

Sjön Eklångens hydrologi

- *möjliga orsaker till sjöns låga vattenstånd sommartid*



Författare: Sofia Eckersten, Matilde Kamp, Johan Karlsson & Oskar Sjöberg

Civilingenjörsprogrammet i miljö- och vattenteknik

SLU/UU

Institutionen för mark och miljö/ Institutionen för geovetenskaper
Projektarbete i kursen Projekt Vattenresurser, MV0189

Uppsala 2015

Abstract

Lake Eklången in Råckstaån basin has had problems with low water levels since the 1980s. It extends River Spångaån down to Lake Träskaten and further through Stämån to Mörtsjön. The purpose of this project was to investigate the cause of these low water levels and if possible to find a solution. Four hypotheses addressing regulation of Mörtsjön at Länna Mill, land draining upstream Eklången, change in climate and change in land use were set. The hypotheses were investigated with field measurements, hydraulic modeling in HEC-RAS, statistical analysis of climatic variables and a study of land use changes and their effect on evapotranspiration. The result showed that the water level in Lake Eklången is not affected by the regulation downstream or the land drainage upstream. It was neither affected by climate change or land use changes. A conclusion is, however, that the water level is affected by variation in climate. Years with low water level coincide with dry and warm summers. Also, as a solution to the problem a threshold is suggested to be constructed in Stämån. For further research within the topic, improved measure control of the water level and deepened investigation into land use change is suggested.

Sammanfattning

Sjön Eklången i Eskilstuna, Strängnäs och Flens kommuner har sedan 1980-talet haft problem med onormalt låga vattenstånd sommartid. Orsaken till problemet har varit oklar. Syftet med detta projekt var att utifrån tidigare studier och rådande förhållanden i avrinningsområdet försöka förklara de låga vattenstånden. Om möjligt skulle också förslag på lösningar för att åtgärda problemet presenteras. Arbetet utgick ifrån fyra hypoteser om vad som skulle kunna ligga bakom de låga nivåerna:

Hypotes 1: Reglering av Mörtsjön vid Länna Bruk.

Hypotes 2: Förändringar i Flättsjöns sänkningsföretag norr om Eklången.

Hypotes 3: Förändringar i klimatet.

Hypotes 4: Förändringar i markanvändning.

Eklången är den största sjön i Räckstaåns avrinningsområde. Ifrån Eklången sträcker sig Spångaån ner till sjön Träskaten och därefter via Stämån till Mörtsjön. Mörtsjön regleras vid Länna bruk för elkraftproduktion. Regleringen styrs av ett märke i berghällen från år 1890. Vattennivån i Mörtsjön får inte överstiga detta märke under perioden 12 maj till 15 oktober. Uppströms Eklången norrut ligger Flättsjön, en sjö som har sänkts för att skapa mer åkermark. Avvattningen styrs av Flättsjöns sänkningsföretag.

De fyra hypoteserna om orsaken till de låga vattenstånden undersöktes med olika metoder. Fältmätningar i området gjordes för att få en uppfattning om vattenflödena i systemet. Även mätningar av vattendjup och vattennivåer utfördes. Delar av fältmätningensresultaten utnyttjades för att kalibrera en hydraulisk modell över Stämån mellan Träskaten och Mörtsjön i HEC-RAS. Modellen användes för att studera effekterna av regleringen vid Länna bruk samt för att testa en möjlig åtgärd av problemet i form av en ny tröskel i Stämån. Sänkningsföretaget i området norr om Eklången undersöktes genom kontakt med delägare i företaget samt genom jämförelse mellan dagens förhållanden och de historiska handlingarna över företaget. Hypotesen om klimatförändringar i området studerades genom statistisk analys av nederbörd, temperatur, vattenföring och grundvattennivåer. Förändringar i markanvändning och dess effekt på hydrologin undersöktes genom att jämföra historiska och aktuella kartor. Markanvändningen relaterades sedan till evapotranspiration för att uppskatta skillnaden i avrinning.

Resultaten från den hydrauliska modelleringen visar att en befintlig stentröskel en kilometer uppströms om Mörtsjön agerar som bestämmande sektion av Stämån vid lågvattenföring. Då sjönivån i Mörtsjön under sommaren normalt ligger under nivån för tröskeln, i enlighet med märket på berghällen, innebär en ytterligare sänkning ingen skillnad för vattenståndet i Eklången. Konstruktion av en ny, cirka 80 cm hög, tröskel strax nedströms om Träskaten skulle dock kunna höja nivån på Eklången vid lågvattenföring. Förändringen i markanvändning bedöms inte påverka hydrologin nämnvärt. Inga problem i Flättsjöns sänkningsföretag kunde heller upptäckas. De klimatförändringar som kunnat påvisas i området de senaste decenniererna visar på en svag förändring mot ett våtare klimat, vilket inte kan förklara de låga sommarvattenstånden som observerats i Eklången.

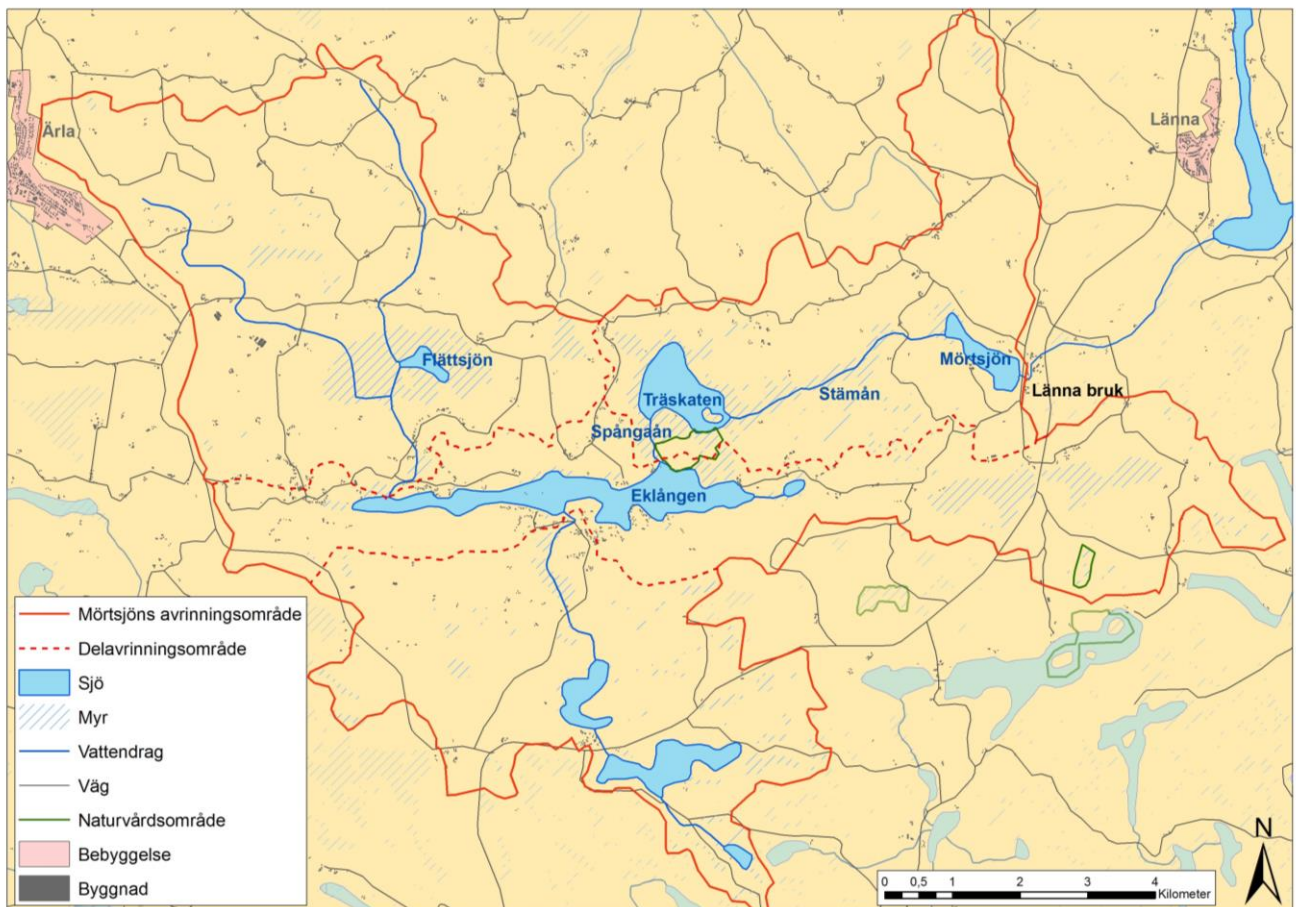
Slutsatsen är att samtliga uppställda hypoteser om de låga vattennivåerna kan förkastas. En lösning på problemet skulle kunna vara att konstruera en ny tröskel i Stämån, uppströms den existerande tröskeln. En sådan tröskel bedöms kunna höja lågvattenytan i Eklången med cirka 15 cm utan att påverka avvattningen av jord- och skogsbruk vid högre flöden.

Innehållsförteckning

| | |
|---|----|
| 1. Inledning | 1 |
| 1.1 Syfte | 1 |
| 2. Bakgrund..... | 2 |
| 2.1 Sjösystemet Eklången – Träskaten – Mörtsjön..... | 2 |
| 2.2 Reglering vid Länna bruk | 2 |
| 2.3 Flättsjöns sänkningsföretag | 2 |
| 2.4 Klimatförändringarnas effekt på avrinningen | 3 |
| 2.5 Markanvändningens påverkan på hydrologin | 3 |
| 3. Material och metod | 4 |
| 3.1 Fältmätningar i systemet Eklången-Träskaten-Mörtsjön | 4 |
| 3.2 Hydraulisk modellering..... | 5 |
| 3.2.1 HEC-RAS..... | 5 |
| 3.2.2 Produktion av geometrisk indata..... | 6 |
| 3.2.3 Mannings skrovlighetskoefficient..... | 7 |
| 3.2.4 Flödesdata, randvillkor och kalibrering | 7 |
| 3.3 Utvärdering av förändringar i Flättsjöns sänkningsföretag..... | 9 |
| 3.4 Statistisk analys av klimatförändringar i området..... | 9 |
| 3.5 Förändringar i markanvändning..... | 10 |
| 4. Resultat..... | 12 |
| 4.1 Vattenförings- och djupmätningar | 12 |
| 4.2 Mörtsjöns reglering | 13 |
| 4.3 Effekter av ny tröskel nedströms Träskaten..... | 14 |
| 4.4 Flättsjöns sänkningsföretag..... | 15 |
| 4.5 Klimatet..... | 15 |
| 4.6 Förändring i markanvändning samt dess påverkan på evapotranspirationen..... | 16 |
| 5. Diskussion..... | 18 |
| 6. Slutsats | 20 |
| Referenser | 21 |
| Bilagor..... | 24 |
| Bilaga 1. Fältmätningar av dikesdimensioner och vattenhastigheter..... | 24 |

1. Inledning

Eklången är en sjö i Eskilstuna, Strängnäs och Flens kommuner. Sjön är en del av Räckstaåns avrinningsområde, som mynnar i Mälaren. Under de senaste 30 åren har det vid ett flertal tillfällen sommartid rapporterats onormalt låga vattenstånd i sjön samt i den närliggande sjön Träskaten. Detta har varit ett problem främst för de boende i området som har haft svårigheter att bada och få ut sina båtar. Det finns även uttalanden om sinande brunnar och fiskdöd (Österman 2007a; Larsson, 2013). De låga nivåerna har bekräftats av Länsstyrelsen. Det är oklart vad som är orsaken till problemen, men i media har vattenregleringen i det närliggande Länna bruk framställts som en möjlig förklaring (P4 Sörmland, 2004). Ett annat förslag är att bävrar skapar fördämningar som minskar tillrinningen (Österman, 2007b). En karta över området ses i figur 1.



Figur 1. Karta över området kring Eklången. Bearbetad efter Lantmäteriets fastighetskarta (2014a) och översiktskarta (2015).

1.1 Syfte

Syftet med detta projekt var att utifrån tidigare studier och rådande förhållanden i avrinningsområdet förklara de låga vattenstånd i Eklången sommartid. Om möjligt skulle också förslag på lösningar för att åtgärda problemet presenteras. Utifrån diskussion med uppdragsgivare och projektgruppens tidigare erfarenheter ställdes fyra hypoteser upp. Syftet uppnåddes genom att med litteratur- och fältstudier samt hydraulisk modellering undersöka vilken eller vilka av de fyra följande hypoteser som huvudsakligen orsakar de låga vattenstånd:

- Hypotes 1: Reglering av Mörtsjön vid Länna Bruk.
Hypotes 2: Förändringar i Flättsjöns sänkningsföretag norr om Eklången.
Hypotes 3: Förändringar i klimatet.
Hypotes 4: Förändringar i markanvändning.

