

Saltvattenuppträngning i Göta älv

– Inverkan av förhöjd havsvattennivå på råvattenintaget
vid Alelyckan

*Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet
Byggingenjör*

PETER LIDÉN
SARGON SAGLAMOGLU

Institutionen för bygg- och miljöteknik
Avdelningen för vatten miljö teknik
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg 2010
Examensarbete 2010:74

EXAMENSARBETE 2010:74
Saltvattenuppträngning i Göta älv

– Inverkan av förhöjd havsvattennivå på råvattenintaget vid Alelyckan

*Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet
Byggingenjör*

PETER LIDÉN

SARGON SAGLAMOGLU

Institutionen för bygg- och miljöteknik
Avdelningen för vatten miljö teknik
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, 2010

Saltvattenuppträängning i Göta älv

– Inverkan av förhöjd havsvattennivå på råvattenintaget vid Alelyckan

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet

Byggingenjör

PETER LIDÉN

SARGON SAGLAMOGLU

© PETER LIDÉN, 2010

© SARGON SAGLAMOGLU, 2010

Examensarbete/Institutionen för bygg- och miljöteknik,
Chalmers tekniska högskola 2010:7

Institutionen för bygg och miljöteknik

Avdelningen för vatten miljö teknik

Chalmers tekniska högskola

412 96 Göteborg

Telefon: 031-772 10 00

Omslag:

Saltvatten möter sötvatten och bildar en saltvattenkil under sötvattnet.

Institutionen för bygg- och miljöteknik
Göteborg 2010

Saltvattenuppträngning i Göta älv
– Inverkan av förhöjd havsvattennivå på råvattenintaget vid Alelyckan

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet

Byggingenjör

PETER LIDÉN

SARGON SAGLAMOGLU

Institutionen för bygg- och miljöteknik

Avdelningen för vatten miljö teknik

Chalmers tekniska högskola

SAMMANDRAG

Göteborgs vattenintag i Lärjeholm stängs av flera gånger per år pga. saltvattenuppträngning från havet upp i Göta älv. Problemet uppstår vid lågt flöde och högt havsvattenstånd och eftersom havsvattennivån antas ökas under de närmsta 100 åren kan saltvattenuppträngningarna bli mer frekventa. Rapporten ger information gällande om vattenintaget är hotat av en förhöjd havsvattennivå och förslag på åtgärder. Genom statistik om saltavstängningar, havsvattennivåer och vattenflöden i Göta älv dras samband som visar på orsakerna kring problemet. Beräkningar av täthetsberoende utbytesströmning resulterar i flöden som krävs för att hindra saltvattenkilen att tränga upp. En havsvattenståndsökning med 10 cm innebär att flödet i Göteborgsgrenen behöver ökas med ca 2,5 % och 20 cm ökning behöver ett ökat flöde på 5 % vilket betyder att 1 meters havsnivåhöjning kräver ett ökat flöde med 25 %. Om havsnivån höjs 1 meter enligt IPPC:s prognoser kommer vattenintaget vara mer sårbart i framtiden. För att i framtiden lösa problemet med saltvattenuppträngning så vore en ny rördragning att föredra. Ett nytt råvattenintag för Göteborg norr om Göta Älvs förgrening skulle förhindra saltvattenuppträngningen eftersom älvens totalflöde är stort nog att trycka tillbaka saltvattenkilen.

Nyckelord: Saltvattenuppträngning, klimatförändringar, havsvattenstånd, saltvattenkil, salthalt, vattenflöde, Göta älv

Salt water intrusion in Göta älv River

The impact of an increased sea water level on the water intake at Alelyckan.
Building and Civil Engineering

PETER LIDÉN

SARGON SAGLAMOGLU

Department of Civil and Environmental Engineering

Division of water environment technology

Chalmers University of Technology

ABSTRACT

Several times a year Göteborg water intake in Lärjeholm has to close due to salt water intrusion from the sea up in the Göta älv River. The problem occurs at low flow and high sea level. Because of expected increased sea level over the next 100 years, salt water intrusion would become more frequent. The report provides information on whether current water supply is threatened by a higher sea level and proposals for action. The statistics on shut offs of the water intake due to salt water intrusion, sea water levels and water flows in the Göta älv River shows connections that indicates the issue. Calculations of density dependent exchange flow result in flows that are needed to prevent the salt water wedge to force its way up. A sea level rise of 10 cm means that the flow in the Gothenburg branch needs to be increased by about 2.5%, and 20 cm increased need an increased flow of 5% which means that a one-meter rise in sea level requires an increased flow by 25%. If the sea level rises 1 meter according to IPCC's projections the water intake will be more vulnerable in the future. To solve the salt water intrusion problem in the future a new placement of the water intake would be preferable. A new water intake for Göteborg north of the branching of Göta älv River would prevent salt water intrusion because the river's total flow is large enough to push back the saltwater wedge.

Innehåll

| | |
|---|-----|
| SAMMANDRAG | I |
| ABSTRACT | II |
| INNEHÅLL | III |
| | |
| 1 INLEDNING | 1 |
| 1.1 Syfte | 1 |
| 1.2 Metod | 1 |
| 1.3 Avgränsning | 1 |
| | |
| 2 KLIMATFÖRÄNDRINGAR | 2 |
| 2.1 Sveriges påverkan av klimatförändringar | 2 |
| 2.2 Variationer i havsvattenstånd | 3 |
| 2.3 Framtida nederbörd | 5 |
| | |
| 3 GÖTA ÄLV OCH DESS ESTUARIUM | 6 |
| 3.1 Geografisk placering | 6 |
| 3.2 Ormoskärmen | 6 |
| 3.3 Nuvarande vattenförsörjning | 7 |
| 3.4 Avstängning av råvattenintag | 8 |
| 3.5 Avsaltning | 8 |
| | |
| 4 FLÖDEN I GÖTA ÄLV | 9 |
| 4.1 Reglering Vänern | 10 |
| 4.2 Helårsflöde Göteborgsgrenen | 10 |
| | |
| 5 BESKRIVNING AV SALTVATTENUPPTRÄNGNING | 11 |
| 5.1 Saltvatten möter sötvatten | 11 |
| 5.2 Saltvattenkilens beräkningsmetod | 12 |
| 5.3 Beräkningar saltvattenuppträngning | 14 |
| 5.3.1 Flödesberäkningar vid normalvattenstånd | 15 |
| 5.3.2 Flöde beroende på havsvattennivå | 18 |
| 5.4 Förhållanden mellan saltavstängningar, havsvattennivå och flöde | 21 |
| | |
| 6 ALTERNATIVA LÖSNINGAR TILL PROBLEMET | 24 |
| 6.1 Nytt råvattenintag | 24 |
| 6.2 Ökat flöde i Göta älv | 25 |
| 6.3 Luftbubbelridå | 26 |

| | | |
|-----|--|----|
| 7 | RESULTAT | 27 |
| 7.1 | Sammanfattning av beräkningar | 27 |
| 7.2 | Alternativa lösningar och jämförda diagram | 28 |
| 8 | DISKUSSION | 29 |
| 9 | SLUTSATS OCH REKOMMENDATIONER | 31 |
| 10 | LITTERATURFÖRTECKNING | 32 |

1 Inledning

Med tanke på ett förändrat klimat kommer troligtvis saltvattenuppträngning bli ett större problem för dricksvattenintaget i Göta älv. Förhöjd havsvattennivå kan innebära att saltvattenuppträngningen når längre norrut i älven och följden av detta blir att råvattenintaget stängs pga. för hög salthalt. Vattenflödet i Göta älv kommer också ha en betydande påverkan på hur saltvattenuppträngningen positionerar sig i älven. När råvattenintaget stängs pga. saltvattenuppträngning så är det frågan om en smaksak, vattnet får en obehaglig saltsmak som inte går att distribuera ut på nätet. Om det i framtiden blir ett konstant problem kommer det att behövas nya alternativa lösningar till problemet för att skydda intaget vid Lärjeholmen.

1.1 Syfte

Vatten är en oumbärlig råvara och 500000 personer är beroende av råvattenintaget i Göta älv. Vilka mekanismer styr saltvattenuppträngningen och vad innebär den för Göteborg? Rapporten ska ge information gällande om vattenintaget är hotat av en förhöjd havsvattennivå och förslag på åtgärder om det nu blir fallet. Arbetet kommer vara resultatintriktat.

1.2 Metod

Den information som behövs för rapporten fås genom vår handledare och via litteraturstudier. Vi använder även tidigare kursböcker för beräkningsgång. För att få en verklighetsanknytning så har vi kontakt med Göteborg vatten. Vid behov tas kontakt med relevanta företag som SMHI och Vattenfall där statistik som havsvattennivåer och vattenflöden kan fås.

Statistik från saltvattenavstängningar och beräkningsmetoder för täthetsberoende utbytesströmning kommer att sättas i relation till varandra för att kunna dra slutsatser om vilka salthalter som ger upphov till vilka utbytesströmmar. De slutsatserna kommer sedan att kopplas ihop med förändringen av havsvattennivån för att försöka finna vilket flöde som krävs i Göta älv för att reducera saltvattenkilens inverkan på råvattenintaget.

1.3 Avgränsning

- Saltvattenpåverkan som kan ske genom saltuppträngning i Nordre älv och som sedan tar sig ner till råvattenintaget bakvägen kommer denna rapport inte att beröra.
- Saltvattenuppträngningens påverkan på annat än dricksvattenintaget kommer inte tas upp.
- Beräkningar görs för hand och inte med programvara.
- Förslagen som ges som lösningar till saltvattenproblemet bearbetas inte tillräckligt för att de skall kunna tillämpas som absoluta lösningar. De ska mer fungera som inspiration till ett sätt att lösa problemet.

2 Klimatförändringar

IPCC har gjort flertalet beräkningsmodeller som visar på att medeltemperaturen till följd av klimatförändringarna kommer att stiga med mellan 1-5 grader under 2000-talet. Växthuseffekten beräknas medföra att temperaturen stiger och till följd av detta kommer glaciärer att smälta och medföra en högre havsvattennivå, temperaturen gör även att vattnet ökar i volym. Om temperaturen stiger med 3,5 grader i medel kommer detta ha till följd att havsvattennivån stiger med 1 meter. Detta kommer påverka många landområden och kuststäder. Översvämningar kommer bli ett stort problem för många av världens större städer som New York och London. Den hydrologiska cykeln kommer att påverkas pga. att temperaturen ökar och med det kommer mer vatten att dunsta från världens hav och sjöar vilket sedan kommer leda till en ökad nederbörd. Klimatförändringarna kommer inte se likadana ut världen över, vissa länder får mer nederbörd medan andra drabbas hårdare av torka (IPCC, 2008).

Havsvattenståndsförändringar och nederbördsförändringarna är baserade på modellresultat utifrån förändrade utsläpp av fossila bränslen och globalisering. Det finns stora osäkerheter i dessa modeller och bara framtiden kan utvisa vad som kommer att hända men resultaten ger en indikation om vad som skulle kunna hända ifall våra levnadsmönster inte bryts.

Diagram 1 nedan visar på en havsvattenståndsökning under de senaste 100 åren. Under de kommande århundradena förväntas nivån stiga ännu hastigare enligt IPCC.

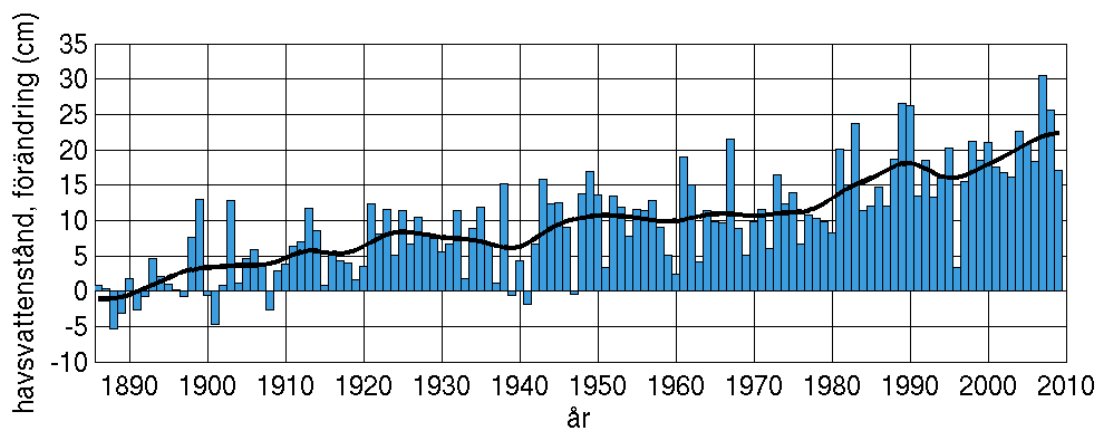


Diagram 1 *Havsvattenståndsförändring med korrektion för landhöjning mellan 1890 till 2010 utmed Götalands kust . (SMHI, 2010)*

2.1 Sveriges påverkan av klimatförändringar

Temperaturen kommer att stiga mer än i övriga världen pga. att temperaturerna väntas öka mer närmre polerna med en medeltemperaturökning på 3-5 grader. Havsvattennivån beräknas stiga med 0,6-1 meter utmed Sveriges kust. Det är framförallt smält is från Grönland och Antarktis som förutses smälta och medföra dessa nivåer.

