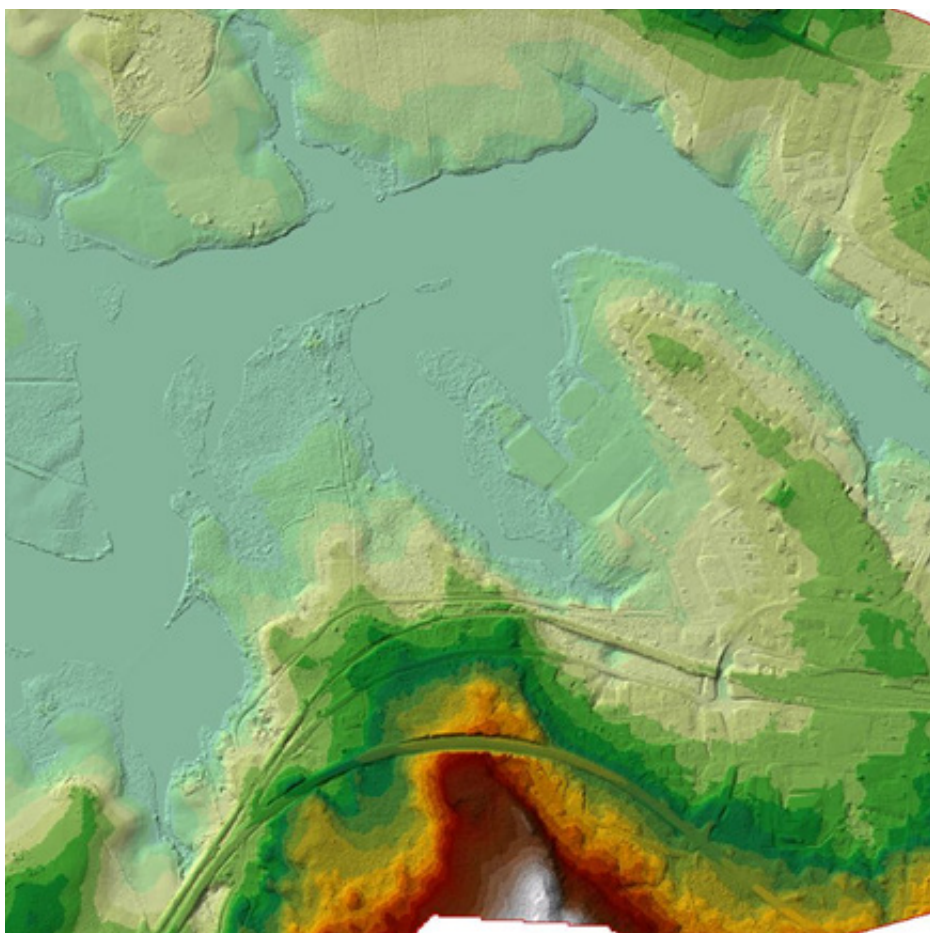


# MAGASINBESTÄMNING OCH TILLRINNINGSBERÄKNING

RAPPORT 2015:205





# **MAGASINBESTÄMNING OCH TILLRINNINGSBERÄKNING**

Utvärdering av möjligheter med laserskanningen från  
beredskapsplaneringsprojekten, ny nationell höjddata  
(NNH) och satellitbilder

DUNCAN MCCONNACHIE

ISBN 978-91-7673-205-2 | © 2015 ENERGIFORSK

Energiforsk AB | Telefon: 08-677 25 30 | E-post: [kontakt@energiforsk.se](mailto:kontakt@energiforsk.se) | [www.energiforsk.se](http://www.energiforsk.se)



## Förord

I vattenkraftsammanhang är magasinsbestämning och tillrinningsberäkningar av intresse. Med ett väl bestämt förhållande mellan vattenstånd och magasinets area kan en magasinstabell tas fram. I projektet utvärderas möjligheter att förbättra magasinstabellerna med hjälp av laserskanningen från beredskapsprojekten, ny nationell höjddata (NNH) och satellitbilder. Resultat visar på en ökad noggrannhet jämfört med befintliga magasintabeller och en hög korrelation i resultat mellan beräkningar baserad på laserskanning från beredskapsprojekten och NNH. Även automatiserade metoder för beräkning av en sjös area med hjälp av högupplösta satellitbilder visar på potential men utvärderingen är svårare eftersom det inte finns något absolut mått på en sjös area att jämföra med.

Projektet har ingått i HUVA - Energiforsks arbetsgrupp för Hydrologiskt UtvecklingsArbete vars huvudinriktning är att förbättra vattenkraftindustrins prognosmodeller. HUVA innehåller utvecklingsprojekt, omvärldsbevakning, utbildning inom vattenkrafthydrologi (HUVA-kursen), HUVA-dagen och standardisering. I HUVA-gruppen ingår:

Peter Calla, Vattenregleringsföretagen (ordf.)  
 Björn Norell, Vattenregleringsföretagen  
 Stefan Busse, E.ON Vattenkraft  
 Johan E. Andersson, Fortum  
 Emma Wikner, Statkraft  
 Knut Sand, Statkraft  
 Susanne Nyström, Vattenfall  
 Mikael Sundby, Vattenfall  
 Lars Pettersson, Skellefteälvens vattenregleringsföretag  
 Cristian Andersson, Energiforsk

E.ON Vattenkraft Sverige AB, Fortum Generation AB, Holmen Energi AB, Jämtkraft AB, Karlstads Energi AB, Skellefteå Kraft AB, Sollefteåforsens AB, Statkraft Sverige AB, Umeå Energi AB and Vattenfall Vattenkraft AB deltar i HUVA.

Ett stort tack riktas till Duncan McConnachie, WSP som genomfört projektet.

Stockholm, november 2015



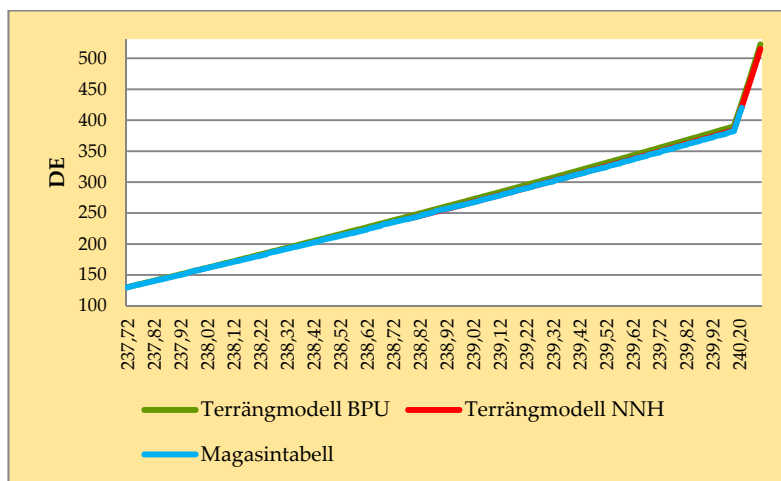
Cristian Andersson

Energiforsk

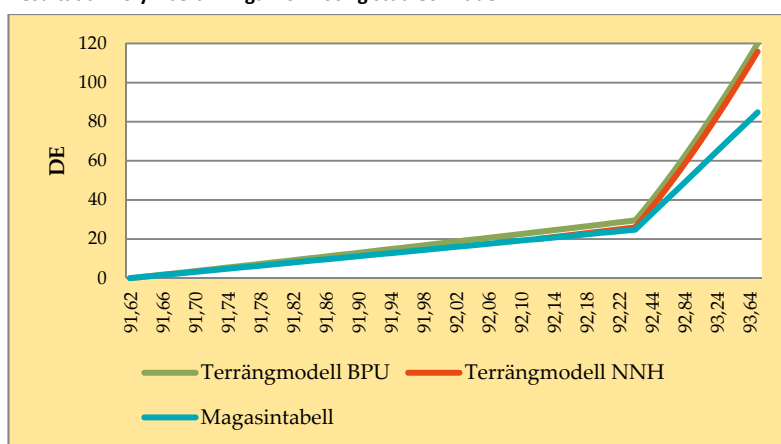
## Sammanfattning

Huvudsyftet med projektet var att utvärdera möjligheter att med hjälp av laserskanningen från beredskapsprojekten, ny nationell höjddata (NNH) och satellitbilder förbättra magasinbestämning och tillrinningsberäkningar. Två studieområden belägna längs Ångermanälven valdes ut för att testa metoden: Hoting och Forsse-Hjälta.

Del A i projektet har fokuserats på att beräkna volym för de utvalda magasinerna på centimeternivå upp till dämmningsgräns och decimeternivå upp till dammkrönet. Resultat visar en ökad noggrannhet jämfört med befintliga magasintabeller och en hög korrelation i resultat mellan beräkningar baserad på laserskanning från beredskapsprojekten och NNH (se figurer nedan).



Resultat av volymbereäkningar för Hoting studieområde



Resultat från volymbereäkningar för Forsse-Hjälta studieområde

Del B har testat och utvärderat automatiserade metoder för beräkning av en sjös area med hjälp av högupplösta satellitbilder (SPOT5). En översiktlig genomgång av litteratur har använts för att fastställa "state-of-the-art" inom området och för att identifiera lämpliga metoder. Att utvärdera resultatet innebär svårigheter eftersom det inte finns något absolut

mått på en sjös area. När de framräknade areorna jämfördes med areor genererade från terrängmodellen inom beredskapsplaneringsprojektet, uppnådes en noggrannhet på mellan 94-98% (se tabell nedan).

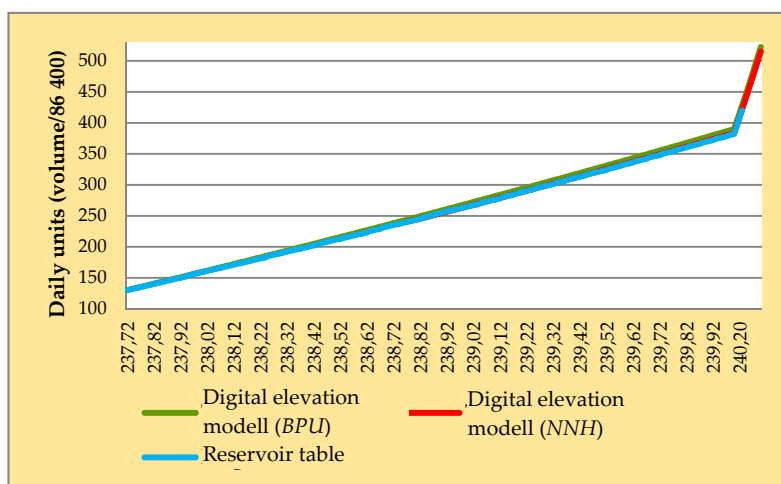
**Utvärdering och jämförelse med sjöyta karterad med terrängmodell**

| Metod                                   | Hoting<br>Andel av yta<br>(terrängmodell från<br>BPU) | Forsse-Hjälta<br>Andel av yta<br>(terrängmodell från BPU) |
|-----------------------------------------|-------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| SPOT5 NDWI (Metod 1a)                   | 96 %                                                  | 94 %                                                      |
| SPOT5 NDWI + Brightness (Metod 1a + 1b) | 96 %                                                  | 96 %                                                      |
| Segmentering - Meanshift (Metod 2)      | 98 %                                                  | 97 %                                                      |
| SPOT5 Omsamplad NDWI (Metod 3)          | -                                                     | 96 %                                                      |

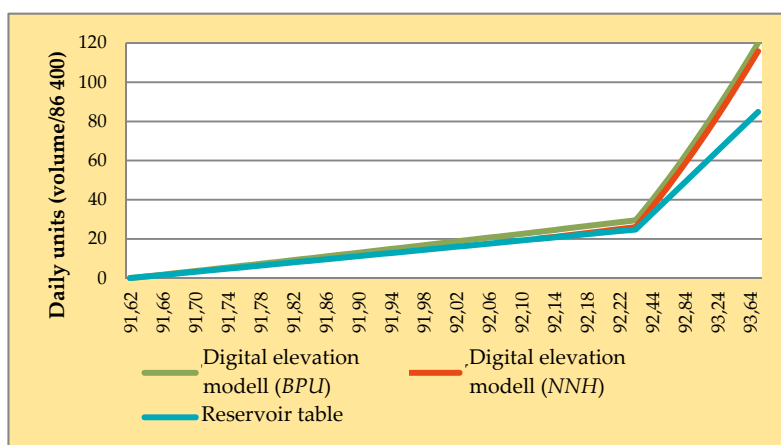
## Summary

The primary aim of the project was to evaluate the possibility of improving the quality of reservoir tables by exploiting lidar scanning data from a previous flood mapping project, lidar scanning data from the new national elevation database (NNH), as well as high resolution satellite imagery. Two study areas, *Hoting* and *Forsse-Hjälta*, located along *Ångermanälven* were chosen to test the methodology on.

Part A of the project focused on calculating volumes for the selected study areas in centimeter increments up to the dammed level (*dämningsgräns*) and in decimeter increments up to the peak dam level (*dammkrönet*). Calculations were performed on both laser data from both a previous flood mapping project and from the new national elevation database. This was done so as to be able to compare results obtained for the different datasets. Generally, the results show an increase in accuracy in the volume calculations and therefore also in the reservoir tables. There was even a high correlation in the results obtained based on the two laser datasets (see figures below)



A comparison of volume calculations for *Hoting* study area.



A comparison of volume calculations for *Forsse-Hjälta* study area.

Part B of the project has tested and evaluated automated methods for calculating a reservoirs area based on high resolution satellite imagery (*SPOT5*). A general survey of the relevant literature was carried out in order to identify suitable methods to employ. To evaluate the results of the analyses is not particularly easy since there is no absolute measure of a reservoirs area. The calculated areas were however compared to an area generated from the digital elevation model produced in the flood mapping project, and accuracies between 94-98% were achieved (see the table below).

**Evaluation and comparison of results against an area calculated from a digital elevation model**

| Metod                                    | Hoting<br>Andel av yta<br>(terrängmodell från<br>BPU) | Forsse-Hjälta<br>Andel av yta<br>(terrängmodell från BPU) |
|------------------------------------------|-------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| SPOT5 NDWI (Method 1a)                   | 96 %                                                  | 94 %                                                      |
| SPOT5 NDWI + Brightness (Method 1a + 1b) | 96 %                                                  | 96 %                                                      |
| Segmentering - Meanshift (Method 2)      | 98 %                                                  | 97 %                                                      |
| SPOT5 Omsamplad NDWI (Method 3)          | -                                                     | 96 %                                                      |

# Innehåll

|                 |                                                                                    |           |
|-----------------|------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b>        | <b>Inledning</b>                                                                   | <b>9</b>  |
| <b>2</b>        | <b>DEL A: Magasinbestämning</b>                                                    | <b>10</b> |
| 2.1             | Introduktion                                                                       | 10        |
| 2.2             | Förkortningar                                                                      | 10        |
| 2.3             | Studieområde                                                                       | 11        |
| 2.4             | Underlag                                                                           | 13        |
| 2.4.1           | Höjddata                                                                           | 13        |
| 2.4.2           | Vattennivåer                                                                       | 15        |
| 2.5             | Metodbeskrivning                                                                   | 15        |
| 2.6             | Resultat                                                                           | 20        |
| 2.6.1           | Hoting                                                                             | 20        |
| 2.6.2           | Forsse-Hjälta                                                                      | 21        |
| 2.7             | Diskussion                                                                         | 22        |
| <b>3</b>        | <b>DEL B: Automatiserad metod för beräkning av en sjös area med satellitbilder</b> | <b>23</b> |
| 3.1             | Introduktion                                                                       | 23        |
| 3.2             | Förkortningar                                                                      | 23        |
| 3.3             | Litteraturöversikt                                                                 | 23        |
| 3.4             | Studieområde                                                                       | 24        |
| 3.5             | Indata                                                                             | 24        |
| 3.6             | Metodbeskrivning                                                                   | 26        |
| 3.6.1           | Metod 1a – Klassning med NDWI                                                      | 26        |
| 3.6.2           | Metod 1b – Tillägg i kantzoner                                                     | 26        |
| 3.6.3           | Metod 2 - Segmentering                                                             | 26        |
| 3.6.4           | Metod 3 – Omsampling                                                               | 26        |
| 3.7             | Metodtester                                                                        | 26        |
| 3.7.1           | Metod 1a och 1b                                                                    | 26        |
| 3.7.2           | Metod 2                                                                            | 28        |
| 3.7.3           | Metod 3                                                                            | 28        |
| 3.8             | Utvärdering                                                                        | 29        |
| 3.9             | Begränsningar                                                                      | 31        |
| 3.9.1           | Upplösning                                                                         | 31        |
| 3.9.2           | Moln                                                                               | 32        |
| <b>Bilaga 1</b> |                                                                                    | <b>33</b> |
| <b>Bilaga 2</b> |                                                                                    | <b>40</b> |
| <b>Bilaga 3</b> |                                                                                    | <b>43</b> |

# 1 Inledning

För att bestämma tillrinningen över tid till ett magasin behövs information om vattenföring till- och från magasinet samt magasinets volymförändring. Med ett förhållande mellan vattenstånd och magasinets area kan en magasinstabell tas fram. Precisionen i magasinstabellen är helt och hållet beroende av den framtagna arean och de vattenståndsmätningar som gjorts för det enskilda magasinet. Magasinstabeller har tidigare tagits fram med hjälp av befintligt kartstöd och i vissa fall flygfoton som kompletterats med avvägning av strandplan och upprättande av djupkartor. Magasinstabeller har även upprättats genom antaganden av botten- och strandplanets lutning vilket rimligen medför osäker volymbestämmning.