2. Bakgrund

I detta avsnitt beskrivs kort hur hydrologin i området kring Eklången ser ut samt vilka åtgärder som historiskt har gjorts med avsikt att förändra den naturliga avrinningen. Vidare redogörs för hur förändringar i klimat och markanvändning kan påverka områdets hydrologi.

2.1 Sjösystemet Eklången - Träskaten - Mörtsjön

Enligt Engström & Wiström (1985) är Eklången den största sjön i Räckstaåns avrinningsområde. Dess yta upptar 2,2 km². Vattennivån ligger ungefär 30 m.ö.h. Sjösystemet Eklången – Träskaten – Mörtsjön startar i norr uppe vid Flättsjön och i söder i Ältaren. Systemets geografi går att se i figur 1. Ifrån Eklången sträcker sig Spångaån ner till sjön Träskaten, höjdskillnaden mellan sjöarna är näst intill noll och vattnet flödar långsamt. Området karakteriseras av hög vass med stor bäveraktivitet. Intill Spångaån ligger Bråtöns naturreservat som skyddas på grund av sin känsliga ädellövskog (Länsstyrelsen, 2006). Träskaten mynnar ut i Stämån som flödar ungefär 5 km ner till Mörtsjön. Stämån kan beskrivas som slingrig och besvärlig att ta sig fram på. Delvis är vassen mycket hög. Längre ner i systemet övergår träsklandskapet mer till skogsmark och ån blir mer väldefinierad. Här ökar även lutningen på ån och totala fallet ifrån Träskaten till Mörtsjön är ungefär en meter.

Eklången har en dålig ekologisk status då biovolymen växtplankton och bottenfauna har bedömts till otillfredsställande år 2009. Eklången har problem med både övergödning och miljögifter. Problemet med övergödning anses tekniskt omöjligt att lösa fram till och med år 2021. Sjön är dock bedömd att kunna motstå problem med försurning. (VISS, 2015)

2.2 Reglering vid Länna bruk

Engström & Wiström (1985) beskriver hur Länna bruk reglerar Mörtsjön för sin kraftproduktion. Vattenkraft har utnyttjats i området sedan 1400-talet, men idag styrs regleringen enligt ”gammal hävd” av ett märke från år 1890 inristat i berghällen. Vattenståndet får inte överstiga detta märke mellan den 12 maj och den 15 oktober. Någon undre gräns för vattenståndet finns inte. I ett förslag till rensningsföretag från år 1952-55 har Engström & Wiström (1985) utläst att vattenståndsvariationerna i Mörtsjön är stora, närmare två meter.

2.3 Flättsjöns sänkningsföretag

Flättsjön är en sjö norr om Eklången. Den första avsänkningen av sjön skedde, enligt handlingar från länsstyrelsen, år 1855. Då sänktes sjön cirka två meter för att skapa mer åkermark. År 1944 inrättades Flättsjöns sänkningsföretag för att sänka sjön ytterligare 30 cm. Företaget omfattar 223 ha som vid inrättningen klassificerades som 130 ha åker och 93 ha annan mark. År 1951 var diken färdigkonstruerad. Onormalt högt vattenstånd konstaterades då i Eklången och en rensning av utloppet mot Mörtsjön föreslogs. Ett rensningsföretag för Eklången-Träskaten-Mörtsjön upprättades år 1952-55. På 1990-talet började Naturskyddsföreningen driva frågan om att höja vattennivåerna i Flättsjön igen. Detta främst för att minimera näringsläckage genom att fördröja vårfloden och låta näringsämnen sedimentera i sjön, men också för att skapa en bra fågelmiljö. Majoriteten av delägarna i Flättsjöns sänkningsföretag motsatte sig förslaget (Johansson, 2002). Det hela slutade

med en anlagd våtmark nordost om sjön. Arbetet med denna blev dock stoppat år 2005 (P4 Sörmland, 2005).

Sjösänkning och dikning påverkar avrinningsområdets hydrologi. Vid höga flöden har en sjö en utjämnande effekt på avrinningen. När sjön förminskas kan avrinningen i samband med snösmältning eller kraftig nederbörd ske snabbare och med större intensitet än tidigare. Om det därefter blir torrt väder kan lågvattenperioderna förlängas och vattenföringen nedströms tenderar att minska jämfört med innan sjösänkningen (SMHI i Östlund, 2004). Förändringar i markanvändningen som uppstår när naturlig mark ersätts med jordbruk orsakar också hydrologiska förändringar. Enligt Blann m.fl. (2009) har jordbruksmark typiskt mindre lagringskapacitet, vilket gör att utflödet får en snabbare respons på nederbörd med högre flödestoppar och en snabbare återgång till basflöde. I de flesta fall blir även basflödet högre vid ökad dränering. Under vissa förhållanden kan dock basflödet minska och detta kan bero på ett minskande flöde av ytligt grundvatten på grund av en sänkning av grundvattenytan.

2.4 Klimatförändringarnas effekt på avrinningen

Avrinningens och vattenflödets säsongsmässiga variation i mellersta Sverige karaktäriseras av en flödestopp på våren till följd av snösmältning, en så kallad vårflood. Ett varmare klimat innebär mindre snö och ett tunnare snötäcke vilket dämpar och tidigarelägger vårflooden. Grundvattennivån sjunker under torra perioder då det mättade utströmningsområdets utbredning minskar. Under våta perioder ökar det mättade utströmningsområdet och grundvattennivån höjs. (Grip & Rodhe, 2000)

Enligt Andreasson m.fl. (2007) påverkar det senaste århundradets observerade klimatförändringar vattenståndet i sjöar och vattendrag i Skandinavien. Ökad lufttemperatur och evapotranspiration samt ökad nederbörd förändrar avrinning och grundvattennivåer. Avrinningen ökar vid ökad nederbörd och minskar vid ökad evapotranspiration. Andreasson m.fl. förväntar också en ökad avrinning vintertid och en minskad avrinning sommartid. Avrinningen förväntas dessutom att minska i sydöstra Sverige på grund av ökad evapotranspiration.

2.5 Markanvändningens påverkan på hydrologin

Markanvändningen påverkar den lokala vattenbalansen dels genom förhållandet mellan växtlighet och evapotranspiration, dels genom marktäckets påverkan på ytavrinningen. Evapotranspirationen kan sägas bestå av tre delar: evaporation, eller avdunstning, från jord och ytvatten, transpiration från växtlighet och interception på blad och stammar. Transpiration är växternas upptag av vatten från marken via rötterna och interception är den preocessen där regnvatten fastnar på växtdelar och avdunstar innan det når marken. Skogsplantering kan till exempel ge en ökad interception under våta perioder och en ökad transpiration under torra perioder på grund av trädens djupa rötter som ger ett ökat vattenupptag (Fohrer m.fl., 2001). Grödor i jordbruket har en hög transpiration under sommarmånaderna, men ingen alls efter skörd. Högst årlig total evapotranspiration har skog, och allra högst barrskog eftersom den är grön året runt (Dunn & Mackay, 1995). Hur och i vilken utsträckning en förändring i markanvändning påverkar hydrologin i ett avrinningsområde beror främst på två faktorer enligt Dunn & Mackay (1995). En faktor är nederbörds mängden i området. Den förändring i evapotranspiration som en förändrad markanvändning ger upphov till spelar större roll ju större del av den totala nederbörden som den utgör. Med andra ord: förändringen påverkar mer ju torrare området är. Den andra faktorn som påverkar är jordens fysikaliska egenskaper. Markfuktighet och grundvattenytans läge spelar roll för hur mycket vatten som infiltrerar och hur mycket som blir ytavrinning. Detta i sin tur påverkar vad effekten av en förändrad markanvändning blir på hydrologin. Vid lågvattenflöde ger ett blötare område högre avrinning för skog än för jordbruk, medan ett torrare område ger betydligt lägre avrinning för skog än för jordbruk. Både Dunn & Mackay

(1995) och Fohrer m.fl. (2001) ser en mindre total avrinning i skogsmark jämfört med jordbruksmark.

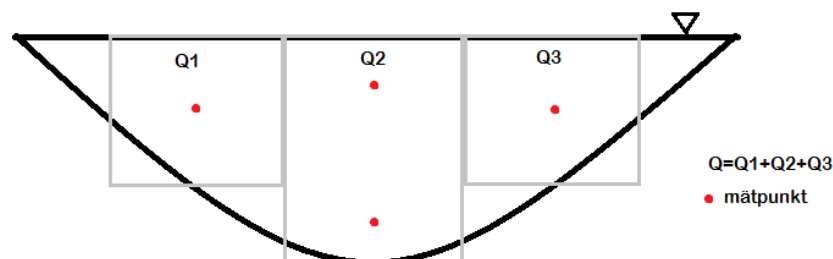
3. Material och metod

Här beskrivs de material och metoder som användes för att undersöka de fyra olika hypoteserna om Eklångens låga vattenstånd sommartid. Metoderna bestod av - och redogörs för i följande ordning - fältmätningar, en hydraulisk modellering av Stämån, en utvärdering av förändringar i Flåttsjöns sänkingsföretag, en statistisk analys av klimatförändringar i området samt en geografisk undersökning av förändringar i markanvändning och dess påverkan på evapotranspirationen.

3.1 Fältmätningar i systemet Eklången-Träskaten-Mörtsjön

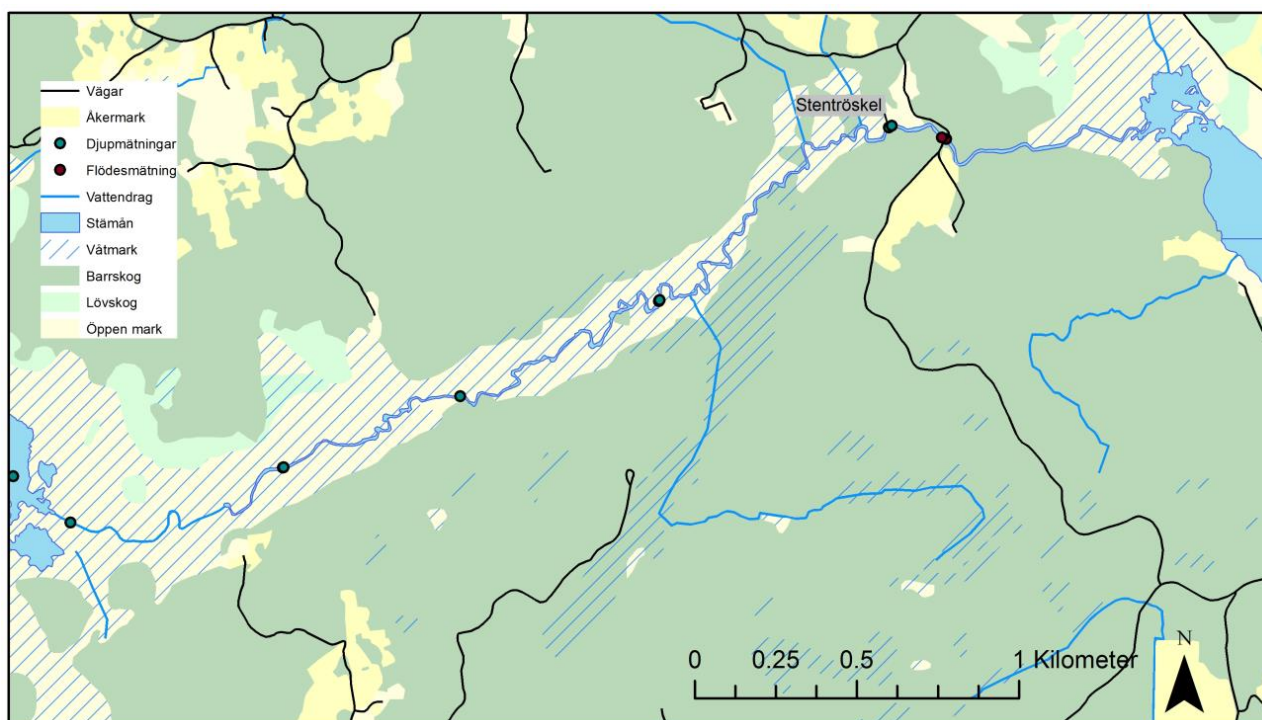
För att få en uppfattning om vattenflödena i området mättes vattenhastighet i det norra och södra inloppet till Eklången, i Stämån samt i utloppet från Mörtsjön. Mätningarna utfördes den 7:e maj 2015. Hastigheten mättes med hydrometrisk flygel i sektioner där det var enkelt att få en uppfattning om dikets djup och bredd, för att få en god approximation av dikets tvärsnittsarea. I tre av de fyra fallen var detta i anslutning till en bro eller vägtrumma. Flygelmätningar gjordes på fyra ställen i varje tvärsnitt: två mätningar i mitten av diket (en närmare vattenytan och en närmare botten) samt en mätning närmare dikeskanten på vardera sida om dikets mitt, vid halva djupet. I det norra inloppet gjordes mätningar på sex ställen då hastigheten överlag var väldigt låg och vid dikeskanterna nära noll. En noggrannare uppskattning av flödet bedömdes då fås med två extra mätningar. Resultaten från mätningarna av dikesdimensioner och vattenhastigheter ses i bilaga 1.

