

Naturlik tröskel i utloppet från Yxern



Författare: Matilda Jirblom, Anna Larsson, Christoffer Parrow Melhus, Elin Svedberg

Civilingenjörsprogrammet i miljö- och vattenteknik

SLU/UU

Uppsala 2018-05-23

Institutionen för mark och miljö/ Institutionen för geovetenskaper

Projektarbete i kursen Projekt Vattenresurser, MV0189

Sammanfattning

I denna rapport utreds anläggandet av ett fast naturligt fast utlopp i sjön Yxern i Kalmars län på uppdrag av Västerviks kommun. Sjön är idag starkt reglerad via en vattendom från 1938 och vattenståndet i sjön varierar med upp till tre meter. Kommunen önskar ersätta regleringsdammen med ett naturligt utlopp i form av en tröskel som kan hålla ett bestämt vattenstånd med en variation på under 0,5 m. Dessutom önskar kommunen och andra intressenter att tröskeln ej ska utgöra ett vandringshinder för fisk. I detta projekt har en modell i MATLAB skapats och använts. Modellen baseras på 20 års tillrinningsdata samt sambandet mellan sjöns volym och vattennivå. Utifrån givna formler för flöde i utloppet för olika geometriska former visar modellen sjöns högsta, lägsta och medelvattenstånd. En bästa design togs fram med avseende på vattenståndet och dess varians, antalet nollflödesdagar och utloppets utformning för fiskvandring. Därutöver har sundet vid Boön undersökts för att utreda om passagen fungerar som en flaskhals men inget resultat har kunnat fastställas. Skillnaden i vattenstånd mellan Toverum och reglerdammen har undersökts, där det kunde fastslås att peglarna är felplacerade i höjddled med en differens på 0,27 m respektive 0,34 m. Tröskelns längd beräknades för olika lutningarna på 1-5 % och visade att de skulle vara mellan 46-232 m lång. För det av Västerviks kommun önskade medelvattendjupet på 92,05 m ö.h. (RH 2000) kommer en del omkringliggande åkermark att tidvis under året vara blötlagd och svårbrukbar om hänsyn till dräneringsdjup på 1,2 m tas. Modellens tillförlitlighet beror mycket på givna data så som tillrinning och vattenståndsmätningar.

Abstract

This report covers the establishment of a nature-like outlet for the lake Yxern in Kalmar county on the request of Västervik municipality. The lake is today strongly regulated via a water court from 1938 and the water level in the lake varies with up to three metres. The municipality wishes to replace the regulation dam with a nature-like outlet in the form of a threshold able to maintain a fixed water level with a variation less than 0.5 m. Furthermore, the municipality and other stakeholders do not want the threshold to be an obstacle for migrating fish. In this project, a model in MATLAB was created and used. The model is based on 20 years of inflow data and the relation between the water level and the volume of the lake. From given formulas of the flow in outlets of different geometrical forms the model displays the highest, lowest and average water level in the lake. A best design was developed with consideration to the water level and its variance, the number of zero-flow days and the form of the outlet regarding migrating fish. Additionally, the strait at Boö has been examined in order to clarify whether it functions as a bottleneck or not, but no clear result could be established. The difference in water level between Toverum and the regulation dam has been examined and it could be concluded that the measurement bars are placed incorrectly in height with a difference of 0.27 m and 0.34 m respectively. The length of the threshold was calculated for different slopes of 1-5 % and showed that the length would be between 46-232 m. At the average water level 92.05 m as desired by Västervik Municipality, and considering that the drainage pipes are located 1.2 m below soil surface, some parts of the surrounding farmland will be flooded or facing insufficient drainage during parts of the year, making them difficult to utilize. The validity of the model is strongly dependent on given data such as inflow and water level measurements.

1. Inledning	1
2. Syfte	2
2.1 Frågeställning	2
2.2 Avgränsningar	2
3. Bakgrund	3
3.1 Vattendomar rörande tappningsnivåer i Yxern	3
3.2 Översvämningsrisk	4
3.3 Överfallsvärn	4
3.4 Tidigare implementering av trösklar	6
3.5 Fiskvandring	8
4. Data och metoder	9
4.1 Data över Yxern	9
4.2 Modellering av överfallsvärn	10
4.3 Tröskelns design	10
4.4 Frekvensanalys och statistiska tester	12
4.5 Längd på tröskel	12
4.6 Framtagandet av kartor för påverkad omgivande mark	12
5. Resultat	13
5.1 Inmätning av peglar	13
5.2 Sundet vid Boö	14
5.3 Resultatet från frekvensanalys och normalfördelning	15
5.4 Tröskelns design	15
5.5 Utvärdering av trösklar	16
5.6 Utvärdering vid förändrat tillrinningsdata	17
5.7 Tröskelns längd	19
5.8 Översvämningskarta	20
6. Diskussion	23
6.1 Frekvensanalys	23
6.2 Inmätningar och Boösundet	24
6.3 Tröskeln	24
6.4 Alternativ tröskelplacering	25
6.5 Översvämningsrisk	26
6.6 Modellens och indatas validitet	26
7. Slutsatser	27
8. Referenser	28
8. Bilagor	30
Bilaga 1. Tabeller för tappning enligt vattendomar från 1938 samt 2017.	30
Bilaga 2. Sambandet mellan vattenstånd och volym i höjdsystemet RH2000.	31
Bilaga 3. MATLAB-kod för modellering av tröskeln.	33
Bilaga 4. Fördelningskurvor över tillrinningsdata.	36
Bilaga 5. MATLAB-kod för frekvensanalys	37
Bilaga 6. Resultat i höjdsystemet RH00	38

1. Inledning

Reglering av sjöar och vattendrag går långt tillbaka i tiden. Historiskt har många sjöar sänkts för att skapa mer jordbruksmark och reglering av vattendrag har skett för att generera energi. De flesta svenska vattendrag är idag reglerade i någon form och uppskattningsvis sänktes över 2000 svenska sjöar mellan år 1880 - 1950. Sjöars olika användningsområden skapar ibland intressekonflikter då olika intressenter har olika agendor, vilket gör det svårt att enas om en optimal vattennivå (Nationalencyklopedin (a), u.å.).

År 2000 lanserade EU ett ramdirektiv för vatten som fyra år senare implementerades i den svenska miljöbalken. Syftet med vattendirektivet är att se till att europeiska vatten ska uppnå god kemisk och ekologisk status. En av delkomponenterna i detta är att se till att det finns konnektivitet, dvs möjlighet till vandring (Havs-och vattenmyndigheten, 2016). Även ett av Sveriges miljömål, levande sjöar och vattendrag, belyser vikten av denna fråga där det fastslås att sjöar och vattendrag ska ge möjlighet till livsmiljöer och spridningsvägar (Sveriges miljömål, u.å.). Regleringen av sjöar och vattendrag kan vara ett hinder för att uppnå dessa mål varpå åtgärder i form av utrivning av dammar eller utbyggnation av faunapassager bör vidtas (Havs-och vattenmyndigheten, 2016).

Sjön Yxern är belägen i Vimmerby kommun och Västerviks kommun i Kalmar län och är med en yta på 15 km² den största sjön i länet (Länsstyrelsen Jönköping, 2017 & Yxern.se, u.å.). Yxerns avrinningsområde består till största delen av skog och en mindre andel jordbruksmark (SMHI vattenwebb (a), u.å.). Yxern har en historia av ett fluktuerande vattenstånd som grundar sig i en reglering av utloppet som baseras på en vattendom från 1938. Fluktuationerna av vattennivån har sommartid medfört lågt vattenstånd med bl.a. igenväxt av strandbankar och faunadöd som följd. Vattenytans variation har även haft inverkan på människors rekreativitet då det påverkat bad- och fiskemöjligheterna i sjön (Sandsten et al, 2017).

Med bakgrund av detta har Västerviks kommun tagit initiativet till att skapa ett naturligt utlopp från Yxern utan reglering. Kommunens önskan är att skapa ett utflöde från sjön som håller vattenståndet på 91,8 m ö.h i det gamla höjdsystemet RH00 vilket motsvarar 92,05 m ö.h. i det nyare RH2000. Detta genom anläggandet av tröskel. En intressekonflikt i området är att jordbrukare vill undvika att deras jordbruksmark översvämmas samtidigt som nedströms vattenkraftsägare vill kunna fortsätta utvinna energi. Målet är att sjön ska hålla en jämn vattennivå, som ger ett jämnt utflöde från sjön till ån nedströms och samtidigt möjliggör för fiskar att vandra från Östersjön till Yxern.

2. Syfte

Syftet med denna studie är att ta fram en utformning på en naturlig tröskel till sjön Yxern som bibehåller sjönivån på 92,05 m ö.h. (RH2000), med minimala fluktuationer i sjönivån, samtidigt som ån direkt nedströms tröskeln ej torrläggs. Tröskeln ska möjliggöra fri passage för fiskars vandring.

2.1 Frågeställning

Utifrån syftet formulerades följande frågeställningar:

- Hur och var ska en naturlig tröskel konstrueras för att hålla en sjönivå på 92,05 m ö.h.?
- Hur påverkar extremvärden i inflödesdata vattennivån i sjön och omkringliggande jordbruksmark?
- Vad krävs för att tröskeln ska fungera som vandringsväg för fiskar till Yxern?
- Fungerar sundet vid Boön som en flaskhals för flöden i sjön Yxern?

2.2 Avgränsningar

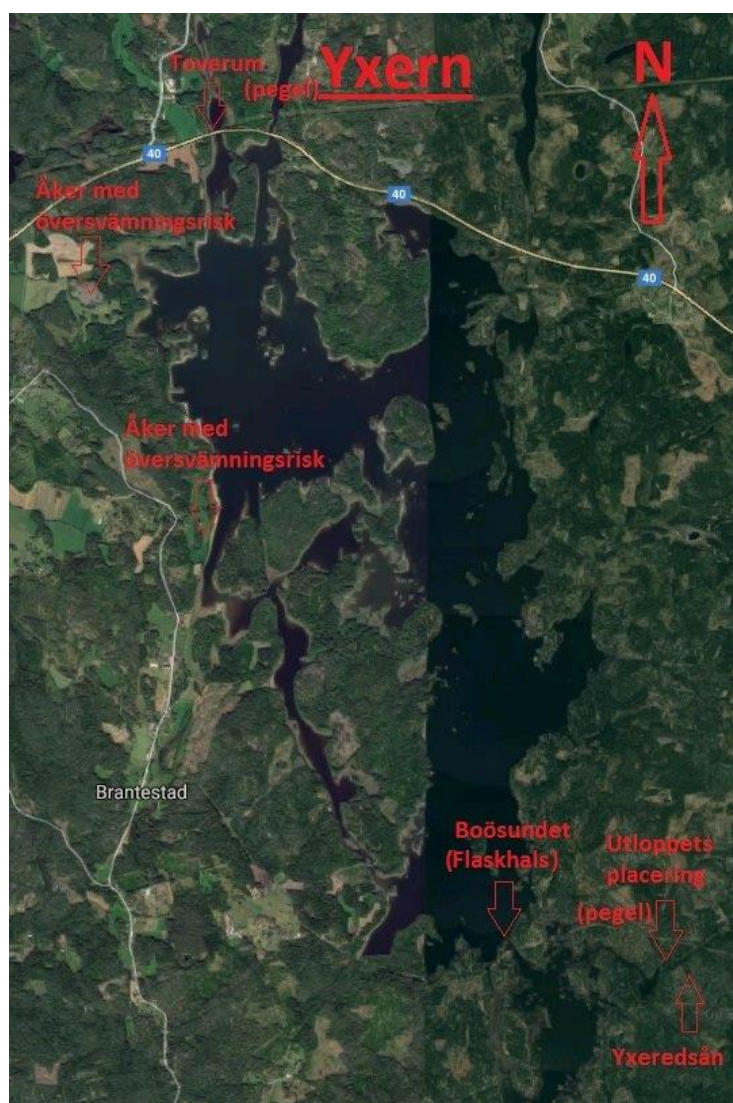
Detta projekt är avgränsat till att modellera ett utlopp av Yxern genom en naturlig tröskel. Det har ej beaktats hur nedströms vattendrag påverkas. Projektet har heller ej modellerat den flaskhals som förbinder den större delen av sjön med den nedre mindre sjön. Vidare har ej byggkostnader, materialval och byggkonstruktion beaktats. Framtida klimatscenarier har endast utvärderats utifrån en körning där givna tillrinningsdata konsekvent ökats med 10 %.

3. Bakgrund

I detta avsnitt presenteras bakgrundsinformation som har betydelse för studien. Det höjdsystem som används i projektet är RH2000. RH2000 är sedan 2005 Sveriges nationella höjdsystem. Det äldre höjdsystemet RH00, som refererar till höjder för år 1900, är det höjdsystem som tidigare har använts vid arbete med sjön och det som många intressenter runt Yxern är välbekanta med (Sandsten, 2017 och Lantmäteriet, u.å.).

3.1 Vattendomar rörande tappningsnivåer i Yxern

Sedan 1938 har Söderbygdens vattendomstols utslag i AD 32/1933 gällt för tappningen av sjön vilken tillåter en stark reglering av utflödet. 1947 byggdes kraftverksdammar i Yxeredsån och sjöns utlopp sprängdes ner från ca 92 m ö.h. till ca 89 m ö.h. (RH00), för översiktsbild se figur 1, och det var i och med detta regleringen av sjön började tillämpas i större utsträckning (Sandsten, 2017).



Figur 1: Översiktsbild över sjön Yxern.

Domen från 1938 var anpassad för att alltid förse vattenkraftverken med vatten och det har lett till att vattennivån i sjön vid vissa tillfällen blivit så låg att delar av sjöbotten torrlagts. Domen kräver att vatten tappas vid låga vattennivåer och att dammluckorna helt öppnas vid extremt låga vattenstånd (90,05 m ö.h.), se bilaga 1. Det gör att tömningen av sjön accelereras och vattennivån kan sjunka till en mycket låg nivå (Sandsten, 2017).

Denna problematik ledde till att en ny vattendom togs fram under år 2017. Domen överklagades till Mark- och Miljööverdomstolen som i mål nr M 10519-17 beslutade att inte ge prövningstillstånd. Därav vann domen från Mark- och Miljödomstolens beslut i Växjö tingsrätt, mål nr M 2860-17, laga kraft och gäller i tre år från utfärdandedatum till och med 2019. Domens bestämmelser anger en minskande tappningshastighet med lägre vattennivå i sjön. När vattennivån är under 90,8 m ö.h. ska tappningen enligt denna dom ligga på 0,4 m³/s, vilket skiljer sig avsevärt från den tidigare domens tappningshastighet vid lågvatten, se bilaga 1.

3.2 Översvämningsrisk

En förändring av sjöns vattenstånd gör att det finns en risk att jordbruksmark blötläggs. Blötläggningen är av vikt då det gör befintlig mark obrukbar vilket kan innebära problem för jordbrukarna i området, se figur 1. Åkrarna på området har dräneringsrör som ligger på 1,2 m djup under marken. Om dessa hamnar under vattenståndet så försämras dräneringen så att åkern försumpas och blir svårbrukbar¹.

Vid Boö finns ett smalt sund som delar upp sjön i två bassänger, en övre och en undre. Den smala passage som sundet utgör har väckt misstanke om att passagen möjligtvis fungerar som en flaskhals för vattenflödet i sjön¹.

3.3 Överfallsvärn

Överfallsvärn är en låg damm som byggs i ett vattendrag för att kontrollera ett flöde (Nationalencyklopedin (b), u.å.).

Vid anläggandet av ett överfallsvärn, vilket också kallas tröskel, finns det praktiska aspekter att ta hänsyn till. Dessa är exempelvis materialval, kostnader, framkomlighet till platsen och vilka störningar arbetet kommer att generera på flora och fauna. Vanliga störningar som kan uppkomma vid byggnation av en tröskel är buller och grumligt vatten. För att en tröskel ska anläggas brukar en kanal anläggas vilket i Yxerns fall redan finns på plats (Baban, 1995). Ett smalare sund ger ett minskat behov av fyllnadsmaterial².

