

Vattennivåavläsning med kamerateknik

- att ersätta gamla rutiner med ny teknik

Johannes Lärkner



UPPSALA
UNIVERSITET

**Teknisk- naturvetenskaplig fakultet
UTH-enheten**

Besöksadress:
Ångströmlaboratoriet
Lägerhyddsvägen 1
Hus 4, Plan 0

Postadress:
Box 536
751 21 Uppsala

Telefon:
018 – 471 30 03

Telefax:
018 – 471 30 00

Hemsida:
<http://www.teknat.uu.se/student>

Abstract

Water level measuring with a camera surveillance system

Johannes Lärkner

The aim of this Masters Thesis is to investigate the possibility of replacing the water level gauge in a specific hydro power plant owned by Vattenfall AB with a camera surveillance system.

In the northern parts of Sweden the water in dams freeze during winter. In the spring, when the ice breaks up, the water level gauge gets damaged due to ice floes. One consequence of this phenomenon is that the engine operators of the power plant repeatedly have to replace the broken gauge with new ones. Another consequence is that the quality of the measurements of the water level is low while the gauge is in bad condition.

To explore the possibilities of replacing the gauge with a camera surveillance system both the technical and sociotechnical conditions were investigated. From a technical point of view there was no problem with the project and a program that calculates the water level in the dam was created in MATLAB. From a sociotechnical point of view on the other hand, the project could not be carried out. Due to the water decree, the water level gauges could not be replaced. Therefore, no camera surveillance system was implemented.

Handledare: Magnus Eriksson, Vattenfall AB
Ämnesgranskare: Ewert Bengtsson
Examinator: Elisabet Andrésdóttir
ISSN: 1650-8319, UPTec STS07 016

Populärvetenskaplig sammanfattning

Vattnet i dammar vid vattenkraftverk i norra Sverige har en tendens att frysa om vintern. En konsekvens av detta är att vattenståndsmätarna, peglarna, som sitter monterade på insidan av dammväggen går sönder på våren då isen släpper. Detta examensarbete utreder möjligheterna att vid ett specifikt vattenkraftverk inom Vattenfall AB:s verksamhet ersätta dompegeln med ett kameraövervakningssystem.

Utredningen kring möjligheterna att ersätta pegelskalan med ett kameraövervakningssystem har två infallsvinklar. Den första infallsvinkeln är tekniska förutsättningar och hur programvaran till ett sådant system ska se ut. Ett demonstrationsprogram som returnerar aktuellt vattenstånd i antal meter över havet har konstruerats. Programmets styrkor och svagheter diskuteras. Den andra infallsvinkeln är av socioteknisk karaktär och utreder förutsättningarna för kameraövervakningssystemet ur ett vidare perspektiv. Det viktigaste resultatet av denna utredning var att det finns juridiska hinder i frågan om en implementering av ett kameraövervakningssystem. Den vattendom som är utfärdad på vattenmagasinet ifråga tillåter inte att pegelskalan monteras ned. Därmed kan den heller inte ersättas med ett alternativt system.

Innehållsförteckning

1	Inledning	3
1.1	Angående sekretess	3
1.2	Vattenkraft	3
1.3	Vattenfall AB	4
1.4	Bakgrund till examensarbetet	4
1.5	Syfte	5
1.6	Metod	6
1.7	Avgränsningar	6
1.8	Disposition	6
2	Teori	8
2.1	Interpolation och regression	8
2.1.1	Minstakvadratmetoden	9
2.1.2	Styckvis linjär interpolation	11
2.1.3	Kubisk splineinterpolation	11
2.2	Extrapolation	12
2.3	Digitala bilder, pixlar och RGB	12
2.4	Perspektivprojektion av rum i 3D till ytor i 2D	13
2.5	Sociotekniska system	13
3	Teknisk lösning	15
3.1	Förutsättningar för kameraövervakningssystemet	15
3.2	MATLAB och det grafiska användargränssnittet GUIDE	15
3.3	Systemets gränssnitt och användning	15
3.4	Programmets uppbyggnad	16
3.5	De fyra testade modellerna	18
3.5.1	Resultat med minstakvadratmetoden av första ordningen	20
3.5.2	Resultat med minstakvadratmetoden av andra ordningen	20
3.5.3	Resultat med styckvis linjär interpolation	20
3.5.4	Resultat med kubisk spline	21
4	Kameraövervakningssystemets kontext	22
4.1	Peglarnas placering och rutinerna kring vattennivåövervakning	22
4.2	Juridik kring vattenståndsövervakning	26
4.2.1	Vattendomen, Vattenfall och SMHI	26
4.2.2	Att ändra en vattendom	27
4.3	SMHIs krav	28
5	Diskussion	29
5.1	En kamera i övervakningssyfte: en artefakt eller ett system?	29
5.2	Diskussion kring den tekniska lösningen	29
5.2.1	Valet av referenspunkter som utgångspunkt	29
5.2.2	Bildens djup	30
5.2.3	Jämförelse mellan de fyra metoderna	31
5.3	Diskussion ur ett sociotekniskt perspektiv	32
5.3.1	Problematiken kring att öppna en vattendom	33
5.3.2	Att övervaka teknik med teknik	33
5.3.3	Fördelar med ett kameraövervakningssystem	34

6	Slutsatser	36
7	Förslag på fortsatt arbete	37
7.1	Gränssnittet	37
7.2	Stand alone-kod	37
7.3	Förfining av programmet	37
7.4	När är det dags att öppna en vattendom?	38
7.5	Förbättra dagen situation	38
	Referenslista	39
	Bilaga 1: Användarhandledning för programmet	I
	Bilaga 2: MATLAB-kod	II

1 Inledning

“Technological progress is like an axe in the hands of a pathological criminal.”
– Albert Einstein

Att sträva efter teknisk utveckling anses i många sammanhang idag som något självklart. Inom Vattenfall AB finns en vilja att utnyttja potentialen i modern teknik i så stor utsträckning som möjligt. Detta examensarbete handlar om hur rutiner vid vattenkraftverk med hjälp av modern teknik kan effektiviseras och förbättras. Men examensarbetet handlar även om hur teknik inte alltid är lösningen på problem. Det finns en gyllene medelväg mellan övertro till teknik och misstro till teknikens potential. Den vägen är inte alltid enkel att finna.

1.1 Angående sekretess

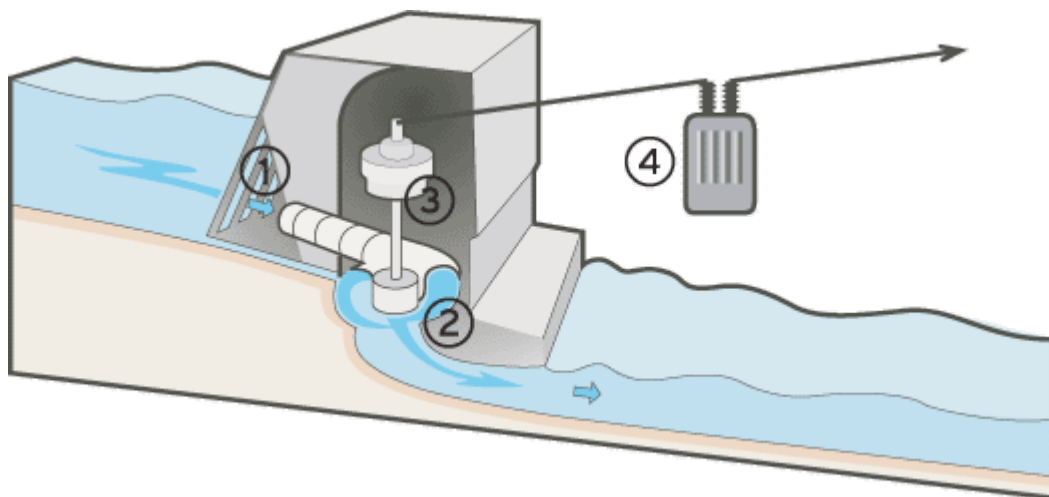
Detta examensarbete genomfördes på Vattenfall Research and Development AB mellan november 2006 och april 2007. Under examensarbetets gång skrevs två rapporter, en intern rapport för Vattenfall och en offentlig version för extern publicering. Anledningen till detta var att en del resultat som framkom under examensarbetet kom att bli sekretessbelagda. Vattenfall ville att det vattenkraftverk som undersökts skulle vara anonymt i den offentliga rapporten. När det i rapporten talas om vattenkraftverket eller det undersökta vattenkraftverket avser formuleringen ett specifikt vattenkraftverk. Detta innebär även att vissa årtal är manipulerade för att ytterligare försäkra att kraftverket förblir anonymt. Årtalet 196X innebär alltså något år under 1960-talet.

1.2 Vattenkraft

Vattenkraft är en energikälla som människan utnyttjat i urminnes tider. Redan för tusentals år sedan användes vattenkvarnar i Kina och Egypten. Dessa primitiva kvarnar användes främst till att mala säd till mjöl. I dagens vattenkraftverk omvandlas den mekaniska kraften till elektricitet, som sedan distribueras via elnätet.¹

Grundprincipen i användandet av vattenkraft är att utnyttja skillnaden i lägesenergi hos vatten vid två olika nivåer. När vatten går från en högre till en lägre nivå omvandlas lägesenergi till rörelseenergi. Där vattenmassorna strömmar från en högre till en lägre nivå placeras en turbin vars turbinaxel sätts i rörelse av vattnet. Via en generator och en transformator alstras på detta vis elektricitet. För att öka fallhöjden däms älven upp och det skapas på så sätt dammar. Dammarna fungerar som vattenmagasin, vilket gör det möjligt att anpassa elproduktionen efter säsong och behov.

¹ Kjölle, Arne, *Hydro Power in Norway – Mechanical Equipment*, (Trondheim, 2001)



Figur 1 – Figuren visar ett vattenkraftverk i genomskärning. Utmärkta delar är (1) vattenmagasin, (2) turbin, (3) generator och (4) transformator²

1.3 Vattenfall AB³

Vattenfall AB är Europas fjärde största producent av el och den största producenten av värme. I dagsläget har företaget verksamhet i Sverige, Polen, Tyskland, Danmark och Finland. Vattenfall ägs till 100 % av den svenska staten.

Företagets historia går tillbaka till slutet av 1800-talet då staten 1899 fick största delen av rättigheterna till vattnet i Trollhättans vattenfall. Några år senare omvandlades *Trollhätte kanal- och vattenverk* till *Kungliga Vattenfallsstyrelsen*, vilket brukar anses som Vattenfalls födelse. Initialt handlade det främst om elförsörjning av industrin, viktiga kunder var järnvägen, metall- och skogsindustrin. Under 1990-talet expanderade Vattenfall sin verksamhet till den europeiska marknaden och idag är Vattenfall AB ett internationellt företag. Inom koncernen arbetar idag cirka 32 000 personer, varav ungefär 8400 arbetar i Sverige.

Huvuddelen av Vattenfall AB:s energiproduktion kommer från vattenkraft och kärnkraft. År 2005 stod kärnkraften för 51,1 % och vattenkraften för 48,1 % av den totala energiproduktionen. De resterande 0,8 procenten utgjordes av vindkraft och fossilkraft.

1.4 Bakgrund till examensarbetet

Vid ett vattenkraftverk utförs vad som kallas för rondning för att kontrollera att kraftstationens tillstånd fungerar till belåtenhet. Maskinisterna har även möjlighet att i tidigt stadium upptäcka mindre fel som utan åtgärd skulle kunna leda till stora komplikationer i driften. Rondningen är således en viktig del av driften av ett vattenkraftverk. En rondpunkt är i regel att kontrollera vattenståndet i dammen. Vattenfall AB arbetar aktivt med att kontinuerligt se över rondpunkter för att effektivisera och förbättra rutiner kring rondning.

För de flesta dammar finns det av domstol fastslagna gränser för hur högt respektive lågt vattnet i dammen får stå för att säkerheten ska kunna garanteras. Den övre gränsen

² http://www.vattenfall.se/om_vattenfall/var_verksamhet/ (2006-11-14)

³ Ibid., 2006-11-14

kallas för dämningssgräns, den undre för sänkningsgräns. Ett vanligt verktyg vid mätning av vattenståndet i dammar är pegelskalor⁴. En pegel är en vattenståndsmätare i form av en fast skala monterad på dammens vägg.

Vid vissa vattenkraftverk inom vattenfallkoncernen har trasiga pegelskalor länge varit problematiskt. På våren när isen släpper slits pegelskalorna sönder och maskinisterna måste ideligen montera upp nya pegelskalor. Det var mot denna bakgrund som examensarbetet växte fram.

Med hjälp av modern teknik borde situationen med trasiga pegelskalor kunna förbättras. Maskinisterna vid ett visst vattenkraftverk lade fram som förslag att ta hjälp av ett kameraövervakningssystem för att lösa problemet. Ett kameraövervakningssystem skulle kanske kunna ersätta dompegeln, den pegel som årligen går sönder. En fördel med denna idé gentemot andra tänkbara tekniska lösningar är att det skulle kunna möjliggöra rondning på distans. Detta vore önskvärt då maskinisterna har sitt kontor ett antal mil från vattenkraftverket.