Utifrån mätningarna beräknades ett medelvattenflöde för varje tvärsnitt. I beräkningarna antogs att medelhastigheten uppmätt längs en vertikal linje gäller för en rektangel som sträcker sig halva sträckan mellan linjen och närmsta dikeskant eller mätlinje, samt att hastigheten var giltig för hela djupet (figur 2). Vattenflöden (area·hastighet) beräknades för varje sådan rektangel och vattenflödet för hela tvärsnittet beräknades som summan av dessa. Metoden beskrivs närmare i Kuusisto (1996).



Figur 2. Skiss över ett dikestvärsnitt. De röda punkterna beskriver var flygelmätningar gjordes. De grå rektanglarna motsvarar området där den uppmätta medelhastigheten ansågs giltig. Q1, Q2 och Q3 är flödet i respektive rektangel. Q är medelflödet i tvärsnittet.

Vattendjup mättes från båt med lod i Eklången, Spångaån, Träskaten och Stämån. Det gick inte att göra några djupmätningar i Mörtsjön eftersom det rådde motorbåtsförbud där. Figur 3 visar de djupmätningar som gjordes i Stämån, med en mätning ungefär varje kilometer. Extra mätning gjordes före och efter en stentröskel, ungefär en kilometer uppströms av Mörtsjön.



Figur 3. Djup- och flödesmätningar i Stämån från Träskaten i väst till Mörtsjön i öst. Kartan bygger på Lantmäteriets fastighetskarta (2014a).

Vattennivån på Mörtsjön bestämdes med hjälp av en pegel vid dammluckorna. Enligt uppgift¹ är överkanten på pegeln fem dm över märket i berghällen. Märkets nivå är 28,49 m.ö.h. enligt handlingarna från rensningsföretaget från år 1952-55. I dagens höjdsystem är det 29,04 m.ö.h. (Eskilstuna kommun, 2015). Detta medför att pegelns överkant är 29,54 m.ö.h. Genom att mäta sträckan från pegelns överkant ned till vattenytan kunde därmed vattennivån bestämmas.

3.2 Hydraulisk modellering

För att uppskatta hur vattenståndet i Eklången och Träskaten varierar med förändrade flöden i Stämån och reglering av Mörtsjön gjordes en flödesmodellering i HEC-RAS. Uppmätta flöden och djup i Stämån från fältbesöket användes för att kalibrera modellen som senare testades för uppskattade förhållanden under lågvattensäsong. Målet med modellen var att testa regleringens samt olika åtgärders effekt på systemet.

3.2.1 HEC-RAS

HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center – River Analysis System) är ett program för endimensionell flödesmodellering av ytvatten (USACE, 2010). Mjukvaran är framtagen av det amerikanska U.S. Army Corps of Engineers som ett stöd i vattenresurshantering (USACE, 2015). Den endimensionella beräkningen innebär att flödet endast antas gå i vattendragets riktning, vilket inte är fallet i verkligheten (Eklund, 2008). Enligt en utvärdering av olika numeriska modeller av Horrit & Bates (2002) ger dock HEC-RAS bra prediktioner av väl avgränsade vattendrag och kan väl konkurrera med mer komplicerade flerdimensionella modeller. Plugin-programmet HEC-GeoRAS från HEC-RAS möjliggör rumslig geoanalys i ESRI:s GIS-programvara ArcMap (USACE, 2009).

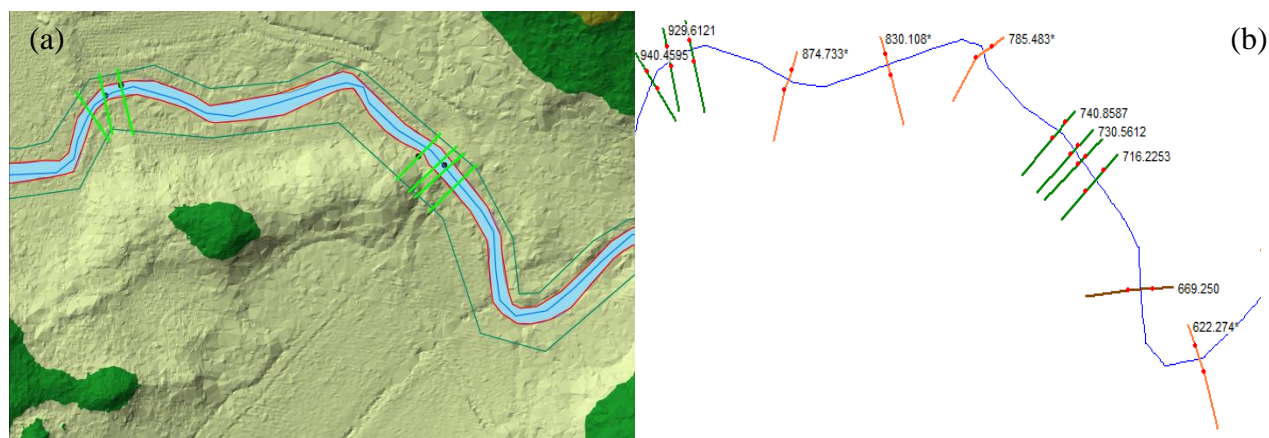
¹ Axel von Stockenström; ägare Länna bruk. Intervju 13 maj 2015.

3.2.2 Produktion av geometrisk indata

Som indata till modellen användes Lantmäteriets Lidar-kartering (2014b) och fastighetskartan i vektorformat (2014a) i det projekterade referenssystemet SWEREF99TM. Lidar-filerna i LAS-format konverterades i ArcMap till TIN-filer vilket är det elevationsformat som krävs för arbete med HEC-GeoRAS (USACE, 2009).

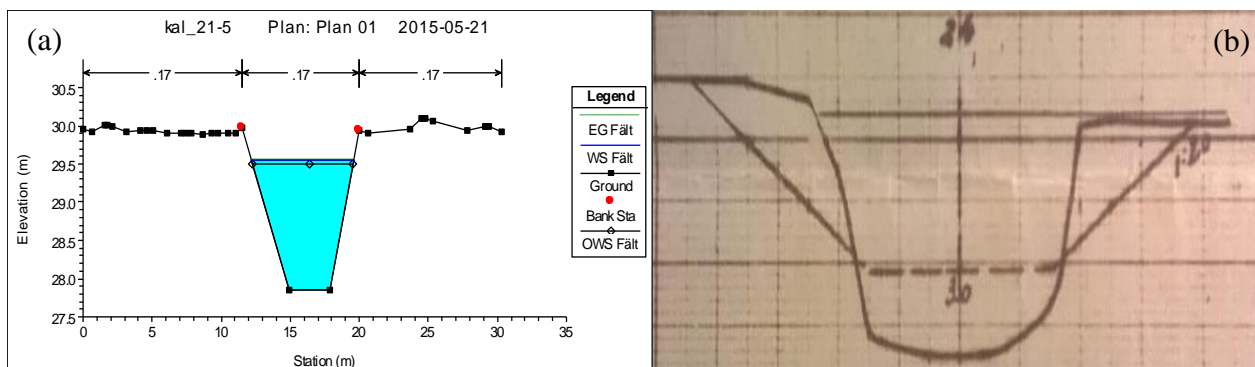
För att förenkla modellen begränsades systemet till Stämån mellan Träskaten och Mörtsjön. Vattenytan på Träskaten bedömdes då även representera vattnets höjd på Eklången. Detta antagande grundar sig på ritningarna från rensningsföretaget i området där bottenlutningen på kanalen mellan sjöarna i princip noll. I ritningarna anges även normalvattenståndet till 29,00 m.ö.h. i båda sjöarna.

Utifrån fastighetskartan (Lantmäteriet, 2014a) karterades Stämåns geografiska utbredning i landskapet med flödesriktning, flodbänker och flodbädd. Punkterna för djupmätningarna vid fältbesöket, en stentröskel och en bro tillsattes som tvärsnitt, spända över hela profilen. I figur 4 (a) ses ett exempel på hur detta såg ut i ArcMap. Med HEC-GeoRAS kunde sedan all flödesdata kopplas samman med den skapade TIN-filen över området. GIS-data blev till sist exporterad till HEC-RAS, se figur 4 (b).



Figur 4. Del av Stämån. (a) Produktion av flod i blått, flodbänker i rött, flodbädd i mörkgrönt och tvärsnitt i ljusgrönt med HEC-GeoRAS i ArcMap. Vänstra området med tvärsnitt representerar en stentröskel i vattnet och det högra en bro. (b) samma avsnitt av ån fast efter exportering och interpolering i HEC-RAS. Gröna tvärsnitt är de importerade och röda de interpolerade. Siffrorna anger meter ifrån utloppet i Mörtsjön.

I modelleringsarbetet i HEC-RAS användes ritningarna över rensningsföretaget mellan sjöarna Mörtsjön och Träskaten från år 1952 till 1955, egna fältmätningar samt GIS-data ifrån HEC-GeoRAS. Tvärsnitten formaterades i Excel efter närmast belägna tvärsnitt enligt ritningarna. Ett exempel går att se i figur 5. Efter muntlig kommunikation med boende i området samt fältbesök på platsen bedöms rensningsföretaget från 1950-talet representera området väl även idag. Bredden på kanalen sammanfaller väl med Lantmäteriets fastighetskarta (2014a). Angivna bottenlägen ifrån 1950-talet adderades med +55 cm efter dagens gällande referenssystem (Eskilstuna Kommun, 2015). Nya tvärsnitt skapades på punkter som enligt ritningarna avviker från det normala. Det var framförallt områden med drastiskt djupare eller grundare bottenläge. Med interpolering skapades tvärsnittsytor var 50:e meter längs hela ån.



Figur 5. Tvärsnitt av Stämån 2.3 km uppströms Mörtsjön. (a) Tvärsnittet i HEC-RAS modellerat efter tvärsnittet av rensningsföretaget (b).

3.2.3 Mannings skrovlighetskoefficient

Mannings skrovlighetskoefficient (n) är ett mått på råheten som kan påverka flödet i en kanal. Värdet är en sammanvägning ojämnheter på kanalbotten, vegetation, hinder i kanalen, vattendragens sträckning samt dess storlek och form. Lufttemperatur, suspenderat material och vattenföringens säsongsvariation påverkar också värdet av n . Ett högre värde på n innebär att skrovligheten har ett större påverkan på flödet. n bestäms separat för flödet i kanalen och flodslätten och kan beräknas enligt Cowans metod (ekvation 1). (Arcement & Schneiders, 1989)

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4)m \quad (1)$$

där n_0 är skrovlighetskoefficienten för en uniform kanal (Brunner, 2010). Parametrarna n_1 , n_2 , n_3 och n_4 korregerar för ytojämnheter, variation av form och storlek på kanalen, hinder respektive vegetation och flödesförhållanden. Parametern m korregerar för kanalens slingrighet. För n_0 användes värdet för Räckstaån (Engström & Wiström, 1985). Värdena på resterande parametrar bestämdes med hjälp av Arcement & Schneiders (1989) experimentellt framtagna n (tabell 1).

Tabell 1. Mannings skrovlighetskoefficient, n , framtagen med Cowans metod. n_0 är skrovlighetskoefficienten för en uniform kanal, n_1 korregerar för ytojämnheter, n_2 variation av tvärsnitt, n_3 för hinders påverkan på flödet, n_4 för vegetation och m för kanalens slingrighet. n för Stämån beräknades med ekvation (1)

| Vattendrag | n_0 | n_1 | n_2 | n_3 | n_4 | m | n |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------------|
| Stämån | 0,022 | 0,006 | 0,005 | 0,030 | 0,030 | 1,300 | 0,121 |

3.2.4 Flödesdata, randvillkor och kalibrering

För kalibrering av modellen användes flödet vid bron 730 m uppströms Stämåns utlopp vilket uppmättes till 0,313 m³/s under fältbesöket. Som randvillkor nedströms användes en konstant vattennivå då denna vattenyta bestäms av regleringen vid Mörtsjöns utlopp. Vid fältbesöket uppmättes denna nivå till 22 cm över ett järnmärkemärke i berghällen. Efter 12:e maj får nivån i dammen ej överstiga järnmärkets höjdläge och vid låga flöden sommartid brukar nivån i Mörtsjön hållas runt 10-15 cm under märket enligt uppgifter från Axel von Stockenström². Enligt Engström & Wiström (1985) ligger högvattenståndet i Mörtsjön på 2,2 meter och lågvattenståndet på 0,4 meter över dammtröskeln. Utifrån dessa uppgifter ansattes nivåer i Mörtsjön vid olika flöden enligt tabell 2. Då vattenytan i Träskaten är okänd antogs som uppströms randvillkor normaldjup med en lutning på

² Axel von Stockenström; ägare Länna bruk. Intervju 13 maj 2015.