Syftet med detta projekt är att utifrån laserskanningen från beredskapsprojekten, ny nationell höjddata (NNH) och högupplöst satellitbilder förbättra magasinbestämning och tillrinningsberäkningar. Två studieområden belägna längs Ångermanälven valdes ut för att testa metoden: Hoting och Forsse-Hjälta.

## 2 DEL A: Magasinbestämning

### 2.1 INTRODUKTION

Syftet med del A var att beräkna volymen för två lämpliga magasin, från vattennivån vid skanningstillfället upp till dämningssgräns (centimeterintervaller) samt mellan dämningssgräns och dammkrönet (decimeterintervaller). Volym har beräknats utifrån både laserskanningsdata från beredskapsplaneringunderlag samt den nya nationella höjdmodellen (NNH) för att kunna kontrollera noggrannheten. Resultatet har även jämförts med befintliga magsintabeller. Processen för att välja två lämpliga magasin gjordes i två steg. Först identifierades ett antal intressanta magasin och därefter gjordes en kontroll av vattennivåer vid skanningstillfället. Låga vattennivåer var ett viktigt krav eftersom metoden baseras på att kunna utnyttja den högupplösta terrängmodellen uppbyggd på laserskanning.

### 2.2 FÖRKORTNINGAR

Tabell 1. Förkortningar

| Teknisk term: |                                                                                                          |
|---------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| DG            | Dämningssgräns                                                                                           |
| DK            | Dammkrönet                                                                                               |
| DE            | Dygnsenheter (volym, m <sup>3</sup> / 86 400)                                                            |
| TM            | Terrängmodell                                                                                            |
| TIN           | Triangulated Irregular Network                                                                           |
| BPU           | Beredskapsplaneringsunderlag                                                                             |
| NNH           | Ny Nationella Höjdmodell, det korrekta namnet för själva produkten som används är GSD-Höjddata i grid 2+ |
| RH00          | Höjdsystem framtaget år 1900                                                                             |
| RH70          | Höjdsystem framtaget år 1970                                                                             |
| RH2000        | Höjdsystem framtaget år 2000                                                                             |
| VRF           | Vattenregleringsföretagen                                                                                |

### 2.3 STUDIEOMRÅDE

Magasin vid Hoting och Forsse-Hjälta, belägna i Ångermanälven, identifierades som lämpliga för studien.



Figur 1. Studieområdet "Hoting"



Figur 2. Studieområdet "Forsse-Hjälta"

## 2.4 UNDERLAG

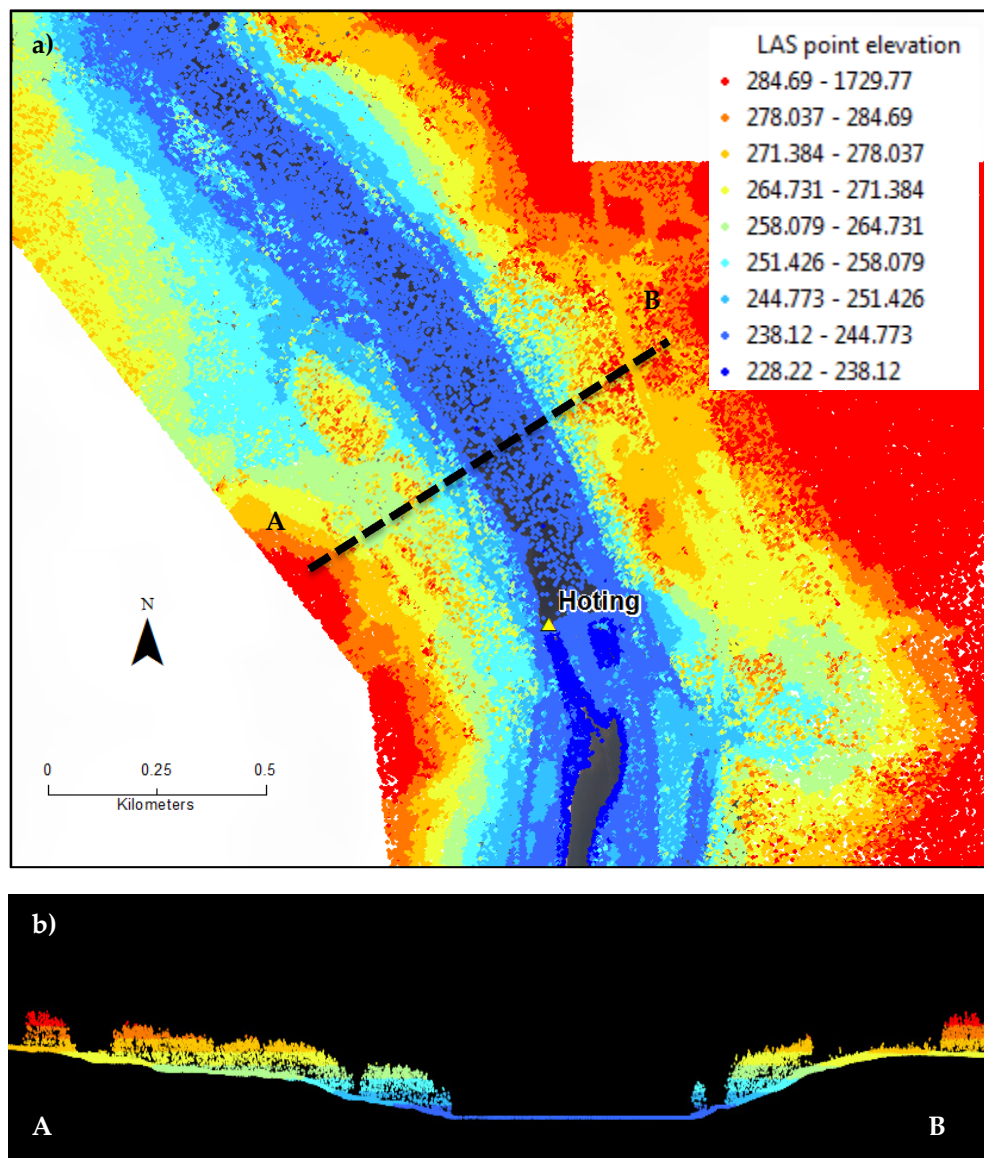
### 2.4.1 Höjddata

För att kunna beräkna volym är höjddata ett viktigt underlag. För denna studie har två olika underlag används. Den första är en laserskanningsdatabas som samlades in under beredskapsplaneringsuppdrag för Ångermanälven mellan åren 2012-2013. Den andra är NNH (GSD-Höjddata) som utfördes av Lantmäteriet under 2009-2015. En sammanfattning av både underlag är presenterad i tabell 2.

Tabell 2. Grundläggande underlag som har använts för volymberäkning.

| Underlag                                  | Beskrivning                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|-------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Laserdata (BPU)</b>                    | Insamlat under beredskapsplanering i Ångermanälven som genomfördes under 2012-2015. Laserskanning utfördes mellan 2012-2013. Noggrannheten i höjd är mindre än 0,5 m.                                                                                                                               |
| <b>Terrängmodell (5 x 5 m upplösning)</b> | Genererades under projektet beredskapsplanering i Ångermanälven. Uppbyggt av laserskannad terränginformation (se ovan) och bottendata, som in sin tur är uppbyggt av ekolodningar, men även andra källor som t.ex. sjökartor                                                                        |
| <b>NNH (GSD-Höjddata i grid 2+)</b>       | Rikstäckande laserskanning utförd av Lantmäteriet under 2009-2015 inom projekt Nationell höjdmodell. Produkten är framställd ur data från flygburen laserskanning och innehåller koordinatsatta höjdpunkter i ett tvåmeters regelbundet rutnät, ett så kallat grid, med mycket hög höjdnoggrannhet. |

Flygburen laserskanningsdata har genomgått ett enormt utveckling de senaste åren och är nu den vanligaste metoden för att ta fram digitala terrängmodeller. Data samlas in genom att laserpulser skickas ut från sensorn, reflekteras mot objekt på marken och registreras igen när pulsen åter når sensorn. Den tid det tar för pulsen att förflytta sig från sensorn till objektet och tillbaka används sedan för beräkning av avståndet till det registrerade objektet. Genom kontinuerlig registrering är det möjligt att skapa en bild av markytan och dess objekt (Källa: Lantmäteriet, 2015). Figur 3 illustrerar en del av "punktmolnet" som samlades in under laserskanning för BPU. Det redovisade området ligger direkt uppströms Hoting damm där laserpunkter klassats efter dess höjd över havet. Från punktmolnet kan alla de punkter som klassats som mark användas för att generera en höjdmodell.



Figur 3 (a) Utsnitt från laserdataunderlag nära dammen Hoting. (b) Profil tvärs över vattendraget där punktmolnet med laserdata är synligt. Punkterna är klassade så att det lätt går att skilja ut markyta och vatten.

#### 2.4.2 Vattennivåer

Information kopplad till varje studieområde samlades in (Tabell 3 och Tabell 4). Datumet då laserskanningen genomfördes var viktigt att fastställa, eftersom detta möjliggjorde en kontroll av vattennivån i magasinet vid insamlingstillfället. En så låg vattennivå som möjligt söktes. Även information om DG och DK för respektive magasin samlades in.

Eftersom en stor del av grunddata (t.ex. allt underlag från beredskapsplaneringsuppdrag) är i koordinatsystem RT90 2.5 gon V samt höjdsystem RH70, har alla beräkningar gjorts i detta system. Vattennivåer har därför konverterats från RH00 och RH2000 till RH70. Skillnaden i höjd mellan de olika systemen redovisas i tabellen nedan.

Tabell 3. Summering av nivådata för Hoting. (Data i kursiv och understryckt är original nivåer)

| Hoting                                               |               |              |               |
|------------------------------------------------------|---------------|--------------|---------------|
| Datum laserskanning utfördes över Hoting: 2013-05-17 |               |              |               |
| Differens RH00-RH70: - 0,68 m                        |               |              |               |
| Differens RH2000-RH70: + 0,27 m                      |               |              |               |
|                                                      | RH00 (m)      | RH70 (m)     | RH2000 (m)    |
| Vattennivå vid laserskanning (BPU)                   | 237,72        | <u>238,4</u> | 238,67        |
| Mät vattennivå vid laserskanning (BPU)               | <u>237,77</u> | 238,45       | 238,72        |
| Vattennivå vid laserskanning (NNH)                   | 238,77        | 239,45       | <u>239,72</u> |
| Mät vattennivå vid laserskanning (NNH)               | <u>238,73</u> | 239,41       | 239,68        |
| DG                                                   | <u>239,00</u> | 239,68       | 239,95        |
| DK                                                   | <u>241,00</u> | 241,68       | 241,95        |

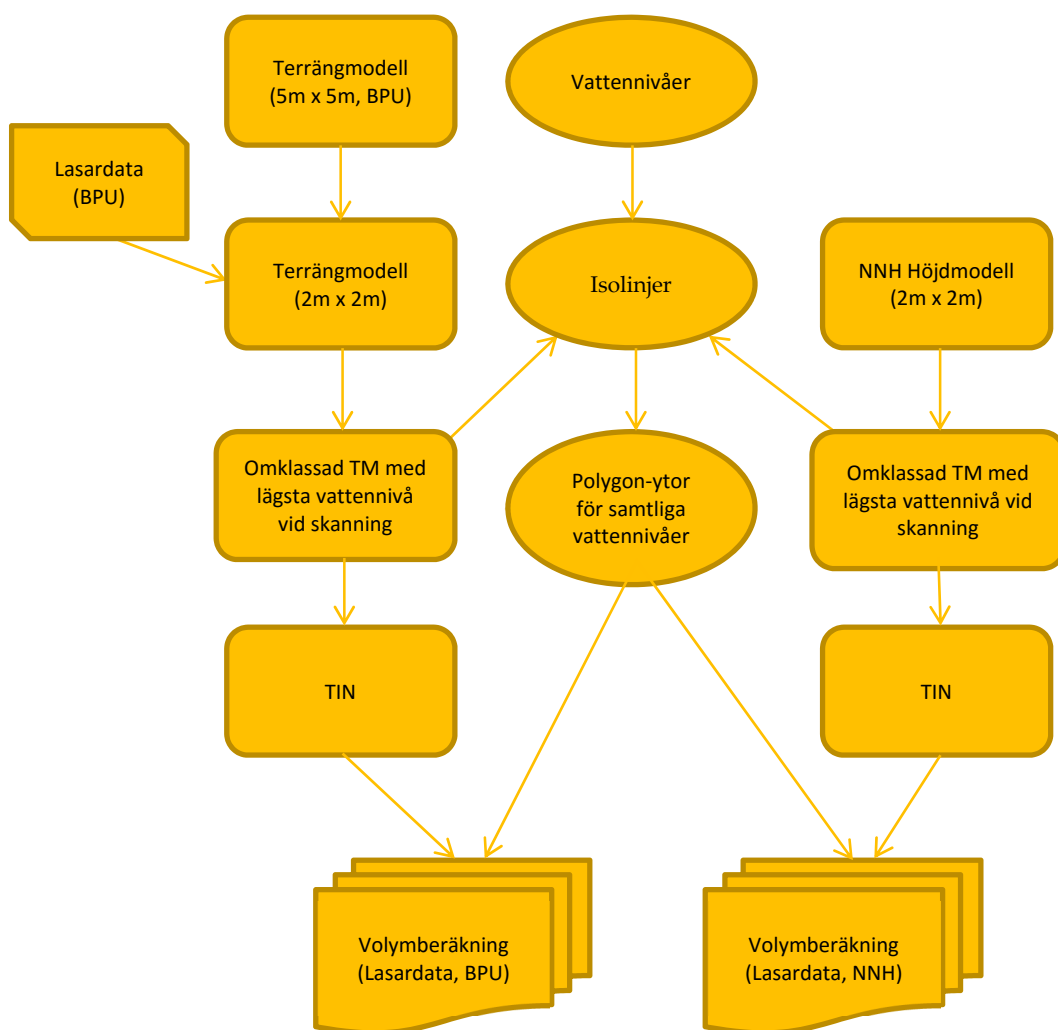
Tabell 4. Summering av nivådata för Forsse-Hjälta (Data i kursiv och understryckt är original nivåer)

| Forsse-Hjälta                                               |              |              |              |
|-------------------------------------------------------------|--------------|--------------|--------------|
| Datum laserskanning utfördes över Forsse-Hjälta: 2013-05-17 |              |              |              |
| Differens RH00-RH70: - 0.68 m                               |              |              |              |
| Differens Rh2000-Rh70: + 0.30 m                             |              |              |              |
|                                                             | RH00 (m)     | RH70 (m)     | RH2000 (m)   |
| Vattennivå vid laserskanning (BPU)                          | 91,62        | <u>92,30</u> | 92,60        |
| Mät vattennivå vid laserskanning (BPU)                      | <u>91,32</u> | 92,00        | 92,30        |
| Vattennivå vid laserskanning (NNH)                          | 92,12        | 92,80        | <u>93,10</u> |
| Mät vattennivå vid laserskanning (NNH)                      | <u>92,05</u> | 92,73        | 93,03        |
| DG                                                          | <u>92,24</u> | 92,92        | 93,22        |
| DK                                                          | <u>93,75</u> | 94,43        | 94,73        |

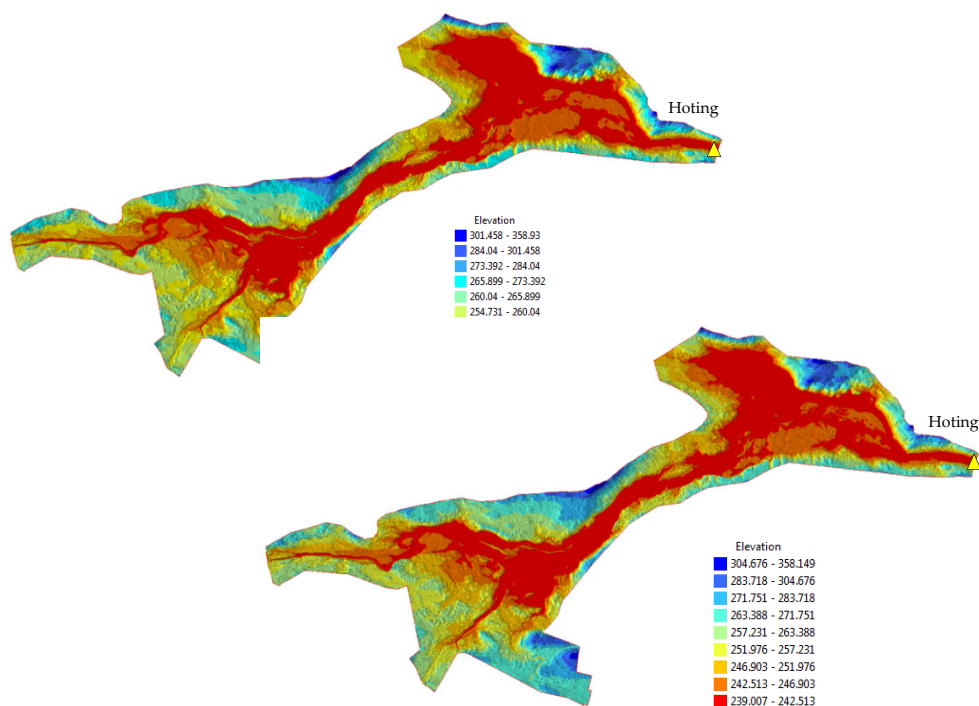
#### 2.5 METODBESKRIVNING

All bearbetning och analys av data har gjorts i GIS-programmet ArcGIS 10.3 tillsammans med tillägget Spatial Analyst och 3D-Analyst. Samtliga underlag har, där relevant, transformerats till koordinatsystem RT90 2.5 gon V och höjdsystem RH70.

