



UPPSALA
UNIVERSITET

UPTEC W12 023

Examensarbete 30 hp
Augusti 2012

Avbördningsekvationer för sjöar utan vattenföringsmätningar

Simon Andersson

REFERAT

Avbördningsekvationer för sjöar utan vattenföringsmätningar

Simon Andersson

År 2015 skall alla sjöar, vattendrag, kustvatten och grundvatten uppnå god ekologisk status enligt EU:s ramdirektiv för vatten. I arbetet med att förbättra vattenkvaliteten hos Sveriges vattenförekomster behövs god uppfattning om var problemen finns för att resurserna skall disponeras på bästa sätt. Sjöars förmåga att magasinera vatten är en viktig faktor att skapa god kunskap om eftersom denna styr mycket av vattnets flöden genom landet. En avbördningsekvation är ett matematiskt samband som beskriver hur vattenföringen från ett sjöutlopp förändras då vattenståndet i sjön förändras. Via bättre kunskap om avbördningsekvationer för sjöar kan sjöarnas magasineringsförmåga beskrivas i hydrologiska modeller på ett bättre sätt.

Denna studie syftade till att utvärdera metoder för att uppskatta avbördningsekvationer för sjöar där inga vattenföringsmätningar men en varierande mängd annan information finns tillgängliga. Projektet bestod av tre delar. Först utvärderades kopplingar mellan sjöars fysiska egenskaper och deras avbördningsekvationer. I den andra delen av projektet testades om det gick att uppskatta avbördningsekvationer via vattenståndsdata och modellerat inflöde för en sjö. Slutligen utvärderas möjligheter att uppskatta avbördningsekvationer med Sjölyftet, som är ett sjökarteringsprojekt startat av SMHI och är finansierat av arbetsförmedlingens stödformer. Metoderna utvärderades genom jämförelse med avbördningsekvationer som mätts upp av SMHI.

Resultaten från arbetet visade att användning av samma konstanta standardparametrar för alla sjöar i avbördningsekvationen gav stora fel. Genom att kombinera avrinningsområdets storlek, bredden på sjöutlopp och sjöars area kunde ett bättre resultat erhållas än med konstanta parametrar i avbördningsekvationer. Den bästa metoden för framtagande av avbördningsekvationer erhöles då mätningar av vattenstånd användes. Sjölyftets mätningar kunde inte fullt utvärderas eftersom valideringsdata saknades. De mätdata som samlats in bedöms dock vara användbara i framtiden.

Nyckelord: Avbördningskurva, avbördningsekvation, S-HYPE, Sjölyftet

Institutionen för Geovetenskaper, Luft-, vatten- och landskapslära, Uppsala universitet.
Villavägen 16, SE-752 36 Uppsala, Sverige.
ISSN 1401-5765

ABSTRACT

Stage-discharge equations for lakes without discharge measurements

Simon Andersson

In 2015 all lakes, rivers, coastal water and groundwater should be of good ecological status according to the water framework directive from the European Union. In the process of improving the quality of Swedish water bodies, knowledge of where problems occur is needed in order to utilize the resources optimally. The ability of lakes to store water is an important factor since it controls the flow of water through the country. A stage-discharge equation is a mathematical relation between discharge from a lake and its water level. By better understanding of stage-discharge equations for lakes, their storage capacity can be described better in hydrological models.

This master thesis aims to evaluate methods for determining stage-discharge equations for lakes where a variable amount of field measurements is available. The methods developed in the project were evaluated by comparison with measured stage-discharge equations made by SMHI (Swedish Meteorological and Hydrological Institute). First, relations between lake properties and stage-discharge equations were evaluated. In the second part of the project, tests were made to observe if a stage-discharge equation could be developed from data of water levels in a lake and modeled inflow to the lake. Finally, possibilities of estimating stage-discharge equation through Sjölyftet were evaluated. Sjölyftet is a project financed by the Swedish Public Employment Service in which unemployed people in Sweden make simple hydrological measurements for SMHI.

The results showed that the use of the same constant standard parameters for all lakes in the stage-discharge equation gives large errors. The use of catchment areas, lake areas and outlet widths gave better results than applying constant standard parameters in stage-discharge equations. The best method for estimating stage-discharge equations was obtained when measurements of water level for lakes were used. The measurements from Sjölyftet could not be evaluated properly because validation data were missing. Although, the data collected from Sjölyftet might be useful in the future.

Keywords: Rating-curve, stage-discharge equation. S-HYPE, Sjölyftet

Air, Water and Landscape Sciences, Earth Sciences, Uppsala University.
Villavägen 16, SE-752 36 Uppsala, Sweden.
ISSN 1401-5765

Detta är ett examensarbete som omfattar 30 högskolepoäng och är den avslutande delen på civilingenjörsprogrammet i Miljö- och vattenteknik vid Uppsala universitet. Arbetet har genomförts på uppdrag av SMHI, Norrköping.

Handledare Joel Dahné, SMHI

Ämnesgranskare Jan Seibert, Institutionen för geovetenskaper, Luft-, vatten- och landskapslära vid Uppsala universitet

Examinator Allan Rodhe, Institutionen för geovetenskaper, Uppsala universitet

Jag vill allra mest tacka min handledare Joel Dahné. Jag också vill tacka min ämnesgranskare Jan Seibert för all hjälp och bra kommentarer till rapporten.

Även ett speciellt tack till Niclas Hjerdt på SMHI som föreslog inriktningen på detta examensarbete och fungerat som en deltidshandledare. Dessutom tack för att du drog med mig till Orsa för SMHI:s skidläger. Tack också till Göran Lindström på SMHI för bra synpunkter och svar på frågor från en frågvis student.

Arbetsplatsen för exjobbet har till största del varit på Geocentrum i Uppsala där Sofia Andersson, My Broberg, Magdalena Nilsson och Matilda Andersson förgyllt min vardag med deras närvaro. Tack för kaffet!

Uppsala 2012

Simon Andersson

Copyright © Simon Andersson och Institutionen för geovetenskaper, Luft-, vatten- och landskapslära, Uppsala universitet. UPTEC W12 023, ISSN 1401-5765
Tryckt hos Institutionen för geovetenskaper, Geotryckeriet, Uppsala universitet, Uppsala, 2012

POPULÄRVETENSKAPLIG SAMMANFATTNING

Avbördningsekvationer för sjöar utan vattenföringsmätningar

Simon Andersson

Sverige är ett land med väldigt många sjöar, nästan 100 000 st med en area större än 0,01 km². Sjöarna fungerar som lagringsmagasin för vatten när det passerar genom landskapet. Hur länge vattnet lagras i sjöarna och vilken vattennivå sjöarna har, beror på hur mycket vatten som flödar in till sjöarna och sedan hur mycket som flödar ut genom sjöutloppen. Utflödet ur sjöarna eller s.k. vattenföringen beskrivs ofta med en avbördningsekvation. En avbördningsekvation är ett matematiskt samband som beskriver hur mycket vatten som flödar ut ur en sjö vid ett bestämt vattenstånd. Ett sådant samband är intressant för att det är betydligt lättare att mäta vattennivåer i sjöar än att mäta vattenföringen. Vattennivåer i sjöar kan t.ex. mätas med elektroniska tryckgivare medan vattenföringen ofta mäts manuellt på plats. I hydrologiska modeller, som t.ex. S-HYPE, används avbördningsekvationer för att beskriva sjöarnas betydelse för vattenföringen.

Att upprätta en avbördningsekvation för en sjö är en tidskrävande och en kostsam process eftersom mätningar måste göras minst 5-10 gånger innan ett användbart samband kan erhållas. Eftersom Sverige har så många sjöar är det ekonomiskt ohållbart att mäta en avbördningsekvation för varje sjö. Därför beskrivs de allra flesta avbördningsekvationer idag för sjöar utan uppmätt samband i S-HYPE med konstanta parametrar.

Sjölyftet är ett projekt som startats av SMHI för att bl.a. förebygga arbetslöshet i landet. Projektet är finansierat av arbetsförmedlingens stödformer. I projektet har arbetslösa gjort enkla hydrologiska mätningar vid sjöar där tidigare inga fältmätningar funnits. Tanken bakom dessa mätningar var att de skulle underlätta framtagandet av avbördningsekvationer för dessa sjöar.

I detta examensarbete har metoder för att uppskatta avbördningsekvationer för utlopp till sjöar, där varierande mängd information finns tillgänglig, utvärderats. Studien gjordes hos SMHI och innefattade utvärdering av metoder som används idag för avbördningsekvationer utan vattenföringsmätningar och simuleringsförsök för att testa nya metoder. Arbetet delades upp i tre delar. I den första delen analyserades om en sjös egenskaper, såsom sjöarea, utloppsbredd, avrinningsområdets storlek, topografi mm, hade någon koppling till parametrarna i avbördningsekvationen för sjön. Detta gjordes för att sådana data kräver få eller inga fältmätningar och därmed blir framtagandet av avbördningsekvationer billigt. Den andra delen handlade om att utifrån tillgång på vattenståndsdata för en sjö, utvärdera möjligheterna till att uppskatta en avbördningsekvation. Tanken var att t.ex. installera en tryckgivare i en sjö som mäter vattenståndet kontinuerligt. Avbördningsekvationer uppskattade från sådana vattenståndsdata skulle då bli smidigare att ta fram och billigare än att skicka ut hydrologer i fält flera gånger för att mäta upp en avbördningsekvation. I den

tredje och sista delen har mätningar från Sjölyftet studerats. Metoderna som använts i projektet har utvärderats mot uppmätta avbördningsekvationer från SMHI.

Sjöutlopp är ofta väldigt oregelbundna och unika. Därför är det också komplicerat att skapa generella avbördningsekvationer för sjöar. Att uppskatta avbördningsekvationer utan fältmätningar är möjligt men medför stora osäkerheter. Genom att använda avrinningsområdets storlek, utloppsbredden för sjöar och arean på sjöarna för att uppskatta avbördningsekvationer, kan bättre resultat erhållas än att ansätta konstanta parametrar i avbördningsekvationer.

Genom att använda vattenståndsdata från tryckgivare och modellerat inflöde från S-HYPE kan betydligt bättre avbördningsekvationer uppskattas för sjöar i Sverige än genom att ansätta konstanta parametrar i avbördningsekvationen. En kostnad för tryckgivare och installation uppkommer dock men detta är billigare och enklare än att mäta upp avbördningsekvationer via fältmätningar vid sjöar.

Sjölyftet har samlat in mängder av data bl.a. har utloppens geometri karterats och enklare flödesmätningar gjorts. Sådana data borde kunna relateras till sjöarnas avbördningsekvationer men för utvärdering krävs valideringsdata.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1. INLEDNING	1
1.1 SYFTE	2
1.2 AVGRÄNSNINGAR.....	2
2. BAKGRUND	3
2.1 AVBÖRDNINGSEKVATIONER.....	3
2.1.1 Bestämmande sektion	4
2.1.2 Vattenståndsmätning (W)	4
2.1.3 Vattenföringsmätning (Q).....	4
2.1.4 Bestämning av avbördningsekvation.....	7
2.2 S-HYPE	7
2.3 GENERELLA AVBÖRDNINGSEKVATIONER FÖR SJÖAR DÄR INGA FÄLTMÄTNINGAR FINNS TILLGÄNGLIGA.....	8
2.3.1 Tidigare studier.....	8
2.4 UPPSKATTNING AV AVBÖRDNINGSEKVATIONER HOS SJÖAR FRÅN VATTENSTÅNDSDATA	10
2.4.1 Kontinuerliga vattenståndsserier	10
2.4.2 Enstaka vattenståndsobservationer	11
2.4.3 Satelliter som vattenståndsmätare	11
2.5 FÖRBÄTTRING AV AVBÖRDNINGSEKVATIONER MED HJÄLP AV MÄTDATA FRÅN SJÖLYFTET	12
2.5.1 Sjölyftet	12
2.5.2 Hydraulisk Geometri	12
3. METOD	14
3.1 AVBÖRDNINGSEKVATIONER BASERAT PÅ KARTINFORMATION .	14
3.1.1 Data som använts.....	14
3.1.2 Arbetsätt	14
3.2 AVBÖRDNINGSEKVATIONER BASERAT PÅ VATTENSTÅNDSTIDSERIER	18
3.2.1 Data som använts.....	18
3.2.2 Arbetsätt	18
3.2.3 Utvärdering.....	19
3.3 AVBÖRDNINGSEKVATIONER BASERAT PÅ KARTERINGAR I FÄLT	20

3.3.1	Data som erhållits med Sjölyftet	20
3.3.2	Arbetsätt	21
4.	RESULTAT	22
4.1	AVBÖRDNINGSEKVATIONER BASERAT PÅ KARTINFORMATION .	22
4.1.1	Parametermetoden	22
4.1.2	GO-metoden	23
4.1.3	GT 1-metoden.....	23
4.1.4	GT 2-metoden.....	23
4.1.5	SA-metoden	24
4.1.6	LF-metoden	24
4.2	AVBÖRDNINGSEKVATIONER BASERAT PÅ VATTENSTÅNDSTIDSSERIER	25
4.2.1	Kontinuerliga vattenståndsserier	25
4.2.2	Enstaka vattenståndsobservationer	25
4.3	AVBÖRDNINGSEKVATIONER BASERAT PÅ KARTERINGAR I FÄLT	26
4.3.1	Sjölyftet	26
4.4	JÄMFÖRANDE RESULTAT MELLAN DE OLIKA METODERNA.....	26
5.	DISKUSSION	28
5.1	AVBÖRDNINGSEKVATIONER BASERAT PÅ KARTINFORMATION .	28
5.1.1	Parametermetoden	28
5.1.2	GT 1 & 2.....	28
5.1.3	SA-metoden	29
5.1.4	LF-metoden	29
5.1.5	Sammanfattande diskussion	29
5.2	AVBÖRDNINGSEKVATIONER BASERAT PÅ VATTENSTÅNDSTIDSERIER	30
5.2.1	Kontinuerliga vattenståndsserier	30
5.2.2	Enstaka vattenståndsobservationer	31
5.2.3	Sammanfattande diskussion	31
5.3	AVBÖRDNINGSEKVATIONER BASERAT PÅ KARTERINGAR I FÄLT	32
5.4	SAMMANFATTANDE DISKUSSION.....	33

6. SLUTSATS	34
7. LITTERATURFÖRTECKNING	35
8. APPENDIX	39
8.1 MATLABPROGRAMMET	39
8.2 RESULTAT AV MATLABKÖRNINGAR	44
8.3 SAMMANFATTNING AV SJÖLYFTETS MÄTNINGAR	46
8.4 ÅR OCH ÅRFÖLJDER SOM ANVÄNTS FÖR ENSTAKA VATTENSTÅNDSOBSERVATIONER.....	48

1. INLEDNING

Avrinning från land kan beskrivas med modeller, men för att få dynamiken hos vattenföringen i vattendragen krävs att hänsyn tas till sjöars dämpande effekt genom deras tillfälliga lagring. Detta är komplicerat för Sverige, eftersom landskapet innehåller många sjöar. För att beskriva sjöarnas dämpande effekt krävs kunskap om hur vattenföringen beror av vattenståndet, dvs. avbördningskurvan (Mueses m.fl., 2007). En avbördningsekvation är ett matematiskt samband som beskriver avbördningskurvans form. Att uppskatta avbördningsekvationer för så många sjöar som det finns i Sverige har visat sig svårt och kostsamt. Därför syftar denna studie till att utvärdera möjligheterna till att förbättra generaliseringen av avbördningsekvationer.