Initialt var tanken att vid examensarbetets slut skulle ett kamerabaserat övervakningssystem ha utvecklats, monterats, testats och utvärderats och den pegelskala som idag avläses vid kontroll av vattenståndet monterats ned. Examensarbetet var inledningsvis formulerat som en ren teknisk uppgift med fokus på bildanalys. Problemet som skulle lösas bestod i att utveckla en bildanalytisk programapplikation för kantdetektering och med denna avgöra vattennivån i magasinet.

Relativt tidigt i arbetsgången utvidgades examensarbetets fokus till att även omfatta den sociala kontext som övervakningssystemet skulle placeras i. Anledningen till detta var att det visade sig att ingen undersökning var genomförd kring till exempel juridiska frågor. Övervakningssystemet kom därför att betraktas som ett sociotekniskt system. Denna utvidgning innebar bland annat att rutinerna för vattenståndsovervakning och de juridiska krav som ställs på desamma kartlades.

Projektet skulle även leda fram till en konklusion om kameraövervakningssystemets lämplighet som verktyg att använda sig av vid mätning av vattennivå vid kraftstationer där problem med trasiga pegelskalor på grund av islossning förekommer.

1.5 Syfte

Det övergripande syftet med detta examensarbete var att på beställning av Vattenfall AB Vattenkraft utreda och testa möjligheterna att avläsa vattenståndet i dammen vid ett specifikt vattenkraftverk med ett kameraövervakningssystem istället för med de traditionella pegelskalorna. Syftet sammanfattas som:

Syftet med examensarbetet var att utreda både de tekniska och sociotekniska förutsättningarna för att installera ett kameraövervakningssystem av vattennivån i vattenmagasinet vid ett specifikt vattenkraftverk. Övervakningssystemets funktion skulle bestå i att göra driftspersonalen oberoende av fast monterade pegelskalor då dessa

⁴ ”pe’gel, vattenståndsmätare, instrument med vilken vattennivån i ett vattendrag mäts manuellt mot en pegelskala eller automatiskt mot en *limnograf* i förhållande till en referensnivå.” – Nationalencyklopedin (www.ne.se, 070129)

årligen slits sönder vid islossningen. En demonstrationsapplikation av ett sådant program skulle konstrueras.

1.6 Metod

Det praktiska genomförandet av projektet var liksom syftet tudelat och rörde sig kontinuerligt på två plan. Dels skulle en applikation för analys av vattenståndet utvecklas, dels skulle de sociotekniska förutsättningarna för kameraövervakningssystemet utredas.

För att utveckla en datorapplikation användes programvaran MATLAB samt tilläggsmodulen Image Processing Toolbox. Initialt låg fokus på att finna och applicera en bildanalysmetod som automatiskt och med tillfredsställande resultat skulle returnera vattenståndet i magasinet. Men allteftersom de sociotekniska förutsättningarna kartlades försköts fokus till att konstruera ett något enklare analysprogram i demonstrationssyfte. Det krävdes dock inhämtning av information kring programmering i MATLAB för att få demonstrationsprogrammet att fungera på ett tillfredsställande sätt. Matematiskt baseras det slutgiltiga programmet på interpolation och regression vilket krävde en del inläsning även på detta område.

För att utreda de sociotekniska förutsättningarna för systemet genomfördes relativt omfattande litteraturstudier av juridiska texter som på olika sätt berör vattennivåövervakning. Ett antal intervjuer genomfördes för att ytterligare klargöra förutsättningarna för övervakningssystemet. Intervjuer genomfördes med representanter från SMHI, maskinisterna vid det berörda vattenkraftverk samt juridiska specialister inom Vattenfall AB. För att få en god uppfattning om i vilken miljö systemet skulle monteras genomfördes den 7-8 november 2006 en platsstudie vid vattenkraftverket. Vid platsstudien gavs möjlighet att föra en dialog med maskinisterna för att få uppfattning om dels deras önskemål, dels hur rutinerna vid vattenkraftverket ser ut i praktiken.

Då förslaget till examensarbetet kom från de maskinister som arbetar vid det undersökta vattenkraftverket genomfördes även en andra resa till kraftverket för att ge maskinisterna feedback på deras förslag samt att för att få deras reaktioner på examensarbetets resultat. En presentation av examensarbetet och demonstration av programmet hölls för maskinisterna den första mars 2007.

1.7 Avgränsningar

Detta examensarbete ska inte betraktas som en utredning av hur förhållandena vad gäller vattennivåavläsning vid det undersökta vattenkraftverket generellt kan förbättras med hjälp av kamerateknik. Uppgiften var begränsad till att undersöka möjligheten att ersätta dompegeln med ett kameraövervakningssystem. Alternativa positioner för eventuell kamera eller användandet av alternativa teknologier har ej undersökts då sådana undersökningar faller utanför examensarbetets syfte.

1.8 Disposition

Rapporten är indelad i sju kapitel samt två bilagor.

- **Kapitel 1 – Inledning.** I det inledande kapitlet presenteras bakgrunden till och syftet med examensarbetet samt ett avsnitt om metod. Här beskrivs även kort Vattenfall som företag samt hur vattenkraft fungerar.
- **Kapitel 2 – Teori.** Det andra kapitlet beskriver den teori, både teknisk och socioteknisk, som examensarbetet vilar på.
- **Kapitel 3 – Teknisk lösning.** I det tredje kapitlet presenteras resultaten kring det program som konstruerades under arbetets gång.
- **Kapitel 4 – Kameraövervakningssystemets kontext.** Här presenteras den juridiska kontext som omger vattenståndsövervakning vid vattenkraftverk.
- **Kapitel 5 – Diskussion.** I det femte kapitlet diskuteras de resultat som framkom under examensarbetet
- **Kapitel 6 – Slutsatser.** De övergripande slutsatserna som examensarbetet resulterade i sammanfattas.
- **Kapitel 7 – Förslag på fortsatt arbete.** Förslag på fortsatt arbete i anslutning till examensarbetet presenteras.
- **Bilaga 1 – Användarhandledning för programmet.** Beskriver hur det framtagna programmet ska användas.
- **Bilaga 2 – MATLAB-kod.** Koden som utgör programmet.

2 Teori

Som beskrivits i syftet var examensarbetet tudelat. Nedan beskrivs dels den teori demonstrationsprogrammet baseras på, dels den sociotekniska teori som resulterade i en utredning av de juridiska omständigheterna kring vattenståndsövervakning.

2.1 Interpolation och regression

Den matematiska modell som ligger till grund för demonstrationsprogrammet baseras på kurvanpassning. Programmet testades för fyra olika kurvanpassningsmetoder: linjär och kvadratisk regression samt två interpolationsmetoder.

Interpolation är ett samlingsnamn för metoder att för en diskret datamängd hitta ett polynom $P(x)$ av högst grad n så att $P(x_i) = y_i$ där $i = 0, 1, \dots, n$.⁵ Om två punkter i planet, (x_1, y_1) och (x_2, y_2) där $x_1 \neq x_2$, binds samman med en linje går denna att beskriva med ett unikt förstgradspolynom. Vilken form polynomet presenteras på har ingen betydelse, det beskriver alla samma unika räta linje. Polynomet kallas för interpolationspolynomet. Resonemanget går att applicera på fler än två punkter.⁶

Ett sätt att beskriva interpolationspolynomet i det allmänna fallet är på *Lagrangeformen*

$$P(x) = \sum_{k=0}^n f(x_k) L_k(x) \quad (1)$$

$$L_k(x) = \frac{(x - x_0)(x - x_1) \dots (x - x_{k-1})(x - x_{k+1}) \dots (x - x_n)}{(x_k - x_0)(x_k - x_1) \dots (x_k - x_{k-1})(x_k - x_{k+1}) \dots (x_k - x_n)} \quad (2)$$

$$L_k(x_k) = 1, L_k(x_i) = 0 \text{ för } i \neq k$$

Remainder term $R(x) = f(x) - P(x) = (x - x_0)(x - x_1) \dots (x - x_n) f^{(n+1)}(\xi) / (n+1)!$

där $\xi \in (a, b)$ om $x, x_1, x_2, \dots, x_n \in [a, b]$.

Oftast beskrivs interpolationspolynomet inte på Lagrangeformen utan på formen $x^3 - 2x - 5$ eller motsvarande.⁷ Under examensarbets gång testades två olika interpolationsmodeller: styckvis linjär interpolation och kubisk splineinterpolation. Termen spline kommer från skeppsbygget där en elastisk linjal i trä eller metall användes som hjälpmedel för att rita avrundade former. Alla splinefunktioner är former av styckvis polynomiala interpolationer, tekniskt sett är även styckvis linjär interpolation en splinefunktion. I matematisk litteratur kallas den ofta för linjär splineinterpolation. För att undvika förvirring används här benämningen styckvis linjär interpolation.

⁵ Råde, Lennart & Westergren, Bertil, *Mathematics Handbook for Science and Engineering*, (Lund, 2004), s. 381

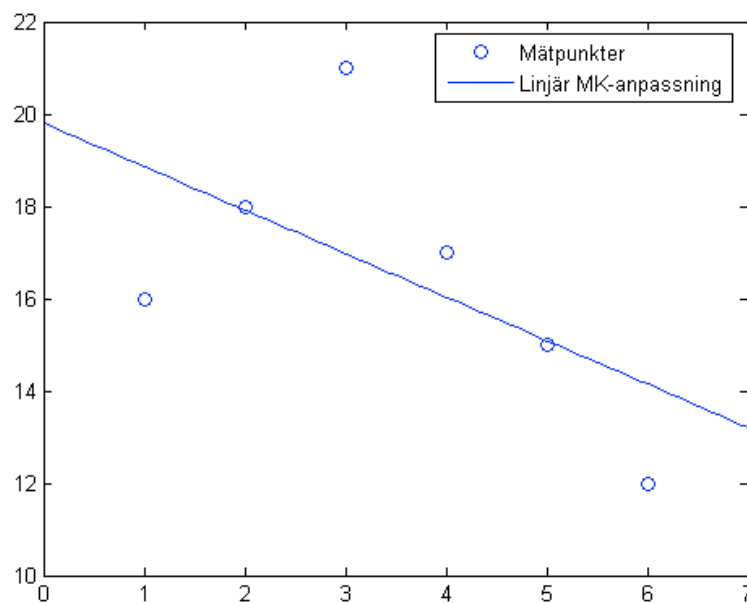
⁶ Moler, B. Cleve, *Numerical computing with Matlab*, (Philadelphia, 2004), s. 1

⁷ Ibid., s. 2

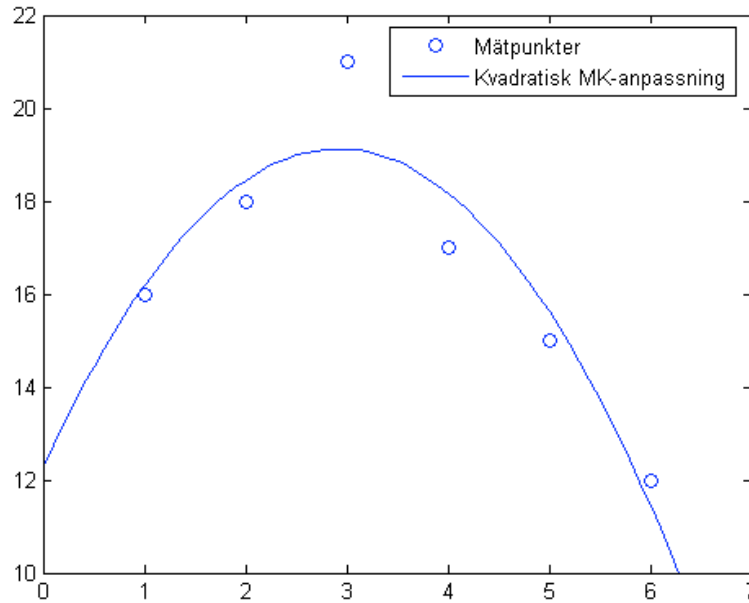
Regression är kurvanpassningsmetoder som skiljer sig något från interpolation. Till skillnad från interpolation, då ett polynom vars kurva går genom alla givna punkter söks, innebär regression att den kurva som är bäst anpassad till de givna punkterna utan att nödvändigtvis gå genom dem beräknas. Under examensarbetet testades en regressionsmodell: minstakvadratmetoden. Denna modell testades i det linjära och det kvadratiske fallet.

2.1.1 Minstakvadratmetoden

Den första metod som testades under examensarbetet var minstakvadratmetoden, vilket är en regressionsmetod. Figur 2 visar hur minstakvadratanpassning av första ordningen till punkterna (1,16), (2,18), (3,21), (4,17), (5,15) och (6,12) ser ut och figur 3 visar hur kvadratisk minstakvadratanpassning till samma punktmängd ser ut.