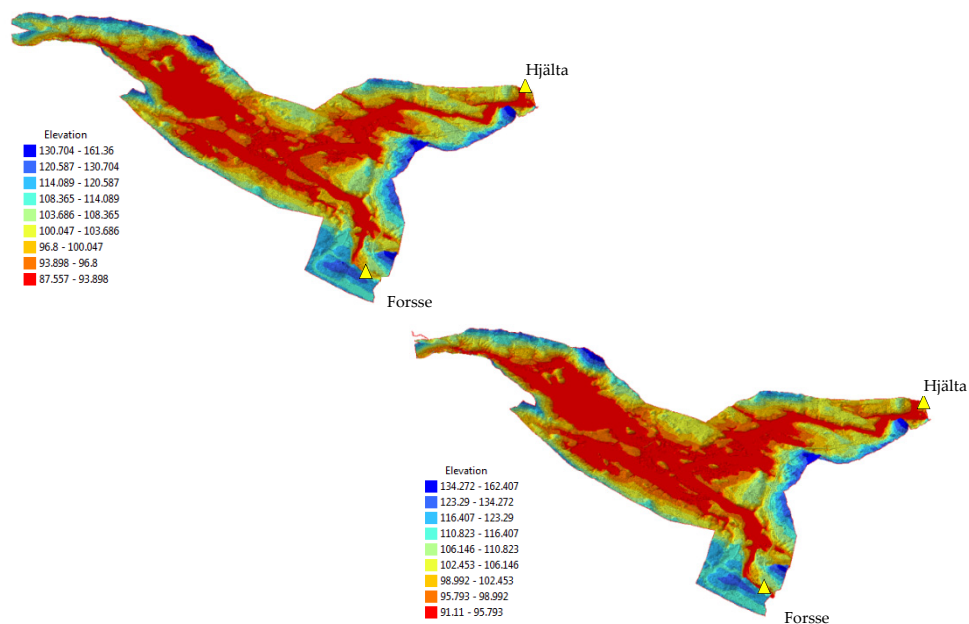
Figur 4 beskriver översiktligt den arbetsmetod som tillämpats. Upplösningen i den ursprungliga terrängmodellen från BPU har förbättrats från 5m x 5m till 2m x 2m genom att generera en ny terrängmodell utifrån laserskanning. Kravet i BPU var endast 5m x 5m, men laserskannad data tillåter att en mycket högre upplöst modell genereras. Även en terrängmodell baserad på NNH-data generades, med upplösning 2m x 2m (Figur 5 och Figur 6). Utifrån den lägsta vattenytan (bestämd från skanningsdata) och terrängmodellen (både från BPU och NNH), beräknades volymen upp till dämningssgräns (centimeterintervall) och däröver (decimeterintervall) för de två utvalda magasinen. Analysen gjordes med ArcGIS 10.3 och tillägget 3D-Analyst. Verktöget "Polygon Volume" tillämpades för att räkna ut volymen från vattennivå vid skanningstillfälle och upp till DG (centimeterintervaller) och DK (decimeterintervaller). Innan verktöget kunde användas var terrängmodellerna i GRID-format tvungna att konverteras till TIN. En unik isolinje för samtliga vattennivåer togs fram med verktöget "Contour List", vilka sedan användes för att generera en topologiskt korrekt polygon-fil för varje nivå för studieområdet Hoting (Figur 7 och Figur 8) samt Forse-Hjälta (Figur 9 och Figur 10). Utifrån polygonytan och den TIN som genererats beräknades en volym. Resultatet för samtliga nivåer sammanställdes slutligen i en tabell.



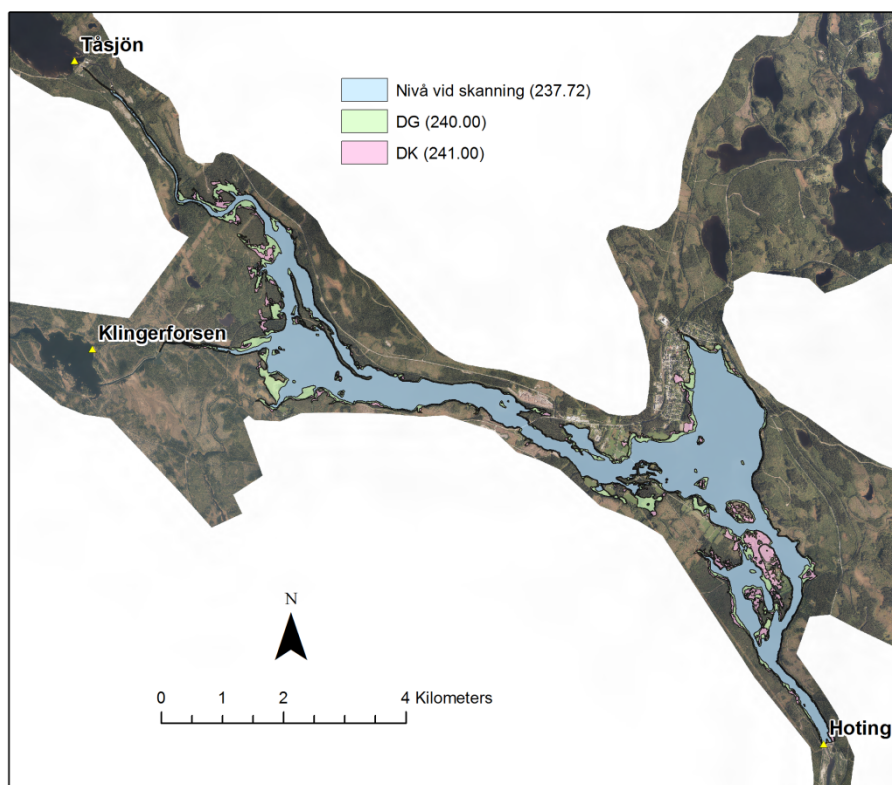
Figur 4. Flödesdiagram som översiktligt beskriver metoden för volymberäkning som tillämpats.



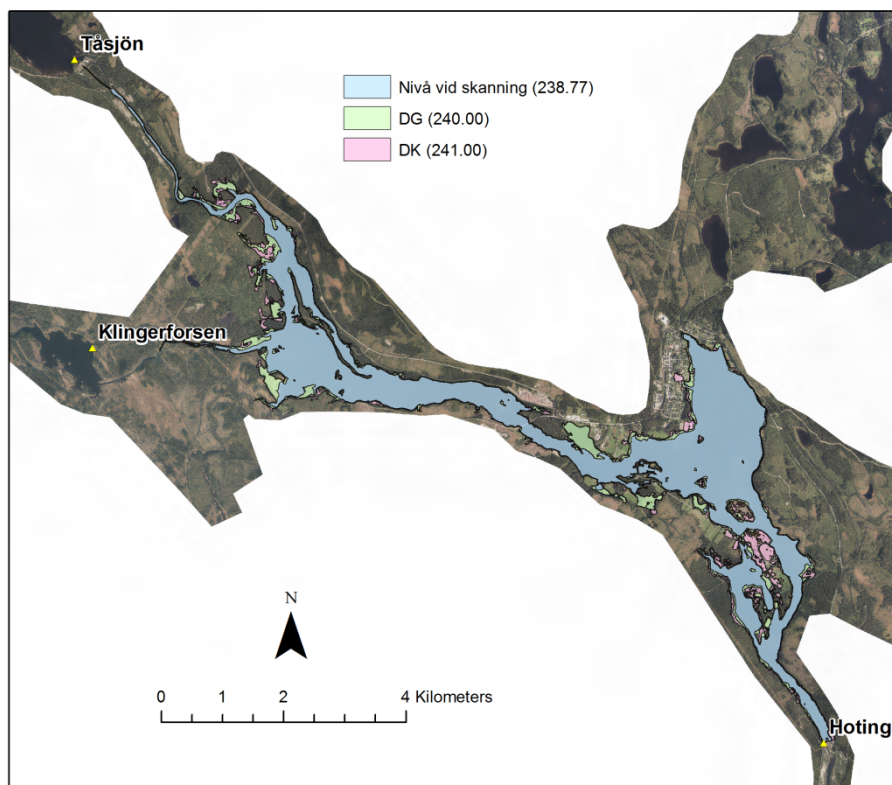
Figur 5. Hotings terrängmodeller för volyMBERÄKNING, (a) baserad på laserskanning från BPU och (b) baserad på NNH-data



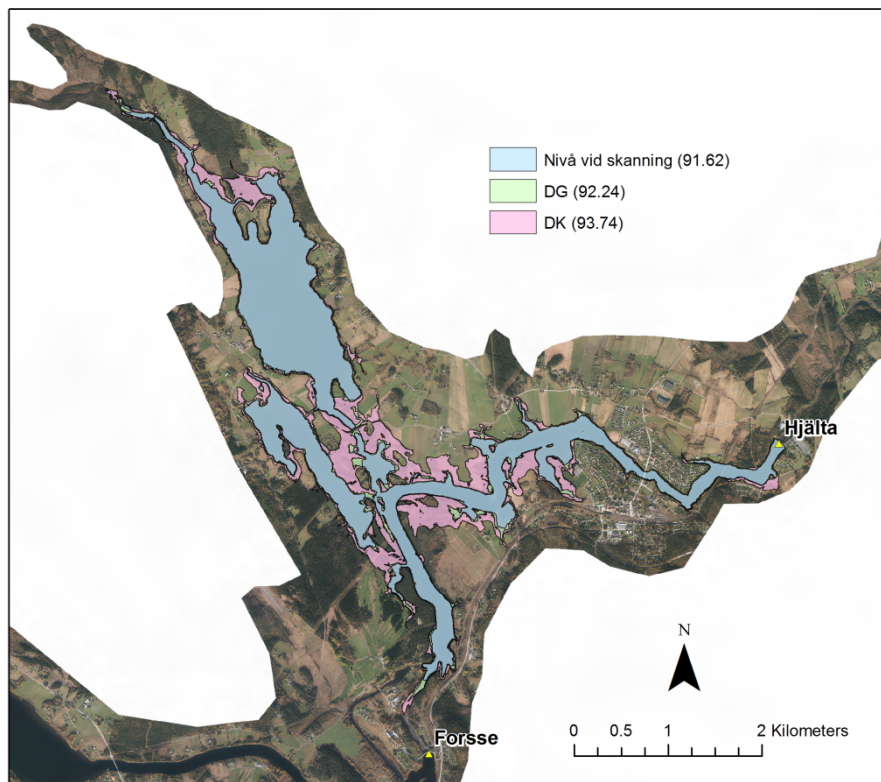
Figur 6. Forsse-Hjälta's terrängmodeller för volyMBERÄKNING, (a) baserad på laserskanning från BPU och (b) baserad på NNH-data



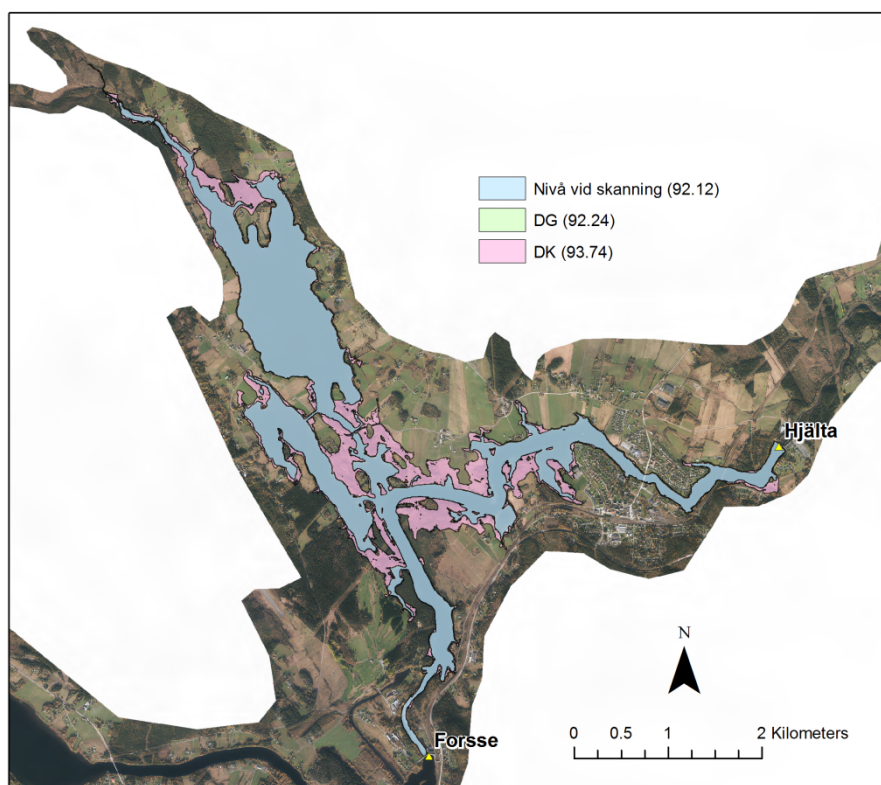
Figur 7. Urval av vattenutbredningspolygoner för Hoting vid olika nivåer baserade på terrängmodellen från BPU. Redovisade nivåer är i höjdsystem RH00.



Figur 8. Urval av vattenutbredningspolygoner för Hoting vid olika nivåer baserade på terrängmodellen från NNH. Redovisade nivåer är i höjdsystem RH00.



Figur 9. Urval av vattenutbredningspolygoner för Forsse-Hjälta vid olika nivåer baserade på terrängmodellen från BPU. Redovisade nivåer är i höjdsystem RH00.



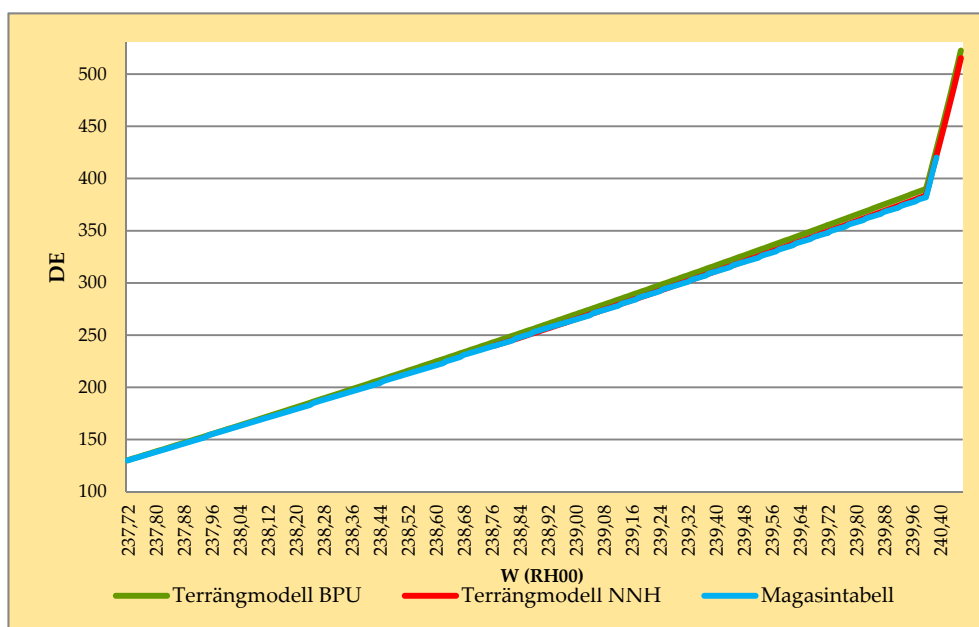
Figur 10. Urval av vattenutbredningspolygoner för Forsse-Hjälta vid olika nivåer baserade på terrängmodellen från NNH. Redovisade nivåer är i höjdsystem RH00.