Innan en tröskel ska anläggas är det viktigt att utföra markfysikaliska undersökningar för att kunna bygga en hållbar och stabil tröskel. Information om markens genomsläpplighet, hållfasthet, kompressabilitet, kohesion/friktionsvinkel, vikt och densitet är viktigt att utreda.

¹Möte på Västerviks kommun med Gun Lindberg, Dennis Wiström, Björn Holm och Markus Nord. 2018-04-25

²Andreasson, Johan. 2018. E-mail 3 maj. Fiskevårdssamordnare. Hudiksvall Kommun johan.andreasson@hudiksvall.se

En hydrologisk analys behöver också utföras för att utvärdera vilka flöden som förväntas rinna genom tröskeln. För att dimensioneringen av tröskeln ska kunna bestämmas kan en frekvensanalys av flödena genomföras. Det är värt att notera att de nämnda undersökningarna endast bör utföras om det bedöms att osäkerheten kring dessa faktorer leder till att en orimlig dyr säkerhetsmarginal måste tas hänsyn till inför byggnationen. Om undersökningen i sig är dyrare att utföra än att ta hänsyn till säkerhetsmarginalen bör en bedömning göras om dess relevans (Baban, 1995).

Det finns olika typer av design och former på överfallsvärn som resulterar i olika flöden. Vanligt förekommande former på överfallsvärn är rektangulär form, triangulär V-form och trapetsoid. Till varje form av överfallsvärn, se figur 5 i Metod, finns en ekvation som beskriver hur flödet beror på dess mått, vinkel och flödeskoefficient, se ekvation (1) - (3) (Clemmens et al, 2001).

Triangulärt överfallsvärn

$$Q = \frac{8}{15} * \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right) * \mu * h^{2,5} * \sqrt{2 * g} \quad (1)$$

Rektangulärt överfallsvärn

$$Q = \frac{2}{3} * b * \mu * h^{1,5} * \sqrt{2 * g} \quad (2)$$

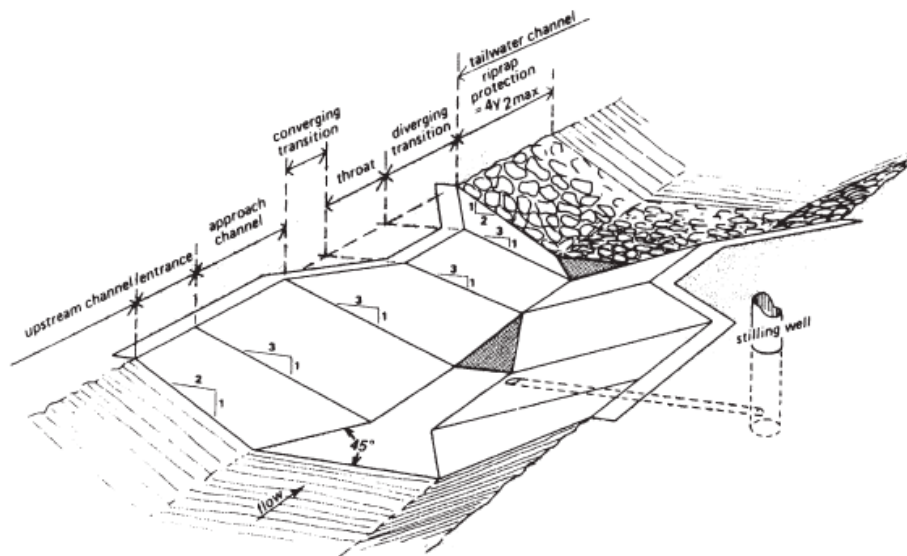
Trapetsoidalt överfallsvärn

$$Q = \left(\frac{2}{3} * b * \mu * h^{1,5} * \sqrt{2 * g}\right) + \left(\frac{8}{15} * \tan(\alpha) * \mu * h^{2,5} * \sqrt{2 * g}\right) \quad (3)$$

Q beskriver flödet över överfallsvärnet (m^3/s). I ekvation (1) är α triangelns vinkel, μ en flödeskoefficient som beror av friktionen från kanalens väggar, vattnets hastighetsprofil samt förändringar i tryckdistributionen (Clemmens, et. al, 2001). Vidare är h vattenhöjden (m) från överfallets lägsta nivå till vattenytan och g tyngdaccelerationen (m/s^2). För ekvation (2) och (3) beskriver b rektangelns bredd i meter. En trapetsoid kan beskrivas som en rektangel (mitten) och två trianglar (en på vardera sidan om rektangeln). Därför beskriver ekvation (3) summan av ekvation (1) och (2) med dubbel vinkel α .

Vid implementerandet av en tröskel designas botten i olika sektioner för att kunna kontrollera flödet till en önskad nivå. De sektioner som en tröskel brukar bestå av är en inloppssektion, konvergerande, kontrollsektion och expanderande sektion, se figur 2. En inloppssektion är viktig att ha för att skapa ett uniformt och symmetriskt flöde så att en stabil vattennivå skapas in till överfallsvärnet. Den kan skapas av betong eller av naturligt material och anläggs i början av ett överfallsvärn. Konvergerande sektionen sammankopplar inloppssektionen och kontrollsektionen. I konvergerande sektionen övergår flödet i subkritiskt flöde och accelereras mjukt så att ingen diskontinuitet uppkommer. Lutningen i den konvergerande sektionen ska helst ligga mellan 2,5:1 till 4,5:1. Kontrollsektionen är ofta placerad efter två tredjedelar av tröskelkonstruktionen. Detta är delen där det kritiska djupet uppstår och det är här som utflödet kontrolleras genom formen på tröskeln.

När ett överfallsvärn ska designas är det först kontroll sektionen som ska bestämmas för att se att vattennivån i överliggande vattendrag är stabilt och för att uppnå önskvärt flöde. Därefter kan längden på konvergerande- och inloppssektionen bestämmas. Beroende på längderna av sektionerna uppkommer olika mycket förlust av energi, så kallad head loss (Clemmens et al, 2001).



Figur 2. Schematisk skiss över ett överfallsvärn. Den består bland annat av en inloppssektion (approach section), konvergerande sektion (converging transition), kontrollsektion (throat) och en utloppssektion (diverging section) (Clemmens, 2001).

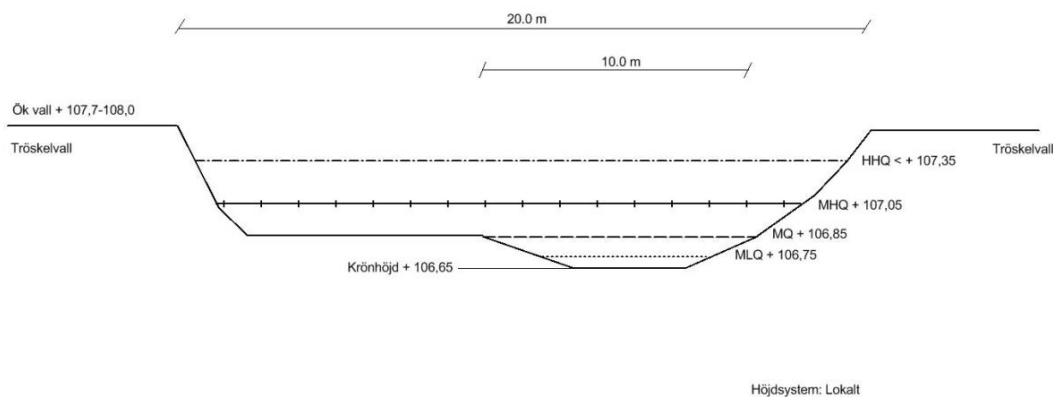
3.4 Tidigare implementering av trösklar

Utbyggnad av vattenkraft under 1900-talet har gjort att många naturliga vattendrag har dämats upp, vilket resulterat i diskontinuerliga vandringsvägar för fisk på många håll i landet. Överfallsvärn kan användas för att behålla sjöars vattennivåer och på så sätt restaurera naturvärden i reglerade vattendrag och skapa vattendrag där fisk kan vandra och leka fritt.

Hudiksvall och Nordanstig är exempel på kommuner som har implementerat två naturliga trösklar, en i Nianån och en i Andersfors, för att skapa kontinuerliga vattendrag från Bottenhavet till sjöar inom kommunen (Hudiksvall Kommun, u.å & Nordanstigs Kommun, u.å). Nianån är belägen i Hudiksvalls kommun och Under 2017 anlades en naturlig tröskel för att behålla vattennivån i Niansjöarna och samtidigt skapa en fri vandringsväg för fisk, se figur 3. Den tidigare reglerdammen vid Niansjöns utlopp har rivits och sjötröskeln anlades 50-70 m upp i Niansjön. Lutningen av tröskeln designades till 2-3 %. Krönhöjden anlades till 106,65 m ö.h. och tröskellängden på 80 m anpassades så att sjönivån inte överskrider 107,35 m ö.h.³.

³Andreasson, Johan. 2018. E-mail 14 maj. Fiskevårdssamordnare. Hudiksvall Kommun johan.andreasson@hudiksvall.se

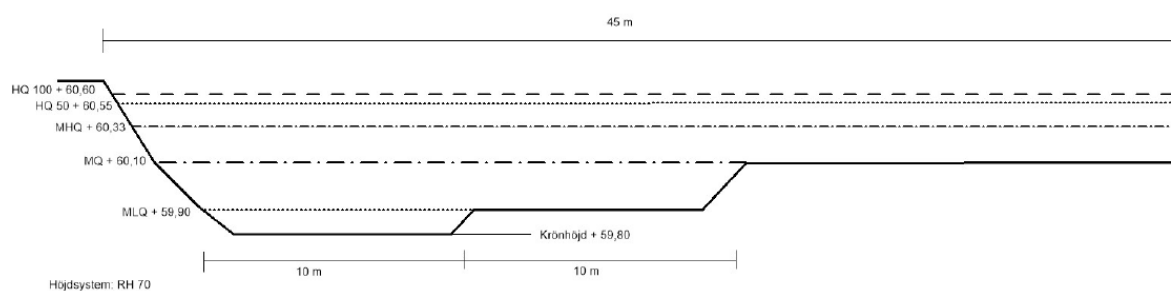
Vattennivån anpassades till den vattennivå som fanns innan reglerdammen byggdes 1916 (Hudiksvall Kommun, u.å). Tröskeln är byggd med tät kärna av byggkross i storleken 0-16 mm eller 0-32 mm och är klädd i natursten i form av sand upp till storleken av 500 mm ⁴.



Figur 3. Principskiss av tröskeln som byggts i Nianån (Hudiksvalls Kommun, u.å.).

I Andersforsen, Nordanstigs kommun, fanns en regleringsdamm som revs då den utgjorde ett vandringshinder för fisk, istället anlades en naturlig tröskel för att bibehålla vattennivån i ovanliggande, se figur 4. Tröskeln anlades 120 meter upp i sjön för att inte avsänka nivån i sjön. Den byggdes 45 m lång och designades med en lutning på 2–3 % med en lågvattenfåra. Byggmaterialet som användes bestod av tätande fyllnadsmassor av block, morän och bergskross. Tröskeln kläddes sedan i natursten (Nordanstigs Kommun, u.å).

Principskiss, sektionsritning över sjötröskel Ängbodtjärnen Andersfors



Figur 4. Principskiss av en tröskel som byggts i Andersfors (Nordanstigs kommun, u.å.).

⁴Andreasson, Johan. 2018. E-mail 3 maj. Fiskevårdssamordnare. Hudiksvall Kommun johan.andreasson@hudiksvall.se

3.5 Fiskvandring

En av förhoppningarna från Västerviks kommuns sida är att Yxeredsån så småningom ska fungera som faunapassage från Östersjön upp till sjön Yxern. I dagsläget är en sådan passage inte möjlig då ett antal dammar längs vägen förhindrar detta (SMHI vattenwebb (b), u.å.) För att det i framtiden ska vara möjligt med fri passage är det dock viktigt att utformningen av tröskeln görs på ett sätt som möjliggör fiskvandring. Tillväxt, reproduktion och refuger brukar sägas vara orsaken till vandring hos fiskar. Även om drivkrafterna bakom vandringen är desamma, varierar längden och riktningen på vandringen mellan olika fiskarter (Havs och vattenmyndigheten, 2013). Vid provfiskning i Yxern år 2011 har tolv olika fiskarter noterats där abborre, mört och braxen var de största populationerna sett till artantal. Ett antal individer av de svagsimmade fiskarna lake och gers observerades också (NORS, 2011).

Braxen och mört tillhör karpfiskar och det är noterat att populationen, eller delar av den, vandrar under vårens lekperiod. Braxen har dock noterats vandra även på andra delar av året. Det har också registrerats att mört har vandrat både uppströms och nedströms för övervintring (Havs och vattenmyndigheten, 2013). Abborren lever främst i sjöar men vandrar ibland uppströms till lugnflytande tillflöden under lekperioden. Östersjölevande abborrar vandrar ibland uppströms för övervintring. Även lake är främst en sjölevande fisk och under våren har vandringar uppströms noterats. Östersjölake vandrar vintertid uppströms för lek (Havs och vattenmyndigheten, 2013).

Olika fiskarter har olika förmåga att ta sig förbi vandringshinder vilket hänger ihop med varierande sim- och hoppförmåga. Arter med dålig simförmåga är exempelvis bottenlevande arter som lake och gers. Abborre och mört är något bättre simmare och klarar hastigheter upp mot 0,5 m/s innan de förs bort i vattenströmmen, medan starksimmande fiskar som lax, öring, harr och röding klarar högre vattenhastigheter (Degerman, 2008 & NORS, 2011). De vattenhastigheter som fiskarna aktivt kan vandra emot är därför av intresse för att kunna avgöra om passering är möjlig eller inte. Vattenhastigheten och längden på fiskvägen har stor betydelse; om fiskvägen är 100 m lång och ska fungera för alla typer av arter och olika stadier bör vattenhastigheten inte överstiga 0,2 m/s (Degerman, 2008).

Lutningen på sträckan fisken ska vandra har också betydelse och även här skiljer sig kapaciteten för olika fiskar. Vid byggnation av omlöp har det konstaterats att starkare simmare klarar lutningar på 3-9 % om det finns områden längs vägen med strömlä. Om alla typer av fiskar ska klara av vandringen brukar generellt 2 % lutning anges som riktlinje för sträckor upp till 50 m, medan riktvärdet för längre sträckor är 1,5 % (Degerman, 2008).

4. Data och metoder

I detta avsnitt behandlas de metoder och data som använts i projektet. De data som använts är volymberäkning av sjön, tillrinning och vattenstånd. Däröver har dataserier med extremvärden för flödet skapats. Vidare har en modell i MATLAB skapats för att modellera flöden genom en tröskel och en frekvensanalys har gjorts för att få fram ett 40-års flöde. Sist har placering och längd av tröskeln tagits fram samt påverkan på omgivande mark.

4.1 Data över Yxern

I tidigare studie genomförd av konsultföretaget Calluna AB har data tagits fram som beskriver samband mellan Yxerns volym, area och vattenstånd. Upplösningen på dessa data är med 0,1 m mellanrum på vattenståndet i sjön från 90-94 m ö.h. i höjdsystemet RH2000 (Sandsten et al, 2017). Baserat på dessa data togs ett linjärt samband mellan vattenstånd och vattenvolym fram, se ekvation (4) samt bilaga 2, vilken uppvisar en bra anpassning (ett R^2 -värde på 0,995). Detta samband användes i modelleringen av tröskeln för att beräkna vattennivå vid varje specifikt flöde.

$$y = 8 * 10^{-8} * x + 86,63 \quad (4)$$

I ekvation (4) är y vattennivån i sjön (m ö.h.) och x är vattenvolymen i sjön (m^3). SMHI har beräknat tillrinning till sjön på uppdrag av Calluna AB. Denna data är beräknad utifrån dygnsvärden för tappning och vattenstånd för perioden 1997–2016. Avdunstning är beaktad vilket resulterar i att all tillrinning som kommer in i modellen försvinner genom utflödet, dvs tröskeln (Sandsten et al, 2017).

