

# CHALMERS



## Vattenvolym och salthalt i Göta älvs estuarium

Hur barlastvatten kan spridas från Göteborgs hamn

*Examensarbete inom Sjökapstensprogrammet*

Andreas Green

Institutionen för sjöfart och marin teknik  
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA  
Göteborg, Sverige, 2013  
Rapportnr. SK-13/133



RAPPORTNR. SK-13/133

# Vattenvolym och salthalt i Göta älvs estuarium

Hur barlastvatten kan spridas från Göteborgs hamn

Andreas Green

Institutionen för sjöfart och marin teknik  
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA  
Göteborg, Sverige, 2013

## **Vattenvolym och salthalt i Göta älvs estuarium**

Hur ballastvatten kan spridas från Göteborgs hamn

Water volume and salinity in the estuary of Göta river

How ballast water can spread from the port of Gothenburg

Andreas Green

© Andreas Green, 2013.

Rapportnr. SK-13/133

Institutionen för sjöfart och marin teknik

Chalmers tekniska högskola

SE-412 96 Göteborg

Sverige

Telefon + 46 (0)31-772 1000

Omslag:

Göteborgs inre hamnområde från luften.

Tryckt av Chalmers

Göteborg, Sverige, 2013

## Vattenvolym och salthalt i Göta älvs estuarium

Hur barlastvatten kan spridas från Göteborgs hamn

Andreas Green

Institutionen för sjöfart och marin teknik

Chalmers tekniska högskola

### SAMMANFATTNING

Stora mängder barlastvatten transporteras runt i världen och släpps ut i hamnar där det kan skada miljön och leda till stora problem. För att begränsa dessa skadeverkningar tog IMO år 2004 fram en konvention vars syfte är att reglera utsläpp av barlastvatten, Barlastvattenkonventionen, vilken fortfarande inte trätt i kraft. Innan konventionen har trätt i kraft kommer mängden utsläppt barlastvatten gradvis att öka på grund av den globala handelns ökande tendens. Efter konventionen har trätt i kraft kommer lika stora mängder barlastvatten släppas ut men det är då renat. Det vatten som släpps ut kan bli kvar i hamnen eller transporteras iväg med strömmar.

Syftet med denna studie var att klargöra var vattnet kan ta vägen om det släpps ut i Göteborgs hamn. Detta ledde till frågan om hur olika vattenmassors egenskaper och rörelser i hamnområdet och skärgården påverkar en utsläppt vattenvolym. För att komma fram till ett resultat studerades teorier om hur vatten späds ut och sprids och mätdata över ström, temperatur och salthalt samlades in och analyserades. På grund av komplexiteten i frågan avgränsades studien till att behandla sötvatten i ytskiktet under en månads tid.

Resultatet visar att vattnet i hamnområdet är kraftigt skiktat på grund av den stora variationen i salthalt och att det finns stora variationer i strömmens riktning och hastighet men att det procentuellt sett finns störst möjligheter för en vattenmassa att transporteras västerut, ut från hamnområdet, för att sedan transporteras norrut längs den svenska kusten.

**Nyckelord:** Barlastvatten, spridning, spädning, ström, salthalt, Göteborgs hamn.

## **ABSTRACT**

Large amounts of ballast water is transported around the world and is released in harbours where it can harm the environment and lead to problems in great proportions. To restrict this harmful effects IMO adopted the Ballast Water Management Convention in 2004, however the convention is still not in force. Before it is in force, ballast water will be released in an increasing amount because of the growth of the global trade. When the convention is in force, the same amounts of water is still going to be released but will then be purified. The released body of water will remain in the harbour or be transported to another location with the ocean currents.

The aim with this study is to clarify for which distance the water can be transported if released in the port of Gothenburg. This leads to the question how the properties and movements of different bodies of water in the harbour area will affect a released body of water. To get to a result, different theories of the dispersion and dilution of water were studied and data over currents, temperature and salinity was collected and analysed. Because of the complexity of this question the study was limited to consider only fresh water in the surface layer during one month.

The results show that the water in the harbour area is heavily stratified because of the great variations in salinity and that there is a great variation in the direction and speed of the current but that the utmost possibility for the transportation of a body of water is to the west, out of the harbour area, later to be transported north along the Swedish coast.

**Keywords:** Ballast water, dispersion, dilution, current, salinity, port of Gothenburg.

## **FÖRORD**

Jag vill tacka Lena Granhag som varit handledare för denna studie och som har ägnat mycket tid åt att diskutera de problem som uppkommit och hjälpt till med prioriteringar och inriktning av vidare arbete. Jag vill också tacka Kevin Vikström för råd och tips gällande hantering av mätdata.

## ORDLISTA

Estuarium	Ett vattenområde där ett vattendrag tillför sötvatten till saltvattnet och uppblandningen leder till varierande salthalter.
Barlastvatten	Vatten som pumpas in i barlasttankar för att förbättra fartygs stabilitet.
IMO	International Maritime Organization. FN-organ, avdelning för sjöfartsfrågor.
Konvention	En regel som suveräna stater antar villkorligt och ofta inför i egen lagstiftning. Överenskommelse mellan suveräna stater.
HELCOM	Helsinki Commission. Samarbete om miljöfrågor i Östersjön och Kattegatt.
Ro-ro-fartyg	Roll on – Roll of. Fartyg som medför last vilken rullas ombord, t.ex. lastbilar och järnvägsvagnar.
Konduktivitet	Elektrisk ledningsförmåga. Mäts i Siemens/meter (S/m).
Anlöp	Tillfälle då fartyg kommer in i hamn.
Nautisk Mil	1 Nautisk Mil (NM) = 1852 meter.
Knop	1 knop = 1 NM/timma = 0,514 meter/sekund (m/s).



## INNEHÅLLSFÖRTECKNING

SAMMANFATTNING .....	1
ABSTRACT .....	2
FÖRORD .....	3
ORDLISTA.....	4
INNEHÅLLSFÖRTECKNING .....	5
FIGURFÖRTECKNING .....	6
TABELLFÖRTECKNING .....	6
1. INTRODUKTION/INLEDNING.....	7
1.1 Syfte .....	7
1.2 Frågeställning .....	7
1.3 Avgränsningar .....	7
2. BAKGRUND.....	9
3. TEORI.....	10
4. METOD.....	11
4.1 Litteraturstudie.....	11
4.2 Datainhämtning och dataanalys.....	11
5. RESULTAT.....	14
5.1 Volymer.....	14
5.2 Salthalt .....	14
5.3 Flöde i Göta älv .....	16
5.4 Ström.....	17
5.4.1 Karet.....	18
5.4.2 Torshammen .....	20
5.4.3 Måvholmsbådan.....	21
5.4.4 Trubaduren.....	22
5.4.5 Västkusten .....	23
5.5 Distanser och tid .....	24
5.6 Spädning.....	28
6. DISKUSSION .....	29
7. SLUTSATSER .....	34
REFERENSER.....	35

## FIGURFÖRTECKNING

Figur 1. Älvsborgsbron, Karet, Torshamnen, Måvholmsbådan och Trubaduren .....	11
Figur 2. Flöde i Göta älv år 1999-2012. ....	16
Figur 3. Flöde i Göta älv januari-december år 2012. ....	17
Figur 4. Strömmens riktning, Karet 0-2 meters djup.....	18
Figur 5. Strömmens hastighet, Karet 0-2 meters djup.....	18
Figur 6. Strömmens riktning, Karet 10-12 meters djup.....	19
Figur 7. Strömmens hastighet, Karet 10-12 meters djup. ....	19
Figur 8. Strömmens riktning, Torshamnen 0-2 meters djup. ....	20
Figur 9. Strömmens hastighet, Torshamnen 0-2 meters djup. ....	20
Figur 10. Strömmens riktning, Måvholmsbådan 0-2 meters djup. ....	21
Figur 11. Strömmens hastighet, Måvholmsbådan 0-2 meters djup.....	21
Figur 12. Strömmens riktning, Trubaduren 5 meters djup. ....	22
Figur 13. Strömmens hastighet, Trubaduren 5 meters djup.....	22
Figur 14. SMHI:s modellerade strömmar längs södra Sveriges kust. ....	23
Figur 15. SMHI, strömsystem i västerhavet .....	24
Figur 16. Strömhastighet, tid och distans. ....	25
Figur 17. Distanser till orter vid Kattegatts och Skagerraks kust.....	25
Figur 18. Svenska västkusten och Norska sydkusten med markerade orter enligt figur 17. ....	26
Figur 19. Distanser till orter längs kuststräckan Göteborg-Uddevalla. ....	26
Figur 20. Kuststräckan Göteborg-Uddevalla. ....	27

## TABELLFÖRTECKNING

Tabell 1. Period för genomförda mätningar.....	12
Tabell 2. Mätstationernas inhämtningsdjup för ström. ....	12
Tabell 3. Mätstationernas inhämtningsdjup för salthalt, temperatur och densitet. ....	13
Tabell 4. Salthalter (‰) +/- standardavvikelse, Göteborgs yttre hamnområde. ....	15
Tabell 5. Medelströmshastigheter i olika djupintervall för mätperioden enligt tabell 1.....	17
Tabell 6. Högsta uppmätta strömshastighet för perioden enligt tabell 1.....	24

## 1. Introduktion/Inledning

Den globala handeln har en ökande tendens med ökade transporter som följd och ca 90 % av världshandeln fraktas med hjälp av sjötransporter (Kommerskollegium, 2012). Fartyg rör sig mellan kontinenter och för med sig stora volymer barlastvatten. Globalt släpps ca 3-4 miljarder ton barlastvatten ut årligen (EMSA, 2013). I Sverige är den siffran ca 46 miljoner ton (Hoffrén, 2006) och av dessa släpps ca 9 miljoner ton ut i Göteborgs hamn (Gibson och Johansson 2013).

Denna studie ska ge en generell bild av hur utsläppt vatten, t.ex. barlastvatten, kan spridas i Göteborgs hamn och dess närområde. En vattenmassa tillsätts till en annan större vattenmassa och hur de två blandas är en mycket komplex process som beror på en mängd olika faktorer.

Göteborgs hamn är delad i olika terminaler som ligger i Göta älv och dess utlopp. Utflödet av sötvatten och havets saltvatten gör att salthalten varierar i älven. Salthalten tillsammans med andra faktorer som temperatur, vattenflöde, vattenstånd, vind och vågor, varierar och genererar olika strömsituationer vid de olika terminalerna. Beroende på var barlastvattnet släpps ut kan det transporteras iväg i olika riktningar med varierande hastighet. Finns det kunskap om förhållandena i området går det att till viss del förutspå var det utsläppta barlastvattnet tar vägen. Om ett vattenprov ska genomföras ett dygn eller en vecka efter utsläppet måste det genomföras på rätt plats, geografiskt sett.

### 1.1 Syfte

Syftet med studien var att skapa en generell bild av hur vatten som släpps ut i Göteborgs hamn kan spridas. Det ska med hjälp av studien vara möjligt att bedöma ungefär var mätningar av vattnets innehåll ska genomföras om de inte kan genomföras exakt vid utsläppstillfället. Studien ska också klargöra om vatten snabbt späds ut eller om det kan transporteras utspätt längre sträckor. Vidare ska studien kunna användas som ett stöd vid riskanalyser för spridning av organismer via barlastvatten.

### 1.2 Frågeställning

Huvudfrågeställningen för studien är hur barlastvatten som släpps ut i Göteborgs hamn kan spädas ut och spridas inom tidsfönstret ett dygn till en vecka. Denna frågeställning leder till en rad delfrågor som behöver besvaras.

- Hur stor mängd vatten tillförs Göteborgs hamn via Göta älv?
- Hur ser hamnens djupförhållande ut och hur påverkar det?
- Hur är fördelningen av salt- och sötvatten, hur är saltkilen utformad och hur påverkar det?
- Hur påverkar temperatur, ström och andra väderfaktorer?

### 1.3 Avgränsningar

Denna studie kommer inte omfatta biologiska aspekter utan istället inrikta sig på vattenmängders utspädning och spridning. En annan studie som genomförs under hösten 2013 inom HELCOM

behandlar hur olika organismer och djur sprids i Göteborgs hamn och dess närområde och vilka möjligheter de har att överleva där.

Denna studie berör endast Göteborgs hamnområde och delar av västkusten, norr om Göteborg, och begränsar sig dit men kan användas för att studera liknande områden. Vattnets spridning bedöms inom ett tidsfönster från ett dygn till en vecka efter utsläppstillfället. En beräkningsmodell kommer inte att konstrueras eftersom det är mycket tidskrävande och då de ekonomiska resurserna för denna studie är mycket begränsade kan ingen modellering beställas från annan part vilket annars hade varit möjligt.

Insamlad mätdata gällande ström, temperatur och salthalt är koncentrerad till området utanför Älvsborgsbron och tyngdpunkten för den mätdata som analyserats är ytvatten, vatten från ytan ned till 5 meters djup. Dessutom utgår studien ifrån att det utsläppta vattnet är sötvatten.