0,01 ‰ vilket motsvarar vattenytans lutning i de övre delarna av Stämån. Normaldjup är det djup som vattenytan i en kanal antar då bottenlutningen och lutningen på vattenytan är lika stora. Detta uppstår då kraften från gravitationen helt balanseras av friktionen mot kanalens väggar, vilket leder till att ingen acceleration av flödet förekommer.

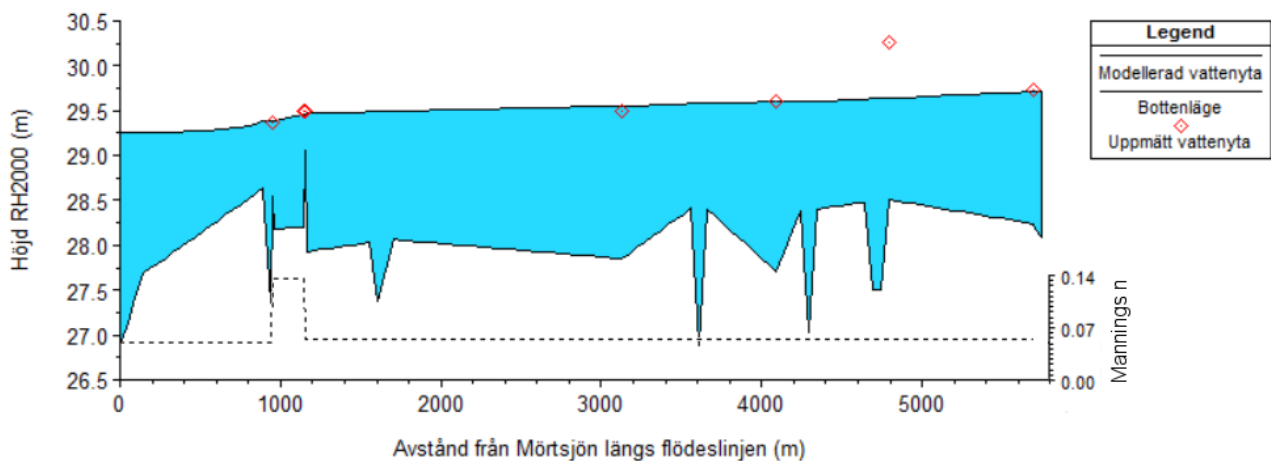
Tabell 2 visar flöden som användes vid kalibrering och simulering samt antagna nivåer i Mörtsjön. Utöver det uppmätta kalibreringsflödet användes även modellerade flöden enligt SMHI:s S-HYPE-modell (SMHI, 2015a) för Träskatens avrinningsområde. Då flödet enligt S-HYPE avviker från det uppmätta flödet vid fältbesöket användes en korrigeringsfaktor för att erhålla jämförbara flödesvärden. Korrigeringsfaktorn beräknades till 1,27 enligt ekvation 2. Samtliga flöden enligt S-HYPE korrigerades med denna faktor innan de användes för simulering med HEC-RAS-modellen. Vid prediktion av nivåer vid extremt låga flöden (LQ) användes ett medelvärde av flödena i september 2007 och 2013 vilka är år då låga nivåer observerats i Eklången.

$$k = \frac{Q_{fält}}{Q_{S-HYPE}} \quad (2)$$

Tabell 2. Flöden i Stämån samt nivåer i Mörtsjön som användes vid kalibrering och prediktering med HEC-RAS-modellen. SMHI Mod. avser SMHI:s modellerade flöden vid utloppet av Träskaten. De korrigerade flödena är korrigerade med faktorn som beräknats utifrån det uppmätta flödet i Stämån. LQ avser medelvärdet av septemberflödet år 2007 och 2013, MLQ är medellågvattnenföring, MQ är medelvattenföring och MHQ är medelhögvattnenföring för perioden 1981-2010

| | SMHI Mod. (m ³ /s) | Uppmätt (m ³ /s) | Vattenyta Mörtsjön (m.ö.h.) |
|----------------------|----------------------------------|---|--------------------------------|
| Fältbesök 2015-05-07 | 0,742 | 0,939 | 29,26 |
| | | Korrigerat (m³/s) | |
| LQ (sep 2007,2013) | 0,148 | 0,187 | 28,9 – 29,4 |
| MLQ | 0,22 | 0,28 | 28,89 |
| MQ | 0,59 | 0,75 | 29,04 |
| MHQ | 1,46 | 1,85 | 29,74 |

Kalibrering av modellen över Stämån gjordes genom anpassning av beräknade Mannings n för att erhålla en vattenyta motsvarande de djup som uppmättes vid fältbesöket. Djupmätningen cirka 3800 meter uppströms utloppet avvek från de övriga mätpunkterna varför denna försumrades vid kalibreringen (figur 6).



Figur 6. Profil av Stämån från Träskaten till Mörtsjön. Kalibrering av modellen utifrån uppmätta värden under fältbesök i maj. Flödet går från höger till vänster i figuren. Den vita ytan markerar åns bottenläge, blått är vattenytan, röda punkter markerar uppmätta djup och streckad linje visar Mannings n efter kalibrering.

3.3 Utvärdering av förändringar i Flättsjöns sänkingsföretag

Genom mailkontakt med Lars Nilsson, lantbrukare och delägare i Flättsjöns sänkingsföretag, skapades en uppfattning om hur företaget fungerar och sköts idag samt om det har skett några förändringar i området som skulle kunna orsaka de låga vattenstånd i Eklången. Dessutom studerades de gamla handlingarna från inrättandet av företaget och jämfördes till viss del med dagens förhållanden.

3.4 Statistisk analys av klimatförändringar i området

För att testa hypotesen att klimatet orsakar låga sommarvattenstånd analyserades klimatets förändring i avrinningsområdet och dess samband med lågvattenåren. Förändringar i vattenföringen (VF), grundvattennivåer (GV-nivå) samt vattenföringens samband med klimatförändringarna analyserades också för att undersöka hur klimatet i området har förändrats. Som mått på hur torrt klimatet har varit användes differensen mellan årlig nederbörd (P) och potentiell evapotranspiration (PE), P-PE. De låga vattennivåerna har rapporterats framförallt under den senare delen av sommaren varför månaderna juli, augusti och september användes i beräkningarna. För grundvattennivåer och vattenföringen användes årsmedelvärden samt medelvärden för månaderna juli, augusti och september. För vattenföringens förändring över tid och samband med klimatförändringar användes årsmedelvärden och för analys av vårflodens förändring användes det högsta uppmätta flödet i februari till maj.

PE beräknades med Thornthwaites ekvation enligt metoden beskriven av Shaw (1983, s. 263-264,273). Vid beräkningarna relaterade till soltimmar användes latituden 60° N. Meteorologisk data (nederbörd och temperatur) för perioden 1961-2013 hämtades via SMHI:s luftwebb med interpolerade klimatdata (SMHI, 2015b). Data hämtades för Eklångens position enligt Länsstyrelsernas vatteninformationssystem (VISS) (tabell 3). Vattenföringsdata för tidsperioden 1969-2014 hämtades via SMHI:s vattenwebb för mätningar vid stationen Acksjön nedre (tabell 3) (SMHI, 2015c). Grundvattendata för tidsperioden 1985-2014 hämtades från SGU:s databas för ett öppet magasin i ett inströmningsområde och ett slutet magasin i ett intermediärt område i närheten av Eklångens avrinningsområde (tabell 3) (SGU, 2015). Eklången, Acksjön nedre och grundvattenmagasinen ligger inom ett område med homogent klimat (SMHI, 2015d; SMHI, 2015e). Lågvattenåren bestämdes utifrån intervjuer^{3,4} och tidningsartiklar (Larsson, 2013; Österman, 2007a).

Tabell 3. Exakta positioner för Eklången, vattenföringsdatapunkt och grundvattenpunkter

³ Karin Södergren; tjänsteman vid Länsstyrelsen i Södermanlands län. Intervju 23 april 2015.

⁴ Björn Hallberg; pensionerad lantbrukare och boende vid Eklången. Intervju 7 maj 2015.

| Punkt | Koordinater | Referenssystem |
|--------------------------------------|---------------------------|----------------|
| Eklången | 1561164-6566203 | RT 90 |
| Acksjön nedre | 59°6, 1570'; 17°22, 6500' | WGS84 g/m |
| Öppet magasin i inströmningsområde | 6580033-596044 | SWEREF99 TM |
| Slutet magasin i intermediärt område | 6581847-596392 | SWEREF99 TM |

Klimatdata, vattenföringsdata och grundvattendata analyserades med regressionsanalys för att identifiera eventuella trender. Konfidensnivån (p-värdet) valdes till 0,05. Vattenföringsdatan logaritmerades till normalfördelning. Korrelationen mellan förändringar i klimatet och lågvattenåren gjordes kvalitativt i histogram.

3.5 Förändringar i markanvändning

För att undersöka eventuella förändringar i markanvändning i Eklångens avrinningsområde analyserades den ekonomiska kartan (EK) karterad 1957 från Lantmäteriet vilken jämfördes med Naturvårdsverkets Svensk Marktäckedata (SMD, 2000). SMD består av ett heltäckande raster med 58 olika markanvändningsklasser i upplösningen 25x25 m². EK består av ett flygfotografi där områden med jordbruk, betesmark, sjöar, bebyggelser samt viss infrastruktur finns markerat. EK georefererades och vektoriserades i QGIS samt ArcGIS varefter ett raster med upplösningen 25x25 m² skapades för att kunna jämföras med markanvändningen enligt SMD. Utifrån dessa båda dataset delades avrinningsområdet in i sex markanvändningsklasser enligt tabell 4. Förändringar i markanvändning analyserades sedan utifrån dessa sex klasser.

Tabell 4. Översättning av markanvändning från Naturvårdsverkets markanvändningskoder (SMD 8-bit kod) till de sex markanvändningsklasser som användes vid markanvändningsanalysen samt hur dessa områden klassificerades utifrån Ekonomiska kartan (EK)

| | Klassificering | SMD 2000 8-bit kod | EK 1957 |
|---|----------------|---------------------------|---|
| 1 | Bebyggelse | 3-6, 10, 14, 15, 20 | Utifrån hus och tomtgränser samt jämförelse mot SMD. |
| 2 | Skog | 19 ,40 ,41, 44-50, 54, 55 | Områden som ej föll inom övriga klasser. |
| 3 | Jordbruk | 30 | Områden markerade som åkermark. |
| 4 | Betesmark | 32 | Områden markerade som betesmark. |
| 5 | Våtmark | 70-72 | Visuellt utifrån flygfotografi samt jämförelse mot SMD. |
| 6 | Vatten | 81, 82 | Områden markerade som sjö. |

För att relatera olika markanvändningar till evapotranspiration användes metoden beskriven av Allen m.fl. (1998). Metoden går ut på att först uppskatta en referensevapotranspiration (ET₀) och sedan korrigera denna utifrån en grödfaktor (K_c) enligt ekvation 3. K_c-värdet för en viss markanvändning är en sammanslagning av flera karakteristika som påverkar ET. Hänsyn tas bland annat till rotutveckling, höjd, ytråhet, reflektion och marktäckning. K_c-värdena varierar över året för att ta hänsyn till olika utvecklingsstadier av växtligheten (Allen m.fl., 1998).