Vattenståndet i Yxern är uppmätt vid en autopegel vid reglerdammen. Vattenståndet vid Toverum är beräknad genom att addera två centimeter till vattenståndet vid reglerdammarna.⁵ Det finns misstankar att skillnaden mellan vattenståndet mellan Toverum och reglerdammen inte alltid är konstant.

För att kunna modellera tröskeln vid höga och låga flöden under längre perioder har dataserier för maximal tillrinning och minimal tillrinning skapats. Den tillrinningsdata som fanns tillgänglig manipulerades därför för att få till extremare värden. I existerande data lades tre extremhändelser in, i form av en femdagarsperiod med tillrinning $50 m^3/s$, dag 1427 - 1431, och en tiodagarsperiod med tillrinning $20,83 m^3/s$ under dag 2374 - 2384. En 100-dagarsperiod med tillrinning på $-0,7 m^3/s$ under dag 4172 - 4272 skapades också för att modellera en period med endast torka och avdunstning. Utöver detta skapades också ett dataset där originaldata multiplicerades med 1,1, dvs alla värden ökades med 10 % i storlek. Detta för att simulera en större tillrinning och avdunstning orsakad av ett blötare och varmare klimat, vilket förutspås i Sverige (SMHI, u.å.).

⁵Ola Palmquist. E-mail 17-05-2018. Tekniska verken Linköping. Ola.Palmquist@tekniskaverken.se

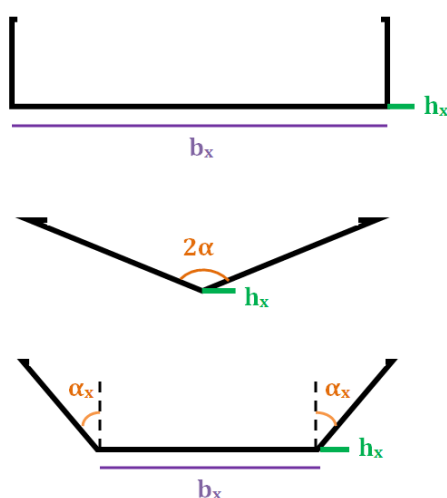
4.2 Modellering av överfallsvärn

För att modellera tröskeln, dess utflöde och sjöns vattennivå användes MATLAB. En konceptuell bild över modellen kan ses i figur 6. Ett kriterie för dimensioneringen av tröskeln var att utflödet bör variera med vattenståndet i sjön för att hålla vattennivån på en så jämn nivå som möjligt. Tröskeln dimensionerades för att ge minskade utflöden vid vattenstånd under 92,05 m ö.h., i höjdsystemet RH2000, och ökade flöden vid vattenstånd däröver.

Utflödet från överfallsvärn kan, utifrån dess dimensioner och rådande vattenstånd, beskrivas med formler, se ekvation (1) – (3) i avsnitt 3.2. Med ett initialvärde på vattenståndet i sjön använder modellen dessa formler för att beräkna utflödet. Förändring i sjöns volym beräknas av modellen genom att subtrahera utflödet från tillrinningen. Slutligen används sambandet i ekvation (4) för att översätta volymförändring till förändring i vattenstånd. Modellen kan sedan itereras och ta fram utflödet för nästa dygn med det nya vattenståndet, se figur 6. På så sätt erhålls data över hur utflödet och sjöns vattenstånd varierar på dygnsbasis över de 20 år som tillrinningsdata är beräknat för. Om det genomsnittliga vattenstånd som erhålls i sjön inte är tillfredsställande kan utformningen på tröskeln ändras tills önskat värde erhålls, se fullständig kod i bilaga 3.

4.3 Tröskelns design

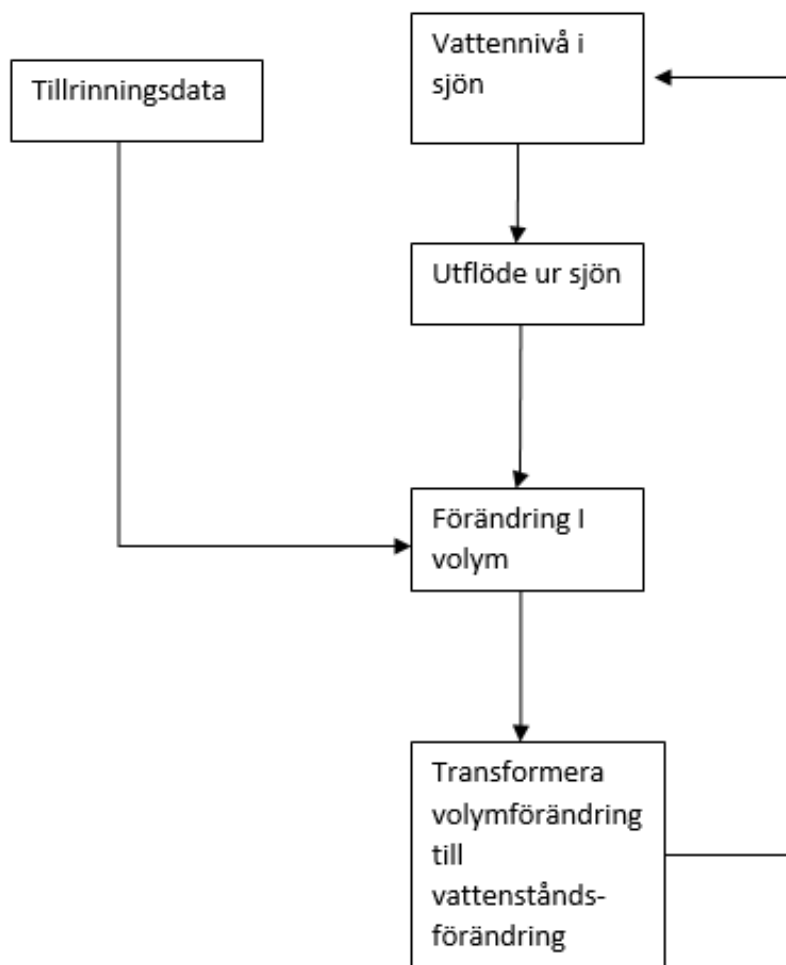
I MATLAB-modellen har ett flertal olika designer testats genom att variera höjden på den högsta respektive lägsta delen av överfallsvärnet, lutningen på sidorna och olika geometriska former. De geometriska former som utgått från är rektangel, triangel och en trapetsoid. Dessa har sedan kombinerats på olika sätt för att hitta en optimal utformning på tröskeln, se figur 5. Samtliga utformningar av trösklarna bestod av en rektangulär del högst upp, för att släppa ut så stort flöde som möjligt vid högflöden. Bottenbredden i varje geometrisk figur benämns b_x , där x indikerar eventuell inbördes placering av de kombinerade geometriska figurerna. Variabeln h_x beskriver den geometriska formens lägsta nivå. I en tröskel som kombinerats av en rektangel ovanför en triangel namnges rektangelns botten med h_1 och triangelns botten med h_2 . Om en till geometrisk form adderas blir dess bottennivå således h_3 . Formen triangel eller yttersidorna av en trapetsoid beskrivs med lutningsvinkeln α_x där x , precis som för bottennivån, indikerar ordningen på de geometriska former tröskeln består av. Vinkeln är räknad mot en lodrät normal, vilket innebär att 90° lutning motsvarar ett horisontellt plan.



Figur 5. Geometriska former som har kombinerats i modelleringen för att ta fram ett förslag på tröskeldesign.

Vid utprovningen av den optimala tröskeln studerades genomsnittligt vattenstånd, högsta vattenstånd, minsta vattenstånd och medelflöde över 20-årsperioden av indata. Även minimi- och maximiflöde togs fram av modellen. I utvärderingen av tröskeldesignerna beaktas också antalet nollflödesdagar. De är definierade som antalet dagar under körningens 20 år då utflödet från tröskeln är mindre än $1 \text{ dm}^3/\text{s}$ (1 L/s). Exempelvis innebär 100 nollflödesdagar att utav de 20 åren (7304 dagar) är flödet mindre än $1 \text{ dm}^3/\text{s}$ under sammanlagt 100 dagar. Varför gränsen $1 \text{ dm}^3/\text{s}$ valdes tas upp vidare i 6.3 Diskussion.

Modellen tog i varje körning fram IQR (inter-quartile-range) för vattenståndet, vilket visade inom vilket intervall 50 % av all vattenståndsdata ligger. Vidare tog modellen även fram s.k. Range, vilket är det intervall all utdata ligger inom. Även värdet på högsta respektive lägsta vattenstånd togs fram.



Figur 6. Schematisk bild över MATLAB-kodens funktion.

4.4 Frekvensanalys och statistiska tester

En frekvensanalys har i detta projekt använts för beräkning av ett högsta flöde. Ett 40-årsflöde har beräknats utifrån tillringsdata över 20 år ($n=7304$ dagar), vilket är möjligt då en frekvensanalys är statistiskt säkerställd upp till dubbla tiden av data (SMHI, 2018). För naturliga flöden är Log-Normal och Generella extremvärdesmetoden mest lämpliga. Av tre möjliga metoder i Generella Extremvärdesmetoden användes Gumbelmetoden i detta projekt.

Både Log-Normal metoden och Generella extremvärdesmetoden (här Gumbel) bygger på medelvärde och standardavvikelsen av det maximala flödet varje år. För Log-Normal metoden logaritmeras data innan medelvärde och standardavvikelse beräknades. Sannolikheten för ett 40-årsregn, beräknades med ekvation (5). Utifrån detta värde avlästes sedan K_T ur en normalfördelningstabell. Därefter användes ekvation (6) för beräkning av 40-årsflödet.

$$P = 1 - \frac{1}{T} = 1 - \frac{1}{40} = 0,975 \quad (5)$$

$$Q_T = \bar{Q} + K_T * S_Q \quad (6)$$

där P är sannolikheten, T är återkomsttiden, Q_T är flöde samt S_Q är standardavvikelsen

För Gumbel metoden togs K_T fram genom ekvation (7) och därefter användes ekvation (6).

$$K_T = -\frac{\sqrt{6}}{\pi} * 0,5772 + \log \left(\log \left(\frac{T}{T-1} \right) \right) \quad (7)$$

För att kontrollera om datasetet var normalfördelat eller ej genomfördes Shapiro-Wilk test och Anderson-Darling test i mjukvaran R-studio. Två olika tester användes då antalet värden ($n=7304$) var för stor för att Shapiro-Wilk skulle fungera, vilket innebär att Shapiro-Wilk endast genomfördes på de 5000 första värdena medan Anderson-Darling utfördes på hela datasetet. Normalfördelningstesterna utfördes på dataserien i logaritmerade respektive icke-logaritmerad form.

4.5 Längd på tröskel

Längden på tröskeln beräknades för lutningarna 1, 1,5, 2, 3, 4 och 5 % vilket grundar sig i rekommendationer gällande fiskvandring. Längden på tröskeln bestämdes genom att dividera höjdskillnaden mellan tröskelns och kanalens botten med respektive lutning.

ArcGIS har sedan använts för att illustrera längden av tröskeln på ett ortofoto.

4.6 Framtagandet av kartor för påverkad omgivande mark

I detta projekt har en digital höjdmodell (DEM) från lantmäteriet använts i ArcGIS för att se hur vattennivån i Yxern påverkar omgivningen. Genom att jämföra de högsta vattennivåerna från tröskelmodelleringen med ett ortofoto över Yxern har översvämningsrisken på omgivande åkermark utvärderats.

För lägsta-, högsta- och medelvattenstånd, samt vattenstånd från extremvärdesmodelleringar, har ytterligare kartor tagits fram där 1,2 m adderats på rådande vattennivå. Detta gjordes för att illustrera den del av marken som blir påverkad pga. otillräcklig dränering. Åkrarnas dräneringsrör ligger 1,2 m under markytan, vilket innebär att dräneringen blir otillräcklig vid 1,2 m lägre vattenstånd än vid översvämning av åkern.

5. Resultat

I detta avsnitt redovisas resultatet av inmätningar av peglarna och inmätningar av sundet vid Boö. Utöver det redovisas för vilken design av tröskel som är önskvärd och hur dessa utformningar kommer påverka vattennivån i Yxern och omkringliggande områden, samt hur utformningarna på tröskeln svarade på konstruerade extremflöden.

5.1 Inmätning av pegrar

En kontrollinmätning av pegrar och vattennivån, manuellt och med GPS, vid Toverum och regleringsdammen resulterade i värdena som presenteras i tabell 1⁶.

Tabell 1. Inmätningar av vattenstånd och pegrar i höjdsystemet RH2000 med hjälp av GPS, vid Toverum och regleringsdammen. Avläsning av pegrar är gjord manuellt. Enhet för inmätningarna i tabellen är m ö.h.

	Pegel		Vattenyta		Botten	
	<i>Inmätning RH2000</i>	<i>Manuell avläsning pegelskala</i>	<i>Inmätning RH2000</i>	<i>Manuell avläsning pegelskala</i>	<i>Inmätning RH2000</i>	<i>Manuell avläsning pegelskala</i>
Toverum	92,77	92,50	92,73	92,46	-	-
Ovan damm	93,34	93,00	92,80	92,46	89,30	88,96
Nedan damm	91,34	91,00	90,54	90,20	-	-

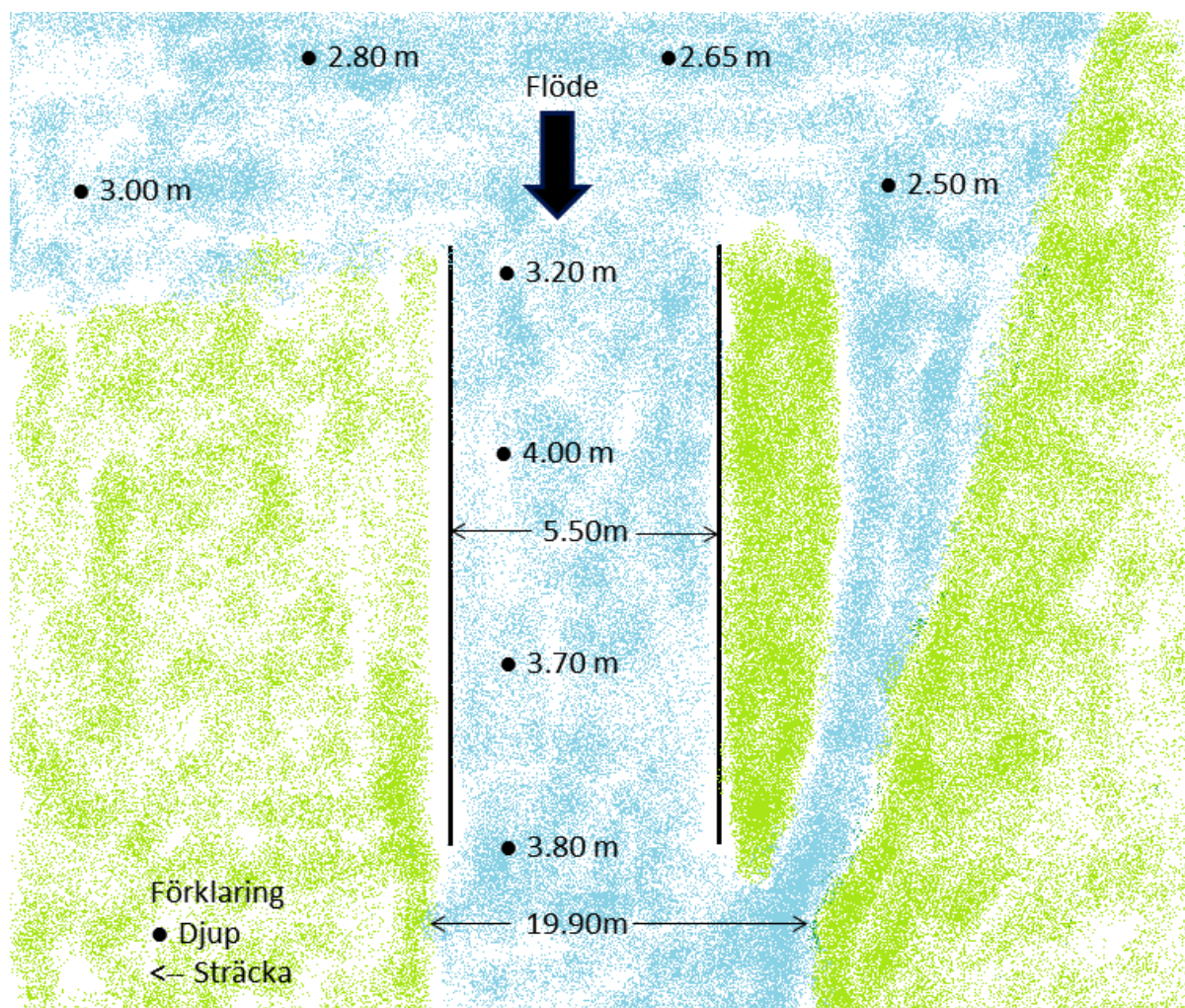
Differensen mellan inmätningarna vid RH2000 och vad peglarna visar är 0,27 m vid Toverum respektive 0,34 m vid mätpunkterna runt regleringsdammen. Detta innebär att dessa differenser bör adderas till pegelavmätningarna för att erhålla de faktiska vattenstånden vid respektive mätplats.

