



UPPSALA  
UNIVERSITET

UPTEC W 21 042

Examensarbete 30 hp  
Augusti 2021

# Simulering av hydrauliska effekter av biotopvårdande åtgärder i Vitsåns avrinningsområde

---

Felix Johansson

## REFERAT

### Simulering av hydrauliska effekter av biotopvårdande åtgärder i Vitsåns avrinningsområde

*Felix Johansson*

En stor del av Sportfiskarnas arbete handlar om att återställa den ursprungliga morfologin i vattendrag efter påverkan av främst jordbruk. Sådana återställningar kan exempelvis göras genom att återföra rensat material i form av block och sten till vattendragen samt att rätade sträckor återmeandras. Syftet med sådana åtgärder är ofta att hålla kvar vattnet i landskapet och uppnå jämnare flöden i vattendragen, för att vårda eller bevara den naturliga biotopen. Inom det biotopvårdande arbetet utgörs en del av arbetet av att uppskatta de hydrauliska effekterna av aktuella åtgärder i vattendraget. I många scenarion tillämpas Mannings formel för att beräkna och uppskatta dessa effekter.

Det här projektet som utförs inom ramen för sportfiskarnas projekt *Hydrologisk restaurering av Södertörns avrinningsområden*, utreder vanliga biotopvårdande åtgärder och dess hydrauliska effekter genom upprättandet av hydrauliska flödesmodeller i HEC-RAS. De simulerade effekterna jämförs med beräknat resultat utifrån Mannings formel för att utreda värdet av upprättande av modell relativt de konventionella beräkningarna. Metodiken utgjordes av en mindre initial litteraturstudie följt av inmätningar av bottennivå och vattennivå i de aktuella flödessträckorna varpå flödesmodeller för respektive objekt upprättades. Flödessträckan i Hågaån utgjorde objektet för jämförelse mellan modell och konventionella beräkningar. Återmeandring visade sig vara den mest lämpade åtgärden för att erhålla en sänkt hastighet och ett ökat djup över en längre sträcka. Utplacering av sten i vattendraget kunde konstateras ha lokalt avgränsade effekter i form av ett mer turbulent flödestillstånd. Även ett ökat djup samt minskad hastighet kunde i varierande omfattning erhållas i sektioner med utplacerade stenar. De hydrauliska effekterna av den upprättade våtmarken speglas av en lokalt sänkt hastighet och minskat djup. Mannings formel visade sig generera mycket liknande resultat som modellen för åtgärden utplacering av sten. För återmeandring erhöles lite större skillnad i resultatet som troligtvis beror på felaktigheter i den geometriska beskrivningen av fårans tvärsnitt. Intressanta uppslag för fortsatta studier inom området är att jämföra resultat med inmätningar i fält efter utförd åtgärd samt att jämföra metoderna för fler olika objekt och scenarion.

## ABSTRACT

### **Simulation of hydraulic effects from biotope promotion measures within the catchment area of Vitsån**

*Felix Johansson*

A significant part of the work process at Sportfiskarna consists of restoring the original morphology of waterways after, mainly the influence of agriculture. Such restorations can be made, for example, by restructuring straightened waterways and it may also include replacing material, like blocks of stone, that has been removed from the waterways in the past. The purpose of such measures is often to retain the water in the landscape and achieve more moderate flow variations in the waterways to preserve and promote the natural biotope. This work includes estimating the hydraulic effects of intended measures in the waterways. In many scenarios, Manning's formula is applied to calculate and estimate these effects.

This study is performed within the context of the ongoing project, *Hydrological restoration of the catchment areas at Södertörn*, run by Sportfiskarna. Common measures and their hydraulic effects are investigated through the establishment of hydraulic flow models in HEC-RAS. The simulated effects are compared with calculated results from using Manning's formula to investigate the value of establishing a model compared to the conventional calculations. A minor initial literature study was performed followed by measurements of bottom- and water level in the investigated flow sections whereupon flow models for each object were established. Hågåån was chosen as the object for comparison between model and conventional calculations. Restructuring straightened waterways proved to be the most suitable measure to obtain a reduced speed and an increased depth over a longer distance. Replacing blocks of stone in the waterways could be observed to have locally delimited effects in the form of a more turbulent flow condition. Increased depth and reduced speed could also be obtained in the sections with replaced stones. The hydraulic effects of the established wetland are displayed in a locally reduced speed and reduced depth. Manning's formula proved to generate very similar results as the model for the replacement of stones measure. For restructuring straightened waterways, a slightly larger difference was obtained in the result which is probably due to inaccuracies in the geometric description of the cross section in the waterway. Suggestions for further studies are to compare results with measurements in the field after the measure has been performed and also to compare the methods for several different objects and scenarios.

## FÖRORD

Det här examensarbetet har utförts inom ramen för Sportfiskarnas projekt *Hydrologisk restaurering av Södertörns avrinningsområdet* och innebär slutet för mina studier på civilingenjörsprogrammet inom miljö och vattenteknik vid Uppsala universitet. Joel Cronander, ingenjör och projektledare på Sportfiskarna, har agerat handledare under projektet. Giuliano Di Baldassarre, professor inom hydrologi och miljöanalyser, har varit min ämnesgranskare och Erik Sahlée, universitetslektor vid institutionen för geovetenskaper, har varit min examinator.

Jag vill först och främst rikta ett stort tack till Joel Cronander som välkomnade mig att skriva mitt examensarbete för sportfiskarna. Han har väglett mig genom projektets tekniska svårigheter när det kommer till hydraulisk modellering och har även gett mig en värdefull inblick i Sportfiskarnas arbete. Jag vill också tacka Matilda Åkervall och Manfred Skog som i egenskap av projektledare för projektet på Södertörn har välkomnat mig och bidragit till att det här projektet har kunnat genomföras. Jag vill också rikta ett tack till Giuliano Di Baldassarre och Erik Sahlée i deras roll som ämnesgranskare respektive examinator.

Samtliga figurer i rapporten som är hämtade från externa källor är återpublicerade med tillstånd.

## POPULÄRVETENSKAPLIG SAMMANFATTNING

Många naturliga ekosystem och dess funktioner är idag präglade av diverse mänskliga aktiviteter. Människans avtryck i naturen är något som blir mer och mer påtagligt i takt med att befolkningen och exploateringen av mark och vatten ökar. Förlust av biologisk mångfald och kritiska förhållanden i många ekosystem är resultatet av ett ohållbart nyttjande av naturens resurser. Jordbruket är ett exempel på en sådan aktivitet som genom åtgärder för att förbättra förutsättningarna för att bruka marken har medfört negativa, i vissa fall katastrofala, konsekvenser för miljön. Effekterna av att på konstgjord väg dränera stora markområden, rätta vattendrag och diken i syfte att effektivt avleda vattnet samt användning av gödningsmedel innebär för jordbruket gynnsamma förhållanden. Men vad innebär det för miljön? Den effektiviserade dräneringen av stora markområden och i vattendragen innebär att vattnet avleds fortare än naturligt. Många vattendrag kan under torrare förhållanden därför torrläggas vilket är förödande för vattenlevande växter och djur. Den höga vattenhastigheten i rätade vattendrag intill näringsberikade markområden leder till en hög transport av näringsämnen och organiskt material vilket i många fall leder till övergödning av recipienter nedströms. Att vattnets uppehållstid i landskapet minskar eliminerar också många naturligt våta miljöer som utgör en viktig biotop för många djur och växter och därmed den biologiska mångfalden. Vattnets minskade uppehållstid i landskapet innebär också en reducerad grundvattenbildning vilket är en problematik som accelereras under inverkan av högre temperaturer till följd av klimatförändringar.

Arbetet som utförs av Sportfiskarna för att värna om livet under vattenytan utgörs till stor del av att återställa den naturliga miljön och dess viktiga funktioner efter påverkan av främst jordbruket. Vattenhushållande åtgärder i avrinningsområden och biotopvårdande åtgärder i vattendragen utförs idag intensivt för att motverka dessa negativa effekter. En del av detta heroiska arbete utgörs av att utvärdera vilka effekter en viss åtgärd ger upphov till för den aktuella platsen för arbetet. Vattnets hastighet och djup i vattendragen utgör två viktiga parametrar för att utvärdera vattendragets status och funktion. Beräkningar med Mannings formel är en vanligt använd metod för att uppskatta hur djupet och hastigheten i vattendraget förhåller sig till parametrar som lutning, friktion och geometri i vattendragets fåra. För att få en mer precis bild av hur biotopvårdsåtgärder påverkar vattendragens vattenhushållningsförmåga, näringsretention och uppströms mark behöver en mer utförlig och precis metod och/eller modell utvecklas.

I det här projektet utreds vanliga biotopvårdande åtgärder varpå flödesmodeller upprättas i programvaran HEC-RAS för två observerade flödessträckor i Vitsåns avrinningsområde. Modellerna utgör grunden för att simulera de hydrauliska effekterna av utvalda åtgärder. För den ena av flödessträckorna jämförs de simulerade effekterna med konventionella beräkningar med Mannings formel för att uppskatta värdet med upprättandet av modell. Detta projekt är utformat i hopp om att belysa de hydrauliska effekterna av några vanligt förekommande biotopvårdande åtgärder samt att åskådliggöra hur väl effekterna kan beskrivas med respektive metod. Återmeandring visade sig enligt modellresultatet vara den mest lämpade åtgärden för att erhålla en sänkt hastighet och ett ökat djup över en längre sträcka. Utplacering av sten i vattendraget kunde konstateras ha lokalt avgränsade effekter i form av ett mer turbulent

flödestillstånd. Även ett ökat djup samt minskad hastighet kunde i varierande omfattning erhållas i sektioner med utplacerade stenar. De hydrauliska effekterna av den upprättade våtmarken speglas av en lokalt sänkt hastighet och minskat djup. Resultatet indikerar också på att effekterna av utplacering av stenblock och även återmeandring, vid en noggrann geometrisk beskrivning, kan uppskattas med såväl modell som konventionella beräkningar. Intressanta uppslag för fortsatta studier inom området är att jämföra resultat med inmätningar i fält efter utförd åtgärd samt att jämföra metoderna för fler olika objekt och scenarion för att erhålla ett säkrare resultat.

## ORDLISTA

<i>Antropogen effekt</i>	Effekt orsakad av människan
<i>LONA</i>	Lokala naturvårdsatsningen – LONA-bidraget
<i>Återmeandring</i>	Återskapandet av ett vattendrags naturliga flödesväg
<i>HEC-RAS</i>	Hydrologic Engineering Center – River Analysis System
<i>GIS</i>	Geografiska informationssystem
<i>Batymetri</i>	Terrängens fysiska form under vattenytan
<i>Recipient</i>	Mottagaren

# INNEHÅLLSFÖRTECKNING

<b>1</b>	<b>INTRODUKTION.....</b>	<b>1</b>
1.1	SPORTFISKARNA .....	1
1.2	HYDROLOGISK RESTAURERING AV SÖDERTÖRNS AVRINNINGSOMRÅDEN.....	2
1.3	MÅL OCH SYFTE .....	3
1.4	FRÅGESTÄLLNINGAR.....	3
1.5	AVGRÄNSNING.....	3
<b>2</b>	<b>TEORI.....</b>	<b>4</b>
2.1	ANTROPOGENA EFFEKTER .....	4
2.2	BIOTOPVÅRD .....	5
2.3	VITSÅNS AVRINNINGSOMRÅDE.....	5
2.4	KONVENTIONELLA BERÄKNINGSMETODER .....	8
2.4.1	Mannings formel .....	8
2.5	HYDRAULISK MODELLERING .....	9
2.5.1	HEC-RAS.....	9
2.5.2	Osäkerheter vid hydraulisk modellering .....	12
<b>3</b>	<b>BAKGRUND .....</b>	<b>13</b>
3.1	BIOTOPVÅRDANDE ÅTGÄRDER .....	13
3.1.1	Lekgrus.....	13
3.1.2	Stenblock och död ved .....	14
3.1.3	Kantzoner .....	14
3.1.4	Återmeandring.....	15
3.1.5	Våtmark.....	15
<b>4</b>	<b>METOD.....</b>	<b>17</b>
4.1	LITTERATURSTUDIE .....	17
4.2	VAL AV ÅTGÄRDER .....	17
4.3	INMÄTNINGAR I FÄLT .....	18
4.4	OBSERVATIONER I FÄLT .....	19
4.5	MODELLERING .....	19
4.5.1	GIS .....	20
4.5.2	HEC-RAS.....	21
4.5.3	Kalibrering av modell.....	22
4.6	KONVENTIONELLA BERÄKNINGAR .....	24
4.7	ÅTERSPEGLING AV ÅTGÄRDER I MODELL.....	26
<b>5</b>	<b>RESULTAT .....</b>	<b>29</b>
5.1	SIMULERINGAR HÅGAÅN .....	29



5.1.1	Kalibrering .....	31
5.1.2	Modellresultat.....	32
5.2	SIMULERINGAR ROCKLÖSAÅN .....	36
5.2.1	Kalibrering .....	38
5.2.2	Modellresultat.....	39
5.3	KONVENTIONELLA BERÄKNINGAR - HÅGAÅN.....	43
5.3.1	Uppskattning av Mannings skrovlighetskoefficient.....	43
5.3.2	Mannings formel .....	44
<b>6</b>	<b>DISKUSSION .....</b>	<b>46</b>
6.1	HÅGAÅN .....	46
6.2	ROCKLÖSAÅN.....	47
6.3	KONVENTIONELLA BERÄKNINGAR FÖR HÅGAÅN .....	48
6.4	FORTSATTA STUDIER.....	50
<b>7</b>	<b>SLUTSATSER.....</b>	<b>51</b>
<b>8</b>	<b>REFERENSER.....</b>	<b>52</b>
<b>9</b>	<b>APPENDIX .....</b>	<b>54</b>

# 1 INTRODUKTION

Många av Sveriges vattendrag har påverkats fysiskt genom rätning, rensning och fördjupning. Detta har ofta skett med syfte att förbättra förutsättningarna för jordbruk. Antalet jordbruksföretag i Sverige idag har mer eller mindre halverats sedan 1970-talet. Jordbruksföretagen i dagens Sverige brukar däremot en större mängd jordbruksareal än tidigare (Jordbruksverket 2017). Det småskaliga jordbruket i Sverige har alltså minskat och därmed också behovet av att använda vattendrag i syfte att dränera jordbruksmark.

En stor del av Sportfiskarnas arbete handlar om att återställa vattendragens ursprungliga morfologi efter påverkan av främst jordbruk. Sådana återställningar innebär ofta att rensat material i form av block och sten återförs till vattendragen samt att rätade sträckor återmeandras. Sådana åtgärder kallas ofta för *biotopvård*.

En ofta önskvärd effekt av biotopvård är att vattnets hastighet bromsas genom att friktionen från botten ökar. Idag används mestadels schablonmässiga beräkningar för att uppskatta effekter och påverkansområde av biotopvård. Mannings formel används vid flödesberäkningar i ett ”öppet dike” där Mannings skrovlighetskoefficient ( $n$ ) regleras för att beskriva strömningsförlusterna i vattendraget. Exempelvis väljs ett större värde för  $n$  efter tillförsel av stenblock och stockar till vattendraget då dessa minskar vattnets framfart. Mannings skrovlighetskoefficient kan uppskattas genom observationer i det relevanta vattendraget samt nyttjande av tabeller som beskriver de observerade parametrarnas bidrag till koefficienten.

För att få en mer precis bild av hur biotopvårdsåtgärder påverkar vattendragens vattenhushållningsförmåga, näringsretention och uppströms mark behöver en mer utförlig och precis metod och- eller modell utvecklas. Att studera olika analytiska verktyg och metoder som beskriver de hydrologiska och hydrauliska effekterna av biotopvård är därför nödvändigt.

Detta projekt kommer att utföras inom ramen för Sportfiskarnas projekt ”*Hydrologisk restaurering av Södertörns avrinningsområden*”.

## 1.1 SPORTFISKARNA

Sveriges Sportfiske- och Fiskevårdsförbund, även kända som Sportfiskarna, är en ideell organisation som värnar om livet under vattenytan. Sedan år 1919 har Sportfiskarna arbetat för rena vatten med friska fiskbestånd för att bibehålla ett bra fiske i svenska vatten (Sveriges Sportfiske- och Fiskevårdsförbund 2015). Ett bra fiske är inte endast nödvändigt ur aspekten att stimulera utövarna av Sveriges största fritidsaktivitet, sportfisket, utan ett bra fiske till följd av friska fiskebestånd är också en indikator på ett välmående ekosystem.

## 1.2 HYDROLOGISK RESTAURERING AV SÖDERTÖRNS AVRINNINGSOMRÅDEN

Projektet ”Hydrologisk restaurering av Södertörns avrinningsområden” är ett treårigt LONA-projekt med Södertälje kommun som huvudman och Sportfiskarna som projektledare. I projektets styrgrupp ingår även Haninge, Nynäshamn och Botkyrka kommuner som också bistår med medfinansiering. Avrinningsområdena som omfattas av projektet präglas i hög grad av antropogen påverkan. Effekter av detta visar sig bland annat i form av onaturliga flödesvariationer, förlust av biologisk mångfald, hög partikeltransport och övergödning i recipienten.

Enligt Sportfiskarnas projektplan (Sveriges Sportfiske- och Fiskevårdsförbund 2018) som ligger till grund för ansökan av LONA-bidraget definieras projektets mål enligt följande:

”Det långsiktiga målet är att få till stånd praktiska restaureringsåtgärder som bidrar till att de berörda avrinningsområdena uppnår god ekologisk status enligt EU:s ramdirektiv för vatten. Fokus kommer att ligga på att hitta vattenhushållande åtgärder som återställning av strömsträckor, platser lämpliga för våtmarker, etablering av kantzoner och återmeandringar av vattendrag. Åtgärder med positiva synergieffekter kommer att premieras, till exempel vad gäller närsaltreduktion och biologisk mångfald. Projektet ska stärka fiskbestånden och den biologiska mångfalden i avrinningsområdena och i Östersjön. Starka fiskbestånd bidrar till möjligheter för landsbygdsutveckling i form av företagsmöjligheter inom turismen till exempel stuguthyrning och guideverksamhet.”