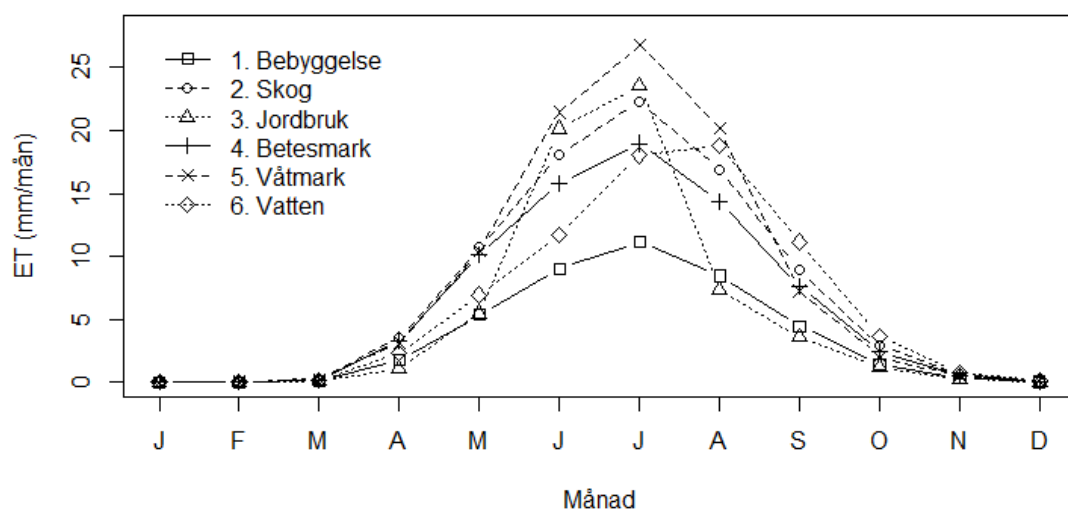
$$ET = ET_0 \cdot K_c \quad (3)$$

Den potentiella evapotranspirationen som beräknades i avsnitt 3.4 användes som uppskattning av ET_0 . Därefter bestämdes utvecklingsstadiernas längd och K_c -värden för de sex markanvändningsklasserna utifrån värden presenterade av Allen m.fl. (1998, tabell 11 och 12). Markanvändningsklassen bebyggelse saknade motsvarighet i data presenterade av Allen m.fl. (1998). K_c uppskattades här till 0,5 då en förhållandevis låg evapotranspiration är att förvänta i bebyggda områden med hårdgjorda ytor och takytor. I tabell 5 presenteras K_c -värden för samtliga markanvändningsklasser samt längd och start för de olika utvecklingsstadierna.

Tabell 5. Start (S) och längd (L_i) för utvecklingsstadier samt grödfaktor ($K_{c,i}$) för de sex markanvändningsklasserna. S anges som dag på året och L_i som periodens längd i dagar

| Klass | Tabell 11/12 (Allen m.fl., 1998) | S | L_{ini} | L_{dev} | L_{mid} | L_{late} | $K_{c,ini}$ | $K_{c,mid}$ | $K_{c,end}$ |
|--------------|--|-----|-----------|-----------|-----------|------------|-------------|-------------|-------------|
| 1 Bebyggelse | - | | | | | | 0,50 | 0,50 | 0,50 |
| 2 Skog | <i>Conifer trees</i> | | | | | | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| 3 Jordbruk | <i>Cereals</i> | 91 | 40 | 30 | 40 | 20 | 0,30 | 1,15 | 0,40 |
| 4 Betesmark | <i>Grazing pasture - Rotated grazing</i> | 60 | 10 | 20 | 60 | 20 | 0,40 | 0,95 | 0,85 |
| 5 Våtmark | <i>Reed swamp, moist soil</i> | 121 | 10 | 30 | 80 | 20 | 0,90 | 1,20 | 0,70 |
| 6 Vatten | <i>Open water >5m depth</i> | 91 | | | 91 | 61 | | 0,65 | 1,25 |

K_c -värdena enligt tabell 5 multiplicerades sedan med ett månatligt medelvärde av ET_0 för perioden 1999-2013 för att uppskatta en genomsnittlig evapotranspiration för respektive markanvändningsklass (figur 7). I figuren syns hur ET fördelas över året för de olika markanvändningarna. Jordbruk har exempelvis en hög ET under den brukade perioden men låg på hösten efter skörd medan områden klassade som vatten har förhållandevis hög ET under hösten då mycket energi finns lagrad i vattenmassorna (Allen m.fl., 1998).



Figur 7. Månadsvis evapotranspiration från de sex markanvändningsklasserna utifrån månatliga medelvärden på ET_0 för åren 1999-2013 och K_c -värden enligt tabell 5.

Den totala evapotranspirationen för markanvändningen år 1957 respektive 2000 beräknades utifrån arealerna ockuperade av respektive markanvändningsklass enligt ekvation 4 där A_i är arean för klass i och ET_i evapotranspirationen för samma klass.

$$ET_{tot} = \frac{A_1ET_1 + A_2ET_2 + A_3ET_3 + A_4ET_4 + A_5ET_5 + A_6ET_6}{A_{tot}} \quad (4)$$

4. Resultat

I detta avsnitt presenteras resultaten av de undersökningar som gjorts i området kring Eklången. Först redovisas vattenförings- och djupmätningar gjorda under fältbesöket. Modellresultaten har delats upp för att illustrera både effekterna av regleringen av Mörtsjön och effekterna av en ny tröskel i Stämån. Utvärderingen av Flättsjöns sänkingsföretag, den statistiska analysen av klimatet samt förändringar i markanvändning presenteras under respektive rubrik.

4.1 Vattenförings- och djupmätningar

Den beräknade vattenföringen vid fyra platser i systemet Eklången-Träskaten-Mörtsjön presenteras i tabell 6. Flödet i det norra inloppet var väldigt lågt ($0,0078 \text{ m}^3/\text{s}$) och har därför en stor osäkerhet.

Tabell 6. Vattenföringen på fyra olika platser i området beräknade utifrån uppmätt vattenhastighet och vattendragets tvärsnittsarea

| Plats | Vattenföring (m^3/s) |
|-------------------------|--|
| Inlopp Eklången (norr) | $0,0078 \pm 0,0048$ |
| Inlopp Eklången (söder) | $0,096 \pm 0,0162$ |
| Stämån | $0,939 \pm 0,117$ |
| Utlopp Mörtsjön | $1,269 \pm 0,189$ |

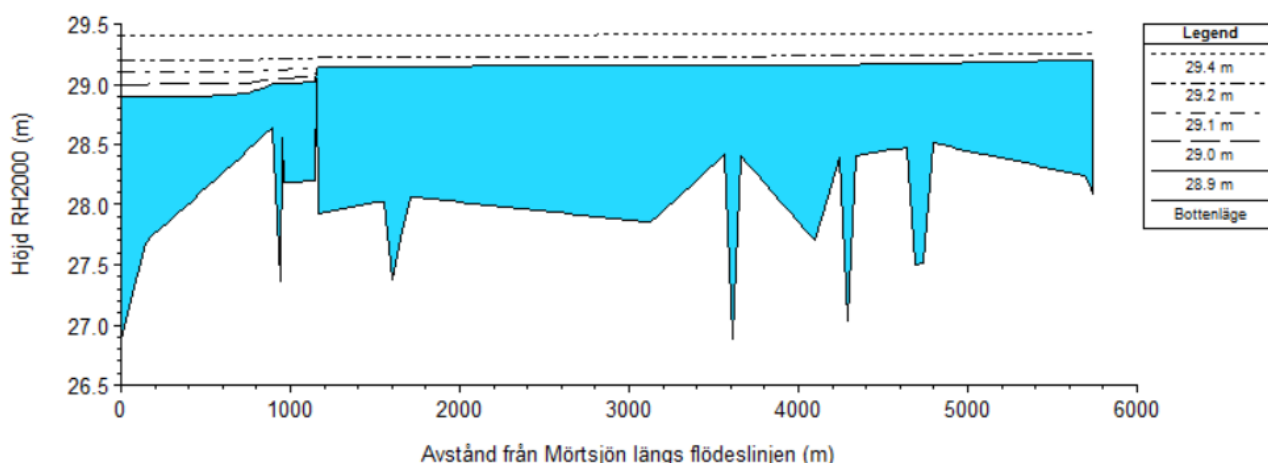
Djupmätningarna i sjösystemet (tabell 7) visar att Eklången är drygt fyra meter djup. Träskaten är grundare än Eklången. Stämån är i medeltal 1,5 meter djup.

Tabell 7. Resultat från djupmätningar utförda den 7 maj 2015. Position angiven som koordinater i SWEREF 99 TM

| | Koordinater SWEREF 99 TM | | Djup (m) |
|------------------|--------------------------|---------|----------|
| | X | Y | |
| Eklången | 600950 | 6567833 | 4,2 |
| | 602635 | 6567944 | 4,25 |
| | 604238 | 6567863 | 4,5 |
| | 604924 | 6568089 | 4 |
| Spångaån | 604805 | 6568511 | 1,6 |
| | 604782 | 6569118 | 1,3 |
| Träskaten | 604906 | 6569365 | 2,15 |
| | 605727 | 6569267 | 1,45 |
| Stämån | 605904 | 6569125 | 1,5 |
| | 606559 | 6569294 | 1,6 |
| | 606561 | 6569296 | 1,9 |
| | 607106 | 6569515 | 1,9 |
| | 607720 | 6569808 | 1,6 |
| | 607723 | 6569811 | 1,7 |
| Stentröskeln | 608430 | 6570343 | 0,45 |
| | 608438 | 6570348 | 1,3 |

4.2 Mörtsjöns reglering

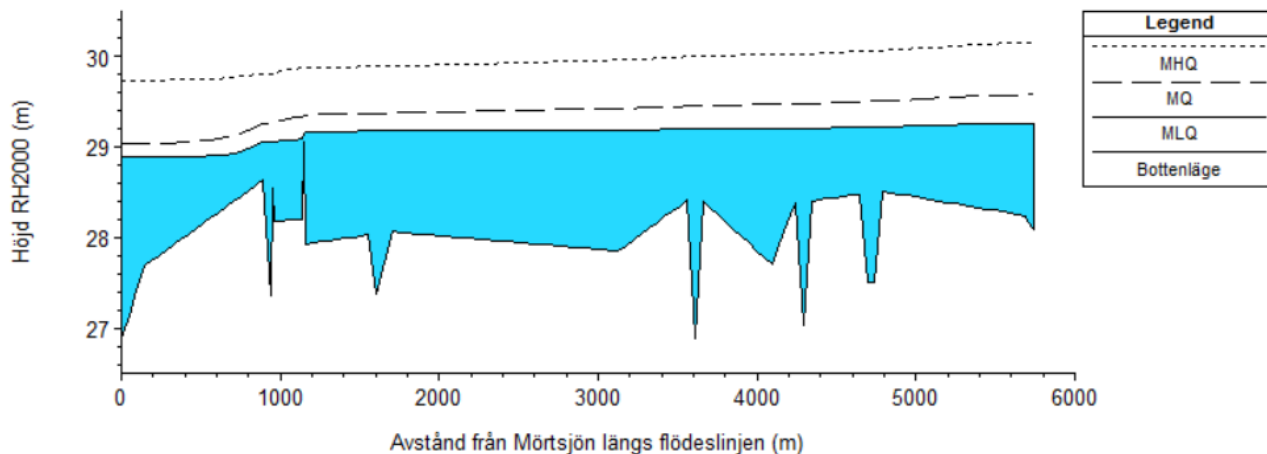
Figur 8 från flödesmodelleringen i HEC-RAS visar att en stentröskel en kilometer uppströms om Mörtsjön agerar som bestämmande sektion av Stämån vid lågvattenföring. Så länge vattenståndet i Mörtsjön är lägre än vattnets höjd vid tröskeln (cirka 29,1 m.ö.h.) kommer nivån på Eklången inte påverkas av regleringen nedströms. När vattenståndet i Mörtsjön ökar över tröskelns höjd fortplantar sig ökningen uppåt i systemet. En ökning av sjönivån från 29.2 till 29.4 m.ö.h. i modellen ger en ökning med 18 cm i Eklången.



Figur 8. Profil av Stämån från Träskaten till Mörtsjön vid olika regleringshöjder i Mörtsjön. Modellerade flödet är ett medelvärde av flödet i september år 2007 och 2013 (LQ) med riktning från höger till vänster i figuren. Heldragen svart linje med blå bakgrund visar vattenytans höjdläge vid normal regleringsnivå sommartid (28.9 m.ö.h.). Streckad, punktstreckad, dubbelpunktstreckad samt punktad linje visar förändrad regleringsnivå till 29,0; 29,1; 29,2 respektive 29,4 m.ö.h.