Skillnaden mellan vattenståndet i Toverum och vid regleringsdammen visade sig vid mätningarna vara 0,07 m, och inte 0,02 m som Tekniska verken angett att de använt sig av i sina beräkningar av vattenstånd.

⁶Mätning utförd 2018-05-04 Torbjörn Karlsson, mätingenjör Västerviks Kommun.

5.2 Sundet vid Boö

Vid en inmätning av sundet vid Boö uppmättes djup och avstånd på ett antal punkter⁷, se figur 7. Illustrationen ska dock endast ses som en skiss då inga inbördes avstånd eller GPS-koordinater uppmättes. Vattenståndet vid Toverum samt reglerdammen noterades inte vid detta tillfälle, men vid en avläsning dagen innan, 4 maj 2018, uppmättes vattenståndet till 92,73 respektive 92,80 m ö.h.



Figur 7. En skiss över Boösundet med djup och sträckor. Inga GPS-koordinater är utmätta varav denna ritning ska betraktas som en skiss. Dagen innan, 2018-05-04, uppmättes vattendjupet till 92,73 m ö.h. vid reglerdammen och 92,8 m ö.h. vid Toverum (RH 2000).

⁷Inmätning av Peter Nilsson 2018-05-05 på uppdrag av Västerviks kommun.

5.3 Resultatet från frekvensanalys och normalfördelning

Shapiro-Wilk testet ($n=5000$, p -värde $<2,2e^{-16}$) visade att de 5000 första datapunkterna i det icke logitimerade datasetet med 95 % säkerhet ej var normalfördelat. Även Anderson-Darling ($n=7304$, p -värde $<2,2e^{-16}$) visade att samma dataset ej var normalfördelat. Det logitimerade datasetet var inte heller normalfördelat enligt något av normalfördelningstesterna ($n=6108$, p -värde $<2,2e^{-16}$).

Resultatet från de statistiska metoderna för framtagandet av extremvärden, Gumbel och Log-Normal, visas i tabell 2.

Tabell 2. Resultatet av två statistiska modeller för ett 40-årsflöde

Statistisk modell	Utslag [m^3/s]
Extrem-value I (Gumbel)	43,06
Log-Normal	49,89

5.4 Tröskelns design

I resultatet visas fyra olika tröskeldesigner med olika egenskaper. De har valts ut då de gav bäst resultat vid körningarna. Den sprängda kanalens bredd är 11 m vilket medför att samtliga designar har en övre rektangulär del, b_1 , med detta mått. En design med enbart denna rektangulära del, alltså ett horisontellt överfall, testkördes. Den refereras till som design 0. Dimensioner för design 0 och övriga som presenteras i detta avsnitt återfinns i tabell 3 och illustrationer över överfallen ses i figur 8.

Tabell 3. Tabellen visar mått för fem olika tröskeldesigner

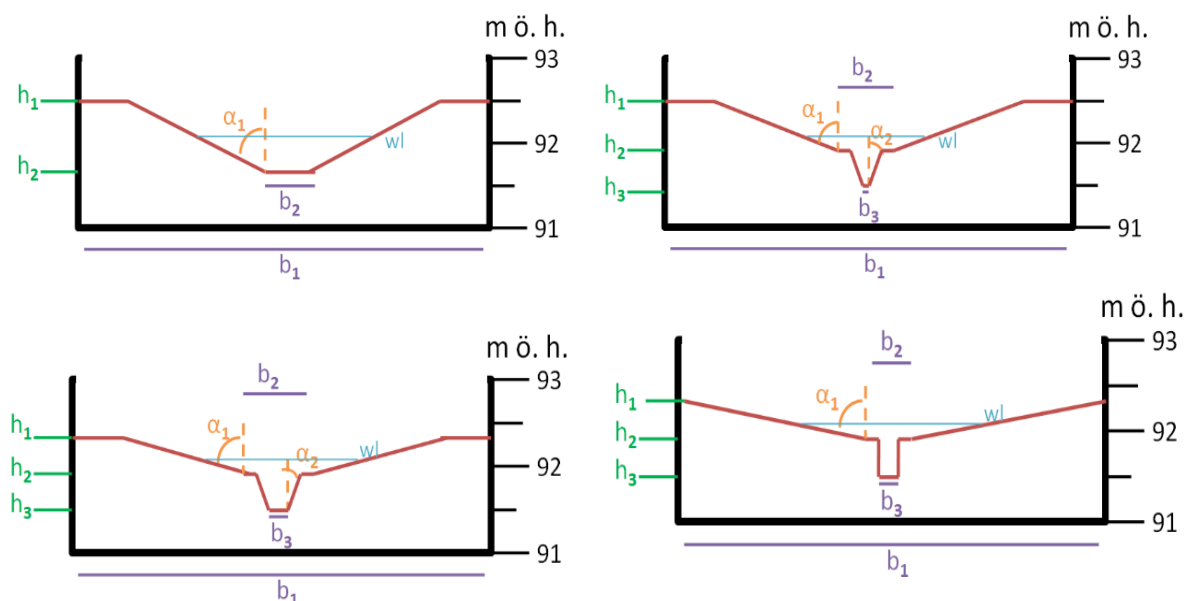
Mått	α_1 [°]	α_2 [°]	b_2 [m]	b_3 [m]	h_1 [m]	h_2 [m]	h_3 [m]
Design 0	-	-	-	-	92,0	-	-
Design 1	85	-	0,5	-	92,60	91,90	91,40
Design 2	85	25	0,5	0,01	92,60	91,90	91,40
Design 3	85	25	1,5	0,5	92,30	91,90	91,50
Design 4	85	0	0,5	0,3	92,28	91,82	91,62

Nästa utformning, design 1, se figur 8, består, istället för ett helt horisontellt överfall, även av en trapetsform som sluttar in mot mitten med vinkel α_1 . I mitten av trapetsoidens botten finns en plan yta med bredd b_2 , vilken i design 1 är 0,5 m, se tabell 3.

Design 2 är baserad på design 1 men har under den sluttande mittfåran ytterligare en trapetsoid, så att mindre vattenvolymer kan flöda ut vid lägre vattenstånd, se figur 8. Den undre trapetsoiden har bottenbredd b_3 och lutningsvinkel α_2 . I design 2 är trapetsoidens bottenbredd b_3 0,01 m i bredd, se tabell 3, vilket i praktiken gör det till en triangel.

Den tredje designen, design 3, består av två trapetsoider, se figur 8. Bredden i mitten av den övre trapetsoiden, b_2 , är något större än i design 1 och 2. Den undre trapetsoiden sluttar in mot mitten med vinkel α_2 och har bottenbredd b_3 som är större än i design 2, se tabell 3.

Design 4, den sista som presenteras här, bygger vidare på design 3 och består av en rektangulär undre del istället för trapetsoidal. Detta uppnås genom att sätta vinkeln α_2 till noll, vilket medför lodräta väggar istället för sluttande, se tabell 3 och figur 8.



Figur 8. Principiell skiss av överfallen. Från vänster ovan: design 1 och design 2. Nederst från vänster: design 3 och design 4. I figuren är h_1 den högsta delen av överfallet, h_2 den lägsta delen, och wl är det genomsnittliga vattenstånd som önskas, 92,05 mö.h. (RH 2000).

5.5 Utvärdering av trösklar

De fyra olika trösklarnas, tillsammans med design 0 i tabell 3, påverkan på sjön Yxern för 20 års tillrinningsdata har utvärderats med avseende på medelvattenstånd, lägsta vattenstånd, högsta vattenstånd, minflöde, maxflöde samt antal nollflödesdagar, se tabell 4. Antal nollflödesdagar anges som antalet dagar under de 20 år som körningen löper över då flödet var under gränsen för vad som definierats som nollflöde.

Tabell 4. Resultat från testkörningar av de fem utvalda tröskelmodellerna, angett i höjdsystemet RH 2000, där originala tillrinningsdata använts. IQR visar hur stort spann som 50 % av datat ligger inom, med medelvärdet som utgångspunkt. Range är totala spannet som värdena sträcker sig över

	IQR [m]	Range [m]	Medel-vattenstånd [m ö.h.]	Lägsta vatten [m ö.h.]	Högsta vatten [m ö.h.]	Minflöde [m ³ /s]	Maxflöde [m ³ /s]	Antal nollflödes-dagar [dagar]
Design 0	0,165	0,87	92,18	91,82	92,69	0,00	11,21	375
Design 1	0,14	0,83	92,12	91,82	92,65	0,00	10,26	189
Design 2	0,19	0,98	92,07	91,64	92,63	0,06	10,25	0
Design 3	0,20	1,03	92,05	91,62	92,65	0,05	10,09	0
Design 4	0,15	0,85	92,04	91,71	92,57	0,01	10,25	0

5.6 Utvärdering vid förändrat tillrinningsdata

Trösklarna provkördes med extremhändelser av torka och högvatten, se tabell 5. Påverkan från dessa händelser gav lägre lägsta flöden och högre högsta flöden och antalet nollflödesdagar ökade.

Tabell 5. Resultat när trösklarna har provkörts med extremhändelser i form av torka och högvatten under bestämda perioder. IQR visar hur stort spann som 50 % av datat ligger inom, med medelvärdet som utgångspunkt. Range är totala spannet som värdena sträcker sig över

	IQR [m]	Range [m]	Medel -vattenstånd [m ö.h.]	Lägsta vatten [mö.h.]	Högsta vatten [mö.h.]	Minflöde [m ³ /s]	Maxflöde [m ³ /s]	Antal nollflödes -dagar [dagar]
Design 1	0,15	1,98	92,12	91,52	93,50	0,00	31,08	333
Design 2	0,19	2,08	92,07	91,41	93,49	0,00	30,99	56
Design 3	0,20	2,10	92,05	91,38	93,48	0,00	31,12	72
Design 4	0,15	1,99	92,03	91,43	93,42	0,00	31,07	107

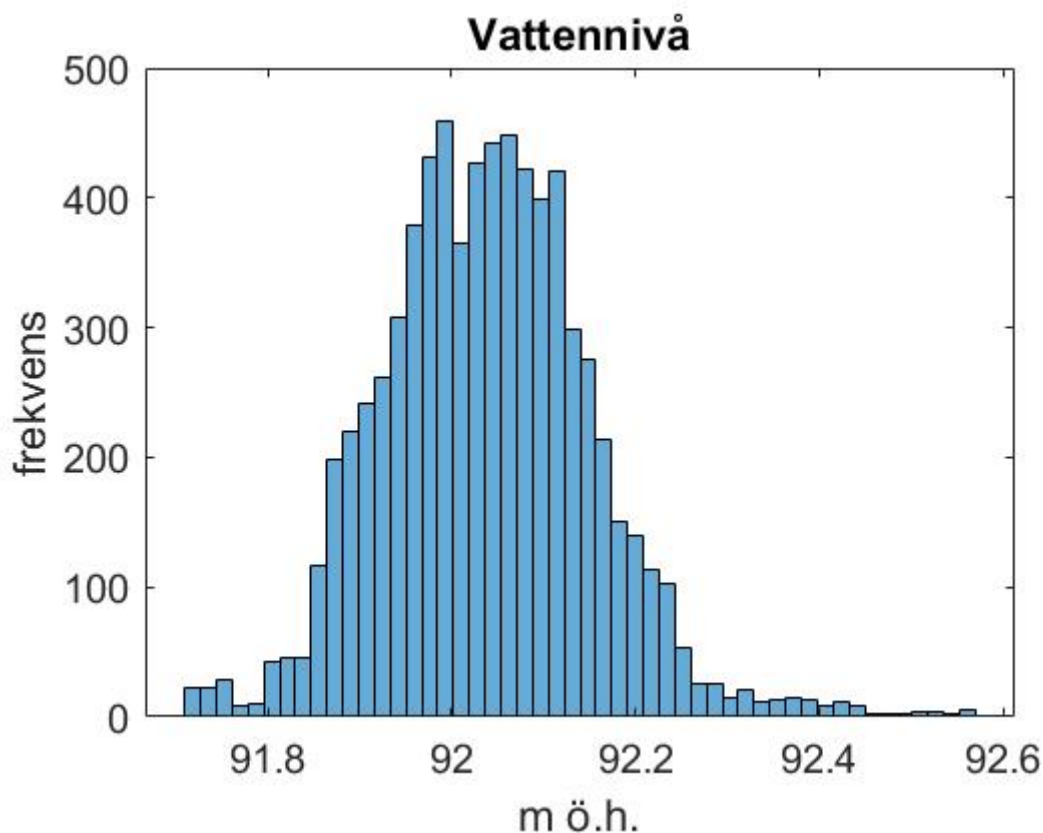
Utöver extremhändelser i form av torka och flod utvärderades även trösklarna för ett 10 % högre tillrinningsdata, se tabell 6.

Tabell 6. Resultat från extremhändelser där originaldata har ökat med 10 % i storlek. IQR visar hur stort spann som 50 % av datat ligger inom, med medelvärdet som utgångspunkt. Range är totala spannet som värdena sträcker sig över

	IQR [m]	Range [m]	Medel -vattenstånd [m ö.h.]	Lägsta vatten [mö.h.]	Högsta vatten [mö.h.]	Minflöde [m ³ /s]	Maxflöde [m ³ /s]	Antal nollflödes -dagar [dagar]
Design 1	0,15	0,91	92,13	91,80	92,71	0,00	11,34	202
Design 2	0,19	1,06	92,09	91,63	92,69	0,05	11,33	0
Design 3	0,20	1,11	92,07	91,61	92,72	0,04	11,25	0
Design 4	0,15	0,93	92,05	91,70	92,63	0,01	11,34	2,00

Dessa resultat, tabell 4 - 6 finns presenterade i höjdsystemet RH00 i bilaga 6.

Fördelning av vattenstånd för design 4 över de simulerade 20 åren med originaldata kan ses i figur 9.



Figur 9. Ur histogrammet kan antalet dagar med olika vattenstånd avläsas.

För att bättre kunna utvärdera antalet dagar i 20-årsperioden med eventuella översvämningar redovisas antalet dagar med vattenstånd över 92,20 m ö.h. i tabell 7. Detta för körning av originaldata med design 4.