Projektets syfte är att samla kunskap i form av avrinningsområdesspecifika åtgärdsplaner och ta fram åtgärdsförslag för att stärka hydrologiska och ekologiska funktioner i Södertörns avrinningsområden. Projektet ska också ligga till grund för ett effektivt genomförande av sådana åtgärder samt skapa en positiv anda och öka kunskapsnivån hos berörda markägare.

En del av detta projekt kommer att utgöras av att utreda vilka åtgärder som är lämpliga att utföra inom de relevanta avrinningsområdena. Det arbetet innefattas av att utreda vilka specifika hydrologiska och hydrauliska effekter en viss åtgärd i avrinningsområdet ger upphov till.

### 1.3 MÅL OCH SYFTE

Syftet med detta projekt är att genom modellering i HEC-RAS, utreda och jämföra de hydrauliska effekterna av biotopvårdande åtgärder i vattendrag. Därefter jämföra simuleringar med konventionella beräkningar för att utvärdera skillnaden. Målet med projektet är således att klargöra de olika åtgärdernas nytta med avseende på vattnets hydrauliska egenskaper samt att utreda om metodiken för att förutspå dessa effekter inom biotopvårdsarbetet kan optimeras.

### 1.4 FRÅGESTÄLLNINGAR

- Vilka är de vanligast förekommande biotopvårdande åtgärderna i vattendrag i Sverige och i vilket syfte görs dessa åtgärder?
- Hur skiljer sig de hydrauliska effekterna av respektive åtgärd utifrån simuleringar med upprättad hydraulisk flödesmodell i HEC-RAS?
- Är upprättandet av modell fördelaktigt för att förutspå effekter inom biotopvårdsarbetet i jämförelse med konventionella beräkningar med Mannings formel?

### 1.5 AVGRÄNSNING

Det berörda området Södertörn i Sportfiskarnas projekt *Hydrologisk restaurering av Södertörns avrinningsområden* består utav flera avrinningsområden med ett flertal vattendrag inom respektive avrinningsområde. För att arbetet i denna studie ska kunna utföras med noggrannhet samt inte överskrida den givna tidsramen kommer fokus att ligga på två sträckor i olika vattendrag inom Vitsåns avrinningsområde som utgör ett av Södertörns avrinningsområden.

Sportfiskarnas projekt är först och främst ett kunskapsgrundande och utredande projekt för att fastställa vilka åtgärder de olika områdena är i behov av samt vilka effekterna skulle bli av dessa åtgärder. En viss osäkerhet råder därför kring när, var och vilka åtgärder som kommer att utföras inom området. Inom denna studie kommer därför fokus ligga på att jämföra resultatet från olika simuleringar och teoretiskt diskutera och utvärdera resultatets precision och metodens användarvänlighet. Att jämföra resultatet från simuleringar med inmätt data i fält efter utförd åtgärd lämnas vidare för framtida studier.

## 2 TEORI

### 2.1 ANTROPOGENA EFFEKTER

Många av Sveriges vattendrag har påverkats fysiskt genom rätning, rensning och fördjupning. Detta har ofta skett med syfte att förbättra förutsättningarna för jordbruk genom att maximera vattendragens förmåga att transportera bort vatten. Antalet jordbruksföretag i Sverige idag har mer eller mindre halverats sedan 1970-talet. Jordbruksföretagen i dagens Sverige brukar däremot en större mängd jordbruksareal än tidigare (Jordbruksverket 2017). Det småskaliga jordbruket i Sverige har alltså minskat och därmed har också behovet av att använda vattendrag i syfte att dränera jordbruksmark minskat. Dessutom har förståelsen ökat kring hur sådana förändringar av vattendragets hydrauliska egenskaper påverkar flora och fauna och därmed den biologiska mångfalden.

En vanlig effekt av sådan påverkan i vattendrag är onaturliga flödesvariationer. Detta beror på att vattendragets förmåga att transportera bort vatten har maximerats. Vatten som tillförs till avrinningsområdet i form av nederbörd når så småningom vattendraget genom transport i marken samt ytavrinning. Ett vattendrag som blivit utsatt för rätning, rensning och fördjupning kommer transportera bort det inkommande vattnet fort varpå vattendraget efter det rikliga flödet riskerar att bli torrlagt under perioder utan nederbörd. När det gäller jordbrukslandskap är marken dessutom ofta dränerad för att bli av med överflödigt vatten. Detta förhindrar den fördröjning av vattentransporten som vanligtvis sker naturligt när vattnet får infiltrera och transporteras under långsammare förhållanden i marken. Effekten av att påskynda vattentransporten från mark till vattendrag och dessutom i själva vattendraget kan bli förödande för livet i vattendraget och även i recipienten. Dessutom råder oklarheter kring om effekter på flora och fauna av förändrade flödesvariationer är reversibla, vilket åskådliggör allvaret av sådan påverkan (Naturvårdsverket 2003).

Utöver problematiken med flödesvariationer främjar den höga flödes hastigheten en hög partikeltransport. *Ekvation 1* nedan visar ett förenklat samband mellan mängd sediment, partikelstorlek, vattenflöde och lutning enligt (Degerman 2008).

$$\text{Mängd sediment} \times \text{Partikelstorlek} = \text{Vattenflöde} \times \text{Lutning} \quad (1)$$

Ett större vattenflöde ger således upphov till att en större mängd sediment kan transporteras med vattnet. Det kan också konstateras att en stor lutning samt en liten partikelstorlek också gagnar transporten av sediment. Att närsalter och organiskt material inte får möjlighet att sedimentera under det höga flödet kan ge upphov till problematik i recipienten. En stor mängd organiskt material och näringsämnen kan orsaka problem i form av minskat siktdjup, övergödning och ökad syrgasförbrukning (Andersson & Isaksson 2010). Dessutom kan en hög turbiditet i ytvatten begränsa ljusets framkomlighet och resultera i en ökad värmeabsorption (Dharmappa et al. 1995).

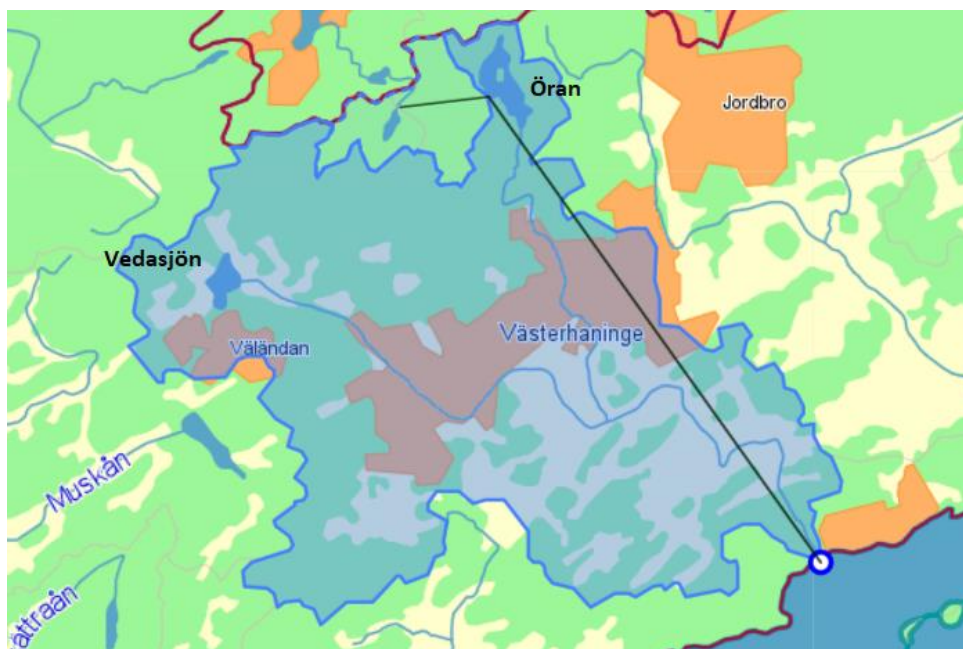
## 2.2 BIOTOPVÅRD

En biotop definieras som en typ av miljö där en viss flora och fauna hör hemma. Egenskaper hos den specifika biotopen styr vilken flora och fauna som lever i just den miljön. En biotop kan exempelvis vara en barrskog eller en insjö. Biotoper kan variera i storlek beroende på hur stor den specifika miljön är som gynnar en viss flora och fauna. Det kan röra sig om en strandzon intill en sjö men kan också röra sig om ett stort skogsområde eller en äng. En stor variation av biotoper är nödvändigt för att upprätthålla en biologisk mångfald och för att bevara de naturliga ekosystemens funktioner och tjänster (Havs- och Vattenmyndigheten 2017).

Biotopvård innebär per definition att genom vissa åtgärder vårda den naturliga biotopen. Biotopvård är på så vis ett brett begrepp som inkluderar många möjliga biotoper och åtgärder.

## 2.3 VITSÅNS AVRINNINGSSOMRÅDE

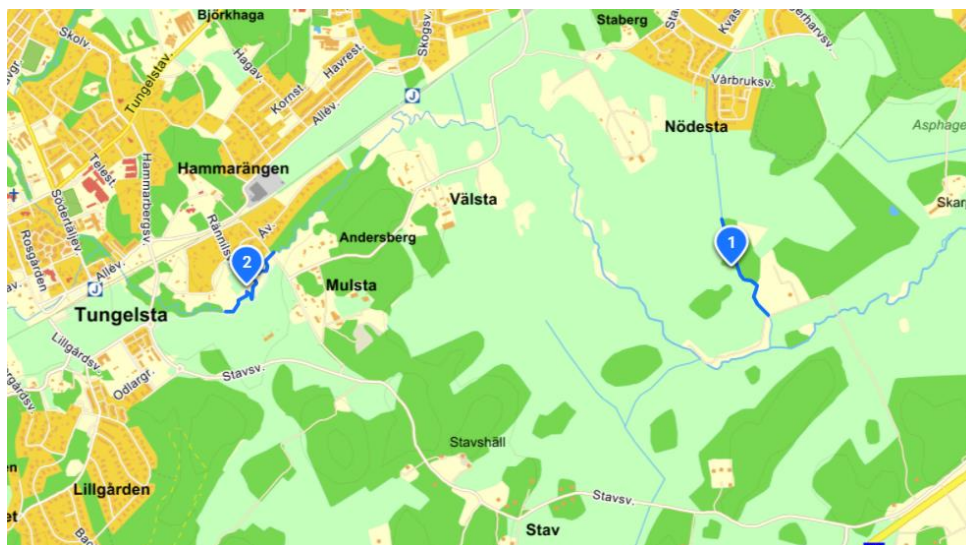
Vitsån är lokaliserad i Haninge kommun i södra Stockholm. Ån avvattnar den sydöstra delen av Haninge kommun och utgörs av två huvudflöden. De två huvudflödena är Rocklösaån och Hågaån. Rocklösaån börjar uppströms vid Vedasjön och Hågaån tar sin början uppströms vid sjön Öran. Flödena rinner samman strax söder om Nödesta varpå vattendraget slutligen mynnar ut i Horsfjärden strax söder om Årsta havsbad (se figur 1).



*Figur 1. Blått område i bild utgör Vitsåns avrinningsområde. Bilden är hämtad från SMHI:s vattenwebb (SMHI 2020)*

Avrinningsområdet utgörs till största del av skogsmark (56,96%), jordbruksmark (16,93%) samt tätort (12,78%). Kväve- och fosforbelastningen i området utgörs främst av enskilda avlopp och Fors Avloppsreningsanläggning som är lokaliserad intill Hågaån

strax uppströms punkten där Hågaån rinner samman med Rocklösaån (SMHI 2020). De två relevanta flödessträckorna i avrinningsområdet som utgör objekten för inmätning visas i figur 2.



**Figur 2.** Markerade flödessträckor som utgör objekten för inmätning. Bilden är hämtad från Eniro karttjänst (Eniro 2017).

Första flödessträckan (objekt 1) är en del av Hågaån som i Sportfiskarnas rapport *Fiskevårdsförslag i Vitsån* benämns som delsträcka 4 (Kärki 2018). Sträckan är lokaliserad strax uppströms om punkten där Hågaån rinner samman med Rocklösaån. Siktdjupet är mycket litet till följd av vattnets bruna karaktär. Kantzonerna intill ån är branta och utgörs av växtlighet i form av gräs, vass och till viss del buskage (se figur 3).



**Figur 3.** Foto av det relevanta objektet i Hågaån (objekt 1) och dess omgivning.

Omgivningen kring objekt 1 består huvudsakligen av grusvägar, åkermark och ett avloppsreningsverk. Botten i denna flödessträcka präglas av berg samt lera. Vattendraget har tidigare slingrat sig fram mellan åkermarken och reningsverket vilket

avslöjas av de kvarvarande meanderbågarna intill den nuvarande rätade fåran. Relevanta åtgärder som utreds för denna flödessträcka är framför allt att öppna upp de kvarvarande meanderbågarna för att återfå ett meandrande vattenflöde. Tillförsel av stenblock och lekgrus till förmån för öring samt restaurering av kantzoner är också åtgärder som utreds för denna sträcka. Avloppsreningsverket släpper ut sitt renade vatten strax nedströms om sträckan som är relevant för återmeandring. Detta flöde tas därför inte i beaktning för utredningen gällande återmeandring men kommer troligtvis utredas närmare av Sportfiskarna för att söka svar på huruvida vattenkvaliteten påverkas av utsläppen av framför allt fosfor och kväve från reningsverket.

Den andra flödessträckan (objekt 2) utgör en del av Rocklösaån och är lokaliserad mellan Mulsta och Tungelsta där ån meandrar fram parallellt med en gångbana. Denna sträcka benämns som delsträcka 3 i rapporten *Fiskevårdsförslag för Vitsån* (Kärki 2018). Bottensubstratet i sträckan utgörs framför allt av lera och till viss del sand. Det kraftigt brunfärgade vattnet ger upphov till ett mycket litet siktdjup. Den omkringliggande gräsbevuxna marken är relativt låg och flack med avsaknad av riklig växtlighet. Vattendragets skrala kantzoner utgörs endast av ett fåtal träd som överskuggar vattnet (se figur 4).



*Figur 4. Foto av det relevanta objektet i Rocklösaån (objekt 2) och dess omgivning.*

I denna sträcka utreds främst möjligheterna kring anläggning av våtmark för förbättring av vattenkvaliteten. Det flacka omgivande landskapet utgör bra förutsättningar för anläggning av våtmark. Precis som för objekt 1 utreds även här möjligheterna kring förbättring av kantzoner och utplacering av stenblock och lekgrus till förmån för öringen.



## 2.4 KONVENTIONELLA BERÄKNINGSMETODER

Att räkna på vattnets hydrauliska egenskaper kan göras med många olika formler och metoder. Nyttjandet av Mannings formel är en vanligt använd metod för att räkna på flöde i ett öppet dike eller vattendrag. Det är också främst denna formel som nyttjas vid analys av hydrauliska parametrar i vattendrag inom biotopvårdsarbetet. Med kunskap om parametrar som vattenflöde, lutning och partikelstorlekar kan även partikel- eller sedimenttransport uppskattas.

### 2.4.1 Mannings formel

Mannings formel används generellt för flödesberäkningar i kanaler och öppna diken. Formeln kan nyttjas för att beräkna vattnets hastighet, flöde eller lutning. Vid beräkning av flöde kan formeln skrivas enligt ekvation 2 nedan (Persson et al. 2014).

$$Q = AMR^{\frac{2}{3}}\sqrt{S} \quad (2)$$

Där

$R = \frac{A}{p}$ , är den hydrauliska radien [m]

$M = \frac{1}{n}$ , är Mannings tal [ $m^{1/3}/s$ ]

$Q$  är vattenflödet [ $m^3/s$ ]

$A$  är tvärsnittsarean i den bestämmande sektionen [ $m^2$ ]

$S$  är vattendragets lutning [m/m]

$n$  är Mannings skrovlighetskoefficient [ $s/m^{1/3}$ ]

$p$  är våta perimeteren [m]

När Mannings formel används för att förutspå effekter av förändrade hydrauliska förhållanden i vattendrag regleras ofta Mannings tal ( $M$ ) alternativt Mannings skrovlighetskoefficient ( $n$ ). Talet eller koefficienten kan regleras på så vis att man ökar eller minskar dess värde för att återspegla friktionen i fåran. Vid tillförsel av stenblock exempelvis så kan man höja värdet på skrovlighetskoefficienten för att återspegla ett ökat motstånd. Skrovlighetskoefficienten kan uppskattas genom observationer i det relevanta vattendraget samt nyttjande av tabeller som beskriver de observerade parametrarnas bidrag till koefficienten.

## 2.5 HYDRAULISK MODELLERING

Hydraulisk modellering innebär att matematiskt beskriva vattnets egenskaper, så som flöde, hastighet, djup och strömningsmönster. Detta kan göras för artificiella system som ledningsnät eller för att beskriva hur vattnet flödar i landskapet (SMHI 2017). Det finns ett flertal programvaror som kan användas som hydrauliska modelleringsverktyg. *HEC-RAS* och *Mike* är två exempel på programvaror som är vanligt använda för att modellera vattnets egenskaper i naturliga system i landskapet. Geografiska informationssystem (GIS) är ett datorbaserat system för att samla, hantera och analysera data och används ofta som ett kompletterande verktyg vid hydraulisk modellering. GIS huvudsakliga nytta är dess förmåga att länka samman flera olika typer av data. Flera lager av data som höjddata, flödesdata och kartmaterial kan med GIS integreras och visualiseras på ett smidigt sätt. Denna egenskap att kunna visualisera kombinationer av data gör det möjligt att upptäcka mönster, optimala platser, utbredning, spridning samt att förutspå händelser (esri 2020).