Figur 2 – Linjär minstakvadratanpassning för punkterna (1,16), (2,18), (3,21), (4,17), (5,15) och (6,12).



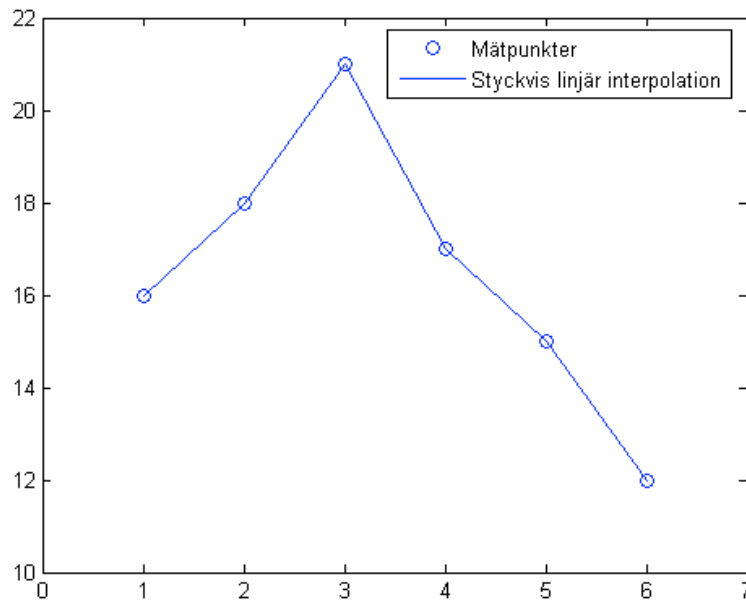
Figur 3 – Kvadratisk minstakvadratanpassning för punkterna $(1,16)$, $(2,18)$, $(3,21)$, $(4,17)$, $(5,15)$ och $(6,12)$.

Användning av minstakvadratmetoden för kurvanpassning innebär att den kurva där summan av kvadratfelen till de givna punkterna är minimerad beräknas. Matematiskt beskrivs detta i det allmänna fallet som givet m punkter (t_i, y_i) söks den n -vektor $\mathbf{x}$ med parametrar som ger den bästa anpassningen till data av modellfunktionen $f(t, \mathbf{x})$ där $f : \mathbf{R}^{n+1} \rightarrow \mathbf{R}$. Med bästa anpassning menas här

$$\min_{\mathbf{x}} \sum_{i=1}^m (y_i - f(t_i, \mathbf{x}))^2. \quad (3)$$

⁸ Heath, T. Michal, *Scientific computing*, (New York, 2002), s. 107

2.1.2 Styckvis linjär interpolation

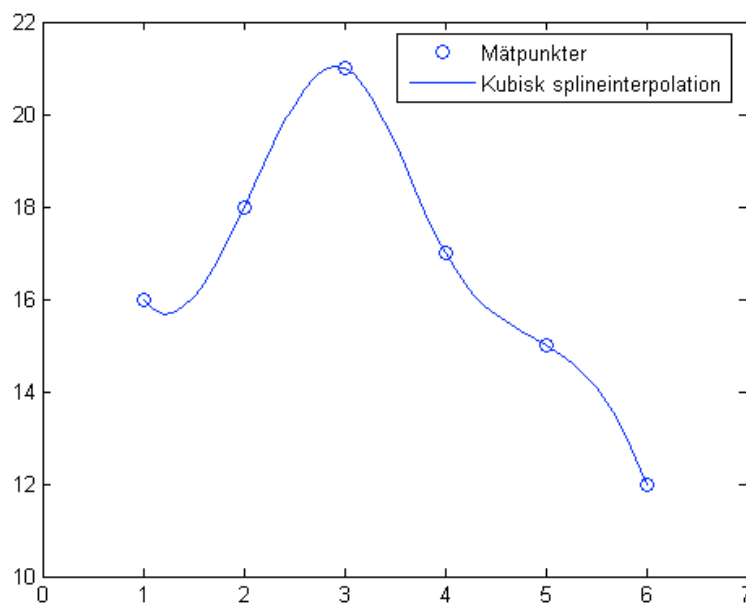


Figur 4 – Styckvis linjär interpolation för samma datamängd som i figur 2 och 3.

Figur 4 visar hur styckvis linjär interpolation ser ut för samma datamängd som figur 2 och 3. Styckvis linjär interpolation innebär att en rät linje kalkyleras styckvis mellan de givna punkterna. Initialt beräknas linjen mellan punkt (1,16) och (2,18) och ritas in i planet. Därefter beräknas linjen som mellan (2,18) och (3,21) och ritas in i planet, och så vidare, tills alla givna punkter knutits ihop. Att beräkna den linje som går genom två punkter i planet kan till exempel göras med hjälp av tvåpunktsformeln:

$$y - y_1 = k(x - x_1) \quad (4)$$

2.1.3 Kubisk splineinterpolation



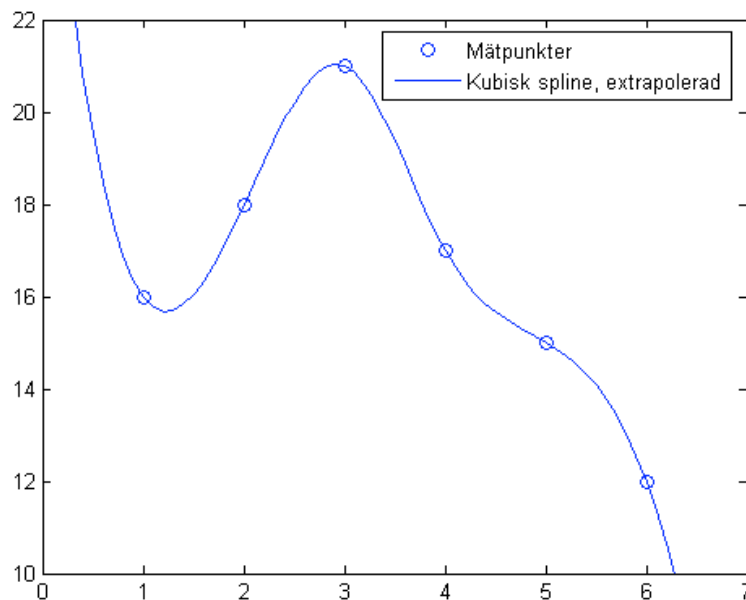
Figur 5 – Kubisk splineinterpolation för samma datamängd som i figur 2,3 och 4.

Kubisk splineinterpolation var den tredje metoden som prövades. Som ovan nämnts är även kubisk spline en styckvis interpolation. Definitionen av kubiska splines lyder:

Låt $a = x_1 < x_2 < \dots < x_n = b$ vara givna punkter, noder. Funktionen s sägs vara en kubisk splinefunktion på intervallet $[a, b]$ om s, s' och s'' är kontinuerliga på intervallet $[a, b]$, s är ett polynom av grad ≤ 3 på varje delintervall $[x_i, x_{i+1}]$, $i = 1, \dots, n-1$.⁹

2.2 Extrapolation

Figureerna ovan visar hur olika interpolationsmetoder approximerar kurvor till en given datamängd. Kurvorna i figurena ovan är definierade för intervallet $x \in [1, 6]$. Emellanåt kan det vara intressant att studera kurvans utseende bortom intervallet givet av de kända punkterna. En sådan approximation kallas extrapolation.



Figur 6 – Figuren beskriver samma operation som figur 5, men med extrapolation.

2.3 Digitala bilder, pixlar och RGB

En bild kan ses som ett sätt att presentera information. Om bild betraktas som en funktion $f(x, y)$ är denna kontinuerlig medan en digital bild är en diskret funktion. Vid omvandling av en bild till digital form måste informationen i bilden först samplas (eng. sampling) och sedan kvantiseras (eng. quantization). Resultatet av en kvantisering är en matris med M rader och N kolumner. Låt matrisen heta A , resultatet blir således

⁹ Eldén, Lars & Wittmeyer-Koch, Linde, *Numeriska beräkningar – analys och illustrationer med MATLAB*, (Stockholm, 2001), s. 126

$$A = \begin{bmatrix} a_{0,0} & a_{0,1} & \cdots & a_{0,N-1} \\ a_{1,0} & a_{1,1} & \cdots & a_{1,N-1} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ a_{M-1,0} & a_{M-1,1} & \cdots & a_{M-1,N-1} \end{bmatrix}$$

där varje position i matrisen motsvarar en pixel i den digitala bilden. Pixeln i sig behöver inte anta formen av en liten kvadrat, vilket är en vanlig missuppfattning. Det är dock den vanligaste formen, eftersom den skapar en illusion av kontinuitet om upplösningen är tillräckligt bra.¹⁰

Vidare finns det ett antal olika modeller för hur färger i en bild kan återges. Bilderna som användes i detta examensarbete var av typen RGB (Röd, Grön, Blå), vilket är ett vanligt sätt att återge färger i digitala bilder. En RGB-bild består av tre lager, ett lager som anger nyans av röd, ett lager som anger nyans av grön och ett lager som anger nyans av blå. Följaktligen består en RGB-bild av tre matriser. Skalan för angivelse av färg går från 0 till 255, ju lägre värde desto mörkare färg. Låt oss för enkelhetens skull kalla de tre matriserna för R, G och B. Antag att på position $a_{0,0}$ har matris R värde 255, G har värdet 0 och B värdet 0. Resultatet i den digitala bilden blir att pixel $a_{0,0}$ får färgen klarröd.

2.4 Perspektivprojektion av rum i 3D till ytor i 2D

En bild är en tvådimensionell representation av ett tredimensionellt rum. Detta kan medföra vissa komplikationer när en bild ska analyseras. "The depth information has been collapsed and the image is underconstrained" enligt Zahid Hussains beskrivning i *Digital image processing*.¹¹ Rent praktiskt innebär detta att attribut och egenskaper hos till exempel objekt inte representeras på samma sätt i en bild som i verkligheten. Ett konkret exempel är en vattenyta. I verkligheten är en vattenyta hos stillastående vatten alltid horisontell. I en bild av samma vattenyta är däremot egenskaperna hos vattenytan annorlunda. Den i verkligheten horisontella vattenytan svarar till exempel inte mot en rad pixlar i bilden. Detta kan tyckas självklart och är intuitivt inte svårt att förstå. Det kan dock ställa till med en del problem vid analyser.

Det finns metoder för att återskapa det djup som gått förlorat i en bild. En metod är att använda sig av perspektivtransformation.

2.5 Sociotekniska system

Den teoretiska utgångspunkten för granskningen av det kamerabaserade övervakningssystemet förutsättningar var att se systemet ur ett sociotekniskt perspektiv. En sådan granskning innebär att man utgår från att teknik "[...]är infogad i och en del av politiska, sociala och kulturella sammanhang"¹². Tekniken i sig är sammanflätad med samhället; tekniken påverkar samhället och samhället påverkar tekniken, tillsammans bildar de en "sömlös väv"¹³. Teknikutveckling drivs av faktorer som är sociala,

¹⁰ Gonzalez, C. Rafael, *Digital image processing*, (New Jersey, 2001), s. 55

¹¹ Hussain, Zahid, *Digital image processing – practical applications of parallel processing techniques*, (Wiltshire, 1991), s. 4

¹² Berner, Boel, *Perpetuum Mobile?*, (Bjärnum, 1999), s. 25

¹³ Ibid., s. 25

ekonomiska, politiska, juridiska, geografiska, tekniska, kulturella etcetera. Detta synsätt skiljer sig från det traditionella sättet att se på teknik och dess relation till samhället. I det traditionella synsättet talas det snarare om teknik som ren tillämpning av naturvetenskap, en objektivt och neutral kraft som drivs av uppfinnarens strävan att förbättra den befintliga tekniken.

Centrala begrepp i teoribildningen kring sociotekniska system är *artefakter* och *system*. I den traditionella synen på teknik betraktas tekniken som enstaka artefakter medan det sociotekniska synsättet förespråkar att se teknik som delar av ett komplext system. Jane Summerton, docent och lektor vid Tema Teknik och social förändring vid Linköpings universitet, illustrerar detta med telefonen som exempel:

”Sedd som en artefakt är telefonen en liten låda på våra köksväggar, nattduksbord eller skrivbord på jobbet. Om vi istället betraktar telefonen som *system* är den lilla lådan bara en del i ett enormt, vittförgrenat system som i övrigt består av miljontals kablar, otaliga växlar och telefonstolpar, många nationella och transnationella företag, ett stort antal aktörer (bl.a. fabriksarbetare, operatörer, försäljare och användare), en mängd satellitstationer samt många andra ting. Lådan är i själva verket bara en liten synlig del av det största tekniska system som någonsin byggts.”¹⁴

¹⁴ Blomkvist, Pär & Kaijser, Arne (red.), *Den konstruerande världen*, (Stockholm, 1992). s. 22

3 Teknisk lösning

Syftet med det demonstrationsprogram som konstruerades under examensarbetet var att visa hur en teknisk lösning av problemen med trasiga pegelskalor skulle kunna se ut. Grundtanken var att utveckla en programapplikation som med tillfredställande noggrannhet analyserade vattenståndet i det undersökta vattenkraftverkets vattenmagasin utan att vara beroende av pegelskalor. Naturligtvis finns det ett antal sätt att utforma ett sådant program. Det program som utvecklades under examensarbetet ska ses som ett demonstrationsprogram och inte ett färdigt system. Det fyller sitt syfte och visar att en kameraövervakningslösning av vattenståndet i magasinet är, ur teknisk synvinkel, genomförbart.