Tabell 7. Tabellen tydliggör antalet dagar höga vattenstånd inträffar under 20-årsperioden, enligt design 4 med körning av originaldata. Vattennivåerna visas i höjdsystemet RH2000.

Vattenstånd [m ö.h.]	Antal dagar
92,20-92,30	460
92,30-92,40	87
92,40-92,50	34
92,50-92,56	19

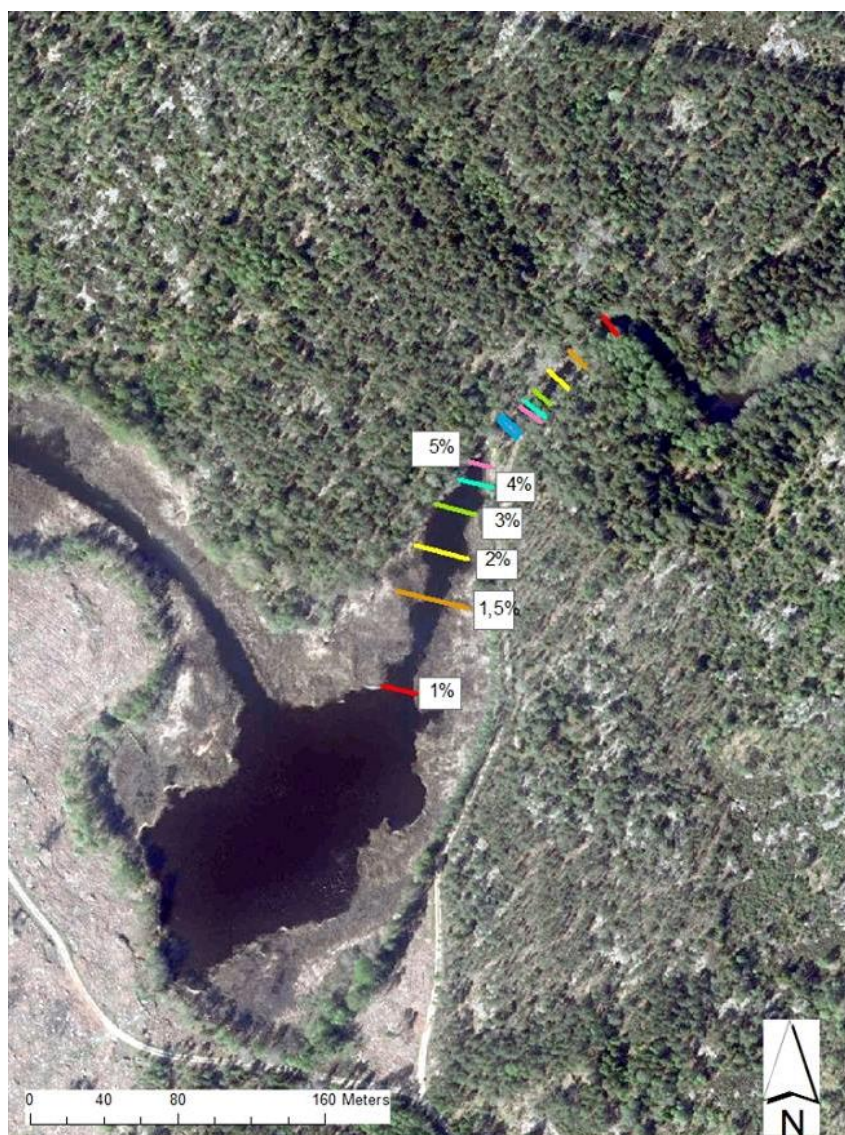
5.7 Tröskelns längd

Kanalens bottennivå ligger på 89,3 m och tröskelnivå på 91,62 m ö.h. i höjdsystemet RH2000, se tabell 4. Tröskelns längd har beräknats för höjdskillnaden som då blir 2,32 m i design 4. Tröskelns längd beroende på lutning kan ses i tabell 8.

Tabell 8. Tröskelns längd vid olika lutning när bottennivån på tröskelns utlopp placeras på 91,62 m ö.h., enligt design 4

Lutning	1 %	1,5 %	2 %	3 %	4 %	5 %
Total tröskellängd [m]	232	155	116	77	58	46
Tröskelns längd framför reglerdammen [m]	155	103	77	52	39	31
Tröskelns längd efter reglerdammen [m]	77	52	39	26	19	15

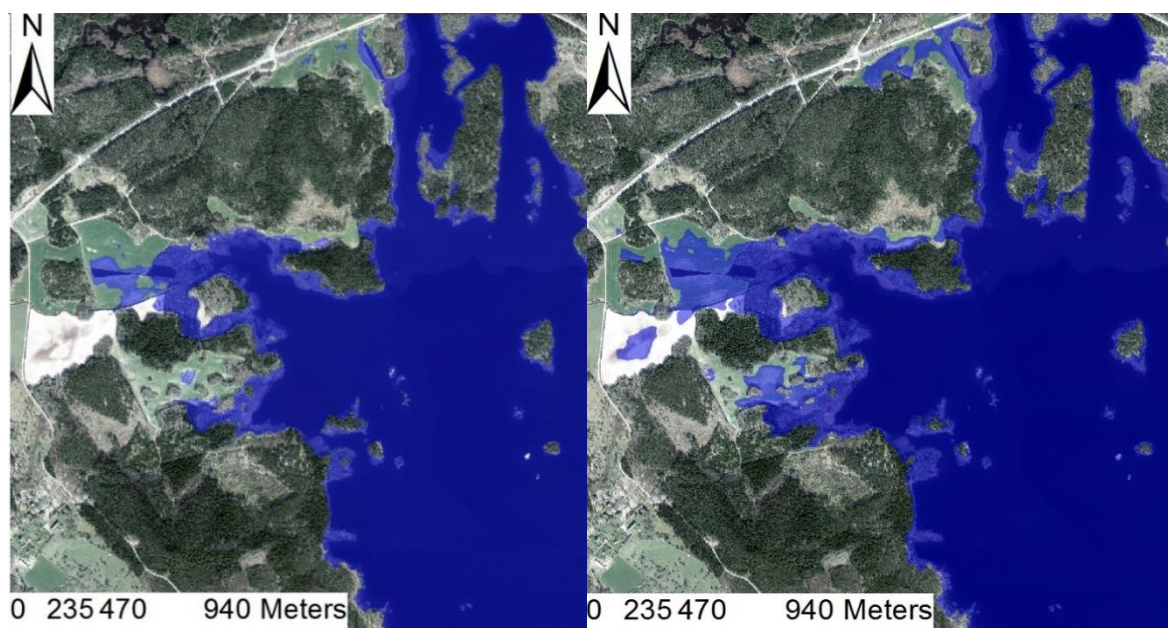
Tröskelns längd beroende på lutning resulterar i en konstruktion mellan 46 m-232 m. Trösklarnas utbredning i landskapet kan ses i figur 10.



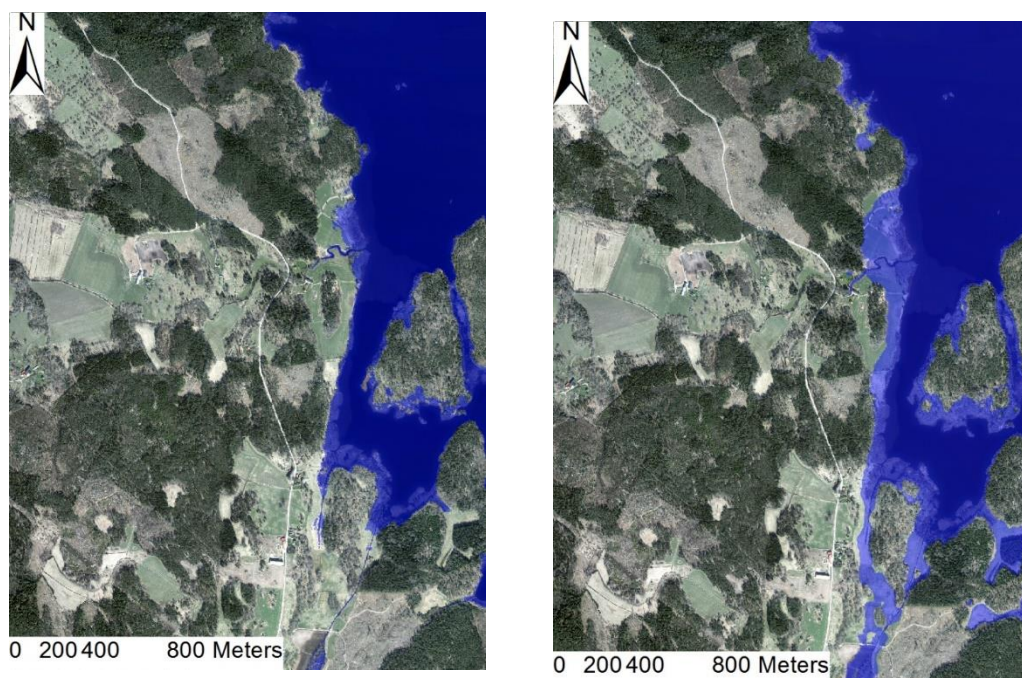
Figur 10. Tröskelns längd vid olika lutningar på tröskeln. En lutning på 1 % ger längst tröskel och en lutning på 5 % den kortaste. Kartan visar hur stor del av respektive lutning som ligger framför respektive bakom den nuvarande reglerdammen, markerad med blått i figuren.

5.8 Översvämningskarta

De omgivande områden som riskerar översvämning vid olika vattenstånd har undersökts. I figur 11 och 12 presenteras försumpning av åkrarna vid vattenstånd 92,05 m, vilket är det önskade nya vattenståndet för sjön, och där dräneringsrören ligger 1,2 m under markytan.

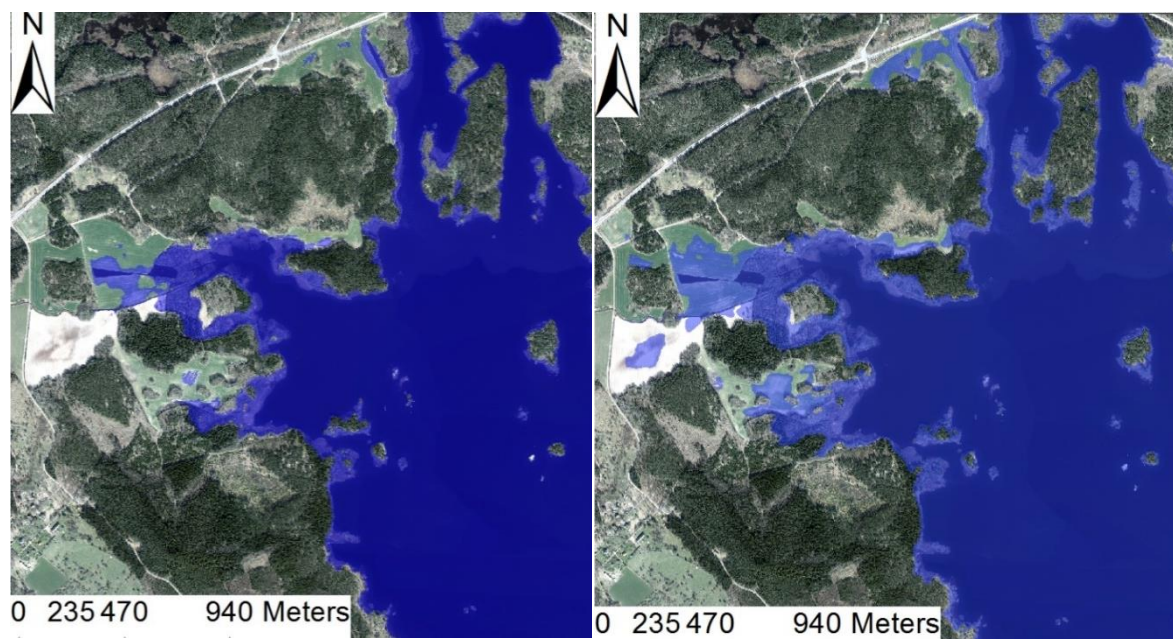


Figur 11. Översvämningskarta över västra delen av sjön, ljusblått indikerar blötlagd mark. Bilden till vänster visar vad som översvämmas vid önskat medelvattenstånd på 92,05 m ö.h. och bilden till höger visar vilka dräneringsrör (på 1,2 m djup) som påverkas vid nämnda vattenstånd i höjdsystemet RH2000. © Lantmäteriet.

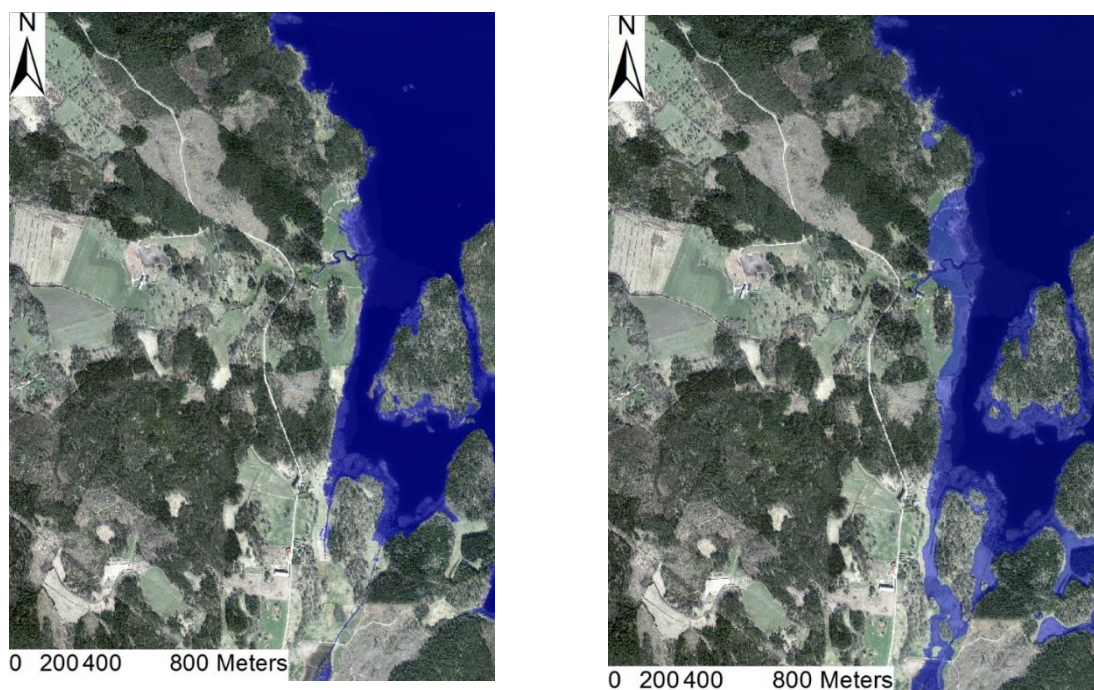


Figur 12. Översvämningskarta över sydvästra delen av sjön, ljusblått indikerar blötlagd mark. Bilden till vänster visar vad som översvämmas vid önskat medelvattenstånd på 92,05 m ö.h. och bilden till höger visar vilka dräneringsrör (på 1,2 m djup) som påverkas vid nämnda vattenstånd i höjdsystemet RH2000. © Lantmäteriet

Det högsta vattenståndet för originaldata, i den modellerade 20-årsperioden, har en större påverkan på omkringliggande mark, se figur 13 och 14. I bilderna kan även utläsas hur mycket av mark med dräneringsrör som kommer att påverkas vid detta vattenstånd

