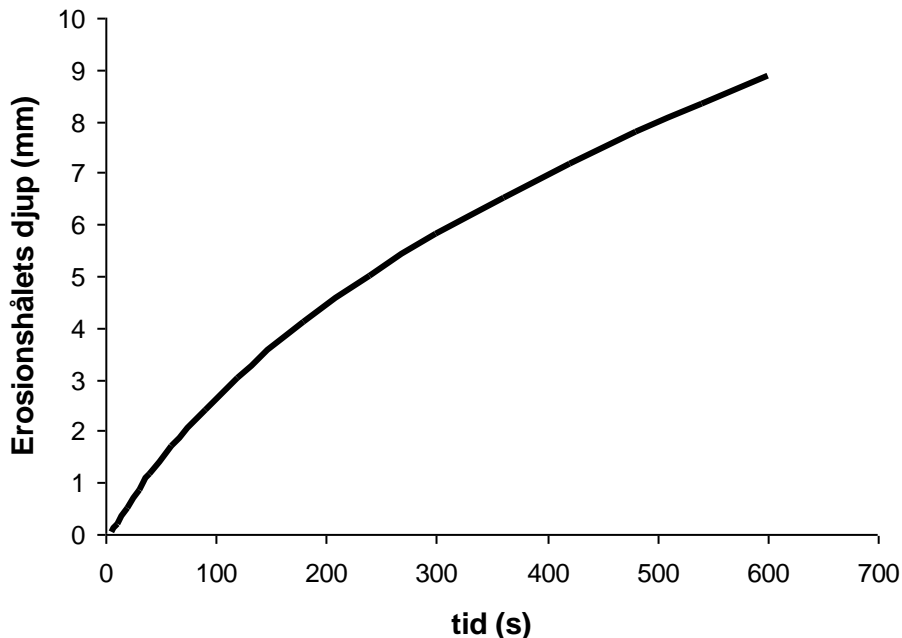
Erosionshållets utveckling med tiden vid djupet $d = 7$ m



Figur 4 Utveckling av erosionshållets maxdjup med tiden vid ca 30% effektpådrag och djupet 7 m.

Vid gång norröver antas effektpådraget vara ca 60 %. Ekvationen som används för att beräkna erosionshållets djup gäller endast till ca 11 m djup varför det djupet används i stället för 14 respektive 15 m djup vid snitt 1 och 2. Med 60 % effektpådrag är vattenhastighet ca 7,2 m/s vid propellern och vid botten ca 1,71 m/s vid 11 m djup.

Erosionshålets utveckling med tiden vid djupet $d = 11$ m



Figur 5 Utveckling av erosionshålets maxdjup med tiden vid ca 60% effektpådrag och djupet 11 m.

Propellerstrålen påverkar ett bottenområde sträckan ca 4 till 10 gånger $(C + 0,5 D_p)$ (Thoresen, 2003) bakom propellern. För att beräkna tiden som området påverkas behövs uppgifter om fartygets hastighet, V_s , antaget att hastigheten vid 60 % effektpådrag är ca 6 knop och vid 30 % effektpådrag ca 2 knop. Anta vidare att propellerstrålen verkar på botten under tiden,

$$t = \frac{(10 - 4)(C + 0,5 D_p)}{V_s}, \quad [10]$$

blir erosionshålets tillväxt per passage 8,2 mm vid 7 meters djup med hastigheten 2 knop respektive 0,4 mm vid 11 meters djup med hastigheten 6 knop. Anledningen till att erosionshålets största djup minskar med ökande hastighet är främst att tiden under vilken propellerstrålen påverkar botten minskar.

I det fall det finns ett språngskikt kommer språngskiktet att dämpa propellerstrålens inverkan på botten i och med att en viss mängd energi förbrukas för att lyfta det tyngre bottenvattnet.

Risk för oljespill

Ytterligare en aktuell fråga är om det föreligger någon ökad risk för oljespill på grund av den ökade fartygstrafiken i Malmviken. Fartygen kommer att vara torrlastare och risker för spill av oljor är främst förknippade med hanteringen av brännolja (oftast lätt eldningsolja eller diesel) till fartygens maskiner eller någon form av haveri. En eventuell spridning till intaget för vattenverket förutsätter antingen att oljan löses i vattnet eller att den transporteras som partiklar. Partikulär spridning till större djup där intaget finns borde rimligen inte ske då oljan flyter. Spridning i löst fas kan ske antingen genom vertikal diffusion (molekylär eller turbulent diffusion) eller med vattenrörelser (advektion).

Lämpligen införs dock restriktioner mot all hantering av oljeprodukter i Malmviken såsom exempelvis bunkring av olja, utlastning av bränsle till arbetsfordon e.d.. I övrigt förutsätts att de fartyg som används är i god kondition och uppfyller de krav som sjöfartsverket har för trafik i Mälaren.

Sammanfattning

De fartygsgenererade vågorna kommer att ha en höjd i storleksordningen 0,1 m vilket är relativt litet och sannolikt inte kommer att orsaka några problem med resuspension av bottensediment eller skador på brygganläggningar (beroende på bryggans skick). Rimligen förekommer redan idag tidvis vågor av den storleken (såväl vindgenererade som av båttrafik) och risken för en ökad erosion av strandnära bottnar torde vara liten (ävenså slambanken vid vattenverket).

Bottenerosion orsakad av propellerstrålen är också relativt måttlig vid gång norröver främst på grund av att fjärden är jämförelsevis djup. Vid kajläget kan en viss propellererosion förekomma (i storleksordningen någon cm per tilläggnings) och det är rimligt att göra en närmare undersökning av bottensedimenten för att bedöma risken för omfattande erosion alternativt behovet av erosionskyddande åtgärder. Beräkningarna är gjorda med antaganden som är s.a.s. på "säkra sidan" förutom antagandet att bottenmaterialet utgörs av finsediment (silt). I det fall det förekommer exempelvis lös "fluffig" gjyttja kan denna erodera betydligt fortare (främst på grund av en lägre densitet), däremot underlagras den som regel av fastare material.

Risken för läckage av olja går inte att utvärdera närmare och torde mer vara en fråga om sjösäkerhet. Det kan dock vara rimligt att inte hantera olja eller bunkra fartygen i området för att minimera risken för spill.

Referenser:

USACE (1984), "Hydraulic design of small boat harbors", Engineering manual EM 1110-2-1615, U.S. Army Corps of Engineers, Washington D.C.

Sumer, B.,M. och Fredsøe, J. (2002). "The mechanics of scour in the marine environment." World scientific publishing Co. Pte. Ltd., Singapore, ISBN 981-02-4930-6

Thoresen, C., A., (2003). "Port designer's handbook." Thomas Telford, Ltd., London.

Sjöfartsverkets författningssamling, (2003). SJÖFS 2003:16, Sjöfartsverket, Norrköping, ISSN 0347-531X