3.1 Förutsättningar för kameraövervakningssystemet

Syftet med platsstudien som genomfördes i inledningen av examensarbetet var både att undersöka de fysiska förutsättningarna för kameraövervakning samt föra en dialog med maskinisterna på kraftverket för att kartlägga deras önskemål och förväntningar. Under intervjun framkom att önskemålet från maskinisterna var att kameraövervakningssystemet skulle vara så likt verkligheten som möjligt. Förslaget från arbetsgruppen var att sätta upp en kamera på samma plats där de står vid dagens avläsningar av pegelskalan, så att perspektivet i bilden blir detsamma som det är när den läses av manuellt. Istället för att stå på plats och läsa av en trasig pegelskala skulle maskinisterna kunna sitta i kontrollrummet och titta på en bild av dammen och i den läsa av en hel pegelskala, en i datorn konstruerad pegelskala som lagts in i bilden i efterhand.

Vidare insågs vid besöket av kraftverket att den plats där kameran tänkts monteras är utsatt för hårt väder och vind. Det hårda klimatet utgör dock inget större problem då det på marknaden finns robusta kamerahöljen som är designade för att klara just sådana hårda väderförhållanden som kan uppstå i norra Sverige om vintern.

3.2 MATLAB och det grafiska användargränssnittet GUIDE

MATLAB är en förkortning av Matrix Laboratory och är utvecklat av företaget The MathWorks Inc. MATLAB är ett datorprogram och programspråk primärt utvecklat för matematiska beräkningar samt för analysering och visualisering av data. Programmet används i många vetenskapliga discipliner där numeriska beräkningar förekommer, till exempel ekonomi, biologi och tillämpad matematik för att nämna några.¹⁵

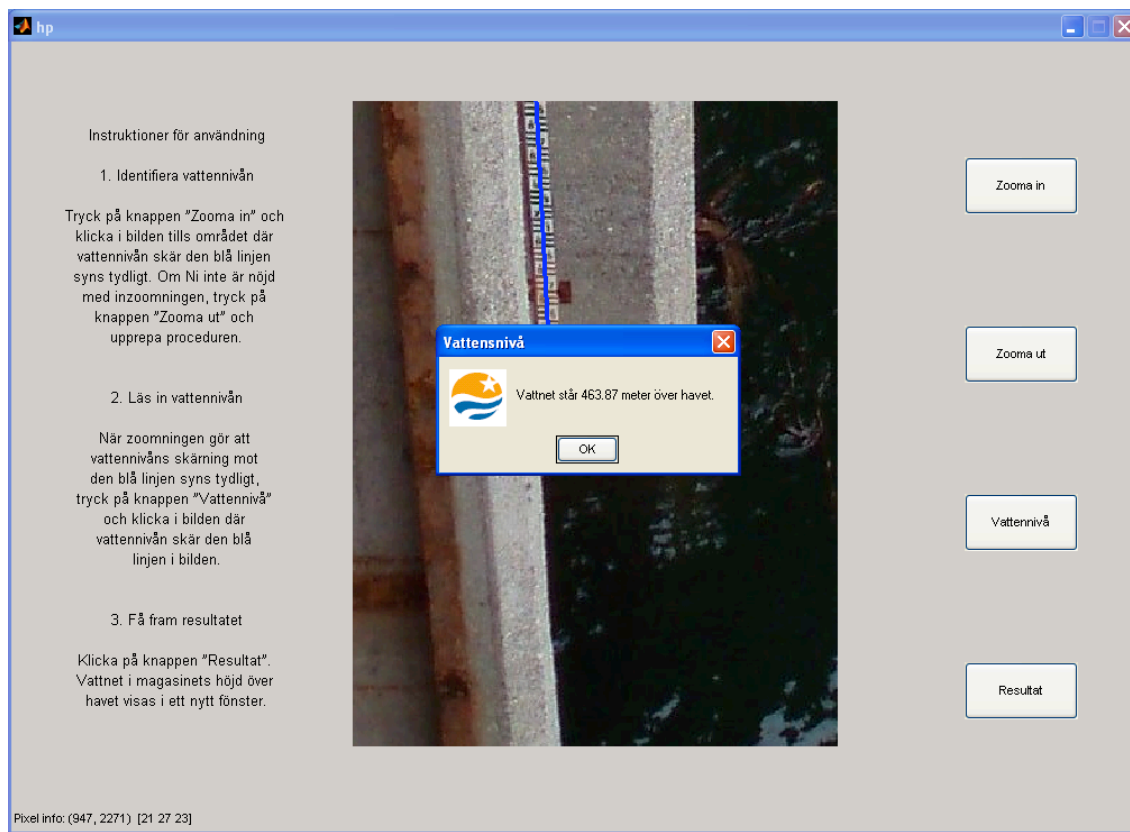
I MATLAB finns det kraftfulla verktyg för att bygga upp grafiska användargränssnitt. Denna applikation heter GUIDE och användes för att bygga upp ett väl fungerade gränssnitt i demonstrationsprogrammet.

3.3 Systemets gränssnitt och användning

Programmet utformades i linje med de önskemål maskinisterna vid vattenkraftverket framförde, dock med vissa modifikationer. Programmet baseras inte på en virtuell

¹⁵ Pärt-Enander, Eva & Sjöberg, Anders, *Användarhandledning för MATLAB 6*, (Stockholm, 2001), hämtat ur förordet

pegelskala, som önskemålen från maskinisterna var, utan på en interaktion mellan användaren och programmet.



Figur 7 – Programmets utseende när det har körts.

Programmet är självinstruerande och enkelt att förstå. Till vänster i programfönstret finns instruktioner för hur programmet ska användas. I mitten av fönstret finns den bild i vilken vattendjupet ska analyseras. Till höger i fönstret finns fyra knappar: "Zooma in", "Zooma ut", "Vattennivå" och "Resultat". För att mäta vattenståndet zoomar användaren in på vattennivån. När gränsen mellan vattnet och dammväggen syns tydligt klickar användaren först på knappen "Vattennivå" och sedan på vattnets nivå i bilden. Avslutningsvis klickar användaren på knappen "Resultat" och den aktuella vattennivån visas i ett nytt fönster.

3.4 Programmets uppbyggnad

Programmet är uppbyggt på ett förhållandevis enkelt sätt. Grundtanken är att varje pixel i bilden tilldelas ett värde på meter över havet. En förutsättning vid en implementering av programmet är att det finns ett antal punkter, i fortsättning benämnda referenspunkter, på dammväggen. Dessa punkter måste installatören med säkerhet veta vilken höjd över havet de befinner sig på. I programapplikationen utformat för detta examensarbete användes sex referenspunkter som hämtades från den befintliga pegelskala som idag sitter på dammväggen. Vidare behövs information om vilken pixelposition i y-led varje referenspunkt har. Varje referenspunkt innehåller alltså två sorters information; vilken pixel i bilden den motsvara samt hur högt över havet den befinner sig. Referenspunkterna utgör dock endast 6 av de 2816 pixlar i y-led som bilden består av, de övriga 2810 pixlarna har initialt inget värde för meter över havet

tilldelat sig. För att tilldela dessa pixlar ett värde används interpolation eller regression. Under examensarbetet undersöktes resultatet utifrån två olika sorters interpolationer och två regressioner: styckvis linjär interpolation, kubisk splineinterpolation och minstakvadratanpassning av första och andra ordningen. När interpolationen/regression utförts har alla pixlar ett värde på meter över havet tilldelat sig. Dessa värden baseras dock på antagandet att vattenytan i bilden är horisontellt orienterad och att dammväggen är vertikalt orienterad. Som figur 8 visar är detta inte fallet. Som konstaterats i teoridelen är bilden en tvådimensionell representation av ett tredimensionellt rum finns det ett djup i bilden som var tvunget att tas hänsyn till. I praktiken blir konsekvensen att de interpolerade/minstakvadratanpassade värdena endast stämmer i linje med referenspunkterna. Denna linje är inte lodrät. För att användaren ska veta var i bilden vattenytans position ska läsas in ritas detta ut med en linje i bilden som ska analyseras. Denna linje konstrueras utifrån den högsta och den lägsta referenspunkten och definierar den nya lodlinjen i bilden.



Figur 8 – Den bild som används för att analysera vattenståndet i dammen. Bilden visar att vattenytan ej ligger horisontellt i bilden.

När användaren klickar i bilden läses y-värdet på den pixel som användaren klickade på in. Programmet hämtar sedan information om vilket värde i meter över havet som

motsvaras av det aktuella pixelvärdet. Programmet returnerar hur högt över havet vattnet står.

3.5 De fyra testade modellerna

Modellen testades utifrån fyra sorters kurvanpassning. Dessa baserades på sex referenspunkter hämtade från pegelskalan. Med hjälp av MATLAB kunde varje punkts pixelvärde samt överensstämmande värde för meter över havet bestämmas. Tabell 1 visar referenspunkterna. För att undersöka skillnaden mellan de fyra varianterna av kurvanpassning testades de för ett antal vattennivåer. Fem testpunkter valdes ut och kontrollerades, tabell 2 visar värdena på de fem testpunkterna samt vilken nivå på vattenytan de överensstämmer med enligt bilden. Valet av testpunkter skedde inte slumpmässigt. Eftersom interpolationsmodellerna, till skillnad från regressionsmodellen, går genom de givna punkterna, kommer dessa att ge väldigt bra värden för mätningar i och i närheten av referenspunkterna. Därför valdes testpunkter som befinner sig mellan referenspunkterna. På så sätt belyser testet på ett mer rättvist sätt modellernas exakthet vid mätningar.

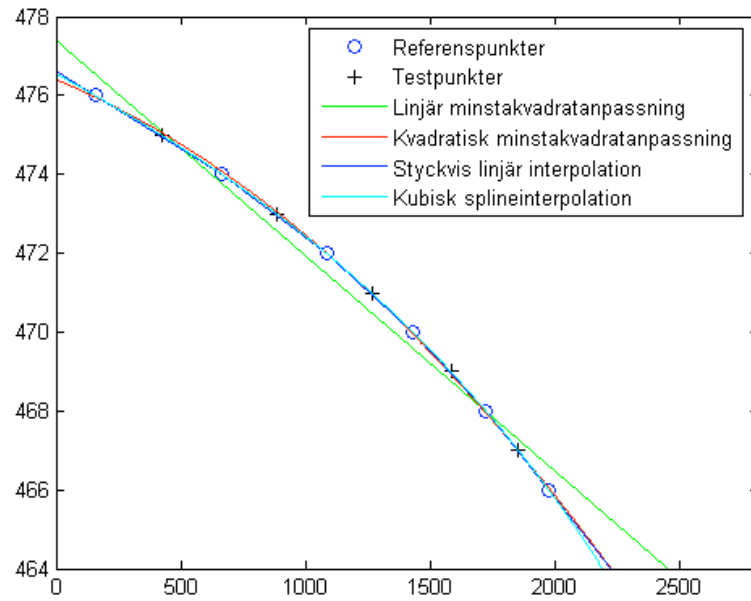
Referenspunkter	
Pixel	Meter över havet
(675, 158)	476
(698, 667)	474
(717, 1086)	472
(736, 1432)	470
(752, 1725)	468
(765, 1975)	466

Tabell 1 – Referenspunkterna

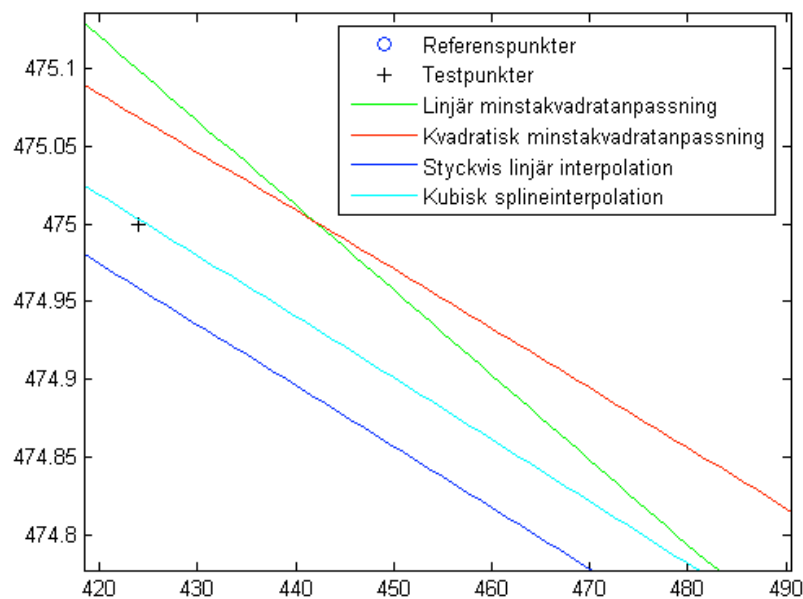
Testpunkter	
Pixel	Meter över havet
(687, 424)	475
(707, 887)	473
(727, 1269)	471
(744, 1585)	469
(758, 1853)	467

Tabell 2 – Testpunkterna

För att få överblick av referenspunkter, testpunkter och de fyra kurvanpassningsmodellerna plottades de tillsammans. Resultatet visas i figur 9 och figur 10.