### 2.5.1 HEC-RAS

HEC-RAS är en programvara som är framtagen för att kunna modellera endimensionella stationära flöden, en- och tvådimensionella icke-stationära flöden, endimensionell sedimenttransport samt analysera vattenkvalitet. Dessa fyra komponenter använder en gemensam geometrisk datarepresentation och består av samma hydrauliska och geometriska beräkningsrutiner. Systemet har även ett antal hydrauliska designfunktioner som kan nyttjas när ytvattenprofilen har beräknats (US Army Corps of Engineers 2016).

Vid modellering av en-dimensionella stationära flöden bygger beräkningarna till största del på den en-dimensionella energiekvationen (se ekvation 3). Beräkningsproceduren bygger även till viss del på Mannings ekvation för uppskattning av energiförluster genom friktion.

$$Z_2 + Y_2 + \frac{a_2 V_2^2}{2g} = Z_1 + Y_1 + \frac{a_1 V_1^2}{2g} + h_e \quad (3)$$

Där

$Z_1, Z_2$ : Bottennivå [m]

$Y_1, Y_2$ : Vattennivå [m]

$a_1, a_2$ : Vattenhastighetens viktingskoefficienter [-]

$V_1, V_2$ : Vattenhastighet [m/s]

$g$ : Gravitationskonstant [m/s<sup>2</sup>]

$h_e$ : Hydraulisk potentialförlust [m]

För situationer där ytvattenprofilen varierar hastigt anses energiekvationen inte vara tillämpningsbar. Energiekvationen tillämpas endast då flödet anses vara gradvis varierande. I situationer då strömningstillståndet övergår från subkritiskt till superkritiskt flöde eller vice versa betraktas flödet som hastigt varierande. I sådana situationer nyttjas beräkningar baserade på rörelsemängdens bevarande. Momentum ekvationen härleds utifrån Newtons andra rörelselag och kan efter ett antal omskrivningar skrivas på formen enligt nedan (se ekvation 4). Samtliga applikationer av momentum ekvationen i HEC-RAS härleds från denna ekvation (US Army Corps of Engineers 2016).

$$\frac{Q_2^2 \beta_2}{g A_2} + A_2 \bar{Y}_2 + \left(\frac{A_1 + A_2}{2}\right) L S_0 - \left(\frac{A_1 + A_2}{2}\right) L \bar{S}_f = \frac{Q_1^2 + \beta_1}{g A_1} + A_1 \bar{Y}_1 \quad (4)$$

Där

$Q_1, Q_2$ : Flöde vid sektion 1 respektive 2 [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]

$\beta$ : Momentum koefficient [-]

$g$ : Gravitationskonstant [ $\text{m}/\text{s}^2$ ]

$A_1, A_2$ : Tvärsnittens area vid sektion 1 respektive 2 [ $\text{m}^2$ ]

$\bar{Y}_1, \bar{Y}_2$ : Djup vid masscentrum i tvärsektionerna 1 och 2 [m]

$L$ : Längd mellan sektion 1 och 2 [m]

$\bar{S}_f$ : Flödessträckans lutning [m/m]

$S_0$ : Friktionslutning [m/m]

Ett viktigt antagande för användning av denna ekvation är att flödet kan variera mellan sektionerna, det vill säga att flödet är icke-stationärt. Vid modellering för stationära flöden nyttjas därför enbart denna ekvation i situationer där det sker en övergång mellan strömningstillstånden då energiekvationen inte längre är applicerbar.

När det kommer till två-dimensionell modellering för icke-stationära flöden är beräkningsproceduren utformad utifrån Navier-Stokes ekvationer som beskriver fluiders rörelse i tre dimensioner. Dessa ekvationer är baserade på momentum ekvationen och kontinuitetsekvationen som beskriver bevarandet av rörelsemängden respektive massan. För modellering av kanaler kan vissa förenklingar införas vilket leder till införandet av SW-ekvationerna (Shallow water equations). För införandet av SW-ekvationerna krävs antaganden om ett okomprimerbart flöde, likformig densitet och hydrostatiskt tryck. Den turbulenta rörelsen i vätskan approximeras med Eddyviskositet. Dessutom försummas den vertikala hastigheten under antagandet att den vertikala längdskalan är mycket mindre än den horisontella. Kontinuitetsekvationen (se ekvation 5) samt momentum ekvationen (se ekvation 6) kan nu skrivas i vektorform och tar hänsyn till hastighetskomponenterna i två dimensioner (x- och y-led).

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \nabla \cdot hV + q = 0 \quad (5)$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} + V \cdot \nabla V = -g\nabla H + \nu_t \nabla^2 V - c_f V + fk \times V \quad (6)$$

Där

$H$ : Vattennivå  $H(x, y, t)$  [m]

$V$ : Hastighetsvektor  $V = (u, v)$  [m/s]

$h$ : Vattendjup  $h(x, y, t)$  [m]

$\nabla$ : Differentialoperator  $\nabla = (\partial/\partial x, \partial/\partial y)$  [-]

$q$ : Source/sink flux term [m/s]

$k$ : Enhetsvektor i vertikal riktning [-]

$c_f$ : Koefficient för bottenfriktion [-]

$\nu_t$ : Horisontell koefficient för "eddy"-viskositet [-]

$f$ : Coriolis parameter [rad/s]

I vissa fall när friktionstermen och gravitationstermen i momentum ekvationen är de dominanta termerna kan ekvationen skrivas om. Här införs DSW-ekvationerna (Diffusion-wave approximation of the shallow water equations). Genom substitution av den omskrivna momentum ekvationen in i kontinuitetsekvationen erhålls den klassiska differentialformen av DSW-ekvationerna (se ekvation 7).

$$\frac{\partial H}{\partial t} - \nabla \cdot \beta \nabla H + Q = 0 \quad (7)$$

Där

$$\beta = \frac{(R(H))^{5/3}}{n|\nabla H|^{1/2}}$$

$R$ : Hydrauliska radien [m]

För ett komplext system som ett naturligt vattendrag med varierande morfometri och där vattenvolym, densitet och temperatur kan variera med tiden och längs sträckan, används lämpligast simulering för icke-stationärt flöde. För enklare system som kanaler där geometrin kan antas homogen längs sträckan och där flödet kan beskrivas som laminärt används lämpligast simulering av stationärt flöde. Valet mellan endimensionell och tvådimensionell simulering bör göras utgående från vilket resultat som eftersträvas. Vid analys av hur olika objekt så som stenblock, trummor och broar påverkar flödesströmningen bör tvådimensionell simulering väljas. Om en mer översiktlig flödesanalys eftersträvas kan den endimensionella simuleringen användas för att uppnå önskat resultat (Hydrologic Engineering Center 2018).

## 2.5.2 Osäkerheter vid hydraulisk modellering

Målet med upprättandet av modell är ofta att återspegla ett verkligt scenario för att utifrån modellen kunna utreda olika effekter i det verkliga systemet. Det är dock viktigt att konstatera att en modell aldrig kan bli mer än en mer eller mindre noggrann approximation av verkligheten. Det finns flera olika bidrag av osäkerheter vid upprättandet av en hydraulisk modell som är viktiga att ta i beaktning vid tolkning av resultatet.

Observationer av det verkliga systemet är det första steget vid upprättandet av modell och redan här finns osäkerheter som bör beaktas. Inmätning av vattennivå, batymetri, topografi, flöde, vattenhastighet och observerade parametrar för uppskattning av fårans råhet är några exempel på inmätningar och observationer där felaktigheter alltid förekommer i större eller mindre skala.

Efter inmätning av topografi och batymetri ska terrängen återspeglas i modellen. Utöver eventuella felaktigheter kopplade till inmätningarna finns också osäkerheter i upplösningen av terrängen. Högre upplösning tillåter modellen att ta hänsyn till fler geometriska variationer och detaljer i terrängen men en för hög upplösning gör beräkningsprocessen tyngre och mer tidskrävande. Här görs ofta en avvägning av vilket resultat som är intressant och upplösningen ansätts efter vilket resultat som eftersträvas (Papaioannou et al. 2020).

Det finns också osäkerheter som kan tillskrivas inmatningsparametrar som flöde och råhet i modellen då flöde och råhet är parametrar som i ett verkligt system varierar med tiden och sträckan. Att återspegla dessa parametrar verklighetsenligt är en mycket svår och tidskrävande uppgift. Ofta ansätts en råhet som gäller för hela den vattenförande fåran och en annan råhet som gäller för svämplan och kantzoner. Ett varierande flöde kan återspeglas i modell men för en korrekt variation av flödet krävs både ett mycket kort tidssteg i modellen, alltså fler beräkningar per tidsenhet, och dessutom områdesspecifika data som i praktiken är omöjligt att återspegla korrekt.

Modellinställningar så som beräkningsnätets upplösning, tidssteg, val av en-dimensionell eller två-dimensionell modell samt stationärt eller icke-stationärt flöde är också beslut som måste fattas baserat på olika antaganden som kan tillskrivas diverse osäkerheter. Till sist finns också osäkerheter kopplade till avläsning och tolkning av resultat som kan göras på mer eller mindre korrekt vis beroende på antal observationspunkter samt lokalisering av dessa (Saltelli et al. 2004).

## 3 BAKGRUND

### 3.1 BIOTOPVÅRDANDE ÅTGÄRDER

När det kommer till att vårda ett vattendrag finns det flera olika typer av åtgärder som kan gynna den naturliga biotopen. Det finns ett antal åtgärder som kan utföras i vattendraget som utgör en direkt nytta för vissa arter. Det kan röra sig om att tillföra lekgrus i syfte att förbättra laxens och öringens reproduktionsmöjligheter, utplacering av död ved för att skapa en varierande miljö eller utplacering av stenblock för att skapa naturliga ståndplatser för fiskar. Utöver dessa åtgärder som vanligtvis betraktas som klassisk biotopvård finns också åtgärder som ofta benämns som vattenhushållande åtgärder som främst syftar till att upprätthålla gynnsamma vattenflöden i vattendrag och hålla kvar vattnet i landskapet (Kyllmar & Wesström 2018). Vattenhushållande åtgärder utgör en stor kategori av möjliga biotopvårdande åtgärder i vattendrag.

Vattenhushållande åtgärder kan vidtas i avrinningsområdet alternativt i vattendraget. Utplacering av stenblock och återmeandring är exempel på åtgärder som kan utföras i vattendraget och som gemensamt har syftet att bromsa vattenflödet. I landskapet som inkluderas av vattendragets avrinningsområde finns också åtgärder som kan resultera i en större vattenhushållande förmåga. Våtmarker, reglerbar dränering i anslutning till jordbruksmarker, återanvändning av dräneringsvatten för bevattning, svämplan samt vallar är exempel på sådana åtgärder (Degerman 2008). Dessa åtgärder verkar vattenhushållande genom att sakta ner transporten av vatten till vattendraget medan de förstnämnda åtgärderna saktar ner vattenflödet i vattendraget. Några av de vanligaste åtgärderna beskrivs här i närmare detalj.

#### 3.1.1 Lekgrus

Att tillföra grus till vattendraget är ett exempel på en vanligt förekommande åtgärd som syftar till att skapa en optimal miljö för laxfiskar och många andra fiskarter. Gruset utgör för dessa fiskarter en lekbädd, det vill säga plats där de tryggt kan lägga sin rom i väntan på kläckning. En optimal lekbädd för laxfiskar ska uppfylla ett flertal kriterier. Bottenssubstratet bör först och främst tillåta laxfiskarna att kunna täcka över sin rom i syfte att skydda rommen mot predatorer, det strömmande vattnet och infrysning. Bottenssubstratets stabilitet är en annan viktig faktor för att motstå det strömmande vattnets krafter. Dessutom måste en viss genomsläpplighet i materialet uppfyllas för att möjliggöra att rommen omges av friskt syrerikt vatten och för att ynglen så småningom ska kunna hitta en väg ut i till den fria vattenmassan. Sand och framför allt grus är partikelfraktioner som uppfyller dessa kriterier och därmed utgör ett gynnsamt bottenssubstrat för bland annat lax och öring. Den naturliga förekomsten av grus i vattendrag i Sverige är idag begränsad. Sand, grus och snarlika partikelfraktioner är sådant material som i många vattendrag har försvunnit till följd av rensning, fördjupning och en förhöjd vattenhastighet. Utplacering av grus utgör därför en vanligt förekommande åtgärd i vattendrag för att gynna ett flertal fiskars reproduktionsmöjligheter (Degerman 2008).

### **3.1.2 Stenblock och död ved**

Att tillföra stenblock och död ved är åtgärder som utgör direkt nytta för framför allt fiskar då det skapar naturliga ståndplatser genom att fickorna bakom stenblock och stockar utgör viloplatsen från det strömmande vattnet. Det skapar också en variation i vattendjup, flödeshastigheter och även bottensubstrat vilket gynnar den biologiska mångfalden (Länsstyrelsen i Kronobergs län 2009). Stenblock kan också nyttjas inom kategorin vattenhushållande åtgärder där då stenblocken agerar som hinder för vattenströmningen vilket resulterar i en sänkt vattenhastighet. Död ved har flera fördelar i vattendrag. Precis som stenblock skapar stockar och grenar skyddande platser för fisk och andra vattenlevande organismer. Vedens yta utgör en livsmiljö för påväxtalger och bottenfauna och dessutom fungerar stockar och grenar som sedimentationsfälla och stabiliserar strandpartier mot erosion (Degerman 2008). Dessa åtgärder är framför allt aktuella i vattendrag som blivit fördjupade och rensade samt där kantzoner saknar växtlighet i form av träd som genom naturliga processer som åldrande, vind, torka och parasitangrepp tillför död ved till vattendraget.

### **3.1.3 Kantzoner**

Strandmiljön längs ett vattendrag benämns ofta som skyddszon eller kantzon. Denna zon kan definieras som området mellan låg- och högvattenlinjen, alltså marken som vid högt vattenstånd ligger under vattenytan och vid lågt vattenstånd torrläggs. Kantzonen kan också innefatta marken strax ovanför högvattenlinjen om denna mark har en betydlig påverkan på vattendragets ekologiska funktion. Ett träd kan exempelvis innefattas av kantzonen även om dess placering är ovanför högvattenlinjen eftersom nedfall av organiskt material och beskuggning från trädkronan påverkar vattendraget (Degerman 2008). Kantzoner har stor inverkan på vattendragets hydrauliska och hydrologiska egenskaper. Avrinning från mark, solinstrålning, pH, näringstillgång och erosion är endast några av de parametrar som påverkas av kantzons egenskaper (Liljelund et al. 2007). Träd och annan växtlighet i kantzonen har stor betydelse för hur mycket vatten som tillförs vattendraget genom avrinning från marken. Reglerad avrinning genom växternas vattenupptag leder till att flödesvariationerna minskar genom att högvattenflöden dämpas. Utöver reglerad avrinning ser träden med dess rötter också till att stabilisera marken vilket gör kantzoner motståndskraftiga mot erosion. Vid högvattenflöden bidrar träden och andra växter dessutom genom att sänka vattenhastigheten vilket hämmar partikeltransporten. Att undvika erosion av kantzoner är av stor betydelse för att få dem bibehålla sin naturliga bredd och därmed det naturliga vattendjupet. Erosion bidrar också i stor grad till att fosfor, som i stor grad är partikelbunden, tillförs till ytvattnet (Degerman 2008). Beskuggning av vattendraget för att under sommartid bibehålla en gynnsam vattentemperatur samt tillförsel av organiskt material i form av löv, barr och annan förna är också exempel på funktionaliteten hos en trädbevuxen kantzon. Kantzonernas funktionalitet kan konstateras vara av stor betydelse för vattendragets hydrauliska och hydrologiska egenskaper. Kantzoner är dessvärre i hög grad utsatta för antropogen påverkan och utgörs i Sverige ofta av kalhyggen,

bebyggelse och jordbruk. Utformning av kantzoner utgör därför en vanligt förekommande åtgärd i biotopvårdande syfte i vattendrag. De önskade egenskaperna hos en kanton varierar beroende av flera parametrar på platsen så som jordmån och typ av omgivning. Ett kalhygge intill ett vattendrag kräver exempelvis en kanton med en bredd mellan 15–40 meter för att hämma de medföljande negativa effekterna av skogsbruket. I jordbrukslandskapet är kantzonerans filterfunktion en viktig parameter att ta i beaktning då kemikalier används på åkermarken. Då vattendrag intill jordbruksmark ofta har påverkats genom rensning, rätning och fördjupning för att optimera avvattningen är vattenföringen sommartid ofta låg. Med en hög ljusinstrålning leder det till att vattendragen sommartid får igenväxningsproblematik och rensning av vattendraget blir nödvändigt. Att plantera buskar och träd för beskuggning är därför aktuellt vid sådana flödessträckor för att minska ljusinstrålningen och därmed växtligheten i vattnet. I vattendrag som är starkt påverkade av jordbruket krävs dock ofta andra åtgärder som återmeandring och tillförsel av stenblock då restaurering av kantzoner som enskild åtgärd inte kan lösa problematiken (Degerman 2008).