## 2.6 RESULTAT

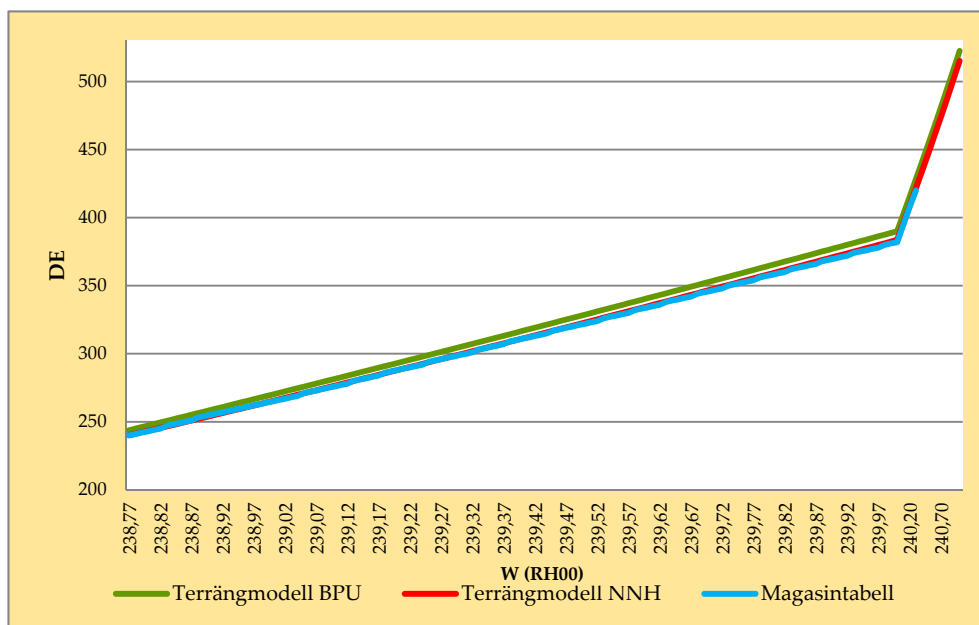
Resultat av analysen har sammanställts i ett antal figurer (Figur 11-Figur 14) samt i två tabeller (Bilaga 1 och Bilaga 2) där volymen (konverterad till DE) för respektive magasin redovisas i centimeterintervall upp till dämningssgräns och i decimeterintervall däröver. Både beräkningar baserad på terrängmodellen från BPU samt från NNH redovisas. En jämförelse har också gjorts mot befintliga magasinstabeller för att utvärdera noggrannheten och osäkerheter i metoden.

### 2.6.1 Hoting

Resultat för Hoting presenteras i två figurer nedan. Den första (Figur 11) redovisar DE för samtliga vattennivåer (från 237,72 m, RH00 upp till DK). I den andra figuren (Figur 12) redovisas samma resultat som i Figur 11 men enbart för vattennivåer från 238,77 m (RH00) upp till DK. Resultatet är jämfört med värden hämtade från en befintlig magasinintabell där DE är sammanställt för vattennivåer i Hotingsjön (från 236,3 m till 240,3 m, RH00).



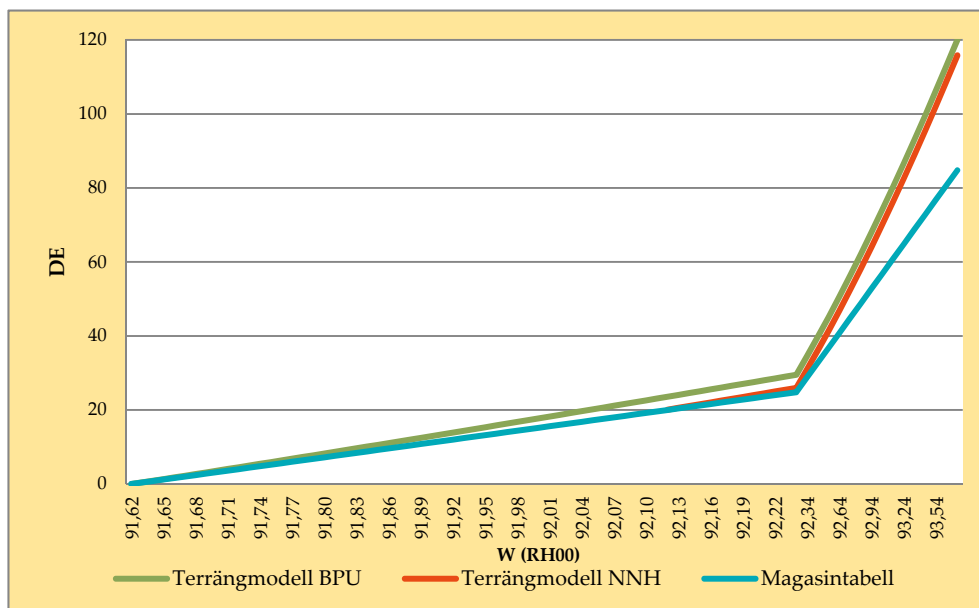
Figur 11. Hoting - jämförelse av beräknad DE baserad på terrängmodeller från BPU och NNH med DE från befintlig magasinintabell (vattennivå från 237,72 m till DK).



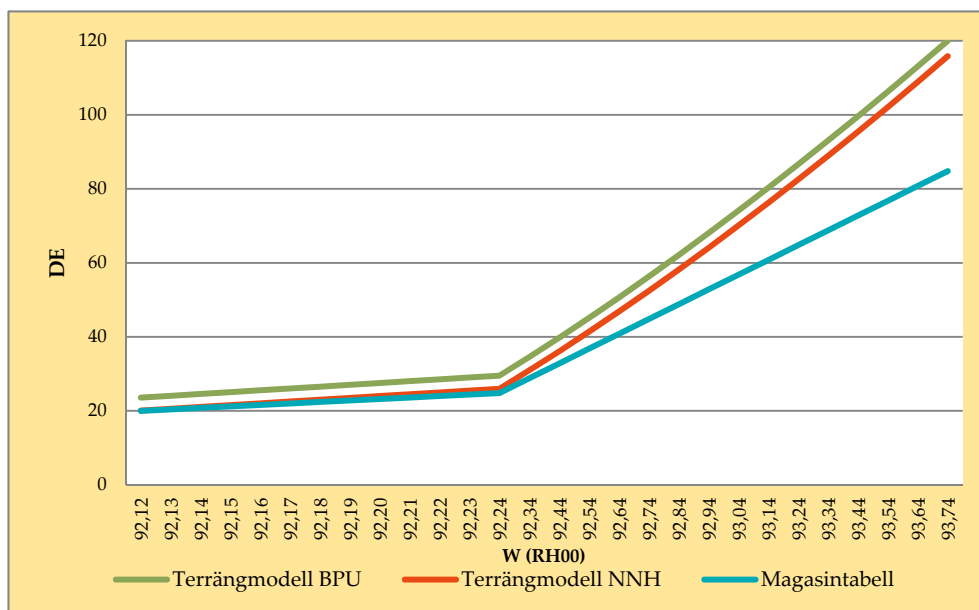
Figur 12. Hoting - jämförelse av volymleräkning baserad på terrängmodeller från BPU och NNH med volymer från befintlig magasintabell (vattennivå från 238,77 m till DK).

#### 2.6.2 Forsse-Hjälta

Resultat för Forsse-Hjälta presenteras i två figurer nedan. Den första (Figur 13) redovisar DE för samtliga vattennivåer (från 91.62 m, RH00 upp till DK). I den andra figuren (Figur 14) redovisas samma resultat som i Figur 13 men enbart för vattennivåer från 92.12 m (RH00) upp till DK. Tidigare har DE beräknats genom följande ekvation:  $DE = (W - 90) * 40$ , där W är vattennivå. I denna analys utgör vattennivån 91,62 (RH00) en referensnivå med DE lika med 0.



Figur 13. Forsse-Hjälta - jämförelse av volymleräkning baserad på terrängmodeller från BPU och NNH med volymer från befintlig magasintabell (vattennivå från 91.62 m till DK).



Figur 14. Forsse-Hjälta - jämförelse av volymeräknung baserad på terrängmodeller från BPU och NNH med volymer från befintlig magasintabell (vattennivå från 92,12 m till DK).

## 2.7 DISKUSSION

Det kan antas att beräkningar baserade på laserskanning resulterar i en mer noggrann uppskattning av volym för magasin jämfört med befintliga magasintabeller.

Resultat för Hoting visar en hög korrelationen mellan volymer beräknade med både underlag från BPU och NNH jämfört med den befintliga magasintabellen. Resultat för Forsse-Hjälta visar en relativ hög korrelation för vattennivåer från 91,62 m (RH00) upp till 92,24 m (RH00). Mellan nivå 92,24 (RH00) och 93,74 (RH00) finns det en fortsatt hög korrelation mellan beräkningar baserad på BPU- och NNH-data. Däremot verkar det som om den befintliga magsintabellen underskattar DE med cirka 30 DE vid DK.

Det har även visat sig att beräkningar baserade på laserskanning från BPU ger i princip samma resultat jämfört med beräkningar baserad på NNH-data. En tydlig begränsning i metoden är datumet för skanningen. Detta framgår genom att lägre vattennivåer vid skanningstillfället ger desto mer detaljerade och noggranna resultat. Lantmäteriets program för laserskanning, vilket utgör underlaget för generering av den rikstäckande höjdmodellen, är nästan komplett. I nuläget är det osäkert när skanningen kommer att uppdateras. Det betyder att underlaget är en "ögonblicksbild" och att det inte finns någon möjlighet att påverka insamlingstidpunkten. Laserskanning kan beställas vid en bestämt tidpunkt (t.ex. när vattennivån är väldigt lågt i magasinet.), men då måste en särskilt flygning göras. Kostnaden kan variera stort beroende på områdets storlek samt årstiden för skanning.

### 3 DEL B: Automatiserad metod för beräkning av en sjös area med satellitbilder

#### 3.1 INTRODUKTION

Huvudsyftet med del B var att testa och utvärdera automatiserade metoder för beräkning av en sjös area med hjälp av högupplösta satellitbilder. En översiktlig genomgång av litteratur har gjorts för att fastställa "state-of-the-art" inom området och för att identifiera lämpliga metoder. Dessa metoder har sedan använts för att göra beräkningar av arean hos två sjöar. För enkelhets skull har samma sjöar använts som i del A av uppdraget, Hoting och Forsse-Hälta. Tre metoder har tillämpats på två SPOT5-bilder. Samtliga metoder samt en bedömning av de olika metodernas noggrannhet och osäkerheter beskrivs.

#### 3.2 FÖRKORTNINGAR

Tabell 5. Förkortningar

| Teknisk term:     |                                                             |
|-------------------|-------------------------------------------------------------|
| <b>LANDSAT</b>    | Landsat satellitprogram (USA)                               |
| <b>Sentinel 2</b> | Satellit inom Copernicusprogrammet (ESA)                    |
| <b>SPOT 5</b>     | Satellit från franska SpotImage, Kommersiella HR Satelliter |
| <b>SPOT 6, 7</b>  | Satellit från franska SpotImage, Kommersiella HR Satelliter |
| <b>IKONOS</b>     | Kommersiell HR Satellit                                     |
| <b>NIR</b>        | Near Infrared                                               |
| <b>SWIR</b>       | Short Wave Infrared                                         |
| <b>ESA</b>        | European Space Agency                                       |
| <b>HR</b>         | High Resolution                                             |
| <b>NDWI</b>       | Normalized Difference Water Index                           |
| <b>MNDWI</b>      | Modified Normalized Difference Water Index                  |

#### 3.3 LITTERATURÖVERSIKT

Det finns en stor mängd litteratur inom detta område ur vilket ett urval gjorts (se Bilaga 3). Denna översikt berör endast optiska satellitdata, och inte radardata. De flesta författarna har använt sig av data från LANDSAT satelliterna, med en upplösning om 30 meter på markytan. Några författare har använt sig av andra sensorer som SPOT5 eller IKONOS. Metodmässigt finns ganska många gemensamma drag som t.ex.:

- Många använder sig av index som innehåller ett synligt våglängdsband och ett i det infraröda spektrat
- Man använder sig av pixelklassning
- Noggrannhet mot referensdata ligger ofta i spannet mellan 90 – 98 %

Olika ansatser används också för att göra klassificeringen. I många fall används så kallad 'supervised classification', d.v.s. klassning som görs genom att använda

träningssytor på kända klasser. Denna ansats ger i stort sett alltid bättre resultat än s.k. 'unsupervised classification' där klassningen görs direkt av en algoritm. Många gånger sker klassificeringen i ett antal steg, där t.ex. brus filtreras bort, eller kända ytor som inte ska vara med tas bort. Några faktorer som har stor betydelse för resultatet är:

- Sensorn och dess specifikationer
- Korrigering av bilder (atmosfäriska förhållanden vid bildtillfället)
- Förekomst av moln och dis
- Belysningsvinklar och årstid

Sammantaget kan man konstatera att det i nuläget är svårt att peka på en enskild metod som med hög noggrannhet kan identifiera sjöytor oberoende av sensor, geografisk miljö och årstid. Metoden man väljer måste därför i viss mån anpassas till sensor och geografi.

### 3.4 STUDIEOMRÅDE

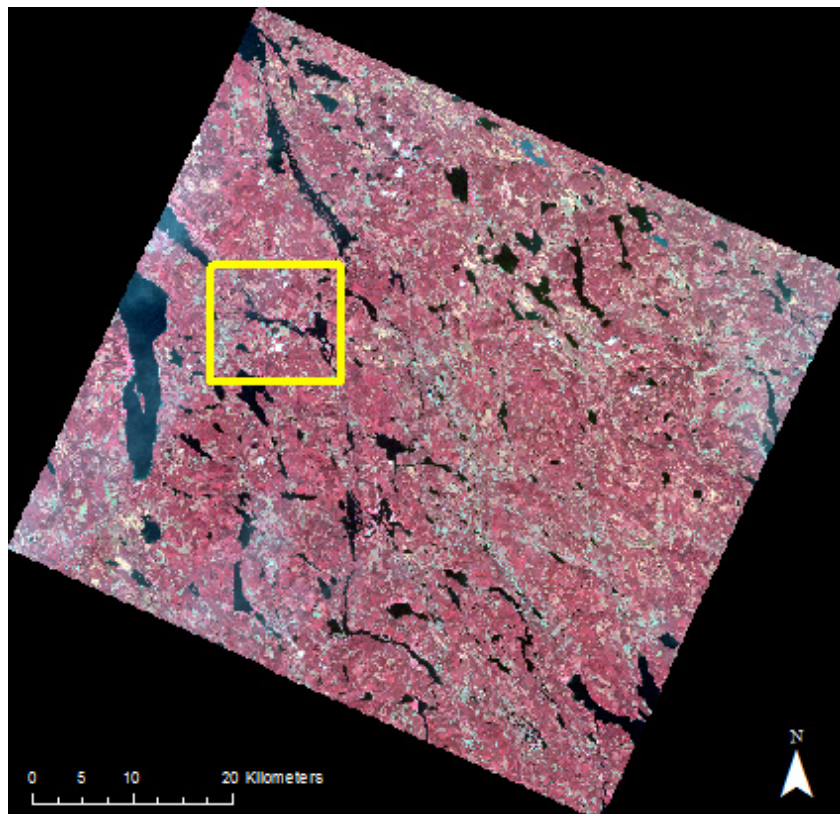
Metoden testades i samma områden, Hoting och Forsse-Hjälta, som i del A (Figur 1 och Figur 2).

### 3.5 INDATA

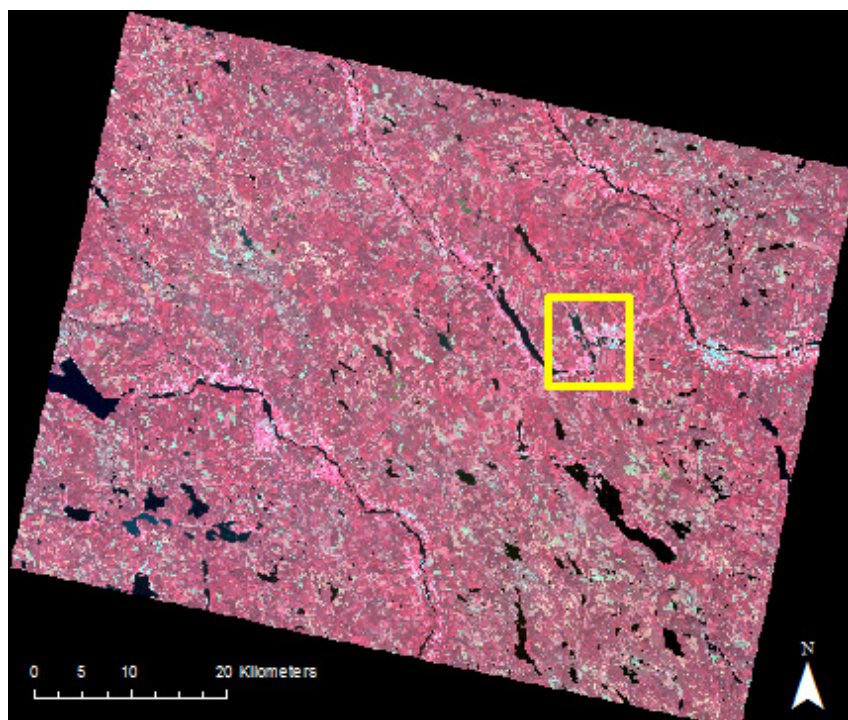
Två Spot5 bilder (Tabell 6) med 10 m x 10 m upplösning har använts. Bilder inhämtades från Lantmäteriets Saccess databas. Satellitdatabasen innehåller satellitbilder över Sverige som täcker in varje årtionde från 1970-talet och framåt.