Figur 9 – Resultatet av testet av modellerna



Figur 10 – Samma figur som figur 9 men inzoomat på den första testpunkten. Figuren åskådliggör att de olika modellerna ger olika resultat.

För att jämföra de olika modellerna användes testpunkterna för att se vilket värde på meter över havet respektive modell ger för varje testpunkt. Detta värde jämförs med det faktiska värdet på testpunkten.

3.5.1 Resultat med minstakvadratmetoden av första ordningen

Testnivå, hämtat ur bild (m ö h)	Resultat med programmet (m ö h)	Differens (m)
475	475,0992	0,0992
473	472,5714	-0,4286
471	470,4859	-0,5141
469	468,7607	-0,2393
467	467,2975	0,2975

Tabell 3 – Resultaten av testet av minstakvadratmetoden av första ordningen.

Minstakvadratanpassning av första ordningen gav som synes i tabellen varierande resultat vad gäller noggrannheten. Avrundat till två decimaler var den minsta differensen bland de nivåer som testats 0,1 meter, den största differensen är 0,51 meter.

3.5.2 Resultat med minstakvadratmetoden av andra ordningen

Testnivå, hämtat ur bild (m ö h)	Resultat med programmet (m ö h)	Differens (m)
475	475,0687	0,0687
473	473,0555	0,0555
471	470,9626	-0,0374
469	468,9363	-0,0637
467	467,0084	0,0084

Tabell 4 – Resultaten av testet av minstakvadratmetoden av andra ordningen.

Avrundat till två decimaler gav minstakvadratanpassning av andra ordningen en minsta avvikelse på 0,01 meter och en största på 0,07 meter.

3.5.3 Resultat med styckvis linjär interpolation

Testnivå, hämtat ur bild (m ö h)	Resultat med programmet (m ö h)	Differens (m)
475	474,9587	-0,0413
473	472,9547	-0,0453
471	470,9480	-0,0520
469	468,9625	-0,0375
467	466,9840	-0,0160

Tabell 5 – Resultaten av testet av styckvis linjär interpolation

Testet med modellen baserad på styckvis linjär interpolation genererade resultat som konsekvent låg under det verkliga värdet. Avrundat till två decimaler avviker modellen som minst med 0,02 meter, som mest med 0,05 meter.

3.5.4 Resultat med kubisk spline

Testnivå, hämtat ur bild (m ö h)	Resultat med programmet (m ö h)	Differens (m)
475	475,0032	0,0032
473	473,0051	0,0051
471	470,9920	-0,0080
469	469,0030	0,0030
467	467,0223	0,0223

Tabell 6 – Resultaten av testet av kubisk splineinterpolation

Testet av modellen baserad på kubisk splineinterpolation gav ett resultat som avrundat till två decimaler avvek som mest med 0,02 meter.

4 Kameraövervakningssystemets kontext

Granskningen av kameraövervakningssystemet ur ett sociotekniskt perspektiv gav kritisk information angående möjligheterna att ersätta pegelskalan med kameraövervakning. Som beskrivet i kapitel 2 innebär ett sociotekniskt perspektiv att andra aspekter än de rent tekniska svårigheterna tas i beaktande. Genom att placera det tekniska systemet i en social kontext och ta hänsyn till bland annat juridiska aspekter fördjupas förståelsen för problematik kring teknisk utveckling i en stor organisation som Vattenfall AB.

4.1 Peglarnas placering och rutinerna kring vattennivåövervakning

För att få en förståelse för hur användandet av peglar vid det studerade vattenkraftverket ser ut kartlades rutinerna kring vattenståndsavläsningen. Kartläggningen visade att det idag finns fyra system för avläsning av vattendjupet i magasinet: två pegelskalor, en Lehmkuhlpegel samt en invändig pegel.



Figur 11 – Bild av pegelskala (1), dompegeln som ideligen går sönder.

Pegel (1) är dompegeln och den pegel som ideligen går sönder när isen släpper. Denna pegel täcker intervallet [462, 477] meter över havet. Då sänkingsgränsen för magasinet är 442,5 meter över havet klarar alltså denna pegel ej att registrera hela spannet som vattenytan faktiskt kan befinna sig på. Detta beror på dammens uppbyggnad. När vattnet står lägre än 462 är den plats där pegel (1) är placerad torrlagd, dammen är alltså grundare kring dammväggen. I sådana situationer går vattnet via en tillloppstunnel och inte via intaget när kraftverket ska köras. Pegel (1) var vid platsstudien i dåligt skick. SMHI hade dessutom endast en kort tid tidigare konstaterat att pegeln var tvungen att justeras tre centimeter.



Figur 12 – Bild av pegel (2), pegeln är placerad en bit ut i dammen.

Pegel (2) är placerad en bit ut i dammen. Denna pegel är i praktiken obrukbar då den sitter för långt bort för att kunna läsas av samt att den mäter ett ännu mindre spann än pegel (1).



Figur 13 – Displayen i pegelkuren som visar Lehmkuhlpegelns senaste registrerade värde.

Pegel (3), Lehmkuhlpegeln, är en tryckgivare och mäter vattenståndet i dammen genom att mäta vattnets tryck på botten. Det är alltså inte en pegel i ordets bokstavliga betydelse. Tryckmätaren skickar in signaler till pegelkuren där en display visar hur högt vattnet står över havet.



Figur 14 – Bild av pegel (4). Nivårör även kallad.

Pegel (4) är en pegelskala som sitter invändigt i utskovet. Denna skala baseras på trycket från dammen och trycker upp en vattenpelare via ett intagsrör i en plastslang som är graderad. Då den är närmare 35 meter hög är det omständligt att läsa av denna pegel. Maskinisten måste vid avläsning gå i smala branta trappor med en ficklampa för att försöka hitta vattennivån. Pegeln sträcker sig över intervallet [445, 477] och täcker alltså inte hela intervallet för vattennivåavläsning.

Rutinerna för hur vattennivån läses av varierar något beroende på hur högt vattnet i magasinet står samt om det är is och snö på dammen eller ej. Lehmkuhlpegeln registrerar vattenståndet i magasinet en gång i timmen. En gång i veckan ska resultatet från Lehmkuhlpegeln jämföras med en manuell avläsning av vattenståndet på en pegelskala. Övervakningen av vattenståndet sker alltså med redundans, detta då lehmkuhlpegeln har en tendens att driva. I första hand används dompegeln vid kontroll av lehmkuhlpegeln. Vid de tillfällen dompegeln inte går att läsa av används den invändiga pegelskalan, nivåröret.

4.2 Juridik kring vattenståndsövervakning

För att utreda huruvida kameraövervakning är ett aktuellt verktyg för att mäta vattenståndet behövdes en granskning av den juridik som finns fastslagen angående rutinerna kring dammsäkerhet och vattenståndsövervakning. Det första steget i fördjupning i juridiken var att undersöka RIDAS, *Kraftföretagens riktlinjer för dammsäkerhet*. RIDAS är ett antal riktlinjer som vattenkraftföretagen gemensamt tagit fram och förbundit sig vid. Angående vattennivåmätning står det i RIDAS att läsa:

”Mät punkt för vattennivåmätning utformas på ett sådant sätt att mätning sker i ett lugnt avsnitt av magasinet, med hänsyn till vattendom/miljödom och utskovens placering. Risk för igensättning, frysning och övrig miljöpåverkan beaktas. Om särskilda skäl föreligger skall vattennivåmätning ske med redundans.”¹⁶

RIDAS är som synes väldigt generellt formulerade och hanterar inga specifika detaljer. Riktlinjerna säger heller ingenting om hur lagarna berörande vattennivåavläsning är formulerade. För att få information om vad som gäller specifikt för övervakning av vattennivån vid det undersökta vattenkraftverket granskades den vattendom som utfärdats på dammen. Innan 1999, då Miljöbalken uppfördes, var det Vattendomstolar som prövade ansökningar och utfärdade tillstånd till byggande i vatten, en uppgift som nu utförs av Miljödomstolar.¹⁷ Vattendomen är utfärdad den 196X. I denna står att läsa att:

”Sökanden ålägges att i samråd med institutet på lämplig plats vid huvuddammen låta uppsätta och för framtiden bibehålla dels en självregistrerande pegel för hela regleringsregistret dels ock fasta vattenståndsskalor för registren närmast regleringsgränserna. Pegeln skall vara så konstruerad och vattenståndsskalorna skall ha en sådan placering, att de visar vattenståndet i magasinet uppströms tillloppskanalen. Vattenståndsskalorna skall omfatta registren +442,0 – 443,0 m och +475,0 – 478,0 m. På skalorna skall sänkningsgränsen +442,5 m och dämningssgränsen +477,0 m vara tydligt utmärkta genom särskilda märken.”¹⁸

I vattendomen står även att:

”Såsom villkor för sökanden i denna dom meddelade tillstånd skall gälla, att sökanden noggrant ställer sig till efterrättelse de bestämmelser som ges i denna dom och i de domar, som samtidigt meddelas i de särskilda områdesmålen för [...] -områdena, ävensom de bestämmelser, som framdeles kan komma att meddelas beträffande ifrågavarande företag i delar, som enligt vad nämnda domar framgår nu icke kan slutligt avgöras.”¹⁹

Att plocka ner pegelskalan är alltså inte ett alternativ om vattendomen ska följas.

4.2.1 Vattendomen, Vattenfall och SMHI

Vattenfall AB är enligt lag skyldiga att följa vattendomen. Uppgiften att kontrollera att Vattenfall uppfyller vattendomen är tilldelad SMHI. Tillsynsmyndighet för vattenkraftverk är Länsstyrelsen och SMHI fungerar som rådgivare till denna. I förlängningen är det alltså Länsstyrelsen som är ansvarig för att ägaren följer vattendomen, men uppgiften är lagt på entreprenad hos SMHI. Vem som ansvarar för vad vid driften av en damm åskådliggörs i figur 15.

¹⁶ Svensk Energi, *RIDAS - Kraftföretagens riktlinjer för dammsäkerhet*, (Stockholm, 2002), s. 27

¹⁷ <http://www.energilexikon.nu/site/070110>

¹⁸ Olsson, Oskar, *Deldom den 9 mars 196X angående [...]*, (Luleå, 196X), s. 35-36

¹⁹ *Ibid.*, s. 35

Vem ansvarar för vad?

- Ägaren ansvarar för att dammar och kraftverk drivs och underhålls i enlighet med vattendomarna.
- SMHI övervakar att fastlagda vattennivåer hålls.
- Länsstyrelsen kontrollerar att dammarna underhålls så att säkerhetskraven uppfylls.
- Kommunens räddningstjänster har ansvaret för civilbefolkningens skydd vid dammhaverier och andra olyckor.
- Längs alla älvar finns en beredskapsorganisation. Dess främsta uppgift är att organisera evakueringsplaner och träna sambandet mellan ansvariga om ett dammhaveri eller en olycka inträffar.

*Figur 15 – Vem ansvarar för vad när det gäller driften av en damm?*²⁰

SMHIs roll finns även beskriven i vattendomen:

”Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut förordnas jämlikt förslag av sökanden att på sökandens bekostnad kontrollera vattenhushållningen för företagen. Det åligger sökanden att tillhandahålla institutet de uppgifter detta finner erforderliga för uppdragets fullgörande, ävensom vidtagna åtgärder för vattenmängds- och vattenståndsmätning, som institutet anser nödvändiga.”²¹

Vattenfall AB, i egenskap som ägare av det undersökta vattenkraftverket, är alltså enligt vattendomen skyldiga att tillhandahålla SMHI med den information som SMHI anser sig behöva.

4.2.2 Att ändra en vattendom

Vattendomen tillåter inte att pegelskalorna plockas ned. Detta faktum resulterar i två alternativ. Vattendomen måste följas och således blir det första alternativet att inleda ett arbete för en ändring i vattendomen. Det andra alternativet är att hålla sig inom ramarna för vattendomen, vilket i praktiken innebär att syftet med kameraövervakningssystemet måste formuleras om. I så fall blir kameran endast ett komplement till befintliga rutiner.