Nederbördens naturliga mönster kommer att förändras och Sverige beräknas få kraftigare nederbörd under vår, höst och vinter i västra Sverige och västra Götaland. Västra Svealand kommer få en större avrinningsmängd som via Klarälven, Vänern

och Göta älv leds ut i havet. Översvämningsrisken kommer att öka pga att 100-års regn kommer öka och det kommer framförallt att drabba västra Sverige. (IPCC, 2008)

2.2 Variationer i havsvattenstånd

Havsvattenståndet beror av många fenomen och det som påverkar nivån under kortare perioder är tidvatten, lufttryck och vindar. I vissa delar av landet sjunker havsvattenståndet pga. att landhöjningen är större än vattenstandsökningen. Detta fenomen har observerats under en lång tid i Sverige och mätdata för vattenstånd i Stockholm började mätas redan år 1774. I grafen nedan går det se vattenstandsvariationer i förhållande till landhöjningen.

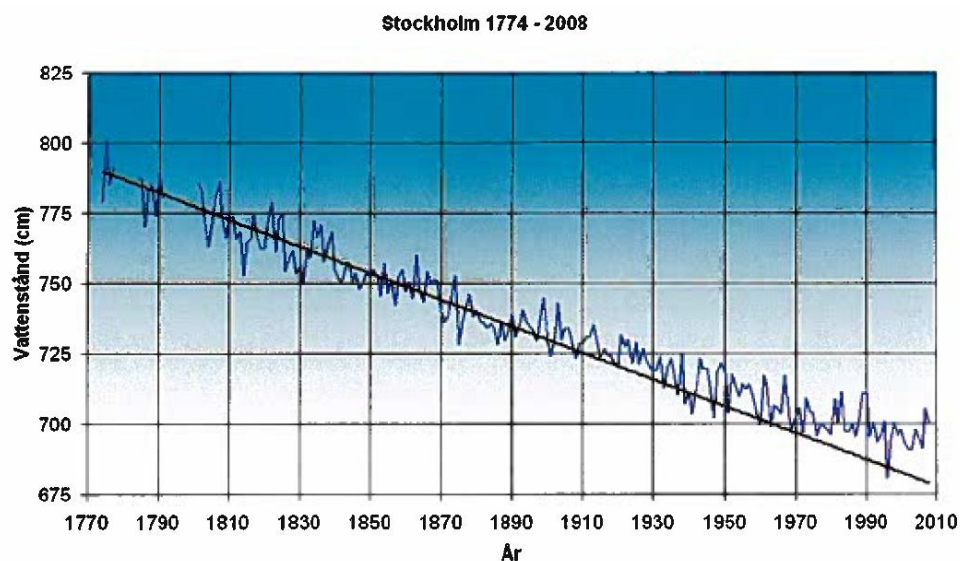


Diagram 2 *Avvikelser från den räta linjen visar på havsvattenhöjningen. Under det senaste århundradet går det se att havsnivån stiger mer än landhöjningen som representeras av den räta linjen.*
(Hammarklint & Lindkvist, 2009)

Landhöjningen är dock betydligt större på Sveriges norra östkust än på västkusten därför kommer havsvattenhöjningen bli tydligare vid t.ex. Göteborg. I Göteborg vid Torshamnen är landhöjningen 3 mm/år jämfört med 10,0 mm/år i Furuögrund som ligger ca 2 mil norr om Skellefteå.

Anledningen till att vattenståndet mäts är för att veta var man ska placera bebyggelse utan att vattnet ska skapa komplikationer. Även båttrafiken är beroende av vattenståndet, speciellt grunda vatten. Havsvattenstånd brukar mätas med en mareograf.

Det som i dagsläget påverkar råvattenintaget med hänsyn till havsvatten är de normala variationerna som tidvatten, lufttryck, vind och salthalt.

Fenomenet tidvatten beror av många orsaker som månen och solens gravitationskraft, förändringar i avstånd mellan himlakroppar, jordaxelns lutning och Jordens rotation. Världshaven påverkas olika mycket av dessa krafter, de stora haven påverkas mer pga. deras stora volym och topografiska förutsättningar. Tidvattnet märks inte lika tydligt i de svenska haven eftersom de är grundare och friktionen motverkar

tidvattenvågen som kommer via Nordsjön in till Skagerrak och Kattegat. (SMHI, 2010)

Medellufttrycket ligger runt 1013 hPa och vid förändrat lufttryck varierar havsvattennivån med 1 cm per hektopascal, vid lågtryck ökar vattennivån och vid högt lufttryck sjunker nivån. Normala variationer ligger mellan 950 hPa till 1050 hPa vilket innebär nivåskillnader mellan + 63 cm och – 37 cm.

Vind kan också höja eller sänka vattenståndet pga. att vatten pressas mot land eller ifrån land. I Göteborg förekommer ofta sydvästliga vindar som höjer havsvattenståndet utmed kusten. Vindstuvning sker när t.ex. västliga vindar pressar upp vatten mot västkusten så att en snedbildning av vattenytan sker.

Ett fenomen som gör att havsvattennivån ökar och håller sig stabil under en längre period kallas vindfyllning och uppstår pga. kraftiga ihållande lågtryck och vindar. Detta medför att mycket vatten pressas in från exempelvis Nordsjön till västerhavet vid västliga vindar. (Hammarklint & Lindkvist, 2009)

I Diagram 3 nedan ses naturliga havsvattenståndsvariationer i Göteborg vid Torshamnen. 2007 var Göteborgs lokala utgångsfix i höjdsystemet 997cm, vilket innebär att 0-nivån i diagrammet nedan representerar utgångsfixen. Andra halvåret var saltvattenavstängningarna som mest frekventa i september och oktober.

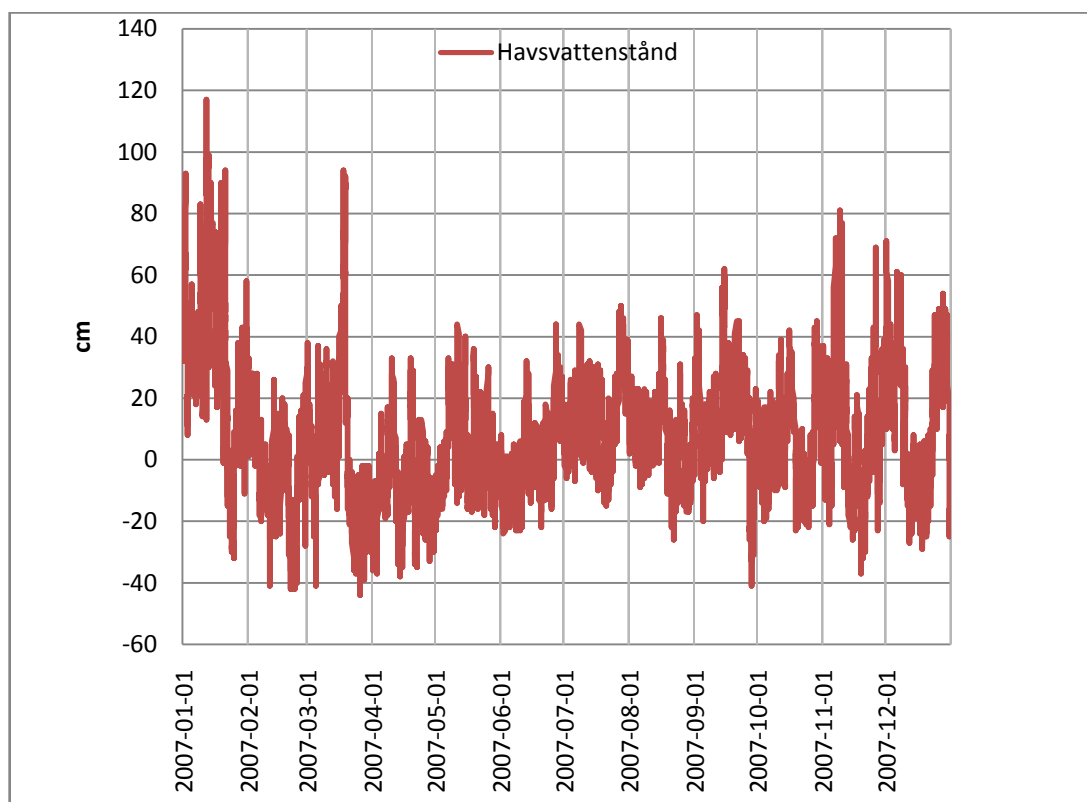


Diagram 3 Havsvattenståndvariationer 2007

2.3 Framtida nederbörd

Enligt SMHI:s framtidsprognos för vädret så kommer nederbörden att öka i västra Sverige under vår, höst och vinter. Med deras klimatmodelleringsprogram kan de ta fram beräkningar för hur vädret skulle kunna se ut i framtiden. Mer intensivt regnande och fler dagar med nederbörd skulle öka årsnederbörden med cirka 5-25 %. Södra delen av landet kan få underskott på vatten genom att en högre medeltemperatur ökar avdunstningen.

Under sommaren kommer vattenföringen vara som lägst i Göta älv men under höst, vinter och vår ökar nederbörden vilket gör att behovet av större tappningar från älven kommer att öka. Dagens reglering säger att max 1030 m³/s får tappas men undersökningar görs för att höja den siffran till 1400 m³/s. Problemet med att tappa mer vatten är att skredrisken ökar i ett område med redan betydande skredrisk. För stora variationer i vattenföringen ökar erosionsrisken och ska vattenföringen ökas så måste en rad stabiliseringsåtgärder göras (Sveriges Geotekniska Institut, 2006).

Hur mycket havsnivån ökar är svårt att avgöra för att det är så många parametrar som styr. Två av parametrarna är i vilken takt inlandsisarna smälter och om inbromsningen av utsläpp av växthusgaser kommer att begränsa temperaturökningen. Nu har regeringens rådgivande kommission för hållbar utveckling kommit fram till att nivåökningen kan bli högre, över en meter enligt deras rapport ”Ny klimatvetenskap 2006-2009”(Länsstyrelsen, anpassning till ett förändrat klimat). Havsnivån, flödet i älven och avståndet till havet har stor betydelse för vattennivån i Alelyckan. Den sträcka av älven som är närmast havet är mer påverkat av havsvattenståndet än sträckorna längre upp mot Väneren. När havsvattenståndet är för högt måste tappningen från älven minskas då möjligheten att leda ut vattnet mot havet minskar.

Ökningen av medelvattenföringen kommer inte bli särskilt hög utan det är extremsituationerna med tappningar över 1000 m³/s som kommer att öka vilket gör att saltvattenuppträngningsproblemet kvarstår. Speciellt svår verkar situationen på sommaren där SMHI förutspår ett lägre flöde (Sveriges Geotekniska Institut, 2006).