Uppgifter om vattenföring är viktigt i många sammanhang t.ex. för att kartera översvämningsrisker, värna om djur- och växtliv och vid elkraftsproduktion via vattenflöden (Naturvårdsverket, 2008). Idag tas avbördningsekvationen för en sjö fram genom mätning på plats av vattenföring mot korresponderande vattenstånd. Detta är en dyr och tidskrävande metod eftersom hydrologer måste skickas ut i fält flera gånger under lång tid för att upprätta en tillförlitlig avbördningskurva (Clarke, 1999). Som en följd av de ekonomiska och tidskrävande aspekterna är flertalet av Sveriges sjöar utan fältmätningar och därmed också utan bra avbördningsekvation.

I SMHIs hydrologiska modellverktyg (S-HYPE), som simulerar flöden och omsättning av vatten och näringsämnen för hela Sverige, representeras avbördningsekvationer väldigt generellt för sjöar som saknar värden från fältmätningar, ofta med konstanta värden för parametrarna i avbördningsekvationen. Detta leder till att sjöarnas modellerade magasineringsförmåga och utflöde blir bristfälligt uppskattad. Om det, utgående från enklare mätningar från platsbesök, kartor eller någon annan metod, gick att ta reda på bättre avbördningsekvation för sjöar skulle detta kunna generera en förbättring av modellen.

Sjölyftet är ett projekt som startades 2010 av SMHI för att bl.a. förebygga arbetslösheten i landet och samtidigt få bättre information om sjöar (SMHI a, 2012). Projektet går ut på att landets kommuner kartlägger Sveriges sjöar åt SMHI genom att låta arbetslösa, finansierat via jobb- och utvecklingsgarantin fas 3, göra enkla hydrologiska mätningar vid sjöar. Flera utav landets kommuner har varit positiva till detta och ett hundratal sjöar i landet har karterats. Dessa mätningar var tänkta att kunna användas för att uppskatta en avbördningsekvation för respektive sjö. De data som samlats in har dock inte utvärderats tidigare men om mätningarna visar sig ha en betydande signifikans för sjöars avbördningsekvationer kan Sjölyftet komma att bli användbart.

1.1 SYFTE

Det övergripande syftet med examensarbetet var att undersöka metoder för att uppskatta avbördningsekvationer för sjöar utan vattenföringsmätningar och där olika sorters information finns tillgänglig. De aspekter som analyserades var metodernas noggrannhet och tidsåtgången för varje metod.

Specifika mål var att uppskatta sjöars avbördningsekvationer utan att några fältmätningar fanns tillgängliga. Ett annat mål var att uppskatta avbördningsekvationer för sjöar genom att utnyttja vattenståndsdata. Ett tredje mål var att utvärdera möjligheter att förbättra avbördningsekvationer med mätdata från Sjölyftet.

1.2 AVGRÄNSNINGAR

Metoderna som testats och utvecklats i arbetet har inte utvärderats i någon hydrologisk modell (som t.ex. SMHIs modell, S-HYPE). Detta skulle kunna vara en intressant vidare utvärdering som dock inte var möjligt inom detta examensarbete. Många av Sveriges sjöar är reglerade på något sätt. Det kan vara p.g.a. vattenkraft, jordbruk eller allmänt intresse. I detta arbete har endast avbördningsekvationer för oreglerade sjöar använts för utvärdering.

2. BAKGRUND

2.1 AVBÖRDNINGSEKVATIONER

Det är viktigt att övervaka vattentillgångar för att kunna prediktera hög- och lågflöden i sjöar och vattendrag. Detta ger en uppfattning av varaktighet och återkomsttid på översvämningssperioder och torrperioder. Andra viktiga användningsområden för avbördningskurvor är t.ex. att förbättra modeller för att beräkna transporter av ämnen eller elproduktion i vattendrag.

En avbördningskurva är en matematisk modell som beskriver hur vattenföringen för en speciell tvärsektion i ett vattendrag förändras med vattenståndet (Naturvårdsverket, 2008). När en avbördningskurva är upprättad är det möjligt att ta fram kontinuerliga vattenföringsserier eftersom vattenstånd är betydligt lättare att mäta än vattenföring (Clarke, 1999). Avbördningskurvor beskrivs med en avbördningsekvation uttryckt enligt:

$$Q = K(W - W_0)^P \quad (1)$$

Q = Vattenföringen [m^3/s]

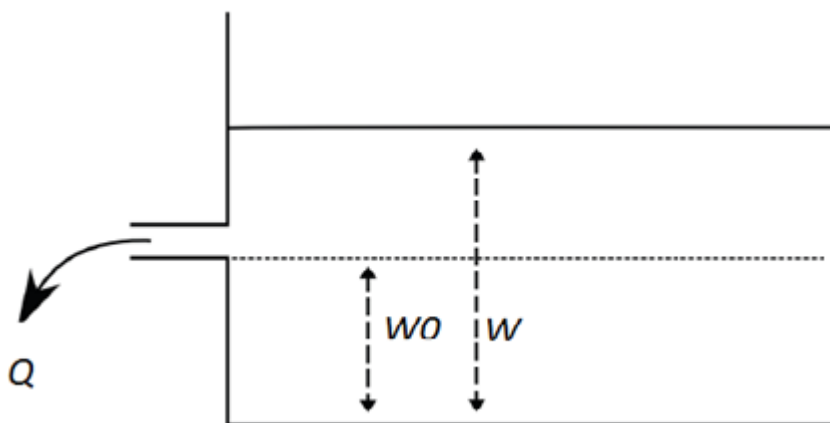
W = Vattenståndet [m]

W_0 = Tröskelvärde på vattenståndet [m]

K = Koefficient [Definierad för Q i m^3/s och W i m]

P = Exponent [Definierad för Q i m^3/s och W i m]

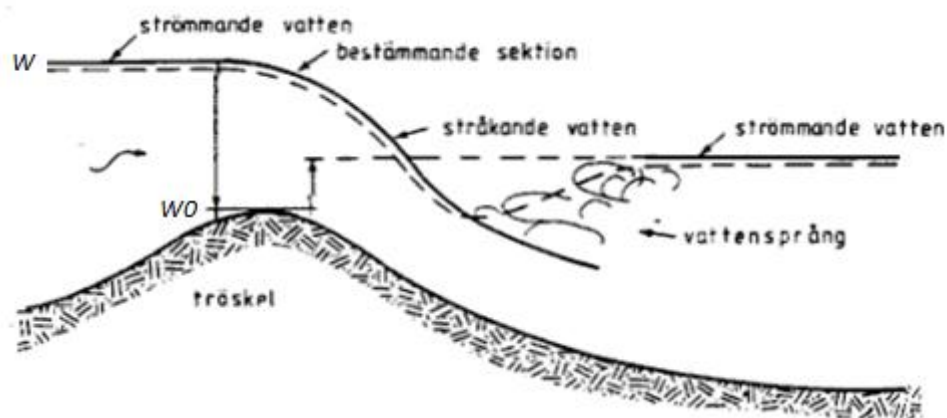
Tröskelvärdet W_0 är den höjd på vattenståndet då inget utflöde finns (figur 1).



Figur 1 Schematisk bild över hur tröskelvärdet för vattenståndet förhåller sig till vattenståndet (Modifierad från LISFLOOD, 2010).

2.1.1 Bestämmande sektion

Vid upprättande av en avbördningskurva är valet av bestämmande sektion avgörande. För att kurvan skall vara entydig krävs att vattenståndet uppströms den bestämmande sektionen inte påverkas av dämningar nedströms. Därför väljs optimalt den bestämmande sektionen där strömmande vatten övergår till stråkande vatten (figur 2).



Figur 2 Bestämmande sektion för sjöutlopp (Modifierad från Naturvårdsverket, 2008, s.5).

2.1.2 Vattenståndsmätning (W)

Vattenståndet i vattendrag mäts ofta med en enkel mätsticka, flottör med skrivare, ultraljud eller tryckgivare, där registrering kan ske antingen manuellt eller med en loggande fjärrlänk (Naturvårdsverket, 2008). Vid lugna förhållanden kan en flottör med skrivare användas. En flottör kan liknas vid ett flöte förbundet till ett registreringsverktyg. Vid tuffare förhållanden när man inte vill ha instrument i vattnet med anledning av t.ex. båttrafik kan en ultraljudsmätare användas. En ultraljudsmätare skickar ut ultraljudsvågor från en plats ovanför vattnet som mäter hur långt det är till vattenytan (Swedaq, 2012). En annan metod är att använda en tryckgivare. Tryckgivaren installeras under vattenytan och mäter sedan hur stort tryck vattnet ovanför ger. Trycket relateras sedan till ett vattenstånd.

2.1.3 Vattenföringsmätning (Q)

En vattenföringsmätning kräver ofta manuellt arbete och kan göras på en rad olika sätt. Vilken metod som väljs för att mäta vattenföringen beror på vattendragets karaktär och vilken typ av utrustning som finns tillgänglig.

2.1.3.1 ADCP

ADCP (Acoustic doppler current profiler) är en vattenföringsmätare som använder akustisk dopplerteknik för att mäta vertikala profiler av horisontella vattenströmmar (Simpson och Oltman, 1993). Akustiska pulser skickas ut från verktyget och delar av energin kommer tillbaka. ADCP:n relaterar sedan denna energi till vattenhastigheter. Vattenhastigheterna för varje profil kan sedan omvandlas till vattenföring genom summering i tvärsnittssektioner (se beskrivning av Flygel).

2.1.3.2 Flygel

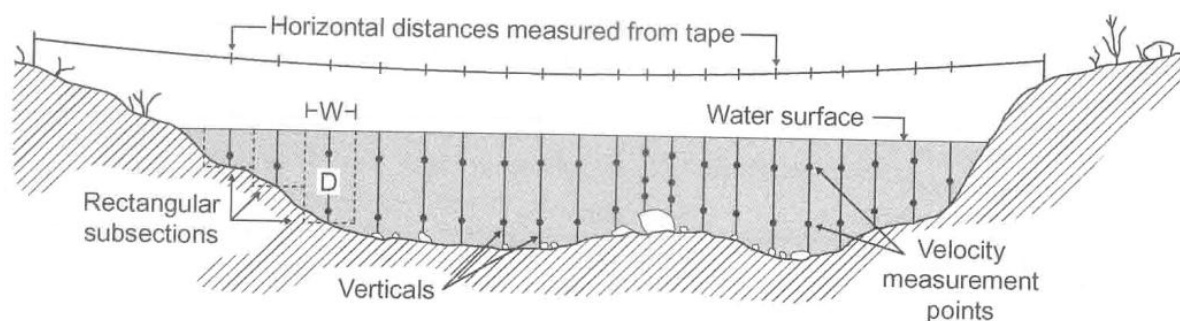
En flygel med propeller eller mer moderna akustiska flyglar är ett verktyg som ofta används (Naturvårdsverket, 2008). Dessa mätare registrerar hastigheten på vattnet vid en tidpunkt. Genom uppdelning i tvärsnittssektioner (figur 3) av mätsektionen kan en vattenföring bestämmas via summering av de olika flödesbidragen (ekvation 2).

$$Q = \sum_1^n v(i)A(i) \quad (2)$$

Q = Tvärsnittssektionens vattenföring [m^3/s]

v = Vattnets hastighet i tvärsnittssektionen [m/s]

A = Tvärsnittsarea av sektion [m^2]



Figur 3 Tvärsnittsektion av ett vattendrag (Gordon m.fl., 2004).

2.1.3.3 Utspädningsmetoden

I vissa fall är mätning med flyglar svårt p.g.a. kraftig turbulens eller ojämn botten. Då kan utspädningsmetoden användas där ett spårämne, ofta salt, med en känd koncentration appliceras i vattendraget (ekvation 3). Sedan mäts hur koncentrationen av ämnet späds ut över tid och detta kan därefter relateras till en vattenföring (Johansson och Brunnberg, 1975).

$$Q = q \frac{c_l - c_p}{c_p - c_b} \quad (3)$$

Q = Vattenföring i vattendraget [m^3/s]

q = Vattenföring av spårämneslösning [m^3/s]

c_b = Naturlig koncentration i vattendrag [g/dm^3]

c_l = Koncentration av spårämneslösning [g/dm^3]

c_p = Koncentration av provet [g/dm^3]

2.1.3.4 Överfallsvärn

Ibland kan vattenföringen i ett mindre vattendrag vara för litet eller för otillgängligt för att kunna mätas. Då kan en anlagd mätsektion skapas för att direkt ur vattenståndet kunna beräkna vattenföringen. Vanligtvis brukar ett triangulärt- eller ett rektangulärt överfall (ekvation 4-5) byggas (Lärke och Hillgren, 2003; Bjerketorp, 1975).

Triangulärt överfall

$$Q = \frac{8}{15} \mu \sqrt{(2g)} W^{\frac{5}{2}} \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right) \quad (4)$$

Rektangulärt överfall

$$Q = \frac{3}{2} b \mu \sqrt{(2g)} W^{\frac{3}{2}} \quad (5)$$

Q = Vattenföring [m³/s]

μ = Enhetslös koefficient som är approximativt konstant, värde mellan 0,60 och 0,65

g = Tyngdaccelerationen [m/s²]

b = Bredden på rektangulära överfallet [m]

W = Vattenståndet över vinkelspetsen respektive botten [m]

α = Dammens öppningsvinkel i grader (90° kallas Thompson-överfall)

2.1.3.5 Lutning -area metoden

Lutning -area metoden med Mannings ekvation är en vida använd teknik för att indirekt bestämma vattenföringen i kanaler. Vattenföringen beräknas utifrån skillnader i vattenstånd, tvärsnittsarea på vattendraget och vattendragets egenskaper (som t.ex. lutning på vattenytan och skrovligheten på botten och sidorna). Detta är en välbeprövad metod i USA och många försök har gjorts (Rantz m.fl., 1982). Fallet i vattennivån representerar energiförluster från vattendragets skrovliga botten och sidor (ekvation 6).

$$Q = \frac{AR^{\frac{2}{3}}\sqrt{S}}{n} \quad (6)$$

Q = Vattenföring [m³/s]

A = Tvärsnittsarea [m²]

R = Hydraulisk radie [m]

S = Hydraulisk lutning [%]

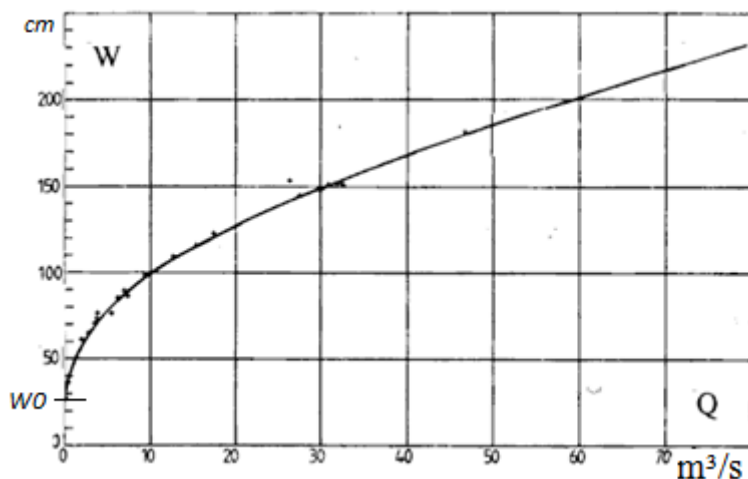
n = Skrovlighetskoefficient beror av vilket material tvärsnittet består av [s/m^{1/3}]

2.1.3.6 Övriga metoder för att mäta vattenföring

- Flottörmetoden är när ett flytande objekt, vanligtvis apelsin, klockas en känd sträcka genom vattendraget och via mätning av känd tvärsnittssection kan en grov uppskattning av vattenföringen erhållas (Sandsten, 2006).
- Volym/Tid-metoden fungerar genom mätning med kärl, där tiden mäts för hur lång tid det tar att fylla en känd volym (Naturvårdsverket, 2008).