Tabell 6. Satellitbilder

| Data                                     | Datum      | Upplösning | Kommentar                         | Källa                     | Studie-<br>område | Bild     |
|------------------------------------------|------------|------------|-----------------------------------|---------------------------|-------------------|----------|
| SPOT5_HRG1_049-218---<br>0_130825_102807 | 2013-08-25 | 10m        | Band:<br>Green, Red,<br>NIR, SWIR | Saccess<br>(Lantmäteriet) | Hoting            | Figur 15 |
| SPOT5_HRG1_053-220---<br>0_130802_093137 | 2013-08-02 | 10m        | Band:<br>Green, Red,<br>NIR, SWIR | Saccess<br>(Lantmäteriet) | Forsse-<br>Hjälta | Figur 16 |



Figur 15. Spot 5 satellitbild över Hoting studieområde. Bilden är tagen 2013-08-25.



Figur 16. Spot 5 satellitbild över Forse-Hjälta studieområde. Bilden är tagen 2013-08-02.

### 3.6 METODBESKRIVNING

#### 3.6.1 Metod 1a – Klassning med NDWI

Användning av NDWI är en relativt robust metod för att kartlägga vattenområden med hjälp av satellitbilder. Metoden bygger på skillnader i reflektans från de gröna och nära infraröda våglängdsbanden. Grönt ljus har kortare våglängd än infrarött och reflekteras något av vattnet, medan infrarött ljus i stort sett inte reflekteras alls. NDWI beräknas som följer:

$$NDWI = (Green - NIR)/(Green + NIR)$$

Typiskt sett är NDWI för sjöytor  $> 0$ , medan landytor är  $< 0$  (Figur 17). Detta enkla förhållande gäller dock inte för alla bebyggda eller hårdgjorda områden där NDWI kan vara  $> 0$ . Bebyggda och hårdgjorda ytor har dock betydligt större reflektans i NIR och SWIR, vilket gör det möjligt att sortera bort dessa.

#### 3.6.2 Metod 1b – Tillägg i kantzoner

Denna metod är en vidareutveckling av Metod 1a som egentligen bara innebär att mixade pixlar i gränsen mellan sjö och land läggs till för att få ett bättre resultat. Metod 1a tar fram en robust sjöyta, och med Metod 1b lägger man till pixlar i kantzonen mot land som med största sannolikhet också är sjöyta, men där träd och vegetation påverkar de spektrala egenskaperna och gör signalen från vattnet mindre tydlig.

#### 3.6.3 Metod 2 - Segmentering

Denna metod bygger på segmentering av bilden med hela det spektrala innehållet. Den så kallade "Mean-shift" – algoritmen hittar gränser i bilden som har de största medelvärdesskillnaderna. Därefter grupperas bildpixlar med liknande spektralt innehåll så att bilden delas upp i ett antal segment (Figur 23). Ett urval av de områden som sammanfaller visuellt med sjöytan sker sedan manuellt i GIS.

#### 3.6.4 Metod 3 – Omsampling

Denna metod är enbart testad för att belysa hur skillnader i upplösning skulle kunna påverka totalarean av sjöytor. Satellitdata 10m omsamlades till 2m upplösning med bilinjär interpolation. Innehållet i data är detsamma, men det visuella intrycket och jämförelsen med andra underlag kan vara lättare att göra (t.ex. strandlinjer i vektorform extraherade ur andra underlag).

### 3.7 METODTESTER

#### 3.7.1 Metod 1a och 1b

Metod 1a och 1b testades i båda studieområdena. I Tabell 7 beskrivs arbetsflödet.

Tabell 7. Arbetsflöde för metod 1a och 1b

| Steg | Metod | Moment                                                                                                         | Figur    |
|------|-------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| 1    | 1a    | Skapa NDWI index med hjälp av NIR och Grönt band                                                               | Figur 17 |
| 2    | 1a    | Skapa ett ljushetsindex (brightness) av NIR och SWIR (NIR+SWIR) / 510. Detta ger värden mellan 0 och 1.        | Figur 18 |
| 3    | 1a    | Ta fram områden där NDWI > 0 och ljushetsindex < 0.35                                                          | Figur 19 |
| 4    | 1a    | Vektorisera dessa områden och ta bort mindre områden som inte ligger nära sjöytorna                            | Figur 20 |
| 5    | 1b    | Ta fram områden där NDWI > -0.08 och ljushetsindex < 0.35, samt inte sammanfaller med ytor framtagna i steg 3. | Figur 21 |
| 6    | 1b    | Vektorisera områden framtagna i steg 5 och gör ett urval av de som ligger intill ytor framtagna i steg 4       | Figur 22 |



Figur 17. NDWI



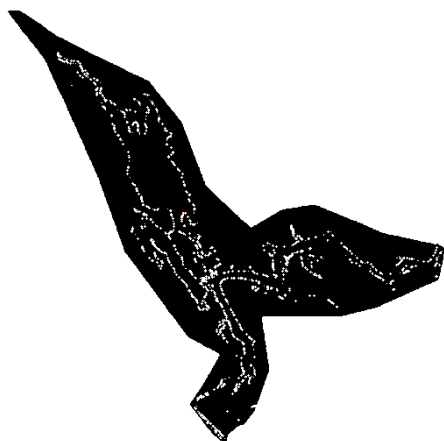
Figur 18. Ljushetsindex



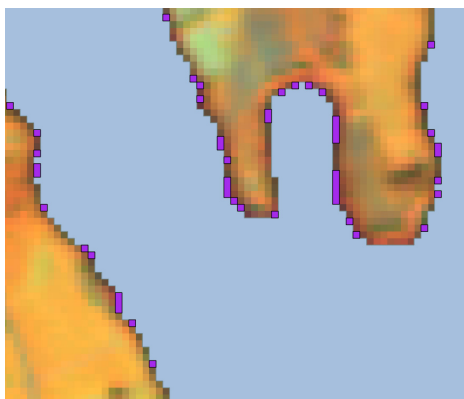
Figur 19. NDWI &gt; 0 och ljushetsindex &lt; 0.35



Figur 20. Vektorisering



Figur 21. Kantzoner



Figur 22. Kantzoner i detalj

### 3.7.2 Metod 2

Metod 2 testades i båda studieområdena. I Tabell 8 beskrivs arbetsflödet.

**Tabell 8. Arbetsflöde för metod 2**

| Steg | Metod | Moment                                                                                                                               | Figur    |
|------|-------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| 1    | 2     | Gör en mean-shift segmentering. I detta fall användes Orfeo-toolbox, med sökradie 5 pixlar och en 'Range radius' om 20 digitalnivåer | Figur 23 |
| 2    | 2     | Gör ett manuellt urval av de områden som sammanfaller med vatten området.                                                            | Figur 24 |



Figur 23 Segmentering



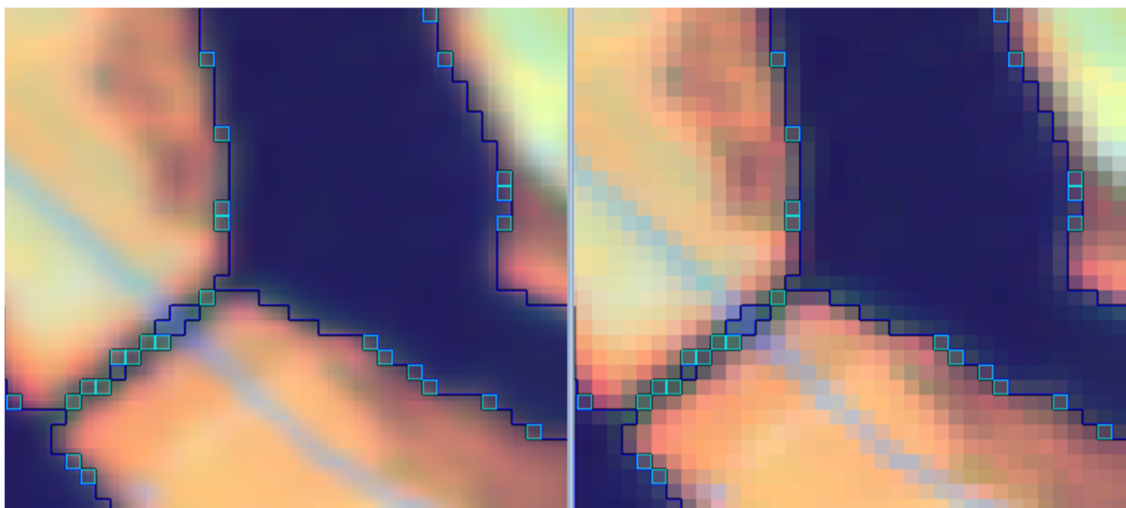
Figur 24 Urval sjöyta

### 3.7.3 Metod 3

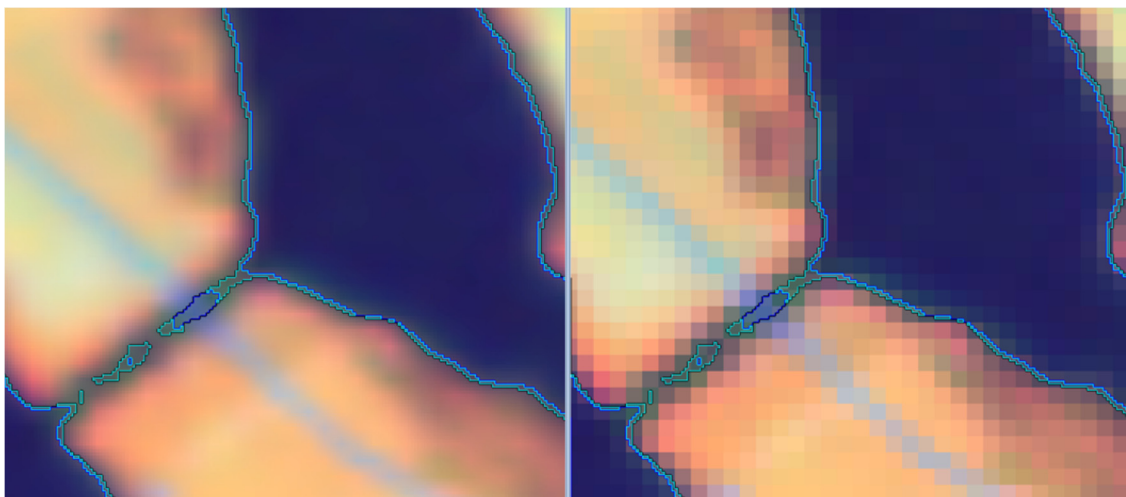
Metod 2 testades i båda studieområdena. I Tabell 9 beskrivs arbetsflödet.

Tabell 9. Arbetsflöde för metod 3

| Steg | Metod | Moment                                                                               | Figur    |
|------|-------|--------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| 1    | 3     | Interpolation av satellitbild med 10m upplösning till 2m med bilinjär interpolation. | Figur 25 |
| 2    | 1     | Kartera vatten med samma tröskelvärden och metodik som i metod 1.                    | Figur 26 |



Figur 25. Omsamplad SPOT5 2m till vänster och SPOT5 10m satellitbild till höger, med kartering i 10m-data överlagrad. Ljusblå avgränsningar visar tillägget (1b).



Figur 26. Omsamplad 2m och ursprunglig SPOT5-bild 10m, med kartering i 2m-data överlagrad. Utökningen (1b) ligger som en extra kant runt större delen av sjön.

### 3.8 UTVÄRDERING

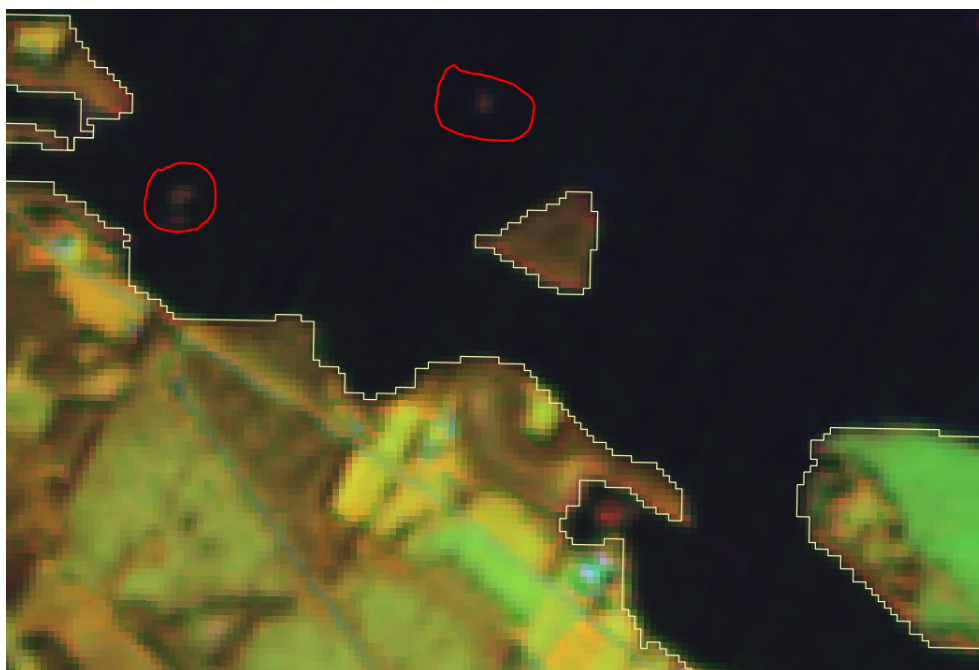
För utvärdering användes uppskattningar av sjöytor som gjorts med hjälp av digital terrängmodell (5 m upplösning). Denna framställdes genom att kombinera magasinsnivån vid det aktuella bildtillfället med terrängmodell i respektive studieområde. Sjöytan framtagen med denna metod jämförs sedan med de satellitbildsbaserade metoderna. Visuellt tolkning och analys för att belysa kvaliteten

har också genomförts. I Tabell 10 kan vi se att de satellitbaserade metoderna generellt ger mindre uppskattade sjöytor än metoden som bygger på terrängmodellen.

Tabell 10. Utvärdering och jämförelse med sjöyta karterad med terrängmodell

| Metod                                   |                              | Hoting  | Forsse-Hjälta |
|-----------------------------------------|------------------------------|---------|---------------|
| SPOT5 NDWI (Metod 1a)                   | Yta (m <sup>2</sup> )        | 9257806 | 3923031       |
|                                         | Andel av yta (terrängmodell) | 0,96    | 0,94          |
| SPOT5 NDWI + Brightness (Metod 1a + 1b) | Yta (m <sup>2</sup> )        | 9281700 | 3988377       |
|                                         | Andel av yta (terrängmodell) | 0,96    | 0,96          |
| Segmentering - Meanshift (Metod 2)      | Yta (m <sup>2</sup> )        | 9467992 | 4031007       |
|                                         | Andel av yta (terrängmodell) | 0,98    | 0,97          |
| SPOT5 Omsamplad NDWI (Metod 3)          | Yta (m <sup>2</sup> )        |         | 3973475       |
|                                         | Andel av yta (terrängmodell) |         | 0,96          |
| Terrängmodell (5m)                      | Yta (m <sup>2</sup> )        | 9622857 | 4159020       |

Segmenteringsmetoden (Metod 2) ger skenbart bra resultat vad gäller areabestämningen. Dock har denna metod vissa nackdelar som visas i Figur 27. Två stycken små öar ger här för låg kontrast (för liten medelvärdesskillnad) mot vattnet för att de ska detekteras med metoden. Metoden ger generellt bra resultat men är mindre robust än metod 1, varför resultaten bör granskas visuellt.



Figur 27. Med metod 2 – segmentering kan ibland mindre öar klassas som vatten p.g.a. att kontrasten mot vattnet blir för svag.

Det är svårt att säga om terrängmodellen ger den bästa uppskattningen men däremot är det sannolikt att de satellitbaserade metoderna ger en underskattning av sjöytan. Detta beror i första hand på följande:

- I kantzoner runt sjöarna finns spektralt innehåll från både land (vegetation, berg, hårdgjorda ytor) och vatten. Om man önskar en robust klassificering av sjöytan innebär detta att modellen bör vara något konservativ, d.v.s. inte tar med för stor del av kantzonen.
- Solbelysningen i bilderna är från väster vilket innebär att de västra sjökanterna är i skugga medan de östra ligger belysta. Detta kan leda till att kantzonen mot de östra stränderna hamnar något förskjutna mot sjösidan.

Om något, så är det sannolikt att den terrängmodellbaserade metoden att beräkna sjöytan ger en liten överskattning (Figur 28). Storleken av denna överskattning är dock svår att uppskatta. Ett antagande om att denna strandlinje ligger 1 meter för långt upp på land skulle ge ca 1.5 % mindre sjöyta.