3 Göta älv och dess estuarium

Göta älv sträcker sig från Vänern ner till Göteborg. I över hundra år har älven använts som vattentäkt för städer och orter som ligger utmed vattendraget. Vattnet börjar sin resa långt uppe i fjällbäckarna i Härjedalen och ansluter sig sedan till Klarälven innan det rinner ut i Vänern. Göta älv är Sveriges största vattendrag och innefattar en tiondel av all avrinningyta i Sverige tillsammans med Vänern (Göta älvs vattenvårdsförbund, 2005)

3.1 Geografisk placering

Älven är en 93 kilometer lång älv som börjar i Vänern och som mynnar ut vid Göteborg. Älven delar sig i höjd med Kungälv där den grenar ut sig och benämns i denna rapport som Göteborgsgrenen och Nordre älv. Norr om Göteborg mynnar Nordre älv ut och Göteborgsgrenen rinner ut genom Göteborg stad. Nivåskillnaden mellan havet vid Torshammen i Göteborg och Vänern är ca 44 meter. Sedan tidigt 1900-tal har det funnits vattenkraftstationer på flera platser utmed Göta älv, Vargöns kraftverk, Hojum och Olidans kraftverk i Trollhättan och Lilla Edets kraftverk. Fallhöjden i Lilla Edets kraftverk som är den station som ligger närmast Göteborg är ca 6 meter. Flödet i älven bestämmer rinntiden och eftersom flödet kan variera ganska kraftigt så varierar även rinntiden mellan 1,5 och 5 dagar. Göta älvs läge och utformning har gjort den väldigt lämplig för transporter från havet till flera städer runt Vänern. Varje år passerar ca 2500 fartyg älven och på somrarna tusentals fritidsbåtar. Älven har utformats och förbättrats för att gynna fartygstrafiken. En mittfåra med lägsta djup på 6,3 meter finns utmed hela älven. En saltskärm har funnits vid den gamla Hisingsbron för att förhindra saltvattenuppträngning i älven. Skärmen var placerad på botten och sträckte sig några meter upp. Denna skärm togs sedan bort eftersom den hindrade djupgående fartyg från att passera och istället byggdes Ormoskärmen i Nordre älv som nämns i kapitel 3.2. (Göta älvs vattenvårdsförbund, 2005)



Figur 1 Karta över Göta älv. (Göteborg stad, 2010)

3.2 Ormoskärmen

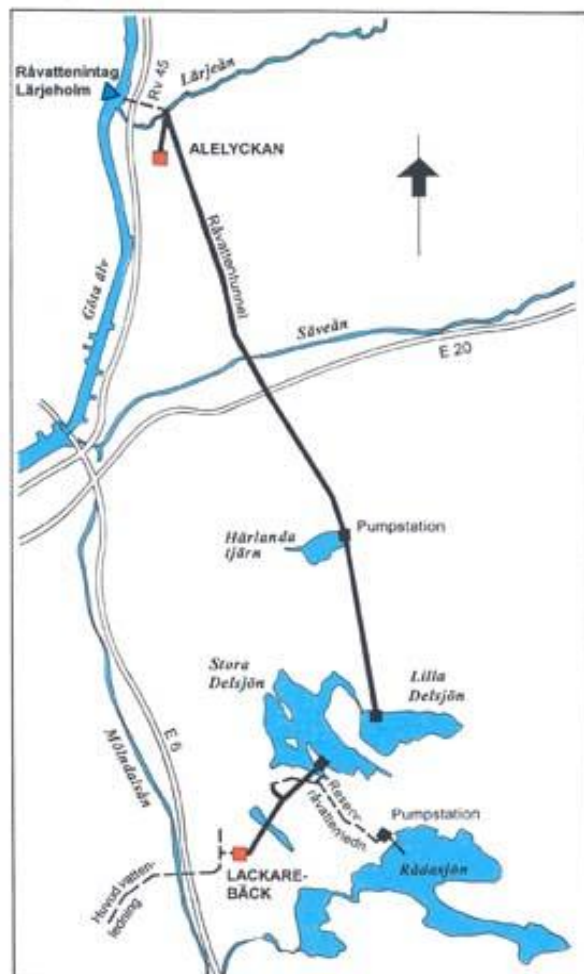
Flödet i Göta älv varierar över årstiderna och skärmanläggningen i Ormo bestämmer hur flödet ser ut. När flödet i Göta älv är under $300 \text{ m}^3/\text{s}$ så börjar skärmarna fällas upp för att öka flödet i Göteborgsgrenen. När flödet är $150 \text{ m}^3/\text{s}$ är skärmarna helt uppe. Normalt går 75 procent av vattnet i Göta älv ut via Nordre älv och det omvända när skärmarna är uppe.

Anledningen till att flödet behöver regleras vid Ormo är för att förhindra saltvatten att komma in i Göta älv via Nordre älv och strömma ner mot råvattenintaget vid Lärjeholmen. Därför kallas även skärmanläggningen för ”saltskärmen”. Den är i huvudsak till för att upprätthålla ett jämnt flöde i Göteborgsgrenen och även pressa tillbaka saltvattenkilen. Skärmanläggningen består av höj och sänkbara skärmar i mitten och två passager för båttrafik. (sundborg & Norrman, 1963)

3.3 Nuvarande vattenförsörjning

Göteborgs Dricksvatten tas i första hand från Göta älv. Vid Intaget Lärjeholm tas konstant $2 \text{ m}^3/\text{s}$ råvatten från Göta älv. Detta motsvarar drygt 1 procent av årsmedelflödet i Göteborgsgrenen och mindre än en halv procent av det totala flödet på ca $550 \text{ m}^3/\text{s}$.

Ungefär hälften av det uttagna vattnet leds direkt till Alelyckans vattenverk som nästan ligger i anslutning till intaget vid Lärjeholm. Resten av vattnet sugs genom en råvattentunnel till en pumpstation vid Härlanda tjärn och pumpas sedan upp till Delsjöarna. Delsjöarna fungerar som ett magasin som kan förse Lackarebäcks vattenverk med råvatten i upp till tre veckor om Lärjeholmsintaget är stängt. Om råvattenintaget skulle vara stängt mer än tre veckor kan Rådasjön utnyttjas som råvattentäkt. Från Rådasjön kan vattnet ledas antingen till Delsjöarna eller direkt in på den tunnel som går från stora Delsjön till Lackarebäck. Systemet är uppbyggt så att vatten även kan släppas tillbaka från Delsjöarna till Alelyckan för att säkra vattenproduktionen på Alelyckans vattenverk. I värsta fall används Lärjeån som nödvattentäkt men vattentillgången där är begränsad.



Figur2 Råvattentunnlar. (Göteborg stad, 2010)

Det vatten som renas i Lackarebäck rinner med självfall genom byggnaden och när vattnet är färdigrenat ska det distribueras ut i Göteborg. Vattenverket har tre dricksvattenpumpar varav två stycken är i drift samtidigt, en ledning går mot Västra Frölunda och en annan mot st. Sigfridsplan. (Göteborg stad, 2010)

3.4 Avstängning av råvattenintag

Under 2007 var råvattenintaget stängt under 2719 timmar fördelat 77 sessioner. Ca 80 procent av avstängningarna berodde på mikrobiologisk aktivitet och 468 timmar pga. saltvattenuppsträngning under hösten då flödet i älven var lågt (Göteborg Stad, 2007).

Det finns givare utplacerade som mäter konduktiviteten i vattnet eftersom saltets natrium- och kloridjoner leder ström. Det finns tre givare nedströms i Göta älv som mäter konduktiviteten på de olika djupen 3,5, 2,5 och 1.5 meter under vattenytan för att kunna ge en förvarning om saltvattenuppsträngningen. När givaren på 1,5 meters djup signalerar om konduktivitet på över 40 mS/m (millisiemens per meter) så stängs råvattenintaget. Konduktiviteten ligger normalt runt 10 mS/m i älven. (Göta älvs vattenvårdsförbund, 2005)

Tabell 1 Intagsavstängningar pga. salt juli - dec 2007 (Göteborg vatten, 2010)

| STÄNGDES | | ÖPPNADES | |
|----------|-------|----------|-------|
| dag | tid | dag | tid |
| 24 sep | 8:00 | 26 sep | 1:00 |
| 29 sep | 5:00 | 1 okt | 17:00 |
| 5 okt | 12:00 | 7 okt | 11:00 |
| 9 okt | 12:00 | 9 okt | 21:00 |
| 9 okt | 22:00 | 10 okt | 15:00 |
| 14 okt | 8:00 | 16 okt | 18:00 |
| 19 okt | 3:00 | 19 okt | 12:00 |
| 19 okt | 16:00 | 20 okt | 4:00 |
| 21 okt | 18:00 | 22 okt | 17:00 |
| 28 okt | 12:00 | 28 okt | 16:00 |
| 29 okt | 24:00 | 29 okt | 15:00 |
| 30 okt | 22:00 | 31 okt | 22:00 |
| 7 nov | 4:00 | 7 nov | 13:00 |
| 8 nov | 20:00 | 9 nov | 5:00 |
| 9 nov | 20:00 | 10 nov | 22:00 |
| 11 nov | 22:00 | 14 nov | 10:00 |
| 14 nov | 13:00 | 16 nov | 8:00 |
| 16 nov | 12:00 | 18 nov | 8:00 |
| 28 nov | 11:00 | 28 nov | 16:00 |

3.5 Avsaltning

Det är teoretiskt möjligt att avsalta råvattnet i Göta älv men det skulle vara väldigt kostsamt. Avsaltning av havsvatten förekommer på flera platser i världen, främst på platser som inte har tillgång till bra ytvatten eller grundvatten. På många ställen är avsaltning enda alternativet. Det finns tre varianter av avsaltning som förekommer, elektrodialys, omvänd osmos och destillation. Elektrodialysen funktion är att det läggs en spänning över vattnet och så får vattnet passera genom semipermeabla membran vilket leder till att jonerna i vattnet dras till olika fack och på så sätt avskiljs saltet ur vattnet. Omvänd osmos är också en process där vattnet leds genom membran men genom ett yttre tryck som får vattenmolekylerna att vandra genom membranet och jonerna att stanna kvar. Destillationsprocessen fungerar på ett sådant sätt att vattnet kokas och kondensen tas till vara eftersom den är saltfri. Problemen med avsaltning är att det är väldigt kostsamt ur både energi och ekonomisk synpunkt. Ett annat problem är att vattnet faktiskt blir för rent vilket leder till att vissa salter och mineraler som kroppen behöver även försvinner ur vattnet under dessa processer. (Lyngfelt, 2004)

4 Flöden i Göta älv

Vattenfalls vattenkraftsanläggningar reglerar hur stort det momentana flödet är beroende på hur mycket vatten de släpper igenom. Ett större flöde i Göta älv ger mindre risk för saltvattenuppträngning och maxflödet i älven är $1030 \text{ m}^3/\text{s}$. Ofta ligger flödet kring medelflödet $550 \text{ m}^3/\text{s}$. (sundborg & Norrman, 1963)

Det största tillrinningsområdet till älven finns uppströms Trollhättans kraftverk vilket gör att den största delen av nederbörden hamnar i Vänern som är reglerad. Det tar lång tid för tillrinningsvattnet i Värmland att ansluta till Göta älv och det är bara området nedströms Trollhättan som påverkas direkt vid extrem nederbörd. Den delen av älven nedströms Trollhättan har ett tillrinningområde på 1426 km^2 vilket motsvarar ca 3 % av det totala tillrinningsområdet som är ca 50000 km^2 (Vattenmyndigheten, 2009)



Figur 3 Avrinningsområdet som påverkar Göta älv. (Göta älvs vattenvårdsförbund, 2005)

I Diagram 4 nedan går det att se hur årsmedelflödet varierar mellan åren 1992-2004 samt hur flödet fördelas mellan Nordre älv och Göteborgsgrenen. Lilla Edet representerar totalflödet i älven innan flödet styrs med hjälp av Ormoskärmen för att få önskad mängd vatten i Göteborgsgrenen.

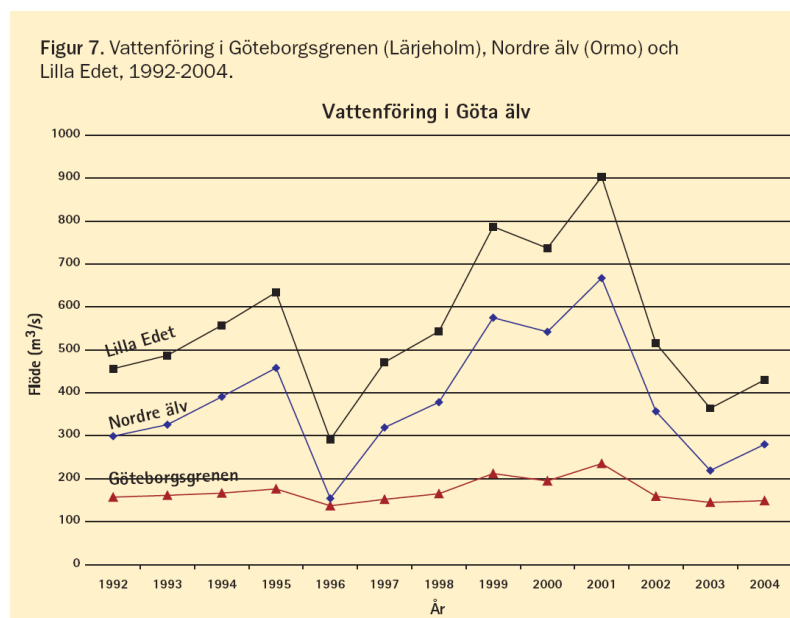


Diagram 4 Vattenflöden i Göta älv. (Göta älvs vattenvårdsförbund, 2005)

4.1 Reglering Vänern

Regleringen av vattenflödet i Göta älv styrs av bestämmelser om lägsta och högsta vattenstånd i Vänern. Vid det lägsta vattenståndet 44,55 m ö h får en tappning över 900 m/s inte överskridas och vid det högsta vattenståndet 44,85 m ö h eller högre skall 1030 m/s inte överskridas. Vattenfall AB är ägare till de vattenkraftverk som ligger utmed älven och det är de som har ansvar för att flödet hålls inom dessa gränser. Dessa bestämmelser står i vattendomen som fick laga kraft 1938 och som gäller än i dag. Flödet i Göteborgsgrenen ska försöka hållas konstant runt 150 m³/s för att säkerställa god dricksvattenkvalitet och för att älven ska fungera som farled för båttrafik. Ifall flödet inte går att upprätthållas i Göteborgsgrenen med hjälp av styrning från Ormoskärmen så är Vattenfall skyldiga att vid låga flöden i älven släppa på mer vatten för att förhindra saltvattenuppträngning. (Göta älvs vattenvårdsförbund, 2005)

Regleringen av Vänern innebär att ett större flöde kan fås i älven än vid naturliga förhållanden. Detta innebär att bebyggelse nära Väners strand får en viss sänkning av högvattenstånden och att varaktigheten på högvattenstånden kan göras mindre (Ekwall, 1938).