2.1.4 Bestämning av avbördningsekvation

När data för både vattenföring och korresponderande vattenstånd erhållits sker en anpassning av en kurva till dessa mätningar med t.ex. minsta kvadratmetoden (figur 4). Kurvan kan sedan beskrivas med en ekvation som blir vattendragets s.k. avbördningsekvation. För att kurvan skall ha en tillräcklig noggrannhet görs normalt mellan 5 och 10 mätningar med olika vattenföring och vattenstånd. Arbetstiden för en vattenföringsmätning skiljer sig åt beroende på hur brett utloppet är (Ragge, 2012, muntlig källa).



Figur 4 Exempel på utformning av en avbördningskurva (Naturvårdsverket, 2008).

En avbördningsekvations anpassning kan förändras över tiden pga. tillförsel av sediment, vegetationstillväxt eller erosion i tvärsnittsektionen (Westerberg, 2011). Därför krävs övervakning och ibland underhåll för att sambanden ska kunna användas under en längre tid. Korrigering för isdämning kan ibland också vara en förutsättning.

2.2 S-HYPE

S-HYPE (HYdrological Predictions for the Environment i Sverige) är en hydrologisk modell som simulerar vattenföring och omsättningstider samt transport av vatten och näringsämnen. Modellen skapades år 2008 av SMHI främst för att underlätta arbetet med att uppnå EU:s ramdirektiv för vatten som innebär att alla sjöar, vattendrag, kustvatten samt grundvatten ska uppnå god ekologisk status till år 2015 (Europaparlamentets och rådets direktiv, 2000). S-HYPE kan förenkla karaktäriseringen

av vattenförekomster i Sverige och även upprättandet av åtgärdsplaner för att nå målet (SMHI, 2010).

Modellen simulerar för varje avrinningsområde en vattenföring och ämnestransport från nederbörd, via mark och vattendrag och slutligen till vattendragets utlopp. I S-HYPE beräknas fosfors- och kvävetets kretslopp och andra vattenprocesser i sjöar och vattendrag. Dessa processer är direkt kopplade till utflödet från en sjö eftersom detta bl.a. styr uppehållstiden för vattnet. Utflödet i modellen beskrivs av en avbördningskvation eller en regleringsrutin. Avbördningskvationer för sjöutlopp utan information i modellversionen S-HYPE2010 version 1.0.2 är beskrivna väldigt enkelt, genom att ansätta $K=3$ och $P=2$ (ekvation 1). Med bättre uppskattning av avbördningskvationer blir inte bara vattenförings- och vattennivåberäkningarna bättre utan också de modellerna näringsämnesprocesserna.

2.3 GENERELLA AVBÖRDNINGSEKVATIONER FÖR SJÖAR DÄR INGA FÄLTMÄTNINGAR FINNS TILLGÄNGLIGA

Att ta reda på en sjös avbördningskvation medför oftast inga svårigheter men det kräver vattenföringsmätningar vid olika vattenstånd, d.v.s. många mätningar. Problemet är att det är ekonomiskt ohållbart att skicka ut hydrologer i fält för upprätta en avbördningskvation för varenda sjö, eftersom det finns nästan 100 000 sjöar i Sverige större än 1 hektar (SMHI b, 2012). Vinsten av att kunna uppskatta mer korrekta avbördningskvationer genom att titta på sjöars egenskaper kan generera en säkrare modell till en låg kostnad. (Braca, 2008).

2.3.1 Tidigare studier

2.3.1.1 Generell avbördningskurva

Ett arbete om generella avbördningskurvor utfördes år 2002 av Gun Grahn på SMHI. Hon försökte hitta en modell för att skapa avbördningskurvor för sjöar där fältdata saknades. Detta gjordes genom att lista alla befintliga sjöar med utlopp som dels var oreglerade, dels hade mätstationer för vattenstånd och vattenföring. En del av sjöarna hade framräknade avbördningskvationer medan vissa hade olika parametrar i avbördningskvationerna för olika vattenstånd. För dessa togs en förenklad variant fram där samma parametrar använts för hela vattenståndsregistret. För utvärdering av metoderna användes 67 sjöar (Grahn, 2002).

Slutresultatet av testerna blev en formel för K-värdet och en tabell för P-värdet (ekvation 1). K-värdet fås genom att kombinera avrinningsområdets area och sjöutloppets bredd (ekvation 7). Utloppets bredd uppskattades via kartor. P-värdet valdes utifrån vilken sjöprocent utloppssjön utgjorde av hela dess avrinningsområde (tabell 1). Resultaten från utvärdering av metoden blev som Grahn (2002, s.2) nämner:

”Min erfarenhet hittills är att om man inte strävar efter helt korrekt dynamik ser det rätt bra ut med denna ansats”.

$$K = \frac{A}{\alpha} + \gamma b \quad (7)$$

A = Avrinningsområdets area [anges i km²]

b = Utloppets bredd [anges i m]

$\alpha = 100$ [Empirisk parameter, gäller om A anges i km²]

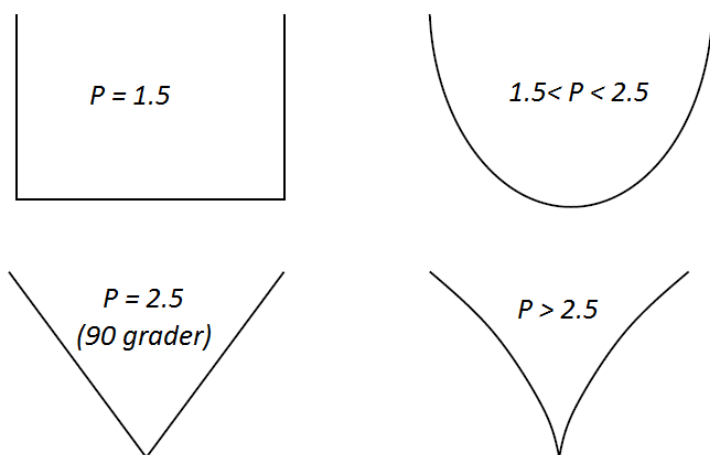
$\gamma = 0,5$ [Empirisk parameter, gäller om b anges i m]

Tabell 1 Gun Grahn's framtagna P-värden baserat på vilken procent utloppssjön utgör av avrinningsområdet (Grahn, 2002).

Sjöprocent (%)	P
< 1	1,8
1-5	2
> 5	2,5

2.3.1.2 En hydraulikers perspektiv på avbördningsekvationen

År 2005 gjorde Asgeir Petersen-Øverleir på NVA (Norges vassdrags- og energidirektorat), ett arbete om hydrauliken i avbördningsekvationer (Petersen-Øverleir A, 2005). I rapporten skrev han att om utloppet för en sjö är symmetriskt, kan exponenten i avbördningsekvationen (P-värdet) härledas från formen (figur 5). Naturliga utlopp är dock typiska exempel på osymmetri och oregelbundet vilket gör att bedömningen på formen för dessa sällan är enkel och entydig.



Figur 5 Olika form på utlopp och P-värden för dessa former (Modifierad från Petersen-Øverleir A, 2005, sid 14).

2.3.1.3 Avbördningsekvationer i avrinningsmodellen LISFLOOD

LISFLOOD är en GIS-baserad hydrologisk avrinningsmodell skapad av den Europeiska varningstjänsten för översvämningar, EFAS (European Flood Alert System), som är

finansierat av Joint Research Centre som i sin tur är finansierat av EU. EFAS startades 2002, mycket till följd av de stora översvämningarna i Elbe och Donau, för att förbättra katastrofhanteringen i Europa

I modellen representeras sjöutlopp utan fältmätningar med ett K = bredden på utloppet i meter och $P = 1,5-2,0$ (ekvation 1). Eftersom Sverige och övriga Skandinavien har väldigt många sjöar jämfört med Mellan- och Sydeuropa kan varningstjänsten bli mer osäker (Van der Knijff och De Roo, 2008).

2.4 UPPSKATTNING AV AVBÖRDNINGSEKVATIONER HOS SJÖAR FRÅN VATTENSTÅNDSDATA

Att mäta vattenföring i utloppet av en sjö är svårare och mer tidskrävande än att bara mäta vattenståndet. Om vattenståndsvariationerna och arean för en sjö är kända kan de, tillsammans med modellerat inflöde till sjön (Q_{in}), ge ett uttryck för utflödet (Q_{ut}) (ekvation 8).

$$Q_{ut} = Q_{in} - A \frac{dh}{dt} + (A(P - E)) \quad (8)$$

Q_{ut} = Vattenföring vid utflöde [m^3/s]

Q_{in} = Vattenföring till sjön modellerat från S-HYPE [m^3/s]

dh/dt = Förändringen i vattenstånd per tidssteg [$m/dygn$]

A = Sjöarea [m^2]

P = Nederbörd [m/s]

E = Avdunstning [m/s]

2.4.1 Kontinuerliga vattenståndsserier

Idén med att använda kontinuerliga vattenståndsserier är att utvärdera värdet av att utnyttja elektroniska tryckgivare i sjöar. Dessa tryckgivare installeras vid sjöar och loggar kontinuerligt vattenståndet. SMHI använder redan sådana tryckgivare för mätning av vattenstånd (Ragge, 2012, muntlig källa). Utifrån dessa vattenståndsdata och modellerat inflöde till sjön från hydrologiska modeller, ska sedan en avbördningsekvation kunna tas fram utan att vattenföringen behöver mätas. De använda tryckgivarna flyttas sedan vidare till andra sjöar där de mäter vattenståndet på nytt. Denna metod blir billigare och mer tidseffektiv än att skicka ut hydrologer i fält för att mäta både vattenstånd och vattenföring. En investeringskostnad för tryckgivare på ca 25000 kr och en mindre installationskostnad uppkommer dock för metoden (Ragge, 2012, muntlig källa).

2.4.2 Enstaka vattenståndsobservationer

En annan enklare metod som testats i detta projekt bygger på samma princip som att använda kontinuerliga vattenståndsserier men med glesare observationer. Vid sjöar av intresse tänktes att installation av peglar görs. Dessa peglar läses av manuellt av personer inom rådande kommun. En avbördningsekvation kan sedan uppskattas utifrån dessa vattenståndsdata och modellerat inflöde till sjön från en hydrologisk modell. Hur ofta och under hur lång tid dessa mätningar måste ske för att kunna etablera en bra avbördningsekvation är avgörande för metoden eftersom transportkostnader och lönekostnader ökar ju fler platsbesök som måste göras. När SMHI åren 2005-2007 utvecklade HYPE-modellen tog de hjälp av boende vid sjön Vindommen för mätning av vattenstånd (Lindström m.fl., 2010). Vattenståndsdata användes i det här fallet för att validera HYPE-modellen men om det är möjligt att få hjälp av närboende personer med sådana mätningar runt sjöar kanske bättre avbördningsekvationer kan erhållas.

2.4.3 Satelliter som vattenståndsmätare

Fördelen av ett satellitbaserat övervakningssystem för vattenstånd skulle kunna vara att det kan fylla i luckor där det finns lite eller ingen information om vattenstånd i sjöar. En annan fördel skulle kunna vara att kostnaderna för hydrologisk installation och övervakning skulle reduceras kraftigt. Eumetsat, den Europeiska operativa satellit-agenturen för övervakning av väder, klimat och omgivning har ett flertal satelliter i omloppsbana runt jorden. Satelliterna har bl.a. ett instrument som kallas altimeter som registrerar nivåer av havsytan (Cretaux J, 2009).

I dagsläget används mätdata från dessa satelliter för att bestämma havsnivåer, vindar och våghöjder. Studier har även visat att vattenstånden på större sjöar, som t.ex. Väneren, och vattendrag också kan utvinnas ur mätdatan (Legos, 2012). Det största problemet med den satellitdata som idag finns att tillgå, är att störningar uppkommer vid höjdmätningar över land eftersom berg, myrmarker, moln och andra faktorer påverkar mätningarna. Detta leder till missvisande mätningar och därmed ganska oanvändbara data för de flesta sjöar. För att vattenstånd mätt med satelliter skall kunna användas till att bestämma avbördningsekvationer för sjöar måste altimetrarna hos satelliterna bli säkrare och mindre störningsmottagliga.

Ett projekt som pågår som kan förbättra satelliternas hydrologiska kapacitet är SWOT (Surface Water hydrology and Ocean surface Topography mission). Det är ett samarbete mellan de franska och amerikanska rymdagenturerna, CNES och NASA (CNES, 2012). Målet med projektet är att konstruera en satellit som kan mäta vattennivåerna i floder, sjöar, hav och översvämmade zoner. Satelliten kommer att heta KaRIN och den kommer att kunna täcka av jordens hela yta två gånger på 21 dagar. Den stora skillnaden ur ett hydrologiskt perspektiv mot föregångarna är att reflektionsstörningarna från landtytor och andra störningar skall minimeras och säkrare

höjddata kan erhållas. Projektet befinner sig just nu i utvecklingsstadiet och uppskjutning av satelliten planeras år 2019.

2.5 FÖRBÄTTRING AV AVBÖRDNINGSEKVATIONER MED HJÄLP AV MÄTDATA FRÅN SJÖLYFTET

2.5.1 Sjölyftet

SMHI startade år 2010 ett projekt som heter Sjölyftet. Det är ett projekt med syfte att dels förebygga arbetslösheten i landet, dels få fältmätningar till låg kostnad. Projektet går ut på att landets kommuner kartlägger Sveriges sjöar åt SMHI genom att låta arbetslösa, finansierat via jobb- och utvecklingsgarantin Fas 3, göra enkla mätningar på sjöutlopp vid sjöar där inga fältmätningar tidigare funnits. Målet med projektet är att använda mätdata från Sjölyftet för att bättre kunna beskriva sjöars magasineringsförmåga och därmed få en mer tillförlitlig hydrologisk modell. Genom en säkrare modell kan arbetet med att uppfylla kraven från EU:s vattendirektiv underlättas. En säkrare modell ger också bättre underlag till den hydrologiska prognos- och varningstjänsten som SMHI driver.