De bakomliggande faktorerna som påverkar, t.ex. väderfaktorer, kommer endast att beskrivas kort och övergripande för att öka förståelsen för komplexiteten.

## 2. Bakgrund

När ett fartyg kommer in i en hamn och påbörjar lossning av lasten fylls barlasttankarna. Om fartyget inte lastar något i samma hamn behålls barlasten ombord och förs med under resan till nästa hamn där lastning ska ske. Barlastvattnet pumpas ut i denna hamn. Organismer och sediment förs med i barlastvattnet mellan olika hamnar och kan rubba balansen i ett nytt ekosystem när de kommer ut i detta och kan konkurrera ut befintliga arter och leda till stora problem för miljön och samhället (Seebens, et al. 2013).

En konvention för att stoppa spridning av organismer, ”The International Convention for the Control and Management of Ships Ballast Water and Sediments”, togs fram av IMO år 2004 och kommer att träda i kraft 12 månader efter det att minst 30 stater som representerar minst 35 % av världshandelsflottans tonnage ratificerat den (IMO, 2004). I dagsläget (december 2013) är konventionen ratificerad av 38 stater som utgör 30,38 % av världshandelns tonnage (IMO, 2013). Innebörden av den är att de fartyg som berörs ska rena sitt barlastvatten innan det pumpas ut. Innan konventionen är ratificerad ska barlastvattnet istället bytas ut under resan för att minimera spridning av organismer. Barlastvatten kommer alltså fortfarande att pumpas ut i samma omfattning efter att konventionen är ratificerad men det kommer då att vara renat. System för att rena barlastvatten och metoder för att kontrollera att fartygets reningssystem fungerar är fortfarande under utveckling.

Undantag från rening av barlastvatten kan komma att göras för vissa fartyg om de rör sig mellan hamnar med liknande ekosystem där inga invasiva arter som kan vara skadliga för de andra hamnarna lever.

Undersökningar av hamnar för att kartlägga förekomst av olika arter görs för tillfället, bl.a. i Göteborgs hamn, inom ramen för HELCOM och ett register med invasiva arter finns upprättat och uppdateras kontinuerligt. I ett senare skede ska riskbedömningar kunna göras där man tittar på vilket innehåll barlastvattnet har och vilket innehåll hamnvattnet har. Finns det ingen risk för skador på miljön kan undantag för rening av barlastvattnet göras (HELCOM, 2010).

Våren 2013 gjordes ett kandidatarbete vid programmet för sjöfart och logistik på Chalmers (Gibson och Johansson, 2013) som utredde om landbaserad rening av barlastvatten var ett alternativ för Göteborgs hamn. Där redovisades hur stora mängder barlastvatten som släpptes ut vid de olika terminalerna i Göteborg men inte hur det sprids. En kommande studie inom HELCOM ska undersöka vilka möjligheter organismer har att överleva där och därför ska faktorer som påverkar hur vattenmassor sprids redovisas för att kommande riskbedömningar ska underlättas.

### 3. Teori

Vattenmassor med olika densitet blandas i dynamiska processer vilka är en hel vetenskap inom oceanografi men kortfattat går det att förklara genom att generellt beskriva vilka faktorer som påverkar och hur de påverkar.

Till att börja med kan en indelning göras där ytvatten utgör den ena delen och djupvatten utgör den andra delen. Blandning av ytvatten beror till största delen på vind och vågor medan djupvatten till största delen påverkas av den vertikala cirkulation som uppkommer när vatten med hög densitet sjunker och således tvingar upp vatten med lägre densitet. Cirkulationen är den faktor som påverkar blandningen mest i ett estuarium men den kan försvåras av skikt som beror på olika salthalt och temperatur. Sötvatten har lägre densitet än saltvatten och därför flyter det ovanpå saltvattnet. I ett estuarium, där sött älvvatten flödar ut och möter salt havsvatten, kommer därför ytvattnet ha en mycket lägre salthalt. På grund av friktion mellan det söta och salta vattnet kommer en viss uppblandning ske i gränsskiktet och skapa ett bräckt vatten där (DSL, 2013). Saltvatten strömmar in, med lägre hastighet, under skiktet för att kompensera för det vatten som dragits med ut av sötvattnet och en så kallad saltkil bildas. Ett område av den här typen med en blandning av söt- och saltvatten benämns estuarium och om det finns ett stort utflöde av sötvatten kan det benämnas saltkilsestuarium (Göta älvs vattenvårdsförbund, 2006).

En annan betydande faktor som påverkar blandningen i ett estuarium är tidvatten, skillnaden mellan högt och lågt vatten som vanligtvis benämns vattenstånd. I Göteborg är dock tidvattnet ingen stor påverkande faktor men det finns andra faktorer där som påverkar vattenståndet istället. I allmänhet kan man säga att vattenståndet ökar vid västlig vind och minskar vid östlig vind. Även lufttrycket påverkar, vattenståndet ökar vid lågtryck och minskar vid högtryck (Sjöfartsverket, 2013). I ett estuarium med begränsat vattendjup, öppna ytor där vinden inte hindras och med begränsat tidvatten utgör vinden den största faktorn. Vinden ger dessutom upphov till vågor som blandar om i ytvattnet. Storleken på älvens sötvattenutflöde är också en påverkande faktor (DSL, 2013).

Göteborgs hamn ligger i ett område där det finns ett stort utflöde av sötvatten som möter det saltare havsvattnet. Detta leder till att större delen av utflödet sker i ytvattnet. Dessa förhållanden i en kombination med väderfaktorer gör att salthalten i hamnområdet kan variera kraftigt. Temperaturen och salthalten på det barlastvatten som släpps ut av fartyg har stor påverkan för hur det sprids och dessutom påverkas spridningen mycket av på vilket djup vattnet släpps ut och på vilket sätt det släpps ut.

Djupet i det inre hamnområdet är 9 meter i farleden. Utanför farleden är det något grundare och djupet varierar beroende på om det finns terminaler eller andra anläggningar som kräver ett visst vattendjup. Är kajområdet oanvänt är djupet ca 3-5 meter. Det yttre hamnområdet är mycket större till ytan och även djupare. Där är djupet i farlederna 14-23 meter och in mot land varierar djupet mer än i det inre hamnområdet eftersom det är en naturlig skärgård.

## 4. Metod

Studien har genomförts som en litteraturstudie och som en datainhämtning med efterföljande dataanalys.

### 4.1 Litteraturstudie

Litteraturstudien har utgjort en mindre del av den totala studien och syftade till bakgrundskunskap och vidare förståelse för problemen i frågeställningen. Vattnets allmänna egenskaper för utspädning förklaras kort och information till bakgrundskapitlet och teorikapitel har hämtas från International Maritime Organization (IMO) och vetenskapliga rapporter som beskriver problematik med skiktade vatten.

### 4.2 Datainhämtning och dataanalys

Studien baserar sig på existerande data, inte experimentell. Dataanalysen har utgjort större delen av studien och visar aktuella förhållanden i det geografiska området. Det finns mycket och bra mätdata för vissa platser och ingen mätdata för andra önskvärda platser. Generellt sett finns det mycket mätdata utanför Älvsborgsbron och ett mer begränsat utbud innanför Älvsborgsbron.

Inför datainhämtningen undersöktes vilka mätstationer som fanns i området och vilka som kunde erbjuda relevant data för studien. Det fanns färre mätstationer än förväntat men de som använts för studien visas i figur 1 och tidsperioden för dessa mätningar och med vilket tidsintervall mätningarna är genomförda framgår av tabell 1. Figur 1 visar också en ungefärlig indelning av havsområden.



Figur 1. Älvsborgsbron, Karet, Torshammen, Mävholmsbådan och Trubaduren

Tabell 1. Period för genomförda mätningar.

Plats	Början	Slut	Mätintervall
Göta älv (flöde)	1999-01-01	2012-12-31	1/dygn
Älvsborgsbron	2010-01-13	2011-10-31	1/månad
Karet	2012-04-24	2012-12-31	1/10-20 min
Torshammen	2012-03-15	2012-10-09	1/10-20 min
Måvholmsbådan	2012-01-01	2012-12-31	1/10-20 min
Trubaduren	1978-12-07 1989-10-05	1981-09-30 2004-09-04	1/timma

Information om ström, temperatur och salthalt är hämtat ur mätdata från Sjöfartsverkets vind- och vatteninformation (ViVa) samt från SMHI. Sjöfartsverkets tre mätstationer Karet, Torshammen och Måvholmsbådan ingående i ViVa har utgjort en stor del av den totala mängden mätdata för denna studie. Mätdata för år 2012 har beställts och köpts av sjöfartsverket. I den ingår strömmens riktning och hastighet, salthalt, temperatur och densitet för olika djup eller djupskikt. SMHI:s mätstation vid Trubaduren har använts för att verifiera strömmens riktning och hastighet längs den svenska kusten. Även denna mätstation mäter på olika djup. Mättdjupen för de olika mätstationerna framgår av tabell 2.

Tabell 2. Mätstationernas inhämtningsdjup för ström.

	Ström riktning/hastighet								
	0-2 m	2-4 m	4-6 m	6-8 m	8-10 m	10-12 m	12-14 m	14-16 m	16-18 m
Karet	x	x	x	x	x	x			
Torshammen	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Måvholmsbådan	Yta	4 m	10 m	15 m	19 m				
Trubaduren	5 m	7 m	10 m	12 m	17 m	22 m			

En period som överensstämmer för de tre ViVa-stationerna är maj till och med september år 2012. Ström vid Trubaduren är ett framräknat medelvärde för perioden 1989-11-15 – 2004-09-04 eftersom det under denna period genomförts mätningar på fem meters djup, innan dess gjordes de på tio meters djup.

Vid framtagande av medelvärden för strömmens riktning och hastighet har dessa två mätvärden sorterats så att tiderna stämmer överens och enbart data där både strömriktning och hastighet finns för samma tid har använts. Sedan har alla mätvärden sorterats och delats in i 30 graders sektorer för att visa hur stor del av det totala antalet som finns inom denna sektor. Detsamma har gjorts för både riktning och hastighet. Redovisning av resultatet i diagram visar strömmens riktning i antal mätvärden per sektor och strömmens hastighet visas som ett medelvärde inom sektorn.



Den mätdata som finns tillgänglig innanför Älvsborgsbron rör framför allt vattenflöde i Göta älv och den har erhållits från SMHI:s vattenweb. Flödet i Göta älv har sammanfattats månadsvis för år 2012 för att kunna kopplas till ViVa-stationernas mätvärden och årsvis under åren 1999-2012 för att kunna se variationer i flödet över en längre period. Flödesdata för Göta älv har tagits vid tre platser, Lilla Edets kraftstation, innan älvens förgrening vid Kungälv och vid mynningen ut till havet i Göteborg (Älvsborgsbron).

Vattenvolym i Göteborgs inre hamnområde (området mellan Göta älvbron och Älvsborgsbron) är framräknat med hjälp av sjökort 9312 och vattenvolym för Göteborgs yttre hamnområde (Rivö fjord och Dana fjord) är hämtat från SMHI:s vattenweb.

Mätdata för salthalt är mycket begränsat. Mätstationerna Karet och Torshammen registrerar salthalt och SMHI genomför mätningar vid Älvsborgsbron med Bohuskustens vattenvårdsförening som uppdragsgivare. Från dessa mätningar har salthalt på olika djup använts för denna studie. Mät djupen för de olika mätstationerna framgår av tabell 3.

Tabell 3. Mätstationernas inhämtningsdjup för salthalt, temperatur och densitet.

	Salthalt							Temperatur				Densitet		
	0 m	2 m	3 m	5 m	10 m	12 m	18 m	0 m	2 m	5 m	10 m	3 m	12 m	18 m
Älvsborgsbron	x	x		x	x			x	x	x	x	x	x	
Karet			x			x			x			x		
Torshammen			x				x		x					x

Inne i Göta älv, vid Lärjeholms råvattenintag, finns indikationer på om salthalten i vattnet är för hög för att vattnet ska kunna användas som dricksvatten utan att avsaltas. Denna mätdata har enbart erhållits i form av antal tillfällen råvattenintaget stängts.

Temperatur- och densitetsvärden som också finns tillgängliga, enligt tabell 3, som hade varit användbara för studien, finns på för få djup och vid för få platser för att kunna användas på ett bra sätt.

## 5. Resultat

Detta kapitel är indelat i sex underkapitel vilka behandlar volymer, salthalt, flöde, ström, distanser och tid samt spädning. Volymer och salthalt gäller för Göteborgs hamnområde. Flöde har undersökts i Göta älv i allmänhet och vid Göta älvs mynning vid Älvsborgsbron i synnerhet. Strömmar som studerats är främst de som råder i Göteborgs hamnområde men även de som finns utanför Göteborgs skärgård. Kapitlen om distanser och tid samt spädning är generella.