4.2 Helårsflöde Göteborgsgrenen

Nedan ses flöden i Göteborgsgrenen år 2007. Flödet var högst under vinter/vår för att sedan sjunka mot sommaren och hösten. Eftersom Vattenfall försöker hålla flödet konstant i Göteborgsgrenen varierar det mellan 150-250 m³/s under året beroende på vattennivån i Vänern. Göteborgsgrenens flöde är också styrt av regleringen vid Ormoskärmen som ska upprätthålla ett minimiflöde för att förhindra saltvattenuppträngning.

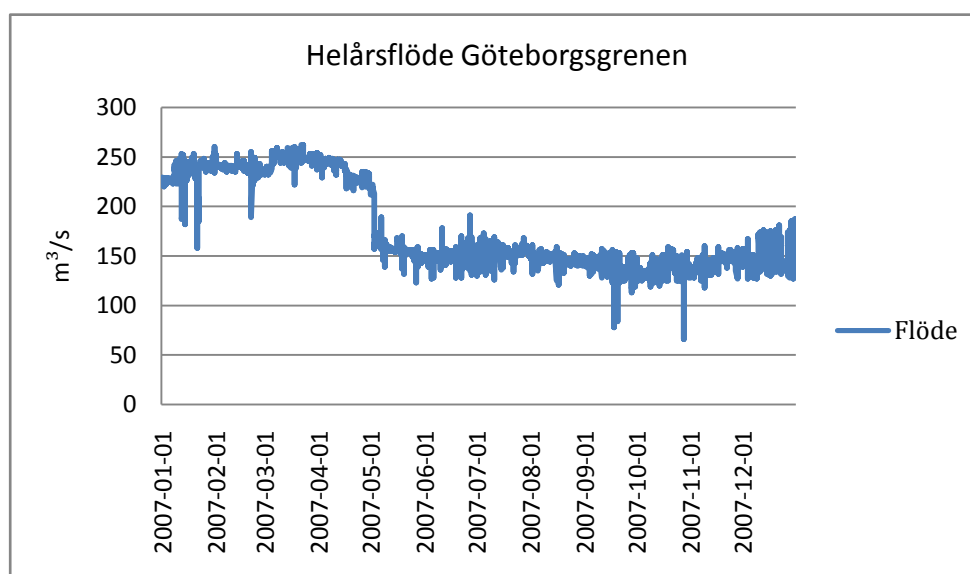


Diagram 5 Helårsflöde Göteborgsgrenen 2007.

5 Beskrivning av saltvattenuppträngning

Enligt FN:s klimatforskare finns det möjlighet att havsytan kommer höjas runt en meter till år 2100 och det kommer påverka saltvatteninträngningen. Problemet med salt i dricksvattnet är först och främst en smakfråga men det kan även vara farligt vid för hög koncentration, speciellt för spädbarn.

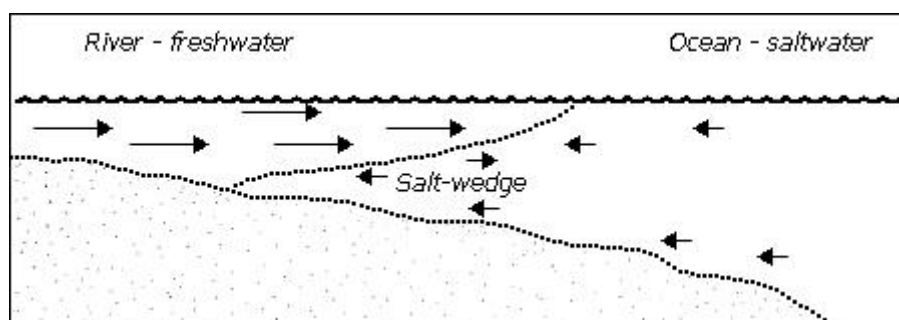
Utbytesflödet bestäms till stor del av storlek på vattendjupen och i det resonemanget framgår det att utbytesflödet kommer att förändras med ändrat värde på höjden. I räkneexempel på saltvatteninträngningen kommer havsvattenstånd att sättas i relation till olika flöden i älven för att klarlägga hur råvattenintaget är hotat.

5.1 Saltvatten möter sötvatten

Saltvattenkilens rörelse fram och tillbaka i Göta älv beror på olika saker som vattenståndet i havet, flödet i älven och från vilket håll vindarna blåser. Även saltvattenkoncentration och temperatur i vattnet spelar roll. Saltvattnet som tränger in från havet kan nå Lärjeholmen från två håll, vid mynningen av Nordre älv samt mynningen av Göta älv. Den väg som saltvattnet har lättast att ta sig fram är genom Göta älv då det inte finns någon saltskärm i älven.

När saltvatten tränger in i en flod via dess mynning och möter sötvatten så utbildas ett täthetsinhomogent flöde, en tvålagerströmning. Sötvattnet har lägre densitet och lägger sig ovanpå det tyngre saltvattnet. Var för sig så är flödena homogena med små variationer (Sjöberg, 1967). Ett täthetsinhomogent flöde skapas utifrån tre parametrar. Dessa parametrar tar upp skillnader i vattnet som temperatur, koncentration av upplösta ämnen som salt och suspenderade fasta partiklar. Temperaturen brukar försummas då den inte har så stor inverkan, salthalten har däremot större betydelse för språngskiktet mellan flödena (Engelund & Christensen, 1969).

I vattnet bildas ett språngskikt mellan det söta och salta vattnet, dvs. en saltvattenkil med det söta vattnet ovanpå, se Figur 4 nedan.



Figur 4 Illustration av saltvattenkil (salt wedge). (Fisheries and oceans Canada, 2010)

En ytström av sötvatten rör sig med ca 10 % högre hastighet än bottenströmmen pga. bottenfriktion mellan saltvattnet och botten.

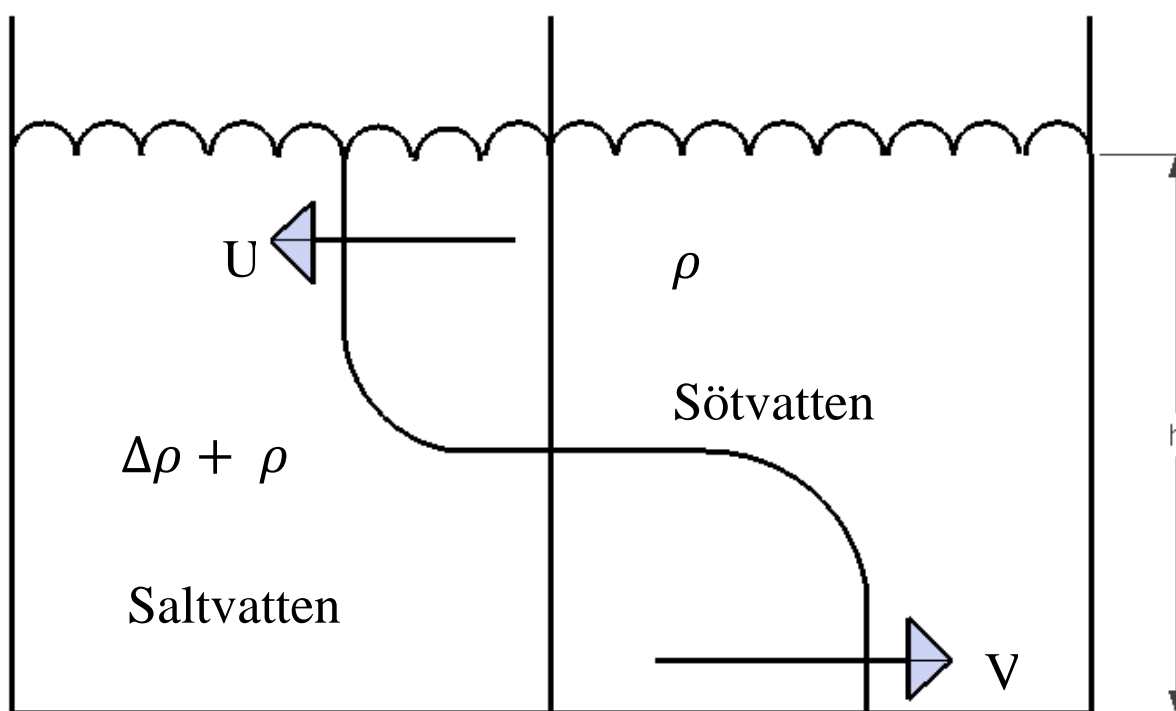
En temperaturberoende tvålagerströmning kan liknas med en badvik där ytvattnet värms upp och skapar ett täthetsinhomogent flöde mellan det uppvärmda ytvattnet och det kalla vattnet vid botten (Rahm & Sjöberg, 1967).

Det sker en omblandning i gränsskiktet mellan sötvattnet och saltvattnet pga. diffusion, vattnet eftersträvar utjämning mellan de två skikten eftersom salt och sötvatten har olika densitet. Detta är något som är väldigt komplicerat att beräkna och som inte kommer beröras i denna rapport då rapportens beräkningar bara tar hänsyn till att saltvattenkilen redan har nått upp till råvattenintaget och uppträder stationärt. Temperaturen har en liten påverkan som beskrevs ovan men i rapporten kommer detta att försummas. Även vindens påverkan försummas i detta arbete.

5.2 Saltvattenkilens beräkningsmetod

Täthetsberoende utbytesströmning

I rapporten tas bara hänsyn till ren utbytesströmning som beror av Reynolds och Froudes tal och tar inte med den vindgenererande kraft som kan styra utbytesströmningen. Om sammansättningen mellan vattendjupet h och relativa täthetsdifferansen $\frac{\Delta\rho}{\rho}$ ger upphov till höga flödes hastigheter, kan de viskösa krafterna försummas, dvs. att vid ett visst kritiskt tal på Re kan det försummas. Då är det Froudes tal som är kvar och styr förloppet. Enligt Anders Sjöberg (1967) styrs förloppet av de parametrar som bygger på antaganden om att vattenytan är horisontell, försumning av blandningsutbytet mellan de två flödena dvs. diffusion. I det här scenariot kommer de inre gravitationskrafterna ha störst inverkan på strömningsbilden som bestäms av den reducerande jordaccelerationen $\frac{\Delta\rho}{\rho} * 2g$. I Figur 5 nedan exemplifieras vad som sker vid mötet mellan saltvatten och sötvatten. Strecket i mitten illustrerar en skiljevägg mellan söt- och saltvatten på var sin sida om väggen. Tas skiljeväggen bort positionerar sig saltvattnet i form av en kil under sötvattnet.



Figur 5 Illustration saltvatten möter sötvatten

Det samband som styr förloppet blir då $v = \sqrt{2 * g * \frac{\Delta\rho}{\rho} * h}$

$v = \text{m/s}$

$g = 9,82 \text{ m/s}^2$

$\frac{\Delta\rho}{\rho} = \text{Relativa densitetsskillnaden mellan sötvatten och saltvatten}$

$h = \text{Vattendjupet}$

För att bestämma densitetsskillnaderna vi avstängningsgränsvärdena för salthalten behövs ett samband mellan salthalt och konduktivitet (VAAF). Sambandet mellan salthalt och konduktivitet är:

$\text{Salthalt i promille} = 0,00065 * \text{konduktivitet i } \mu\text{S/cm}$

5.3 Beräkningar saltvattenuppträngning

Nedan följer en tvärsektion över Göteborgsgrenen som används som utgångspunkter för att genomföra beräkningar för flöden och saltvattenuppträngning. Snittet valdes i en smal sektion där det var lättast att få en bra uppfattning om tvärsnittet och dess area beräkningarna baseras på. Uppskattningar av totalflödet utgår från den normala vattenföringen i Göta älv, dvs. att 25 % går igenom Göteborgsgrenen och 75 % genom Nordre älv. Det tas ingen hänsyn till att saltvattnet kan tränga upp via Nordre älv pga. Ormoskärmen.

Det görs en förenkling av snittet eftersom inte korrekt tvärsektion kunde erhållas. De olika djupen i älven har tagits från Sjöfartsverkets sjökort över Göta älv.