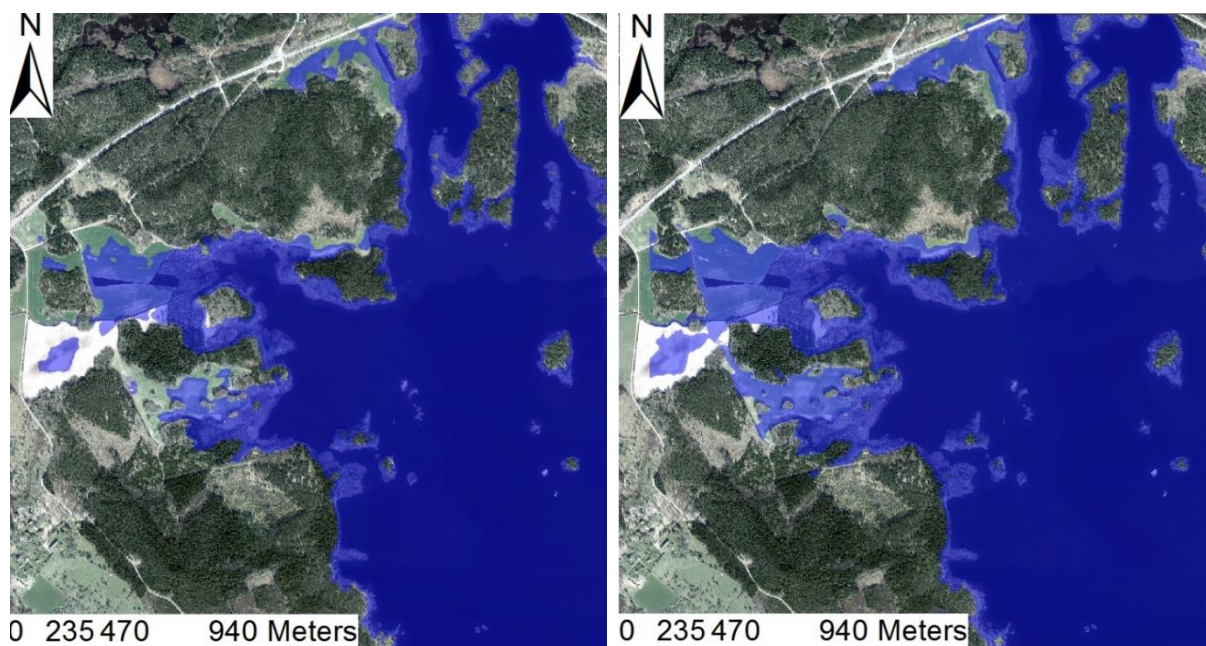


Figur 13. Översvämningsskarta över västra av sjön, ljusblått indikerar blötlagd mark. Bilden till vänster visar vad som översvämmas vid högsta vattenstånd för originaldata, med design 4, på 92,57 m ö.h. och bilden till höger visar vilka dräneringsrör (på 1,2 m djup) som påverkas vid nämnda vattenstånd i höjdsystemet RH2000. © Lantmäteriet

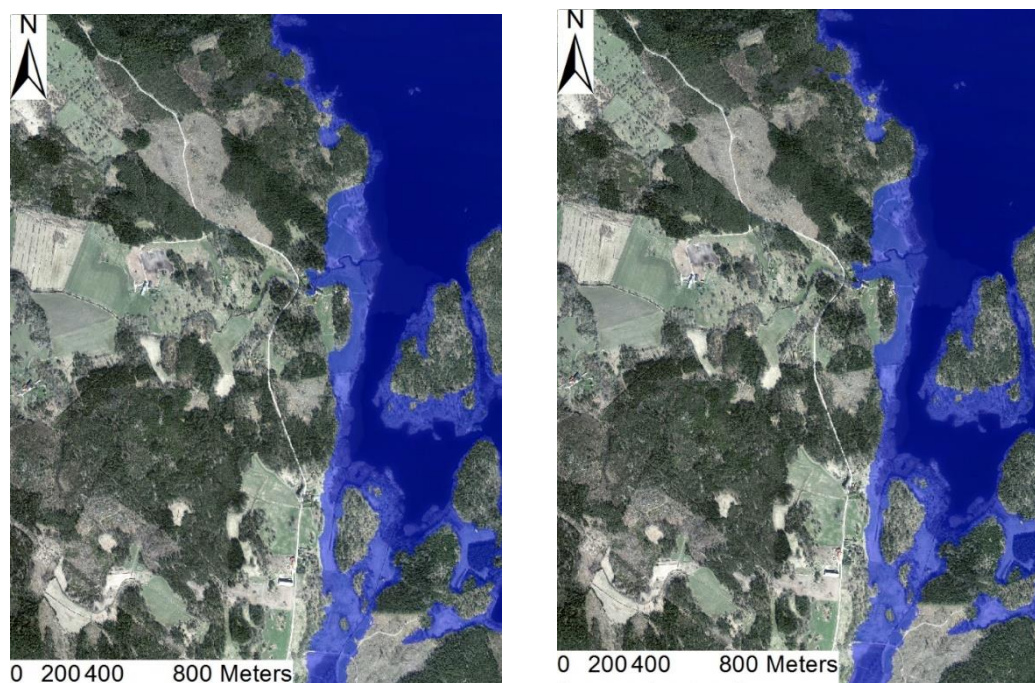


Figur 14. Översvämningsskarta över sydvästra delen av sjön, ljusblått indikerar blötlagd mark. Bilden till vänster visar vad som översvämmas vid högsta vattenstånd för originaldata, med design 4, på 92,57 m ö.h. och bilden till höger visar vilka dräneringsrör (på 1,2 m djup) som påverkas vid nämnda vattenstånd i höjdsystemet RH2000. © Lantmäteriet

För det maximala vattenståndet med extremdata påverkas ännu större område, se figur 15 och 16. Även i dessa bilder kan påverkan på dräneringsör utläsas



Figur 15. Översvämningsskarta över västra delen av sjön, ljusblått indikerar blötlagd mark. Bilden till vänster visar vad som översvämmas vid högsta vattenstånd för extremdata, med design 4, på 93,42 m ö.h. och bilden till höger visar vilka dräneringsrör (på 1,2 m djup) som påverkas vid nämnda vattenstånd i höjdsystemet RH2000. © Lantmäteriet



Figur 16. Översvämningsskarta över sydvästra delen av sjön, ljusblått indikerar blötlagd mark. Bilden till vänster visar vad som översvämmas vid högsta vattenstånd för extremdata, med design 4, på 93,42 m ö.h. och bilden till höger visar vilka dräneringsrör (på 1,2 m djup) som påverkas vid nämnda vattenstånd i höjdsystemet RH2000. © Lantmäteriet

6. Diskussion

Diskussionen har delats upp i avsnitt motsvarande resultatdelarna för att underlätta läsningen.

6.1 Frekvensanalys

Frekvensanalysen i detta projekt är baserad på tillrinningsdata över en 20-årsperiod, vilket gör det svårt att säkerställa distributionen av indata. Då värdena för maxflödena logaritmerades kunde en normalfördelningskurva anas, se bilaga 4, även om normalfördelning inte kunde styrkas genom Shapiro-Wilk eller Anderson Darling-tester. Trots detta har log-normal-värdet använts i simuleringen av extremvärden. Detta eftersom det var högre än värdet genererat av Gumbel, som var i samma storleksordning som de högsta värdena i tillrinningsdata. En förbättring för att se hur tröskeln påverkas av extrema flöden vid torka och flod skulle kunna vara att använda en frekvensanalys baserad på nederbördsdata. Detta skulle ge en större säkerhet då nederbördsdata finns för längre tidsperioder. För att kunna implementera detta skulle sambandet mellan nederbörd och tillrinning behöva fastställas, vilket på grund av dess komplexitet inte genomförts. Exempel på metoder för att göra detta är HBV-modellen, rationella metoden eller tid-area metoden.

Frekvensanalysen gav ett 40-årsflöde för ett dygn, men ger inget värde på hur lång tidsperiod höga flöden skulle pågå. I verkligheten är det relativt ovanligt att kraftiga flöden inträffar endast under en dag, så därför valdes i extremvärdeskörningen att låta 40-årsflödet pågå i fem dagar, samt att låta ett lägre höglöde pågå under tio dagar. Det skedde ingen noggrannare undersökning eller uträkning på hur höga flöden eller över hur många dagar som mer exakt skulle kunna motsvara framtagna 40-årsflöden. Inte heller 10 %-ökningen av flöden har någon djupare analys. Att modellera klimatdata är mycket komplext och tidskrävande, varför det inte genomförts i detta projekt. Resultaten av extremvärdeskörningarna kan ändå ge en inblick i hur en tröskel skulle påverkas av hög- respektive lågflöden. Den första extremvärdeskörningen resulterar i betydligt fler nollflödesdagar jämfört med körningen på originaldata. Både högsta och lägsta vattennivå förändras och maxflöden blir tre gånger så stora för alla modeller. IQR påverkas mycket lite, medan Range mer än fördubblas. Detta stämmer väl överens med förväntningarna då extremvärdena i dessa körningar kommer att resultera i extremvärden som därför inte påverkar IQR. Medelvattenståndet påverkas inte heller mycket för de olika modellerna, vilket är positivt för samtliga designer. För körningen med en 10 % ökning påverkades alla värden något, men med i regel mindre än 10 % förändring. Medelvattennivån påverkas inte heller mer än någon cm. Då extremvärden naturligt också orsakar översvämningar eller längre tid av torka är dessa resultat väntade. Att det vid ett 40-årsregn blir väldigt höga flöden och att jordbruksmark översvämmas är i princip omöjligt att frångå utan ett reglerat utlopp. Även torka är något som naturligt förekommer och så länge det inte är alltför långa perioder eller ofta återkommande är även detta något man vid ett oregerat utlopp måste räkna med att ha.

6.2 Inmätningar och Boösundet

Skillnaden i vattenhöjd på 0,07 m mellan regleringsdammen och pegeln vid Toverum, visar att Tekniska verkens tillvägagångssätt att addera 0,02 m på reglerdammens vattenstånd för att få fram vattenståndet vid Toverum ej överensstämmer med faktiska mätningar. Dessutom var det högre vattenståndet ej vid Toverum utan vid reglerdammen, vilket är motsatsen till vad som kunde väntats, då ett utflöde normalt ligger på en lägre nivå än inflödet. Förklaringar till att det vid mättillfället förhöll sig omvänt kan vara meteorologiska förhållanden som vind.

En utveckling av detta projekt är att avgöra om Boösundet utgör en flaskhals eller ej. För att kunna avgöra detta bör sundets sektioner mätas in och vattennivån mätas vid ett flertal tillfällen och vid olika flöden. Baserat på detta kan sundets eventuella dämmande effekt sedan modelleras i exempelvis programvaran HecRas.

6.3 Tröskeln

För att hitta en optimal design på tröskeln till utloppet i Yxern har flera olika designer testkörts, varpå några av de bästa har presenterats som design 1-4 i denna rapport. En design som tidigt testades var ett helt horisontellt överfall (design 0), vilket gav en relativt liten IQR och Range. Detta är ur denna aspekt ett gott resultat då Västerviks kommun önskar hålla sjön på en så jämn nivå som möjligt, dvs önskar ha så liten IQR och Range som möjligt. Denna design hade däremot flest nollflödesdagar av alla körningar vilket kan förklaras av att ett horisontellt överfall ger ett väldigt stort utflöde så fort vattenståndet överstiger den översta tröskelnivån. Detta gör det väldigt lätt att hålla ett önskat vattenstånd men till priset av att ån torkar ut så fort vattenståndet ligger under överfallet och designen är därför inte optimal.

Design 1, se figur 8, liknar ett horisontellt överfall, men med en svag lutning in mot en sänkt mittfåra. Denna lades in för att tillåta vatten att flöda även vid lägre vattenstånd vilket minskar risken för nollflödesdagar. Trots detta var antalet nollflödesdagar ganska stort, 189 dagar. Det bör dock noteras att detta är 189 dagar utav hela körningen på 20 år.

Därför bygger design 2 vidare på design 1, genom att ha en triangulär fåra undertill för att tillåta små utflöden vid lägre vattenstånd och därigenom motverka nollflödesdagar. Inverkan av att införa den triangulära fåran ger ett lägre genomsnittligt och lägsta vattenstånd då mer vatten tillåts strömma ut. Variansen i både IQR och Range är större än design 1. Den lägre lägsta nivån förklarar den ökade variansen. Det lägsta vattenståndet går dock aldrig under lägsta nivån för triangeln och därför har designen inga nollflödesdagar alls.

En annan utformning som testades var design 3 där den understa delen av överfallet istället var formad som en trapetsoid, med bredare botten vilket är tänkt att ge en större ränna för fiskar att vandra upp genom. Detta medförde dock att IQR och Range blev större än för design 1 och 2.

Slutligen testades design 4, som har en rektangulär mittfåra, vilket uppnås genom att sätta lutningsvinkeln för trapetsoiden i design 3 till noll grader. Ett stort antal körningar med olika vinkel och höjd på de olika delarna av tröskeln genomfördes, och utav alla ansågs design 4 vara den mest lämpliga. Design 4 har lägst variation på vattenståndet och inga nollflödesdagar till skillnad från design 1. Den har dock lägst minimiflöde vilket kan vara olämpligt för fiskvandring.

Ett problem med modellen visade sig vara att formlerna för utflöde för överfallsvärn gör att utflödet asymptotiskt närmar sig noll då vattenståndet sänks. Detta medför att flödet blir

oändligt litet och att nollflöden inte kan existera förutom när avdunstning sänker vattennivån till under överfallsvärnets lägsta nivå. Detta löstes genom att definiera nollflödesdagar som dagar då utflödet är lägre än $1 \text{ dm}^3/\text{s}$, vilket i praktiken får betraktas som att ån nedströms är uttorkad. Värdet $1 \text{ dm}^3/\text{s}$ valdes godtyckligt utifrån att genomsnittligt utflöde i nästan samtliga körningar låg kring $1,48 \text{ m}^3/\text{s}$. Det ansågs därför att ett utflöde som är 1500 gånger lägre kunde likställas med inget flöde.

Längden på tröskeln, dvs utbredningen i kanalen vid reglerdammen, varierar stort beroende på vilken lutning på utloppet som väljs. Alternativen med 1, 1,5 respektive 2 %, som ur ett fiskvandringssynpunkt är de mest lämpliga, ger alla längder på över 100 m. För att konstruera dessa bör byggkostnader och tillgänglighet av platsen beaktas. Nedströms den nuvarande dammen finns en ca 60 m lång nedsprängd kanal innan vattendraget svänger, vilket innebär att en tröskelkonstruktion av storleksordningen 100 m måste placeras längre uppströms. Det är endast lutningarna på 4 och 5 % som kan anläggas vid den nuvarande dammen och få plats i kanalen innan den svänger. Dessa lutningar skulle dock innebära vandringshinder för vissa fiskarter. Det bör också tas i beaktning att det inte endast är lutningen på vandringsvägen som avgör om fiskar kan passera utan även hastigheten på vatten spelar roll. Tröskeln bör alltså utformas med hastighetsreducerande objekt eller zoner med strömningslä för att underlätta för fiskpopulationen. Ett alternativ för att minska tröskelns längd kan vara att överväga en fiskpassage vid anläggandet. Vid anläggandet av trösklar i Nianån och Andersforsen har dessa varit 80 m respektive 45 meter vilket kan ge en indikation på hur lång en tröskel kan vara för en rimlig byggkostnad för en kommun.

Antalet nollflödesdagar var en av parametrarna som designen på tröskeln utvärderades efter. Ur en fiskvandringssynpunkt är inte bara antalet nollflöden eller lågflöden intressanta utan även vid vilka tidpunkter på året detta sker. Fiskar förflyttar sig vid olika tidpunkter men med en tyngdpunkt på våren då de flesta arter har lekperiod. Analys av dessa mönster är alltså av vikt vid val av tröskeln.