Att ändra en vattendom är något Vattenfall AB vill undvika. Det vore ”olyckligt” för att citera Thord Lindström, specialist på skatte- och miljölagstiftning på Vattenfall. En ansökan om en omprövning av vattendomen öppnar inte bara målet för ägaren utan ger även möjlighet för externa parter att gå in och ställa nya krav. Om skäl föreligger och Vattenfall trots allt beslutar att öppna vattendomen är det enligt Lindström en process som tar cirka sex månader. Denna process kan delas in i fyra punkter.

1. En ansökan som uppfyller informationskravet ska utformas och lämnas i till Länsstyrelsen. När denna är inlämnad tar det ungefär åtta veckor innan domstolen tar sig an ärendet.
2. Domstolen granskar ärendet i cirka en månad och beslutar huruvida det föreligger några motsättningar i ärendet.
3. Domstolen kan om den så önskar begära syn, det vill säga granska systemet på plats. Detta tar cirka två veckor.

²⁰ Svensk Energi, *Vattenkraft*, (Stockholm, 2002), s. 11

²¹ Olsson, Oskar, *Deldom den 9 mars 196X angående [...]*, s. 35-36

4. Avslutningsvis ska domstolen komma med en dom, en process på ytterligare fyra veckor.

Totalt tar förloppet cirka 18 veckor, vilket enligt Lindströms personliga erfarenhet kan approximeras till ett halvår. Tidsramen baseras på att alla punkter förflyter friktionsfritt och att inga externa parter går in och ställer nya krav för om så är fallet kan processen dra ut avsevärt på tiden. För att Vattenfall ska vara beredda att begära omprövning av vattendomen mot bakgrunden att en gammal metod ska ersättas med en ny krävs att den nya metoden bevisligen är radikalt bättre och mer tillförlitlig än den gamla. Den nya metoden bör innebära en avsevärd besparing av tid, pengar och resurser för att en omprövning av vattendomen ska bli aktuell. Det finns dock situationer då det inte är säkert att vattendomen behöver omprövas. Om ägaren av vattenkraftverket i samråd med SMHI kan ta fram en ny lösning som är överlägset bättre än den gamla och denna förändring inte berör någon stor del av vattendomen kan Länsstyrelsen acceptera denna och betrakta den som en teknisk justering. Lindström poängterade dock att i detta fall där ärendet gäller att ersätta pegelskalorna med ett kameraövervakningssystem finns stora problem. Just mätningen av vattennivån är en av de kritiska detaljerna i vattendomen som är svåra att förändra. Noggrann och korrekt mätning är ett absolut krav för att få tillstånd att reglera sjön. För detta syfte är pegelskalan i sin enkelhet svårslagen. Chansen att få SMHI och Länsstyrelsen att acceptera en sådan förändring där pegelskalorna ersätts med ett tekniskt system bedömde Lindström var liten.²²

4.3 SMHIs krav

SMHI:s uppgift är att fungera som rådgivare till Länsstyrelsen. Detta tar sig i uttryck att SMHI kontrollerar att Vattenfall AB följer vattendomen. Varje beslut om förändring i arbetet som på något sätt rör vattendomen måste diskuteras med SMHI, det vill säga i förlängningen bli godkänt av länsstyrelsen.

Hans Forsberg, en av de inspektörer från SMHI som arbetar mot det undersökta vattenkraftverk, förklarade vid en telefonintervju att möjligheterna att ersätta pegelskalan med ett kameraövervakningssystem är ytterst små. Forsberg såg fundamentala problem med att införa ett kameraövervakningssystem som kontroll av ett befintligt tekniskt system. Vidare åberopade Forsberg vattendomen. Han visste vid intervjutillfället inte exakt hur domen var formulerad men var säker på att vattendomen inte kan tillåta en sådan lösning.²³

²² Avsnittet bygger på en telefonintervju med Thord Lindström, specialist på skatte- och miljölagstiftning på Vattenfall AB. Intervjun genomfördes 070119.

²³ Avsnittet bygger på en telefonintervju med Hans Forsberg på SMHI. Intervjun genomfördes 20061127.

5 Diskussion

5.1 En kamera i övervakningssyfte: en artefakt eller ett system?

I avsnittet om sociotekniska system beskrevs de två synerna på teknik som denna diskussion tar sitt avstamp i nämligen att se teknik som en artefakt eller som ett system. Frågan är om det är rimligt att anlägga en systemisk syn på en så liten detalj som en övervakningskamera som ska sättas upp i ett tillsynes isolerat vattenkraftverk i norra Sverige. Är det högtravande att behandla denna som ett system och inte en artefakt?

Vid arbetets start betraktades övervakningskameran som en artefakt. Fokus låg då på att montera en kamera i övervakningssyfte och utveckla en fungerande programapplikation. Arbetets syfte vara att förbättra denna artefakt. Under arbetets gång utvidgades perspektivet och kameran kom även att betraktas ur ett systemperspektiv. Den monterade kamerans kontext granskades och resultatet blev att projektet inte kunde genomföras på det sätt som det var tänkt från början. En slutsats av dessa resultat måste vara att det var högst rimligt att anlägga en systemisk syn, det visade sig till och med vara kritiskt. Utan det sociotekniska perspektivet hade projektet med stor sannolikhet fortskridit som det initialt var tänkt med konsekvensen att det vid vattenkraftverket ifråga hade implementerats ett otillåtet system.

Att utgå från ett sociotekniskt perspektiv visade sig i detta fall vara viktigt och med stor sannolikhet är detta resultat applicerbart på många utredningar kring teknisk utveckling.

5.2 Diskussion kring den tekniska lösningen

Den applikation som utvecklades under examensarbetet har en del bra och en del mindre bra egenskaper. I inledningsfasen av projektet var tanken att applikationen skulle vara en avancerad bildanalyslösning med automatisk kantdetektering. När de juridiska omständigheterna kartlades och insikten om att kameralösningen inte fick användas i praktiken lades fokus på andra aspekter av problemet än att utveckla en felfri applikation. Programmet har därför några uppenbara svagheter som diskuteras nedan.

5.2.1 Valet av referenspunkter som utgångspunkt

Tidigt under utvecklandet av programapplikationen insågs det att det är nödvändigt att utgå från minst en referenspunkt som anger ett värde i meter över havet. Med hjälp av endast en bild av dammen kan ingenting sägas om hur högt över havet vattnet i dammen befinner sig. Det finns naturligtvis ett antal olika alternativ på hur detta problem kan lösas. I programmet framtaget under examensarbetet löses det genom att manuellt skriva in i koden vilket pixelvärde i y-led i bilden som överensstämmer med verklig höjd över havet. Här finns det möjligheter att utnyttja mer avancerade bildanalytiska lösningar för att automatiskt detektera sökta attribut i dammväggen och tilldela dessa på förhand kända värden för meter över havet. Sådana tekniska finesser skulle vara värda att titta närmare på om det skulle bli aktuellt att faktiskt implementera ett kamerabaserat övervakningssystem.

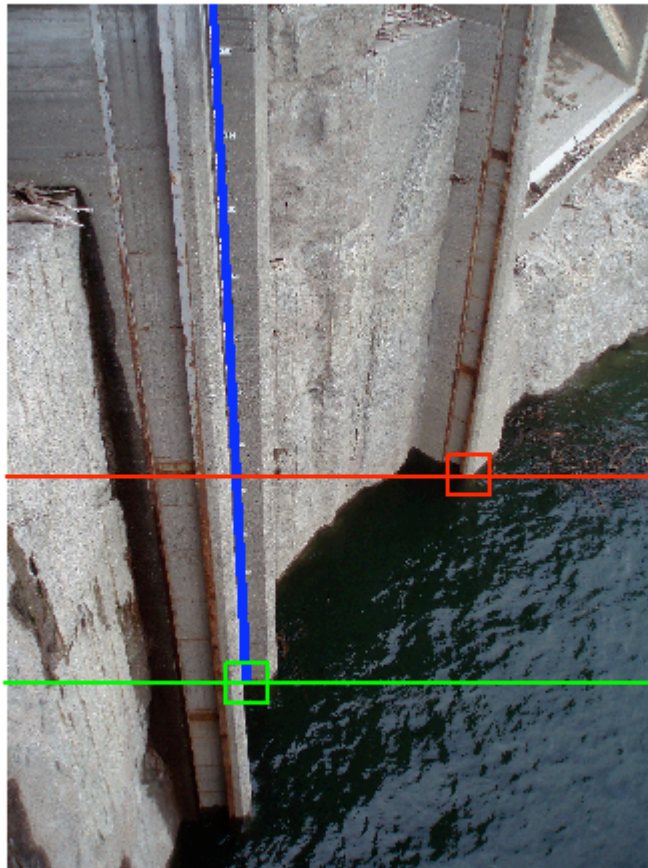
Demonstrationsprogrammet baseras på ett antal referenspunkter, hämtade från den befintliga dompegel på vattenmagasinets vägg. Då ett av målen med programmet var att visa attamerateknik skulle kunna ersätta pegelskalorna kan det verka märkligt att just den pegelskala som finns monterad på dammväggen användes som utgångspunkt för referenspunkterna. Att den existerande pegelskalan användes motiveras med att det var smidigt att under arbetets gång redan ha punkter med en fastslagen höjd över havet. I praktiken skulle referenspunkterna kunna bestå av andra fysiska attribut på dammväggen än en pegelskala. Till exempel skulle krönet på dammväggen kunna mätas in och användas som en referenspunkt. Andra attribut på dammväggen skulle också kunna identifieras och användas som referenspunkter. På så sätt skulle den framtagna applikationen kunna användas även utan förekomsten av en pegelskala. En sådan lösning skulle dock bli individuell för varje enskild installation. Tydlig dokumentation kring vilka attribut i dammens vägg som används som referenspunkt skulle krävas, då referenspunkterna bör kalibreras med bestämt intervall.

En konsekvens av att referenspunkterna skrivs in i koden är att dessa blir statiska. Det innebär att om kamerans läge ändras, vilket skulle kunna ske obemärkt på grund av externa faktorer såsom hård vind eller annat, kommer programmet att returnera ett felaktigt värde. Detta problem skulle kunna elimineras relativt enkelt. Ett sätt att lösa problemet skulle vara att validera programmet varje gång det exekveras. Till exempel skulle användaren kunna få trycka på en knapp som hette "Validera" och sedan klicka i bilden på de utvalda referenspunkterna. På så sätt skulle de kända värdena på meter över havet stämma överens med det aktuella pixelvärdet för varje referenspunkt varje gång programmet körs. Följaktligen skulle programmet vara korrigerat vid varje mätning. Eftersom programmet under arbetets gång endast konstruerades i demonstrationssyfte är detta en detalj som inte utvecklades.

5.2.2 Bildens djup

För att alla pixlar i bilden ska få ett värde på meter över havet tilldelat sig används interpolation eller regression. Så som modellen är uppbyggd får alla pixlar i varje rad samma värde på meter över havet tilldelat sig, då modellen endast tar hänsyn till position i y-led. Eftersom bilden är en tvådimensionell representation av tre dimensioner finns det ett djup i bilden som måste tas hänsyn till. I programmet kommer resultatet inte att stämma om användaren trycker på "fel" ställe i bilden. I demonstrationsapplikationen löses detta genom att operatören tydligt instrueras att klicka på den blå linje som markeras i bilden i linje med den befintliga pegelskalan. Denna lösning är en enkel lösning på ett avancerat problem. Vid en faktisk implementering av ett kameraövervakningssystem bör denna aspekt utredas ytterligare och en mer avancerad lösning bör vara på sin plats.

En sådan lösning skulle kunna vara att använda perspektivtransformation. Hur operationen för perspektivtransformation ser ut tas ej upp i detta examensarbete, det viktiga är att poängtera att det finns kraftiga matematiska modeller för att kompensera för det djup som går förlorat i bilden. Med perspektivtransformation skulle noggrannheten i programmet med stor sannolikhet kunna förbättras ytterligare. Vid användning av systemet i skarpt läge bör perspektivtransformation vara metod att titta närmare på.



Figur 16 – Bilden visar var i bilden användaren ska klicka. Ett klick längs nivåstrecket i den gröna rektangeln ger ett korrekt värde på vattenståndet, ett klick i den röda resulterar i ett felaktigt värde. Klicket måste alltså ske längs den blå linjen som är markerad i bilden.

5.2.3 Jämförelse mellan de fyra metoderna

Fyra varianter av kurvanpassning testades under utvecklingen av programmet och resultatet står att läsa i avsnitt 3.5.

Testet visade att kubisk spline gav det bästa resultatet. Styckvis linjär interpolation och MK-anpassning av andra ordningen gav ungefär likvärdiga resultat, MK-anpassning av första ordningen gav tveklöst sämst resultat.

Interpolationsmodellerna skiljer sig från regressionsmodellerna på ett fundamentalt sätt nämligen att de ovillkorligen går genom referenspunkterna. Detta garanterar att programmets returnerade värde kommer att stämma väl med det faktiska värdet i bilden i och i närheten av referenspunkterna. Detta faktum är både en styrka och en svaghet hos dessa modeller. Så länge referenspunkterna är korrekt inlästa är detta en bra egenskap hos modellen. Problem uppstår dock om en eller flera referenspunkter är felaktigt inlästa i programmet. En så kallad outlier, det vill säga en punkt som ligger utanför den förväntade positionen, får stora konsekvenser för interpolationsmodellerna.