### 5.1 Volymer

Den totala volymen för Göteborgs inre hamnområde har beräknats till 12,9 miljoner m<sup>3</sup> (beräkning i sjökort 9312) och den totala volymen i det yttre hamnområdet är 565,8 miljoner m<sup>3</sup>. Det yttre hamnområdet är uppdelat i 2 områden, Rivö fjord och Dana fjord (se figur 1). Volymerna för dessa områden är 152,0 miljoner m<sup>3</sup> resp. 413,8 miljoner m<sup>3</sup>. På grund av fjordarnas utformning med sluttande botten finns den största delen av vattenvolymen i det övre skiktet, 0-5 meter. Volymen i det skiktet är för Rivö fjord 94,2 miljoner m<sup>3</sup> vilket motsvarar 62 % av den totala volymen. För Dana fjord är volymen i det skiktet 154,1 miljoner m<sup>3</sup> vilket motsvarar 37 % av den totala volymen. Sammantaget för båda fjordarna utgör volymen i det övre skiktet 44 % av den totala volymen (SMHI vattenweb, 2013).

Med Göta älvs medelflöde för perioden 1999-2012 (238 m<sup>3</sup>/s) skulle hela vattenvolymen i det inre hamnområdet bytas ut på 15 timmar (volym/flödesvolym/60/60). Volymen i det yttre hamnområdet skulle bytas ut på 660 timmar, 27,5 dygn. På grund av att utflödet är sötvatten som rinner ovanpå det saltare havsvattnet byts inte allt vatten ut. Om bara det övre skiktet, 0-5 meter, skulle bytas ut på grund av älvens flöde skulle detta ske på 290 timmar, 12 dygn för det yttre hamnområdet.

Detta utbyte skulle bara kunna ske rent teoretiskt om älvens utflöde var den ända påverkande faktorn, att vattnet därifrån och vattnet i fjordarna hade samma densitet och att älvvattnet tryckte allt vatten i fjorden framför sig och på så sätt ersatte det helt.

### 5.2 Salthalt

Mätningar av salthalt, relevanta för denna studie, genomförs enligt tabell 4. En sammanställning av mätdata har gjorts för att visa att salthalten ökar med ökat djup och att den ökar väster om Älvsborgsbron. Mätdata som använts för tabell 4 är hämtat från mätstationen vid Älvsborgsbron maj månad år 2011 och för övriga två mätstationer maj månad år 2012.

Tabell 4. Salthalter (‰) +/- standardavvikelse, Göteborgs yttre hamnområde.

	Maj 2011 resp. maj 2012						
	0 m	2 m	3 m	5 m	10 m	12 m	18 m
Älvsborgsbron	3,24	10,50		17,87	20,38		
Karet			16,81 +/- 3,52			23,65 +/- 3,57	
Torshammen			19,12 +/- 1,47				34,52 +/- 4,69
	2011 resp. 2012						
	0 m	2 m	3 m	5 m	10 m	12 m	18 m
Älvsborgsbron	3,82 +/- 2,23	8,46 +/- 3,10		19,92 +/- 1,94	22,48 +/- 2,29		
Karet			18,05 +/- 3,78			26,64 +/- 12,96	
Torshammen			19,90 +/- 1,97				36,35 +/- 3,51

Innanför Älvsborgsbron finns ingen mätdata för salthalt men det går att konstatera att salthaltigt vatten kan nå så långt upp i älven att råvattenintaget vid Lärjeholm måste stängas. Vid intaget finns mätutrustning på 1,5 meters djup som mäter konduktivitet i vattnet. När den överstiger 40 mS/m stängs intaget, detta värde motsvarar en salthalt av 0,26 ‰. Normalvärdet för konduktiviteten i vattnet på den platsen är 10 mS/m vilket motsvarar 0,065 ‰. År 2007 stängdes råvattenintaget vid 19 tillfällen på grund av för höga salthalter (Lidén och Saglamogul, 2010). Avståndet från Älvsborgsbron till Lärjeholm är ca 6 Nautiska Mil (NM). En av anledningarna till varför saltvatten kan tränga upp så långt i älven är ett lågt vattenflöde i Göta älv. Under år 2009 stängdes råvattenintaget vid 18 tillfällen, år 2010 vid 1 tillfälle, år 2011 vid 7 tillfällen och år 2012 vid 3 tillfällen enligt Engdahl<sup>1</sup>. Enligt figur 2 var flödet i älven ungefär lika stort under dessa år. Att saltvatten ändå trängde upp så långt och att antalet tillfällen varierar kraftigt beror på andra faktorer.

Flödet i älven ger upphov till en ytvattenström som är en av de faktorer som påverkar saltkilens utformning. De andra faktorerna är den relativa densitetsskillnaden mellan sötvattnet och saltvattnet och den tredje faktorn är vattendjupet (Lidén och Saglamogul, 2010).

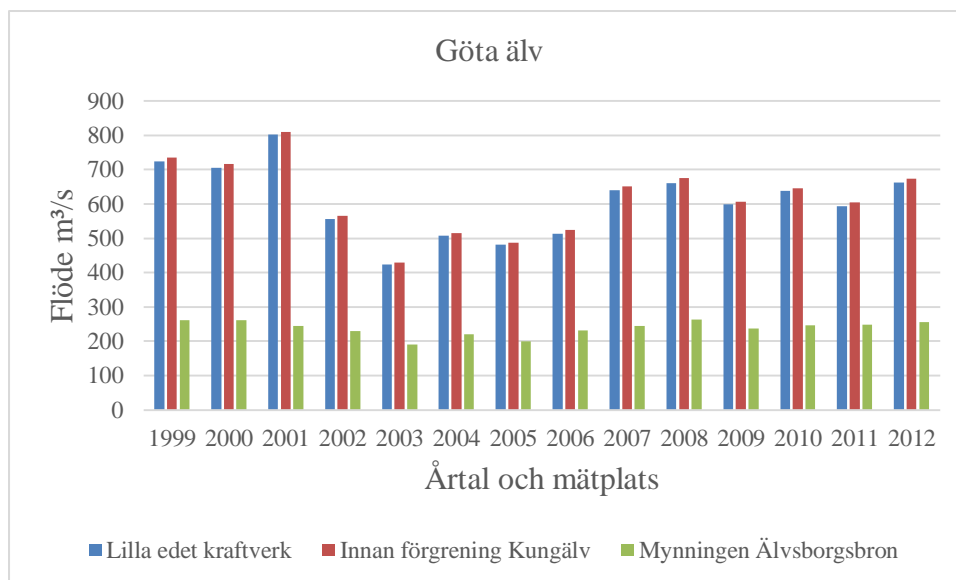
I denna studie görs inga beräkningar för att visa saltkilens utformning men strömmens riktning längs botten vid Karets mätstation är östlig 21 % av tiden i maj månad år 2012 och rör sig mot utflödets riktning i älven enligt figur 6. Det visar sig där att saltvatten rör sig uppströms älven under sötvattenutflödet helt enligt teorin om saltkilens dynamik.

<sup>1</sup> Mats Engdahl (Göteborgs stad, kretslopp och vatten) utfrågad av författaren via mail 13 november 2013.

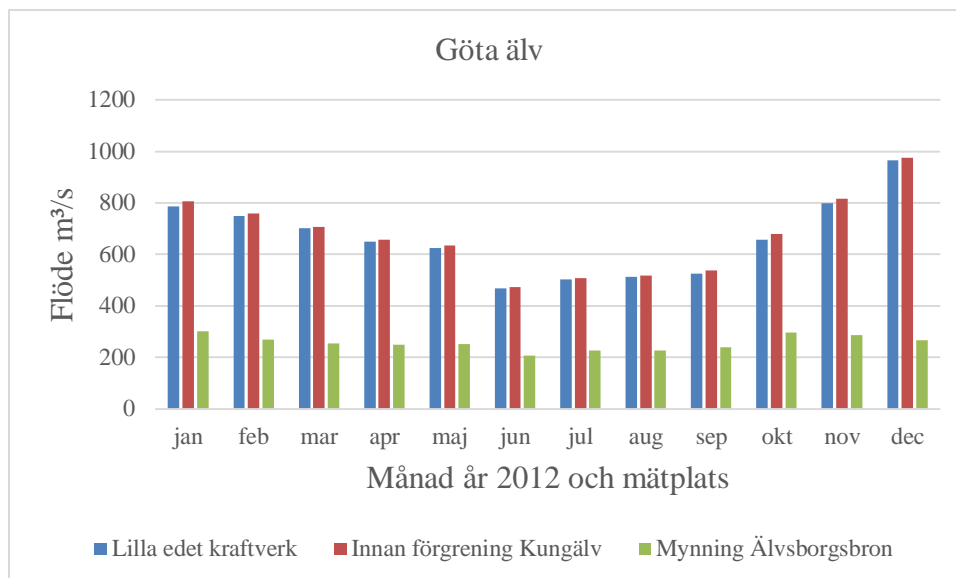
### 5.3 Flöde i Göta älv

Göta älv har ett varierande flöde som beror på tillflödet av vatten från avrinningsområdet som i sin tur är beroende av nederbörd. Flödet ökar vid stora regnmängder eller vid snösmältningen på våren men kan också justeras vid älvens början i Vänern. Kraftverket där, Vargöns kraftverk, kan reglera flödet beroende på vattenmängden i Vänern och efterfrågan på elektricitet (Vattenfall 2013).

I denna studie är det flödet i den så kallade Göteborgsgrenen (Göta älv, sträckan från Kungälv till Göteborg) som är intressant och i den är det ett relativt konstant flöde. Vid mätstationen Älvsborgsbron, vid Göta älvs mynning, var flödets medelvärde 238 m<sup>3</sup>/s med en standardavvikelse på 22,3 m<sup>3</sup>/s mellan åren 1999-2012 enligt figur 2 och något högre, 256 m<sup>3</sup>/s med en standardavvikelse på 29,3 m<sup>3</sup>/s år 2012 enligt figur 3 (SMHI vattenweb, 2013). Flödet regleras med höj- och sänkbara skärmar vid förgreningen mellan Nordre älv och Göta älvs Göteborgsgren, Ormo portar, för att flödet i Göteborgsgrenen ska vara någorlunda konstant (Lidén, et al., 2010). Detta för att inte saltvatten ska tränga upp i älven och in till sötvattenintaget i Lärjeholm. Flödet får inte vara för lågt. Är det totala flödet i Göta älv lågt är det flödet ut via Nordre älv som minskas mest till fördel för göteborgsgrenen men flödet i Nordre älv får inte heller bli för lågt då detta kan leda till att saltvatten tar sig in till Lärjeholm norrifrån. Fördelningen av Göta älvs totala flöde är vanligtvis ca 75 % till Nordre älv och ca 25 % till Göteborgsgrenen (Göta älvs vattenvårdsförbund, 2012). Flödet i älven ger upphov till en ström på ca 1,4 - 2,0 knop innan förgreningen och ca 0,2 – 0,8 knop efter förgreningen. Strömmens hastighet är högst i mitten av älven och avtar ut mot kanterna (Åström, et al. 2011).



Figur 2. Flöde i Göta älv år 1999-2012.



Figur 3. Flöde i Göta älv januari-december år 2012.

## 5.4 Ström

En sammanfattning av strömmen för de valda mätstationerna (ViVa, 2013), med riktning och hastighet, har gjorts inom olika djupintervall. I tabell 5 finns medelvärde för strömmens hastighet i dessa, förutom för Trubaduren där medelvärdet endast tagits för djupet 5 meter. Av diagrammet framgår det att det är betydligt högre strömhastighet i det övre djupskiktet och att den ökar längre västerut. För Trubaduren finns inget mätvärde grundare än 5 meter men jämförs det medelvärdet med de andra tre mätstationerna kan man se att strömhastigheten är mer jämförbar med Måvholmsbådans strömhastighet på 4 meters djup och betydligt högre än motsvarande djup vid mätstationerna Karet och Torshammen.

Tabell 5. Medelströmshastigheter i olika djupintervall för mätperioden enligt tabell 1.