### **3.1.4 Återmeandring**

Många av landets slättlandsvattendrag har utsatts för dikning, breddning och rensning i syfte att erhålla en större dränerade verkan genom ökad avrinning. Återmeandring eller att åter meandra ett vattendrag innebär att återskapa fårans ursprungliga slingriga form. Att återmeandra en rätad flödessträcka innebär många positiva effekter. Genom att den meandrande fåran är längre än den rätade sett mellan två punkter i flödessträckan har den meandrande fåran också en mindre lutning. En lägre vattenhastighet till följd av den mindre lutningen resulterar i minskad erosion och sedimenttransport (Degerman 2008). Den minskade hastigheten resulterar också i ett ökat djup i fåran vilket i torra perioder är en kritisk parameter i många rätade vattendrag. Återskapandet av en meandrande fåra bidrar också till en ökad geomorfologisk och biologisk mångfald samt i många fall en ökad kväveretention. Ett vattendrag kan återmeandras genom att gräva ut meanderbågar och fylla igen den rätade fåran. Återställningen kan också göras genom att låta den höga energin i ett rätat och kraftigt sluttande vattendrag återskapa en varierande form genom erosion. Denna naturliga process kan påskyndas genom att placera ut strukturer i fåran som styr och påskyndar erosionen och därmed meanderbildningen (Degerman 2008).

### **3.1.5 Våtmark**

Våtmarker i olika former är ett vanligt inslag i det svenska landskapet. De olika typerna av våtmarker utgör 20 % av Sveriges yta och utgör en oerhört viktig livsmiljö för många växter och djur. En våtmark har egenskapen att fungera som ett vattenmagasin och förlänger vattnets uppehållstid i landskapet. Dessutom har den ofta en renande effekt på det inkommande vattnet från avrinningsområdet (Kyllmar & Wesström 2018). Våtmarkens kapacitet att öka vattnets uppehållstid i landskapet ger effekter i vattendrag i form av mindre varierande flödesförhållanden. Dessutom tillåts mer vatten att infiltrera



marken vilket gynnar grundvattenbildningen. Den renande egenskapen förklaras delvis genom att ansamlad vatten i våtmarken har en mycket låg hastighet. De lugna omständigheterna tillåter partiklar i vattnet att sedimentera. Det är en funktion som utgör stor nytta genom att reducera halten organiskt material, näringsämnen och övrigt material i vattnet som är oönskat i recipienten. Utöver sedimentation sker även biologiska processer med en renande inverkan. Den biologiska reningen sker genom växtupptag av näringsämnen och dessutom kan kväve i nitrat-form omvandlas till kvävgas genom denitrifikation (Degerman 2008).

## 4 METOD

Projektets genomförande utgjordes av en litteraturstudie följt av inmätningar och observationer i fält. Utifrån inmätta värden kunde hydrauliska modeller upprättas för flödesträckorna som utgör objekten för inmätning. De upprättade modellerna låg sedan till grund för vidare modifiering för att kunna beskriva utvalda relevanta åtgärder i vattendraget. För att klargöra de olika åtgärdernas nytta med avseende på vattnets hydrauliska egenskaper jämfördes de simulerade effekterna av respektive åtgärd inbördes samt med ursprungsscenario. Simuleringar för Hågaån jämfördes också med konventionella beräkningar med Mannings formel för att utvärdera värdet med upprättandet av modell relativt enklare manuella beräkningar.

### 4.1 LITTERATURSTUDIE

Litteraturstudien utgjorde grunden för att utreda frågeställningen angående de vanligaste biotopvårdande åtgärderna i vattendrag i Sverige och i vilket syfte dessa görs. Utifrån litteraturstudien kunde sedan lämpliga åtgärder väljas ut för att återspeglas i flödesmodeller varpå dess hydrauliska effekter kunde tolkas.

*Sökverktyg:* Google, Google Scholar.

*Sökord:* Biotopvård, biotopvårdande åtgärder, vattenhushållande åtgärder, hydrologisk restaurering, ekologisk restaurering, vattenvård, flödesvariationer, partikeltransport, våtmarker, kantzoner, återmeandring, meandring, meandrande vattendrag, sten och död ved i vattendrag.

### 4.2 VAL AV ÅTGÄRDER

Valet av vilka åtgärder som återspeglas för respektive flödessträcka gjordes delvis utifrån vilka åtgärder som bedömdes ha en betydande effekt på vattnets hydrauliska egenskaper samt utifrån de åtgärder som är tilltänkta från Sportfiskarnas sida för respektive flödessträcka. För flödessträckan i Hågaån undersöktes effekterna av utplacering av sten och återmeandring. För flödessträckan i Rocklösaån undersöktes effekterna av anläggning av våtmark samt utplacering av sten. För ursprungsscenario i Hågaån placerades stenar ut längs med hela den observerade flödessträckan jämfört med övriga scenarion där stenar placerades ut sektionsvis. De scenarion som simulerades sammanfattas i tabellen nedan (se tabell 1).

*Tabell 1. Sammanfattning av de olika scenarion som simulerades.*

HÅGAÅN	ROCKLÖSAÅN
Ursprungsscenario	Ursprungsscenario
Ursprungsscenario + utplacering av sten	Ursprungsscenario + utplacering av sten
Återmeandring	Våtmark
Återmeandring + utplacering av sten	Våtmark + utplacering av sten

### 4.3 INMÄTNINGAR I FÄLT

För upprättandet av en flödesmodell som ska efterlikna ett specifikt naturligt vattendrag krävs inmätning av vissa parametrar. Två olika flödesträckor i Vitsåns avrinningsområde utgjorde objekten för inmätning.

Parametrar för inmätning:

- Bottennivå
- Vattennivå
- Släntkrön (sektionsvis)

För inmätning av ovanstående parametrar användes en GPS som genom positionsinmätning genererar altituden för punkten som mäts in (se figur 5).

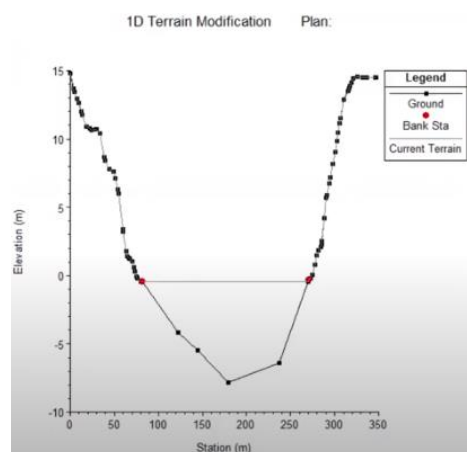
Höjddata som mäts in med GPS utgör ett komplement till laserskannade höjddata. De laserskannade höjddata som kan erhållas från lantmäteriet alternativt berörd kommun tar inte hänsyn till batymetrin i vattendraget. Detta beror på att vattenytan speglar signalen och uppfattas visuellt som fast mark (se figur 6). Punkterna under den horisontella linjen representerar inmätta värden av bottennivån i en tvärsektion av vattendraget.

Mätningarna utfördes genom att mäta in allmänna höjdpunkter från ena sidan av vattendraget och sedan upprepades mätningarna för flera punkter tvärs över vattendraget till andra sidan där sista punkten mättes in för terrängen ovanför vattenytan. En mätning för vattennivån gjordes också per inmätt tvärsektion.

De inmätta punkterna kan delas upp enligt allmänna höjdpunkter (ahp) och vattenyta (vy). För utformningen av batymetrin i vattendraget nyttjades de allmänna höjdpunkterna. Inmätt vattenyta nyttjades först vid kalibreringen för att bekräfta att skapad batymetri och erhållet flöde genererar en vattennivå som överensstämmer med verkligheten.



Figur 5. Foto på GPS som användes för inmätning



Figur 6. Exempel på hur tvärsnittets batymetri redigeras. Punkterna ovanför den horisontella linjen (vattenytan) representerar laserskannade höjddata. Punkterna under den horisontella linjen representerar inmätta punkter för batymetrin i vattendragets tvärsnitt.

#### 4.4 OBSERVATIONER I FÄLT

Genom observation av ett antal parametrar i de relevanta vattendragen kunde Mannings skrovlighetskoefficient ( $n$ ) uppskattas genom nyttjande av tabeller som beskriver de observerade parametrarnas bidrag till koefficienten. Den uppskattade koefficienten användes sedan för konventionell beräkning med Mannings formel.

Följande parametrar är relevanta för observation:

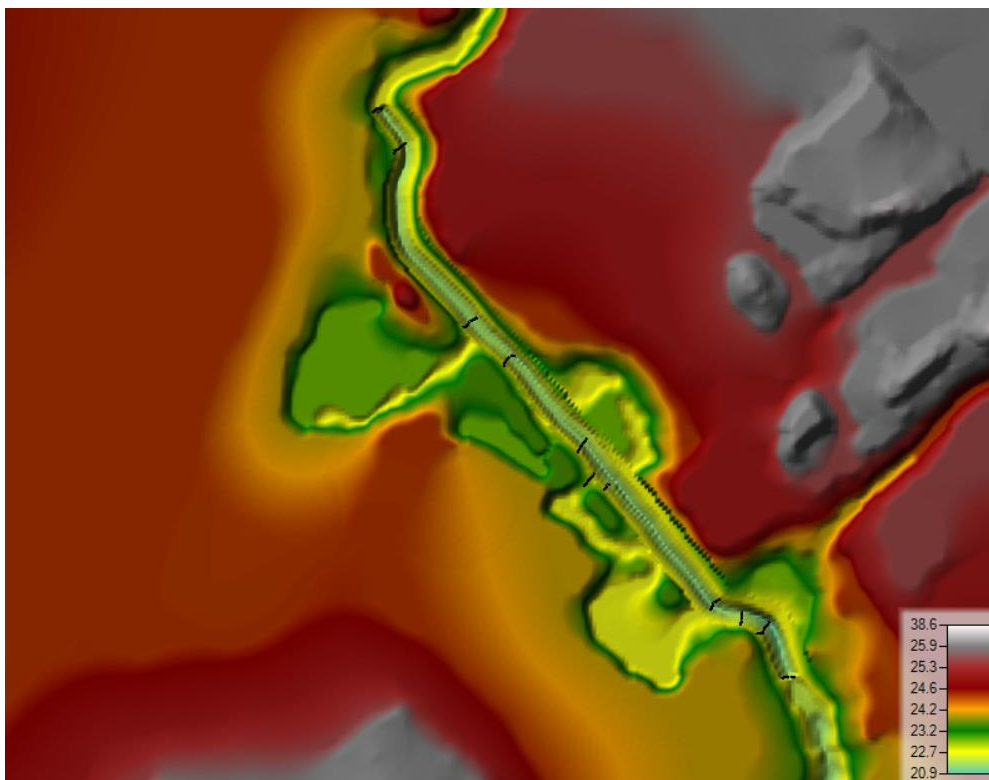
- Bottensubstrat
- Tvärsnittets geometriska variation
- Igenväxningsgrad
- Rensningsgrad
- Meandring

#### 4.5 MODELLERING

En tvådimensionell flödesmodell för icke-stationärt flöde utformades i HEC-RAS för respektive flödessträcka för att beskriva dess hydrauliska egenskaper. Detta gjordes för ursprungscenariot samt för de olika scenarion som representerar de relevanta åtgärderna. Utformningen av flödesmodellen skedde genom framtagande av terrängfil i GIS baserat på höjddata. Denna terrängfil kunde sedan importeras i HEC-RAS och utgör då den första triviala terrängmodellen. Detta gjordes för båda objekten. I HEC-RAS kunde denna terrängfil modifieras för att återspegla en korrekt batymetri i vattendraget. När batymetrien överensstämmer med inmätta värden är terrängmodellen klar för respektive ursprungscenario i de relevanta objekten. Flödesmodelleringen kunde då påbörjas genom att generera ett flöde i fåran. Efter kalibrering med framtaget flöde för den specifika dagen för inmätningarna samt med inmätta ytvattennivåer kunde en färdig modell för ursprungsscenario erhållas. Därefter kunde önskat flöde simuleras varpå hydrauliska parametrar kunde läsas av. Ursprungsmodellerna för respektive objekt låg sedan till grund för att modifieras på så vis att effekterna av de relevanta åtgärderna kunde återspeglas. Utvalda åtgärder motiveras utifrån litteraturstudien. Samtliga simuleringar efter kalibrering gjordes för medelvattenföringen i de relevanta flödessträckorna som kunde erhållas från SMHI (SMHI 2020).

#### 4.5.1 GIS

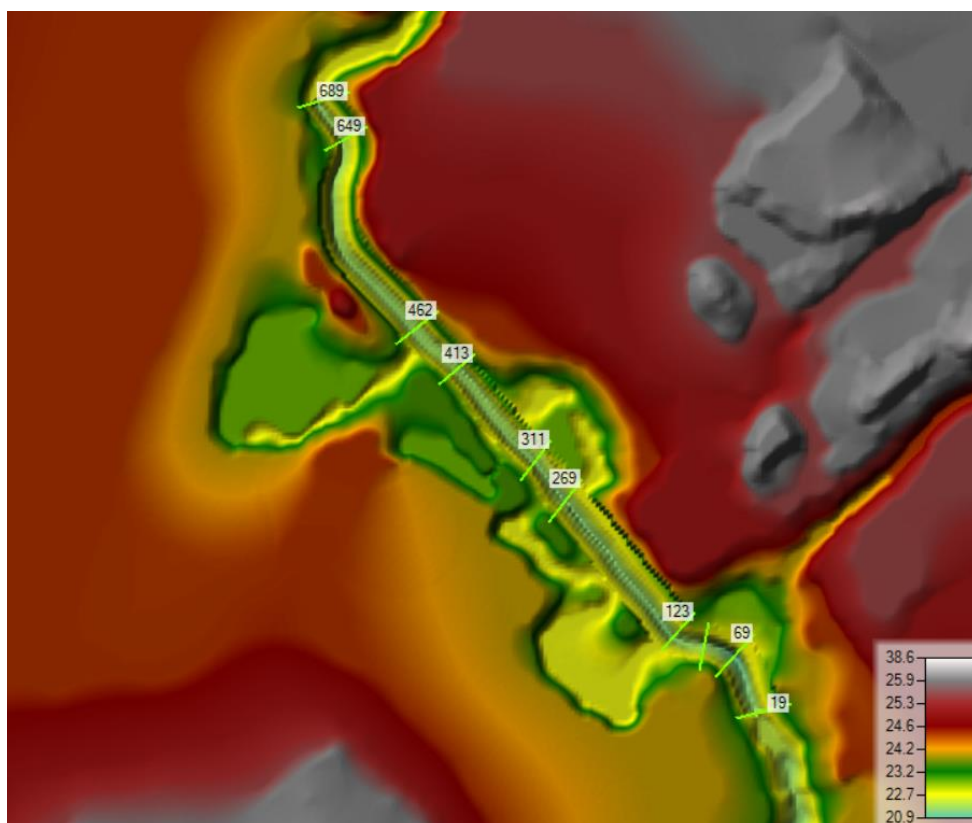
Det huvudsakliga syftet med användandet av GIS i detta projekt var att skapa en terrängfil baserat på erhållna höjddata från Haninge kommun. Från det raster som i GIS visualiserar höjddata kunde en polygon klippas ut över enbart det relevanta området för objektet. Av det utklippta området skapades en terrängfil i som sedan kunde importeras i HEC-RAS. I GIS skapades också "shape-filer" som markerar exakt position för de inmätta tvärsektionerna. Dessa shape-filer importerades sedan i HEC-RAS och tvärsnittens exakta position kunde då visualiseras i verktyget "RAS-mapper" (se figur 7).



**Figur 7.** Framtagen terrängfil och inmätta tvärsektioner för Hågaån i "RAS-mapper". Positioneringen för de inmätta sektionerna beskrivs av de inritade svarta strecken i fåran. De blå och gula områdena i bild symboliserar de lägsta punkterna i terrängen och grå områden är de högsta punkterna.

#### 4.5.2 HEC-RAS

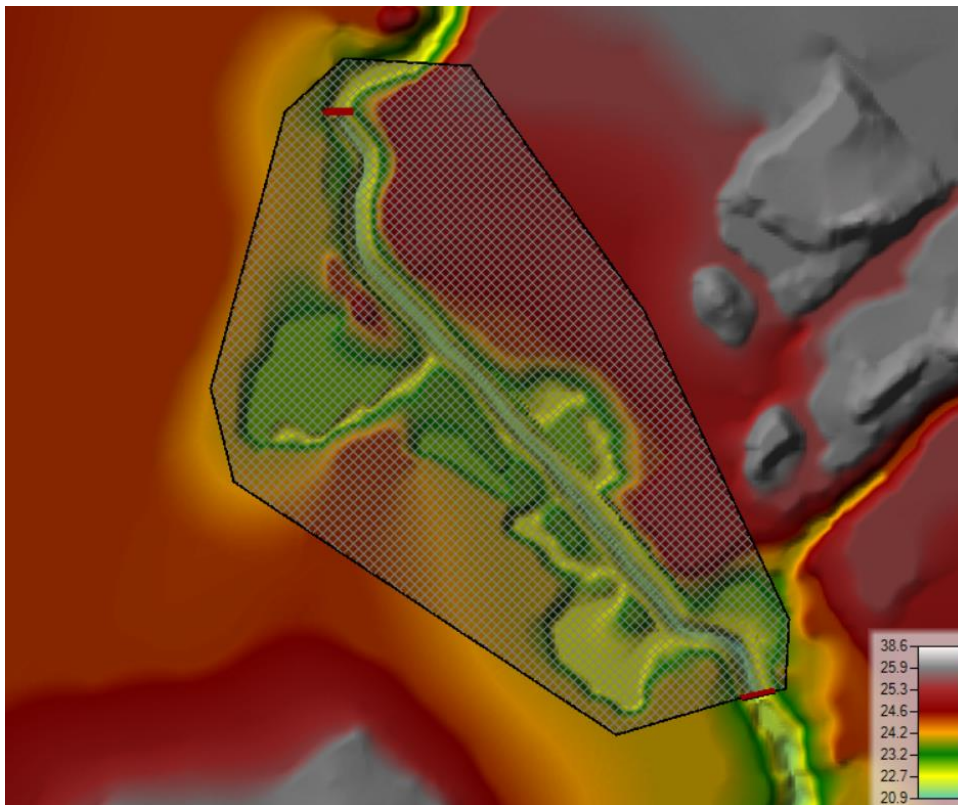
Terrängmodellerna för respektive flödessträcka som tagits fram i GIS kunde sedan användas i HEC-RAS för att simulera flödet med en tvådimensionell modell för icke-stationärt flöde. Det första steget i HEC-RAS är att modifiera terrängen enligt inmätta värden för att få en korrekt beskrivning av batymetrin i vattendraget. Det gjordes med verktyget RAS-mapper genom att rita ut tvärsnitt för att representera de inmätta tvärsnitten (se figur 8).