Tvärsektion 1: 1 km söder om Lärjeholmsintaget

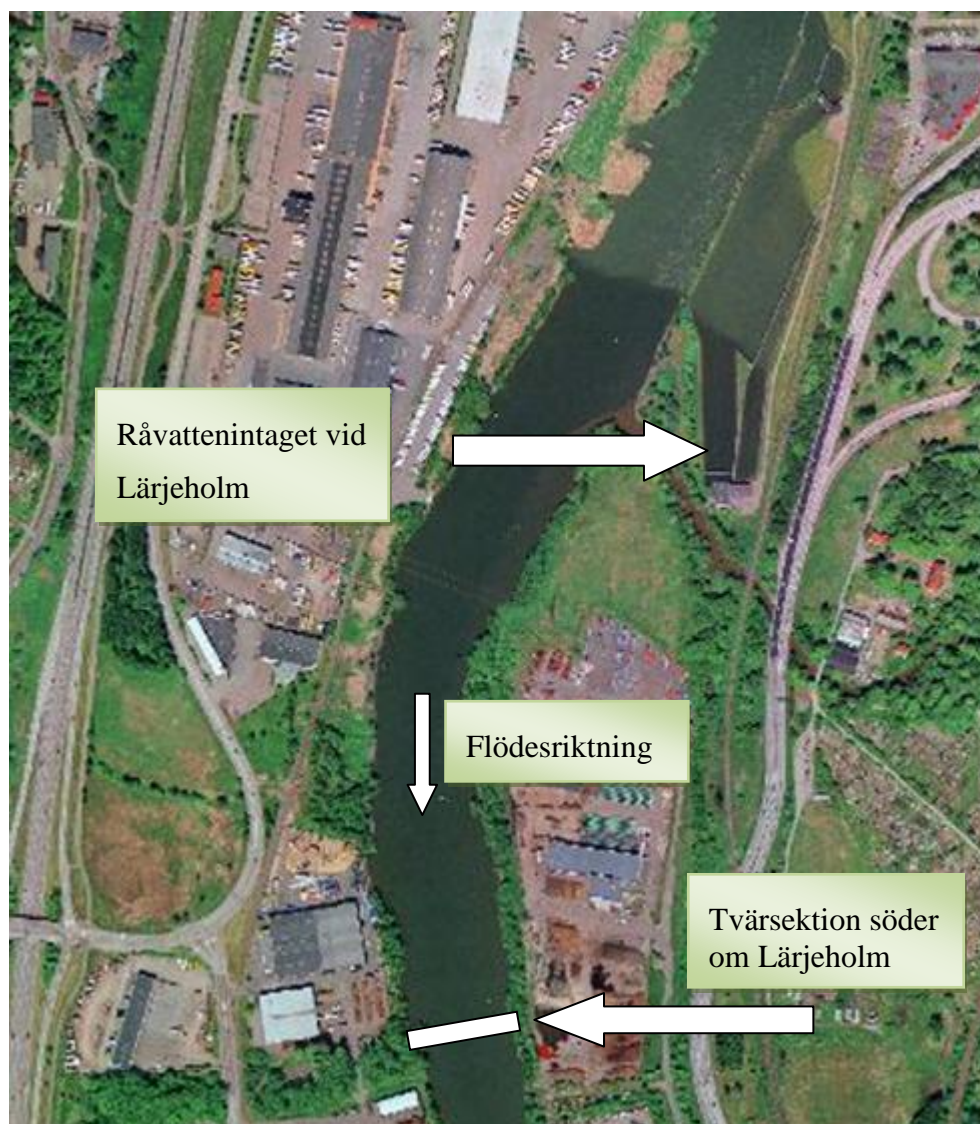
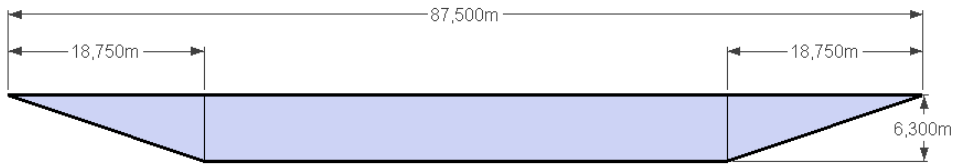
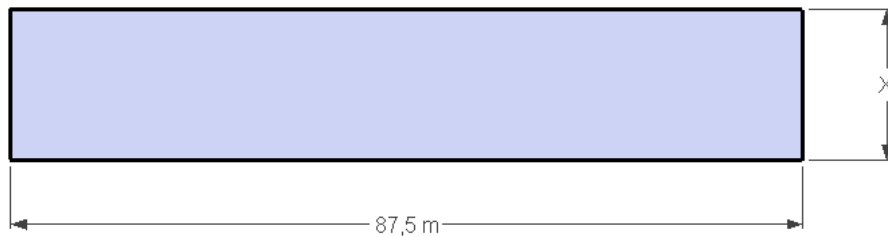


Bild 1 Den vita linjen i Göta älv illustrerar snittsektionen ca 1 km söder om Lärjeholmsintaget. (Eniro, 2010)



Figur 6 Tvärsektion vit linje i Bild 1.

Total area för tvärsektionen är 433,1 m². Arealen görs om till ett rektangulärt tvärsnitt för att få ut ett medeldjup.



Figur 7 Rektangulärt tvärsnitt

$$433,1 \text{ m}^2 = 87,5 * X_{\text{Medeldjup}}$$

$$X_{\text{Medeldjup}} = h = 4,95 \text{ m}$$

5.3.1 Flödesberäkningar vid normalvattenstånd

Flödesberäkningarna grundar sig på densitetsskillnaderna mellan det söta och salta vattnet.

Tvärsektion 1: 30 ‰ salthalt:

$$\text{Salthalt normalt havsvatten: } \frac{\Delta\rho}{\rho} = 30 \text{ ‰}$$

Hastighet beroende av densitetsskillnad:

$$v = \sqrt{2 * g * \frac{\Delta\rho}{\rho} * h} = \sqrt{2 * 9,82 * \frac{30}{1000} * 4,95} = 1,708 \text{ m/s}$$

För att trycka tillbaka saltvattnet som rör sig uppströms med en hastighet av 1,71 m/s krävs ett flöde som beror av arean och hastigheten på tvärsektionen.

$$v = \frac{Q}{A} \quad Q = A * v$$

$$v = 1,708 \text{ m/s}$$

$$A = 433,1 \text{ m}^2$$

$$Q = 433,1 * 1,708 = 739,7 \text{ m}^3/\text{s}$$

Vid en hastighet på 1,708 m/s krävs ett flöde på över 739,7 m³/s i Göteborgsgrenen för att trycka tillbaka saltvattnet. Så stora flöden har aldrig förekommit i den delen av Göta älv. Vid ett sådant flöde krävs ett totalt flöde på ca 1000 m³/s ifall Ormoskärmen är uppfälld och 75 % av vattnet går via Göteborgsgrenen. Ett scenario

med 30 ‰ salthalt i älven är inte trolig.

Tvärsektion 1: 0,26 ‰ salthalt:

Salthalt ändras till 0,26 ‰ utifrån avstängningsparametern 40 mS/m som har omvandlats till promille.

$$40 \text{ mS/m} = 400 \mu\text{S/cm}$$

$$\text{Salthalt vid } 400 \mu\text{S/cm} = \frac{\Delta\rho}{\rho} = 0,26 \text{ ‰}$$

Hastigheten på saltvattensidan blir

$$v = \sqrt{2 * g * \frac{\Delta\rho}{\rho} * h} = \sqrt{2 * 9,82 * \frac{0,26}{1000} * 4,95} = 0,159 \text{ m/s}$$

Det kräver ett flöde på sötvattensidan som motsvarar

$$Q = 433,1 * 0,159 = 68,9 \text{ m}^3/\text{s}$$

Totalflöde i älven blir

$$Q_{\text{Tot}} = \frac{68,9}{0,25} = 275,6 \text{ m}^3/\text{s}$$

Slutsatsen är att den låga salthalten inte ger upphov till ett större flöde på sötvattensidan jämfört med de 30 ‰ som beräknades tidigare. Trots att flödet aldrig understiger 68,9 m³/s i Göteborgsgrenen så stängs ändå intaget av, vilket måste betyda att en större salthalt ligger bakom uppträngningen, även större vattendjup och vind inverkar.

Tvärsektion 1: 1,3 ‰ salthalt

Salthalt ändras till 200 mS/m vilket är ett vanligt värde som uppmäts när Göteborg vatten stänger av råvattenintaget vid Lärjeholm.

$$200 \text{ mS/m} = 2000 \mu\text{S/cm}$$

$$\text{Salthalt vid } 2000 \mu\text{S/cm} = \frac{\Delta\rho}{\rho} = 1,30 \text{ ‰}$$

Hastigheten på saltvattensidan blir

$$v = \sqrt{2 * g * \frac{\Delta\rho}{\rho} * h} = \sqrt{2 * 9,82 * \frac{1,30}{1000} * 4,95} = 0,356 \text{ m/s}$$

Det kräver ett flöde på sötvattensidan som motsvarar

$$Q = 433,1 * 0,356 = 154,2 \text{ m}^3/\text{s}$$

Totalflöde i älven blir

$$Q_{\text{Tot}} = \frac{154,2}{0,25} = 616,8 \text{ m}^3/\text{s}$$

Detta motsvarar ett totalflöde i älven på 616,8 m³/s vilket är ganska nära normalflödet på 550 m³/s.

Vid en salthalt på 1,30 ‰ går saltvattnet att trycka undan med hjälp av sötvattnet vid normalflöde runt 550 m³/s. Även flöden ner mot 300 m³/s går att reglera så att 75 % av flödet går genom Göteborgsgrenen.

Tvärsektion 1: 2 ‰ salthalt

2 ‰ är ett värde som kan uppstå i älven vid låg vattenföring och högt vattenstånd.

Hastigheten på saltvattensidan blir

$$v = \sqrt{2 * g * \frac{\Delta\rho}{\rho} * h} = \sqrt{2 * 9,82 * \frac{2}{1000} * 4,95} = 0,441 \text{ m/s}$$

Det kräver ett flöde på sötvattensidan som motsvarar

$$Q = 432,8 * 0,441 = 191,0 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{Totalt flöde i älven blir } Q_{\text{Tot}} = \frac{191,0}{0,25} = 764,0 \text{ m}^3/\text{s}$$

Vid normalflöde på $550 \text{ m}^3/\text{s}$ är det möjligt att fälla upp skärmen för att få ett flöde som kan trycka tillbaka saltvattenkilen. Även vid låga flöden ner till $300 \text{ m}^3/\text{s}$ så kan vattnet dirigeras om till önskat flöde i Göteborgsgrenen, Norde Älv får då ett väldigt lågt flöde.

5.3.2 Flöde beroende på havsvattennivå

Vid en förändrad havsvattennivå som enligt IPCC kan uppstå inom en hundraårsperiod i Sverige pga. klimatförändringar kommer det krävas ett högre flöde på Göta älv för att trycka tillbaka saltvattenkilen. Nu kommer beräkningar att göras på samma tvärsnitt som tidigare fast med 0,5 och 1 meters höjning av havsvattennivån som är IPCC:s värsta scenario.

1,3 ‰ har visat sig ge ett flöde som motsvara ett verkligt scenario men för att räkna med lite marginal används salthalten 2 ‰ i kommande beräkningar. När salthalten är 2 ‰ blir $Q_{\text{normal}} = 191,0 \text{ m}^3/\text{s}$.

Tvärsektion 2: 2 ‰ salthalt och 0,5 meters höjning

I den nya tvärsektionen har samma snitt används men med en 0,5 meters höjning av vattenståndet. Den förändrade tvärsnittsarean är $467,5 \text{ m}^2$ vilket ger ett medeldjup på 5,34 m.

Hastigheten på saltvattensidan med 2 ‰ salthalt samt med förändrat medeldjup blir

$$v = \sqrt{2 * g * \frac{\Delta\rho}{\rho} * h} = \sqrt{2 * 9,82 * \frac{2}{1000} * 5,34} = 0,458 \text{ m/s}$$

$$A = 467,5 \text{ m}^2$$

$$h = 5,34 \text{ m}$$

$$Q = 467,5 * 0,458 = 214,1 \text{ m}^3/\text{s}$$

Vid en jämförelse med flödet som var innan nivåförändringen blir ökningen 12 % vid 0,5 meters höjning av havsvattennivån.

$$Q_{\text{normal}} = 191,0 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{+0,5 \text{ meter}} = 214,1 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{Procentuell ökning av flödet} = \frac{214,1}{191,0} = 1,121 = 12 \% \text{ ökning}$$

Tvärsektion 2: 2 ‰ salthalt och 1 meters höjning

1 meters höjning förändrar tvärsnittets area till 501,9 m² vilket ger ett medeldjup på 5,74 m.

Hastigheten på saltvattensidan med 2 ‰ salthalt samt med förändrat medeldjup blir

$$v = \sqrt{2 * g * \frac{\Delta\rho}{\rho} * h} = \sqrt{2 * 9,82 * \frac{2}{1000} * 5,74} = 0,475 \text{ m/s}$$

$$A = 501,9 \text{ m}^2$$

$$h = 5,74 \text{ m}$$

$$Q = 501,9 * 0,475 = 238,4 \text{ m}^3/\text{s}$$

Vid en jämförelse med flödet som var innan nivåförändringen blir ökningen 25 % vid 1 meters höjning av havsvattennivån.

$$Q_{\text{normal}} = 191,0 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{+1 \text{ meter}} = 238,4 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{Procentuell ökning av flödet} = \frac{238,4}{191,0} = 1,25 = 25 \% \text{ ökning}$$

Det här ger sambandet att vid en ökning av vattennivån med 10 cm krävs det att flödet ökar med ca 2,5 %. Det är sambandet utifrån en jämförelse av 0,5 och 1 meters höjning. Utifrån dessa beräkningar bör en havsnivåändring på exempelvis + 0,7 meter ge ett ökat flöde till 224,4 m³/s .