**Figur 28. Gul linje anger strandlinje karterad med terrängmodell. Den grövre kantiga linjen anger strandens läge med satellitbildskarteringen**

### 3.9 BEGRÄNSNINGAR

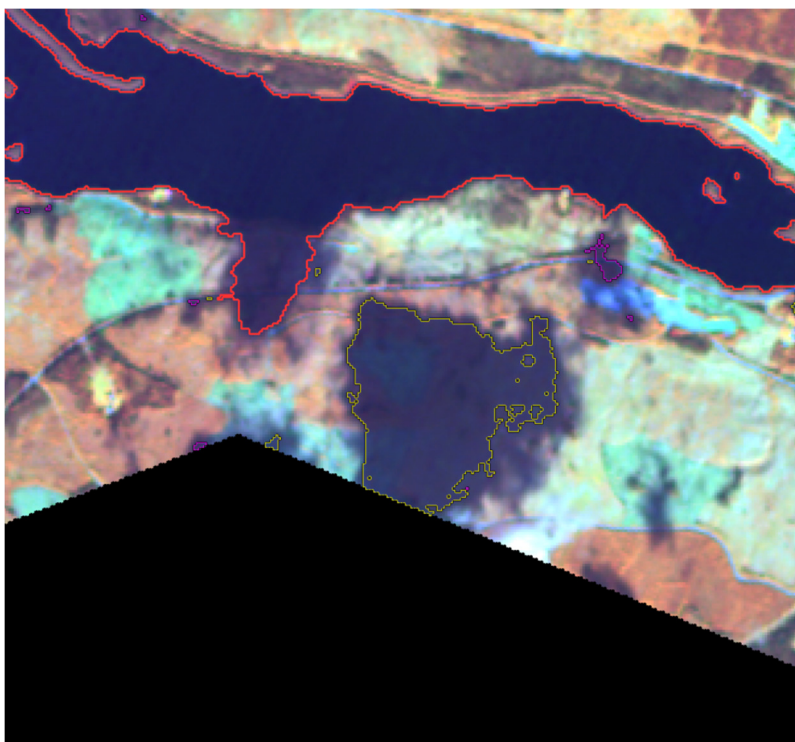
#### 3.9.1 Upplösning

Upplösningen i satellitbilden har främst betydelse för smala vattenområden med mycket vegetation runtomkring. Stranden påverkar den spektrala signaturen i vattnet och kantzonen blir diffus. För att få med smala vikar måste man ändra tröskelvärdena så mycket att stora fel på andra ställen introduceras. Slutsatsen är att ju kortare strand i förhållande till den totala sjöytan desto högre träffsäkerhet på arealen.

Data med högre upplösning, t.ex. ortofoto, VHR satellitdata eller exempelvis SPOT-6(7) (6m upplösning multispektralt) ger möjlighet till bättre bestämning av strandlinjen och påverkar arealen främst när strandlinjen är flikig. Nackdelen med dessa data är tillgänglighet, kostnad och den ökade mängden data att hantera. Sentinel2-data med 10m upplösning kommer att bli fritt tillgängligt.

### 3.9.2 Moln

När det gäller optiska satellitdata är moln ett problem. I Figur 29 visas exempel på när molnskuggan sammanfaller med delar av vattenytan i Hoting. I just det här fallet skulle man kunna editera strandlinjen manuellt eftersom det finns tillräckligt med information i bildens mörka delar för att visuellt tolka vad som är strand respektive vatten. Med automatik skulle man dock behöva sätta så snäva gränser för vattnet att det överlag skulle bli underskattat. Rekommendationen är alltså att antingen editera manuellt eller använda molnfria bilder. Framöver kommer detta problem att lösas med de nya Sentinel 2-satelliterna. Två satelliter i konstellation kommer att leverera data över Sverige ca 2 gånger per vecka, vilket kan jämföras med SPOT5 som levererar med drygt 2 veckors intervall (utan specialprogrammering). Den första Sentinel 2-satelliten sköts upp i slutet av juni 2015 och den andra planeras till mitten av 2016.



Figur 29. Molnskuggor påverkar strandlinjen.

## Bilaga 1

Resultat av volymbäräkning för Hoting studieområdet: en jämförelse mellan beräkningen baserad på terrängmodell från BPU, NNH och den befintlig magasintabell

| Vattennivå |          | Beräkning baserad på<br>Terrängmodell BPU |       | Beräkning baserad på<br>Terrängmodell NNH |    | Magasin tabell          |     |
|------------|----------|-------------------------------------------|-------|-------------------------------------------|----|-------------------------|-----|
| W (RH00)   | W (RH70) | Volym (m <sup>3</sup> )                   | DE    | Volym (m <sup>3</sup> )                   | DE | Volym (m <sup>3</sup> ) | DE  |
| 237,72     | 238,40   |                                           | 130,0 |                                           |    | 11232000                | 130 |
| 237,73     | 238,41   | 11344875                                  | 131,3 |                                           |    | 11318400                | 131 |
| 237,74     | 238,42   | 11430779                                  | 132,3 |                                           |    | 11404800                | 132 |
| 237,75     | 238,43   | 11517857                                  | 133,3 |                                           |    | 11491200                | 133 |
| 237,76     | 238,44   | 11605783                                  | 134,3 |                                           |    | 11577600                | 134 |
| 237,77     | 238,45   | 11694314                                  | 135,4 |                                           |    | 11664000                | 135 |
| 237,78     | 238,46   | 11783267                                  | 136,4 |                                           |    | 11750400                | 136 |
| 237,79     | 238,47   | 11872496                                  | 137,4 |                                           |    | 11836800                | 137 |
| 237,80     | 238,48   | 11961922                                  | 138,4 |                                           |    | 11923200                | 138 |
| 237,81     | 238,49   | 12051635                                  | 139,5 |                                           |    | 12009600                | 139 |
| 237,82     | 238,50   | 12141369                                  | 140,5 |                                           |    | 12096000                | 140 |
| 237,83     | 238,51   | 12231223                                  | 141,6 |                                           |    | 12182400                | 141 |
| 237,84     | 238,52   | 12321192                                  | 142,6 |                                           |    | 12268800                | 142 |
| 237,85     | 238,53   | 12411267                                  | 143,6 |                                           |    | 12355200                | 143 |
| 237,86     | 238,54   | 12501446                                  | 144,7 |                                           |    | 12441600                | 144 |
| 237,87     | 238,55   | 12591731                                  | 145,7 |                                           |    | 12528000                | 145 |
| 237,88     | 238,56   | 12682118                                  | 146,8 |                                           |    | 12614400                | 146 |
| 237,89     | 238,57   | 12772608                                  | 147,8 |                                           |    | 12700800                | 147 |
| 237,90     | 238,58   | 12863207                                  | 148,9 |                                           |    | 12787200                | 148 |
| 237,91     | 238,59   | 12953896                                  | 149,9 |                                           |    | 12873600                | 149 |
| 237,92     | 238,60   | 13044679                                  | 151,0 |                                           |    | 12960000                | 150 |
| 237,93     | 238,61   | 13135574                                  | 152,0 |                                           |    | 13046400                | 151 |
| 237,94     | 238,62   | 13226552                                  | 153,1 |                                           |    | 13132800                | 152 |
| 237,95     | 238,63   | 13317625                                  | 154,1 |                                           |    | 13305600                | 154 |
| 237,96     | 238,64   | 13408792                                  | 155,2 |                                           |    | 13392000                | 155 |
| 237,97     | 238,65   | 13500055                                  | 156,3 |                                           |    | 13478400                | 156 |
| 237,98     | 238,66   | 13591412                                  | 157,3 |                                           |    | 13564800                | 157 |
| 237,99     | 238,67   | 13682883                                  | 158,4 |                                           |    | 13651200                | 158 |
| 238,00     | 238,68   | 13774427                                  | 159,4 |                                           |    | 13737600                | 159 |
| 238,01     | 238,69   | 13866062                                  | 160,5 |                                           |    | 13824000                | 160 |
| 238,02     | 238,70   | 13957785                                  | 161,5 |                                           |    | 13910400                | 161 |
| 238,03     | 238,71   | 14049610                                  | 162,6 |                                           |    | 13996800                | 162 |
| 238,04     | 238,72   | 14141514                                  | 163,7 |                                           |    | 14083200                | 163 |
| 238,05     | 238,73   | 14233521                                  | 164,7 |                                           |    | 14169600                | 164 |
| 238,06     | 238,74   | 14325614                                  | 165,8 |                                           |    | 14256000                | 165 |

| Vattennivå |          | Beräkning baserad på<br>Terrängmodell BPU |       | Beräkning baserad på<br>Terrängmodell NNH |    | Magasin tabell |     |
|------------|----------|-------------------------------------------|-------|-------------------------------------------|----|----------------|-----|
| W (RH00)   | W (RH70) | Volym (m³)                                | DE    | Volym (m³)                                | DE | Volym (m³)     | DE  |
| 238,07     | 238,75   | 14417792                                  | 166,9 |                                           |    | 14342400       | 166 |
| 238,08     | 238,76   | 14510049                                  | 167,9 |                                           |    | 14428800       | 167 |
| 238,09     | 238,77   | 14602389                                  | 169,0 |                                           |    | 14515200       | 168 |
| 238,10     | 238,78   | 14694812                                  | 170,1 |                                           |    | 14601600       | 169 |
| 238,11     | 238,79   | 14787313                                  | 171,1 |                                           |    | 14688000       | 170 |
| 238,12     | 238,80   | 14879897                                  | 172,2 |                                           |    | 14774400       | 171 |
| 238,13     | 238,81   | 14972560                                  | 173,3 |                                           |    | 14860800       | 172 |
| 238,14     | 238,82   | 15065301                                  | 174,4 |                                           |    | 14947200       | 173 |
| 238,15     | 238,83   | 15158119                                  | 175,4 |                                           |    | 15033600       | 174 |
| 238,16     | 238,84   | 15251021                                  | 176,5 |                                           |    | 15120000       | 175 |
| 238,17     | 238,85   | 15344002                                  | 177,6 |                                           |    | 15206400       | 176 |
| 238,18     | 238,86   | 15437055                                  | 178,7 |                                           |    | 15292800       | 177 |
| 238,19     | 238,87   | 15530185                                  | 179,7 |                                           |    | 15379200       | 178 |
| 238,20     | 238,88   | 15623399                                  | 180,8 |                                           |    | 15465600       | 179 |
| 238,21     | 238,89   | 15716684                                  | 181,9 |                                           |    | 15552000       | 180 |
| 238,22     | 238,90   | 15810051                                  | 183,0 |                                           |    | 15638400       | 181 |
| 238,23     | 238,91   | 15903494                                  | 184,1 |                                           |    | 15724800       | 182 |
| 238,24     | 238,92   | 15997017                                  | 185,2 |                                           |    | 15811200       | 183 |
| 238,25     | 238,93   | 16090624                                  | 186,2 |                                           |    | 15984000       | 185 |
| 238,26     | 238,94   | 16184298                                  | 187,3 |                                           |    | 16070400       | 186 |
| 238,27     | 238,95   | 16278048                                  | 188,4 |                                           |    | 16156800       | 187 |
| 238,28     | 238,96   | 16371873                                  | 189,5 |                                           |    | 16243200       | 188 |
| 238,29     | 238,97   | 16465775                                  | 190,6 |                                           |    | 16329600       | 189 |
| 238,30     | 238,98   | 16559752                                  | 191,7 |                                           |    | 16416000       | 190 |
| 238,31     | 238,99   | 16653812                                  | 192,8 |                                           |    | 16502400       | 191 |
| 238,32     | 239,00   | 16747950                                  | 193,8 |                                           |    | 16588800       | 192 |
| 238,33     | 239,01   | 16842159                                  | 194,9 |                                           |    | 16675200       | 193 |
| 238,34     | 239,02   | 16936856                                  | 196,0 |                                           |    | 16761600       | 194 |
| 238,35     | 239,03   | 17031237                                  | 197,1 |                                           |    | 16848000       | 195 |
| 238,36     | 239,04   | 17125696                                  | 198,2 |                                           |    | 16934400       | 196 |
| 238,37     | 239,05   | 17220236                                  | 199,3 |                                           |    | 17020800       | 197 |
| 238,38     | 239,06   | 17314850                                  | 200,4 |                                           |    | 17107200       | 198 |
| 238,39     | 239,07   | 17409538                                  | 201,5 |                                           |    | 17193600       | 199 |
| 238,40     | 239,08   | 17504338                                  | 202,6 |                                           |    | 17280000       | 200 |
| 238,41     | 239,09   | 17599189                                  | 203,7 |                                           |    | 17366400       | 201 |
| 238,42     | 239,10   | 17694116                                  | 204,8 |                                           |    | 17452800       | 202 |
| 238,43     | 239,11   | 17789125                                  | 205,9 |                                           |    | 17539200       | 203 |
| 238,44     | 239,12   | 17884202                                  | 207,0 |                                           |    | 17625600       | 204 |
| 238,45     | 239,13   | 17979386                                  | 208,1 |                                           |    | 17798400       | 206 |

| Vattennivå |          | Beräkning baserad på<br>Terrängmodell BPU |       | Beräkning baserad på<br>Terrängmodell NNH |       | Magasin tabell |     |
|------------|----------|-------------------------------------------|-------|-------------------------------------------|-------|----------------|-----|
| W (RH00)   | W (RH70) | Volym (m³)                                | DE    | Volym (m³)                                | DE    | Volym (m³)     | DE  |
| 238,46     | 239,14   | 18074612                                  | 209,2 |                                           |       | 17884800       | 207 |
| 238,47     | 239,15   | 18169909                                  | 210,3 |                                           |       | 17971200       | 208 |
| 238,48     | 239,16   | 18265276                                  | 211,4 |                                           |       | 18057600       | 209 |
| 238,49     | 239,17   | 18360710                                  | 212,5 |                                           |       | 18144000       | 210 |
| 238,50     | 239,18   | 18456217                                  | 213,6 |                                           |       | 18230400       | 211 |
| 238,51     | 239,19   | 18551803                                  | 214,7 |                                           |       | 18316800       | 212 |
| 238,52     | 239,20   | 18647458                                  | 215,8 |                                           |       | 18403200       | 213 |
| 238,53     | 239,21   | 18743178                                  | 216,9 |                                           |       | 18489600       | 214 |
| 238,54     | 239,22   | 18838971                                  | 218,0 |                                           |       | 18576000       | 215 |
| 238,55     | 239,23   | 18934833                                  | 219,2 |                                           |       | 18662400       | 216 |
| 238,56     | 239,24   | 19030764                                  | 220,3 |                                           |       | 18748800       | 217 |
| 238,57     | 239,25   | 19127000                                  | 221,4 |                                           |       | 18835200       | 218 |
| 238,58     | 239,26   | 19223091                                  | 222,5 |                                           |       | 18921600       | 219 |
| 238,59     | 239,27   | 19319695                                  | 223,6 |                                           |       | 19008000       | 220 |
| 238,60     | 239,28   | 19415947                                  | 224,7 |                                           |       | 19094400       | 221 |
| 238,61     | 239,29   | 19512275                                  | 225,8 |                                           |       | 19180800       | 222 |
| 238,62     | 239,30   | 19608657                                  | 227,0 |                                           |       | 19267200       | 223 |
| 238,63     | 239,31   | 19705104                                  | 228,1 |                                           |       | 19440000       | 225 |
| 238,64     | 239,32   | 19801624                                  | 229,2 |                                           |       | 19526400       | 226 |
| 238,65     | 239,33   | 19898213                                  | 230,3 |                                           |       | 19612800       | 227 |
| 238,66     | 239,34   | 19994903                                  | 231,4 |                                           |       | 19699200       | 228 |
| 238,67     | 239,35   | 20091639                                  | 232,5 |                                           |       | 19785600       | 229 |
| 238,68     | 239,36   | 20188436                                  | 233,7 |                                           |       | 19958400       | 231 |
| 238,69     | 239,37   | 20285306                                  | 234,8 |                                           |       | 20044800       | 232 |
| 238,70     | 239,38   | 20382262                                  | 235,9 |                                           |       | 20131200       | 233 |
| 238,71     | 239,39   | 20479278                                  | 237,0 |                                           |       | 20217600       | 234 |
| 238,72     | 239,40   | 20576381                                  | 238,2 |                                           |       | 20304000       | 235 |
| 238,73     | 239,41   | 20673604                                  | 239,3 |                                           |       | 20390400       | 236 |
| 238,74     | 239,42   | 20770877                                  | 240,4 |                                           |       | 20476800       | 237 |
| 238,75     | 239,43   | 20868282                                  | 241,5 |                                           |       | 20563200       | 238 |
| 238,76     | 239,44   | 20965714                                  | 242,7 |                                           |       | 20649600       | 239 |
| 238,77     | 239,45   | 21063249                                  | 243,8 | 20747373                                  | 240,1 | 20736000       | 240 |
| 238,78     | 239,46   | 21160966                                  | 244,9 | 20835787                                  | 241,2 | 20822400       | 241 |
| 238,79     | 239,47   | 21258691                                  | 246,0 | 20925490                                  | 242,2 | 20908800       | 242 |
| 238,80     | 239,48   | 21356493                                  | 247,2 | 21016485                                  | 243,2 | 20995200       | 243 |
| 238,81     | 239,49   | 21454375                                  | 248,3 | 21107753                                  | 244,3 | 21081600       | 244 |
| 238,82     | 239,50   | 21552360                                  | 249,4 | 21199472                                  | 245,4 | 21168000       | 245 |
| 238,83     | 239,51   | 21650403                                  | 250,6 | 21291560                                  | 246,4 | 21340800       | 247 |
| 238,84     | 239,52   | 21748524                                  | 251,7 | 21384036                                  | 247,5 | 21427200       | 248 |