**Figur 8.** Skapade tvärsnitt för Hågaån som ligger till grund för redigering av batymetrin i vattendraget. Tvärsnitten tilldelas stationsvärden där höga värden är uppströms och lägre värden nedströms i vattendraget. De blå och gula områdena i bild symboliserar de lägsta punkterna i terrängen och grå områden är de högsta punkterna.

För varje inritad tvärsnitt kunde sedan batymetrin redigeras enligt inmätta värden. Genom interpolation erhålls batymetrin för första tvärsnittet hela vägen upp till nästa inritade tvärsnitt uppströms. Terrängmodellen för respektive ursprungsscenario är efter redigering av batymetrin färdigställd.

För att terrängmodellen ska kunna nyttjas för flödesmodellering krävs att en flödesarea definieras som utgörs av celler med en beräkningspunkt i varje cell. Det krävs också randvillkor för inflödet och utflödet. Ett internt randvillkor upprättades för inflödet för vilket en hydrograf beskriver det ingående flödet i modellen. Ett externt randvillkor för normaldjup upprättades för utflödet där friktionslutningen bestäms. Friktionslutningen innebär med vilken hastighet energin går förlorad längs en given sträcka i vattendraget. Med upprättad flödesarea och randvillkor (se figur 9) kunde ett önskat flöde genereras. De röda strecken symboliserar här randvillkoren.



**Figur 9.** Flödesarea och randvillkor för objektet i Hågaån. De röda linjerna symboliserar randvillkoren och rutnätet symboliserar flödesarean där en beräkningspunkt är lokaliserad i varje cell. De blå och gula områdena i bild symboliserar de lägsta punkterna i terrängen och grå områden är de högsta punkterna.

#### 4.5.3 Kalibrering av modell

Då en modell har upprättats i HEC-RAS för respektive objekts ursprungscenario krävs kalibrering av modellen för att det pålagda flödet ska generera en vattennivå som överensstämmer med inmätt vattennivå. För att kalibrera modellen togs flödet fram för det aktuella objektet för den specifika dagen som inmätningarna gjordes. Detta flöde erhöles från modellbaserade flödesdata från SMHI (SMHI 2020). Det erhållna flödet är baserat på hela det relevanta avrinningsområdets storlek. För ett korrekt flöde i just den observerade sträckan nyttjades karttjänsten ”Scalgo”. Genom att markera en punkt på kartan erhöles avrinningsområdets area för just den specifika punkten. Genom den erhållna arean för delavrinningsområdet kunde flödet skalas om till den relevanta flödessträckan (se figur 10).



**Figur 10.** Aktuella objektets avrinningsområde syns i grön färg (area 1) samt Vitsåns totala avrinningsområde som representeras av det gröna tillsammans med det blå området (area 1+2). Övriga färger representerar omkringliggande avrinningsområden. Bilden är hämtad från Scalgo karttjänst (SCALGO 2021)

Genom införandet av sambandet i ekvation 8, under antagandet om likformig vattenföring i hela avrinningsområdet, kunde flödet räknas om för endast det undersökta objektets avrinningsområde.

$$Q = A \times k \quad (8)$$

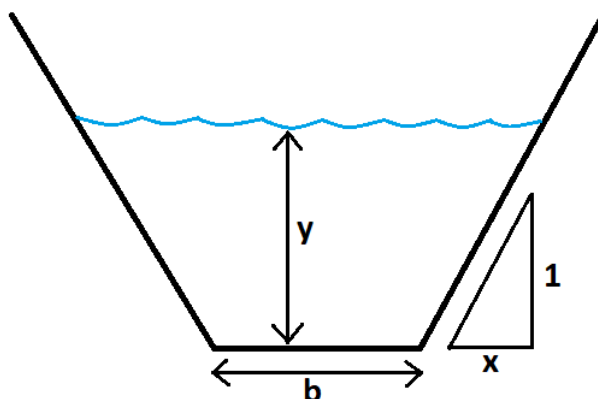
Det beräknade k-värdet utifrån erhållet flöde och area kunde nu nyttjas för att med den nya arean beräkna ett nytt flöde som gäller enbart för area 1. Det framtagna flödet användes sedan i modellen för att simulera objektets hydrauliska parametrar som vattenhastighet, vattennivå och djup. Den simulerade vattennivån jämfördes med inmätta värden för vattennivån. Mannings skrovlighetskoefficient korrigerades sedan för att få den simulerade vattennivån att överstämja med den inmätta vattennivån. För att erhålla en högre vattennivå ansattes ett högre värde för koefficienten och vice versa. Detta förklaras genom att en ökad friktion mellan vattnet och fåran leder till en lägre vattenhastighet vilket i sin tur leder till en högre vattennivå för ett givet flöde. Mannings skrovlighetskoefficient användes på så vis för att kompensera för felaktigheter i den framtagna terrängmodellen.



## 4.6 KONVENTIONELLA BERÄKNINGAR

Hågaån utgjorde objektet för att undersöka skillnader i resultat mellan konventionella beräkningar och simuleringar med upprättad flödesmodell. Denna jämförelse utgjorde metodiken för att utvärdera värdet med upprättandet av modell i jämförelse med enklare konventionella beräkningar.

För beräkningar med Mannings formel krävs, precis som för upprättandet av flödesmodell, kännedom om flödessträckans geometri. En vanligt använd geometri för flödesberäkningar i kanaler, som även användes i detta fall, är parallelltrapetsen (se figur 11).



*Figur 11. Upprättad geometri för beskrivning av fårans tvärsnitt. Blå linje symboliserar vattenytan,  $y$  är vattendjupet,  $b$  är bottenbredd och  $x$  beskriver släntlutningen.*

Parallelltrapetsens exakta dimensionering med avseende på bottenbredd ( $b$ ) och släntlutning ( $1:x$ ) bestämdes efter inmätning och observation av den aktuella flödessträckan i Hågaån. Med given geometri kunde tvärsnittets area ( $A$ ) uttryckas enligt ekvation 9 och den våta perimetern ( $p$ ) kan uttryckas enligt ekvation 10, där ( $y$ ) är vattendjupet.

$$A = (b + xy)y \quad (9)$$

$$p = b + 2y\sqrt{1 + x^2} \quad (10)$$

Den hydrauliska radien kunde nu uttryckas enligt ekvation 11.

$$R = \frac{A}{p} = \frac{(b+xy)y}{b+2y\sqrt{1+x^2}} \quad (11)$$

Genom substitution med det nya uttrycket för den hydrauliska radien kunde Mannings formel skrivas om enligt ekvation 12.

$$Q = \left( \frac{(b+xy)y}{b+2y\sqrt{1+x^2}} \right)^{\frac{2}{3}} \times \frac{\sqrt{S}}{n} \times (b + xy)y \quad (12)$$

Utöver att geometriskt beskriva flödessträckans tvärsnitt krävs också information om flödessträckans längd ( $dL$ ) samt skillnad i vattennivå mellan start- och slutpunkt ( $dh$ ). Lutningen över flödessträckan kan då bestämmas enligt ekvation 13.

$$S = \frac{dh}{dL} \quad (13)$$

Den sista parametern som behövde bestämmas var Mannings skrovlighetskoefficient. Koefficienten uppskattades utifrån observerade parametrar i flödessträckan varpå de relevanta parametrarnas bidrag till koefficienten kunde läsas av i tabeller i en guide för uppskattning av Mannings koefficient enligt Phillips och Tadayon (2006).

Parametrarnas bidrag sammanställdes för att sedan nyttja ekvation 14 för att beräkna den slutgiltiga koefficienten. Mannings koefficient uppskattades för samtliga scenarion som undersöktes i Hågaån.

$$n = (n_b + n_1 + n_2 + n_3 + n_4)m \quad (14)$$

$n_b$ : Basvärde, uppskattas utifrån bottensubstrat (kornstorlek)

$n_1$ : Uppskattas utifrån fårans ojämnheter

$n_2$ : Uppskattas utifrån tvärsektionernas geometriska variation

$n_3$ : Uppskattas utifrån andelen vattenhinder i fåran

$n_4$ : Uppskattas utifrån andel vegetation

$m$ : Uppskattas utifrån fårans grad av meandring

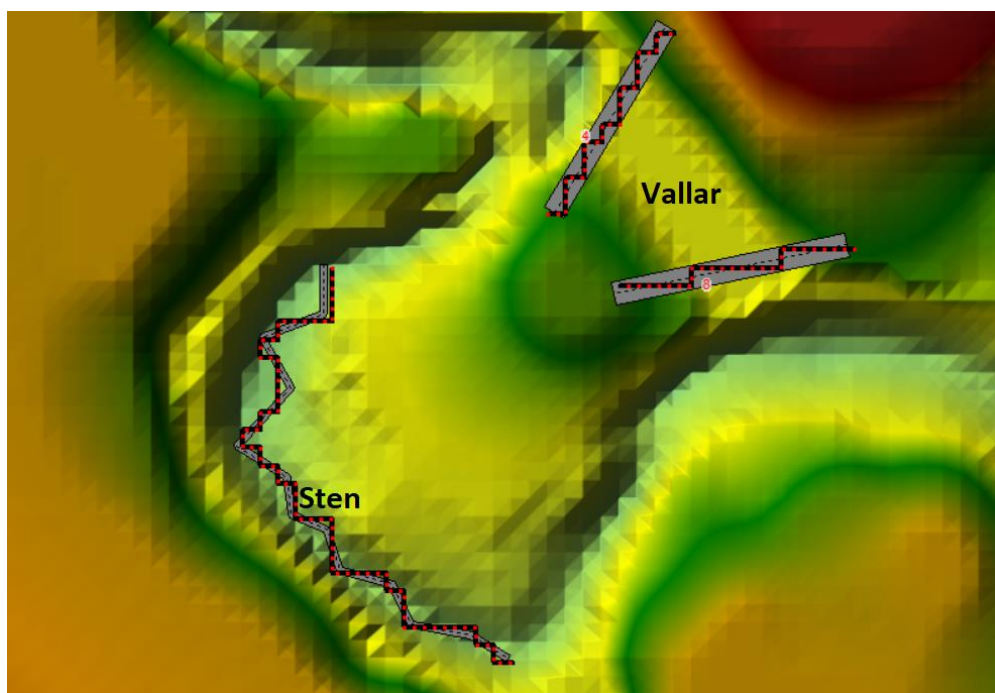
När alla parametrar var kända kunde ekvation 12 lösas iterativt genom insättning av olika värden för vattendjup. Ekvationen är löst då flödet överensstämmer med erhållet värde för medelvattenföringen i flödessträckan. Medeldjupet kunde då erhållas för det aktuella flödet varpå medelvärdet för vattenhastigheten ( $v$ ) kunde beräknas utifrån sambandet som beskrivs i ekvation 15.

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{(b+xy)y} \quad (15)$$

Precis som för upprättad flödesmodell kan den konventionella metoden med Mannings formel kalibreras. Även denna kalibrering gjordes genom nyttjande av kalibreringsflödet som togs fram för den aktuella dagen då inmätningarna ägde rum. Med kalibreringsflödet och uppskattat medeldjup från inmätningar kunde Mannings skrovlighetskoefficient beräknas. För beräkningarna som sedan gjordes för medelvattenföring nyttjades den beräknade koefficienten. Koefficienten justerades sedan proportionellt mot de uppskattade värdena för koefficienten i respektive scenario. Beräkningarna med Mannings formel gjordes både med och utan kalibrering för samtliga scenarion i Hågaån.

#### 4.7 ÅTERSPEGLING AV ÅTGÄRDER I MODELL

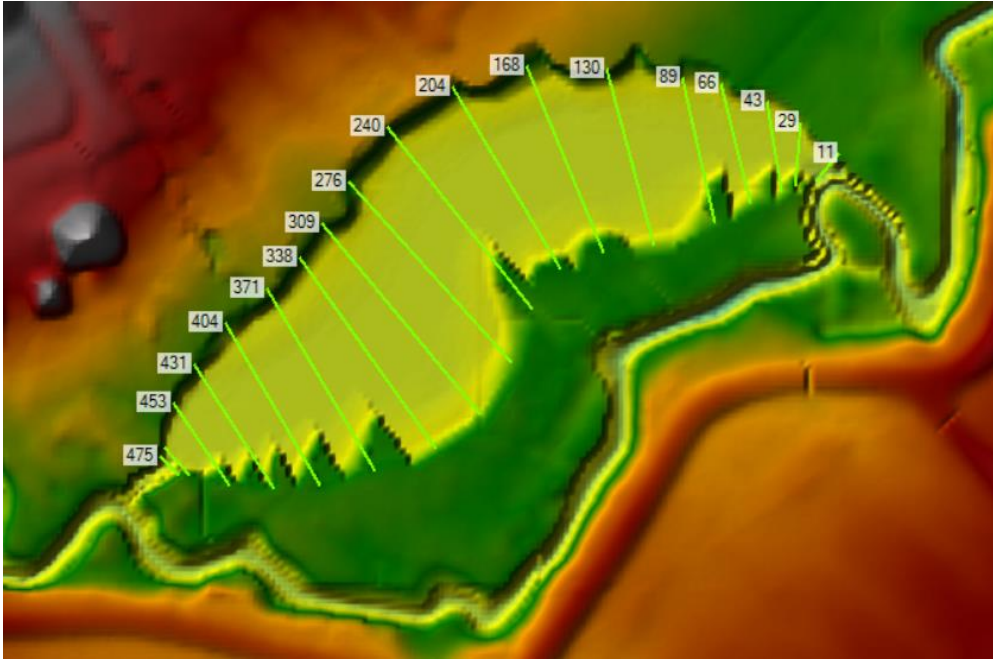
Utplacering av sten simulerades för samtliga framtagna terrängmodeller. Det första alternativet för att återspegla utplacering av stenar i HEC-RAS är att redigera terrängen på så vis att den återspeglar slumpvisa höjningar i fåran. För att erhålla en höjning som skildrar formen av en sten krävs att batymetrin redigeras för minst tre tvärsnitt per sten vilket bedöms vara en tidskrävande och därmed orimlig metodik sett till antalet stenar som krävs. HEC-RAS erbjuder en möjlighet att lägga in objekt som exempelvis vallar (se figur 12). Objektets höjd och bredd kan då ändras beroende på vad som ska återspeglas. Här symboliserar de korta raka objekten vallar och den inritade linjen i fåran utgör en sektion med utplacering av sten.



**Figur 12.** Skapade objekt som symboliserar vallar respektive utplacering av sten. De två raka och bredare objekten symboliserar vallar och det längre och smalare objektet i fåran symboliserar en sektion med utplacerade stenar. Blå och gula färger är de lägsta punkterna i terrängen och orangea samt röda färger representerar de högsta punkterna.

En sammanhängande linje skapades för att symbolisera en sektion med utplacerade stenar. Stenarna återspeglades i objektet genom att var tredje stationsvärde gavs en ny höjd för att symbolisera höjden av en sten. För stenarna valdes i varje scenario en höjd som var en halv meter högre än den simulerade vattenytan och bredden bestämdes till fyra decimeter. Vallarna som också visualiseras i figuren nyttjades vid flera scenarion i syfte att hindra vattnet från att flöda in i den ursprungliga fåran då en ny fåra skapats.

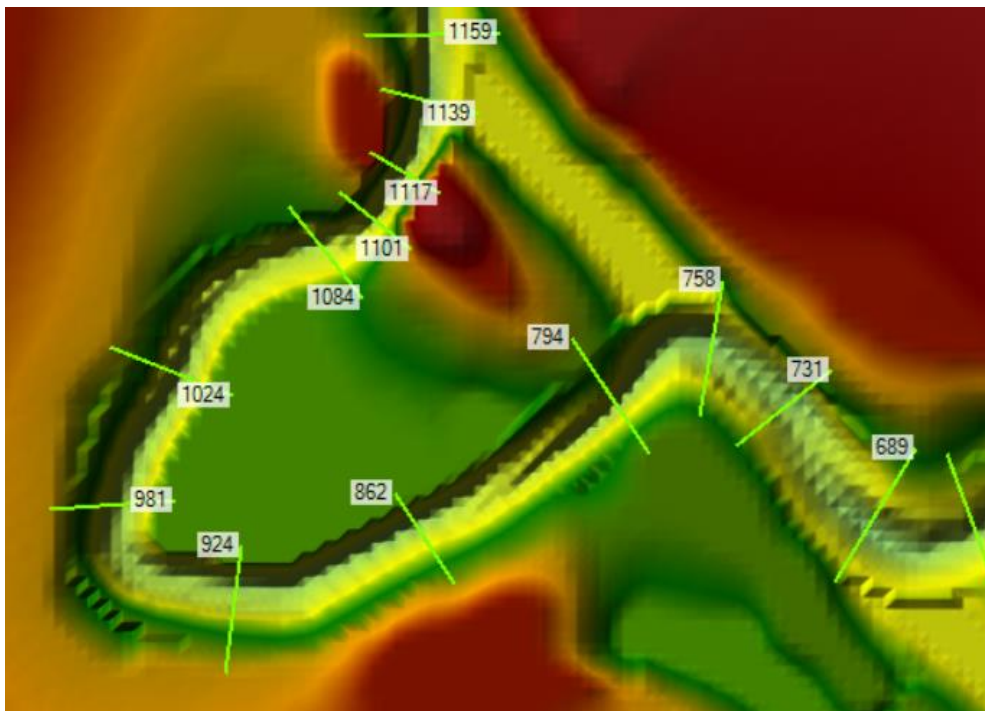
För återspeglning av våtmark och återmeandring krävs redigering av terrängen på samma sätt som batymetrin i den ursprungliga terrängen skapades. Tvärsektioner ritades ut varpå sektionernas höjd kunde redigeras utifrån inmätta höjdpunkter för batymetrin. För våtmarken skapades en öppning från den ursprungliga fåran som möjliggjorde att flödet kunde ledas in i den stora nedsänkta ytan. Den stora nedsänkta ytan som symboliserar våtmarken skapades genom redigering av de inritade tvärsnitten (se figur 13).