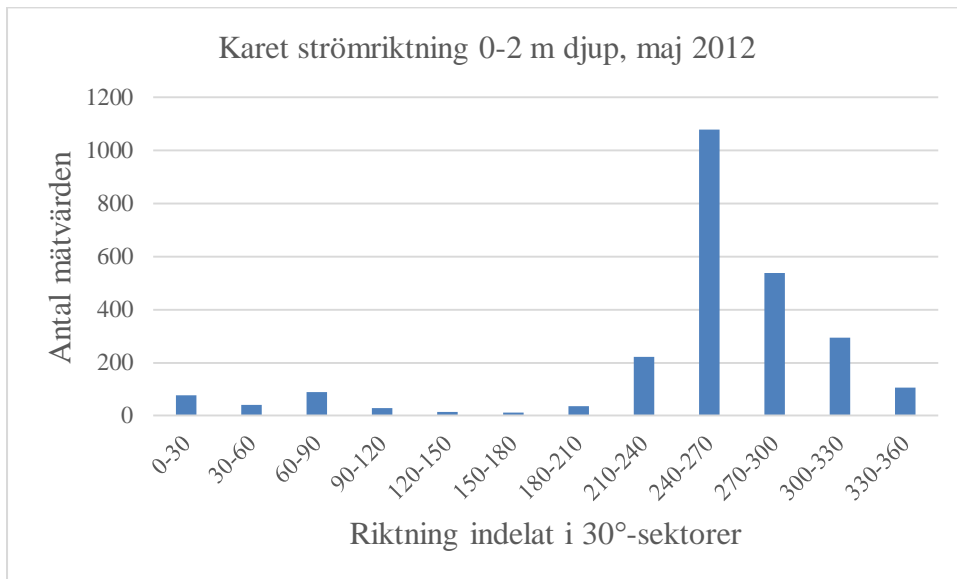
Karet		Torshammen		Måvholmsbådan		Trubaduren	
Djup (m)	Hastighet (knop)	Djup (m)	Hastighet (knop)	Djup (m)	Hastighet (knop)	Djup (m)	Hastighet (knop)
0-2	0,7	0-2	0,88	0-2	1,28	5	0,36
2-4	0,17	2-4	0,16	4	0,44		
4-6	0,12	4-6	0,13	10	0,15		
6-8	0,11	6-8	0,16	15	0,14		
8-10	0,09	8-10	0,17	19	0,14		
10-12	0,09	10-12	0,14				
		12-14	0,12				
		14-16	0,11				
		16-18	0,11				

För att mer överskådligt visa hur strömförhållandena ser ut har maj månad år 2012 valts. Nedan redovisas resultatet för detta, mätstationsvis, med figurer och förklarande text. Det redovisas med början längst österut, närmast älvens mynning, vid mätstationen Karet. Därefter redovisas resultatet för Torshammen som ligger placerad väster om Karet följt av resultatet för

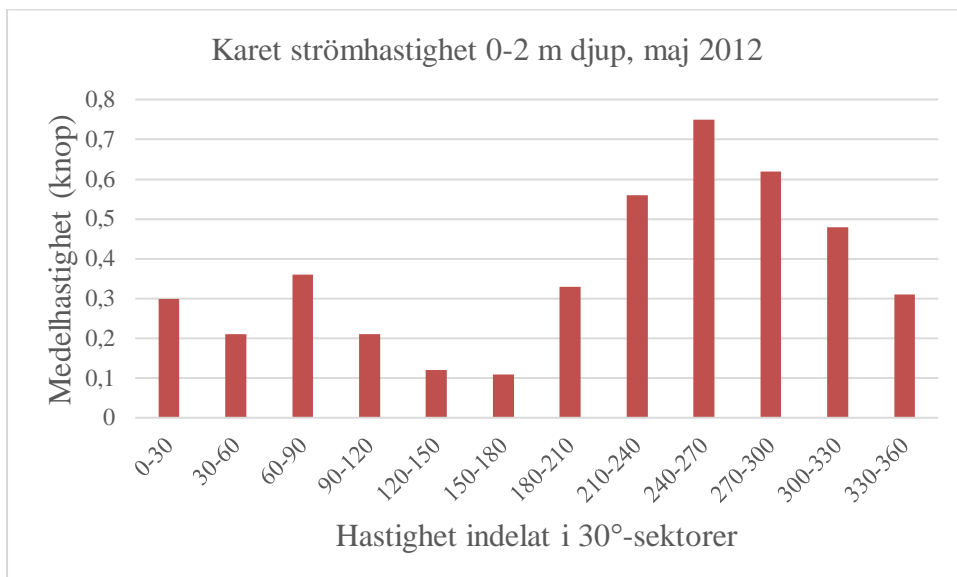
Måvholmsbådan som ligger placerad väster om Torshammen. Avslutningsvis redovisas resultatet för Trubaduren som ligger placerad sydväst om Måvholmsbådan, längst ut i kustbandet.

#### 5.4.1 Karet

Mätstationen Karet ligger placerad precis i mynningen till Göta älv och det går därför att se tydligt hur stor påverkan sötvattenutflödet från älven har på strömmen i det övre skiktet. 64 % av tiden är strömmen västlig (240° till 300°) enligt figur 4 och strömhastigheten i den sektorn är också högst enligt figur 5.

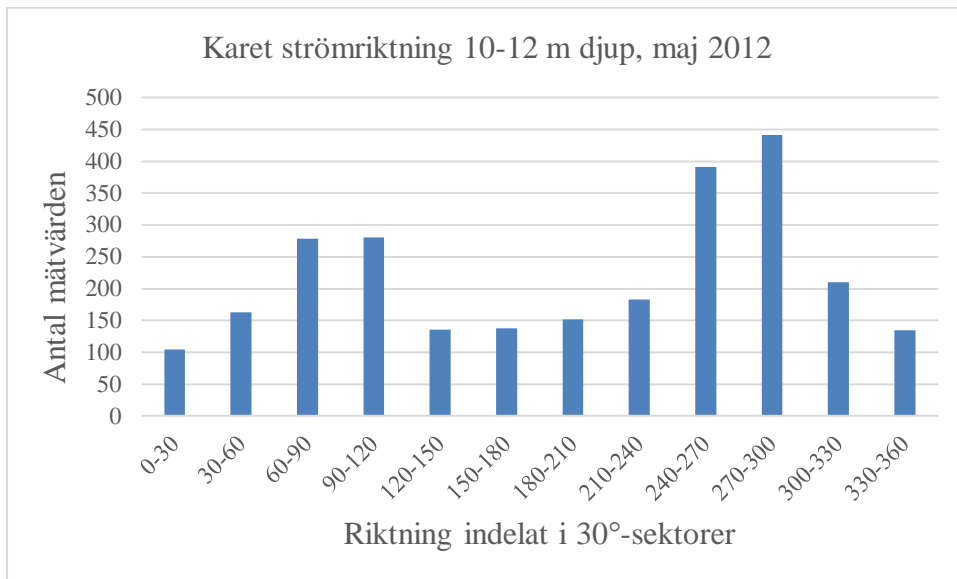


Figur 4. Strömmens riktning, Karet 0-2 meters djup.

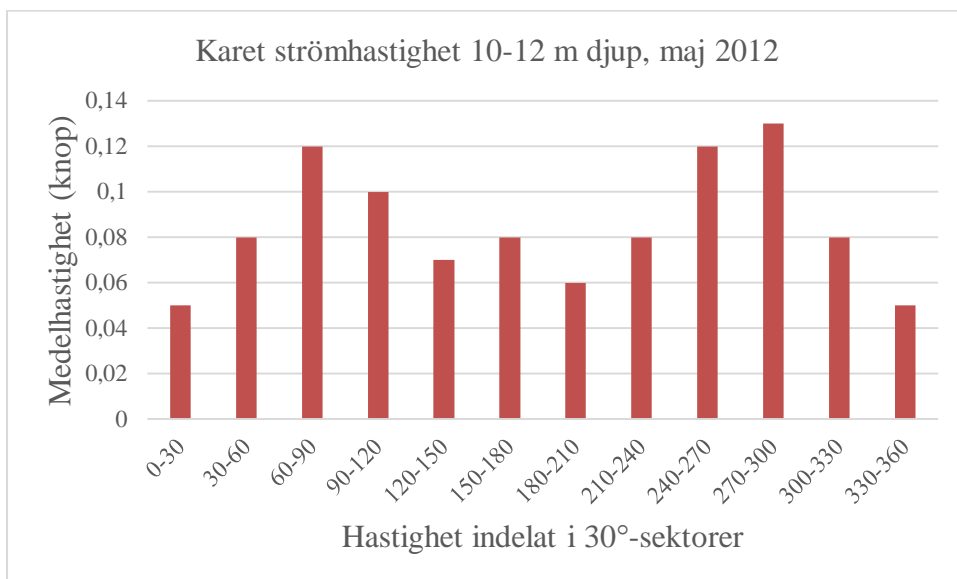


Figur 5. Strömmens hastighet, Karet 0-2 meters djup.

Vid botten är strömmens riktning västlig 32 % av tiden men annars finns en tydlig östlig (060° till 120°) ström 21 % av tiden enligt figur 6. Strömshastigheten är högst i västliga och östliga riktningar enligt figur 7. Även detta är ett resultat av älvens flöde.



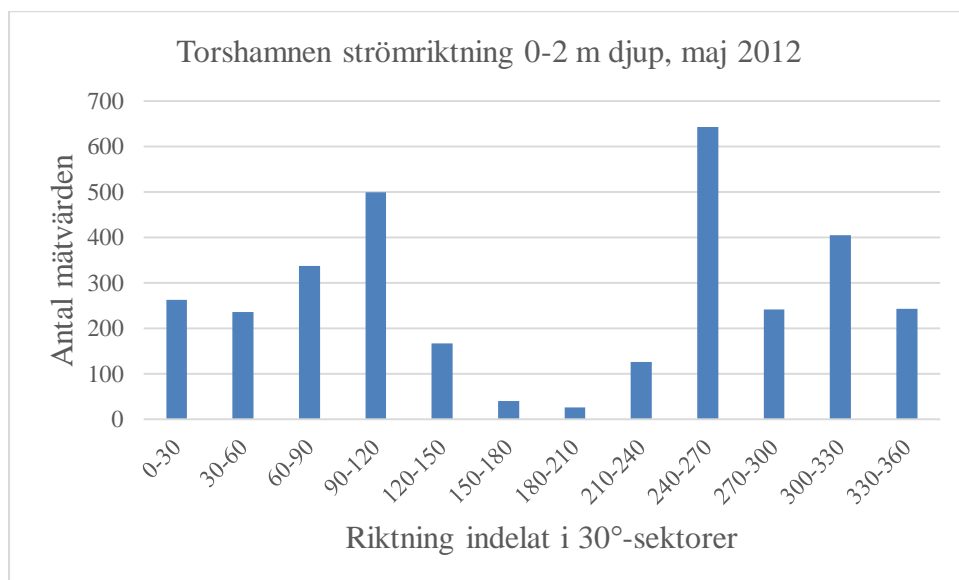
Figur 6. Strömmens riktning, Karet 10-12 meters djup.



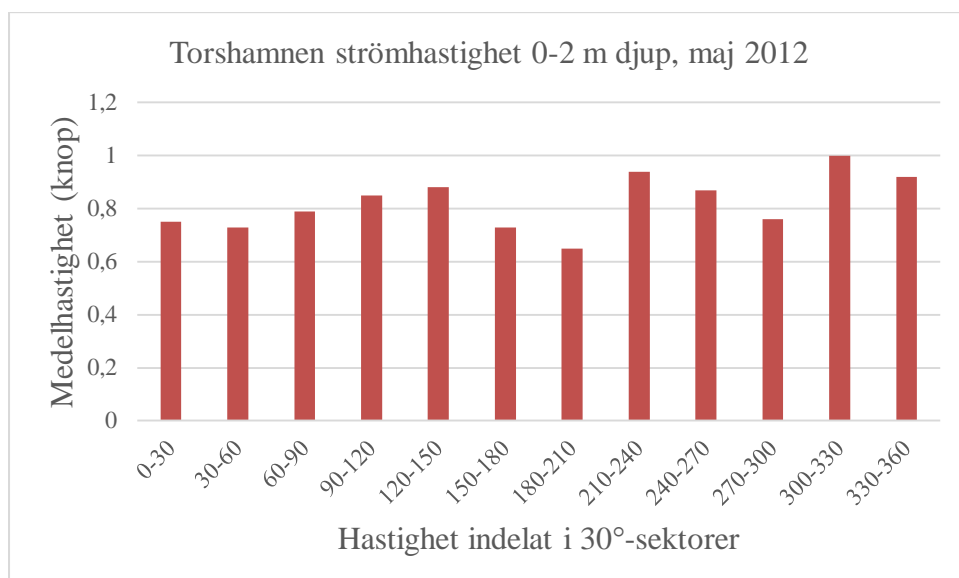
Figur 7. Strömmens hastighet, Karet 10-12 meters djup.

### 5.4.2 Torshammen

Längre västerut, vid mätstationen Torshammen, är strömförhållandena något annorlunda. 27 % av tiden är strömmen västlig och 26 % av tiden är den ostlig. Sydlig (150° till 210°) ström förekommer bara 2 % av tiden enligt figur 8. Strömmens hastighet är jämnar fördelad i alla sektorer, något lägre i sydlig riktning, enligt figur 9. Det är ingen sektor som har betydligt högre strömhastighet än någon annan.



Figur 8. Strömmens riktning, Torshammen 0-2 meters djup.