Vid platsbesöken, som gjordes inom Sjölyftet, skickades personer utan hydrologisk utbildning ut i fält med instruktioner att beskriva sjöars utlopp. Ett pilotprojekt för Sjölyftet genomfördes sommaren 2010 i Norrköping och flera av landets kommuner har varit positiva till projektet. Detta har medfört att ett hundratal sjöar i landet har karterats. De data som samlats in har ännu inte utvärderats (SMHI a, 2012).

2.5.2 Hydraulisk Geometri

``Hydraulisk geometri`` är en teknik för att uppskatta vattenföringen som utvecklats av amerikanska hydrologer på 1950-talet för att undersöka sambanden mellan bl.a. strömhastighet, bredd, djup och vattenföring i ett vattendrag (Leopold och Maddock, 1953). Ett stort fältarbete genomfördes och stora mängder data från floder i världen samlades in. Empiriska samband mellan de olika variablerna och vattenföringen hittades.

Ett modernare försök med hydraulisk geometri gjordes 2007 av SMHI där de via provtappningar från Höljes kraftverksdamm i Värmland upprättade en enkel empirisk modell utifrån mätningar på strömhastighet, bredd och djup i vattendraget (Hjerdt m.fl., 2007).

Sjölyftet har möjlighet att mäta de samband som finns i hydraulisk geometri. För att kunna utvärdera om bra vattenföringsberäkningar kan göras krävs validering mot uppmätta vattenföringsserier eller avbördningsekvationer. Huruvida denna metodik är bättre än den traditionella avbördningsekvationen måste också utvärderas.

De matematiska samband som användes vid experimenten var:

$$Q = \text{djup} \cdot \text{bredd} \cdot \text{hastighet} = WDV \quad (9)$$

$$W = a \cdot Q^b \quad (10)$$

$$D = c \cdot Q^f \quad (11)$$

$$V = k \cdot Q^m \quad (12)$$

W = Bredd på vattendrag [m]

D = Medeldjup i vattendrag [m]

V = Vattnets hastighet [m/s]

Q = Vattenföring [m^3/s]

a, c, k, b, f och m är konstanter

Parametrarna i ekvationerna bestäms genom att en kurva anpassas till mätdata för varje ekvation. Det behövs flera olika flödesnivåer för att parametrarna ska kunna bestämmas.

De samband som gäller:

$$Q = WDV = (aQ^b)(cQ^f)(kQ^m) = (ack)Q^{(b+f+m)} \quad (13)$$

Där:

$$ack = 1 \quad (14)$$

och:

$$b + f + m = 1 \quad (15)$$

Medelvärden som beräknats utifrån många sjöar (Leopold och Maddock, 1953):

$$b = 0,5 \text{ [-]}$$

$$f = 0,4 \text{ [-]}$$

$$m = 0,1 \text{ [-]}$$

3. METOD

I projektet var avbördningsekvationer för 66 oreglerade sjöar i Sverige tillgängliga. Sjöarnas storlek varierade från 0,07 km² till över 300 km² med ett medianvärde på 6,9 km². De flesta av Sveriges sjöar är små, ca 80 000 av 95 700 är mindre än 0,1 km² (SMHI b, 2012). Det betyder att metoderna i projektet är testade för en datamängd som utgör mindre än 20 % av Sveriges fördelning av sjöar. Av dessa 66 sjöar användes 41 sjöar till kalibrering av de framtagna metoderna och 14 st för validering.

Kalibreringsdatan och valideringsdatan delades så att båda datamängderna innehöll stora och små sjöar. Datamängderna delades också efter sjöarnas geografiska position så att de innehöll både små och stora sjöar från södra Sverige respektive små och stora sjöar från norra Sverige. För resterande 11 sjöar fanns avbördningsekvationer men där viktig information som sjöarea, avrinningsområdets area eller utloppsbredd inte kunde hittas. Därför uteslöts dessa ur projektet.

3.1 AVBÖRDNINGSEKVATIONER BASERAT PÅ KARTINFORMATION

I den första delen i projektet undersöktes om det går att uppskatta en sjös avbördningsekvation utan tillgång till några fältmätningar.

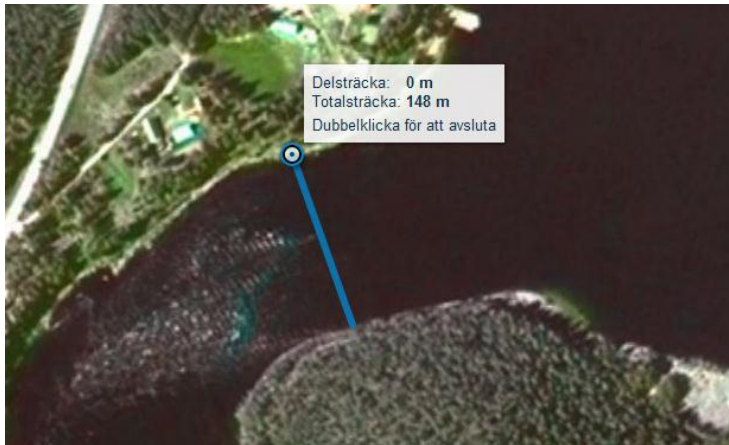
3.1.1 Data som använts

För 41 sjöar har följande information använts som kalibreringsdata för att ta undersöka avbördningsekvationerna:

- Uppmätta avbördningsekvationer för sjöarna (K, P och W_0 , se ekvation 1)
- Avrinningsområdets area
- Sjöns area
- Sjöns procent av avrinningsområdet
- Topografi uppskattad från Lantmäteriets kartor
- Utloppsbredd uppskattad från flygfoton
- Vattenföringsdata

3.1.2 Arbetsätt

Tillgänglig information samlades in via SMHI:s dataregister. För att ta reda på hur utloppets bredd såg ut för varje sjö användes flygbilder från Eniros karttjänst. Mätning av bredden skedde idealt vid en bestämmande sektion där vattnet övergick från strömmande till stråkande vatten (figur 6). Vid många av sjöarna fanns dock ingen sådan sektion och valet av bestämmande sektion blev då mer subjektivt. Topografin som omslöt sjöarna bedömdes från Lantmäteriets kartor med den stigande skala flack, måttlig, brant eller lodrät.



Figur 6 Utloppsmätning vid Råktjärv, Överkalix med Eniros satellitkartverktyg (Hämtad från Eniro.se, 2012; © Lantmäteriet, 2012)

Ett korrelationstest gjordes för att se om de uppmätta variablerna hade någon koppling till K- eller P-värdet (ekvation 1). En korrelationsmatris för data hos 37 sjöar utvärderades med hjälp av Excels inbyggda statistikmodul.

Kombinationer av variabler testades genom att först plotta dessa mot de uppmätta parametrarna i avbördningsekvationerna. Sedan gjordes en numerisk utvärdering genom att i Matlab jämföra resultatet från framräknade metoder mot uppmätta avbördningsekvationer.

3.1.2.1 Parametermetoden

S-HYPE representerar sjöar utan fältmätningar med konstanta värden på K- och P-värdet i avbördningsekvationen. I denna metod testades om S-HYPE använder den bästa ansättningen för konstanta värden. Detta gjordes genom att låta ett Matlab-program testa kombinationer av K- och P-värden som täckte in det möjliga parameterrummet och sedan utvärdera vilka som gav det minsta felet. P-värdet varierades i intervallet 1-6 och K-värdet varierades från 0,1-300. Intervallen valdes utifrån studie av befintliga avbördningsekvationer för att med säkerhet få med alla realistiska parameter tester.

3.1.2.2 GO-metoden

GO-metoden (Gun original) är den metod som Gun Grahn på SMHI använt för att uppskatta K- och P-värdet i avbördningsekvationen (ekvation 7 och tabell 1).

3.1.2.3 GT 1 och 2 -metoderna

Metoderna GT (Gun trimmad) 1 och 2 utgick ifrån metodiken som GO-metoden använt för att uppskatta ett K-värde i avbördningsekvationen för en sjö. Parametrarna α och γ i ekvation 15 trimmades in i ett Matlabprogram efter den inställning som gav lägst felsumma. Som P-värde i GT 1 testades konstanta parametrar, GO-metodens inställning

på P-värdet och SA-metodens inställning på P-värdet (förklaras i nästa stycke). GT 1 är den inställning som gav minst fel för hela dataserien.

$$K = \frac{A}{\alpha} + \gamma b \quad (15)$$

Metoden GT 2 är samma metod som GT1 men K-värdet i avbördningsekvationerna är olika inställd efter det som gav minst fel för ett sjöstorleksintervall. Intervallen som användes var:

- Sjöar med area mindre än 5 km²
- Sjöar med area mellan 5 km² och 10 km²
- Sjöar med area större än 10 km²

De olika intervallen valdes eftersom areorna hos sjöarna i kalibreringsdatan var ungefär jämnt fördelade i dessa storleksintervall

Som P-värde i GT 2 testades konstanta värden, GO-metodens inställning på P-värdet och SA-metodens inställning på P-värdet (förklaras i nästa stycke). Skillnaden mot GT 1 är att P-värdet, då konstanta parametrar använts, också trimmas in i sjöintervallen.

3.1.2.4 SA-metoden

Som ett komplement till GO-metoden skapades SA-metoden (Sjöarea) genom att testa manuellt i Excel vilka parametrar som var bra att starta med (ekvation 16). Ekvationen är empirisk och gäller då A anges i km² och b i m.

$$K1 = \frac{A}{\alpha} + \gamma b \quad (16)$$

A = Utloppssjöns area [anges i km²]

b = Utloppets bredd [anges i m]

Manuella tester visade att $\alpha = 10$ och $\gamma = 0,75$ var bra att starta med. Sedan testades vilka inställningar på variablerna som gav minst fel.

För en variant av SA-metoden gjordes en annan ansats där K-värdet beskrivs genom att dividera utloppets bredd med den maximala skillnaden i vattenstånd som en sjö har (ekvation 17). Tanken med metoden var att stora sjöar ofta har breda utlopp med små maximala variationer i vattenstånd. En vattenståndsökning borde därför ge stor ökning av vattenföringen. Motsatsen är små sjöar ofta har smala utlopp med stora maximala variationer för vattenståndet. Då borde en vattenståndsökning ha mindre effekt på vattenföringen. Varianten togs fram genom tester på sjöarna. I verkligheten kan tänkas att vattenståndets variationsvidd borde gå att uppskattas genom att på plats titta efter

vattenmärken eller uppspolat material. Ett annat sätt kan vara att vid högvatten respektive lågvatten mäta vattenstånden i fält.

$$K2 = \frac{b}{\max(W) - \min(W)} \quad (17)$$

b = Utloppets bredd [m]

W = Vattenståndet [m]

P-värdet i SA-metoden togs fram genom att lista alla sjöar efter vilken sjöprocent de utgjorde av avrinningsområdet. Sedan sattes ett konstant värde för sjöarnas uppmätta P-värde inom ett visst sjöprocentintervall (tabell 2). Värdet på P-konstanten valdes utifrån jämförelse med de uppmätta avbördningsekvationerna och en bedömning gjordes så att stigande sjöprocent gav högre värde. I metoden testades att ordna sjöarna efter andra variabler än sjöprocent, bl.a. efter bedömning av topografi runt sjöar, utloppsbredd på sjöar och vattenföringsdata.

Tabell 2 P-värdet vald utifrån sjöns sjöprocent av avrinningsområdet.

P	Sjöprocent	Medel % anpassning från uppmätt avbördningsekvation i intervallet
1,6	% < 0,5	0,99
1,7	0,5 < % 1	0,81
1,8	1 < % < 1,5	0,98
1,9	1,5 < % < 2,5	0,93
2	2,5 < % < 3,5	0,82
2,1	3,5 < % < 4,5	1,15
2,2	4,5 < % < 5,5	0,76
2,3	5,5 < % < 6,5	0,83
2,4	6,5 < % < 7,5	1,41
2,5	7,5 > %	1,10

Korrelationstest gav anpassning 0,41

I SA-metoden trimmades också inställningarna i avbördningsekvationen in efter sjöstorleksintervallen i GT 2-metoden.

3.1.2.5 Lisflood-metoden

I Lisflood-metoden (senare kallad LF-metoden) användes samma metodik som LISFLOOD använder för beskrivning av sjöar utan fältmätningar. K-värdet i avbördningsekvationen sattes till bredden på sjöutloppet. P-värdet varierades först i steg på 0,01 mellan värdena 1,5 och 2 eftersom detta var de värden som används i modellen initialt. Sedan testades P-värden mellan 1-6 för att observera om LISFLOOD valt optimala inställningar.

3.2 AVBÖRDNINGSEKVATIONER BASERAT PÅ VATTENSTÅNDSTIDSSERIER

Den andra delen i projektet gick ut på att undersöka om möjligheter fanns att via data om vattenstånd uppskatta en avbördningsekvation hos sjöar. I praktiken kan dessa vattenståndsdata erhållas från automatiska direkta mätningar (t.ex. med en tryckgivare), manuella mätningar eller satellitdata (se avsnitt 2.4).

3.2.1 Data som använts

För 41 sjöar har tioårserier med dagsvärden använts som kalibreringsdata för att uppskatta avbördningsekvationer. De data som hämtades från S-HYPE var:

- Uppmätt vattenstånd i sjö från mätstation
- Beräknad tillrinning till sjö från S-HYPE (nederbörd och avdunstning för sjöytan inkluderat)
- Beräknad vattenföring vid utloppet från sjön ur S-HYPE
- Uppmätta avbördningsekvationer för sjöarna (K, P och W_0 , se ekvation 1)
- Sjöarea

3.2.2 Arbetsätt

3.2.2.1 Kontinuerliga vattenståndsserier

Ett Matlabprogram skapades där parametrar för varje sjö laddades in (appendix 8.4). Vattenståndsdata och modellerade vattenföringar till sjöarna användes sedan för att beräkna ett korresponderande utflöde utifrån vattenbalansekvationen (ekvation 8). Nederbörd och avdunstning var enligt uppgifter inräknade i vattenföringen till sjön.

Parametrarna i ekvation 1 erhöles genom att Q_{ut} och $W - W_0$ logaritmerades (vattenståndet – referenshöjd för vattenståndet) för varje dag i mätserien (ekvation 18). Detta ledde till att en kurvanpassning kunde göras till punkterna enligt minsta kvadrat-metoden (Fenton, 2001). Från start fanns ingen information om tröskelvärde W_0 , så detta sattes initialt till det minsta värdet av vattenståndet W .

$$\log(Q_{ut}) = \log(K) + P \cdot \log(W - W_0) \quad (18)$$

Genom anpassning av ett polynom av första graden till $\log Q_{ut}$ och $\log(W - W_0)$ kunde parametrarna K och P tas ut.