6.4 Alternativ tröskelplacering

Detta projekt har utgått från att tröskelns placeras vid dagens regleringsdamm. En alternativ placering av tröskeln skulle kunna vara i Boösundet som misstänks fungera som en flaskhals för flödet i sjön. Denna placering skulle undvika komplikationer med den eventuella flaskhalseffekten och möjliggöra att en längre tröskel byggs, för att uppnå den lutning som önskas. Det är möjligt att leda vattnet direkt till Yxeredsån och på så sätt skära bort den lilla sjön. Om denna del av sjön skärs bort blir modeller och samband för sjöns volym och vattenstånd inaktuella vilket gör att nya samband måste tas fram. En stor fördel med att anlägga tröskeln där regleringsdammen finns idag är att marken består av en sprängd kanal i berg. Dessutom finns idag infrastruktur till regleringsdammen, vilket underlättar byggnationen. Om tröskeln skulle placeras i Boösundet skulle högst sannolikt ganska omfattande mark- och bottenundersökningar behöva genomföras för att undersöka risker för erosion och sättning samt markens genomsläpplighet. Utifrån vad som idag är känt bedöms som att en stor arbetsinsats med förarbete krävs för att hitta en alternativ placering för tröskeln och därför är anses det fördelaktigt att anlägga tröskeln där regleringsdammen idag är placerad.

6.5 Översvämningsrisk

Det vattenstånd som Västerviks kommun föreslår skulle enligt figur 11 och 12 innebära att en hel del jordbruksmark får otillräcklig dränering till följd av att dräneringsrören hamnar under vattennivån. Det bör för jordbrukarnas del övervägas om 92,05 m ö.h. är ett för högt vattenstånd. Värt att notera är att 1,2 m dräneringsdjup troligtvis gäller för de djupare rören och att viss dränering ändå är möjlig trots att marken enligt figurerna ser översvämmad ut.

Det är dock värt att notera att figur 11 och 12 visar översvämningsrisk vid genomsnittligt vattenstånd. Vattenståndet är generellt lägre under sommaren, då marken ska brukas. Det betyder alltså inte att marken definitivt är obrukbar, utan snarare att den är svårbrukbar eller obrukbar under vissa delar av året. Ur histogrammet i figur 9 och tabell 7 kan det avläsas att antalet dagar med högt vattenstånd över 20-årsperioden inte är så många till antalet.

6.6 Modellens och indatas validitet

I detta projekt är den indata som modelleringen grundar sig på betydande för resultatens validitet. Data över tillrinning är given på dygnsbasis vilket bör kunna betraktas som lämpligt då dygnsvariationen på tillrinning till en sjö förändras långsamt. Det är fördelaktigt med så långa tidsserier som möjligt och det kan argumenteras för att 20 år av tillringsdata i sammanhanget kan vara en för kort period. Till exempel hade en mätserie på 50 år kunnat ge mer tillförlitliga resultat och ett 100-årsflödet hade kunnat tas fram. Sannolikt har ett 100-årsflöden extremare flödesdata med lägre lågflöden och högre högflöden. Dock kan det anses vara en acceptabel återkomsttid för översvämnningar.

Den här rapporten förlitar sig på att den givna tillrinningsdatan har tagits fram på ett korrekt sätt. Tillrinningsdatan är, som nämnts tidigare, uträknad genom mätningar av sjöns vattenstånd och tappningsdata från regleringsdammen. Negativa värden förekom i detta data vilket har tolkats som att avdunstningen var större än tillrinningen. Om uträkningarna innehåller logiska fel, eller om givna data misstolkats, så att exempelvis negativa värden istället bör bortses från och sättas till noll, får detta konsekvenser för den modellering som gjorts. Som tas upp i 6.3 kan utflödet i modellen aldrig bli exakt noll om inte negativa tillrinningsdata finns. De längsta torrperioderna är långa perioder med negativa tillrinningsdata. Om dessa perioder skulle ha nollvärden istället för negativa flöden skulle utflödet och vattenståndet kunna bli annorlunda. Negativa värden skulle kunna bero på att tillvägagångssättet att få fram tillrinningsdata inte är tillräckligt exakt eftersom den inte kan ta hänsyn till tillrinningsområdets karaktär.

Andra samband och indata som använts vid modelleringen är hur sjöns volym och vattenstånd förhåller sig till varandra. Datats korrekthet är av stor betydelse för den modellering som gjorts i denna rapport. Modellen som tagits fram använder rådande vattenstånd och ger en förändring i vattenvolym för att slutligen räkna om till ett nytt vattenstånd. Om förhållandet mellan volym och vattenstånd inte är tillförlitligt blir även de modellerade vattenstånden, utflödena och i förlängningen dimensionerna på tröskeln mindre tillförlitliga.

7. Slutsatser

Av de utprovade formerna och dimensionerna på tröskeldesign bedömdes design 4 vara den bästa. Design 4 genererade inga nollflödesdagar under de 20 simulerade åren och utformningen gav också minst varians på vattenståndet i sjön jämfört med de andra testade designerna. Det genomsnittliga vattenståndet låg en centimeter från Västerviks kommuns önskemål. Vid simulering av extremvärden gav design 4, under den extrema torrperioden, 107 nollflödesdagar och ett lägsta vattenstånd på 91,43 m ö.h. (RH2000). Dessutom erhöles ett högsta utflöde på 31,07 m³/s och ett högsta vattenstånd på 93,42 m ö.h. vid extremvärdesimuleringen (RH2000).

Den önskade vattenståndet på 92,05 m ö.h. (RH2000) gav påverkan på omgivande mark med gällande 1,2 m dräneringsdjup och en diskussion om denna vattennivå är lämplig för sjön Yxern bör därför övervägas.

Design 4 tillåter fiskar att passera överfallet om lutningen och vattenståndet är rätt. En tröskelkonstruktion som tillåter fiskvandring för alla arter skulle behöva vara minst 116 m lång (2 % lutning). Tröskeln bedöms mest lämplig att anläggas kring den befintliga reglerdammen för att undvika ytterligare utredningar angående markegenskaper, platstillgänglighet och tillrinningsdata samt faktumet att det redan finns infrastruktur till platsen.

Huruvida sundet vid Boön är en flaskhals har ej kunnat fastställas och vidare utredningar bör göras. Inmätningar av sektioner i sundet samt fler vattenståndsmätningar vid Toverum och reglerdammen krävs för att fastställa detta. Inmätningar av peglarna vid Toverum och reglerdammen visade att dessa är felplacerade i höjddled och att vattenståndet möjligen skiljer sig mer än de 0,02 m som tidigare antagits.

8. Referenser

Baban, R. (1995). *Design of Diversion Weirs*. Chishester, England: John Wiley & Sons Ltd.

Clemmens, A.J., Wahl, T.L., Bos, M.G. & Replogle J.A. (2001). *Water Measurement with Flumes and Weirs*. Wageningen, The Netherlands: International Institute for Land Reclamation and Improvement.

Degerman, E. (red) (2008). *Ekologisk restaurering av vattendrag*. Stockholm: Naturvård. Tillgänglig:

<https://www.havochvatten.se/download/18.64f5b3211343cffddb2800022567/1348912824990/ekologisk-restaurering-av-vattendrag.pdf> [2018-05-20]

Havs- och vattenmyndigheten (2013). *Fiskvandring – arter, drivkrafter och omfattning i tid och rum*. Göteborg Havs- och vattenmyndighetens rapport 2013:11

Havs- och vattenmyndigheten (2016). *Ramdirektivet för vatten - utgångspunkt för svensk vattenförvaltning*. Tillgänglig: <https://www.havochvatten.se/hav/samordning--fakta/miljomal--direktiv/vattendirektivet.html> [2017-12-13]

Hudiksvall Kommun (u.å.). *Ansökan om tillstånd till utrivning av vattenanläggningar. Gällande utrivning av regleringsdamm i utloppet av Niansjöarna i Nianfors samt utrivning av dammanläggning m.m. vid Sofieholms kraftstation i Njutånger*.

Lantmäteriet (u.å.). *RH2000*. Tillgänglig: <https://www.lantmateriet.se/sv/Kartor-och-geografisk-information/GPS-och-geodetisk-matning/Referenssystem/Hojdsystem/RH-2000/> [2018-05-23]

Länsstyrelsen Jönköping (förvaltare), vattenmyndigheterna, länsstyrelserna, Havs och vattenmyndigheten (VISS- Vatteninformationssystem Sverige) (2017). *Yxern*. Tillgänglig http://viss.lansstyrelsen.se/Waters.aspx?waterMSCD=WA43930327&userProfileID=3&managementCycleName=Cykel_2,5 [2018-05-03]

Sandsten, H. German, J. Rasmusson, M. & Larfeldt Alvé, A. (2017). *Förstudie för sjön Yxern - Hur kan problem med vattenstånd lösas*. Calluna AB. Tillgänglig: <http://www.vimmerby.se/PageFiles/18229/F%C3%B6rstudie%20f%C3%B6r%20sj%C3%B6n%20Yxern.pdf> <http://www.vimmerby.se/PageFiles/18229/F%C3%B6rstudie%20f%C3%B6r%20sj%C3%B6n%20Yxern.pdf> [2018-05-23]

SMHI (u.å.). *Klimatscenarier*. Tillgänglig: <https://www.smhi.se/klimat/framtidens-klimat/klimatscenarier?area=swe&var=n&sc=rcp85&seas=ar&dnr=99&sp=sv&sx=0&sy=479> [2018-06-01]

Sveriges miljömål (u.å.). *Preciseringar av Levande sjöar och vattendrag*. Tillgänglig: <http://www.sverigesmiljomal.se/miljomalen/levande-sjoar-och-vattendrag/preciseringar-av-levande-sjoar-och-vattendrag/> [2018-05-17]

Nationalencyklopedin (u.å.) (a). *Vattenreglering*. Tillgänglig: <http://www.ne.se.ezproxy.its.uu.se/uppslagsverk/encyklopedi/lang/vattenreglering> [2018-05-17]

Nationalencyklopedin (u.å.) (b). *Överfallsdamm*. Tillgänglig: <https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/%C3%B6verfallsdamm> [2018-05-23]

Nationellt Register över Sjöprovfisken – NORS (2011). Sveriges lantbruksuniversitet (SLU), Institutionen för akvatiska resurser. Tillgänglig: <http://www.slu.se/sjoprovfiskedatabasen> [2018-05-16]

Nordanstigs Kommun (u.å.). *Ansökan om tillstånd till utrivning av vattenanläggning*. Gällande utrivning av regleringsdamm i utloppet av Ängbodtjärnen i Andersfors.

SMHI vattenwebb (u.å. a). *Modelldata per område- delavrinningsområde 64060*. Tillgänglig <https://vattenwebb.smhi.se/modelarea> [2018-05-03]

SMHI vattenwebb (u.å. b). *Dammregister*. Tillgänglig: <https://vattenwebb.smhi.se/svarwebb/> [2018-05-16]

Yxern.se (u.å.). *Om Yxern*. Tillgänglig: <http://www.yxern.se/index.html> [2018-05-03]

8. Bilagor

Bilaga 1. Tabeller för tappning enligt vattendomar från 1938 samt 2017.

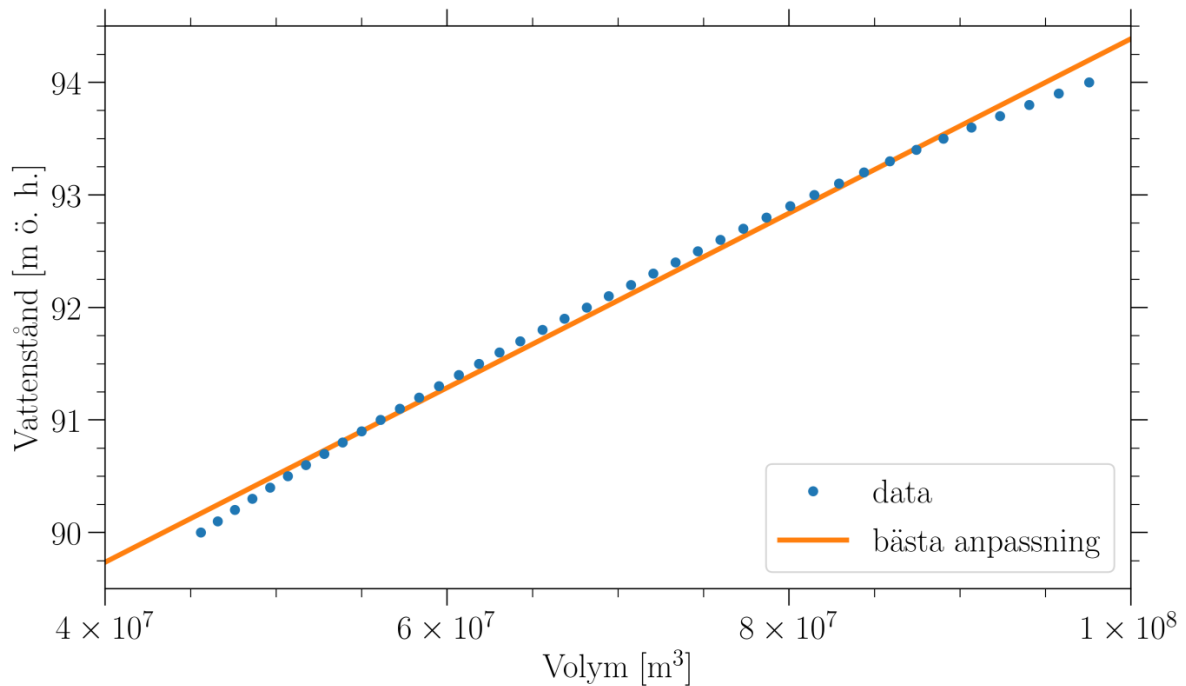
Tabell 9 . Bestämmelser för tappning av Yxern enligt vattendom från 1938, AD 32/1933

Vattenstånd [RH00]	Tappning [m ³ /s]
över 92,50	10,0
92,40 - 92,50	7,5
92,29 - 92,40	5,0
91,60 - 92,29	1,5 - 4,0
90,80 - 91,60	1,0 - 4,0
90,05 - 90,80	0,8 - 4,0
under 90,05	dammen helt öppen

Tabell 10. Bestämmelser för tappning av Yxern enligt tillfällig treårig vattendom från 2017, mål nr M 2860-17

Vattenstånd [RH00]	Tappning [m ³ /s]	Kommentar
över 92,80	10,0	
92,50 - 92,80	3,0 - 10,0	tappningen inom intervallet anpassas så att vattennivån i sjön inte ökar
92,30 - 92,50	1,5 - 5,0	tappningen inom intervallet anpassas så att vattennivån i sjön inte ökar
91,80 - 92,30	0,4 - 3,0	regleringen ska eftersträva att nivån 92,25 innehålls den 30/4
90,80 - 91,80 (1 maj - 1 okt)	0,4	
90,80 - 91,80 (1 nov - 30 apr)	0,4 - 3,0	regleringen ska eftersträva att nivån 92,25 innehålls den 30/4
under 90,08	0,4	
<i>Större tappningsförändringar ska ske succesivt</i>		

Samband mellan vattenstånd och volym i Yxern



Figur 17. Samband mellan vattenstånd och vattenvolym i sjön Yxern. Ekvation för bästa anpassning: $y = 7,752 \cdot 10^{-8} \frac{m \text{ ö.h.}}{m^3} x + 86,63 m \text{ ö.h.}$, R^2 -värde = 0,995

Tabell 11. Tabell över sambandet mellan vattennivå (i två höjdsystem), area och volym (Sandberg et al, 2017).