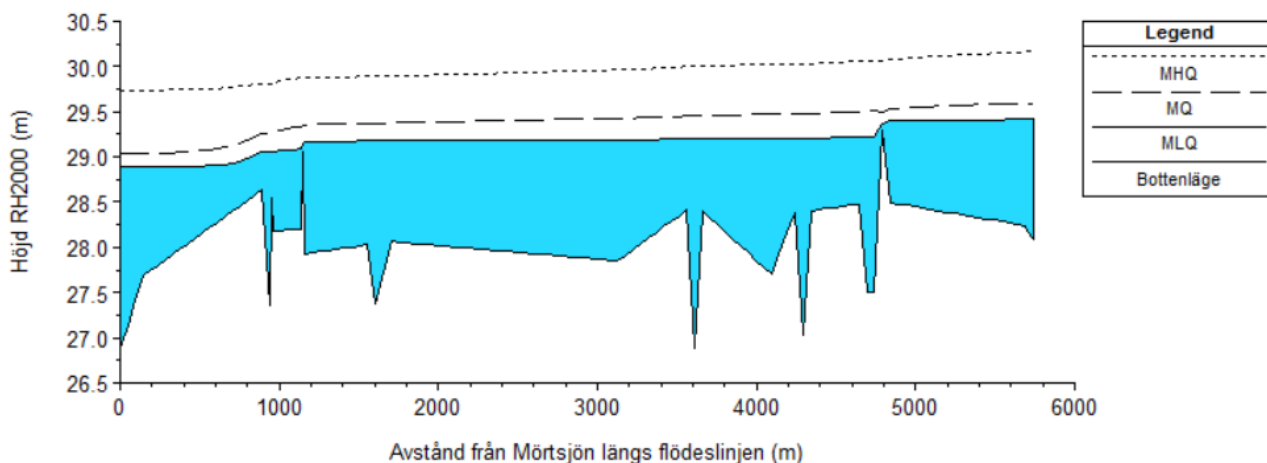
4.3 Effekter av ny tröskel nedströms Träskaten

Figur 9 visar resultatet av den hydrauliska modelleringen så som Stämån ser ut i dagsläget vid medellåg- (MLQ), medel (MQ) samt medelhögvattenföring (MHQ). De modellerade vattenstånden i Träskaten-Eklången uppgår till 29,26; 29,58 respektive 30,16 m.ö.h. vid MLQ, MQ respektive MHQ vilket ger en variation mellan hög- och lågvattenstånd på 0,9 m. Detta kan jämföras med handlingarna från rensningsföretaget år 1952 till 1955 där låg-, medel- och högvattenyta för år 1944 uppskattats till 29,25; 29,55 och 30,3 m.ö.h i Träskaten och Eklången (tabell 8).



Figur 9. Profil av Stämån från Träskaten till Mörtsjön. Flödet går från höger till vänster i figuren. Heldragen svart linje med blå bakgrund visar vattenytans höjdläge vid medellågvattenföring (MLQ), streckad linje vid medelvattenföring (MQ) och punktad linje medelhögvattenföring (MHQ).

Figur 10 visar effekten av att konstruera en 80 cm hög tröskel i Stämån en knapp kilometer nedströms Träskaten. Effekten av tröskeln var störst vid medellågvattenföring (MLQ) där vattenytan i Träskaten ökade med 15 cm. Vattenytan vid medelvattenföring (MQ) ökade med 2 cm och vattenytan vid medelhögvattenföring (MHQ) var oförändrad jämfört med resultaten från modelleringen utan tröskel.



Figur 10. Profil av Stämån från Träskaten till Mörtsjön med införandet av en 80 cm hög tröskel nedströms Träskaten. Flödet går från höger till vänster i figuren. Heldragen svart linje med blå bakgrund visar vattenytans höjdläge vid medellågvattenföring (MLQ), streckad linje vid medelvattenföring (MQ) och punktad linje medelhögvattenföring (MHQ).

Tabell 8. Nivåer i Träskaten (m.ö.h.) vid hög-, medel- och lågvattenstånd enligt handlingar från sänkingsföretaget samt HEC-RAS-modellen. Nivåer efter konstruktion av en ny tröskel samt förändringar finns också angivna

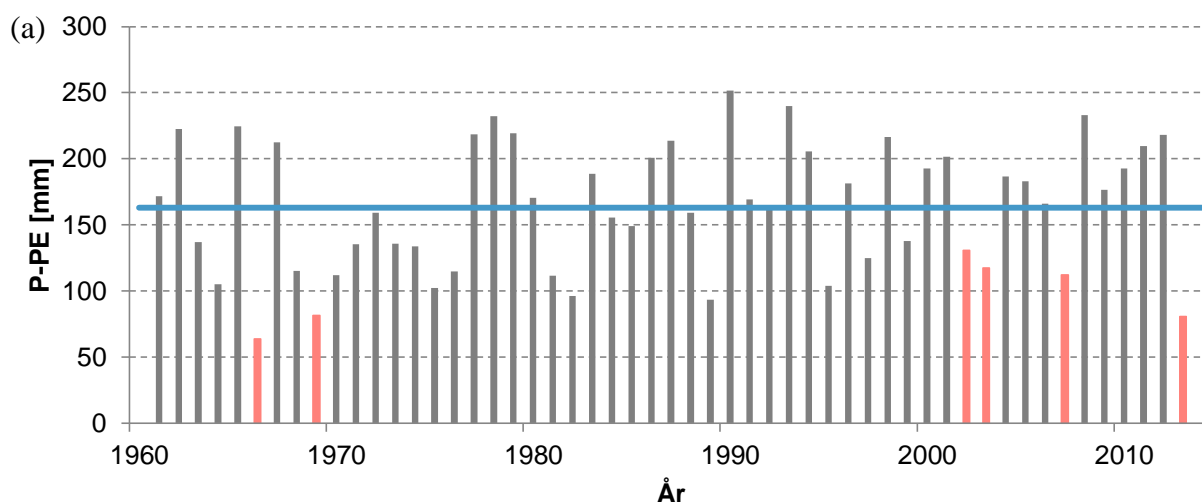
| | 1944 | Utan tröskel | Med tröskel | Förändring |
|------------|-------|--------------|-------------|------------|
| MLQ | 30,30 | 29,26 | 29,41 | +15 cm |
| MQ | 29,55 | 29,58 | 29,6 | +2 cm |
| MHQ | 29,25 | 30,16 | 30,16 | 0 |

4.4 Flättsjöns sänkingsföretag

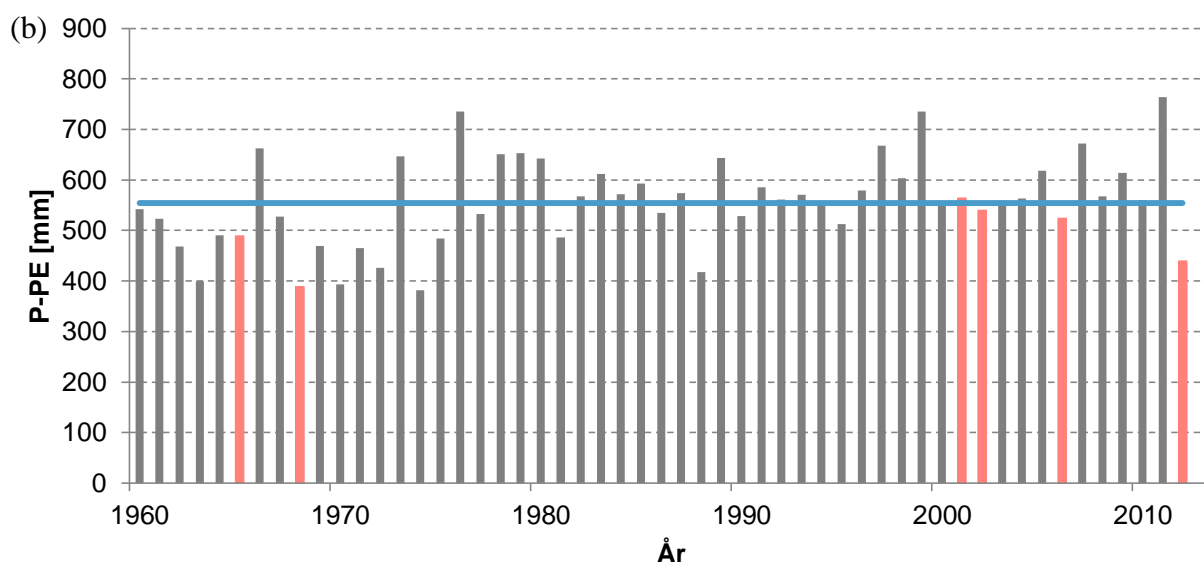
Enligt Lars Nilsson⁵ fungerar markavvattningen tillfredsställande med de rensningar och rivning av bäverdammar som utförs årligen i kanalsystemet. Underhållet sker löpande under året vid behov och lämpligt väder. Lars Nilsson nämner att vattenståndet i Eklången varierar ganska mycket beroende på nederbörd och snösmältning. Han säger även att det var några år sedan som det var riktigt högt vattenstånd, men att de senaste somrarna har varit torra. De låga nivåerna anser han dock stämma ganska väl överens med de nivåer som anges i handlingarna från inrättandet av rensningsföretaget Eklången-Träskaten-Mörtsjön på 1950-talet. Djupet som uppmättes under fältmätningarna vid vägtrumman nära Eklångens norra inlopp var cirka en meter. Detta motsvarar vad som benämns som normal högvattenyta i de gamla dikeshandlingarna.

4.5 Klimatet

De år med lågt vattenstånd i Eklången sammanfaller med låga värden för differensen mellan nederbörd och evapotranspiration i juli-september (P-PE) vilket framgår i figur 11 (a). Årsvärdena av P-PE är lägre än normalvärdet för nästan alla lågvattenår men jämförelsen i figur 11 (b) visar inte på lika låga P-PE relativt normalvärdet som i figur 11 (a).

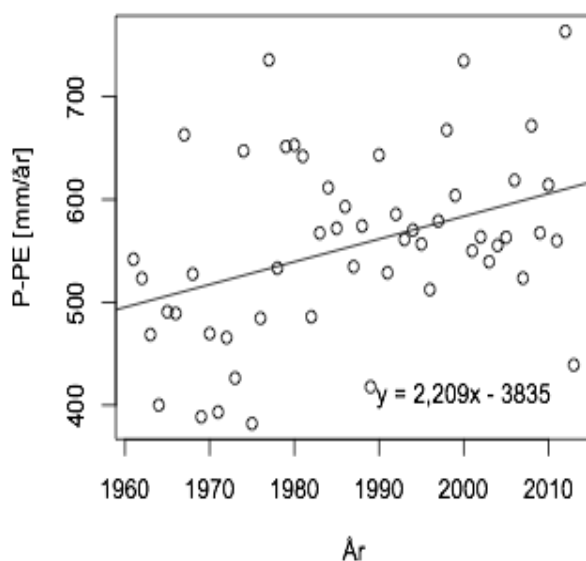


⁵ Lars Nilsson; lantbrukare och delägare i Flättsjöns sänkingsföretag. E-mail 1 maj 2015.



Figur 11. (a) P-PE för juli- september 1961 – 2013. (b) Totala årsvärden. Lågvattenåren infaller 1966, 1969, 2002, 2003, 2007 och 2013 och är markerade med rött. Normalvärdet för differensen är markerat med en horisontell linje.

Årsvärden av P-PE har ökat signifikant sedan 1961 med ett p-värde på 0,00454 (figur 12). Ingen trend kan påvisas för perioden juli - september. Variationen i vattenföringen förklaras till 30 % av årsvärdet för P-PE och p-värdet är $8,99 \cdot 10^{-5}$. Ingen signifikant trend har påvisats för vattenföringen eller grundvattennivåerna.



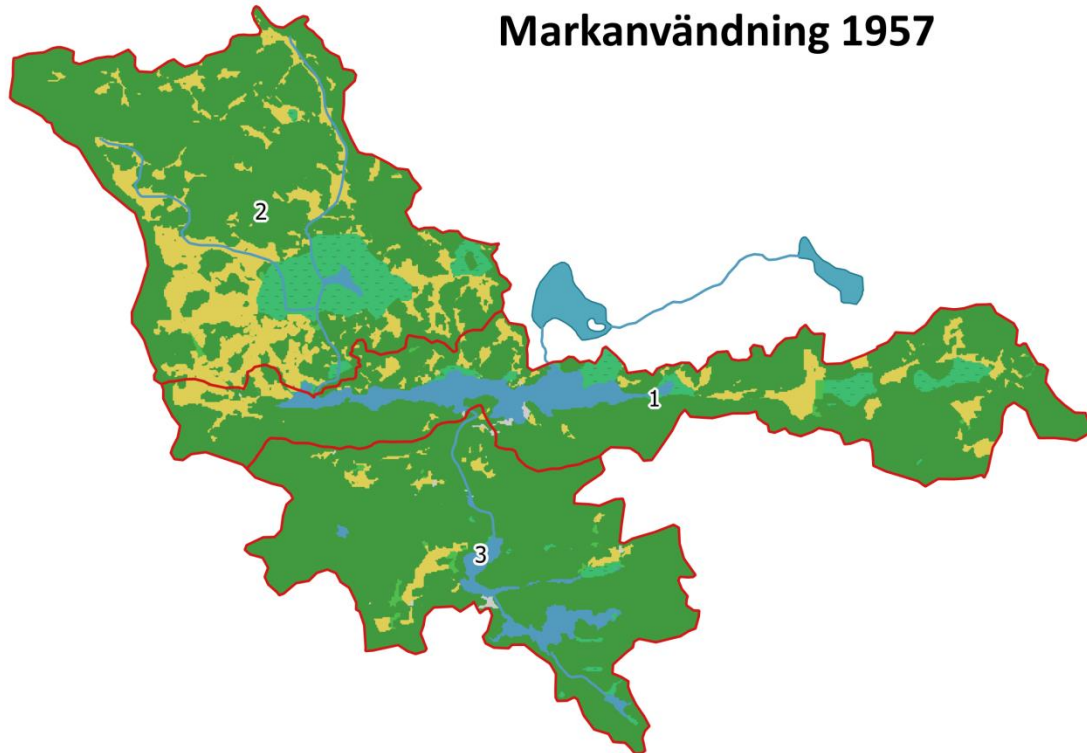
Figur 12. Differensen mellan P och PE för tidsperioden 1961-2013.