**Figur 13.** Skapade tvärsnitt för att erhålla en nedsänkning av terrängen för våtmarken i Rocklösaån. Uppströms till vänster i bild vilket också symboliseras av tvärsnittens tilldelade stationsvärden där höga värden är uppströms och lägre värden nedströms i vattendraget. De blå och gula områdena i bild symboliserar de lägsta punkterna i terrängen. Röda och grå områden representerar de högsta punkterna i terrängen.

Bottennivån i våtmarken ligger efter nedsänkning på + 25,3 meter i RH 2000. Denna nedsänkning motiverades utifrån den ovanliggande markens sluttning och var därför nödvändig främst för att våtmarken inte skulle släppa ut vatten till den ursprungliga fåran. Dessutom krävdes nedsänkningen för att erhålla ett rimligt djup i våtmarken. Vallar nyttjades för att leda in vattnet i våtmarken och på så vis stänga av den gamla fåran. Vallar nyttjades också vid våtmarkens utlopp för att förhindra att vattnet stiger upp i den gamla fåran.

Återmeandring gjordes genom att leda om den rätade fåran enligt de gamla meanderbågarna på platsen. En liknande geometri som för den rätade fåran eftersträvades för den meandrande fåran (se figur 14).

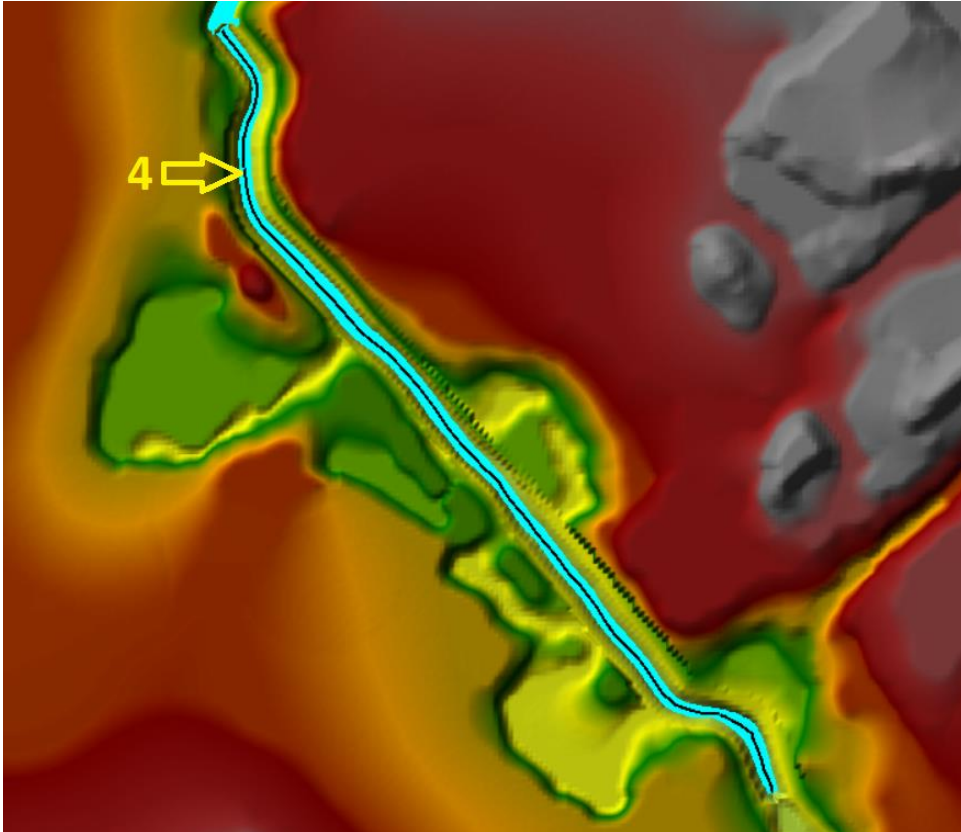


**Figur 14.** De gamla meanderbågarna i Hågaån har här öppnats upp genom redigering av höjden i skapade tvärsnitt. Uppströms högst upp i bild vilket också symboliseras av tvärsnittens tilldelade stationsvärden där höga värden är uppströms och lägre värden nedströms i vattendraget. De blå och gula områdena i bild symboliserar de lägsta punkterna i terrängen. Röda och grå områden representerar de högsta punkterna i terrängen.

## 5 RESULTAT

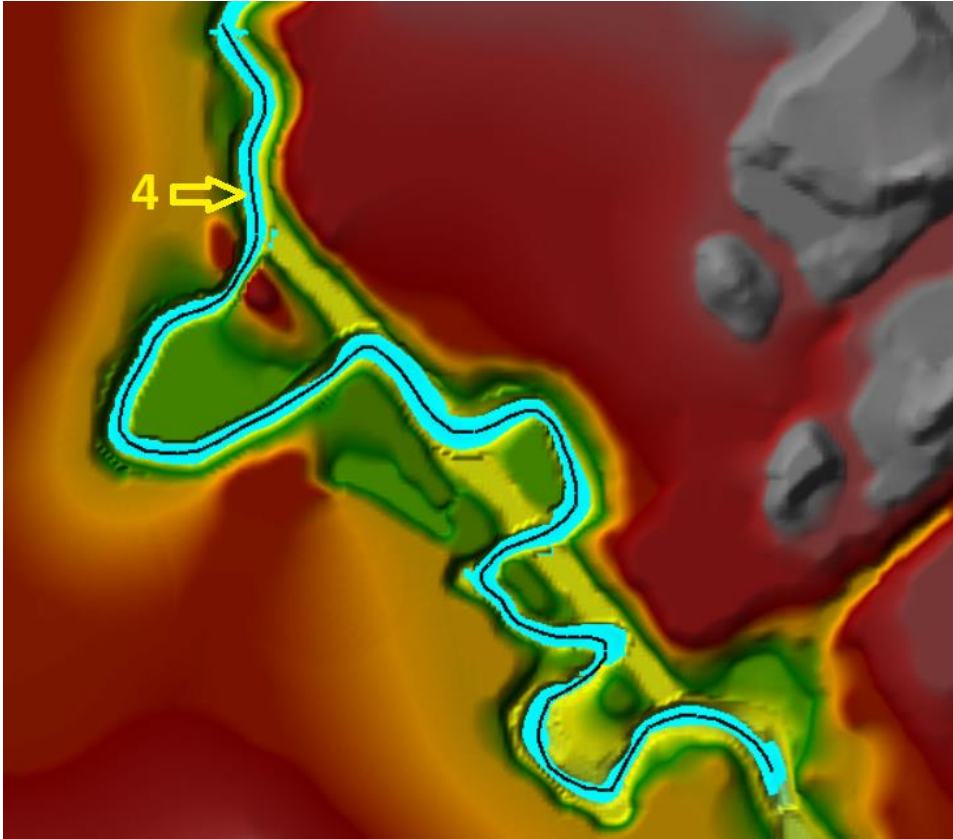
### 5.1 SIMULERINGAR HÅGAÅN

Två olika terrängmodeller har tagits fram för Hågaån där två scenarion per terrängmodell har simulerats. I figur 15 visualiseras den första terrängmodellen där Hågaåns nuvarande rätade fåra har återspeglats. Observationer av de hydrauliska parametrarna sker längs den utmarkerade mittlinjen (linje 4).



**Figur 15.** Upprättad terrängmodell för den rätade fåran i Hågaån med inritad mittlinje (linje 4) och ett pålagt flöde för medelvattenföring. Blå färg i fåran representerar pålagt vattenflöde. De gula områdena i bild symboliserar de lägsta punkterna i terrängen. Röda och grå områden representerar de högsta punkterna i terrängen.

Den andra terrängmodellen som tagits fram återspeglar återmeandring av den ursprungliga rätade fåran i Hågaån. I figur 16 visualiseras hur de gamla meanderbågarna har öppnats upp och de rätade sektionerna har här stängts av med vallar för att få vattnet att flöda i meanderbågarna. Även här sker observationer av de hydrauliska parametrarna längs den utmarkerade mittlinjen (linje 4).



**Figur 16.** Upprättad terrängmodell för den återmeandrade fåran i Hågaån med inritad mittlinje (linje 4) och pålagt flöde för medelvattenföring. Blå färg i fåran representerar pålagt vattenflöde. De gula områdena i bild symboliserar de lägsta punkterna i terrängen. Röda och grå områden representerar de högsta punkterna i terrängen.

### 5.1.1 Kalibrering

Utifrån erhållna värden för avrinningsområdets area, delavrinningsområdets area samt total stationskorrigerad vattenföring i avrinningsområdet kunde kalibreringsflödet i delavrinningsområdet beräknas enligt ekvation 8. Även medelflödet för delavrinningsområdet beräknades utifrån erhållen medelvattenföring i totala avrinningsområdet. Samtliga värden redovisas nedan i tabell 2.

**Tabell 2.** Värden för vattenföring och avrinningsområdets area i Hågaån.

Totala avrinningsområdets area [km <sup>2</sup> ]	54,566
Delavrinningsområdets area [km <sup>2</sup> ]	13,27
Total stationskorrigerad vattenföring 2021-03-04 [m <sup>3</sup> /s]	0,773
Medelvattenföring för totala avrinningsområdet [m <sup>3</sup> /s]	0,520
Beräknat kalibreringsflöde för delavrinningsområdet [m <sup>3</sup> /s]	0,1879
Beräknat medelflöde för delavrinningsområdet [m <sup>3</sup> /s]	0,1265

Efter simulering med det beräknade kalibreringsflödet kunde vattennivån observeras i modellen. I tabell 3 nedan presenteras de inmätta värdena för vattennivån i fem olika sektioner tillsammans med den modellgenererade vattennivån för samma sektioner.

**Tabell 3.** Summering av inmätt vattennivå och modellgenererad vattennivå för kalibrering.

Utvalda sektioner, uppströms till nedströms	Vattennivå Modell [m]	Vattennivå Inmätt [m]	Differens [m]
1	+22,020	+21,998	0,022
2	+21,933	+22,009	0,076
3	+21,918	+21,965	0,047
4	+21,879	+21,863	0,016
5	+21,865	+21,869	0,004

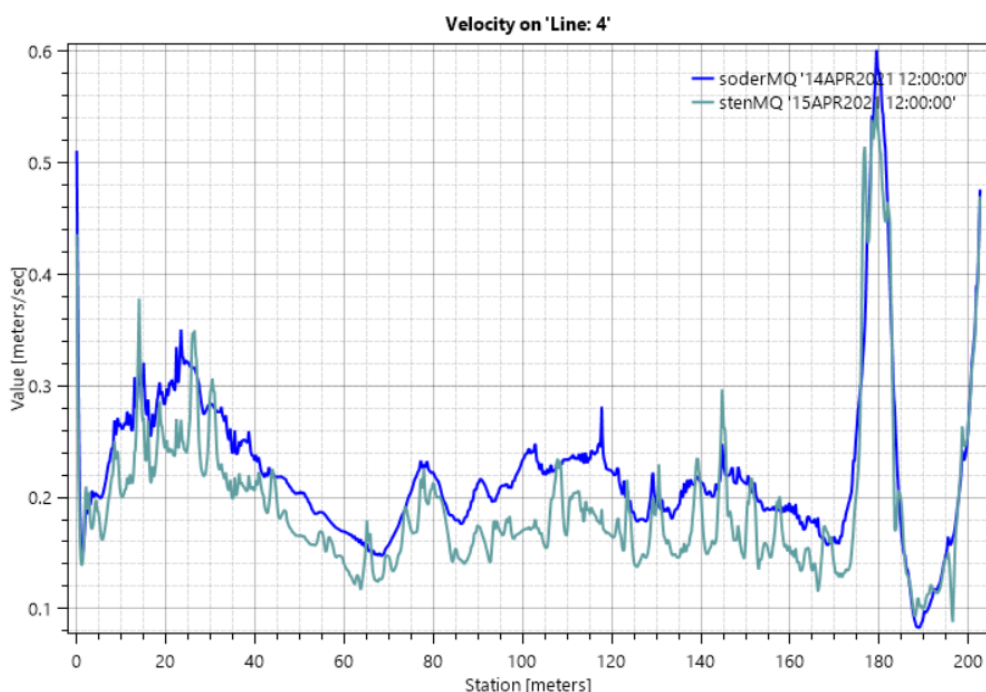
Medeldifferensen mellan inmätt vattennivå och modellgenererad vattennivå kan beräknas till 3,3 cm. Mannings skrovlighetskoefficient är i modellen satt till 0,06 och väljs att inte korrigeras ytterligare då noggrannheten anses i detta läge vara tillräcklig.



## 5.1.2 Modellresultat

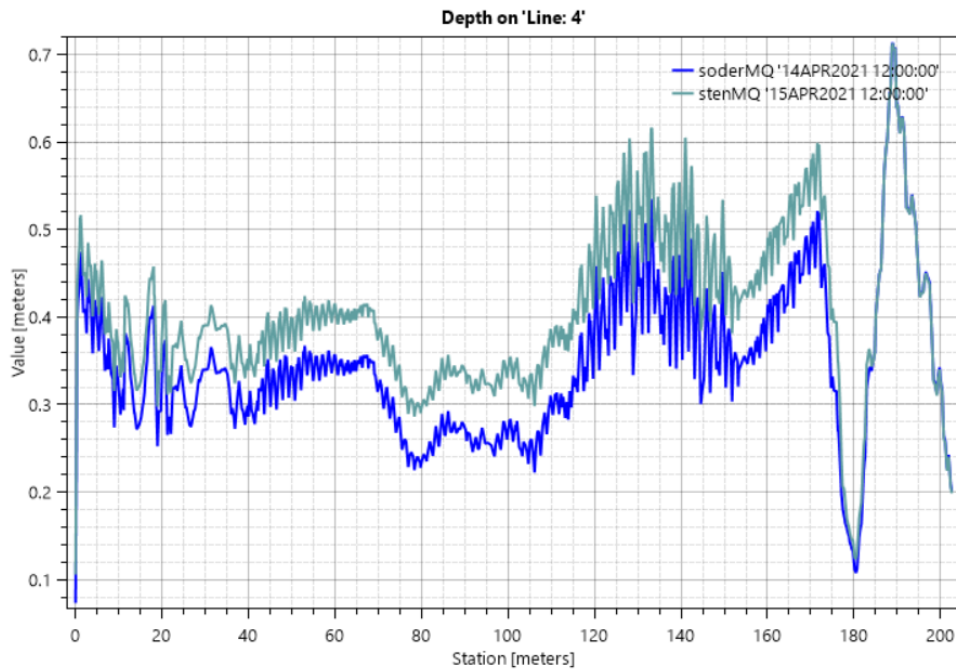
Här redovisas djup, hastighet och vattennivå grafiskt. Samtliga grafer (se figur 17, 18, 19, 20, 21 och 22) illustrerar den betraktade parameterns värde längs mittlinjen i flödessträckan där vattnet strämmas från vänster till höger. Blå linje representerar den betraktade parameter längs flödessträckan utan utplacering av sten och grön linje representerar den betraktade parameter längs flödessträckan med utplacering av sten.

Vattenhastigheten i den rätade fåran visualiseras i figur 17. Här syns hur hastigheten för scenariot utan sten är högre än för scenariot med sten för hela sträckan med undantag för några enskilda punkter. En ökad variation av hastigheten kan också urskiljas för scenariot med sten jämfört med utan. Medelhastigheten kunde från tabellvärden beräknas till 0,22 meter per sekund för scenariot utan sten och 0,193 meter per sekund för scenariot med sten.



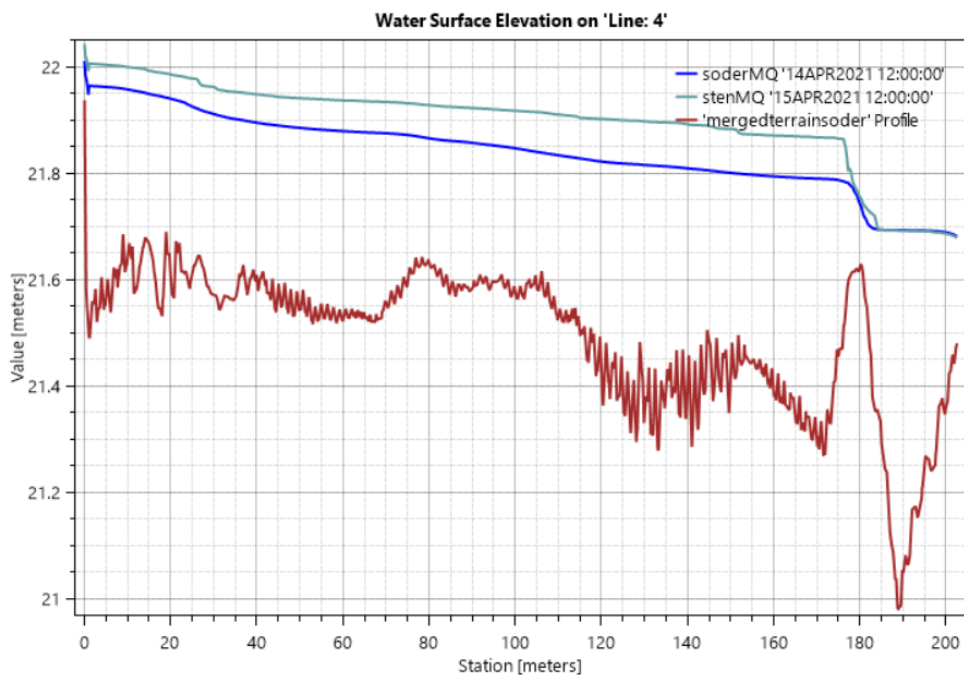
**Figur 17.** Vattenhastighet längs mittlinjen i den rätade fåran i Hågaån där blå linje representerar vattenhastigheten för scenariot utan utplacering av sten och den gröna linjen representerar vattenhastigheten för scenariot med utplacering av sten.