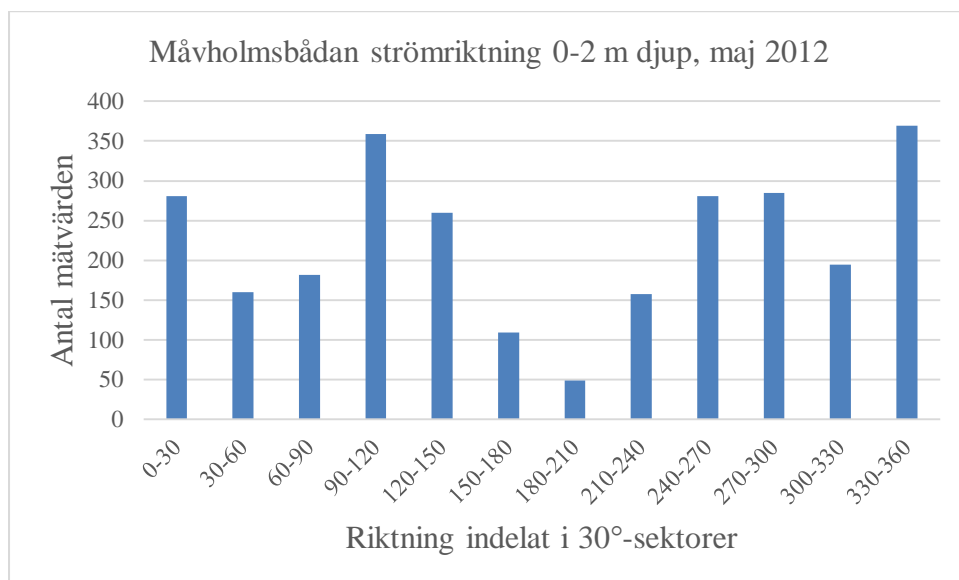


Figur 9. Strömmens hastighet, Torshammen 0-2 meters djup.

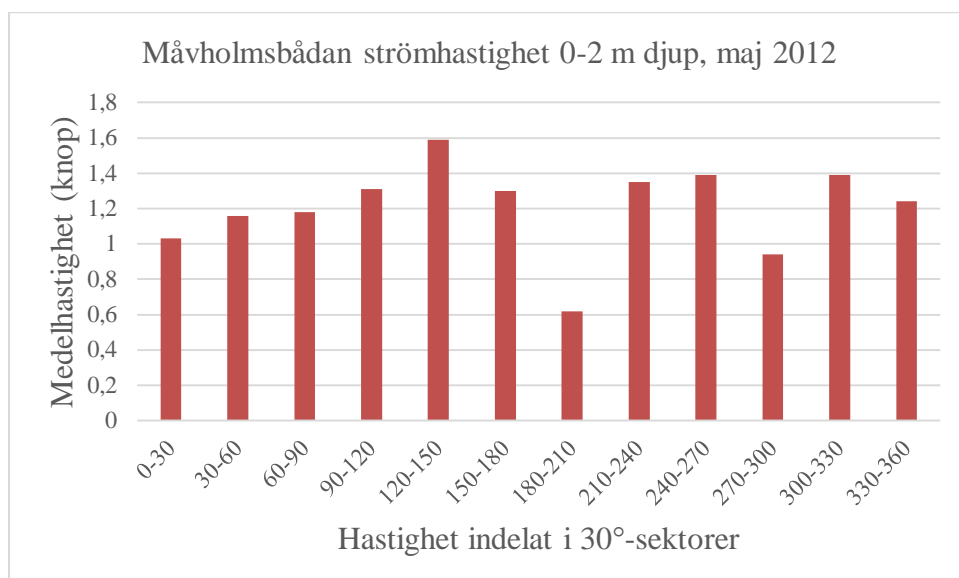


### 5.4.3 Måvholmsbådan

Vid Måvholmsbådans mätstation utskiljer sig resultat mer. Här är den västliga strömmen inte lika utmärkande längre. Strömmen är nordlig (330° till 030°) 24 % av tiden, västlig 21 % av tiden och östlig 20 % av tiden. Sydlig ström förekommer bara 6 % av tiden enligt figur 10. Strömmens hastighet är lägst i sydlig riktning. I övrigt är den relativt jämt fördelad enligt figur 11.



Figur 10. Strömmens riktning, Måvholmsbådan 0-2 meters djup.

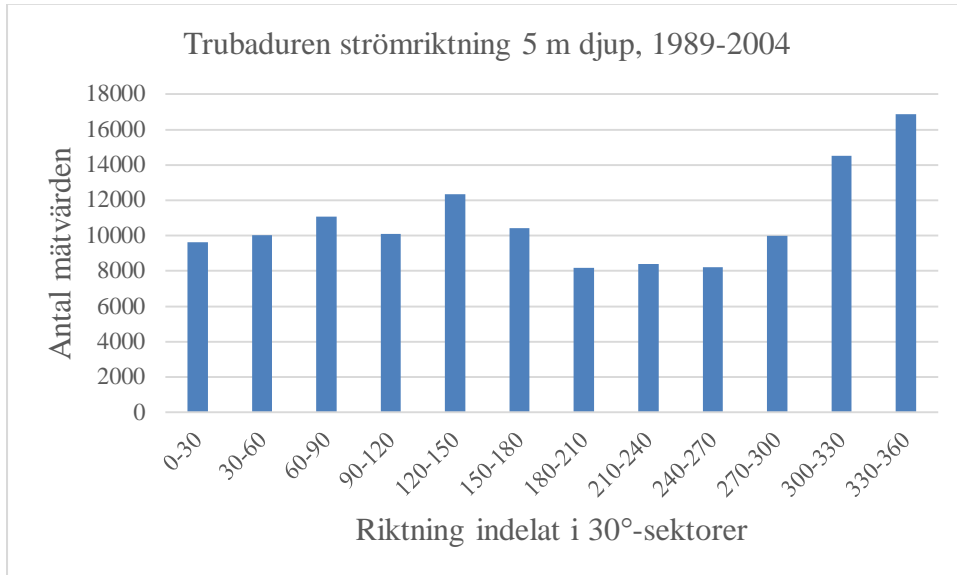


Figur 11. Strömmens hastighet, Måvholmsbådan 0-2 meters djup.

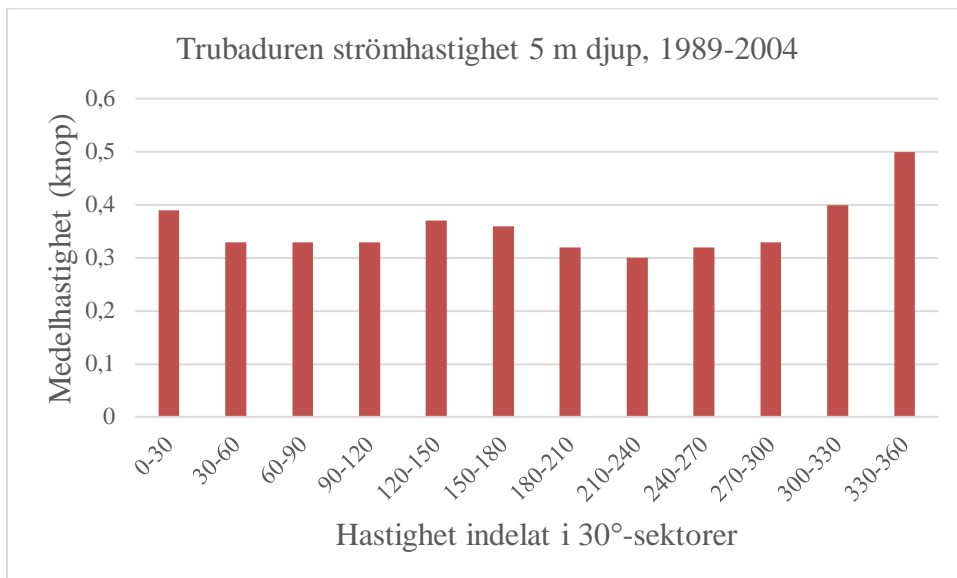
#### 5.4.4 Trubaduren

Vid Trubaduren är medelvärdet för strömmens riktning och hastighet framtagen för perioden 1989-11-15 - 2004-09-04. Strömriktningen varierar men nordnordvästlig (300° till 360°) ström förekommer 24 % av tiden, enligt figur 12, och är den strömriktning som utmärker sig.

Medelvärdet för strömhastigheten över denna långa period skiljer inte mycket mellan sektorerna men i sektorn 330° till 360° är strömhastigheten 38 % högre än medelvärdet för de andra sektorerna enligt figur 13.



Figur 12. Strömmens riktning, Trubaduren 5 meters djup.



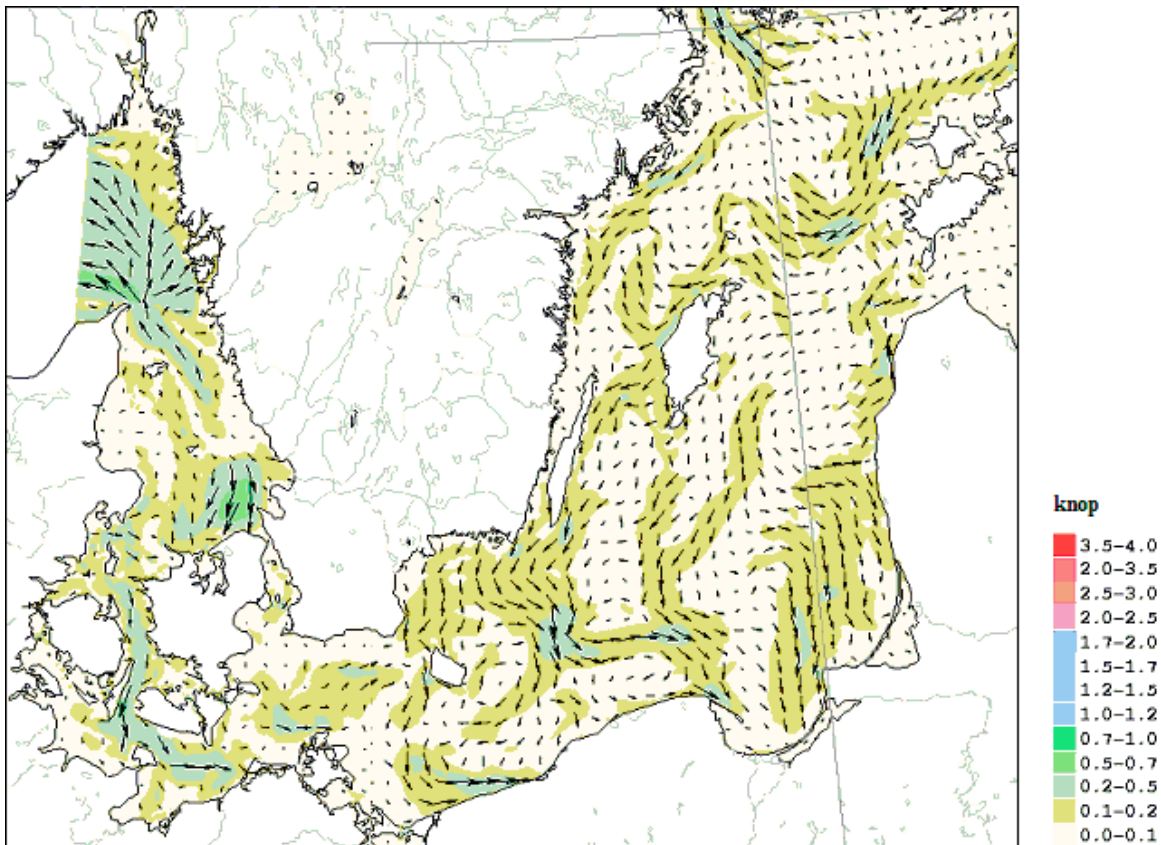
Figur 13. Strömmens hastighet, Trubaduren 5 meters djup.

De ovan redovisade resultaten gäller mätstationer som ligger placerade inomskärs, med undantag för Trubaduren, och strömmen vid dessa är inte lika starkt påverkade av de havsströmmar som finns utomskärs. Resultatet vid Trubaduren används för att illustrera påverkan av den baltiska strömmen längs den svenska kusten som beskrivs mer i nästa avsnitt.

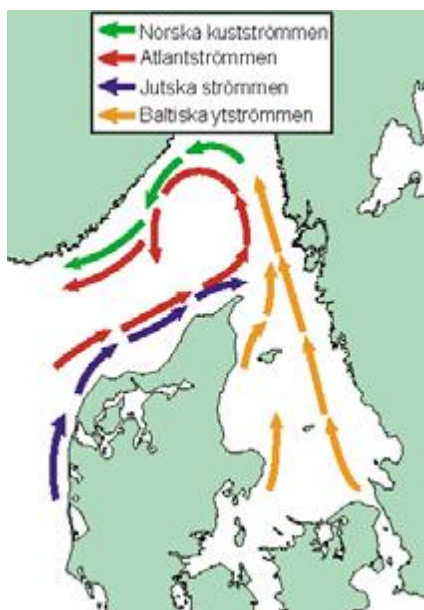
#### 5.4.5 Västkusten

Utanför den svenska kusten finns det havsströmmar som påverkar i vilken riktning en vattenvolym som släppts ut i Göteborgs hamn transporteras vidare. SMHI har gjort en modellering för strömmar längs den svenska kusten med modelleringsverktyget HIROMB enligt figur 14. Enligt den är strömmens hastighet 0,2-0,5 knop utanför Göteborg vilket stämmer bra överens med resultaten enligt figur 13. Riktningen däremot ser ut att vara ostlig till nordostlig enligt figur 14, vilket inte stämmer bra överens med resultatet enligt figur 12. Perioden för den data som använts för modelleringen i figur 14 är okänd och modellen behandlar bara kortare tidsperioder, ca 10 dagar (SMHI, 2011), och därför är jämförelsen med mätdata för en längre period, likt den i figur 12 och 13, svår att dra slutsatser ifrån.