0,7 meters höjning ger den procentuella ökningen på flödet

$$2,5\% * 7 = 17,5\%$$

$$Q_{17,5 \% \text{ ökning}} = 1,175 * 191,0 = 224,4 \text{ m}^3/\text{s}$$

För att testa sambandet beräknas vad flödet blir utifrån tidigare beräkningssätt.

Tvärsektion 2: 2 ‰ salthalt och 0,7 meters höjning

0,7 meters höjning förändrar tvärsnittets area till 481,3 m² vilket ger ett medeldjup på 5,50 m.

Hastigheten på saltvattensidan med 2 ‰ salthalt samt med förändrat medeldjup blir

$$v = \sqrt{2 * g * \frac{\Delta\rho}{\rho} * h} = \sqrt{2 * 9,82 * \frac{2}{1000} * 5,50} = 0,465 \text{ m/s}$$

$$A = 481,3 \text{ m}^2$$

$$h = 5,5 \text{ m}$$

$$Q = 481,3 * 0,465 = 223,8 \text{ m}^3/\text{s}$$

Detta kan nu jämföras med flödet ifrån det förenklade sambandet vilket är att 10 cm havsnivåhöjning kräver ett ökat flöde på 2,5 %. Flödet 224,4 m³/s stämmer väl överens med det uträknade värdet på 223,8 m³/s .

5.4 Förhållanden mellan saltavstängningar, havsvattennivå och flöde

När saltavstängningarna undersöks med avseende på vattenstånd och flöde kan ett tydligt samband dras, vid låga flöden i Göteborgsgrenen och höga nivåer i havsvattenstånd uppstår avstängningarna. I perioden oktober-november skedde 17 avstängningar. Under den perioden var flödet under det normala samtidigt som havsvattenståndet varierar mellan -40 och +80 centimeter. Flödet i älven har inte varit tillräckligt stort för att trycka tillbaka saltvattenkilen samtidigt som nivån i havet varit hög vilket resulterar i en avstängning av råvattenintaget.

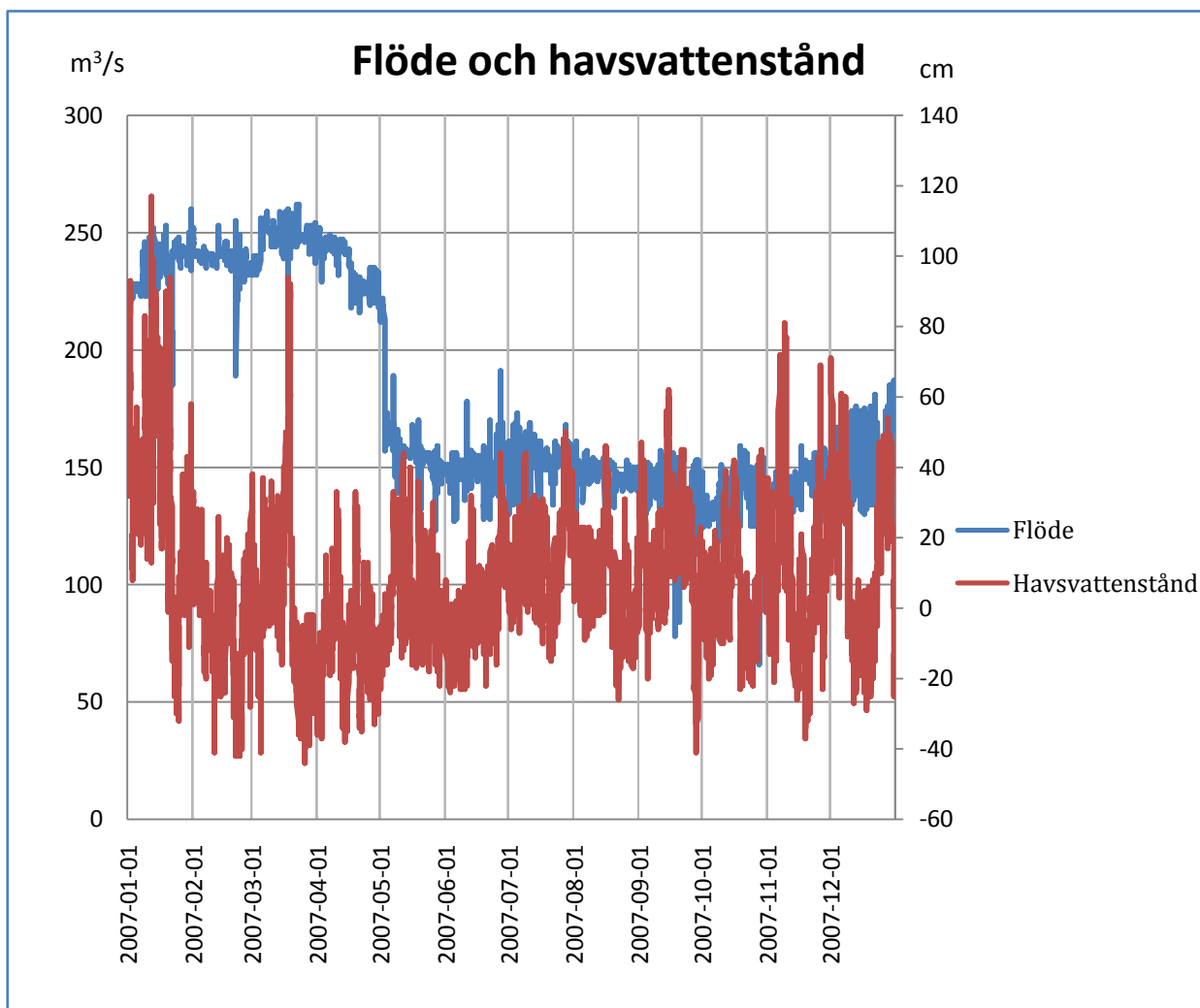


Diagram 6 Flöde i Göteborgsgrenen och havsvattenstånd vid Torshammen Göteborg år 2007

I Diagram 7 nedan har saltvattenavstängningarna markerats. Punkterna som är inlagda baseras på havsvattenstånd och flöde för avstängningens första timme. Vid avstängningarna går det se att flödet ligger något under de normala, vilket är 150 m³/s. Flödet varierar mellan 123 m³/s och 150 m³/s medans variationerna havsvattenståndet har ett spann mellan - 14 cm och + 77 cm.

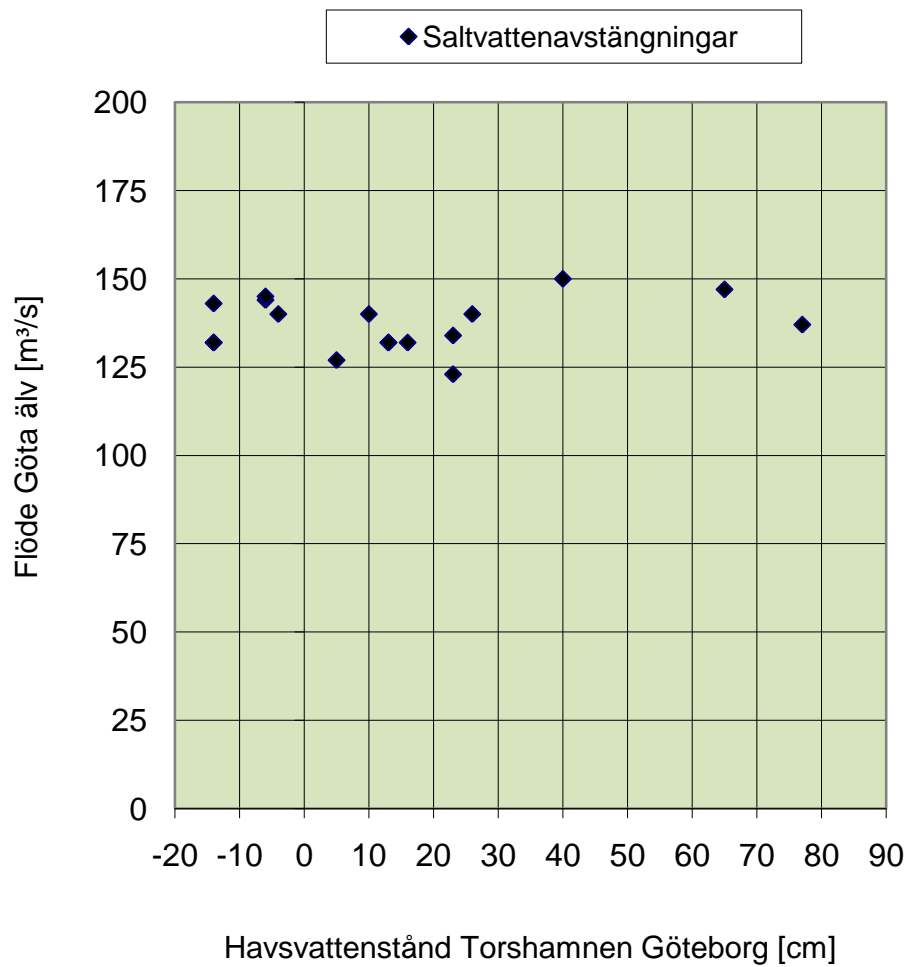


Diagram 7 Flöde och havsvattenstånd vid avstängningar hösten 2007.

Tabell 2 nedan till vänster visar en avstängning mellan den 9 november klockan 20.00 till 10 november 22.00. Havsvattenståndet varierar mellan +5 cm och +81 cm men det är i början av avstängningen som havsvattenståndet är högst. I tabellen går det att se att havsvattenståndet var högt och flödet något under det normala på 150 m³/s. I Tabell 3 till höger var havsvattenståndet något under det normala samtidigt som flödet understiger 130 m³/s under 11 timmar.

Tabell 2 Avstängning med flöde och havsvattenstånd

| Datum | Klockslag | Havsvattenstånd [cm] | Flöde m ³ /s |
|------------|-----------|----------------------|-------------------------|
| 2007-10-09 | 12 | -4 | 140 |
| 2007-10-09 | 13 | -2 | 140 |
| 2007-10-09 | 14 | -2 | 139 |
| 2007-10-09 | 15 | -1 | 119 |
| 2007-10-09 | 16 | 1 | 131 |
| 2007-10-09 | 17 | 5 | 128 |
| 2007-10-09 | 18 | 4 | 124 |
| 2007-10-09 | 19 | -1 | 124 |
| 2007-10-09 | 20 | -7 | 125 |
| 2007-10-09 | 21 | -7 | 127 |
| 2007-10-09 | 22 | -8 | 127 |
| 2007-10-09 | 23 | -9 | 127 |
| 2007-10-10 | 0 | -10 | 127 |
| 2007-10-10 | 1 | -6 | 126 |
| 2007-10-10 | 2 | -2 | 127 |
| 2007-10-10 | 3 | -2 | 135 |
| 2007-10-10 | 4 | 1 | 137 |
| 2007-10-10 | 5 | 4 | 136 |
| 2007-10-10 | 6 | 7 | 136 |
| 2007-10-10 | 7 | 5 | 136 |
| 2007-10-10 | 8 | 2 | 139 |
| 2007-10-10 | 9 | -3 | 141 |
| 2007-10-10 | 10 | -3 | 139 |
| 2007-10-10 | 11 | -3 | 142 |
| 2007-10-10 | 12 | 1 | 151 |
| 2007-10-10 | 13 | 5 | 151 |
| 2007-10-10 | 14 | 9 | 146 |
| 2007-10-10 | 15 | 7 | 148 |

Tabell 3 Avstängning med flöde och havsvattenstånd

| Datum | Klockslag | Havsvattenstånd [cm] | Flöde m ³ /s |
|------------|-----------|----------------------|-------------------------|
| 2007-11-09 | 20 | 74 | 137 |
| 2007-11-09 | 21 | 77 | 136 |
| 2007-11-09 | 22 | 81 | 136 |
| 2007-11-09 | 23 | 77 | 136 |
| 2007-11-09 | 0 | 75 | 135 |
| 2007-11-10 | 1 | 77 | 135 |
| 2007-11-10 | 2 | 77 | 135 |
| 2007-11-10 | 3 | 77 | 134 |
| 2007-11-10 | 4 | 74 | 134 |
| 2007-11-10 | 5 | 71 | 134 |
| 2007-11-10 | 6 | 62 | 134 |
| 2007-11-10 | 7 | 52 | 134 |
| 2007-11-10 | 8 | 40 | 134 |
| 2007-11-10 | 9 | 31 | 134 |
| 2007-11-10 | 10 | 27 | 134 |
| 2007-11-10 | 11 | 20 | 132 |
| 2007-11-10 | 12 | 16 | 132 |
| 2007-11-10 | 13 | 13 | 133 |
| 2007-11-10 | 14 | 17 | 132 |
| 2007-11-10 | 15 | 16 | 132 |
| 2007-11-10 | 16 | 13 | 133 |
| 2007-11-10 | 17 | 12 | 133 |
| 2007-11-10 | 18 | 12 | 132 |
| 2007-11-10 | 19 | 11 | 132 |
| 2007-11-10 | 20 | 9 | 132 |
| 2007-11-10 | 21 | 5 | 133 |
| 2007-11-10 | 22 | 6 | 133 |

6 Alternativa lösningar till problemet

Utifrån problembeskrivningen redovisas tre alternativ för att förhindra saltvattenuppträngning och säkra råvattentillgången för Göteborg. De tre alternativen är flyttning av råvattenintaget, ökat vattenflöde i Göta älv eller utplacering av en luftbubbelridå.