4.6 Förändring i markanvändning samt dess påverkan på evapotranspirationen

Figur 13 visar marktäcket i Eklångens avrinningsområde enligt 1957 års kartering jämfört med marktäcket år 2000. Visuellt syns att det i område 3 (södra avrinningsområdet) skett en övergång från jordbruk till skogsmark medan övriga områden i stort sett ser oförändrade ut.

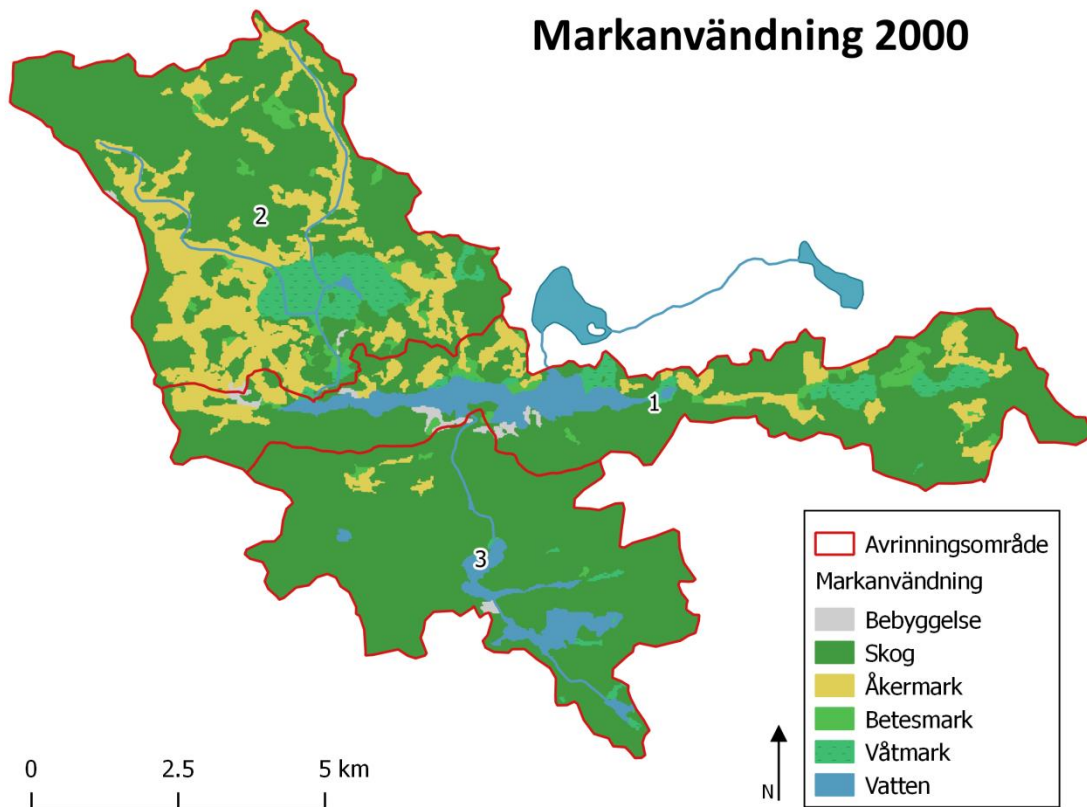
(a)

Markanvändning 1957



(b)

Markanvändning 2000



Figur 13. Karta över markanvändning år 1957 (a) jämfört med år 2000 (b). Röd markering visar gräns för avrinnings- och delavrinningsområden. (Bearbetad från Ekonomiska kartan (1957) och Lantmäteriets översiktskarta (2015) samt Sveriges avrinningsområden © SMHI)

Den största förändringen syns i arealen som används för jordbruk vilken har minskat med 2,4 procentenheter (tabell 9). Jordbruksmarken har framförallt omvandlats till betesmark eller skog vilka ökat med 1,7 procentenheter vardera. Ytandelen som utgörs av våtmarker och sjöar har minskat med 1,2 respektive 0,3 procentenheter. De största förändringarna syns i det södra delavrinningsområdet (figur 1, område 3) där ytandelen skog ökat och jordbruk minskat med 5,5 respektive 3,8 procentenheter. Utifrån dessa förändringar beräknas den årliga evapotranspirationen ha ökat med 0,12 % medan den månatliga evapotranspirationen under sommarmånaderna har minskat med 0,53 %.

Tabell 9. Förändringar i markanvändning mellan åren 1957 och 2000 i Eklångens avrinningsområde samt beräknad evapotranspiration utifrån ett medelvärde på ET_0 för åren 1999-2013

| Klass | 1957 | 2000 | Förändring |
|--------------------------|------|------|-----------------|
| 1 Bebyggelse (%) | 0,4 | 0,8 | + 0,4 |
| 2 Skog (%) | 72,2 | 74,0 | + 1,7 |
| 3 Jordbruk (%) | 15,5 | 13,1 | - 2,4 |
| 4 Betesmark (%) | 0,7 | 2,5 | + 1,7 |
| 5 Våtmark (%) | 6,1 | 4,9 | - 1,2 |
| 6 Vatten (%) | 5,1 | 4,8 | - 0,3 |
| ET (mm/år) | 80,7 | 80,8 | + 0,12 % |
| ET juni-augusti (mm/mån) | 18,8 | 18,7 | - 0,53 % |

5. Diskussion

Resultaten från den hydrologiska modellen visar att regleringen av Mörtsjön inte påverkar de låga sommarvattenstånden i Eklången på grund av att stentröskeln en kilometer uppströms utloppet till Mörtsjön utgör en bestämmande sektion vid lågvatten. Den bestämmande sektionen i modelleringsresultaten bekräftas av fältbesök då det var tydligt att vattnet strömmade betydligt mer vid stenströskeln än uppströms och nedströms. Enligt lokalboende ska även stenar bli synliga sommartid. Då sjönivån i Mörtsjön under sommaren normalt ligger under nivån för tröskeln innebär en ytterligare sänkning ingen skillnad för vattenståndet i Eklången. Skulle nivån däremot hållas uppe även under sommaren skulle vattenståndet i Eklången antagligen bli högre. Detta är dock inte förenligt med regleringsbestämmelserna som enligt gammal hävd innebär att vattennivån inte får överskrida ett järnmärke sommartid. Det har inte heller undersökts om en ökad nivå i Mörtsjön är praktiskt möjlig sommartid. Läckage i dammluckorna, evapotranspiration från Mörtsjön samt nödvändigheten att låta en del vatten passera för att förse vattendrag nedströms kan vara faktorer som gör det omöjligt att hålla vattennivån i Mörtsjön på den höjd som skulle krävas. Det finns även en risk att ett högre vattenstånd har en negativ inverkan på andra delar av systemet, så som längs med Stämån och runt naturskyddsområdet Bråtön.

Modelleringsresultaten i HEC-RAS kan anses tillförlitliga då de stämmer väl överens med lokalbefolkningens uppfattning om området samt höjdangivelser i rensningsföretaget. Kalibreringspunkterna, bortsett ifrån den borttagna punkten, sammanföll väl med varandra och kalibreringen bedömdes som trovärdig. Det bör dock tilläggas att det kan förekomma lokala variationer mellan tvärsnitten

vilket kan orsaka fel i representationen av vattenståndet. I stora delar av området går Stämån igenom våtmark med hög vegetation och åns dimensioner är där svårdefinierade. I modellen och rensningsföretaget är ån däremot väl definierad. Det finns en risk att flöden förekommer i området utanför den i HEC-RAS definierade kanalen vilket kan påverka flödet då effekten av kanalens slingrighet kan överskattas. I modellen förväntas heller inga flöden tillkomma Stämån från det närliggande området. Från fältbesök och flygfoton har det dock fastställts att några små tillflöden finns. Storleken på dessa är begränsad men skapar ändå en felkälla till modellen. Avrinningsområdet från Träskaten ner till inloppet i Mörtsjön bedöms utifrån SMHI:s webb för avrinningsområden (2015c) vara ungefär 630 ha stort. Som jämförelse är hela avrinningsområdet till utloppet av Träskaten cirka 8260 ha. Tillkomsten av flöde under sträckan Träskaten till Mörtsjön uppskattas således vara ungefär en tolfedel av det totala flödet och bedöms kunna försummas i modellen. Det bör också nämnas att Mannings n som är framtagen med Cowans metod gäller för kanalen. Stämån omges som nämns av vass och våtmark varigenom vattnet rinner och korrekturen för slingrighet, n_3 , kan ha överskattats. Mannings n användes som utgångspunkt vid kalibreringen av modellen i HEC-RAS och bedöms vara tillräckligt noggrant för ändamålet.

Det bedöms som osannolikt att det har skett några förändringar i Flättsjöns sänkningsföretag sedan dess inrättande, som skulle kunna påverka nivåerna i Eklången i någon större utsträckning. Lars Nilsson uppskattar de låga vattennivåerna som ganska väl överensstämmande med de låga nivåer som anges i handlingarna från inrättandet av rensningsföretaget på 1950-talet. Att markavvattningen dessutom fungerar tillfredsställande och att rensningar sker årligen tyder på att det inte finns någon anledning att tro att vattnet skulle hindras att nå Eklången genom dämning uppströms. Den djupmätning som gjordes nära Eklångens norra inlopp visar på normal högvattenyta enligt handlingarna från år 1944, vilket får anses som normalt för början av maj.

De klimatförändringar som kunnat påvisas i området de senaste decennierna visar på en svag förändring mot ett våtare klimat vilket inte kan förklara de låga sommarvattenstånden i Eklången. Varken grundvattennivåerna, vattenföringen eller differensen mellan nederbörd och evapotranspiration, P-PE, för juli-september har förändrats signifikant under de senare årtiondena och kan heller inte förklara de låga vattenstånden. Det bör dock nämnas att samtliga lågvattenår sammanfaller med låga värden av P-PE för juli-september och det är därför, som väntat, sannolikt att klimatet ändå påverkar vattenståndet under sommaren. Dessutom förklarar variationen i P-PE ungefär 30 % av variationen i vattenföringen. Av de statistiska analyserna var det bara regressionen mellan vattenföring och P-PE som visade på ett tydligt samband. Regressionerna av P-PE över tid hade p-värden nära 0,005 vilket innebär att sambandet mellan variablerna är relativt svagt. De klimatologiska data, temperatur och nederbörd, som använts i den här studien har hämtats för Eklångens exakta position. Vattenföringsdata och grundvattendata har hämtats från närliggande stationer vilket medför en osäkerhet i resultaten. De bedöms dock vara tillräckligt representativa då alla data var från ett område med ett homogent klimat. Vattendragens och magasinens utformning har också betydelse för variationen i data varför resultaten tolkas endast som en indikation på hur klimatet påverkar vattenföringen och vattenståndet i området.

Enligt analysen av markanvändningsförändringar har den årliga evapotranspirationen ökat mellan år 1957 och år 2000 medan det under sommarmånaderna ses en minskad evapotranspiration. Detta tros främst bero på en övergång från jord- till skogsbruk. Förändringarna är dock mycket små och kan inte förväntas påverka Eklångens vattenbalans nämnvärt. Det förekommer viss osäkerhet i metoden som användes för att ta fram marktäcket enligt den ekonomiska kartan från 1957 till följd av att våtmarker och bebyggelser inte finns markerade i kartan. Här gjordes en subjektiv bedömning utifrån flygfotografiet samt tomtgränser och hus vilket leder till en större osäkerhet i areaberäkningen för dessa markanvändningsklasser. Osäkerheter finns också i beräkningen av ET för respektive markanvändning till följd av att evapotranspirationsprocesser är mycket komplexa och svåra att

beräkna. Osäkerheterna bedöms dock inte påverka slutsatsen att förändrad markanvändning inte anses som en rimlig förklaring till lägre vattenstånd sommartid.