Medeldjupet i den rätade fåran beräknades till 0,349 meter för scenariot utan sten och till 0,407 meter för scenariot med sten. I figur 18 visualiseras djupet längs med mittlinjen för de båda scenarierna i den rätade fåran. Här kan ses hur djupet är konstant högre för scenariot med utplacerade stenar jämfört med scenariot utan utplacering av sten.



**Figur 18.** Vattendjup längs mittlinjen i den rätade fåran i Hågaån där blå linje representerar vattendjupet för scenariot utan utplacering av sten och den gröna linjen representerar vattendjupet för scenariot med utplacering av sten.

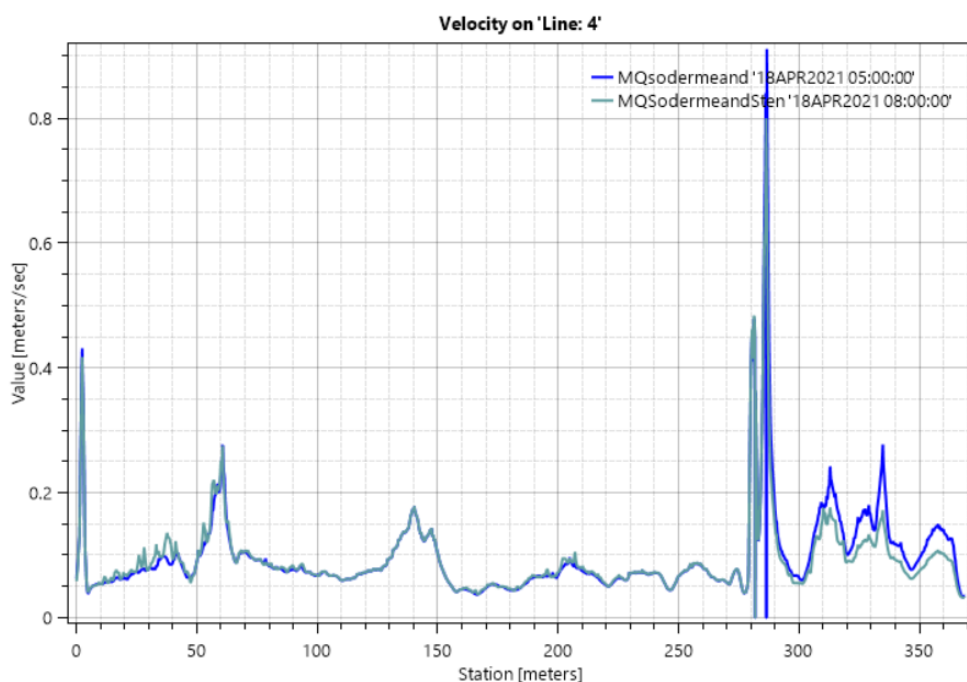
Vattennivån för respektive scenario i den rätade fåran redovisas i figur 19. Den bruna linjen i figuren visualiserar terrängen längs mittlinjen och den blå och gröna linjen representerar även här den observerade parametern för scenariot utan respektive med utplacering av sten. Vattennivån kan här ses vara högre för scenariot med utplacering av sten jämfört med utan längs med nästan hela sträckan.



**Figur 19.** Vattennivå längs mittlinjen i den rätade fåran i Hågaån där blå linje representerar vattennivån för scenariot utan utplacering av sten och den gröna linjen representerar vattennivån för scenariot med utplacering av sten. Brun linje representerar terrängen i fåran längs mittlinjen.

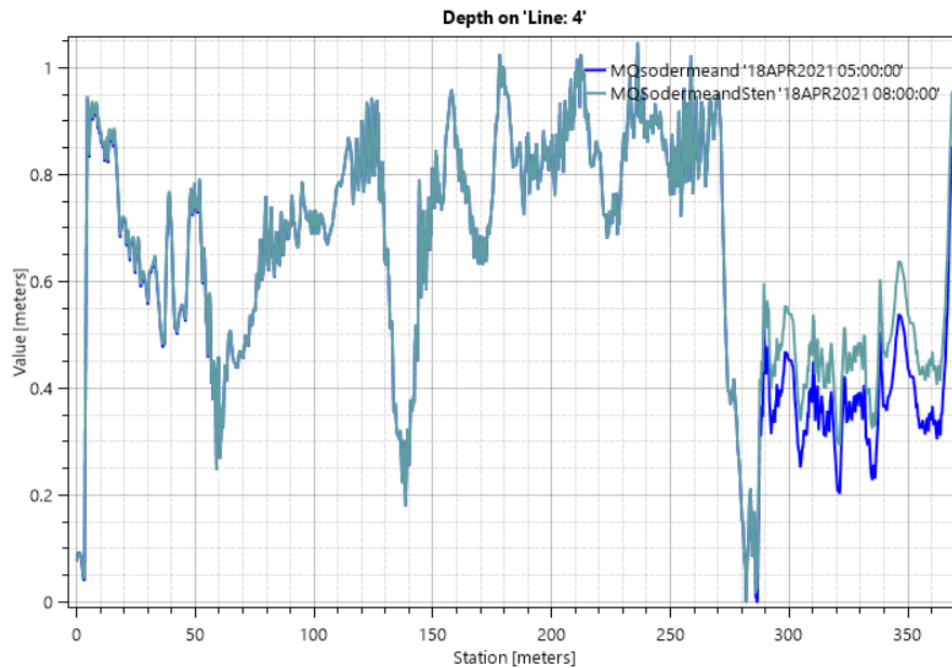
För scenariot återmeandring har mittlinjen dragits om för att följa den vattenförande fåran. Här redovisas parametrarna längs en sträcka på cirka 350 meter jämfört med ungefär 180 meter för den rätade fåran. För denna fåra har stenar placerats ut sektionsvis.

Vattenhastigheten längs mittlinjen illustreras i figur 20 där inga större skillnader i vattenhastigheten över hela sträckan kan urskiljas mellan scenariona med respektive utan sten. En aning större variation av hastigheten längs sträckan kan dock urskiljas för scenariot med sten jämfört med utan och en aningen högre hastighet kan konstateras för scenariot utan sten i de sista cirka 50 metrarna av sträckan. Medelhastigheten för den återmeandrade fåran beräknades till 0,098 meter per sekund samt 0,093 meter per sekund för scenariona utan respektive med sten.



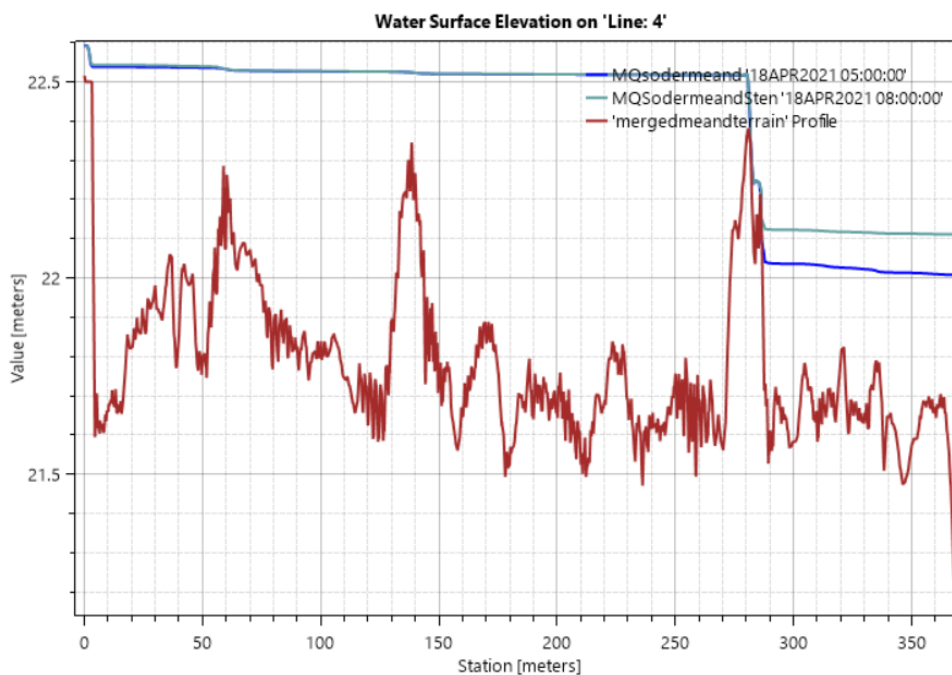
**Figur 20.** Vattenhastighet längs mittlinjen i den återmeandrade fåran i Hågaån där blå linje representerar vattenhastigheten för scenariot utan utplacering av sten och den gröna linjen representerar vattenhastigheten för scenariot med utplacering av sten.

Vattendjupet för scenariona med respektive utan sten i den återmeandrade fåran visualiseras i figur 21. Inga större skillnader med avseende på djupet kan urskiljas förutom i den sista sektionen med utplacerade stenar, mellan stationsvärde 300 och 350 meter, där djupet är aningen större för scenariot med sten. Medeldjupet beräknades till 0,636 meter för scenariot utan sten och 0,657 meter för scenariot med sten.



**Figur 21.** Vattendjup längs mittlinjen i den återmeandrade fåran i Hågaån där blå linje representerar vattendjupet för scenariot utan utplacering av sten och den gröna linjen representerar vattendjupet för scenariot med utplacering av sten.

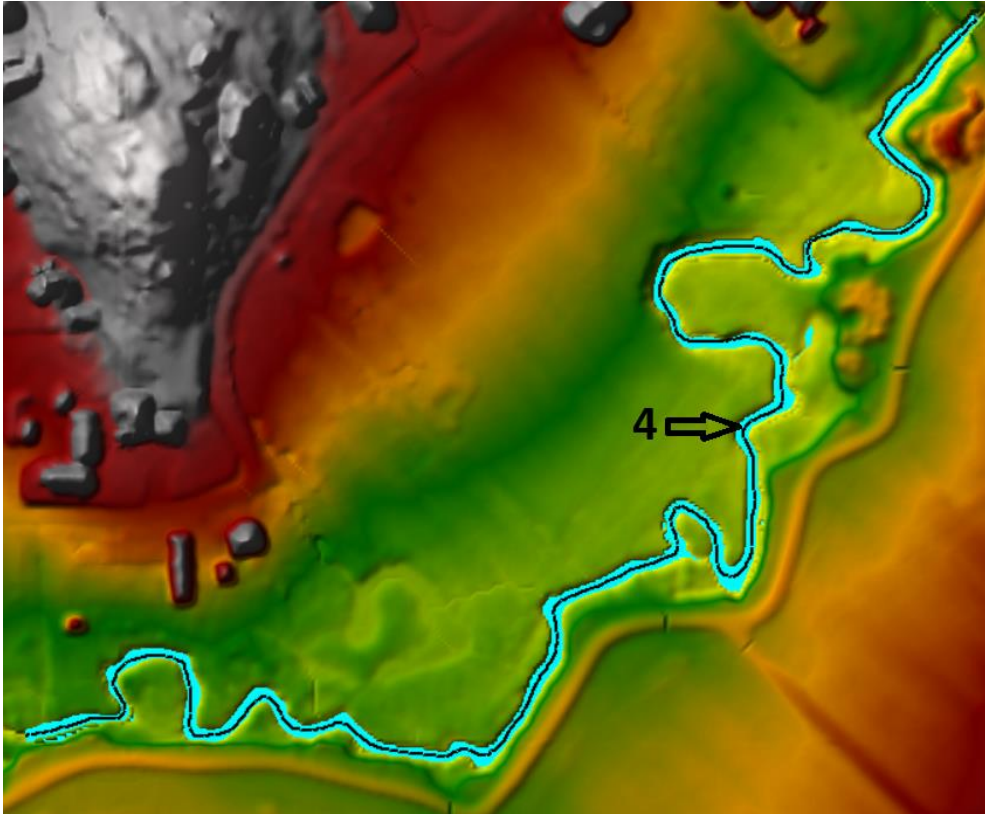
Vattennivån för respektive scenario i den återmeandrade fåran illustreras tillsammans med terrängprofilen i figur 22, där den bruna linjen i figuren visualiserar terrängen längs mittlinjen och den blå och gröna linjen representerar även här vattennivån för scenariona utan respektive med utplacering av sten. Precis som för hastigheten och djupet kan den största skillnaden för vattennivån urskiljas för de sista 50 metrarna av flödessträckan.



**Figur 22.** Vattennivå längs mittlinjen i den återmeandrade fåran i Hågaån där blå linje representerar vattennivån för scenariot utan utplacering av sten och den gröna linjen representerar vattennivån för scenariot med utplacering av sten. Brun linje representerar terrängen i fåran längs mittlinjen.

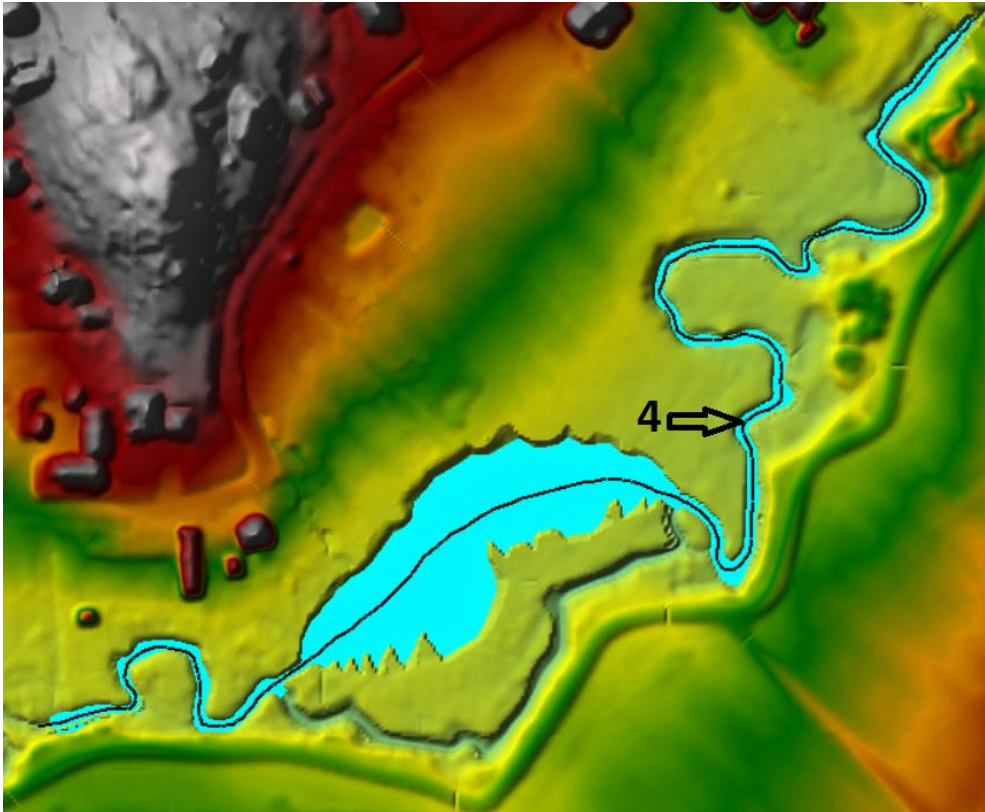
## 5.2 SIMULERINGAR ROCKLÖSAÅN

Två olika terrängmodeller har tagits fram även för Rocklösaån där två scenarion per terrängmodell har simulerats. I figur 23 visualiseras den första terrängmodellen där Rocklösaåns nuvarande meandrande fåra har återspeglats. Observationer av de hydrauliska parametrarna sker även här längs med den utmarkerade mittlinjen (linje 4).



**Figur 23.** Upprättad terrängmodell för den meandrande fåran i Rocklösaån med inritad mittlinje (linje 4) samt pålagt flöde för medelvattenföring. Blå färg i fåran representerar pålagt vattenflöde. Gula områdena i bild symboliserar de lägsta punkterna i terrängen. Röda och grå områden representerar de högsta punkterna i terrängen.

Den andra terrängmodellen som tagits fram återspeglar anläggning av en våtmark i anslutning till den ursprungliga fåran i Rocklösaån. I figur 24 visualiseras hur flödet styrs in i den avsänkta terrängen för att sedan mynna ut i den ursprungliga fåran igen.



**Figur 24.** Upprättad terrängmodell för den meandrande fåran med våtmark i Rocklösaån med inritad mittlinje (linje 4) samt pålagt flöde för medelvattenföring. Blå färg i fåran representerar pålagt vattenflöde. Gula områdena i bild symboliserar de lägsta punkterna i terrängen. Röda och grå områden representerar de högsta punkterna i terrängen.

### 5.2.1 Kalibrering

Utifrån erhållna värden för avrinningsområdets area, delavrinningsområdets area samt total stationskorrigerad vattenföring i avrinningsområdet kunde kalibreringsflödet i delavrinningsområdet beräknas enligt ekvation 8. Även medelflödet för delavrinningsområdet beräknades utifrån erhållen medelvattenföring i totala avrinningsområdet. Samtliga värden redovisas nedan i tabell 4.