6.1 Nytt råvattenintag

Saltvattenuppträngningsproblemet skulle kunna undvikas helt genom att flytta råvattenintaget till ett läge norr om förgrening av Göta älv. På platser norr om Kungälv kommer hela Göta älvs flöde hindra saltvattenuppträngningen istället för enbart flödet i Göteborgsgrenen. En annan anledning till varför det skulle vara fördelaktigt att placera intaget där är att saltvattenuppträngning via Nordre älv skulle omöjliggöras.

Ett problem med att göra en ny ledningsdragnings är de ekonomiska aspekterna, väger de upp risken för att saltvattenuppträngning sker? Att anlägga en råvattenledning är en kostsamt, $1,5 \text{ m}^2$ råvattenledning kostar mellan 12000–100000 per meter ledning, oftast runt 18000 kr/m. Vattenbehovet för Göteborg är $2 \text{ m}^3/\text{s}$ och det skulle kräva 2 stycken $1,5 \text{ m}^2$ tunnlar vid rörströmning. (Bergstedt, 2009)

$Q_{\text{behov}} = 2 \text{ m}^3/\text{s}$, detta delas på två ledningar vilket ger hastigheten:

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{1}{1,5} = 0,67 \text{ m/s}$$

Om ett nytt ledningsstråk skulle placeras ovanför Kungälv ner till Lärjeholm skulle det bli ca 14 km fågelvägen. Ett nytt intag skulle behöva byggas söder om Nödinge och den nya ledningen skulle eventuellt kunna kopplas samman med befintlig ledning vid Lärjeholm. Vid skissen har inte den topografiska kartan tagits i beaktande vilket skulle betyda att ledningsstråket i verkligheten skulle kunna placeras i mer lämplig sträckning, men detta ger trots allt en fingervisning om hur lång en ny ledning skulle bli. En noggrannare uträkning på stråket skulle troligtvis resultera i en längre sträcka.

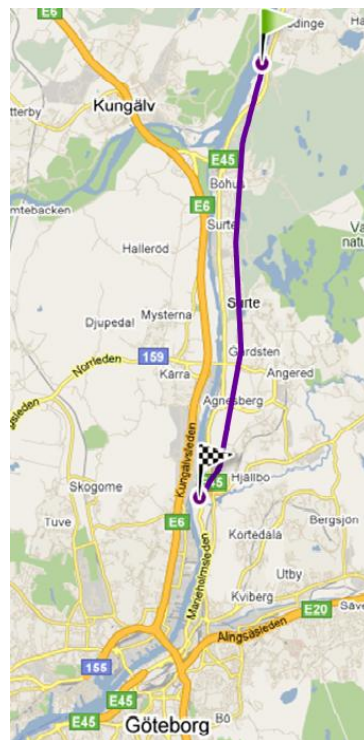
Vid en snittkostnad på 18000 kr/m ledning och en sträcka på 14 km för två ledningar blir den totala kostnaden 504 miljoner kr

$$\text{Kostnad} = 2 * 18000 * 14000 = 504 \text{ miljoner kr}$$

I räkneexemplet ovan används 18000 kr/m vilket är ett lågt snittpris jämfört med 100000 kr/m som är maxbeloppet. Vid en maxkostnad på 100000 kr/m blir siffran betydligt högre.

$$\text{Kostnad} = 2 * 100000 * 14000 = 3,6 \text{ miljarder kr}$$

Totalkostnaden blir mellan 500-3600 miljoner för ett nytt ledningsstråk.



Figur 8 14 km ledningsstråk från Nödinge till Lärjeholm. (Iform, 2010)

6.2 Ökat flöde i Göta älv

När flödet är lågt i älven samtidigt som ett högt havsvattenstånd råder är det störst sannolikhet för saltvattenuppträngning. Ju högre vattenstånd i havet desto högre flöde krävs i Göteborgsgrenen. Vattenfall styr regleringen av Vänern och därmed flödet i Göta älv. Under sommaren/höst brukar flödet vara som lägst och då är behovet av en bättre reglering som störst. Enligt vattendomen ska Vattenfall förhindra saltvattenuppträngning men ändå sker det ett flertal avstängningar varje år. Vattenfall har skyldighet gentemot Göteborg vatten att säkra vattentillgången vilket nu oftast är möjligt med hjälp av Ormoskärmen.

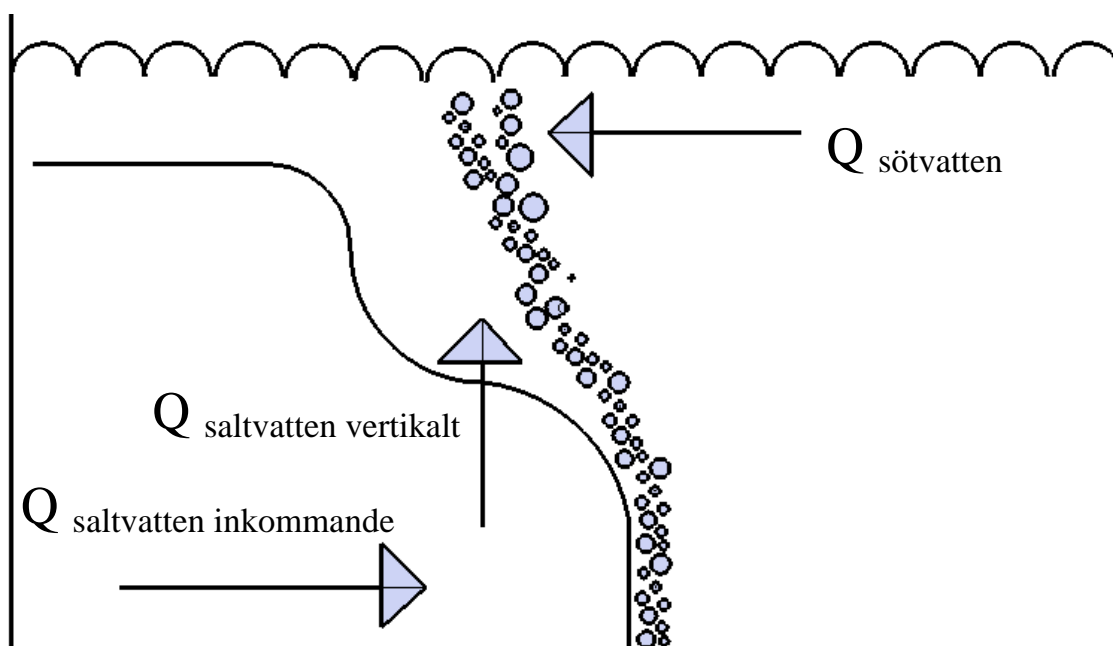
Vargöns vattenkraftverk som ligger vid Vänern upprätthåller en viss vattennivå i sjön för att kunna tillgodose energitillgången åt sina kunder. När en hög tappning av älven inte krävs för att energiåtgången är låg så används Vänern som magasin upp till de nivåer som är tillåtna av vattendomen. När sedan mer energi krävs så släpps det på mer vatten i älven.

Vid en meters höjning av havsvattenståndet och en salthalt på 2 ‰ krävs det ett ökat flöde på 25 % jämfört med ursprungsflödet enligt tidigare beräkningar. Vid ett flöde på 150 m³/s och en höjning på en meter krävs ett flöde på 187,5 m³/s för att trycka tillbaka saltvattenkilen. Vid normal vattenföring på 550 m³/s går flödet i älven att reglera vid Ormoskärmen för att förhindra saltvattenuppträngningen men under sommar/höst brukar flödet vara något lägre vilket innebär problem. Den gamla vattendomen från 1937 bygger på andra förutsättningar än de som råder idag. Med en bättre reglering av vattnet i Göteborgsgrenen skulle det inte behöva bli några avstängningar pga. saltvattenuppträngning.

6.3 Luftbubbelridå

Luftbubbelridåer kan användas för att minska täthetsberoende flöden mellan saltvatten och sötvatten. Luft pressas ut genom ett munstycke och skapar luftbubblor som stiger uppåt och tar med sig saltvattnet som sedan träffar ytströmmen av sötvatten och sedan transporteras vidare ut mot havet. Anordningen placeras på vattendragets botten.

Enligt en rapport av Anders Sjöberg från 1967 så har tester i försöksbassänger visat att saltvattenuppträngning kan helt eller delvis förhindras med hjälp av luftbubbelridåer. Om det vertikala flödet av saltvattnet genererat av luftbubbelridån är större än det inkommande saltvattnet kan en saltvattenuppträngning förhindras helt.



Figur 9 Luftbubbelridå

Liknande anordningar finns i Holland där saltvattenuppträngning i deras kanalsystem förhindras med hjälp av luftbubbelridå. Ett sådant system skulle kunna fungera vid grundare delar av Göta älv eftersom luftbubbelridån får försämrade effekt desto djupare vattnet är (Sjöberg, 1967).

7 Resultat

Nedan följer en sammanfattning av resultat från kapitel 5 och 6

7.1 Sammanfattning av beräkningar

Här följer en sammanfattning av uträkningarna gjorda i kapitel 5 där uträkningarna baserar sig på olika salthalter, tvärsnittsareor och flöden.

Tabell 4 Sammanställning av uträkningar.

| | Havsvattenstånd avvikelse [m] | Hastighet (v) saltvatten [m/s] | Area tvärsnitt [m ²] | Flöde (Q) ≈ [m ³ /s] |
|--------------------|----------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|
| 0,26 ‰ salthalt | 0 | 0,159 | 433,1 | 70 |
| 1,30 ‰ salthalt | 0 | 0,356 | 433,1 | 155 |
| 2,00 ‰ salthalt | 0 | 0,441 | 433,1 | 190 |
| 2,00 ‰ salthalt | + 0,5 | 0,458 | 467,5 | 215 |
| 2,00 ‰ salthalt | + 1,0 | 0,475 | 501,9 | 240 |

Sambandet mellan Δh och flödesökningen är nästan linjärt och kan ses i Diagram 8 nedan. 0 värdet representerar normalt havsvattenstånd och nedan går det att se vilket flöde som krävs i Göteborgsgrenen när havsvattenståndet varierar. I beräkningen på flödet används salthalten 2,0 ‰.

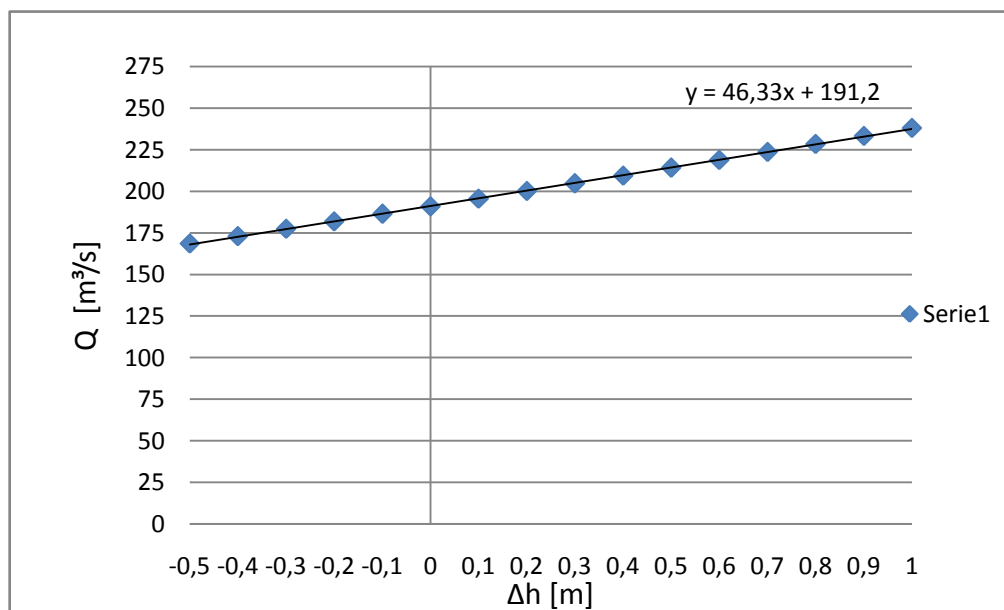


Diagram 8 Flöde som krävs i Göteborgsgrenen vid förändrat havsvattenstånd

7.2 Alternativa lösningar och jämförda diagram

När Diagram 7 sammanställts drogs slutsatsen att råvattenavstängningarna pga. salt är ett samband mellan flöde och havsvattenstånd, även vinden påverkar men har inte tagits hänsyn till. Vid ett framtida högt havsvattenstånd kan råvattenintaget vara hotat.