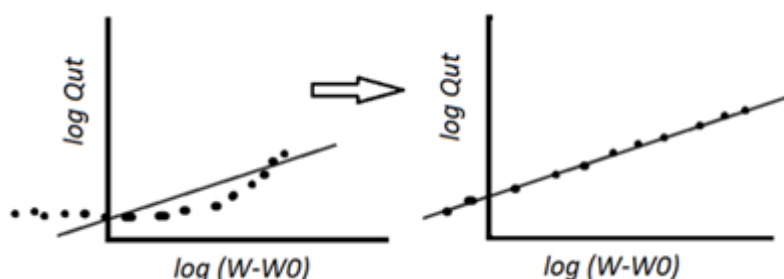
Referenshöjden W_0 trimmades genom att en liten höjd subtraherades från tröskelvärde och sedan kördes modellen igen. Hur bra den nya anpassningen stämde med mätpunkterna utvärderades i ett R^2 -värde för varje varv (Carriquirys, 2004). R^2 -värdet antar ett värde mellan 0 och 1 och ju närmare 1 det är desto bättre anpassning (ekvation 19-21). Adderande av referenshöjden W_0 fortsatte så länge R^2 -värdet förbättrades och

vid optimum sparades värden på K, P och W_0 (figur 7). Tester för vilket värde på referenshöjden som skulle adderas, utfördes genom att prova värden från 0,001-0,5. Värdet 0,03 var det värde som gav bäst anpassningar. SS_{yy} mäter avvikelse i beräknade värdena från medelvärdet. SS_{err} mäter avvikelsen för de beräknade värdena från deras predikterade värde.

$$SS_{yy} = \sum_i (\log Q_{ut_i} - \overline{\log Q_{ut}})^2 \quad (19)$$

$$SS_{err} = \sum_i (\log Q_{ut_i} - \widehat{\log Q_{ut}})^2 \quad (20)$$

$$R^2 = 1 - \frac{SS_{err}}{SS_{yy}} \quad (21)$$



Figur 7 Referenshöjden W_0 väljs så att sambandet mellan $\log Q_{ut}$ och $W-W_0$ blir så linjärt som möjligt.

3.2.2.2 Enstaka vattenståndsobservationer

Att använda enstaka vattenståndsobservationer är egentligen samma metod som att använda kontinuerliga serier, men de vattenståndsdata som används antas vara tagna med mer än en dags mellanrum. I testerna beräknades också hur många år av mätningar som behövs för att skapa en avbördningsekvation. I metoden glesades mätserien för vattenstånd ut till 2 dagars mellanrum och även 7 dagars mellanrum. Varje datapunkt i vattenståndsserierna kopplades sedan ihop med korresponderande modellerat inflöde för just den dagen.

Stora skillnader för storleken på vattenföringen kan uppkomma mellan olika år. Därför måste en avbördningsekvation vanligtvis skapas under flera år för att med god säkerhet täcka in extremåren för vattenföringen. För de enstaka vattenståndsobservationerna testades därför också osäkerheten för vilket år eller följd av år av mätningar som användes. Felet beräknades för varje år/årföljd och en standardavvikelse beräknades. Med koppling till verkligheten fungerar detta som att avläsning från pegel sker under flera år i rad. Appendix 8.4 beskriver vilka år och årföljder som användes i metoden.

3.2.3 Utvärdering

För att kunna jämföra hur väl anpassningen av parametrarna blir beräknades vattenföring för varje sjö med hjälp av den framtagna avbördningsekvationen.

Jämförelsen mellan beräknad vattenföring med avbördningsekvationer framtagna från de olika metoderna och vattenföringen beräknad med uppmätta avbördningsekvationer gjordes genom att först beräkna RMSE (Root mean square deviation) för varje sjö (ekvation 22). På detta sätt gavs en uppfattning av hur stort felet är (Kobayashi och Us Salam, 2000).

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_i^n (Q_{mod}(i) - Q_{obs}(i))^2}{n}} \quad (22)$$

Q_{mod} = Modellerad vattenföring utifrån kontinuerliga vattenståndsserier [m^3/s]

Q_{obs} = Observerad vattenföring med uppmätt avbördningsekvation [m^3/s]

n = antalet mätpunkter

Genom att normalisera RMSE kunde storleken på felet för två sjöar jämföras oberoende av vattenföringens storlek (ekvation 23).

$$NRMSE = \frac{RMSE}{\max(Q_{obs}) - \min(Q_{obs})} \quad (23)$$

När NRMSE för varje sjö beräknats kunde ett kvantitativt mått fås för hur väl modellen fungerar totalt genom att NRMSE summerades för alla sjöar (ekvation 24).

$$Totalfel = \sum NRMSE \quad (24)$$

Modellen anpassning till varje enskild sjö beräknades via ett effektivitetsvärde, R_{eff} (ekvation 25). R_{eff} definieras som kvoten mellan summan av kvadratfelet och summan av kvadratfelet runt medelvärdet (Nash och Sutcliffe, 1970). Skillnaden mellan R_{eff} och R^2 , är att R_{eff} är ett mått på anpassningen till en icke-linjär kurva medan R^2 är anpassningen till en linjär kurva.

$$R_{eff} = 1 - \frac{\sqrt{\frac{\sum (Q_{mod}(i) - Q_{obs}(i))^2}{\sum (Q_{mod}(i) - \overline{Q_{mod}(i)})^2}}}{\sqrt{\frac{\sum (Q_{mod}(i) - Q_{obs}(i))^2}{\sum (Q_{mod}(i) - \overline{Q_{mod}(i)})^2}}} \quad (25)$$

3.3 AVBÖRDNINGSEKVATIONER BASERAT PÅ KARTERINGAR I FÄLT

Tredje delen i projektet var att undersöka möjligheterna att förbättra individuella avbördningsekvationer med hjälp av mätdata från Sjölyftet.

3.3.1 Data som erhållits med Sjölyftet

För 60 sjöar i Norrköpingsområdet har följande data registrerats sommaren 2010:

- GPS-koordinater för sjöutloppet
- Manuell skiss över sjöutlopp
- Fotografier över sjöutlopp
- Mätningar av bottenprofil samt vattenstånd, ofta vid två tvärsektioner i utloppet då tydlig tröskel saknats
- Sjöutloppets bredd (för vissa sjöar även bredden för högvatten)
- Resultatet av en enklare flödesmätning med hjälp av flottör (gäller vissa av sjöarna)
- Beskrivande text av området
- Beskrivning av sjöutloppets lutning (gäller vissa av sjöarna)

3.3.2 Arbetssätt

Tillgängliga data från Sjölyftet inventerades. Totalt användes 60 sjöar, som besökts av Sjölyftet, i Norrköpingområdet för utvärdering. Ett sammanfattande Excel-dokument skapades där data från de olika sjöarna kunde jämföras. Ingen av Sjölyftets inventerade sjöar hade någon uppmätt avbördningsekvation och därmed försvann också möjligheterna till att validera eventuell metod som framtagits med dessa data.

4. RESULTAT

Alla metoder har utvärderats med kalibreringsdata från 37 sjöar. Data fanns för 41 sjöar initialt men 4 av dessa gav orimliga resultat och har därför uteslutits. För att kunna jämföra om vissa metoder var bättre för sjöar av vissa storlekar har felen beräknats i sjöstorleksintervallen: sjöarea mindre än 5 km², sjöarea mellan 5 och 10 km² och sjöarea större än 10 km².

4.1 AVBÖRDNINGSEKVATIONER BASERAT PÅ KARTINFORMATION

Tabell 3 visar en korrelationsmatris som beskriver variablernas korrelation till varandra.

Tabell 3 Korrelationsmatris för 37 sjöar. MQ är medelvattenföringen, MHQ är medelhögvattenföringen och MLQ är medellågvattenföringen.

	K	P
K	1	
P	-0,29	1
Sjöarea	-0,05	0,22
Bredd utlopp	0,21	0,27
Avrinningsområdets area	0,10	0,19
Utloppssjöns % av Avr,omr	-0,19	0,13
Topografi	0,17	0,28
MQ	0,09	0,27
MHQ	0,03	0,30
MLQ	0,09	0,22

4.1.1 Parametermetoden

I parametermetoden utvärderades vilka konstanta värden på parametrarna i avbördningsekvationen som gav lägst normerad felsumma genom att variera K- och P-värden (Tabell 4). En uppdelning i sjöstorleksintervall och olika inställningar gav en lägre normerad felsumma än samma inställning för alla sjöar.

Tabell 4 Utvärdering av parametermetoden där både K- och P-värdet varierats tills minimum av felsumman uppnåtts

Parametermetoden	K	P	W ₀	Felsum	Antal sjöar
Alla sjöar	3	2	min(W)	4,34	37
Alla sjöar	8,5	2,2	min(W)	3,94	37
Sjöarea < 5	2	1,6	min(W)	1,42	15
5 < Sjöarea < 10	8,5	2,2	min(W)	0,68	9
Sjöarea > 10	25	3,1	min(W)	1,40	13
			Summa	3,5	

4.1.2 GO-metoden

Resultatet från körningarna med GO-metoden gav ett bättre resultat än parametermetoden (Tabell 5). För att kunna jämföra hur bra denna modell är jämfört med andra beräknades även här fel för olika sjöstorleksintervall. P-GO står för att P-värdena har använts utifrån GO-metoden.

Tabell 5 Utvärdering av metoden GO där K- och P-värdet testats i olika sjöstorleksintervall.

GO	α	Υ	P	W_0	Felsum	Antal sjöar
Sjöarea < 5	100	0,5	P-GO	min(W)	0,68	15
5 < Sjöarea < 10	100	0,5	P-GO	min(W)	0,59	9
Sjöarea > 10	100	0,5	P-GO	min(W)	1,43	13
				Summa	2,71	

4.1.3 GT 1-metoden

GT 1 optimerades genom att ändra parametrarna α och Υ i K-värdet (ekvation 15). Tabell 6 visar vilken intrimning som gav minst normerad felsumma över alla sjöar. För att jämföra vilken metod som gav bäst P-värde varierades även detta. P-SA står för att P-värden använts utifrån SA-metoden. Felet blir något mindre än GO-metoden och mindre än parametermetoden.

Tabell 6 Utvärdering av GT 1 där K-värdet på trimmats in för olika P.

GT 1	α	Υ	P	W_0	Felsum	Antal sjöar
Alla sjöar	78	0,36	P-SA	min(W)	2,47	37
Alla sjöar	85	0,36	P-GO	min(W)	2,59	37
Alla sjöar	78	0,36	1,7	min(W)	2,75	37

4.1.4 GT 2-metoden

Först användes konstanta parametrar för de olika sjöstorlekarna på P-värdet för att trimma in K-värdet, d.v.s. för varje parameterinställning på α och Υ i K-värdet testades värden på P (ekvation 14). Sedan testades parameterinställningen på α och Υ i K-värdet då P-värdet valdes utifrån GO- och SA-metoden. GT 2 metoden gav lägre normerad felsumma än GO, GT 1 och Parametermetoden.

Tabell 7 Utvärdering av GT 2 där K- och P-värdet trimmats in i olika sjöstorleksintervall.

GT 2	α	Υ	P	W_0	Felsum	Antal sjöar
Sjöarea < 5	75	0,5	P-SA	min(W)	0,60	15
5 < Sjöarea < 10	100	0,5	P-SA	min(W)	0,56	9
Sjöarea > 10	75	0,2	P-SA	min(W)	1,04	13
				Summa	2,20	

Sjöarea < 5	70	0,5	P-GO	min(W)	0,66	15
5 < Sjöarea < 10	0	1	P-GO	min(W)	0,56	9
Sjöarea > 10	75	0,5	P-GO	min(W)	1,33	13

				Summa	2,35	
Sjöarea < 5	60	0,4	1,4	min(W)	0,56	15
5 < Sjöarea <10	85	0,5	1,3	min(W)	0,34	9
Sjöarea > 10	78	0,36	2,3	min(W)	1,36	13
				Summa	2,26	

4.1.5 SA-metoden

I SA-metoden användes först de initiala originalparametrarna (ekvation 16) i metoden för att beräkna K1- och P-värdet för kalibreringsdatan (tabell 8). P-värdet från SA-metoden gav större fel än att sätta ett konstant värde vid ett sjöstorleksintervall. SA-metoden med K1 gav större fel än G0 och GT 1 och 2 totalt sett.

Tabell 8 Utvärdering av SA-metoden där K- och P-värdet trimmats in i olika sjöstorleksintervall.

SA-metoden	K1 α	K1 Υ	P	W_0	Felsum	Antal sjöar
Sjöarea < 5	10	0,7	P-SA	min(W)	0,71	15
5 < Sjöarea <10	10	1	P-SA	min(W)	0,52	9
Sjöarea > 10	20	0,5	P-SA	min(W)	1,66	13
			Summa		2,89	
	K1 α	K1 Υ				
Sjöarea < 5	10	0,7	1,7	min(W)	0,69	15
5 < Sjöarea <10	10	1	1,6	min(W)	0,35	9
Sjöarea > 10	20	0,5	2,9	min(W)	1,61	13
			Summa		2,65	
	K2					
Sjöarea < 5	bredd/dh	-	2,7	min(W)	1,02	15
5 < Sjöarea <10	bredd/dh	-	1,5	min(W)	0,51	9
Sjöarea > 10	bredd/dh	-	3,7	min(W)	2,16	13
			Summa		3,69	

4.1.6 LF-metoden

Tabell 9 beskriver resultatet av LF-metoden. Metoden fungerade sämre än alla andra metoder som testats hittills.

Tabell 9 Resultatet av kalibrering med LF-metoden.

LF-metoden	K	P	W_0	Felsum	Antal sjöar
Sjöarea < 5	Utl.bredd	2	min(W)	1,33	15
5 < Sjöarea <10	Utl.bredd	1,5	min(W)	0,46	9
Sjöarea > 10	Utl.bredd	2	min(W)	3,19	13
			Summa	4,98	

4.2 AVBÖRDNINGSEKVATIONER BASERAT PÅ VATTENSTÅNDSTIDSERIER

4.2.1 Kontinuerliga vattenståndsserier

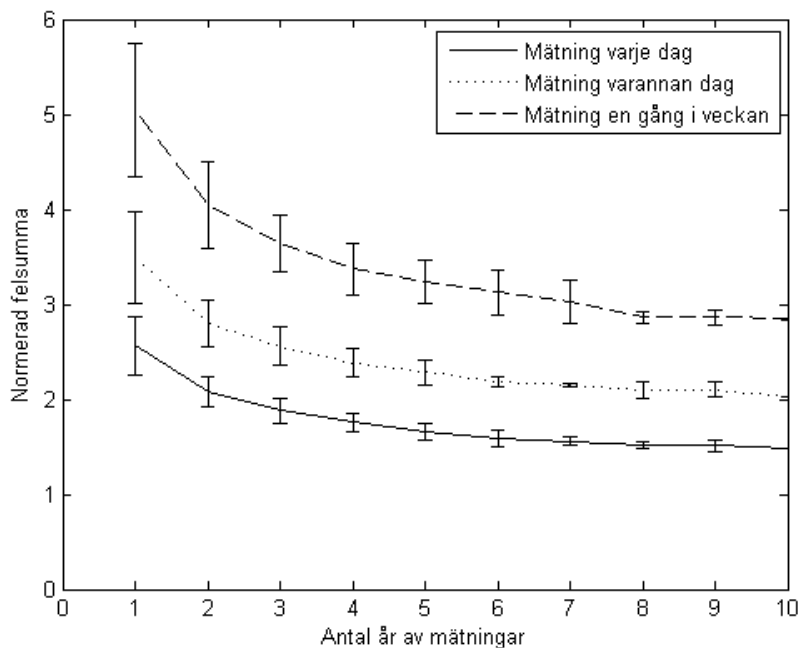
Metoden kalibrerades först med 37 sjöar (appendix 8.3). Sedan kördes metoden med valideringsdata innehållande 14 sjöar (tabell 10). För två av sjöarna fanns inte uppmätta utflöden så deras värde har inte tagits med i medelvärdet för R_{eff} . Programmet som användes för kontinuerliga vattenståndsserier gjordes i Matlab (appendix 8.1).