Vattennivå [RH2000]	Vattennivå [RH00]	Area [m ²]	Volym [m ³]
90,0	89,8	9385744	45599092
90,1	89,9	10062440	46572650
90,2	90,0	10164080	47583966
90,3	90,1	10266544	48605499
90,4	90,2	10371072	49637349
90,5	90,3	10492324	50680219
90,6	90,4	10628568	51736264
90,7	90,5	10769988	52806189
90,8	90,6	10906500	53890054
90,9	90,6	11042552	54987469
91,0	90,7	11181284	56098654
91,1	90,8	11321976	57223801
91,2	90,9	11464820	58363104
91,3	91,0	11608928	59516763
91,4	91,1	11756412	60685002
91,5	91,2	11905236	61868014
91,6	91,3	12057184	63066084
91,7	91,4	12927684	64279165
91,8	91,5	12930076	65572049
91,9	91,6	12933440	66865233
92,0	91,7	12938112	68158820
92,1	91,8	12947792	69453048
92,2	91,9	12967240	70748583
92,3	92,0	13003004	72046933
92,4	92,1	13076300	73350987
92,5	92,2	13173456	74663847
92,6	92,3	13303664	75987128
92,7	92,4	13473988	77324748
92,8	92,5	13673832	78681918
92,9	92,6	13928612	80062995
93,0	92,7	14226368	81471769
93,1	92,8	14598388	82912888
93,2	92,9	14943860	84388289
93,3	93,0	15263480	85898555
93,4	93,1	15645904	87445711
93,5	93,2	16052052	89032493
93,6	93,3	16514880	90660804
93,7	93,4	16912348	92330541
93,8	93,5	17224224	94037770
93,9	93,6	17514724	95776616
94,0	93,7	17767940	97542166

Bilaga 3. MATLAB-kod för modellering av tröskeln.

```
clear all
close all
%% load data
Q_in = xlsread('Flow');

%% Constants
wbu = 92.6; % the position of the upper (rectangular) weir
wbtri1=91.6; %the position of the upper trapetzoid's bottom
wbtri2=91.4; %position of lower trapetzoid's bottom
my = 0.60; %utströmningsskoefficient (~0.60)
alpha1=85*(pi/180); %angle in weir (rad)
alpha2=0*(pi/180); %angle of second (lower) trapetzoid
b = 11; %max width of weir (m)
b2=0.5; %width of upper trapetzoid
b3=0.3; %width of second (lower) trapetzoid bottom
g = 9.80665; % gravity constant
b3top2=b3+(tan(alpha2)*(wbtri1-wbtri2)); %width of trapetzoid2 top. Can be set to
be = b2 if the trapetzoids should overlap
b2top=b2+(tan(alpha1)*(wbu-wbtri1)); %width of trapetzoid1 top.
if b2<b3top2;
    b2=b3top2;%prevent the bottom of upper trapetzoid to be shorter than the upper
part of the lower trapetzoid (opposite can be true)
end

height_lim=((b/2)-(b2/2))/(tan(alpha1))+wbtri1; % upper limit for the width to be b
of the upper triangle top
if height_lim < wbu
    wbu = height_lim;
    ny = ['OBS the angle alpha2 and the position of wbu do not match']
end

%% Parameters
Q_in_24h = Q_in.*(60*60*24); %vector with inflow per day[m3/day]
N = length(Q_in_24h); %time steps
Q_out_l = NaN(N,1);
Q_out_rect = NaN(N,1);
Q_out_l_tot = NaN(N,1);
Q_out_tot_24h = NaN(N,1);
Q_out_u = NaN(N,1);
Q_out_l2 = NaN(N,1); %identical but 2, as Q_out_l2 means lower of the two
trapetzoids
Q_out_rect2 = NaN(N,1);
Q_out_l_tot2 = NaN(N,1);
wl = NaN(N,1);
V = NaN(N,1);
V(1) = 64858820; %m3. Start value of lake. Org. value 64858820 =92m wl,
(64800000=91,8m if desired.)
zero_flow=0; %days with no outflow
inflow=0; %accumulated inflow for the time series
outflow=0;%accumulated outflow for the time series

%% Outflow
for t=1:N

    if V(t)<=0
        wl(t)=0; %avoid negative sea volumes, if sea empty, no water level.
    else
        wl(t)=(8*(10^(-8))*V(t))+86.63; %water level is calculated using equation
taken from plot over volume-waterlevel relation in excel
    end

    %outflow from trapetzoid2 (lower trapz) part
    if wl(t)> wbtri2 && wl(t)<wbtri1 %flow occurs only in lower trapz

        Q_out_l2(t) = (8/5)*tan(alpha2)*my*((wl(t)-wbtri2)^(2.5))*sqrt(2*g); %m3/s,
for triangular parts of trapetzoid
    end
end
end
```

```

        Q_out_rect2(t) = (2/3)*b3*my*((wl(t)-wbtri2)^(1.5))*sqrt(2*g); %wl(t)-
wbtri2 signifies distance waterlevel to weir edge. This line is the rectangular
middle part of the trapetzoid
        Q_out_l_tot2(t)=Q_out_l2(t)+Q_out_rect2(t); %summarize triangular and
rectangular parts. m3/s
        Q_out_l_24h2 = Q_out_l_tot2.*(60*60*24); %m3/day

        elseif wl(t)>=wbtril1 %prevent doubling of flow - no overlap between
trapetzoid1&2! Defines the upper limit for Trapz2. Is also max flow for trapz2

        Q_out_l2(t) = (8/5)*tan(alpha2)*my*((wbtril1-wbtri2)^(2.5))*sqrt(2*g);
%3/s, for triangular part of trapetzoid
        Q_out_rect2(t) = (2/3)*b3*my*((wbtril1-wbtri2)^(1.5))*sqrt(2*g);%rectangular
middle part of trapetzoid
        Q_out_l_tot2(t)=Q_out_l2(t)+Q_out_rect2(t); %summarize triangular and
rectangular parts. m3/s
        Q_out_l_24h2 = Q_out_l_tot2.*(60*60*24); %m3/day

    else
        Q_out_l_24h2(t)=0;%if flow is none of above, flow is below lower limit of
trapz2 meaning no flow occurs

    end

    %outflow from trapetzoid1 (upper trapz) part
    if wl(t)> wbtril1 && wl(t)<wbu

        Q_out_l(t) = (8/5)*tan(alpha1)*my*((wl(t)-wbtril1)^(2.5))*sqrt(2*g); %3/s,
for triangular parts of trapetzoid
        Q_out_rect(t) = (2/3)*b2*my*((wl(t)-wbtril1)^(1.5))*sqrt(2*g); %wl(t)-wbtri
signifies distance waterlevel to weir edge. This line is the rectangular middle
part of the trapetzoid
        Q_out_l_tot(t)=Q_out_l(t)+Q_out_rect(t); %summarize triangular and
rectangular parts. m3/s
        Q_out_l_24h = Q_out_l_tot.*(60*60*24); %m3/day

        elseif wl(t)>=wbu %prevent doubling of flow - no overlap between rectangle and
triangle!

        Q_out_l(t) = (8/5)*tan(alpha1)*my*((wbu-wbtril1)^(2.5))*sqrt(2*g); %3/s,
for triangular part of trapetzoid
        Q_out_rect(t) = (2/3)*b2*my*((wbu-wbtril1)^(1.5))*sqrt(2*g);%rectangular
middle part of trapetzoid
        Q_out_l_tot(t)=Q_out_l(t)+Q_out_rect(t); %summarize triangular and
rectangular parts. m3/s
        Q_out_l_24h = Q_out_l_tot.*(60*60*24); %m3/day

    else
        Q_out_l_24h(t)=0;

    end

    %outflow for rectangular (upper) part
    if wl(t)> wbu
        Q_out_u(t) = (2/3)*b*my*((wl(t)-wbu)^(1.5))*sqrt(2*g); %3/s "upper", for
rectangular weir
        Q_out_u_24h = Q_out_u.*(60*60*24); %m3/day

    else
        Q_out_u_24h(t)=0;

    end

    %total outflow
    Q_out_tot_24h(t)=Q_out_u_24h(t)+Q_out_l_24h(t)+ Q_out_l_24h2(t); %collects all
outflows from the two weirs

    if Q_out_tot_24h(t)<=1000

```

```

        zero_flow=zero_flow+1;
    end

    change=Q_in_24h(t)-Q_out_tot_24h(t); %sea volume change over 24h in m3/d
    V(t+1)=V(t)+change; %new volume in lake [m3]
    inflow=inflow+Q_in_24h(t);
    outflow=outflow+Q_out_tot_24h(t);
end

%inflow; %writing out the total outflow and inflow to see that they are similar.
There is a difference,
%outflow; %could that be due to the initial values?
%outflow-inflow;

Q1=quantile(wl,0.25);
Q3=quantile(wl,0.75);
IQR=Q3-Q1 %inter quartile length water level
range=range(wl) %range between highest and lowest value of water level
mean_wl=mean(wl) %mean water level
median_wl=median(wl); %median water level
min_wl=min(wl) %min water level
max_wl=max(wl) %max water level
min_Q=min(Q_out_tot_24h)/(3600*24)%min outflow m3/s
mean_Q=mean(Q_out_tot_24h); %mean outflow
max_Q=max(Q_out_tot_24h)/(3600*24)%max outflow m3/s
%zero_year = zero_flow/20 %days of zero outflow per year
zero_flow %total days of no flow

results=[IQR range mean_wl min_wl max_wl min_Q max_Q zero_flow]

hold on;
plot(wl,'b')%plot water level and time
title('Water level','FontSize',22)
xlabel('Days','FontSize',18)
ylabel('meters above sea level','FontSize',18)
set(gca,'FontSize',15)

figure;
boxplot(wl) %boxplot for waterlevel
title('Water level','FontSize',22)
ylabel('meters above sea level','FontSize',18)
set(gca,'FontSize',15)

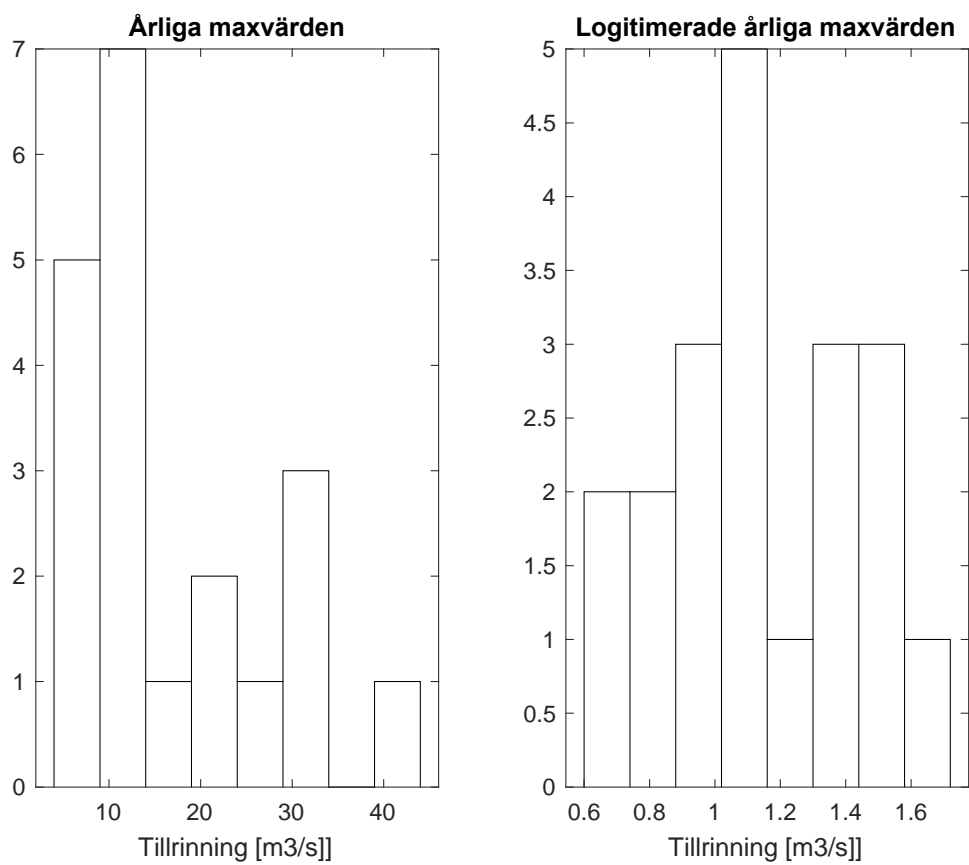
Q_outplot=Q_out_tot_24h/(24*3600);
figure;
plot(Q_outplot,'r') %plot outflow and time
title('Outflow','FontSize',22)
xlabel('Days','FontSize',18)
ylabel('m3/s','FontSize',18)
set(gca,'FontSize',15)

figure;
plot(Q_in,'k')
title('Inflow','FontSize',22)
xlabel('Days','FontSize',18)
ylabel('m3/s','FontSize',18)
set(gca,'FontSize',15)

figure;
histogram(wl,50)
title('Water level','FontSize',22)
xlabel('meters above sea level','FontSize',18)
ylabel('frequency','FontSize',18)
set(gca,'FontSize',15)
FontSize',15)

```

Bilaga 4. Fördelningskurvor över tillrinningsdata.



Figur 18. Histogram över fördelningen av tillrinningsdata.

Bilaga 5. MATLAB-kod för frekvensanalys

```
clear all
%Inläsning av data
data=xlsread('Vattenbalans_Matlab');
max_year=zeros(1,20);
date=data(1:7304,1:3);
tillrinn=data(1:7304,5);

%Hittar maxvärdet varje År under 20 År
for j=1:20
max_year(j)=max(tillrinn(find(date(:,1)==1996+j),1)); %hittar maxvärdet av
tillrinningen varje År

end

standard=std(max_year); %standardavvikelsen mellan Åren
medel=mean(max_year); % medelvärdet över Åren

%% Log-Normal Fördelning

logvarden=log10(max_year); %loggade värden

standard_log=std(logvarden); %standardavvikelsen av loggade värden
medel_log=mean(logvarden); % medelvärdet av loggade värden

T=40; %Return-period
P=1-(1/T); % Sannolikheten för T
Kt=norminv(P); %Kt för normalfördelning

Qlog=medel_log+(Kt*standard_log); % Formel för beräkning av max tillrinning
Q40_log=10^Qlog; %%%40 ÅRS FLÅ-DE!!!!

%% Extreme Value
Kt_extreme=(-sqrt(6)/pi)*(0.5772+log(log(T/(T-1)))); %Nytt Kt för Gumbel
fördelning
Q40_extreme=medel+(Kt_extreme*standard); % 40 Årsflåde för gumbel

figure
hold on

%Plottar
subplot(1,2,1)
histogram((max_year),8);
title('Årliga maxvärden')
xlabel('Tillrinning [m3/s]')

subplot(1,2,2)
histogram((logvarden),8);
title('Logitimerade Årliga maxvärden')
xlabel('Tillrinning [m3/s]')
```

Bilaga 6. Resultat i höjdsystemet RH00

Tabell 12. Resultat från testkörningar av fyra av utvalda tröskelmodellerna angett i höjdsystemet RH 00, där originala tillrinningsdata använts

	Medelvattenstånd [m ö.h.]	Lägsta vatten [m ö.h.]	Högsta vatten [m ö.h.]
Design 1	91,82	91,52	92,35
Design 2	91,77	91,34	92,33
Design 3	91,75	91,32	92,35
Design 4	91,74	91,41	92,27

Tabell 13. Resultat angett i RH 00 när trösklarna har provkörts med extremhändelser i form av torra och flod under bestämda perioder

	Medelvattenstånd [m ö.h.]	Lägsta vatten [m ö.h.]	Högsta vatten [m ö.h.]
Design 1	91,82	91,22	93,20
Design 2	91,77	91,14	93,19
Design 3	91,75	91,03	93,18
Design 4	91,73	91,13	93,12

Tabell 14. Resultat i RH 00 från extremhändelser där originaldata har ökats med 10 % i storlek

	Medelvattenstånd [m ö.h.]	Lägsta vatten [m ö.h.]	Högsta vatten [m ö.h.]
Design 1	91,83	91,50	92,41
Design 2	91,79	91,33	92,39
Design 3	91,77	91,31	92,42
Design 4	91,75	91,4	92,33