Dessa modeller bör alltså betraktas som väldigt känsliga för störningar. I testet av modellerna kan det konstateras att av de två interpolationsmodellerna gav vid testningen kubisk splineapproximation det bästa resultatet. Enligt det utförda testet avviker modellen baserad på kubisk spline med endast två centimeter. Detta är ett fullt acceptabelt resultat då avläsningarna såsom de går till idag knappast kan ge ett mer exakt resultat. Även styckvis linjär interpolation gav ett rimligt resultat. Som mest avvek modellen fem centimeter från bilden. Med tanke på modellens enkla konstruktion är resultatet godkänt. Dock är fem centimeters avvikelse från bilden och verkligheten ett alltför inkorrekt resultat för att kunna användas i praktiken.

Minstakvadratanpassning av första ordningen förväntades ge ett bra resultat eftersom förhållandet mellan referenspunkterna borde vara linjära. Som synes i figur 9 verkar de inte förhålla sig linjärt till varandra. Vad detta beror på är inte fastställt. En trolig förklaring är att det beror på optiken i kameran. Eftersom bilden som testet utfördes med hjälp av är en ordinär kompakt digitalkamera, är denna antagligen utrustad med vidvinkelperspektiv. Detta gör i så fall att bilden inte blir en fullständigt korrekt representation av verkligheten. Även kameror utan vidvinkelperspektiv kan dock ha betydande avbildningsfel. Vid ett praktiskt användande av ett kameraövervakningssystem bör en kamera med bra lins väljas ut. Sedan bör kameran kalibreras och valideras. Ett sätt att göra detta skulle kunna vara att kalibrering sker i samband med exekvering såsom diskuterats i avsnitt 5.2.1. Med en bild från en kamera med bra lins skulle kanske minstakvadratanpassning av första ordningen givit ett bättre resultat.

När figur 9 studeras verkar minstakvadratanpassning av andra ordningen kunna vara en bra modell att använda. Testet visade också att MK-anpassning av andra ordningen gav ett relativt tillfredställande resultat. Dessutom är det en robust modell som inte är lika känslig för outliers som interpolationsmodellerna. Naturligtvis påverkar en felaktig referenspunkt resultatet med modellen negativt, men inte lika mycket som för till exempel kubisk splineinterpolation.

I figur 9 framgår tydligt att de två extrapolationerna skiljer sig åt. För pixelvärden > 2000 ger extrapolationen av den kubiska splinemodellen och extrapolationen av den styckvis linjära modellen olika resultat. Detta faktum framkommer inte på ett tydligt sätt i det test av modellerna som genomfördes. Utan vidare undersökning av fenomenet blir rekommendationen att iaktta försiktighet vid extrapolation. Att hitta referenspunkter så högt respektive lågt i bilden som möjligt är önskvärt. Generellt kan det konstateras att regressionsmodeller ger robustare extrapolationer än splinefunktioner.

5.3 Diskussion ur ett sociotekniskt perspektiv

En infallsvinkel under examensarbetet var att se kameraövervakningssystemet ur ett sociotekniskt perspektiv. Tanken var att ta ett steg tillbaka och även granska den kontext systemet skulle befinna sig i. En av dessa aspekter var att granska den juridiska situationen kring kameraövervakning i vattenkraftverk. Granskningen resulterade i en insikt som varken beställaren av examensarbetet eller examensarbetaren hade i projektets inledningsfas, nämligen att vattendomen *kräver* att pegelskalor ska finnas uppsatta. Projektets grundtanke, att ersätta pegelskalorna som ideligen går sönder med ett kameraövervakningssystem, kan därför inte realiseras. Vattendomen tillåter inte en sådan lösning. En del av syftet med projektet var att *montera, testa och utvärdera* ett kameraövervakningssystem att ersätta de trasiga pegelskalorna med. Denna del av syftet

kunde alltså inte uppfyllas på grund av juridiska omständigheter. Detta bör dock inte ses som ett misslyckande utan snarare ett väldigt viktigt resultat av examensarbetet.

5.3.1 Problematiken kring att öppna en vattendom

Det har tidigare i examensarbetet framgått att Vattenfall drar sig för att öppna vattendoms mål. Det finns som konstaterats förklaringar till detta. Att det förhåller sig på detta sätt förefaller olyckligt då oviljan att öppna gamla vattendomar leder till att potentialen i modern teknik inte kan utnyttjas till fullo inom företagets verksamhet. Ju äldre vattendomen är, desto inaktuellare är den med avseende på att hantera teknisk utveckling. Vattendomen berörande vattenmagasinet vid det studerade vattenkraftverket utfärdades 196X och det är föga förvånande att den inte hanterar moderna konceptet såsom kameraövervakning. För 40 år sedan var kameraövervakning av vattenståndet inte ett realistiskt alternativ och det är just det som är problemet. En slutsats av detta examensarbete måste vara att vattendomen över vattenkraftverket bör ses över. Detta problem går även att generalisera till fler vattenkraftverk inom Vattenfalls verksamhet; om inte vattendomarna ses över kommer de hindra utnyttjandet av ny teknik. Antagligen kommer det, för varje enskild vattendom, en punkt där domen är alltför primitiv och beslutet att se över den kommer att tas. När gapet mellan vad vattendomen tillåter och vad aktuell teknik kan tillföra blir så stort att Vattenfall AB uppenbart förlorar på att inte öppna upp domen, kommer med allra största sannolikhet målet att omprövas. Frågan är när denna punkt är nådd, vem som besitter kompetensen att avgöra när så är fallet och vem som tar beslutet att göra det. I väntan på att gapet ska bli tillräckligt stort blir arbetssätten vid vattenkraftverken alltmer omoderna och Vattenfall kan i vissa avseenden komma att framstå som en omodern organisation.

5.3.2 Att övervaka teknik med teknik

Såsom RIDAS föreslår sker övervakningen av vattenståndet i magasinet idag med hjälp av redundans. Den vanliga rutinen är att lehmkuhlpegeln övervakas med en pegelskala. Att byta ut pegelskalan mot ett kameraövervakningssystem som mer eller mindre automatiskt returnerar det aktuella värdet på vattenytans läge innebär en förskjutning till att gå från att övervaka teknik med ett manuellt system till att övervaka teknik med ett tekniskt system. Även om systemen är oberoende finns det vissa säkerhetsbrister med en sådan situation.

Så länge lehmkuhlpegeln och övervakningskameran visar samma resultat skulle ett övervakningssystem förenkla och effektivisera rutinerna vid kraftverket. Men om systemen visar olika värden blir det svårt att hitta felet. Hur ska det avgöras vilket tekniskt system som inte stämmer? I ett sådant läge skulle maskinisterna gå till nivåöret för att få fram ett korrekt värde att jämföra värdena från de tekniska systemen med. Då finns det en sannolikhet att nivåöret delvis har slammat igen såsom SMHI varnat för, vilket innebär att inte heller det visar det korrekta värdet på vattenståndet. I så fall uppstår en situation där tre olika övervakningssystem visar olika värden och det går inte med säkerhet att säga vilket av värdena som är det korrekta. Har pegelskalorna i detta läge monterats ned finns det inget snabbt sätt att få fram en säker siffra på hur högt vattnet står. Även om scenariot kan tyckas vara långsökt är det just sådana händelseförlopp som tas i beaktande vid eventuell diskussion med SMHI om en teknisk justering av vattendomen. Och det är just sådana scenarion som gör att Lindström var skeptisk till att SMHI någonsin kommer att godkänna en metod där pegelskalorna monteras ner. Lindströms skepsis bekräftades vid samtalen med SMHI. Att övervaka ett

tekniskt system med ett annat tekniskt system innebär en hög tilltro till teknik, en tilltro som SMHI inte verkar hysa i dagsläget.

En annan aspekt av att övervaka lehmkulpegeln med ett tekniskt system är att antalet timmar som behöver ägnas åt underhåll potentiellt kan komma att öka. Dompegeln kräver visserligen en del underhåll eftersom maskinisterna ideligen måste montera upp en ny men även ett kameraövervakningssystem skulle behöva en hel del tillsyn och underhåll. Övervakningssystemet bör kontrolleras och valideras med jämna intervall. Vid eventuellt fel på tekniken i systemet måste kanske externa parter kontaktas för reparation. Risken finns att underhållsarbetet ökar vid eventuell implementering av övervakningssystemet vilket är motsatt effekt mot det som önskas.

Både med det nuvarande sättet att avläsa vattennivån och med ett eventuellt kameraövervakningssystem kan fel uppstå på grund av den såkallade mänskliga faktorn. Människor gör helt enkelt misstag. De nuvarande övervakningsrutinerna är tack vare sin enkelhet relativt robusta vad gäller att hantera detta. Ett kamerabaserat övervakningssystem skulle eventuellt kunna resultera i en ökad felavläsningsfrekvens, inte för att programmet inte fungerar utan för att maskinisterna gör fel. Om till exempel en icke uppdaterad bild används blir resultatet fel. Att värja sig mot den mänskliga faktorn är svårt. Ett kamerabaserat övervakningssystem bjuder in till misstag.

5.3.3 Fördelar med ett kameraövervakningssystem

Att vattendomen förbjuder ersättande av pegelskalan med ett kameraövervakningssystem är ett faktum. Att ett kamerabaserat övervakningssystem även har negativa egenskaper som vid eventuell implementering bör tas hänsyn till har klarlagts. Det är dock viktigt att poängtera att ett sådant skulle medföra ett antal förbättringar kring säkerheten i allmänhet och för maskinisterna i synnerhet.

Såsom avläsningsrutinerna av pegelskalan ser ut idag skulle kvalitén på avläsningarna kunna förbättras. Maskinisten står på ett relativt stort avstånd från pegelskalan vid avläsningen vilket medför att noggrannheten blir lidande. Ett kameraövervakningssystem i form av det som konstruerats under examensarbetet skulle öka kvalitén i avläsningarna vilket måste ses som eftersträfvansvärt.

Ett kamerabaserat övervakningssystem skulle även öka tillgängligheten för både maskinisterna och driftcentralen. Den rondningpunkt som idag innebär att maskinisterna måste åka ett antal mil från kontoret till kraftverket för att läsa av pegelskalan skulle effektiviseras avsevärt om avläsningen kunde ske via en dator på kontoret. Driftcentralen skulle kunna ha fördel av en sådan lösning då de vid behov enkelt skulle kunna gå in och avläsa vattenståndet.

Vid det andra besöket i hos driftsingenjörerna hölls en presentation av examensarbetets resultat. Då hölls även en demonstration av programmet. Responsen från maskinisterna var positiv. De bekräftade att demonstrationsprogrammet gav högre kvalitét på avläsningen av pegelskalan än det sätt som det avläsningarna genomförs idag. De hade full förståelse för varför ett kameraövervakningssystem inte kan ersätta dompegeln. Men då de insåg den nytta ett sådant system skulle föra med sig uttryckte de en besvikelse över att en kamera inte kommer att monteras.

Med hjälp av kameratechnik skulle situationen vid det berörda vattenkraftverk antagligen kunna förbättras. Detta examensarbete var begränsat till att undersöka ett specifikt förslag på var en kamera skulle kunna ersätta de gamla rutinerna. Även om dompegeln inte får monteras ner skulle kanske andra versioner av kameralösningar kunna hjälpa maskinisterna. Det är upp till framtida examensarbetare att undersöka.

6 Slutsatser

Examensarbetet ledde fram till ett antal slutsatser. De viktigaste sammanfattas nedan.

- Vid införande av ny teknik i en organisation är det viktigt att även de sociotekniska aspekterna tas i beaktande.
- Att mäta vattenståndet i vattenmagasinet vid det undersökta vattenkraftverket med hjälp av ett kameraövervakningssystem istället för med pegelskalor är tekniskt sett fullt genomförbart. Ett sådant system skulle vara av stor hjälp för maskinisterna vid rondningen.
- Juridiska omständigheter tillåter inte att pegelskalorna ersätts med ett kameraövervakningssystem. För att få ersätta peglarna med ett kameraövervakningssystem behövs en ändring i vattendomen. Att öppna ett vattendomsmål är en lång och mödosam process som bör undvikas.
- Vattendomen är gammal och bör ses över. En förlegad vattendom sätter begränsningar för användandet av ny teknik.

7 Förslag på fortsatt arbete

Om Vattenfall AB skulle välja att gå vidare med de resultat som framkommit under examensarbetet finns det ett antal punkter som skulle behöva jobbas vidare med. I praktiken finns det i så fall två vägar att fortsätta arbetet: antingen inleds ett arbete med att se över vattendomen och försöka få till en ändring i den för att sedan fortsätta driva projektet såsom det ursprungligen var tänkt. Alternativt implementeras systemet trots att pegelskalorna inte kan monteras ned. Även om vattendomen inte tillåter att kameraövervakningssystemet ersätter pegelskalorna skulle det kunna fungera som ett komplement för driftspersonalen vid vattenkraftverket. Hursomhelst behövs det vidare arbete. Nedan presenteras några punkter som skulle vara aktuella att titta närmare på.