Tabell 10 Utvärdering av avbördningsekvationerna för kontinuerliga vattenståndsserier, R_{eff} anges som mått på anpassningen.

	Uppmätt avbördningsekvation	Uppmätta utflöden
Mertajärvi	0,85	0,84
Kaalasjärvi	0,90	0,90
Karatj	0,72	0,72
Gautsträsk	0,83	0,79
Storvindeln	0,92	-
Ankarvattnet	0,69	0,69
Rengen	0,42	0,40
Idsjön	0,32	0,30
Opplisjön	0,57	0,54
Svärdsjön	0,68	0,67
Möckeln	0,85	0,83
Simlången	0,40	-
Tvärsjön	0,72	0,58
Medel	0,68	0,66

4.2.2 Enstaka vattenståndsobservationer

I figur 8 visas den normerade felsumman för kalibreringsdatan (37 sjöar) då observationer av vattenstånd finns för varje dag, varannan dag och en gång i veckan. Antalet år av observationer har också varierats för att se förbättringen vid utökad mättid. Vid varje år har en standaravvikelse beräknats så att betydelsen av vilket år/årföljd som används inte är avgörande. Resultatet visar att felet minskar ju fler år av mätningar som finns tillgängliga. Om observationer fanns för mer än 4 år minskar osäkerheten och den normerade felsumman blev någorlunda stabil.



Figur 8 Normerade felsumman som funktion av antalet år med mätningar.

4.3 AVBÖRDNINGSEKVATIONER BASERAT PÅ KARTERINGAR I FÄLT

4.3.1 Sjölyftet

Sjölyftets mätningar på utloppsbredder och korresponderande avrinningsområdesareor från SMHI:s databank användes i metoderna för avbördningsekvationer utan kartinformation. Eftersom inga uppmätta avbördningsekvationer eller vattenföringsserier fanns tillgängliga för de karterade sjöarna kunde inte resultatet utvärderas. En sammanfattning av data som mätts vid sjöar i Norrköpingsområdet togs dock fram (appendix 8.3).

4.4 JÄMFÖRANDE RESULTAT MELLAN DE OLIKA METODERNA

Tabell 11 visar en jämförelse mellan de olika metoderna som använts i projektet. För varje metod har den trimning som gav lägst normerade felsumma vid kalibreringsdatan (37 sjöar) använts med valideringsdatan (14 sjöar). I denna del har Messjöns resultat ignorerats eftersom dess avbördningsekvation är tveksam. Kontinuerliga vattenståndsserier gav lägst normerad felsumma av alla metoder. Av metoderna från kartinformation fungerade GT 2 och LF bäst för valideringsdatan.

Tabell 11 Normerade felen med valideringsdatan för de framtagna modellerna.

Antal sjöar	4 st	4 st	5 st	
Sjöarea	< 5 km ²	5 - 10 km ²	> 10 km ²	Totalt
Kont. vst.serier	0,14	0,11	0,13	0,38
LF	0,26	0,18	0,26	0,70
GT 2	0,23	0,15	0,32	0,71
GO	0,25	0,17	0,44	0,86
GT 1	0,26	0,17	0,48	0,91
SA K1	0,32	0,27	0,70	1,29
SA K2	0,22	0,30	0,89	1,40
K=3, P=2	0,32	0,49	0,85	1,66
Parameter	0,30	0,43	0,94	1,67

Tabell 12 visar den ranking av metoderna utifrån tidsåtgång för att utföra metoden och efter hur bra resultatet med metoden blir. Lägst värde betyder minst tidsåtgång respektive bäst resultat.

Tabell 12 Uppskattad tidsåtgång för att etablera en avbördningsekvation med respektive metod.

Metod	Tidsåtgång ranking	Resultat ranking
Kont. vst. serier	10	2
Enstaka vst. obs satellit	9	3
Parameter	2	11
GT 1	5	6
GT 2	6	4
GO	4	7
SA, K1	7	8
SA, K2	8	9
K=3, P=2	1	10
LF	3	5
Uppm. Avbördningsekvation	11	1

5. DISKUSSION

5.1 AVBÖRDNINGSEKVATIONER BASERAT PÅ KARTINFORMATION

Att uppskatta en sjös avbördningsekvation utan tillgängliga fältmätningar visade sig leda till stor osäkerhet. Avbördningsekvationens K- och P-värde (ekvation 1) kan se väldigt olika ut för två liknande sjöar. Stora sjöar i stora avrinningsområden kan lika gärna ha små K-värden som stora K-värden i storleksintervallet 1-270. Detsamma gäller P-värdena som kan variera mellan 1-6, vanligast är dock mellan 1,5 och 3. Storleken på sjöarna där avbördningsekvationer var uppmätta varierade kraftigt.

Tabell 3 visar att K-värdet har svag korrelation till bredden på sjöutloppen, avrinningsarean och kuperingen kring sjön. Dessutom har K-värdet en svag negativ korrelation till sjöprocenten som utloppssjön utgör. P-värdet har en svag korrelation till alla variabler. Fyra av sjöarna hade extrema K- eller P-värden och påverkade resultatet orimligt mycket så dessa uteslöts vid testet. De extrema värdena kan kanske bero på väldigt osymmetriska utlopp, enorma utflöden eller felaktiga avbördningsekvationer. Vattenföringsdata fanns inte tillgängligt i verkligheten för sjöar utan fältmätningar men tester gjordes ändå för att se om någon stark koppling fanns till parametrarna i avbördningsekvationen.

I utvärderingarna beräknades felet för sjöar inom olika sjöstorleksintervall för att observera om metoderna fungerade bättre för några sjöstorlekar än andra. Olika inställningar i avbördningsekvationerna för olika storlekar på sjöarna gav mindre fel. För metoderna har referenshöjden, W_0 , i avbördningsekvationen satts till det minsta värdet för vattenståndet i mätserien (ekvation 1). Detta bidrar till ett fel i metoderna eftersom det ibland är skillnad mellan det minsta värdet i mätserien och W_0 från de uppmätta avbördningsekvationerna.

5.1.1 Parametermetoden

I parametermetoden testades vilka konstanta värden på K och P som gav den minsta normerade felsumman. När metoden testades på kalibreringsdatan (37 sjöar) blev felet betydligt mindre än att sätta ett K- och P-värde på 3 respektive 2 som S-HYPE använder som standard för sjöar utan fältmätningar (tabell 4). När dessutom olika K- och P-värden valdes vid olika sjöstorlekar blev felet ännu mindre. När sedan den optimala inställningen på parametrarna kördes med valideringsdatan (14 sjöar) blev resultatet nästan exakt samma som S-HYPES standardinställning (tabell 11). Detta tyder på att de samband som skapades i metoden inte gäller generellt, utan individuellt för kalibreringsdatan.

5.1.2 GT 1 & 2

För metoderna GT 1 & 2 sågs tydliga skillnader mot GO-metoden när resultaten med kalibreringsdatan utvärderades (tabell 6-7). När GT 2 testades gav användandet av P-

värden från SA-metoden aningen lägre felsumma än användandet av P-värdet från GO-metoden. När sedan valideringsdatan utvärderades med metoderna blev GO-metoden faktiskt bättre än GT 1 (tabell 11). Detta tyder på osäkerhet i GT 1. Metoden GT 2 fungerade bättre för valideringsdatan än både GO och GT 1. Detta tyder på att en uppdelning i sjöstorleksintervall är bättre än att använda samma parametrar för alla sjöar.

5.1.3 SA-metoden

I SA-metoden testades två olika tillvägagångssätt för att beräkna K-värdet. Det ena K1, då sjöarean och bredden på sjöutloppet kombinerades och det andra K2, då utloppsbredden dividerades med maximala vattenståndsskillnaden. Med kalibreringsdatan blev resultatet från SA-metoden likvärdigt med GO-metoden för både K1 och K2 (tabell 8). När sedan valideringsdatan användes för utvärdering av metoden blev resultatet betydligt sämre än med GO och GT 1 och 2 (tabell 11). För sjöar med area under 10 km² blev dock resultatet bättre än för större sjöar. Metoden fungerade dock totalt sätt bättre än parametermetoden.

5.1.4 LF-metoden

Med kalibreringsdatan blev resultaten från LF-metoden dåliga, sämre än parametermetoden (tabell 9). När metoden användes med valideringsdatan gav det istället ett bättre resultat än nästan alla andra metoder (tabell 11). För LF-metoden borde användandet av kalibreringsdatan eller valideringsdatan egentligen inte spela någon roll eftersom metoden bara utvärderats och inte kalibrerats. Att metoden fungerade så olika på kalibreringsdatan och valideringsdatan tyder på osäkerhet och därmed är metoden ganska oanvändbar. Om fler sjöar använts för utvärdering kanske mer konsekventa resultat kan erhållas.

5.1.5 Sammanfattande diskussion

Den bästa metoden som hittades för att uppskatta avbördningsekvationer ur kartinformation var GT 2 med användandet av ett P-värde från SA-metoden. GT 2 gav lägst normerad felsumma av alla metoder för både kalibreringsdatan och valideringsdatan. Detta tyder på att olika tillvägagångssätt för olika sjöstorlekar är att föredra. Andra uppdelningar har också testats i viss omfattning, t. ex uppdelning efter avrinningsområdets storlek, topografi, utloppsbredd m.m. Uppdelning efter sjöstorlek gav bäst resultat. Dessutom var spridningen i sjöstorlek mest fördelaktigt fördelad.

Tidsåtgången för att uppskatta en avbördningsekvation ur kartinformation var väldigt liten. Den enda egentliga kostnaden är en lönekostnad för framtagning av parametrar och ett mindre modelleringsarbete. För SA-metoden med användandet av K2 krävs ett mindre fältbesök och eftersom metoden var ganska dålig kan den förkastas.

För alla metoder som använt kartinformation för att uppskatta avbördningsekvationer uppkommer felkällor. De metoder som använder utloppsbredder för att beräkna K-värdet i avbördningsekvationerna var särskilt känsliga eftersom bedömningen av var platsen för själva utloppet är ofta är svårt. Avrinningsområdets storlek och sjöns area kommer från ganska säkra källor men den direkta kopplingen till avbördningsekvationer kan ifrågasättas.

Rekommendationer för fortsatt arbete:

- För implementering i S-HYPE av den bästa modellen, GT 2, krävs för varje sjö insamlande av utloppsbredd, avrinningsområdets storlek och sjöarean.
- Bättre intervalluppdelning hos sjöarna för metodframtagning kan förbättra metoderna.
- Inga bra samband med topografi kunde observeras. Topografisk data kanske kan användas bättre eller eventuellt klassificeras på annat sätt.

5.2 AVBÖRDNINGSEKVATIONER BASERAT PÅ VATTENSTÅNDSTIDSERIER

5.2.1 Kontinuerliga vattenståndsserier

Kontinuerliga vattenståndsserier gav mycket bättre resultat än alla andra metoder som testats i projektet (tabell 11). Anpassningen till originalekvationen och det uppmätta utflödet blev också tillfredställande (tabell 10). Fel uppkommer självklart i modellen eftersom det inflöde som användes också kommer från en modell (S-HYPE). För att utvärdera modellen har främst vattenföringen från uppmätt avbördningsekvation använts. Detta gjordes eftersom uppmätta vattenföringsmätningar inte fanns för alla sjöar. De uppmätta avbördningsekvationerna innehåller också felaktigheter och kan också bidra till fel i modellen.

När metoden utvärderats har den normerade felsumman för varje sjös vattenföring beräknats. Normeringen gjordes genom att felen delades med differensen mellan maximala och minimala flödet från de uppmätta avbördningsekvationerna. Detta gjordes för att kunna få ett kvantitativt mått på hur bra modellen fungerar och dessutom kunna jämföra olika metoder. Huruvida detta är det bästa sättet att jämföra metoder kan ifrågasättas.

Tidsåtgången för denna metod blir högre än övriga eftersom installationstid av tryckgivare uppkommer. Dessutom ger metoden inte ett resultat direkt eftersom givarna måste mäta några år innan en avbördningsekvation kan etableras. Metoden blir däremot mindre tidskrävande och billigare än mäta vattenförings- och vattenståndsmätningar ute i fält flera gånger under lång tid.

Information om vattenståndförändringar i sjöar från satelliter verkar i dagsläget endast fungera för större sjöar och vattendrag. Om användbar satellitdata med vattenstånd från satelliten KaRIN kan utvinnas i framtiden finns stora möjligheter att förbättra avbörningsekvationer utan vattenföringsmätningar med programmet som tagits fram med kontinuerliga vattenståndsserier. Kostnaden för satellitdata är naturligtvis också avgörande för om det är värt att använda. Eventuellt kanske satellitdata kan erhållas för en lägre kostnad än vad installation av tryckgivare eller manuella pegelmätningar kostar. Projektet förväntas dock vara klart först år 2019.

5.2.2 Enstaka vattenståndsobservationer

Tester med att ta fram avbörningsekvationer med enstaka vattenståndsobservationer visar att observationer av vattenståndsdata behövs för minst 4 år för att vara användbart (figur 8). Att mäta vattenståndet varje dag är betydligt bättre än att mäta vattenståndet varannan dag respektive en gång i veckan (figur 8). Ett problem med att använda enstaka observationer i den framtagna modellen är att den kräver data med exakt tidsanpassning. Vid enstaka mätningar ges inte detta utan då kan tidsintervallet mellan mätningarna variera. Resultaten tyder på att manuella avläsningar vid en pegel inte är en särskilt bra metod eftersom resultatet inte blir tillfredställande och många år av avläsningar behövs. Dessutom tillkommer transportkostnader till sjöarna och lönekostnad om kontrollanter måste utföra mätningarna. Om boende i närheten av sjöarna frivilligt kan hjälpa till med avläsningar kanske metoden kan bli mer intressant.

Att använda satellitdata istället för manuella mätningar kan ge samma typ av information och dessutom kan datan användas direkt i modellen eftersom exakt tidsanpassning kan fås. Eftersom satelliterna kan ge långa tidserier utan fältarbete och eventuellt är ekonomiskt fördelaktigt, kanske glesare vattenståndsdata kan fungera för framtagande av bättre avbörningsekvationer.

5.2.3 Sammanfattande diskussion

Att använda kontinuerliga vattenståndsserier fungerar bättre än att använda enstaka observationer av vattenstånd men tidsåtgången och kostnaden blir större. Det är däremot mindre tidskrävande och billigare än att mäta upp avbörningsekvationer på plats för en sjö. För att kontinuerliga vattenståndsserier skall kunna användas i stor skala behövs pilotförsök där metoden utvärderas mot valideringsdata. Om satellitdata kan erhållas måste även denna utvärderas mot valideringsdata.