De strömmarna som påverkar vattentransporten visas i figur 15. Baltiska strömmen är en nordgående ström som skapas av vattentillflödet i Östersjön. Den följer den svenska kusten på grund av Corioliseffekten. Den baltiska strömmen förstärks av den jutska strömmen vilken har en ostlig riktning vid Skagen i Danmark och sedan viker av norrut längs den svenska kusten och även av sötvattenutflödet från Göta älv och Nordre älv förstärker den baltiska strömmen (SMHI, 2011).



Figur 14. SMHI:s modellerade strömmar längs södra Sveriges kust.



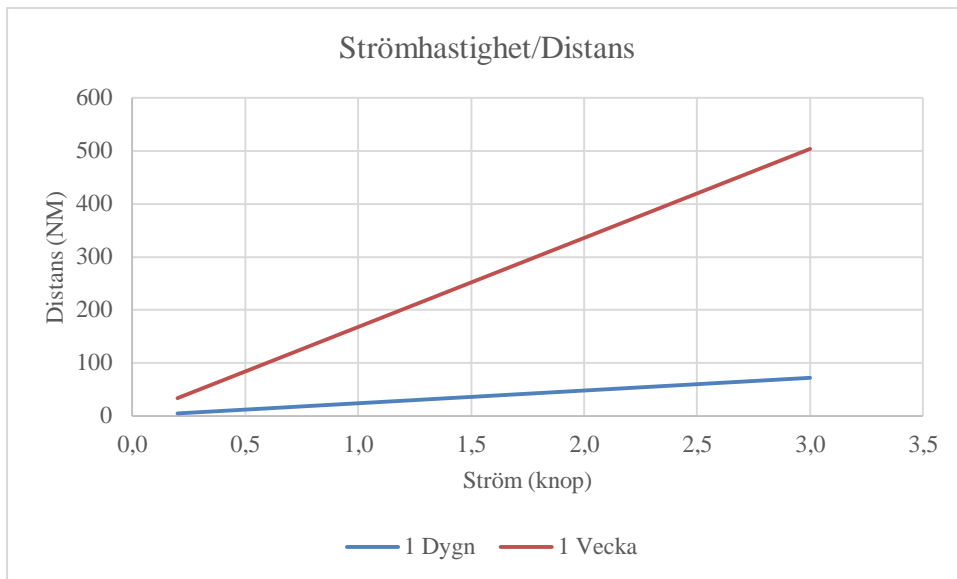
Figur 15. SMHI, strömsystem i västerhavet

### 5.5 Distanser och tid

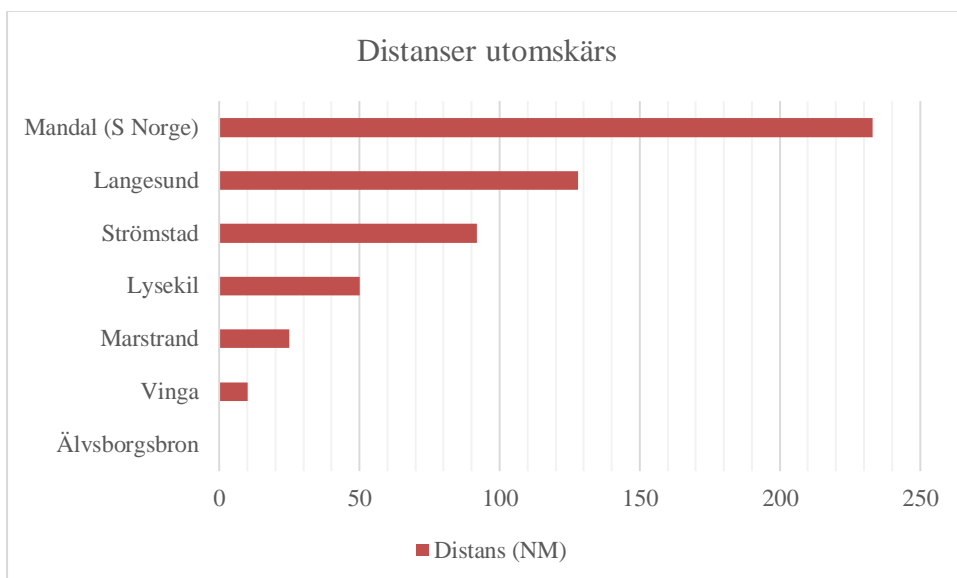
För att överskådligt visa hur långt en vattenmassa kan transporteras vid olika strömhastigheter har figur 16-20 samt tabell 6 tagits fram. I tabell 6 finns den högsta uppmätta strömhastigheten för de fyra mätstationerna. Tabell 5 visar medelhastigheter vid de olika mätstationerna. Tillsammans med figur 16-20 kan tabell 5 och 6 användas för att få en snabb överblick av hur långt en vattenmassa transporteras vid en vis strömhastighet och även hur långt vattenmassan transporteras i normalfallet (medelvärdet) samt i extremfallet (högsta uppmätta strömhastighet). Dessa figurer och tabeller är inte kopplade till någon riktning, bara till hastighet.

Tabell 6. Högsta uppmätta strömhastighet för perioden enligt tabell 1.

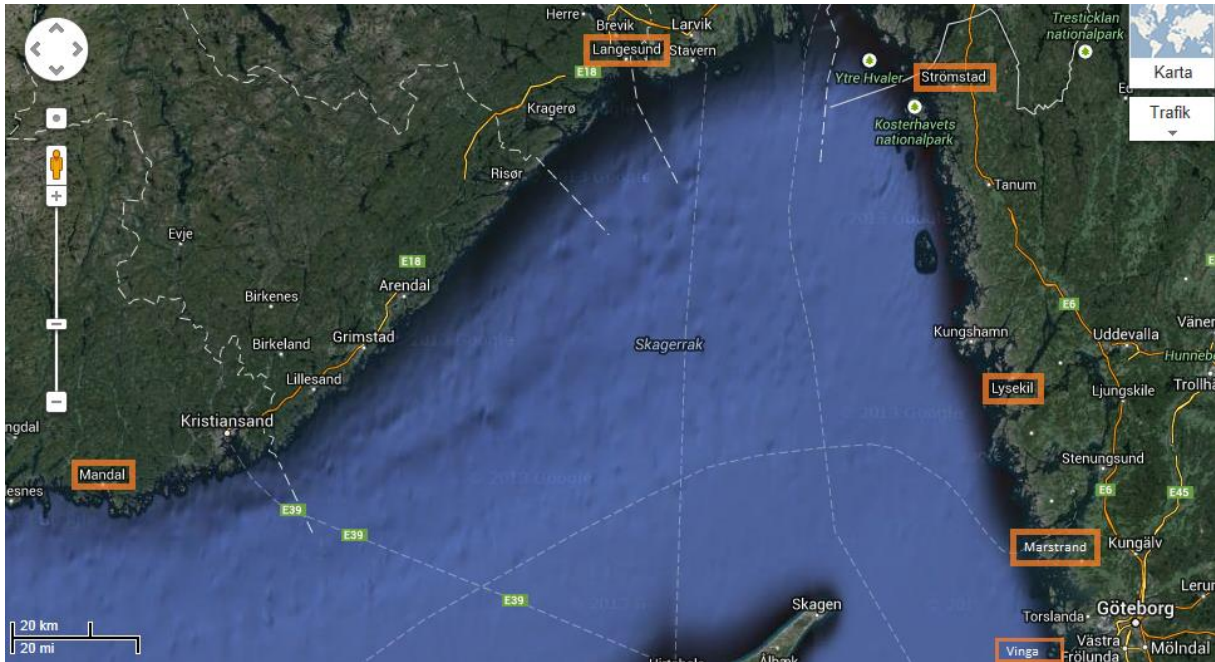
Mätstation	Högsta uppmätta hastighet (knop)
Karet	2
Torshamnen	1,9
Måvholmsbådan	3,2
Trubaduren	3,87



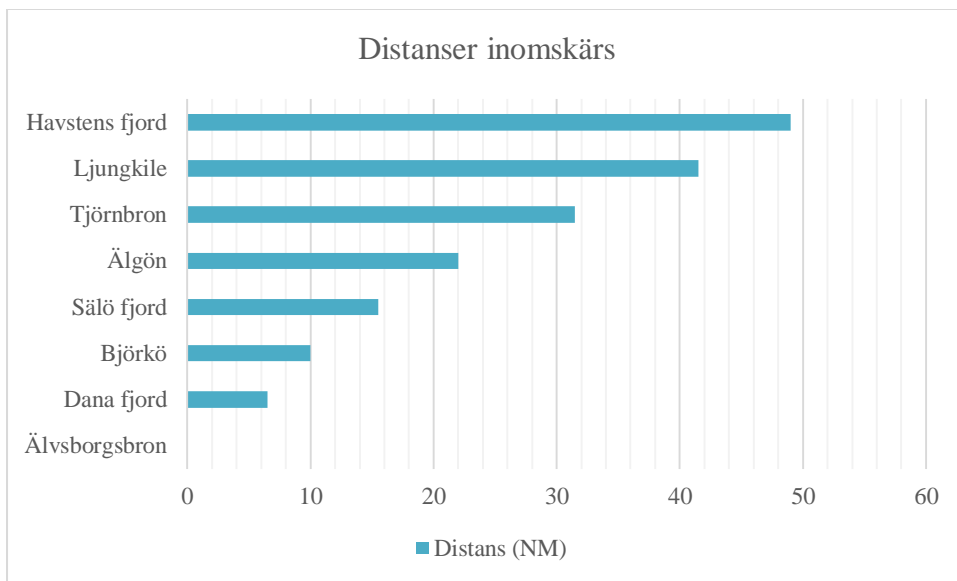
Figur 16. Strömhastighet, tid och distans.



Figur 17. Distanser till orter vid Kattegatts och Skagerraks kust.

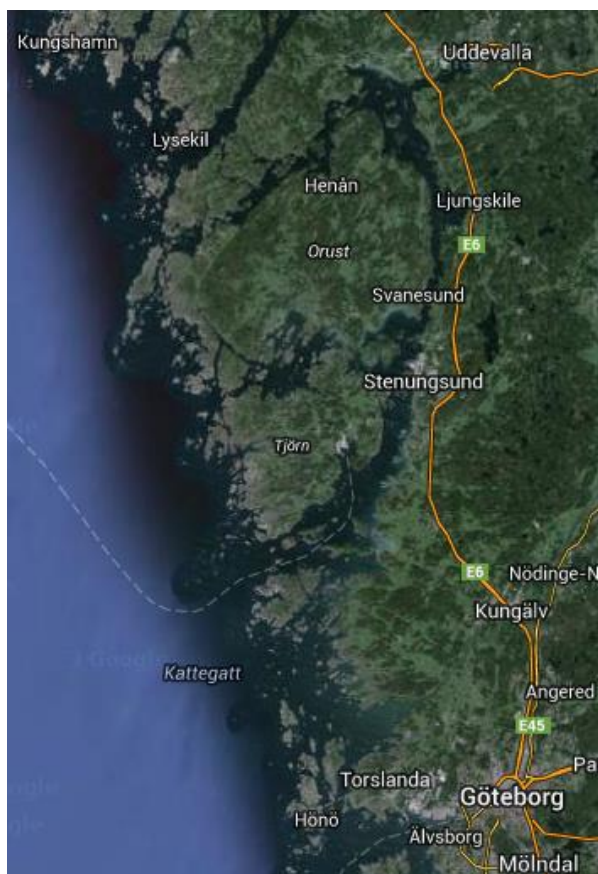


Figur 18. Svenska västkusten och Norska sydkusten med markerade orter enligt figur 17.



Figur 19. Distanser till orter längs kuststräckan Göteborg-Uddevalla.





Figur 20. Kuststräckan Göteborg-Uddevalla.

#### Exempel:

Medelhastigheten för strömmen på 0-2 meters djup vid Karet, Torshammen och Måvholmsbådan är  $(0,7+0,88+1,28)/3$ , enligt tabell 5. Det resulterar i en medelströmshastighet på 0,95 knop för dessa tre mätstationer. Om en vattenmassa skulle transporteras bort med den hastigheten skulle den transporteras ca 23 NM på 1 dygn och ca 160 NM på en vecka enligt figur 16. Det skulle föra den ungefär till Älgön på ett dygn enligt figur 19 och något längre än till Langesund på en vecka enligt figur 17. Detta exempel gäller bara om medelströmshastigheten som uppmätts gäller för hela den beräknade tiden, ett dygn eller en vecka.