7.1 Gränssnittet

Ingen större fokus lades under arbetets gång ned på programmets gränssnitt. Om programmet skulle tas i bruk finns det ett antal punkter att jobba vidare på. Ett sätt att gå tillväga skulle vara att ta hjälp av Jakob Nielsens lista med tio generella principer för hur ett gränssnitt bör byggas upp.²⁴ Ett exempel på vad Nielsen förespråkar är förebygga uppkomsten av fel istället för att vänta på att fel ska uppstå för att sedan lösa dem. I demoprogrammet skulle detta till exempel kunna vara att användaren inte kan trycka på knappen "Resultat" förrän vattennivån har lästs in.

7.2 Stand alone-kod

Vid en praktisk tillämpning av programmet skulle det vara önskvärt att göra applikationen oberoende av MATLAB, det vill säga att konvertera koden till såkallad stand alone-kod. Som applikationen är uppbyggd idag behöver MATLAB finnas installerat på varje dator som ska kunna nyttja programmet. Att konvertera koden från MATLAB till en stand alone-applikation är praktiskt genomförbart med hjälp av en kompilerare. Dessutom vore det eftersträfvansvärt att utveckla applikationen till en webbaserad funktion så att maskinisterna via en webbläsare på distans kan gå in och läsa av vattendjupet.

7.3 Förfining av programmet

Att kameran måste sitta helt fix för att programmet ska returnera korrekt värde kan betraktas som ett problem. Hur svårt det är att garantera att kameran inte under några omständigheter kommer att ändra läge är i dagsläget inte utrett. Därför rekommenderas fortsatt arbete med denna fråga. Om det inte går att garantera att kamerans läge aldrig kommer att ändras skulle ett sätt att lösa problemet kunna vara att programmet valideras varje gång det exekveras såsom tidigare diskuterats. Vidare bör perspektivtransformation utredas och övervägas för att kompensera för det djup i bilden som går förlorat.

Vidare bör programmet testas med bild från en kamera som ej är utrustad med vidvinkelperspektiv. Att testa modellerna med en bild från en sådan kamera kan komma att ge andra resultat i frågan om vilken modell som är mest exakt.

²⁴ http://www.useit.com/papers/heuristic/heuristic_list.html

7.4 När är det dags att öppna en vattendom?

Förr eller senare kommer det en punkt då vattendomen är så pass förlegad att målet måste öppnas på nytt. Vattenfall AB bör fundera på hur rutiner kring detta skulle kunna se ut. Kanske skulle det vara av värde att skapa generella riktlinjer för hur bedömning av vattendoms aktualitet ska se ut.

7.5 Förbättra dagen situation

Kartläggningen av rutinerna kring vattennivåavläsningen visade att en förbättring av dagens situation vore önskvärd. Även utan en högteknologisk lösning borde situationen kunna förbättras. Går det att konstruera en mer hållbar pegelskala? Kan ett skydd av pegelskalan konstrueras och monteras runt den? Sådana frågor borde utredas i syfte att förbättra arbetet för maskinisterna.

Referenslista

Skrivna källor

- Berner, Boel, *Perpetuum Mobile?*, (Bjärnum, 1999)
- Blomkvist, Pär & Kaijser, Arne, *Den konstruerade världen*, (Stockholm, 1998)
- Eldén, Lars & Wittmeyer-Koch, Linde, *Numeriska beräkningar – analys och illustrationer med MATLAB*, (Lund, 2001), fjärde upplagan (1987)
- Gonzalez, C. Rafael, *Digital image processing 2nd ed.*, (New Jersey, 2001)
- Heath, T. Michael, *Scientific computing 2nd ed.*, (New York, 2002)
- Hussain, Zahid, *Digital image processing – practical applications of parallel processing techniques*, (Wiltshire, 1991), s. 4
- Kjölle, Arne, *Hydro Power in Norway*, (Trondheim, 2001)
- Moler, B. Cleve, *Numerical computing with Matlab*, (Philadelphia, 2004)
- Olsson, Oskar (på vattendomstolens vägnar), *Deldom den 9 mars 196X [...]*, (Luleå, 196X)
- Pärt-Enander, Eva & Sjöberg, Anders, *Användarhandledning för MATLAB 6*, (Uppsala, 2001)
- Råde, Lennart & Westergren, Bertil, *Mathematics Handbook for Science and Engineering*, (Lund, 2004)
- Statens vattenfallsverk, *Tekniska uppgifter [...]*, (196X)
- Svensk Energi, *RIDAS – Kraft företagets riktlinjer för dammsäkerhet*, (Stockholm, 2002)

Hemsidor

<http://www.energilexikon.nu>

<http://www.ne.se>

<http://www.vattenfall.se>

http://www.useit.com/papers/heuristic/heuristic_list.html

Muntliga källor

Hans Forsberg, kontrollingenjör på SMHI, 061127

Thord Lindström, specialist på skatte- och miljölagstiftning på Vattenfall AB, 070119

Maskinisterna vid det undersökta vattenkraftverket, 061108 & 070301

Bilaga 1: Användarhandledning för programmet

Förklaring av hur programmet används. Instruktionerna är även givna i programfönstret.

1. Identifiera vattennivån genom att zooma in.

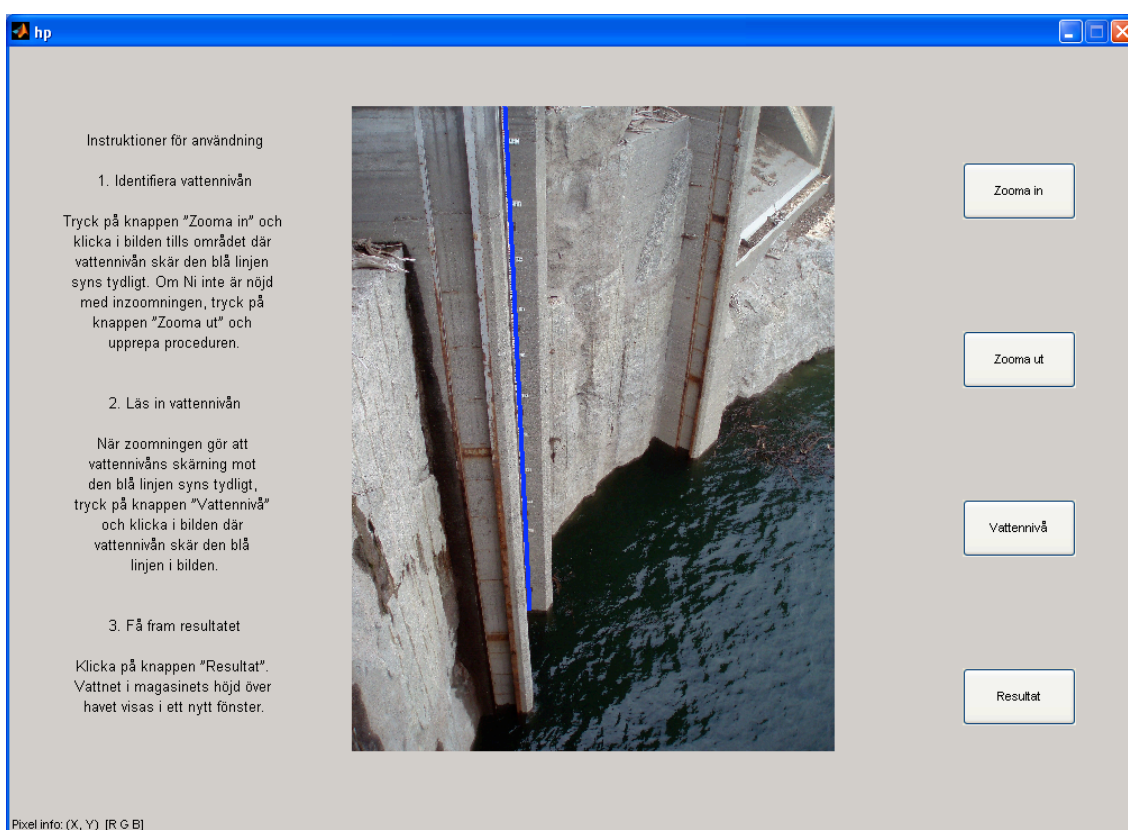
Tryck på knappen "Zooma in" och klicka i bilden tills området där vattennivån skär pegelskalan syns tydligt. Om Ni inte är nöjd med inzoomningen, tryck på knappen "Zooma ut" och upprepa proceduren.

2. Läs in vattennivån genom att klicka på den.

När zoomningen gör att vattennivåns skärning mot pegelskalan syns tydligt, tryck på knappen "Vattennivå" och klicka i bilden där vattennivån skär pegelskalan. Klicka i linje med pegelskalan.

3. Få fram resultatet.

Klicka på knappen "Resultat". Vattnet i magasinets höjd över havet visas i ett nytt fönster.



Bilaga 2: MATLAB-kod

```
% hp.m
% Applikationen är konstruerad i demonstrationssyfte och är
% avsedd att visa hur en teknisk lösning för att mäta
% vattennivån skulle kunna se ut.
% För att fungera behövs en bild av pegelskalan, pegell.jpg,
% filen hp.fig, vilket är en GUIDE-fil, samt filen
% loggo.bmp vilket är vattenfalls logotyp. Dessutom behövs
% Image Processing Toolbox, tilläggsmodul till MATLAB.
% All kommenterad kod är skriven av examensarbetaren. Den
% okommenterade koden autogenererades vid initieringen av
% GUIDE-programmet.

% Argument: varargin, det vill säga filnamnet på den bild som
% läses in. Till exempel 'pegell.jpg'.

% Upphovsman: Johannes Lärkner

% -----x-----

function varargout = hp(varargin)

gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',       mfilename, ...
                  'gui_Singleton',   gui_Singleton, ...
                  'gui_OpeningFcn', @hp_OpeningFcn, ...
                  'gui_OutputFcn',  @hp_OutputFcn, ...
                  'gui_LayoutFcn',   [] , ...
                  'gui_Callback',    []);

if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end

if nargout
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end

% -----x-----

function hp_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles, varargin)

handles.output = hObject;

guidata(hObject, handles);

% Läser in argumentet, det vill säga bilden, som en matris och
% visar bilden i fönstret.

hax = axes('Units','normalized');
a=imread(varargin{1});
h=imshow(a);
impixelinfo(h);

% -----x-----
```

```

function varargout = hp_OutputFcn(hObject, eventdata, handles)
varargout{1} = handles.output;

% -----x-----

function zoomin_Callback(hObject, eventdata, handles)

% Definierar vad som händer när knappen "Zooma in" trycks ner.
zoom on

% -----x-----

function zoomout_Callback(hObject, eventdata, handles)

% Definierar vad som händer när knappen "Zooma ut" trycks ner.
zoom out

% -----x-----

function vattenniv_Callback(hObject, eventdata, handles)

% Definierar vad som händer när knappen "Vattennivå" trycks
% ner. Hämtar pixelkoordinaterna för den pixel som klickas på
% och sparas i variabeln n. Läser in x- och y-värden i
% variabeln niv.
zoom off
waitforbuttonpress;
n=round(get(gca,'currentpoint'));
niv=n(1,1:2,1);
save niv niv;

% -----x-----

function resultat_Callback(hObject, eventdata, handles)

% Definierar vad som händer när knappen "Resultat" trycks
% ner. Hämtar variabeln niv och utför sedan den önskade
% interpolationen på de fördefinierade värdena.
load niv;

% Fördefinierade värden för pegell.jpg
t=[158;668;1088;1432;1725;1977];
p=[476;474;472;470;468;466];
x=1:1:2816;

% Här väljs vilken metod som ska användas. Vid körning av
% programmet måste de två metoder som ej önskas användas
% kommenteras bort. Detta måste ske manuellt.
y = interp1(t,p,x, 'linear', 'extrap'); % Styckvis linjär
y = interp1(t,p,x, 'spline', 'extrap'); % Kubisk spline
p1 = polyfit(t,p,1); y=polyval(p1,x); % Minstakvadratmetoden

% Läser av och avrundar vilket värde på meter över havet den
% inlästa pixeln har. Skriver ut resultatet i MATLAB-fönstret.
b=niv(1,2);
k=y(b);
hojd2=k*100;
hojd3=round(hojd2);
hojd4=hojd3/100;
disp(['Vattnet står ' num2str(hojd4) ' meter över havet.'])

```

```

% Läser in Vattenfall AB:s logotyp.
z=imread('loggo.bmp');
zz=double(z)/255;

% Returnerar ett dialogfönster med Vattenfalls logotyp som talar om
för användaren resultatet.
msgbox(['Vattnet står ' num2str(hojd4) ' meter över havet.'],
'Vattensnivå', 'custom',zz,colormap(colorcube(255)), 'modal')

```