Rekommendationer för fortsatt arbete:

- Gör ett pilotprojekt och utvärdera resultatet.
- Håll kontakten med Eumetsat om satellitdata. Mätningar från satelliten KaRIN kan ge förbättrade avbörningsekvationer.

5.3 AVBÖRDNINGSEKVATIONER BASERAT PÅ KARTERINGAR I FÄLT

I dagsläget kan värdet av Sjölyftets karteringar inte utvärderas eftersom ingen möjlighet till validering av eventuellt framtagna avbördningsekvationer är möjlig. Det beror på att de sjöar som Sjölyftet karterat, inte har några uppmätta avbördningsekvationer.

Karteringar inom Sjölyftet bedöms ha lett till bra skisser över sjöutloppen och för många av sjöarna finns djupprofiler och utloppsbredder registrerade. Vid användandet av t.ex. GT 2 behövs en mätning av utloppsbredden och Sjölyftet bedöms kunna göra mer noggranna mätningar för små sjöutlopp än vad som är möjligt med Eniros kartverktyg. För stora sjöar med breda utlopp blir mätningar för Sjölyftet svårt eftersom utrustning inte varit tillgänglig för att mäta sådana. Breda sjöutlopp borde dock vara lättare att mäta med kartverktyg.

Årstiden för när Sjölyftets mätningar gjordes kan också ifrågasättas. Mätningarna gjordes sommartid och vid dessa tillfällen förekommer oftast bara lågflöden. Beroende på vattennivån i utloppet kan utloppets profil variera och detta kan leda till en helt annan avbördningsekvation än vid lågflöden. I praktiken borde det dock vara lättare att mäta geometrin på utloppet vid lågflöden eftersom geometrin är svårare att urskilja vid högflöden.

Huruvida hydraulisk geometri kan hjälpa Sjölyftet behövs det vidare undersökning för att kunna avgöra. Sambanden som redovisas i metoden är dock intressanta och vidare studier rekommenderas.

För att på ett rättvist sätt kunna utvärdera Sjölyftet rekommenderas att avbördningsekvationer mäts upp för några av de sjöutlopp som karterats i Sjölyftet. På detta sätt kanske nya metoder kan utvecklas för uppskattning av avbördningsekvationer på ett ekonomiskt gynnsamt vis. Om bra avbördningsekvationer kan tas fram med Sjölyftets mätningar har SMHI en bra möjlighet att få säkrare modeller till låg kostnad.

Rekommendationer för vidare arbete med Sjölyftet:

- Etablera enklare avbördningsekvationer för några sjöar genom att i fält mäta vattenföringen mot korresponderande vattenstånd kanske 3-5 gånger. Ett billigare alternativ vore att skicka personer inom Sjölyftet till sjöar där avbördningsekvationer redan finns och sedan göra samma undersökningar på dessa sjöar som hittills gjorts med Sjölyftet.
- Försök att direkt koppla bredden på utloppet, formen på utloppet, vegetationen runt utloppet eller topografin runt sjön m.m. till parametrarna i avbördningsekvationen.
- Jämför framtagna samband med den uppmätta avbördningsekvationen.

5.4 SAMMANFATTANDE DISKUSSION

Mer än 80 % av alla sjöar i Sverige har en yta mindre än 0,1 km² och i detta projekt har sjöar som nästan uteslutande är större än detta studerats. Detta gjordes för att inga uppmätta avbördningsekvationer för mindre sjöar fanns att tillgå. Metoderna i projektet är därför endast testade på sjöar som storleksmässigt utgör mindre än 20 % av den totala storleksfördelningen. För sjöar med en area mindre än 0,1 km² är det inte säkert att metoderna som använts i projektet kan användas. De stora sjöarna i Sverige är däremot de som enskilt påverkar vattenföringen mest i landet och det är därför av störst intresse, ur modellsynpunkt, att ta reda på deras avbördningsekvationer först. För att få en heltäckande bild måste dock även mindre sjöars påverkan av vattenföringen kunna beskrivas i modeller.

Tidsåtgången och kostnaden för de olika metoderna varierar kraftigt. Metoderna som inte kräver fältbesök är betydligt billigare än de som kräver fältbesök. Felet blir dock större utan fältmätningar. Att endast installera en tryckgivare och använda kontinuerliga vattenståndsserier bedöms vara både billigare och mer tidseffektivt än att mäta upp en avbördningsekvation (tabell 12). Om billigare tryckgivare eller bra satellitdata för vattenstånd fanns att tillgå skulle metoden bli ännu mer intressant.

För metoder som inte innefattar några platsbesök behövs mer utvärdering. Med större mängd avbördningsekvationer att utvärdera skulle bättre samband kunna göras. En metod för att få större mängd data vore att man försökte samla redan uppmätta avbördningsekvationer från andra länder t.ex. Finland, Kanada, Norge. Dessa länder har också väldigt många sjöar och de borde kunna liknas vid svenska förhållanden. Hur lätt sådana data kan erhållas är oklart. Detta borde dock intressera de involverade länderna eftersom ett bättre hydrologiskt predikteringsverktyg kan fås till låg kostnad.

Angående Sjölyftets roll för uppskattning av avbördningsekvationer behövs, som tidigare nämnts, valideringsdata för att utvärdera metoden. Arbetskraft och intresse för projektet verkar finnas i landet.

6. SLUTSATS

Sjöutlopp är ofta oregelbundna och unika. Därför är det också svårt att skapa generella avbörningsekvationer.

Att uppskatta avbörningsekvationer utan fältmätningar är möjligt. GT 2-metoden med användandet av P-värde från SA-metoden var den bästa metoden. Denna metod gav bättre resultat än att ansätta konstanta parametrar i avbörningsekvationer.

Genom att använda vattenståndsdata från tryckgivare och modellerat inflöde från S-HYPE kan betydligt bättre avbörningsekvationer tas fram för sjöar i Sverige än de som bygger på att ansätta konstanta parametrar. En kostnad för tryckgivare och installation uppkommer dock, men det är billigare och enklare än att mäta upp avbörningsekvationer via fältmätningar vid sjöar.

Sjölyftet har samlat in mängder av data. För att mer kunna utvärdera den insamlade datans värde för att upprätta bättre avbörningsekvationer krävs valideringsdata.

7. LITTERATURFÖRTECKNING

- Bjerketorp A. (1975). *Höjning av nivåerna vid lågvattenföring i Forsmarksåns vattensystem uppströms Lövestabruk*. Institutionen för markvetenskap, avdelningen för lantbrukets hydroteknik, Uppsala.
- Braca G. (2008). *Stage-discharge relationships in open channels: Practices and problems*. ISBN 978-88-8443-230-8. Agency for Environmental Protection and Technical Services, Rome, Italy.
- Brunnström Å. (2010). *Stureholms myllrande våtmark under 250 år*. Sveriges lantbruksuniversitet. LTJ-Fakulteten Område landskapsarkitektur.
- Carrquiry's A. (2004). *Coefficient of Determination*. Iowa State University, U.S.A
Hämtad från: <http://www.public.iastate.edu/~alicia/stat328/Regression%20inference-part3.pdf> 24/5 2012
- Clarke R.T. (1999). Uncertainty in the estimation of mean annual flood due to rating-curve indefintion. *Journal of Hydrology* 222, s.185–190.
- CNES. (2012). *SWOT: A French-American mission to monitor the world's oceans and continental surface waters*. Centre National d'Études Spatiales, Paris, France. Hämtad från: <http://smc.cnes.fr/SWOT/> 23/3 2012
- Cre´taux J., Jelinski W., Calmant S., Kouraev A., Vuglinski V., Berge´-Nguyen M., Gennero M., Nino F., Abarca Del Rio R., Cazenave A., Maisongrande P. (2009). SOLS: A lake database to monitor in the Near Real Time waterlevel and storage variations from remote sensing data. *Advances in Space Research* 47, s.1497–1507.
- Eniro.se. (2012). *Kartor med flygfoto*, Eniro AB, Stockholm, Sverige.
Hämtad från: www.eniro.se 14/4 2012
- Eumetsat. (2012). *Who we are*, European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites, Darmstadt, Germany. Hämtad från:
<http://www.eumetsat.int/Home/Main/AboutEUMETSAT/WhoWeAre/index.htm?l=en>
23/3 2012
- Europaparlamentets och rådets direktiv. (2000). Om upprättande av en ram för gemenskapens åtgärder på vattenpolitikens område. *Europeiska gemenskapernas officiella tidning*.
- Fenton J.D. (2001). Rating Curves: Part 2 – Representation and Approximation.

The Institution of Engineers, *Australia Conference on Hydraulics in Civil Engineering Hobart 28 –30 November 2001*, s. 319-328.

Gordon N., Finlayson B., McMahon T., Gippel C., Nathan R. (2004). *Stream Hydrology: An Introduction for Ecologists*. Second edition John Wiley and Sons.

Grahn G. (2002). *Generell avbördningskurva*. Intern rapport SMHI.

Hjerdt N., Andersén M., Jonsson C., Eklund D. (2007). Hydraulik i Klarälvens torrfåra vid tappningar från Höljes kraftverksdamm. SMHI publikation. *Hydrologi Nr. 109*, s.1-53.

Johansson I., Brunnberg K. (1977). *Några Blekingeåar- En vattenföringsstudie*. Länsstyrelsen Blekinge län, Karlskrona, Sverige, s.1-45.

Kobayashi K., Us Salam M. (2000). *Comparing Simulated and Measured Values Using Mean Squared Deviation and its Components*. National Institute of Agro-Environmental Sciences,3-1-1 Kannondai, Tsukuba, Ibaraki 305-8604, Japan.

Legos. (2012). *Surface monitoring by satellite altimetry*. Laboratoire d'Estudes Geophysice et Oceanographie spatiales. Toulouse, France. Hämtad från:
http://www.legos.obs-mip.fr/fr/soa/hydrologie/hydroweb/StationsVirtuelles/SV_Lakes/Vanerm.html 17/6 2012

Leopold L., Maddock T. (1953). *The hydraulic geometry of stream channels and some physiographic implications*. United States Geological Survey, s. 1-57.

Lindström G., Pers C., Rosberg J., Strömqvist J., Arheimer B. (2010). Development and testing of the HYPE (Hydrological Predictions for the Environment) water quality model for different spatial scales. *Hydrology Research 41.3-4*, s.295-319.

Lärke A., Hillgren R. (2003). Rekognoscering av mätplatser för yhydrologiska mätningar i Simpevarpsområdet. ISSN 1651-4416,
SKB P-03-04. SMHI och Svensk Kärnbränslehantering AB.

Mueses A., Said A., Ross M. (2007). Generalized nondimensional depth-discharge rating curves tested on Florida streamflow. *Journal of the American Water Resources Association (JAWRA)*. Vol. 43, No. 2, s.1-9.

Naturvårdsverket. (2008). *Vattenföringsbestämningar inom miljöövervakningen*. Naturvårdsverket, Stockholm, Sverige. Hämtad från:

http://www.naturvardsverket.se/upload/02_tillstandet_i_miljon/Miljoovervakning/under_sokn_typ/sotvatten/vattenf_v2_1.pdf

Nash J., Sutcliffe J. (1970). River flow forecasting through conceptual models part I – a discussion of principles. *Journal of Hydrology* 10, s. 282–290

Nilsson B. (2004). *Sedimenttransport i Viskan Sträckan Borås-Rydboholm*. Rapport nr VISKAN 2002:1. Länsstyrelsen i Västra Götalands län, AB Hydroconsult.

Petersen-Øverleir A. (2005). A hydraulics perspective on the power-law stage-discharge rating curve. *NVE Report no 5-05*, s.1-28.

Rantz S., Barnes H.H., Buchanan T.J., Carter R.W., Kilpatrick F.A., Smoot G.F., Cobb E.D., Matthai H.F., Pendelton A.F., Dalrymple T., Hulsing H., Kindsvater C.E., Bodhaine G.L., Tracy H.J., Davidian J., Wilson J.F. (1982). Measurement and Computation of Streamflow. Computation of Discharge, vol. 2. *US Geological Survey Water Supply Paper 2175*, US Geological Survey, Reston, VA, USA.

Sandsten H. (2006). *Saxån-Braån 2006*. Saxån-Braåns Vattenvårdskommitté. Opublicerat manuskript. Hämtad från: http://www.landskrona.se/Documents/Landskrona/Documents/Gamla%20dokument%20R-S/Saxan_aarsrapport06.pdf 22/3 2012

Simpson R., Oltman R.N. (1993). Discharge-measurement system using an acoustic Doppler current profiler with applications to large rivers and estuaries. *United states geological survey Water supply paper 2395*. US Geological Survey, Reston, VA, USA.

SMHI a. (2012). *Sjölyftet*. Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut, Norrköping, Sverige. Hämtad från: <http://www.smhi.se/klimatdata/hydrologi/sjoar-och-vattendrag/sjolyftet-1.11018> 20/2 2012

SMHI b. (2012). *Sveriges sjöar*. Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut, Norrköping, Sverige. Hämtad från: <http://www.smhi.se/kunskapsbanken/hydrologi/sveriges-sjoar-1.4221> 24/4 2012

SMHI. (2010). *S-HYPE: HYPE-modell för hela Sverige*. Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut, Norrköping, Sverige. Hämtad från: <http://www.smhi.se/forskning/forskningsomraden/hydrologi/hype-1.557> 23/3 2012

Swedaq. (2012). *Nivåmätare*, SWEDAQ, Höör, Sverige. Hämtad från: <http://www.swedaq.se/Websidor/nivamatatare.htm>

Van der Knijff J., De Roo A. (2008). LISFLOOD Distributed Water Balance and Flood Simulation Model Revised User Manual. *JRC Scientific and Technical reports*.

Westerberg I. (2011). *Observational Uncertainties in Water-Resources Modelling in Central America: Methods for Uncertainty Estimation and Model Evaluation*. Digital Comprehensive Summaries of Uppsala Dissertations from the Faculty of Science and Technology, ISSN 1651-6214; 833.

Muntlig källa:

Ragge, Peter. (2012) den 22/5 2012. Hydrolog vid SMHI.