Tre stycken alternativa lösningar på saltvattenuppträngningsproblemet har lagts fram i kapitel 6 och de är:

- Ny placering av råvattenintaget
- Ökat vattenflöde i Göta älv
- Utplacering av en luftbubbelridå

8 Diskussion

Diskussionen baseras på resultaten och från informationen i rapportens huvud. Antaganden och beräkningar som gjorts i kapitel 5 kommer att diskuteras för att se på osäkerheten i rapporten. Även de alternativa lösningarna i kapitel 6 kommer att beröras.

Tvårsnittet som valts baseras på sjökort som inte anger det exakta djupet längs hela tvärsektionen utan här fick istället de markerade djup som fanns användas. En mer exakt bild av bottenprofilen kanske inte hade haft en så stor inverkan på arean men utifrån de fakta som funnits tillgängliga har en så trovärdig tvärsektion som möjligt skapats. Göta älv är utformad så att en mittsektion för båttrafik finns utmed hela älven med lägsta djup på 6,3 meter och med avtagande djup mot strandkanterna.

Intaget stängs av när den översta givaren visar en konduktivitet på 40 mS/m (0,26 ‰ salthalt) men vanligt förekommande värde på salthalt under en avstängning har inte erhållits. Beräkningarna har baserats på de olika salthalter 0,26 ‰, 1,3 ‰, 2,0 ‰ och 30 ‰. Värdet 1,3 ‰ har stämt bäst överens med verkligheten eftersom den ger upphov till ett flöde på 154,2 m³/s i Göteborgsgrenen vilket motsvarar medelvattenföringen i Göta älv som ligger runt 150 m³/s. Det innebär att det oftast uppträder en lägre salthalt än 1,3 ‰ eftersom den normala vattenföringen på 150 m³/s för det mesta förhindrar saltvattenuppträngning. Trots detta har det visat sig att avstängningar görs vid flöden runt 150 m³/s, därför valdes värdet 2 ‰ salthalt vid beräkningar med havsvattenståndshöjning som resulterar i ett högre flöde för att förhindra saltvattenuppträngning. Ökning till 2 ‰ salthalt kan ses som en säkerhetsmarginal för att kunna utgå från att de uträknade flödena verkligen tränger bort saltvattnet.

Vid uträkningar av hastigheter på saltvattensidan har diffusionen mellan söt- och saltvatten inte tagits hänsyn till eftersom verktyg för sådana beräkningar har saknats. I verkligheten sker det en omblandning mellan söt- och saltvatten i gränsskiktet som har påverkan på saltvattenkilens utbredning.

En serie av saltvattenavstängningar under flera år hade kunnat användas för att se om saltvattenuppträngningar har blivit vanligare under de senare årtiondena. I rapporten har året 2007 valts eftersom flertalet avstängningar uppträdde då. Tillfällen med saltavstängningar från långt tillbaka i tiden hade kanske inte varit så värdefulla eftersom klimatförändringarna inte har märkts så tydligt än.

I Diagram 7 där saltavstängningar är markerade angavs bara det första timvärdet för havsvattenståndet och flödet. Det som är intressant vid en avstängning är det som har hänt timmarna före. Några av de markeringarna som är utsatta i diagrammet indikerar inte på något onormalt men timmarna före avstängningen har det varit t.ex. lågt flöde eller högt havsvattenstånd.

Rapporten har utgått ifrån att saltvattenuppträngningen endast sker via Göteborgsgrenen och inte bakvägen via Nordre älv. Fakta om vilken väg saltvattnet har färdats för att nå intaget har inte varit tillgänglig och eftersom Ormoskärmerna i Nordre älv finns till för att förhindra saltvattenuppträngningen har antaganden i rapporten utgått från att uppträngningen sker via Göteborgsgrenen. Det är trots allt mer troligt att saltvattnet tränger upp via Göteborgsgrenen men osäkerhet finns i antagandet eftersom vetskapen om att det kan komma salt norrifrån finns.

Om det i framtiden skulle bli ett konstant problem med saltvattenuppträngning kommer något att behöva göras. I förslaget med ett ökat flöde tycks det största ansvaret ligga hos elkraftsproducenten Vattenfall. Att öka flödet ses som en rimlig åtgärd eftersom det inte kommer vara kostsamt förslaget och inte heller leda till särskilt stora åtgärder. För Vattenfall uppstår en intäktsförlust som borde vägas mot kostnader att bygga nya intagsledningar. I rapporten finns inga data över vattennivån i Vänern över sommaren därav går det inte att se om ett ökat vattenflöde är möjligt.

Ett nytt ledningsstråk från Nödinge ner till Lärjeholm är ett förslag för att eliminera saltvattenuppträngningsproblemet i Göta älv. Baksidan med en ny rördragning är de stora kostnaderna. Är detta ett rimligt förslag jämfört med risken för saltvattenuppträngning? Det är svårt att se att en sådan lösning skulle genomföras just pga. saltvattenavstängningar men om det skulle bli ett konstant problem vid Lärjeholm skulle ett nytt ledningsstråk vara till fördel för att säkra vattenproduktionen. Kostnaden som tagits fram är väldigt osäker eftersom ledningslängden i rapporten utgår från avståndet fågelvägen och tar inte hänsyn till varken bebyggelse eller topografi. En noggrannare studie av de geografiska förhållandena kunde ge en mer rättvis bild av kostnaden.

Förslaget om en luftbubbelridå verkar vara en bra idé men det får anses som det svagaste förslaget eftersom underlag för var det bör placeras, vad det kostar, och hur stor reducerande effekt det skulle ha på saltvattenuppträngning i just Göta älv saknas.

IPCC förutspår en normalvattenståndshöjning på upp till en meter. Redan idag går det att se naturliga variationer upp mot en meter vilket betyder att i framtiden skulle en naturlig vattenståndshöjning på 1 meter innebära tillfälliga nivåer 2 meter över normalvattenståndet. I rapporten har uträkningar på en meters höjning använts som värsta scenario men det skulle alltså kunna bli värre över kortare perioder med naturligt högt vattenstånd.

9 Slutsats och rekommendationer

Rapporten ger en övergripande bild av saltvattenuppträngningsproblemet i Göta älv och kan därmed användas som grund för en mer detaljerad utredning.

Klimatförändringar med ökad havsvattennivå kan under 2000-talet innebära problem för Göteborgs dricksvattenförsörjning. Avstängningar relaterade till saltvatten av Lärjeholms råvattenintag har visat sig ha ett samband mellan flödet i Göta älv och havsvattennivån. Vid låga flöden och höga havsvattenstånd är risken för uppträngning som störst. En havsvattenståndsökning med 10 cm innebär att flödet i Göteborgsgrenen behöver ökas med ca 2,5 % och 20 cm höjning behöver ett ökat flöde på 5 % vilket betyder att 1 meters höjning innebär ett ökat flöde med 25 %.

För att lösa saltvattenuppträngningsproblemet i framtiden så vore en ny rördragning att föredra. Ett nytt råvattenintag för Göteborg uppströms Kungälv har skissats men det kräver en ordentlig projektering som kan vara ett framtida projekt för att få en mer noggrann bild av rördragningen och de ekonomiska aspekterna.

En intressant aspekt som inte tagits upp i rapporten är hur stor del av problemet som påverkats utav Nordre älv, alltså hur många avstängningar som skett pga. att saltvatten kommit in bakvägen och tvingat intaget att stänga.

Ifall IPCC:s prognoser stämmer kommer råvattenintaget hamna i en mer utsatt situation i framtiden med fler avstängningar än i dagsläget.

Genom att använda DHI:s programvara Mike 3D med applikationer går det att modellera saltvattenuppträngning i flodmynningar som t.ex. Göta älv. En sådan modellering skulle ge en mer verklighetsbaserad bild av saltvattenuppträngningsproblemet i Göta älv.

10 Litteraturförteckning

- Bergstedt, O. (2009). Seminarium 4 juni 2009 - Väneren Göteborgs vattenförsörjning. Vänersborg.
- Ekwall, A. (1938). *Vänerns reglering*. Norrköping: Norrköpings tidningars aktibolag.
- Engelund, F., & Christensen, L. (1969). *Lagdelte og inhomogene vaedskers hydraulik*. Köpenhamn: Polytekniskt forlag.
- Göta älvs vattenvårdsförbund. (2005). *Fakta om Göta älv, en beskrivning om Göta älv och dess omgivning 2005*. Göteborg.
- Göteborg stad. (den 01 06 2010). *Göteborg stad / bygga & bo / vatten och avlopp*. Hämtat från www.goteborg.se
- Göteborg Stad. (2007). *Göteborg Vatten Årsberättelse 2007*. Göteborg: Göteborg Stad.
- Hammarklint, T., & Lindkvist, T. (2009). *Havsvattenstånd vid svenska kusten, faktablad 41*. Norrköping: SMHI.
- IPCC. (2008). *Climate Change and Water*. Hämtat från <http://www.ipcc.ch/pdf/technical-papers/climate-change-water-en.pdf> den 25 02 2010
- Lyngfelt, S. (2004). *Vatten och avloppsteknik*. Göteborg.
- Rahm, L., & Sjöberg, A. (1967). *Experimentell undersökning av grunddammars och luftbubbelridåers reducerande effekt på ett kombinerat täthetsberoende och vindgenererat utbytesflöde*. Göteborg: Chalmers Tekniska Högskola.
- Sjöberg, A. (1967). *reducering av täthetsberoende utbytesströmning med hjälp av luftbubbelridå. Användning av luftbubbelridå som hinder mot saltvattenuppträngning i flodmynningar*. Göteborg: Chalmers Tekniska Högskola.
- SMHI. (den 01 06 2010). *SMHI / kunskapsbanken / oceanografi / tidvatten*. Hämtat från <http://www.smhi.se>
- sundborg, Å., & Norrman, J. (1963). *Göta älv Hydrologi och morfologi med särskild hänsyn till erosionsprocesserna*. Stockholm.
- Sveriges Geotekniska Institut. (2006). *Geotekniska förutsättningar för ökad tappning från Väneren till Göta älv*. Hämtat från <http://www.ima.kth.se/utb/MJ1505/pdf/SGL.pdf> den 11 02 2010
- VAAF. (u.d.). *Västra Aros Akvarieförening*. Hämtat från http://www.vaaf.se/artiklar/Allt_om_salt_i_akvariet.pdf den 24 03 2010
- Vattenmyndigheten. (2009). *Åtgärdsprogram Underlagsmaterial,avrinningsområde 108 Göta älv huvudfåra*. Hämtat från http://www.harryda.se/download/18.2fe0ef83121cbb74d4780003871/AP1081Gotaalv_090320.pdf den 18 02 2010

Bild 1: Tvärsektion i Göta älv. Hämtat från www.eniro.se den 04 05 2010

Diagram 1: Havsvattenståndsförändring med korrektion för landhöjning mellan 1890 till 2010 utmed Götalands kust (SMHI, 2009). Hämtat 26 04 2010 från <http://www.smhi.se/kunskapsbanken/oceanografi/havsvattenstand-1.3090>

Diagram 2: Havsvattenstånd och landhöjning. Hammarklint, T., & Lindkvist, T. (2009). *Havsvattenstånd vid svenska kusten, faktablad 41*. Norrköping: SMHI.

Diagram 4: *Vattenflöden i Göta älv*. Göta älvs vattenvårdsförbund. (2005). *Fakta om Göta älv, en beskrivning om Göta älv och dess omgivning 2005*. Göteborg.

Figur 1: *Karta över Göta älv*. Göteborg stad. *Göteborg stad / bygga & bo / vatten och avlopp*. Hämtat 01 06 2010 från www.goteborg.se

Figur 2: *Råvattentunnlar*. Göteborg stad. *Göteborg stad / bygga & bo / vatten och avlopp*. Hämtat 01 06 2010 från www.goteborg.se

Figur 3: *Avrinningsområdet som påverkar Göta älv*. Göta älvs vattenvårdsförbund. (2005). *Fakta om Göta älv, en beskrivning om Göta älv och dess omgivning 2005*. Göteborg.

Figur 4: *Illustration Saltvattenkil*. Gulf region – Fisheries and oceans Canada, Hämtat 15 02 2010 från www.glf.dfo-mpo.gc.ca/os/bysea-enmer/images/img_mod3_p4-e.jpg

Figur 8: *14 km ledningsstråk från Nödinge till Lärjeholm*. Hämtat 10 05 2010 från www.iform.se

Tabell 1: *Intagsavstängningar pga. salt juli - dec 2007*. Göteborg vatten.(2010)

Övriga figurer, tabeller och diagram i rapporten är skapade av författarna.