| Vattennivå |          | Beräkning baserad på<br>Terrängmodell BPU |       | Beräkning baserad på<br>Terrängmodell NNH |       | Magasin tabell |     |
|------------|----------|-------------------------------------------|-------|-------------------------------------------|-------|----------------|-----|
| W (RH00)   | W (RH70) | Volym (m³)                                | DE    | Volym (m3)                                | DE    | Volym (m³)     | DE  |
| 238,85     | 239,53   | 21846729                                  | 252,9 | 21476802                                  | 248,6 | 21513600       | 249 |
| 238,86     | 239,54   | 21945022                                  | 254,0 | 21578580                                  | 249,8 | 21600000       | 250 |
| 238,87     | 239,55   | 22043384                                  | 255,1 | 21673705                                  | 250,9 | 21686400       | 251 |
| 238,88     | 239,56   | 22141872                                  | 256,3 | 21768563                                  | 252,0 | 21859200       | 253 |
| 238,89     | 239,57   | 22240412                                  | 257,4 | 21863943                                  | 253,1 | 21945600       | 254 |
| 238,90     | 239,58   | 22339038                                  | 258,6 | 21959236                                  | 254,2 | 22032000       | 255 |
| 238,91     | 239,59   | 22437740                                  | 259,7 | 22054757                                  | 255,3 | 22118400       | 256 |
| 238,92     | 239,60   | 22536508                                  | 260,8 | 22150438                                  | 256,4 | 22204800       | 257 |
| 238,93     | 239,61   | 22635354                                  | 262,0 | 22246284                                  | 257,5 | 22291200       | 258 |
| 238,94     | 239,62   | 22734270                                  | 263,1 | 22342312                                  | 258,6 | 22377600       | 259 |
| 238,95     | 239,63   | 22833262                                  | 264,3 | 22438513                                  | 259,7 | 22464000       | 260 |
| 238,96     | 239,64   | 22932333                                  | 265,4 | 22534869                                  | 260,8 | 22550400       | 261 |
| 238,97     | 239,65   | 23031476                                  | 266,6 | 22631345                                  | 261,9 | 22636800       | 262 |
| 238,98     | 239,66   | 23130698                                  | 267,7 | 22727964                                  | 263,1 | 22723200       | 263 |
| 238,99     | 239,67   | 23230001                                  | 268,9 | 22824749                                  | 264,2 | 22809600       | 264 |
| 239,00     | 239,68   | 23329371                                  | 270,0 | 22921615                                  | 265,3 | 22896000       | 265 |
| 239,01     | 239,69   | 23429094                                  | 271,2 | 23018612                                  | 266,4 | 22982400       | 266 |
| 239,02     | 239,70   | 23528631                                  | 272,3 | 23115727                                  | 267,5 | 23068800       | 267 |
| 239,03     | 239,71   | 23628225                                  | 273,5 | 23212949                                  | 268,7 | 23155200       | 268 |
| 239,04     | 239,72   | 23727893                                  | 274,6 | 23310293                                  | 269,8 | 23241600       | 269 |
| 239,05     | 239,73   | 23827640                                  | 275,8 | 23407729                                  | 270,9 | 23414400       | 271 |
| 239,06     | 239,74   | 23927461                                  | 276,9 | 23505291                                  | 272,1 | 23500800       | 272 |
| 239,07     | 239,75   | 24027360                                  | 278,1 | 23603006                                  | 273,2 | 23587200       | 273 |
| 239,08     | 239,76   | 24127360                                  | 279,3 | 23700793                                  | 274,3 | 23673600       | 274 |
| 239,09     | 239,77   | 24227401                                  | 280,4 | 23798675                                  | 275,4 | 23760000       | 275 |
| 239,10     | 239,78   | 24327513                                  | 281,6 | 23896683                                  | 276,6 | 23846400       | 276 |
| 239,11     | 239,79   | 24427698                                  | 282,7 | 23994902                                  | 277,7 | 23932800       | 277 |
| 239,12     | 239,80   | 24528006                                  | 283,9 | 24093082                                  | 278,9 | 24019200       | 278 |
| 239,13     | 239,81   | 24628354                                  | 285,1 | 24191381                                  | 280,0 | 24192000       | 280 |
| 239,14     | 239,82   | 24728778                                  | 286,2 | 24289801                                  | 281,1 | 24278400       | 281 |
| 239,15     | 239,83   | 24829301                                  | 287,4 | 24388350                                  | 282,3 | 24364800       | 282 |
| 239,16     | 239,84   | 24929879                                  | 288,5 | 24486946                                  | 283,4 | 24451200       | 283 |
| 239,17     | 239,85   | 25030579                                  | 289,7 | 24585639                                  | 284,6 | 24537600       | 284 |
| 239,18     | 239,86   | 25131339                                  | 290,9 | 24684449                                  | 285,7 | 24710400       | 286 |
| 239,19     | 239,87   | 25232151                                  | 292,0 | 24783403                                  | 286,8 | 24796800       | 287 |
| 239,20     | 239,88   | 25333031                                  | 293,2 | 24882777                                  | 288,0 | 24883200       | 288 |
| 239,21     | 239,89   | 25434053                                  | 294,4 | 24981943                                  | 289,1 | 24969600       | 289 |
| 239,22     | 239,90   | 25535089                                  | 295,5 | 25081250                                  | 290,3 | 25056000       | 290 |
| 239,23     | 239,91   | 25636203                                  | 296,7 | 25180733                                  | 291,4 | 25142400       | 291 |

| Vattennivå |          | Beräkning baserad på<br>Terrängmodell BPU |       | Beräkning baserad på<br>Terrängmodell NNH |       | Magasin tabell |     |
|------------|----------|-------------------------------------------|-------|-------------------------------------------|-------|----------------|-----|
| W (RH00)   | W (RH70) | Volym (m³)                                | DE    | Volym (m³)                                | DE    | Volym (m³)     | DE  |
| 239,24     | 239,92   | 25737401                                  | 297,9 | 25280183                                  | 292,6 | 25228800       | 292 |
| 239,25     | 239,93   | 25838682                                  | 299,1 | 25379717                                  | 293,7 | 25401600       | 294 |
| 239,26     | 239,94   | 25940043                                  | 300,2 | 25479648                                  | 294,9 | 25488000       | 295 |
| 239,27     | 239,95   | 26041466                                  | 301,4 | 25579458                                  | 296,1 | 25574400       | 296 |
| 239,28     | 239,96   | 26142968                                  | 302,6 | 25679463                                  | 297,2 | 25660800       | 297 |
| 239,29     | 239,97   | 26244547                                  | 303,8 | 25779457                                  | 298,4 | 25747200       | 298 |
| 239,30     | 239,98   | 26346211                                  | 304,9 | 25879521                                  | 299,5 | 25833600       | 299 |
| 239,31     | 239,99   | 26448301                                  | 306,1 | 25979720                                  | 300,7 | 25920000       | 300 |
| 239,32     | 240,00   | 26550136                                  | 307,3 | 26079996                                  | 301,9 | 26006400       | 301 |
| 239,33     | 240,01   | 26652071                                  | 308,5 | 26180708                                  | 303,0 | 26179200       | 303 |
| 239,34     | 240,02   | 26754179                                  | 309,7 | 26281189                                  | 304,2 | 26265600       | 304 |
| 239,35     | 240,03   | 26856353                                  | 310,8 | 26381760                                  | 305,3 | 26352000       | 305 |
| 239,36     | 240,04   | 26958542                                  | 312,0 | 26482442                                  | 306,5 | 26438400       | 306 |
| 239,37     | 240,05   | 27061122                                  | 313,2 | 26583251                                  | 307,7 | 26524800       | 307 |
| 239,38     | 240,06   | 27163483                                  | 314,4 | 26684203                                  | 308,8 | 26697600       | 309 |
| 239,39     | 240,07   | 27265956                                  | 315,6 | 26785165                                  | 310,0 | 26784000       | 310 |
| 239,40     | 240,08   | 27370112                                  | 316,8 | 26887353                                  | 311,2 | 26870400       | 311 |
| 239,41     | 240,09   | 27472815                                  | 318,0 | 26988620                                  | 312,4 | 26956800       | 312 |
| 239,42     | 240,10   | 27576269                                  | 319,2 | 27089952                                  | 313,5 | 27043200       | 313 |
| 239,43     | 240,11   | 27679512                                  | 320,4 | 27191399                                  | 314,7 | 27129600       | 314 |
| 239,44     | 240,12   | 27782482                                  | 321,6 | 27292916                                  | 315,9 | 27216000       | 315 |
| 239,45     | 240,13   | 27885526                                  | 322,7 | 27394530                                  | 317,1 | 27388800       | 317 |
| 239,46     | 240,14   | 27988657                                  | 323,9 | 27496343                                  | 318,2 | 27475200       | 318 |
| 239,47     | 240,15   | 28091909                                  | 325,1 | 27598257                                  | 319,4 | 27561600       | 319 |
| 239,48     | 240,16   | 28195213                                  | 326,3 | 27700206                                  | 320,6 | 27648000       | 320 |
| 239,49     | 240,17   | 28298606                                  | 327,5 | 27802391                                  | 321,8 | 27734400       | 321 |
| 239,50     | 240,18   | 28402204                                  | 328,7 | 27904827                                  | 323,0 | 27820800       | 322 |
| 239,51     | 240,19   | 28505766                                  | 329,9 | 28007077                                  | 324,2 | 27907200       | 323 |
| 239,52     | 240,20   | 28609402                                  | 331,1 | 28109435                                  | 325,3 | 27993600       | 324 |
| 239,53     | 240,21   | 28713127                                  | 332,3 | 28211891                                  | 326,5 | 28166400       | 326 |
| 239,54     | 240,22   | 28816994                                  | 333,5 | 28314428                                  | 327,7 | 28252800       | 327 |
| 239,55     | 240,23   | 28920885                                  | 334,7 | 28417125                                  | 328,9 | 28339200       | 328 |
| 239,56     | 240,24   | 29024865                                  | 335,9 | 28519859                                  | 330,1 | 28425600       | 329 |
| 239,57     | 240,25   | 29128927                                  | 337,1 | 28622993                                  | 331,3 | 28512000       | 330 |
| 239,58     | 240,26   | 29233124                                  | 338,3 | 28727124                                  | 332,5 | 28684800       | 332 |
| 239,59     | 240,27   | 29337352                                  | 339,6 | 28830226                                  | 333,7 | 28771200       | 333 |
| 239,60     | 240,28   | 29441662                                  | 340,8 | 28933401                                  | 334,9 | 28857600       | 334 |
| 239,61     | 240,29   | 29546046                                  | 342,0 | 29036667                                  | 336,1 | 28944000       | 335 |
| 239,62     | 240,30   | 29650536                                  | 343,2 | 29140062                                  | 337,3 | 29030400       | 336 |

| Vattennivå          |          | Beräkning baserad på<br>Terrängmodell BPU |       | Beräkning baserad på<br>Terrängmodell NNH |       | Magasin tabell |     |
|---------------------|----------|-------------------------------------------|-------|-------------------------------------------|-------|----------------|-----|
| W (RH00)            | W (RH70) | Volym (m³)                                | DE    | Volym (m3)                                | DE    | Volym (m³)     | DE  |
| 239,63              | 240,31   | 29755107                                  | 344,4 | 29243530                                  | 338,5 | 29203200       | 338 |
| 239,64              | 240,32   | 29859749                                  | 345,6 | 29348014                                  | 339,7 | 29289600       | 339 |
| 239,65              | 240,33   | 29965135                                  | 346,8 | 29451700                                  | 340,9 | 29376000       | 340 |
| 239,66              | 240,34   | 30069997                                  | 348,0 | 29555454                                  | 342,1 | 29462400       | 341 |
| 239,67              | 240,35   | 30175007                                  | 349,2 | 29661519                                  | 343,3 | 29548800       | 342 |
| 239,68              | 240,36   | 30280385                                  | 350,5 | 29766391                                  | 344,5 | 29721600       | 344 |
| 239,69              | 240,37   | 30387697                                  | 351,7 | 29873126                                  | 345,8 | 29808000       | 345 |
| 239,70              | 240,38   | 30492986                                  | 352,9 | 29977463                                  | 347,0 | 29894400       | 346 |
| 239,71              | 240,39   | 30600987                                  | 354,2 | 30081914                                  | 348,2 | 29980800       | 347 |
| 239,72              | 240,40   | 30706489                                  | 355,4 | 30186487                                  | 349,4 | 30067200       | 348 |
| 239,73              | 240,41   | 30812074                                  | 356,6 | 30291130                                  | 350,6 | 30240000       | 350 |
| 239,74              | 240,42   | 30917767                                  | 357,8 | 30395859                                  | 351,8 | 30326400       | 351 |
| 239,75              | 240,43   | 31025640                                  | 359,1 | 30500670                                  | 353,0 | 30412800       | 352 |
| 239,76              | 240,44   | 31131552                                  | 360,3 | 30605563                                  | 354,2 | 30499200       | 353 |
| 239,77              | 240,45   | 31237535                                  | 361,5 | 30710556                                  | 355,4 | 30585600       | 354 |
| 239,78              | 240,46   | 31343603                                  | 362,8 | 30815630                                  | 356,7 | 30758400       | 356 |
| 239,79              | 240,47   | 31449943                                  | 364,0 | 30920783                                  | 357,9 | 30844800       | 357 |
| 239,80              | 240,48   | 31556180                                  | 365,2 | 31026047                                  | 359,1 | 30931200       | 358 |
| 239,81              | 240,49   | 31662499                                  | 366,5 | 31131397                                  | 360,3 | 31017600       | 359 |
| 239,82              | 240,50   | 31769287                                  | 367,7 | 31236908                                  | 361,5 | 31104000       | 360 |
| 239,83              | 240,51   | 31875787                                  | 368,9 | 31342472                                  | 362,8 | 31276800       | 362 |
| 239,84              | 240,52   | 31982370                                  | 370,2 | 31448566                                  | 364,0 | 31363200       | 363 |
| 239,85              | 240,53   | 32089028                                  | 371,4 | 31554294                                  | 365,2 | 31449600       | 364 |
| 239,86              | 240,54   | 32195769                                  | 372,6 | 31660112                                  | 366,4 | 31536000       | 365 |
| 239,87              | 240,55   | 32302591                                  | 373,9 | 31766013                                  | 367,7 | 31622400       | 366 |
| 239,88              | 240,56   | 32409498                                  | 375,1 | 31872361                                  | 368,9 | 31795200       | 368 |
| 239,89              | 240,57   | 32516708                                  | 376,4 | 31978450                                  | 370,1 | 31881600       | 369 |
| 239,90              | 240,58   | 32623839                                  | 377,6 | 32084628                                  | 371,3 | 31968000       | 370 |
| 239,91              | 240,59   | 32731009                                  | 378,8 | 32190920                                  | 372,6 | 32054400       | 371 |
| 239,92              | 240,60   | 32838266                                  | 380,1 | 32297280                                  | 373,8 | 32140800       | 372 |
| 239,93              | 240,61   | 32945612                                  | 381,3 | 32403779                                  | 375,0 | 32313600       | 374 |
| 239,94              | 240,62   | 33053037                                  | 382,6 | 32510327                                  | 376,3 | 32400000       | 375 |
| 239,95              | 240,63   | 33160555                                  | 383,8 | 32616959                                  | 377,5 | 32486400       | 376 |
| 239,96              | 240,64   | 33268164                                  | 385,0 | 32723695                                  | 378,7 | 32572800       | 377 |
| 239,97              | 240,65   | 33375857                                  | 386,3 | 32830543                                  | 380,0 | 32659200       | 378 |
| 239,98              | 240,66   | 33483629                                  | 387,5 | 32937463                                  | 381,2 | 32832000       | 380 |
| 239,99              | 240,67   | 33591500                                  | 388,8 | 33044736                                  | 382,5 | 32918400       | 381 |
| 240,00 <sup>1</sup> | 240,68   | 33699447                                  | 390,0 | 33151850                                  | 383,7 | 33004800       | 382 |

<sup>1</sup> DG

| Vattennivå          |          | Beräkning baserad på<br>Terrängmodell BPU |       | Beräkning baserad på<br>Terrängmodell NNH |       | Magasin tabell          |     |
|---------------------|----------|-------------------------------------------|-------|-------------------------------------------|-------|-------------------------|-----|
| W (RH00)            | W (RH70) | Volym (m <sup>3</sup> )                   | DE    | Volym (m <sup>3</sup> )                   | DE    | Volym (m <sup>3</sup> ) | DE  |
| 240,10              | 240,78   | 34784119                                  | 402,6 | 34228353                                  | 396,2 | 34128000                | 395 |
| 240,20              | 240,88   | 35878399                                  | 415,3 | 35314631                                  | 408,7 | 35251200                | 408 |
| 240,30              | 240,98   | 36996808                                  | 428,2 | 36425089                                  | 421,6 | 36288000                | 420 |
| 240,40              | 241,08   | 38115452                                  | 441,2 | 37535344                                  | 434,4 |                         |     |
| 240,50              | 241,18   | 39246198                                  | 454,2 | 38659700                                  | 447,5 |                         |     |
| 240,60              | 241,28   | 40395024                                  | 467,5 | 39800906                                  | 460,7 |                         |     |
| 240,70              | 241,38   | 41557886                                  | 481,0 | 40950945                                  | 474,0 |                         |     |
| 240,80              | 241,48   | 42747101                                  | 494,8 | 42113687                                  | 487,4 |                         |     |
| 240,90              | 241,58   | 43938251                                  | 508,5 | 43315979                                  | 501,3 |                         |     |
| 241,00 <sup>2</sup> | 241,68   | 45147403                                  | 522,5 | 44515653                                  | 515,2 |                         |     |