Den hastighet strömmen har inomskärs beror på att en viss vattenmassa transporteras i ett område med visst djup och bredd, en area. Hastigheten kommer att förändras om arean förändras enligt Bernoullis lag ( $V_1 \times A_1 = V_2 \times A_2$ ) (SMHI, 2011). När vattenmassan kommer ut utomskärs och arean ökar kommer således hastigheten att minska. Detta förhållande mellan area och hastighet är en grundprincip som går att applicera när en vattenmassa passerar över ett grund med ökad hastighet som följd. Det är svårare att applicera när fler faktorer är involverade. I exemplet ovan skulle strömmens hastighet minska när vattenmassan transporteras norrut längs den svenska kusten på grund av den ökade arean men areans storlek varierar också beroende på skiktningar i vattnet och vattenmassans utbredning i djup kan variera.

En mer noggrann beräkning för hur långt en vattenmassa kan transporteras och i vilken riktning kan göras om det finns mer information tillgänglig likt den i figur 4 t.o.m. figur 13. Ska beräkningarna vara mer exakta behövs kontinuerligt uppdaterad information och någon typ av modell som gör dem.

## 5.6 Spädning

När en volym vatten pumpas ut i omkringliggande vattenmassa, havet, påbörjas en process som kommer att utjämna eventuell densitetsskillnad mellan dessa två volymer, utspädning. Skillnaden i temperatur och salthalt samt metod och djup för utpumpningen avgör hur snabbt detta kommer att ske. Det vatten som pumpas ut kommer att dra med sig och blanda in vatten från havet och bilda en plym som växer i utbredning från utpumpningsplatsen (Ljunggren, 2008). Utspädningen beror också på strömmen och skikt i havet samt hur stort flödet vid utpumpningen är. Ett lågt utflöde i ett oskiktat vatten med hög strömhastighet bidrar till effektivast utspädning om det är sötvatten eller varmt vatten som pumpas ut i saltvatten eller kallt vatten. Detta beror på att det söta eller varma vattnet flyter upp mot ytan och om det då inte finns några skikt kommer det söta eller varma vattnet spädas ut under hela vägen upp till ytan. Tillsammans med ett lågt utflöde och hög strömhastighet leder detta till att en liten volym vatten späds ut i en större volym under längre tid, beroende på utpumpningsdjupet. I ett skiktat vatten däremot kan den utpumpade vattenvolymen hinna spädas ut och få högre densitet än ytvattnet och därför aldrig nå ytan (SMHI, 2008).

I en utredning om utspädning av spillvatten från ett reningsverk i Kullavik, i Kungsbacka kommun, mättes halter av kväve och fosfor. Det konstaterades att halterna i utsläppsvattnet som låg på ca 2000 % över normalvärdet i havet redan efter 50 meter hade minskat till ca 100 % eller mindre och att halterna efter en kilometer var så små att de lika gärna kunde bero på den naturliga variationen i havet (SMHI, 2008).



## 6. Diskussion

I detta kapitel ska en diskussion föras kring den mätdata som finns tillgänglig, vad den går att använda till, hur den har använts i denna studie och vad resultaten från detta kan användas till.

Det finns bra information om Göta älvs flöde vilket mäts på flera platser längs med älven. Utifrån denna data går det att utläsa flödets storlek och variationer i flödet. För denna studie var det mycket användbart att se flödets storleksfördelning innan förgreningen i Kungälv och vid mynningen vid Älvsborgsbron för att verifiera att flödet hålls nästan konstant i Göteborgsgrenen oberoende av älvens totala flöde. Vid uppskattningar av var en utsläppt volym vatten transporteras underlättar det att utflödet från älven är relativt konstant eftersom de andra faktorerna som påverkar den totala strömmen är mer dynamiska. Dock är det så att det mätvärde som anges för flödet är ett totalt flöde för den angivna platsen. Flödets volym är inte uppdelat på olika djup i älven och det är därför svårt att dra några slutsatser om vattenflödets fördelning. För att kunna bedöma hur flödet är uppdelat behöver andra faktorer vägas in. Mätvärden för salthalt och temperatur på olika djup behövs för att kunna se om vattenflödet är jämnt fördelat i hela älven eller om det är fördelat i olika skikt. Det är först vid Älvsborgsbron (förutom informationen om råvattenintagets stängningstillfällen vid Lärjeholm) som mätningar av temperatur och salthalt genomförs men där har det, i den mätdata som använts för denna studie, bara funnits en mätning per månad vilket är alldeles för få mätningar för att skapa en bra uppfattning om förhållandena på platsen.

För att försöka skapa en bild av hur fördelningen av det vattenflöde som kommer från älven ser ut användes tillgänglig data för salthalt. Den jämfördes med älvens totala flöde och strömmens hastighet på olika djup utanför Älvsborgsbron. Det som går att utläsa av detta är att salthalten är låg vid ytan och att den tilltar och är relativt hög redan på 2 meters djup. Flödet från älven, som består av sötvatten, är till viss del redan uppblandat med saltvatten när det når Älvsborgsbron men är vid ytan är uppblandningen begränsad.

Vid mätstationen Karet (ca 1 NM utanför Älvsborgsbron) är strömmens hastighet betydligt högst inom djupintervallet 0-2 meter och strömmens riktning är övervägande västlig inom samma djupintervall med högst strömhastighet åt väster. Detta är en indikation på att älvens utflöde av vatten även vid Karet till största delen sker i ytan och det således är sötvatten som strömmar ut ovanpå det saltare havsvattnet. Vid mätstationen Torshammen (ca 2,5 NM utanför Älvsborgsbron) är strömmens hastighet fortfarande betydligt högst i det översta djupintervallet, 0-2 meter, och strömmens riktning är fortfarande västlig till stor del men det är inte längre lika tydligt förhållandevis till Karet. Detta skulle kunna vara en indikation på att det vid Torshammen finns andra faktorer än älvens flöde som påverkar strömmen i det övre djupintervallet. Studeras en karta syns det tydligt att området vid Torshammens mätstation skiljer sig mycket från området vid Karets mätstation som är placerad i älvens mynning precis innan vattenområdet utbreder sig ytmässigt. Vid Torshammen är vattenområdet mycket större och andra faktorer kan påverka strömmen mer.

Vid Måvholmsbådans mätstation (ca 6 NM utanför Älvsborgsbron) är det ännu tydligare att det är andra faktorer än älvens flöde som påverkar strömmen. Strömmens hastighet i det övre djupintervallet är mycket högre i jämförelse med Karet och Torshamnen och även betydligt högre på 4 meters djup. Den högre hastigheten tyder på att havsströmmar och vind påverkar mer längre ut i skärgården. Att hastigheten är högre djupare ner i vattenvolymen kan tyda på att det har skett en större uppblandning mellan sötvatten och saltvatten så att skiktet har flyttats nedåt. Strömmens riktning är mer jämnt fördelad men det går att urskilja en något högre frekvens av västlig och östlig riktning samt att nordlig riktning är mer frekvent i förhållande till sydlig riktning vilket tyder på att den baltiska strömmen, som till större delen är nordgående, påverkar mer utanför skärgården.

Resultatet från Trubadurens mätstation styrker den baltiska strömmens riktning och att den generellt sett är en nordgående ström även fast den varierar mycket.

Sammanfattas resultatet för alla mätstationer, för strömmen i det övre djupintervallet, går det att se en tendens. Strömmens riktning är procentuellt sett övervägande västlig vid Karet (64 %) och Torshamnen (27 %) för att vid Måvholmsbådan övervägande vara nordlig (24 %) och vid Trubaduren övervägande var nordnordvästlig (24 %). I de flesta fall rör sig vattnet i det övre djupintervallet västerut från Älvsborgsbron för att sedan vika av norrut längs kusten. Resultatet är inte helt övertygande eftersom det inte är i närheten av 100 % eller ens nära 50 %, förutom vid Karet, men många faktorer påverkar förutom älvens flöde.

Vinden är en stor faktor i området. Vindstatistik visar att vinden vid Trubaduren är sydlig till västlig 50,9 % av tiden med ett medelvärde på 6,9 m/s för åren 1979-2004 (SMHI, 2006). Om bara vinden påverkar är ytströmmens hastighet är den ca 1,35 % av vindhastigheten och riktad 45° höger om vindriktningen på grund av corioliseffekten (SMHI, 2011). Detta betyder att vindens bidrag till ytströmmens hastighet skulle vara ca 0,18 knop i snitt och att vindens påverkan på ytströmmens riktning skulle vara nordostlig till sydostlig ungefär hälften av tiden under denna period. Denna vindgenererade ytström motverkar och påverkar den totala strömmen som genereras av utflödet från Göta älv vilket syns tydligt vid mätstationerna Torshamnen och Måvholmsbådan.

Sträckan en vattenmassa transporteras påverkas av en mängd faktorer och vid beräkningar av distanser görs antagandet att barlastvattnet består av sötvatten som kvarstannar i ytvattnet. Eftersom utsläppt saltvatten sjunker påverkas inte det av ytströmmen i lika stor utsträckning som sötvatten och det går därför inte göra några beräkningar av hur det sprids med hjälp av denna studie. Det finns inga mätningar av salthalt på det barlastvattnet som släpps ut i Göteborg vilket begränsar möjligheterna för att diskutera hur det sprids men baserat på en studie från 2007 (Gollasch och Leppäkoski, 2007) har de hamnar som klassas som "högriskhamnar" för transport av främmande arter till Göteborg salthalter som varierar mellan 0-20 promille och flertalet hamnar i närheten har lägre salthalt. Enligt en annan studie (Hoffrén, 2006) är den största delen av det barlastvattnet som släpps ut i Sverige upptaget i Östersjön och Nordsjön. Det bör betyda att

det är upptaget i någon av hamnarna där och att det med stor sannolikhet har låg salthalt. Vid antagandet att barlastvattnet består av sötvatten finns det möjlighet att räkna ut hur långt det kan transporteras med ytströmmarna i området och var ett vattenprov ska tas. Eftersom den största delen av barlastvattenutsläppen som genomfördes år 2011 genomfördes i området precis utanför Älvsborgsbron, där salthalten är låg i ytvattnet, blir utspädningen begränsad. Tiden för utsläppstillfället tillsammans med aktuell tid och aktuell ström är nödvändig fakta. Beroende på tiden mellan dessa två tillfällen kan det vara nödvändigt att ha tillgång till historik, om utsläppet t.ex. skett för en vecka sedan, eller att de aktuella förhållandena registreras, om provet ska göras vid senare tillfälle. Finns det inte tillgång till detta kan denna studie vara ett stöd men det ska tas i beaktande att den gäller för generella fall likt det som beskrivs i exemplet i kapitel 5.5 och i stycket ovan angående det sammanfattade resultatet för alla de mätstationer som använts för denna studie.

År 2011 släpptes det enligt teoretiska beräkningar totalt ut ca 8 700 000 ton barlastvatten i Göteborgs hamn, fördelat mellan de olika terminalerna. I det inre hamnområdet släpptes det ut ca 1 000 000 ton, vilket motsvarar ca 12 % av den totala mängden, och i det yttre hamnområdet släpptes det ut ca 7 700 000 ton, vilket motsvarar ca 88 % av den totala mängden (Gibson och Johansson, 2013). Av utsläppen i det yttre hamnområdet sker 98 % av dessa (ca 7 500 000 ton) på Älvsborgsfjorden, området precis utanför Älvsborgsbron, där mätstationen Karet är placerad. Älvsborgsfjorden ingår i det område som benämns Rivö fjord på SMHI:s vattenweb. Förhållandet mellan volymen totalt utsläppt barlastvatten i det yttre hamnområdet under 2011 och volymen för det övre skiktet på Rivö fjord är ca 8 %. Förhållandet mellan totala volymen utsläppt barlastvatten i det inre hamnområdet 2011 och inre hamnområdets volym är också ca 8 %. Vid en jämförelse mellan det utsläppta barlastvattnet 2011 och flödet i Göta älv 2011, vilket var 248 m<sup>3</sup>/s, motsvarar barlastvattnet 1,1 ‰ av det totala flödets volym.

I det inre hamnområdet sker barlastvattenutsläppen till största delen från färjor, passagerar- och Ro-ro-fartyg och år 2011 gjordes 2 456 anlöp vilket innebär ca 7 anlöp och ca 2 770 ton barlastvatten per dygn vilket ger ca 414 ton barlastvattenutsläpp per anlöp (Gibson och Johansson, 2013). Göta älvs flöde år 2011 var i snitt 21 427 200 m<sup>3</sup> per dygn. Den utsläppta mängden barlastvatten i förhållande till flödet är ca 0,13 ‰ per dygn.