8. APPENDIX

8.1 MATLABPROGRAMMET

```
clear all
close all
home

%Här laddas alla dataserier in och orginalkonstanter från uppmätta
data
konst=load('konst.dat');
konst2=load('konst2.dat');
A1=load('Saggat.dat');
A2=load('NedreGauts.dat');
A3=load('Malmagen.dat');
A4=load('Tangvattnet.dat');
A5=load('Hassela.dat');
A6=load('ovrelandsjarv.dat');
A7=load('allgunnen.dat');
A8=load('altajarvi.dat');
A9=load('anundsjon.dat');
A10=load('dansjon.dat');
A11=load('Fattjarn.dat');
A12=load('gussjon.dat');
A13=load('Hallbo.dat');
A14=load('idresjon.dat');
A15=load('kolbengtsrod.dat');
A16=load('kukasjarvi.dat');
A17=load('laiksjon.dat');
A18=load('laisan.dat');
A19=load('likstammen.dat');
A20=load('lillglan.dat');
A21=load('medstugssjon.dat');
A22=load('mortsjon.dat');
A23=load('nedrejobvattnet.dat');
A24=load('bullaresjon.dat');
A25=load('norrsson.dat');
A26=load('raktjarv.dat');
A27=load('skeingesjon.dat');
A28=load('solnen.dat');
A29=load('stensjon.dat');
A30=load('storlapptrask.dat');
A31=load('storabullaresjon.dat');
A32=load('tjegglevas.dat');
A33=load('tornetrask.dat');
A34=load('Tanndalssjon.dat');
A35=load('vikaresjon.dat');
A36=load('vikarsjon.dat');
A37=load('voulvojaure.dat');
A38=load('annsjon.dat');
A39=load('acklingen.dat');
A40=load('osternoren.dat');
A41=load('overstjuktan.dat');

%Här skapas en for-loop för varje sjö

for g=1:41
```

```

A=['A' int2str(g)];
A=eval(A);
varv=g

%Konstanter för varje sjö laddas in
Sjoarea=konst(g,4);
Avrarea=konst(g,9);
Enirobredd=konst2(g,1);
Sjoprocavr=konst2(g,3);
Sjoproc=konst2(g,4);

%Mätt avbördningsekvation av SMHI
K=konst(g,1);
P=konst(g,2);
W0=konst(g,3);

%Här raderas tidigare beräknat material
clear Qutrekorded
clear Wmat
clear Felet
clear Fel
clear Qsimon
clear Qgun
clear Qantal
clear Qpertil
clear Qantal2
clear Qpertil1
clear FelQpertil
clear FelsumQpertil
clear W0ber
clear rkvadrat1
clear rkvadrat2

Wmat=(A(:,3)); %Uppmätt vattenstånd

Qinmod=(A(:,4)); %Modellerad tillrinning till sjön från S-HYPE

Qmatt=A(:,6); %Uppmätt utflöde ur sjön

Wfor=Wmat(1);
clear dh

%Här skapas en vektor som beskriver vattenståndsskillnaden mellan två
dagar
for k=1:length(Wmat)
    if Wmat(k)==-9999;
        Wmat(k)=Wmat(k-1);
    end
    dh(k)=Wmat(k)-Wfor;
    Wfor=Wmat(k);
end

```

```

W0mat=min(Wmat);% Initiala tröskelvärde för vattenstånd sätts till
minsta
                %värdet av vattenståndsserien

%Initialvärden för while-loopen

hkontroll=0;
rsq(1)=0;
rsq(2)=0.001;
t=1;
steget=0.03; % Steget 0.03 är det värde som adderas till vattenståndet
                % varje varv i while-loopen

%Raderar tidigare beräkningar
clear Outmod
clear logWmat
clear logQrikt

%Här skapas en while-loop som tar reda på W0 för varje sjö
%Loopen fortsätter tills att det efterföljande R^2 värdet är sämre än
det
%tidigare

while rsq(t+1)>rsq(t)

    %Om skillnaderna mellan R^2 värdena är för små bryts loopen
    %Annars kan loopen köra för evigt.
    if rsq(t+1)-rsq(t)<0.0001
        break
    end

deltaWmat=(Wmat-min(Wmat)+hkontroll); %Beräknar vattenståndet

% Här beräknas vattenföringen för varje dag via en
vattenbalansekvation
for p=1:length(Qinmod)

    if Qinmod(p)<0
        Qinmod(p)=0;
    end

    hackatid=24;
    for d=1:hackatid
        Qinmod1=Qinmod(p);
        dh1=(dh(p)/hackatid);
        Qoutmod1(d)=Qinmod1-Sjoarea*1000000*(dh1)/(86400/hackatid);
    end

    Qoutmod(p)=mean(Qoutmod1);
end

%Här loggas värdena i vattenståndet och vattenföringen för att kunna
ta
%fram en avbördningskurva på formen  $K \cdot (dW)^P$ 
logWmat=log10(deltaWmat);

```

```

logQrikt=log10(Qutmod');

%Här tas inf och Nan bort och sätts till 0
logWmat(~isfinite (logWmat)) = 0;
logQrikt(~isfinite (logQrikt)) = 0;
logQrikt=real(logQrikt);

%Här anpassas kurvan genom att strunta i de värden på logQrikt som
%innehåller 0 och samtidigt de värden på logWmat som motsvarar detta
b = find(logQrikt ~= 0);
logQrikt(find(logQrikt==0)) = [];
logWmat=logWmat(b);

%Här används polyfit för att ta reda på konstanterna i ekvationen
craper = polyfit(logWmat,logQrikt,1);
Pkonst(t)=craper(1); % P-konstanten i ekvationen
Kkonst(t)=10^craper(2); % K-konstanten i ekvationen
yfit = polyval(craper,logWmat);

yresid = logQrikt - yfit;
SSresid = sum(yresid.^2);
SStotal = (length(logQrikt)-1) * var(logQrikt);

%Här beräknas R^2-värdet
rsq(t+2) = 1 - SSresid/SStotal;

if rsq(t+2)<0.1
    rsq(t+2)=0.1;
end

W0ber(t)=hkontroll;

%Här skapas initialvärden för nästa varv i loopen
t=t+1;
hkontroll=hkontroll+steget;
end
clear Q
clear Q2
clear Qber
clear Fel
clear deltaW
clear reff1
clear reff2
%Här beräknas flödena för ekvationerna
for i=1:length(Wmat)

%Uppmätt avbördningsekvation
Q2(i)=K*(Wmat(i)-W0).^P;
Q(i)=real(Q2(i));

%Modellerad avbördningsekvation
Qber(i)=Kkonst(t-2)*(Wmat(i)-min(Wmat)+W0ber(t-1)).^(Pkonst(t-2));

% Här beräknas felet hos den modellerad avbördningsekvationen
Felet(i)=sqrt((Qber(i)-Q(i)).^2);
Fel(i)=real(Felet(i));

```

```

end

%Här beräknas modellens effektivitetsvärde (Reff)
for d=1:length(Wmat)

reff1(d)=sqrt((Qber(d)-Qmatt(d)).^2);
reff2(d)=sqrt((Qber(d)-mean(Qber)).^2);
end

reff(g,1)=1-sum(reff1)/sum(reff2)

% Här plottas beräknad avbördningskurva upp mot uppmätt
avbördningskurva
figure
plot(Q)
hold on
plot(Qber,'r')
hold on
legend('Uppmätt avb.kurva','Beräknad')
xlabel('Dagar')
ylabel('Vattenföring [m3/s]')

% Här beräknas den normerade felsumman för varje sjö
Totfel(g,1)=(sum(Fel)/length(Q))/(max(Q)-min(Q));

%Här kan konstanterna i den beräknade avbördningsekvationen jämföras
med uppmätta avbördningsekvationens
KochP(g,1)=Kkonst(t-2);
KochP(g,2)=K;
KochP(g,3)=Pkonst(t-2);
KochP(g,4)=P;
KochP(g,5)=rsq(t);
KochP(g,6)=max(Wmat)-min(Wmat);
end
%Här beräknas summan av alla normerade fel
Felsum(1)=sum(Totfel(:,1))

```

8.2 RESULTAT AV MATLABKÖRNINGAR

	Kontinuerliga vattenståndsserier	Reff Uppmätt	Reff riktiga
Saggat	0,097	0,441	0,404
Nedre Gautsträsket	0,006	0,928	-98,586
Malmagen	0,017	0,702	0,600
Tängvattnet	0,024	0,563	0,578
Hassela	0,034	0,739	0,723
övre lan	0,019	0,693	-988,883
Allgunnen(Lagan)	0,029	0,874	0,864
Alttjärvi	0,019	0,621	0,591
Anundsjön	0,012	0,877	-812,582
Dansjön	0,027	0,697	0,686
Fättjarn	0,003	0,955	-1490,0
Gussjön	0,009	0,816	0,761
Hallbosjön	0,047	0,672	-1389,1
Idresjön	0,009	0,886	0,835
Kolbengtserödssjön	0,015	0,842	0,784
Kukasjärvi	0,026	0,634	0,624
Laiksjön	0,015	0,822	0,781
Laisan	0,011	0,821	0,813
Likstammen	0,093	-1,104	-1,243
Lillglän	0,006	0,891	0,768
Medstugusjön	0,028	0,522	0,491
Mörtsjön	0,026	0,635	-7364,2
Nedre Jovattnet	0,041	0,518	0,538
Norra Bullaresjön	0,021	0,860	0,869
Norrsjön	0,302	-3,656	-61899,8
Räktjärv	0,008	0,933	0,905
Skeingesjön	0,010	0,917	0,890
Solnen	0,110	-5,092	-5,164
Stensjö	0,031	0,652	0,625
Stor-Lappträsket	0,392	0,098	0,097
Södra Bullaresjön	0,257	0,197	-1359,1
Tjeggelvas	0,037	0,599	0,607
Torneträsk	0,011	0,923	0,918
Tändalssjön	0,003	0,956	0,889
Vikaresjön	0,000	0,818	-1241,7
Vikarsjön	0,115	-1,643	-1,402
Vuolvojaure	0,042	0,728	0,735
Ånnsjön	0,023	0,779	0,790
Äcklingen	0,036	0,440	0,422

Öster-Noren	0,023	0,731	0,735
Överstjuktan	0,008	0,895	0,894
Summa/Medel	2,040	0,726	0,697

8.3 SAMMANFATTNING AV SJÖLYFTETS MÄTNINGAR

För alla Sjölyftets mätningar fanns också manuella skisser över sjöutloppen samt fotografier. Vattentföringssmätningarna gjordes med en flottör. För några sjöar var vattenföring omöjligt att mäta p.g.a. för lite flöde eller för brett utlopp. De allra flesta sjöarna har också mätningar av utloppets profil. Data kommer från SMHI Sjölyftet i Norrköpings kommun.

Sjönamn	Datum	Koord 1	koord 2	Bredd m	Flöde m3/s
Alsättersjön	2010-08-23	648969	151740	9,0	0,020
Axsjön	2010-08-19	649634	149600	6,0	0,074
Borlejasjön	2010-08-23	648863	151695	7,0	-
Bugsjögolén	2010-07-08	651194	151883	2,0	-
Bärsjön	2010-08-18	650935	152414	6,0	0,057
Eksjögolén	2010-07-06	650899	151604	17,0	-
Fjälsjön	2010-08-04	652217	151994	8,5	-
Fläten	2010-05-17	652048	152610	3,0	0,086
Gransjön	2010-06-09	652188	152458	5,7	0,029
Gullvagnen	2010-06-29	651021	153198	2,9	-
Gunnargölen	2010-06-17	651655	152233	13,0	0,14
Hargölen	2010-07-21	651423	152460	3,8	-
Holmsjön a	2010-08-24	650980	152874	0,5	0,084
Holmsjön b	2010-08-11	651368	152935	5,0	0,021
Landsjön	2010-08-17	648846	151365	3,7	0,042
Lilla Kosjön	2010-06-21	651717	152411	1,5	-
Lillsjön	2010-06-24	650408	151970	0,5	0,008
Långölen	2010-08-03	651154	152244	1,9	0,026
Långsjön	2010-07-12	651533	152854	2,6	-
Nedre Vekmangeln	2010-08-09	651080	152027	-	0,46
Norr sjön	2010-07-13	651577	151632	3,2	0,02
Näknen	2010-08-09	650833	152024	-	-
Oxtorpesjön	2010-08-23	648580	153221	3,4	-
Risten	2010-06-28	650823	151043	4,2	0,028
Roland	2010-08-16	650978	152794	5,9	-
Rödgölen	2010-07-20	651297	151496	16,3	-
Sarvgölen	2010-08-04	652264	152085	-	-
Skiren	2010-08-17	650581	152471	3,3	-
Skomakaren	2010-07-12	651061	151825	5,1	-
Skrovsjön	2010-06-23	651914	151841	2,0	0,011
Skrålen	2010-07-07	651335	152705	5,6	0,049
Skybyggegölen	2010-08-03	651540	151928	3,8	0,007
Skärgölen a	2010-06-14	651124	151869	1,3	0,003
Skärgölen b	2010-06-15	651172	152250	1,0	0,027
Skärgölen c	2010-07-13	651422	152812	1,7	-

St Gransjön	2010-08-18	650625	152297	1,8	0,004
Stora kosjön	2010-08-05	651856	152345	4,2	0,073
Stora Skärgölen	2010-07-05	650941	151505	2,2	0,028
St Sundbågen	2010-08-16	649799	149084	-	-
St. Såggölen	2010-07-05	651252	152684	3,4	0,03
Stora Älgsjön	2010-06-28	651189	152757	4,7	-
Stensjön	2010-08-16	649719	149151	3,6	0,006
Stocksjön	2010-07-01	650874	151419	5,2	0,109
St Grundgölen	2010-07-19	651773	152826	3,8	-
Stora Lyssgölen	2010-07-21	651633	151527	-	-
Stora Simsgölen	2010-07-21	651783	152658	4,4	-
Sävsjön	2010-07-19	651448	151419	2,7	-
Sörsjön	2010-07-12	651267	151652	12,0	0,145
Torsjön	2010-06-30	650572	153036	1,6	0,007
Trehörningen	2010-08-03	651543	151859	3,5	0,026
Trintvällan	2010-06-29	650571	151658	6,2	-
Ysjön	2010-07-14	651155	151345	2,9	-
Ågelsjön	2010-05-28	650571	151826	2,0	0,447
Åksjön a	2010-08-10	651587	153068	3,5	0,041
Åksjön b	2010-08-09	651828	152262	2,5	0,012
Ämten a	2010-07-14	651129	151378	6,3	-
Ämten b	2010-07-06	651335	152587	6,4	0,069
Ängstugugölen	2010-07-19	651322	151378	5,5	-
Övre Herrgölen	2010-06-18	650937	152492	4,1	0,012
Övre Vekmangeln	2010-08-05	651307	152063	4,8	-

8.4 ÅR OCH ÅRFÖLJDER SOM ANVÄNTS FÖR ENSTAKA VATTENSTÅNDSOBSERVATIONER

Först beräknades osäkerheten för val av endast ett år med vattenståndsdata. Sedan beräknades osäkerheten vid val av en tvåårsperiod o.s.v. (Tabell 1).

Tabell 1 Beskriver vilka år och årföljder av vattenståndsdata som använts för enstaka vattenståndsobservationer.

1 år	2 år	3 år	4 år	5 år	6 år	7 år	8 år	9 år	10 år
-99									
-00	99-00								
-01	00-01	99-01							
-02	01-02	00-02	99-02						
-03	02-03	01-03	00-03	99-03					
-04	03-04	02-04	01-04	01-04	99-04				
-05	04-05	03-05	02-05	02-05	00-05	99-05			
-06	05-06	04-06	03-06	03-06	01-06	00-06	99-06		
-07	06-07	05-07	04-07	04-07	02-07	01-07	00-07	99-07	
-08	07-08	06-08	05-08	05-08	03-08	02-08	01-08	00-08	99-08