---

<sup>2</sup> DK

## Bilaga 2

Resultat av volymbäräkning för Hjalta studieområdet: en jämförelse mellan beräkningen baserad på terrängmodell från BPU, NNH och den befintlig magasinintabell.

| Vattennivå |          | Beräkning baserad på<br>Terrängmodell BPU |      | Beräkning baserad på<br>Terrängmodell NNH |    | Magasin tabell          |      |
|------------|----------|-------------------------------------------|------|-------------------------------------------|----|-------------------------|------|
| W (RH00)   | W (RH70) | Volym (m <sup>3</sup> )                   | DE   | Volym (m <sup>3</sup> )                   | DE | Volym (m <sup>3</sup> ) | DE   |
| 91,62      | 92,30    | 1                                         | 0,0  |                                           |    | 0                       | 0    |
| 91,63      | 92,31    | 37220                                     | 0,4  |                                           |    | 34560                   | 0,4  |
| 91,64      | 92,32    | 75445                                     | 0,9  |                                           |    | 69120                   | 0,8  |
| 91,65      | 92,33    | 114107                                    | 1,3  |                                           |    | 103680                  | 1,2  |
| 91,66      | 92,34    | 153060                                    | 1,8  |                                           |    | 138240                  | 1,6  |
| 91,67      | 92,35    | 192207                                    | 2,2  |                                           |    | 172800                  | 2    |
| 91,68      | 92,36    | 231496                                    | 2,7  |                                           |    | 207360                  | 2,4  |
| 91,69      | 92,37    | 270941                                    | 3,1  |                                           |    | 241920                  | 2,8  |
| 91,70      | 92,38    | 310475                                    | 3,6  |                                           |    | 276480                  | 3,2  |
| 91,71      | 92,39    | 350238                                    | 4,1  |                                           |    | 311040                  | 3,6  |
| 91,72      | 92,40    | 389957                                    | 4,5  |                                           |    | 345600                  | 4    |
| 91,73      | 92,41    | 429750                                    | 5,0  |                                           |    | 380160                  | 4,4  |
| 91,74      | 92,42    | 469640                                    | 5,4  |                                           |    | 414720                  | 4,8  |
| 91,75      | 92,43    | 509584                                    | 5,9  |                                           |    | 449280                  | 5,2  |
| 91,76      | 92,44    | 549620                                    | 6,4  |                                           |    | 483840                  | 5,6  |
| 91,77      | 92,45    | 589763                                    | 6,8  |                                           |    | 518400                  | 6    |
| 91,78      | 92,46    | 630144                                    | 7,3  |                                           |    | 552960                  | 6,4  |
| 91,79      | 92,47    | 670443                                    | 7,8  |                                           |    | 587520                  | 6,8  |
| 91,80      | 92,48    | 710779                                    | 8,2  |                                           |    | 622080                  | 7,2  |
| 91,81      | 92,49    | 751190                                    | 8,7  |                                           |    | 656640                  | 7,6  |
| 91,82      | 92,50    | 791668                                    | 9,2  |                                           |    | 691200                  | 8    |
| 91,83      | 92,51    | 832298                                    | 9,6  |                                           |    | 725760                  | 8,4  |
| 91,84      | 92,52    | 873069                                    | 10,1 |                                           |    | 760320                  | 8,8  |
| 91,85      | 92,53    | 913760                                    | 10,6 |                                           |    | 794880                  | 9,2  |
| 91,86      | 92,54    | 954523                                    | 11,0 |                                           |    | 829440                  | 9,6  |
| 91,87      | 92,55    | 995710                                    | 11,5 |                                           |    | 864000                  | 10   |
| 91,88      | 92,56    | 1036624                                   | 12,0 |                                           |    | 898560                  | 10,4 |
| 91,89      | 92,57    | 1077586                                   | 12,5 |                                           |    | 933120                  | 10,8 |
| 91,90      | 92,58    | 1118646                                   | 12,9 |                                           |    | 967680                  | 11,2 |
| 91,91      | 92,59    | 1159732                                   | 13,4 |                                           |    | 1002240                 | 11,6 |
| 91,92      | 92,60    | 1200887                                   | 13,9 |                                           |    | 1036800                 | 12   |
| 91,93      | 92,61    | 1242102                                   | 14,4 |                                           |    | 1071360                 | 12,4 |
| 91,94      | 92,62    | 1283446                                   | 14,9 |                                           |    | 1105920                 | 12,8 |
| 91,95      | 92,63    | 1324867                                   | 15,3 |                                           |    | 1140480                 | 13,2 |
| 91,96      | 92,64    | 1366304                                   | 15,8 |                                           |    | 1175040                 | 13,6 |

| Vattennivå         |          | Beräkning baserad på<br>Terrängmodell BPU |      | Beräkning baserad på<br>Terrängmodell NNH |      | Magasin tabell |      |
|--------------------|----------|-------------------------------------------|------|-------------------------------------------|------|----------------|------|
| W (RH00)           | W (RH70) | Volym (m³)                                | DE   | Volym (m³)                                | DE   | Volym (m³)     | DE   |
| 91,97              | 92,65    | 1407866                                   | 16,3 |                                           |      | 1209600        | 14   |
| 91,98              | 92,66    | 1449387                                   | 16,8 |                                           |      | 1244160        | 14,4 |
| 91,99              | 92,67    | 1491072                                   | 17,3 |                                           |      | 1278720        | 14,8 |
| 92,00              | 92,68    | 1532688                                   | 17,7 |                                           |      | 1313280        | 15,2 |
| 92,01              | 92,69    | 1574351                                   | 18,2 |                                           |      | 1347840        | 15,6 |
| 92,02              | 92,70    | 1616354                                   | 18,7 |                                           |      | 1382400        | 16   |
| 92,03              | 92,71    | 1658128                                   | 19,2 |                                           |      | 1416960        | 16,4 |
| 92,04              | 92,72    | 1699964                                   | 19,7 |                                           |      | 1451520        | 16,8 |
| 92,05              | 92,73    | 1742191                                   | 20,2 |                                           |      | 1486080        | 17,2 |
| 92,06              | 92,74    | 1784202                                   | 20,7 |                                           |      | 1520640        | 17,6 |
| 92,07              | 92,75    | 1826231                                   | 21,1 |                                           |      | 1555200        | 18   |
| 92,08              | 92,76    | 1868296                                   | 21,6 |                                           |      | 1589760        | 18,4 |
| 92,09              | 92,77    | 1910387                                   | 22,1 |                                           |      | 1624320        | 18,8 |
| 92,10              | 92,78    | 1952525                                   | 22,6 |                                           |      | 1658880        | 19,2 |
| 92,11              | 92,79    | 1994774                                   | 23,1 |                                           |      | 1693440        | 19,6 |
| 92,12              | 92,80    | 2037011                                   | 23,6 | 1735621                                   | 20,1 | 1728000        | 20   |
| 92,13              | 92,81    | 2079288                                   | 24,1 | 1777388                                   | 20,6 | 1762560        | 20,4 |
| 92,14              | 92,82    | 2122012                                   | 24,6 | 1819372                                   | 21,1 | 1797120        | 20,8 |
| 92,15              | 92,83    | 2165439                                   | 25,1 | 1861493                                   | 21,5 | 1831680        | 21,2 |
| 92,16              | 92,84    | 2207980                                   | 25,6 | 1903733                                   | 22,0 | 1866240        | 21,6 |
| 92,17              | 92,85    | 2250533                                   | 26,0 | 1946067                                   | 22,5 | 1900800        | 22   |
| 92,18              | 92,86    | 2293131                                   | 26,5 | 1988480                                   | 23,0 | 1935360        | 22,4 |
| 92,19              | 92,87    | 2335784                                   | 27,0 | 2030958                                   | 23,5 | 1969920        | 22,8 |
| 92,20              | 92,88    | 2378500                                   | 27,5 | 2073505                                   | 24,0 | 2004480        | 23,2 |
| 92,21              | 92,89    | 2421285                                   | 28,0 | 2116109                                   | 24,5 | 2039040        | 23,6 |
| 92,22              | 92,90    | 2464143                                   | 28,5 | 2158761                                   | 25,0 | 2073600        | 24   |
| 92,23              | 92,91    | 2507054                                   | 29,0 | 2201536                                   | 25,5 | 2108160        | 24,4 |
| 92,24 <sup>3</sup> | 92,92    | 2550040                                   | 29,5 | 2244309                                   | 26,0 | 2142720        | 24,8 |
| 92,34              | 93,02    | 2985613                                   | 34,6 | 2676133                                   | 31,0 | 2488320        | 28,8 |
| 92,44              | 93,12    | 3435545                                   | 39,8 | 3119111                                   | 36,1 | 2833920        | 32,8 |
| 92,54              | 93,22    | 3897842                                   | 45,1 | 3578173                                   | 41,4 | 3179520        | 36,8 |
| 92,64              | 93,32    | 4374565                                   | 50,6 | 4048039                                   | 46,9 | 3525120        | 40,8 |
| 92,74              | 93,42    | 4865171                                   | 56,3 | 4531832                                   | 52,5 | 3870720        | 44,8 |
| 92,84              | 93,52    | 5366869                                   | 62,1 | 5026569                                   | 58,2 | 4216320        | 48,8 |
| 92,94              | 93,62    | 5880717                                   | 68,1 | 5533337                                   | 64,0 | 4561920        | 52,8 |
| 93,04              | 93,72    | 6406450                                   | 74,1 | 6056873                                   | 70,1 | 4907520        | 56,8 |
| 93,14              | 93,82    | 6941276                                   | 80,3 | 6588719                                   | 76,3 | 5253120        | 60,8 |
| 93,24              | 93,92    | 7486274                                   | 86,6 | 7131102                                   | 82,5 | 5598720        | 64,8 |

<sup>3</sup> DG

| Vattennivå         |          | Beräkning baserad på<br>Terrängmodell BPU |       | Beräkning baserad på<br>Terrängmodell NNH |       | Magasin tabell          |      |
|--------------------|----------|-------------------------------------------|-------|-------------------------------------------|-------|-------------------------|------|
| W (RH00)           | W (RH70) | Volym (m <sup>3</sup> )                   | DE    | Volym (m <sup>3</sup> )                   | DE    | Volym (m <sup>3</sup> ) | DE   |
| 93,34              | 94,02    | 8041895                                   | 93,1  | 7684760                                   | 88,9  | 5944320                 | 68,8 |
| 93,44              | 94,12    | 8608245                                   | 99,6  | 8249175                                   | 95,5  | 6289920                 | 72,8 |
| 93,54              | 94,22    | 9185218                                   | 106,3 | 8824836                                   | 102,1 | 6635520                 | 76,8 |
| 93,64              | 94,32    | 9772131                                   | 113,1 | 9411833                                   | 108,9 | 6981120                 | 80,8 |
| 93,74 <sup>4</sup> | 94,42    | 10368890                                  | 120,0 | 10007546                                  | 115,8 | 7326720                 | 84,8 |

---

<sup>4</sup> DK

## Bilaga 3

### Literaturstudie Del B

| Författare                                       | År   | Titel                                                                                    | Tidskrift                                                                                | Sensor         | Metod                                                                                                                                   | Kommentar                                                                                |
|--------------------------------------------------|------|------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Li M., Xu L. &amp; Tang M.</b>                | 2011 | An Extraction method for Water Body of Remote Sensing Image Based on Oscillatory Network | JOURNAL OF MULTIMEDIA, VOL. 6, NO. 3                                                     | Landsat        | NDWI, Spektrala egenskaper hos vatten Green > SWIR & Red > NIR, Locally excitation and globally inhibition oscillation network (LEGION) | Processorkrävande implementation. Ingen bedömning av metodernas noggrannhet              |
| <b>Bagli, S. &amp; Soille, P.</b>                | 2004 | Automatic delineation of shoreline and lake boundaries from Landsat satellite images     | Proceedings of initial ECO-IMAGINE GI and GIS for Integrated Coastal Management, Seville | Landsat 7 ETM+ | Segmentering, Seeded Region Growing (SRG), Watershed transformation, NDWI, Urval av 'seeding regions' sker genom tröskling av NDWI      | Potentiellt intressant metod.                                                            |
| <b>Mishra, K &amp; P. Rama Chandra Prasad</b>    | 2014 | Automatic Extraction of Water Bodies from Landsat Imagery Using Perceptron Model         | Journal of Computational Environmental Sciences Volume 2015,                             | Landsat7 ETM+  | Klassificering baserad NDWI, MNDWI samt SWIR band, klassning med Neurala nätverk                                                        | Tröskelvärden sätts automatiskt med hjälp av vikter som tagits fram med Neuralt nätverk. |
| <b>Kaichang Di, Jue Wang, Ruijin Ma, Ron Li</b>  | 2003 | AUTOMATIC SHORELINE EXTRACTION FROM HIGH-RESOLUTION IKONOS SATELLITE IMAGERY             | ASPRS 2003 Annual Conference Proceedings                                                 | IKONOS,        | Mean-shift' segmentering av pankromatiskt och infrarött band.                                                                           | Noggrannhet bedömd till 1-1.5 bildpixel. Svårigheter med skuggor och träd i strandzonen  |
| <b>Verpoorter, C., T. Kutser, and L. Tranvik</b> | 2012 | Automated mapping of water bodies using Landsat multispectral data                       | Limnology and Oceanography: Methods, no 10                                               | Landsat7 ETM+  | Multipla metoder; Brightness index, PCA, Texturanalys och Morfometri                                                                    | Svår att replikera utan att genomföra omfattande utveckling och test                     |

| Författare                                                   | År   | Titel                                                                                                                 | Tidskrift                                                                                                                                                          | Sensor               | Metod                                                    | Kommentar                                                                                                                    |
|--------------------------------------------------------------|------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|----------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Shridhar D. Jawak, Kamana Kulkarni, Alvarinho J. Luis</b> | 2015 | A Review on Extraction of Lakes from Remotely Sensed Optical Satellite Data with a Special Focus on Cryospheric Lakes | Advances in Remote Sensing, 2015, 4, 196-213                                                                                                                       | Multipla sensorer    | Review av metoder                                        | Man konstaterar att få metoder är robusta och fungerar oberoende av sensor och miljö (t.ex. urbant, skog, jordbrukslandskap) |
| <b>Hanqiu Xu</b>                                             | 2006 | Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery    | International Journal of Remote Sensing Vol. 27                                                                                                                    | Landsat TM           | Modifierat NDWI (MNDWI), användning av SWIR              | Mindre brus än vid användning av NDWI                                                                                        |
| <b>YANG Haibo, WANG Zongmin, ZHAO Hongling, GUO Yu</b>       | 2011 | Water body Extraction Methods Study Based on RS and GIS                                                               | 2011 3rd International Conference on Environmental Science and Information Application Technology (ESIAT 2011)                                                     | Landsat7 ETM+        | NDWI, MNDWI.                                             | NDWI presterar bäst där sjöarna ligger i områden med vegetation och skog. MNDWI är bättre i urban miljö                      |
| <b>Nguyen Dinh Duong</b>                                     |      | WATER BODY EXTRACTION FROM MULTI SPECTRAL IMAGE BY SPECTRAL PATTERN ANALYSIS                                          | International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, ISPRS Congress, 25 August – 01 September 2012, Melbourne, Australia | Spot 5, Landsat 5 TM | Klassificering baserad på 4 band, Grönt, Rött, NIR, SWIR | Klassisk klassning av land och vattenområden                                                                                 |



# MAGASINBESTÄMNING OCH TILLRINNINGSBERÄKNING

I vattenkraftsammanhang är magasinsbestämning och tillrinningsberäkningar av intresse. Med ett väl bestämt förhållande mellan vattenstånd och magasinets area kan en magasinstabell tas fram. I projektet utvärderas möjligheter att förbättra magasinstabellerna med hjälp av laserskanningen från beredskapsprojekten, ny nationell höjddata (NNH) och satellitbilder. Resultat visar på en ökad noggrannhet jämfört med befintliga magasintabeller och en hög korrelation i resultat mellan beräkningar baserad på laserskanning från beredskapsprojekten och NNH. Även automatiserade metoder för beräkning av en sjös area med hjälp av högupplösta satellitbilder visar på potential men utvärderingen är svårare eftersom det inte finns något absolut mått på en sjös area att jämföra med.

## Ett nytt steg i energiforskningen

Energiforsk är en forsknings- och kunskapsorganisation som samlar stora delar av svensk forskning och utveckling om energi. Målet är att öka effektivitet och nyttiggörande av resultat inför framtida utmaningar inom energiområdet. Vi verkar inom ett antal forskningsområden, och tar fram kunskap om resurseffektiv energi i ett helhetsperspektiv – från källan, via omvandling och överföring till användning av energin. [www.energiforsk.se](http://www.energiforsk.se)



Energiforsk