För att vidare undersöka orsaker till Eklångens låga sommarvattenstånd kan markanvändningen samt Flättsjöns sänkingsföretag utredas ytterligare. Förändringar i marknivåer till följd av odling, vattenförbrukning av de boende i området samt dämningar av bäver är ytterligare exempel på orsaker som kan utredas vidare. Övervakning av Eklångens sommarvattenstånd för att skapa mätdata-serier skulle underlätta framtida eventuella utredningar.

6. Slutsats

Utifrån denna studie är det möjligt att förkasta hypoteserna att ett förändrat klimat (Hypotes 3) eller förändringar i markanvändning (Hypotes 4) har orsakat de allt lägre nivåerna i Eklången som observerats under de senaste 30 åren. Det har dock setts att variationer i klimatet från år till år har en stark inverkan på vilka år extremt låga vattenstånd inträffar. Det bedöms även som osannolikt att förändringar i Flättsjöns sänkingsföretag som uppkommit efter dess inrättande (Hypotes 2) har påverkat nivåerna i Eklången. Utifrån den hydrologiska modelleringen av Stämån fanns att nivån i Träskaten och Eklången vid lågvattenföring styrs av en bestämmande sektion i form av en stentröskel cirka en kilometer uppströms Mörtsjön. Denna tröskels bottenläge är belägen runt 20 cm högre än den nivå som Mörtsjön normalt regleras till sommartid. Därför anses det osannolikt att brister i regleringen av Mörtsjön (Hypotes 1) har orsakat de låga nivåer som observerats. Det har dock setts att regleringen har effekt på nivåerna i Träskaten då nivån i Mörtsjön överskrider bottenläget för denna tröskel, men det har inte undersökts om en sådan regleringsstrategi är praktiskt möjlig. En annan åtgärd som har undersökts är att konstruera ytterligare en tröskel i Stämån, uppströms den nuvarande. En sådan tröskel skulle kunna höja lågvattenytan i Eklången med cirka 15 cm samtidigt som medel- och högvattenytan skulle hållas i stort sett oförändrade. Denna typ av lösning skulle enligt resultaten till viss del kunna avhjälpa de låga nivåerna sommartid samtidigt som avvattningen av jord- och skogsbruksmark vid högre flöden bibehålls. Den modellerade tröskeln är dock endast avsedd för att illustrera hur en tröskel kan tänkas förändra hydrologin i Träskaten och Eklången. Noggrannare undersökningar vad gäller både placering, höjdläge och utformning behövs för att kunna säkerställa att dämningen inte orsakar problem uppströms.

Referenser

- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. & Smith, M. 1998. Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements - FAO Irrigation and drainage paper 56. FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations Rome. ISBN 92-5-104219-5.
- Andreasson, J., Hellström, S.S., Rosberg, J. & Bergström, S. 2007. Översiktlig kartpresentation av klimatförändringarna påverkan på Sveriges Vattentillgång - underlag till klimat och sårbarhetsutredning. Hydrologi nr 106. Swedish Meteorological and Hydrological Institute, Norrköping.
- Arcement Jr, GJ. & Schneider, VR. 1989. Guide for selecting Manning's Roughness Coefficients for Natural Channels and Flood Plains. Water supply paper 2339. U.S Geological Survey.
- Blann, K.L., Anderson, J.L., Sands, G.R. & Vondracek, B. 2009. Effects of agricultural drainage on aquatic ecosystems: A review. Critical reviews in environmental science and technology, 39(11), 909-1001.
- Brunner, G.W. 2010. HEC-RAS, River Analysis System Hydraulic Reference Manual. Report CPD-69 . US Army Corps of Engineers Hydrologic Engineering Center (HEC).
- Dunn, S.M. & Mackay, R. 1995. Spatial variation in evapotranspiration and the influence of land use on catchment hydrology. Journal of Hydrology, 171, 49-73.
- Eklund D. 2008. Rationell produktion av detaljerad översvänningskartering. Institutionen för geovetenskaper, Uppsala Universitet.
- Engström, M. & Wiström, M. 1985. Råckstaåns reglering – Tillsyn och besiktning enligt vattenlagen. Examensarbete nr. 299. Institutionen för vattenbyggnad, KTH, Stockholm.
- Eskilstuna Kommun. 2015. Höjd- och Plansystem. Tillgänglig:
<http://eskilstuna.se/Global/SBF/Projektavdelningen/Teknisk%20Handbok/Projekteringsrutiner/H%C3%B6jd-%20Och%20Plansystem.pdf?epslanguage=sv> (2015-05-19)
- Fohrer, N., Haverkamp, S., Eckhardt, K. & Frede, H.-G. 2001. Hydrologic response to land use changes on the catchment scale. Physics and chemistry of the earth, Part B: Hydrology, oceans and atmosphere, 26(7-8), 577-582.
- Grip, H., & Rodhe, A. 2000, Vattnets väg från regn till bäck, Hallgren & Fallgren, Uppsala.
- Horrit, M.S. & Bates, P.D. 2002. Evaluation of 1D and 2D numerical models for predicting river flood inundation. Journal of Hydrology, 268, 87-99.
- Johansson, I., 2002. Vattennivåerna i Flättsjön höjs igen?. Sörmlandsbygden. 25 april.
- Kuusisto, E. 1996. Chapter 12 – Hydrological Measurements. I: Water Quality Monitoring - A Practical Guide to the Design and Implementation of Freshwater Quality Studies and Monitoring Programmes (red: J. Bartram and R. Balance). Tillgänglig:
http://www.who.int/water_sanitation_health/resourcesquality/wqmchap12.pdf (2015-05-12)
- Lantmäteriet. 1958. Ekonomisk karta, blad 10H2a – 10H5d, karteringsår: 1957. Skala: 1:10 000
Gävle: LMV

Lantmäteriet. 2014a. Produktbeskrivning: GSD-Fastighetskartan, Vektor. 2014-10-14 Version: 6.15. Gävle LMV. Tillgänglig: <https://maps.slu.se/get/> (2015-05-26)

Lantmäteriet, 2014b. Produktbeskrivning: Laserdata. Version: 1.7. Gävle: LMV. Tillgänglig: <https://maps.slu.se/get/> (2015-05-26)

Lantmäteriet, 2015. Produktbeskrivning: GSD-Översiktskartan vektor, GSD-Administrativ indelning 1:250 000, GSD-Höjdkurvor 25m. Version: 5.4, 2015-05-07. Gävle: LMV. Tillgänglig: <https://maps.slu.se/get/> (2015-05-26)

Larsson, P. 2013. Sjön Eklången blir allt grundare. Eskilstunakuriren. 24 september.

Länsstyrelsen, 2006. Bevarandeplan för Natura 2000-område Bråtön. Strängnäs Kommun, Södermanlands län. Länsstyrelsen Södermanlands län.

P4 Sörmland. 2004. "Rockstaåns avrinningsområde bör undersökas". 11 april. Tillgänglig: <http://sverigesradio.se/sida/artikel.aspx?programid=87&artikel=397989> (2015-04-22)

P4 Sörmland. 2005. "Naturskyddsföreningen svarar på kritiken kring misslyckat project". 7 april. Tillgänglig: <http://sverigesradio.se/sida/artikel.aspx?programid=87&artikel=590991> (2015-05-19)

SGU, 2015. Grundvattendata - Grundvattennivåer i tidsserier. Tillgänglig: <http://www.sgu.se/produkter/geologiska-data/oppna-data/grundvattendata-i-atomfloden/> (2015-05-25)

Shaw, E.M. 1983. Hydrology in practice. Van Nostrand Reinhold (UK), Wokingham, Berkshire, England.

SMD, 2000. Svenska Marktäckedata. Utgåva 1.2, Karteringsår: 2000. [Elektronisk]. Naturvårdsverket. Tillgänglig: <http://gis-services.metria.se/nvfeed/atom/annex2.xml> (2015-05-26)

SMHI. 2015a. Vattenwebb - Modelldata per område. Tillgänglig: <http://vattenwebb.smhi.se/modelarea/> (2015-05-21)

SMHI. 2015b. LuftWebb. Tillgänglig: <http://luftwebb.smhi.se/> (2015-05-17)

SMHI. 2015c. Vattenwebb - Mätningar. Mätningar. Tillgänglig: <http://vattenwebb.smhi.se/station/> (2015-05-20)

SMHI. 2015d. Kunskapsbanken – Södermanlands klimat. Tillgänglig: <http://www.smhi.se/kunskapsbanken/meteorologi/sodermanlands-klimat-1.4914> (2015-05-21)

SMHI. 2015e. Kunskapsbanken – Sveriges Klimat. Tillgänglig: <http://www.smhi.se/kunskapsbanken/klimat/sveriges-klimat-1.6867> (2015-05-21)

USACE. 2009. HEC-GeoRAS GIS Tools for support of HEC-RAS using ARC-GIS User's manual version 4.2. U.S. Army Corps of Engineers.

USACE. 2010. HEC-RAS River Analysis System User's manual version 4.1. U.S. Army Corps of Engineers.

USACE. 2015. About HEC. U.S. Army Corps of Engineers. Tillgänglig:
<http://www.hec.usace.army.mil/about/> (2015-05-19)

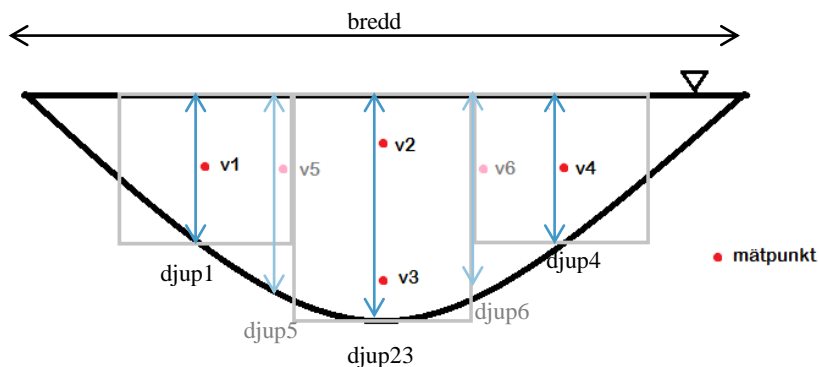
Österman, M. 2007a. Eklången håller på att tyna bort. 29 september.

Österman, M. 2007b. Bävrrar en förklaring till lågt vatten i Eklången. Eskilstunakuriren. 2 oktober.

Östlund, L. 2004. Möjliga åtgärder för att öka lågvattenföringen och förutsättningarna för havsöring (*Salmo trutta*) i Gråskaåns avrinningsområde. Examensarbete. Institutionen för markvetenskap, SLU, Uppsala

Bilagor

Bilaga 1. Fältmätningar av dikesdimensioner och vattenhastigheter



Figur 1. Skiss över dikeströvsnitt och vilka mätningar som gjordes. De röda punkterna är mätpunkter för vattenhastighet. Blå pilar är mätningar på djup. Svart pil är mätning på dikets bredd. Mätningarna v5, v6, djup5 och djup6 gjordes bara i norra inloppet till Eklången.

Tabell 1. Uppmätta dimensioner på diken i meter efter figur 1

| | bredd | djup1 | djup23 | djup4 | djup5 | djup6 |
|------------------------------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|
| Inlopp Eklången (norr) | 2,5 | 0,90 | 1,0 | 0,95 | 1,0 | 1,0 |
| Inlopp Eklången (söder) | 4,8 | 1,0 | 0,84 | 0,64 | | |
| Stämån (bron Vabro/Stämtorp) | 4,6 | 0,80 | 0,87 | 0,70 | | |
| Utlopp Mörtsjön | 5,4 | 0,50 | 0,80 | 0,60 | | |

Tabell 2. Uppmätta vattenhastigheter (m/s) efter figur 1

| | v1 | v2 | v3 | v4 | v5 | v6 |
|------------------------------|--------------|-------------|-------------|--------------|-------------|-------------|
| Inlopp Eklången (norr) | -0,002±0,005 | 0,019±0,004 | 0,021±0,004 | -0,002±0,003 | 0,004±0,003 | 0,005±0,003 |
| Inlopp Eklången (söder) | 0,026±0,006 | 0,054±0,004 | 0,042±0,006 | 0,001±0,003 | | |
| Stämån (bron Vabro/Stämtorp) | 0,280±0,049 | 0,459±0,031 | 0,202±0,062 | 0,415±0,029 | | |
| Utlopp Mörtsjön | 0,667±0,083 | 0,687±0,047 | 0,331±0,077 | 0,221±0,074 | | |