I det yttre hamnområdet står tankfartyg för den största andelen av barlastvattenutsläppen. År 2011 släppte de ut ca 3 200 000 ton fördelat på 714 anlöp i Skarvikshamnen och Ryahamnen vilket motsvarar 37 % av den totala mängden. Det innebär ca 2 anlöp per dygn och motsvarar ca 8 700 ton per dygn samt ca 4 400 ton per anlöp. I förhållande till älvens flöde motsvarar det ca 0,40 ‰ per dygn. Ro-ro- och containerfartygen i yttre hamnområdet släpper ut mindre barlastvatten i förhållande till tankfartygen men stod gemensamt för ca 4 300 000 ton år 2011 fördelat på 2 567 anlöp vilket motsvarar ca 7 anlöp och ca 12 000 ton per dygn samt ca 1700 ton per anlöp (Gibson och Johansson, 2013).

Utspädningen som behandlas i kapitel 5.6 är den primära spädningen som sker vid ett turbulent utflöde. Den sekundära spädningen sker i gränsskiktet mellan olika vattenmassor. Vid antagandet att en liten vattenmassa har antagit samma temperatur och salthalt som, och befinner sig i mitten av, en stor vattenmassa som förflyttar sig kan den lilla vattenmassan förbli näst intill opåverkad och oförändrad. Den kommer att kunna transporteras långa sträckor utan att fortsätta spädas ut i samma utsträckning. Detta gäller om det inte finns några andra yttre faktorer som rör om i vattenmassan eller om de är begränsade. Om en vattenvolym pumpas ut i Göteborgs hamn, där strömmens hastighet är relativt låg, och den har liknande temperatur och salthalt som omkringliggande vatten och den pumpas ut med ett stort flöde, nära ytan, kommer den inte spädas ut i så stor utsträckning. Den bör då kunna transporteras iväg med strömmen långa sträckor. Barlastvatten som pumpas ut enligt dessa förutsättningar skulle det kunna transporteras så långt som till södra Norge på en vecka.

Många hamnar i världen och framför allt i nordvästra Europa ligger i flodmynningar och estuarier med en salthalt liknande den i Göteborgs hamn och Östersjön (Gollasch och Leppäkoski, 2007). Världens största hamn ligger i Shanghai, Kina, i mynningen av floden Yangtze och Europas tre största hamnar, Rotterdam, Antwerpen och Hamburg ligger i floderna Nieuwe Maas, Schelde respektive Elbe. Av Europas 10 största hamnar ligger 6 stycken i floder eller vid dess mynning. I Östersjön ligger den största hamnen i Primorsk, Ryssland, men den ligger inte vid en flod. Däremot gör de fem i storleksordning efterföljande hamnarna det, nämligen Saint Petersburg, Riga, Klaipeda, Ventspils och Gdansk (Ports.com, 2013). Flodernas storlek, flöden, strömmar och djup skiljer sig åt i de olika hamnarna men de påminner om varandra när det kommer till salthalten i vattnet. Beroende på vilken salthalt havet utanför floden har kommer det där att vara skillnader men vid någon punkt i varje hamn kommer salthalten överensstämna med salthalten i någon annan av de tidigare nämnda hamnarna. Övriga faktorer som påverkar hur vattnet späds ut och sprids utanför hamnen kan skilja desto mer.

Med tanke på att många hamnar i Göteborgs närområde har liknande salthalt är det troligt att det barlastvatten som släpps ut i Göteborg har låg salthalt och kan därför transporteras bort i ytvattnet. Det som talar emot detta är om det har gjorts ett byte av barlastvatten på vägen, vilket dock inte är så troligt att fartyg som kommer från en hamn i nordvästra Europa har gjort på grund av de begränsade möjligheterna för skifte av barlastvatten i närområdet. Men om ett fartyg kommer från en hamn utanför nordvästra Europa och färdats över ett hav med hög salthalt och möjlighet för byte har funnits är det mer troligt.

Metoden, som använts för denna studie, har varit lämplig för att beskriva en generell bild av den komplexitet som finns gällande hur vattenmassor kan spridas i Göteborgs hamn och dess närområde och även för att ge exempel på situationen för en viss period. Däremot är metoden inte användbar för att beräkna spridning i realtid. Den är för tidskrävande och hanterar historisk data. Dessutom är för många faktorer utlämnade från beräkningarna även om deras påverkan på spridningen beskrivs kortfattat.

Studiens validitet är måttlig eftersom den ursprungliga tanken var att kunna bedöma hur en vattenmassa sprids. Slutresultatet har för många begränsningar för att kunna göra en bra bedömning. De resultat som redovisats gällande mätdata har dock hög reliabilitet men är begränsade till en kort period på grund av tidsåtgången för analys.

## 7. Slutsatser

Under arbetet har skapats en generell bild av hur spridningen kan se ut under en viss tidsperiod inom ett visst djupintervall om bara resultatet av de olika faktorernas påverkan studerats och att det antagits att det utsläppta vattnet är sötvatten. Sannolikheten för att det är sötvatten som släpps ut är stor om fartygen som släpper ut ballastvattnet rör sig mellan hamnar i nordvästra Europa. När så är fallet går det att konstatera att en vattenmassa kan transporteras från Göteborgs hamn till norra delen av Sveriges västkust på mindre än en vecka.

Lärdomar som erhållits under genomförandet av denna studie har bekräftat och ytterligare förstärkt uppfattningen om att det studerade området är mycket komplext och slutsatsen är att det krävs betydligt mycket mer kunskap inom området, bättre samordnad information att använda och någon typ av modelleringsverktyg för att kunna skapa en bra bild av hur den totala spridningen påverkas av alla olika ingående faktorer.

Det finns många förbättringar som kan göras inom området vilket kräver investeringar i fler mätstationer, framför allt innanför Älvsborgsbron. De bör mäta vattenstånd, strömriktning, strömhastighet, temperatur, salthalt och densitet på flera djup. Dessa bör samordnas för att få mer kompatibel och lättanalyserad mätdata. Därför bör de vara placerade på samma djup och mäta med samma tidsintervall och vara synkroniserade tidsmässigt. Uppmätta värden bör också anges med samma enhet och lagras i ett gemensamt format på en gemensam databas.

Om dessa investeringar genomförs kan framtida forskning underlättas och beräkningsmodeller för hur vatten sprids inom hamnområdet och närområdet skulle kunna leverera bättre resultat.

Mitt förslag är att Göteborgs hamn påbörjar ett samarbete med myndigheter och företag, med kompetens inom ämnesområdet, för att få en bättre uppfattning om vart det vatten som släpps ut tar vägen. Även rederier som är intresserade av att underlätta sin ballastvattenhantering bör vara delaktiga, framför allt med ekonomiskt stöd, eftersom kostnaden för nya mätstationer är stor. Framtagandet av en bra beräkningsmodell kan underlätta vid bedömningar av undantag från ballastvattenrening enligt ballastvattenkonventionen och leda till besparingar, framför allt för rederier.

## Referenser

Kommerskollegium 2012:3. (2012) Handel, transporter och konsumtion. Hur påverkas klimatet? Stockholm. Kommerskollegium.

European Maritime Safety Agency, EMSA (2013) <http://www.emsa.europa.eu/main/ballast-water/involvement/151-ballast-water.html> (9 okt. 2013).

Hoffrén, K. (2006) Pilot study on annual ballast water discharge and uptake in Sweden. HELCOM MARITIME 6/2007, Szczecin, Poland (2007).

Gibson, C-H. Johansson, F. (2013) Landbaserad rening av ballastvatten, ett realistiskt alternativ för Göteborgs hamn? – Nuvarande situation och framtida förutsättningar. Göteborg: Chalmers tekniska högskola. (Kandidatarbete vid programmet för Sjöfart och Logistik).

Seebens, H. Gastner, M, T. Blasius, B. (2013) The risk of marine bioinvasion caused by global shipping. Ecology Letters, Vol. 16, Issue 6, ss. 782-790.

International Maritime Organization, IMO (2004) The International Convention for the Control and Management of Ships Ballast Water and Sediments.

International Maritime Organization, IMO (2013) <http://www.imo.org/About/Conventions/StatusOfConventions/Pages/Default.aspx> (14 okt. 2013).

Helsinki Commission, HELCOM (2010) Maritime Activities in the Baltic Sea – An integrated thematic assessment on maritime activities and response to pollution at sea in the Baltic Sea Region. Balt. Sea Environ. Proc. No. 123

Mixing fresh and salt water (2013) <http://www.oregon.gov/DSL/ssnerr/docs/efs/efs33mix.pdf> (18 nov. 2013)

Göta älvs vattenvårdsförbund. (2006) Fakta om Göta älv. En beskrivning av Göta älv och dess omgivning 2005.

Sjöfartsverket (2013)

<http://www.sjofartsverket.se/sv/Sjofart/Lotsning/Lotsomraden/Lotsomrade-Goteborg/Goteborg> (18 nov. 2013)

Lidén, P. Saglamogul, S. (2010) Saltvattenuppträngning i Göta älv – Inverkan av förhöjd havsvattennivå på råvattenintaget vid Alelyckan. Göteborg: Chalmers tekniska högskola. (Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet Byggingenjör).

Vattenfall (2013) <http://produktion.vattenfall.se/powerplant/vargoen> (14 nov. 2013)

Göta älvs vattenvårdsförbund. (2012) Rapport avseende vattendragskontroll 2011.

Åström, S. Eklund, D. Lindahl, S. (2011) Hydrodynamisk modell för Göta älv – Underlag för analys av vattennivåer, strömhastigheter och bottenskjuvspänningar. Linköping: SGI. (Göta älvutredningen - delrapport 3).

SMHI. (2011) Faktablad nr 52-2011. Strömmar i svenska hav.

SMHI Nr 121, 2006. Vindstatistik för Sverige 1961-2004.

[http://www.smhi.se/polopoly\\_fs/1.1895!meteorologi\\_121-06%5B1%5D.pdf](http://www.smhi.se/polopoly_fs/1.1895!meteorologi_121-06%5B1%5D.pdf)  
(25 nov. 2013)

Ljunggren, M. (2008) Spridningsberäkning Sörfjärden. Stockholm: WSP

SMHI (2008) Rapport 2008-40. Spridning och utspädning av renat spillvatten från Kullavik.

Gollasch, S. Leppäkoski, E. (2007) Risk assessment and management scenarios for ballast water mediated species introductions into the Baltic Sea. Aquatic Invasions, Vol. 2, Issue 4, ss. 313-340.

European Commission (2013) Eurostat. [http://epp.eurostat.ec.europa.eu/statistics\\_explained/index.php?title=File:Top\\_20\\_cargo\\_ports\\_in\\_2011\\_-\\_on\\_the\\_basis\\_of\\_gross\\_weight\\_of\\_goods\\_handled\\_\(in\\_million\\_tonnes\).png](http://epp.eurostat.ec.europa.eu/statistics_explained/index.php?title=File:Top_20_cargo_ports_in_2011_-_on_the_basis_of_gross_weight_of_goods_handled_(in_million_tonnes).png) &filetimestamp=20130319143906 (28 nov. 2013)

Ports.com (2013). <http://Ports.com> (28 nov. 2013).

SMHI (2013) Vattenweb. <http://vattenweb.smhi.se/modelarea/basindownload/3854> (22 sep. 2013).

SMHI (2013) Vattenweb. <http://vattenweb.smhi.se/modelarea/basindownload/3400> (22 sep. 2013).

SMHI (2013) Vattenweb. <http://vattenweb.smhi.se/modelarea/basindownload/3073> (22 sep. 2013).

SMHI (2013) Vattenweb. <http://vattenweb.smhi.se/modelarea/basindownload/574050-114780?startYear=1999&endYear=2011> (22 sep. 2013).

SMHI (2013) Vattenweb. <http://vattenweb.smhi.se/modelarea/basindownload/574000-114230?startYear=1999&endYear=2011> (22 sep. 2013).



Bohuskustens vattenvårdsförening, BVVF (2010) [http://www.bvvf.se/files/bvvf\\_713-731.xls](http://www.bvvf.se/files/bvvf_713-731.xls) (27 aug. 2013)

Bohuskustens vattenvårdsförening, BVVF (2011) [http://www.bvvf.se/files/bvvf\\_348-367.xls](http://www.bvvf.se/files/bvvf_348-367.xls) (27 aug. 2013)

SMHI (2013) öppna data, Trubaduren boj. <http://opendata-download-ocobs.smhi.se/explore/> (4 nov. 2013)

Sjöfartsverket Vind och Vatteninformation, ViVa (2013). [Sammanfattad mätdata för ström, temperatur, salthalt och densitet för år 2012. Beställd och levererad] Data från: Sjöfartsverket, <http://vivakarta.sjofartsverket.se/> (9 okt. 2013)

Sjöfartsverkets vivakarta [elektronisk bild] <http://vivakarta.sjofartsverket.se/> [åtkomst 2013-10-30].

SMHI faktablad nr 52-2011, figur 3 [elektronisk bild]

SMHI faktablad nr 52-2011, figur 8 [elektronisk bild]