**Tabell 4.** Värden för vattenföring och avrinningsområdets area i Rocklösaån.

Totala avrinningsområdets area [km <sup>2</sup> ]	54,566
Delavrinningsområdets area [km <sup>2</sup> ]	34,659
Total stationskorrigerad vattenföring 2021-03-04 [m <sup>3</sup> /s]	0,773
Medelvattenföring för totala avrinningsområdet [m <sup>3</sup> /s]	0,520
Beräknat kalibreringsflöde för delavrinningsområdet [m <sup>3</sup> /s]	0,491
Beräknat medelflöde för delavrinningsområdet [m <sup>3</sup> /s]	0,330

Efter simulering med det beräknade kalibreringsflödet kunde vattennivån observeras i modellen. I tabell 5 nedan presenteras de inmätta värdena för vattennivån i fem olika sektioner tillsammans med den modellgenererade vattennivån för samma sektioner.

**Tabell 5.** Summering av inmätt vattennivå och modellgenererad vattennivå för kalibrering.

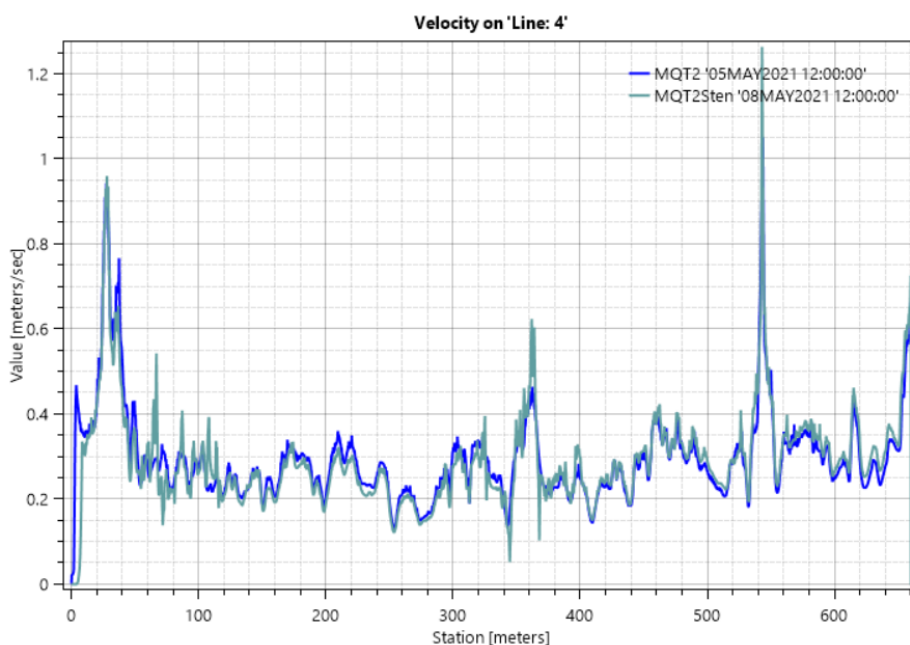
Utvalda sektioner, uppströms till nedströms	Vattennivå Modell [m]	Vattennivå Inmätt [m]	Differens [m]
1	+25,88	+25,803	0,077
2	+25,78	+25,686	0,094
3	+25,68	+25,607	0,073
4	+25,29	+25,336	0,046
5	+25,24	+25,139	0,101

Medeldifferensen mellan inmätt vattennivå och modellgenererad vattennivå kan beräknas till 7,8 cm. Mannings skrovlighetskoefficient är i modellen satt till 0,06 och väljs att inte korrigeras ytterligare då noggrannheten även i detta fall anses vara tillräcklig.

## 5.2.2 Modellresultat

Djup, hastighet och vattennivå redovisas här grafiskt för Rocklösaån. Även här illustrerar samtliga grafer (se figur 25, 26, 27, 28, 29 och 30) den betraktade parameterns värde längs mittlinjen i flödessträckan. Blå linje representerar den betraktade parameter längs flödessträckan utan utplacering av sten och grön linje representerar den betraktade parameter längs flödessträckan med sektionsvis utplacering av sten.

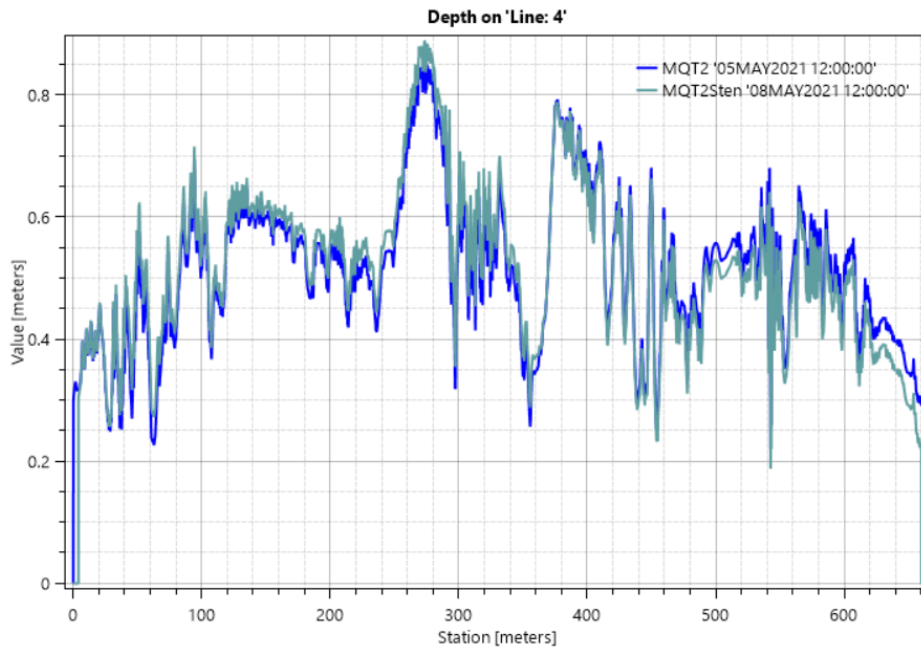
Vattenhastigheten i den meandrande fåran för scenariona med respektive utan sten visualiseras i figur 25. Här kan ses hur skillnaden mellan scenariona med respektive utan sten främst visar sig genom en ökad variation av hastigheten i scenariot med sten jämfört med utan. Medelhastigheten kunde från tabellvärden beräknas till 0,2946 meter per sekund för scenariot utan sten och 0,2949 meter per sekund för scenariot med sten.



**Figur 25.** Vattenhastighet längs mittlinjen i den meandrande fåran i Rocklösaån där blå linje representerar vattenhastigheten för scenariot utan utplacering av sten och den gröna linjen representerar vattenhastigheten för scenariot med sektionsvis utplacering av sten.

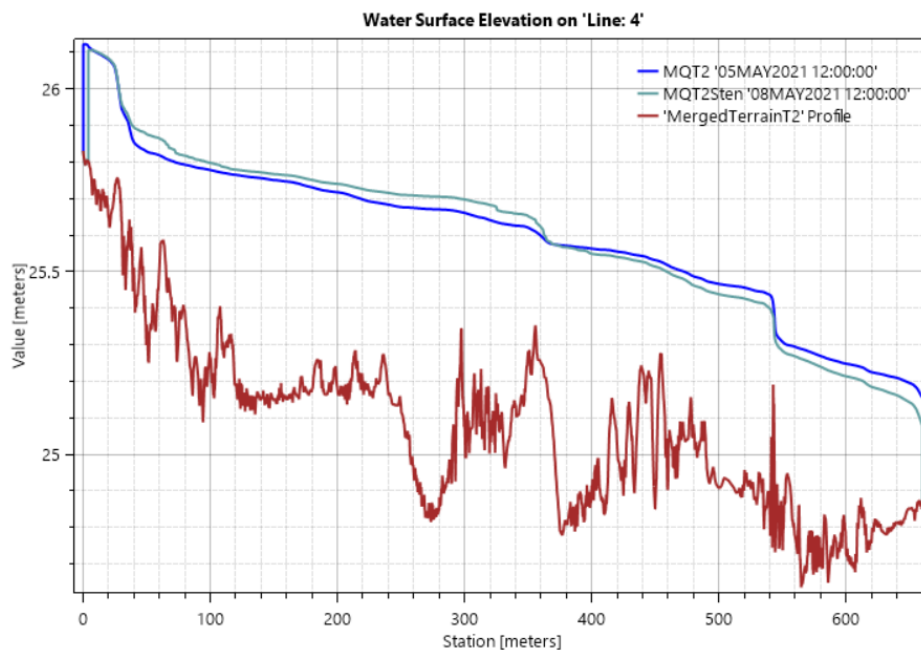
Djupet för scenariona med och utan sten i den meandrande fåran visualiseras i figur 26. Här kan ses hur skillnaderna mellan scenariot med respektive utan sten är mycket små och varierande över hela sträckan. Det mest anmärkningsvärda är här att variationen av djupet är större för scenariot med sten jämfört med utan sten. Medeldjupet beräknades till 0,515 meter för scenariot utan sten och 0,519 meter för scenariot med sten.





**Figur 26.** Vattendjup längs mittlinjen i den meandrande fåran i Rocklösaån där blå linje representerar vattendjupet för scenariot utan utplacering av sten och den gröna linjen representerar vattendjupet för scenariot med sektionsvis utplacering av sten.

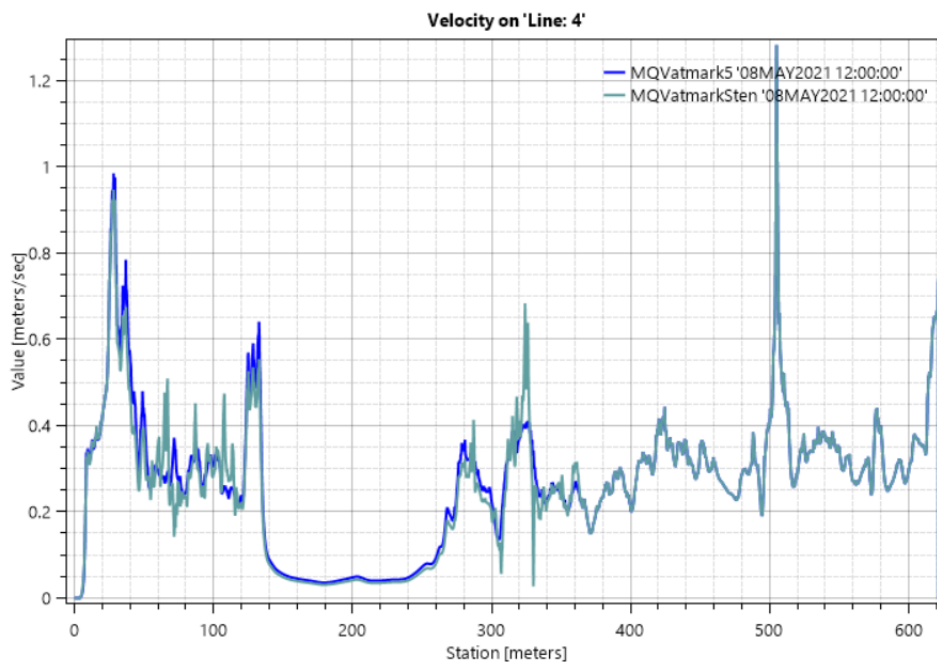
Vattennivån för respektive scenario i den meandrande fåran redovisas tillsammans med terrängprofilen i figur 27, där den bruna linjen i figuren visualiserar terrängen längs mittlinjen och den blå och gröna linjen representerar även här vattennivån för scenariot utan respektive med utplacering av sten. Precis som för djupet kan ses hur vattennivån är högre för scenariot med sektionsvis utplacerade stenar de första cirka 350 metrarna varpå vattennivån för scenariot utan sten är högre för resterande cirka 350 meter.



**Figur 27.** Vattennivå längs mittlinjen i den meandrande fåran i Rocklösaån där blå linje representerar vattennivån för scenariot utan utplacering av sten och den gröna linjen representerar vattennivån för scenariot med sektionsvis utplacering av sten. Brun linje representerar terrängen i fåran längs mittlinjen.

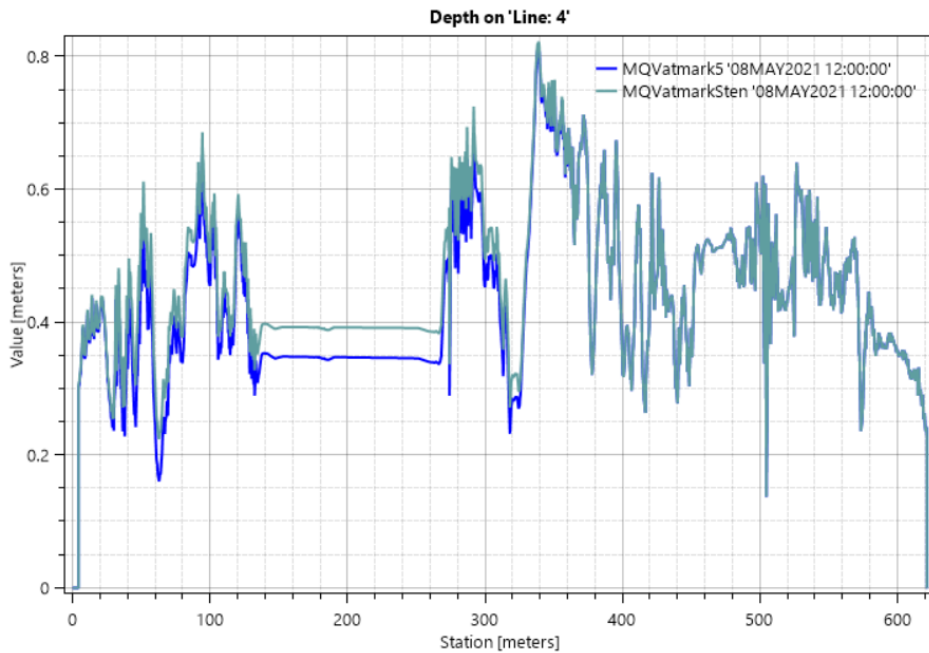
För scenariot med våtmark har mittlinjen dragits om för att följa den vattenförande fåran. Den observerade sträckan minskar med cirka 40 meter jämfört med den ursprungliga fåran. Våtmarken utgör en sträcka på cirka 120 meter.

Vattenhastigheten längs mittlinjen illustreras i figur 28 där inga större skillnader med avseende på hastigheten kan urskiljas mellan scenariona med respektive utan utplacering av sten. Även här kan dock en större variation av hastigheten urskiljas för scenariot med sten i de sektioner där sten har utplacerats. Medelhastigheten för den meandrande fåran med våtmark beräknades till 0,281 meter per sekund samt 0,276 meter per sekund för scenariona utan respektive med sten.



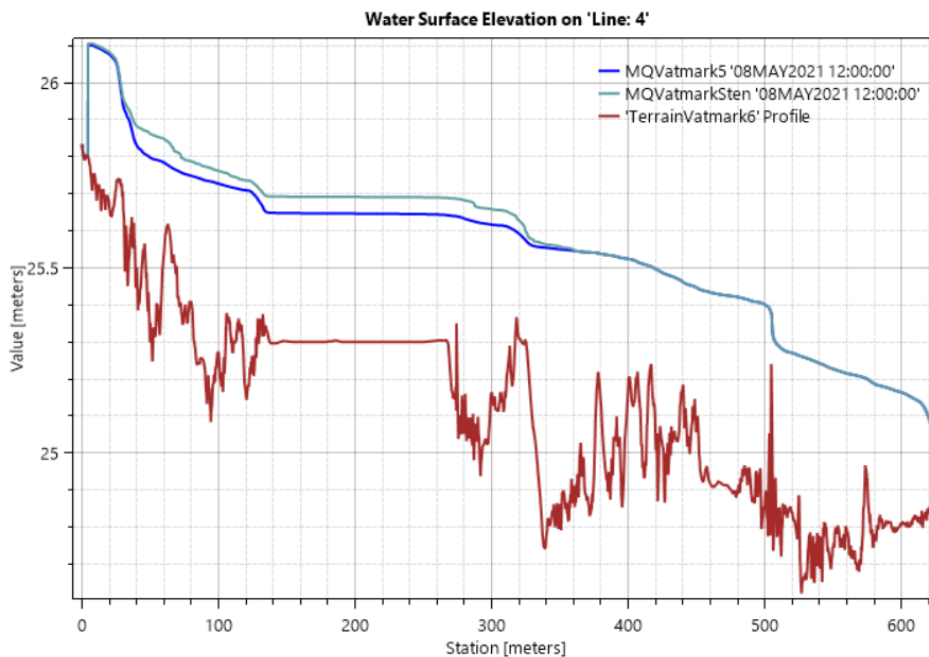
**Figur 28.** Vattenhastighet längs mittlinjen i den meandrande fåran med våtmark i Rocklösaån där blå linje representerar vattenhastigheten för scenariot utan utplacering av sten och den gröna linjen representerar vattenhastigheten för scenariot med sektionvis utplacering av sten.

Djupet för scenariona med och utan sten i den meandrande fåran med våtmark visualiseras i figur 29. Här syns tydligt placeringen av våtmarken mellan stationsvärden 140 och 260 meter. Det är också i våtmarken den största skillnaden i djupet mellan scenariona med respektive utan sten kan urskiljas. Även strax innan samt efter våtmarken där stenar har utplacerats syns en ökning av djupet för scenariot med sten jämfört med utan. Även en ökad variation av djupet kan i dessa sektioner urskiljas. Medeldjupet beräknades till 0,436 meter för scenariot utan sten och 0,457 meter för scenariot med sten.



**Figur 29.** Vattendjup längs mittlinjen i den meandrande fåran med våtmark i Rocklösaån där blå linje representerar vattendjupet för scenariot utan utplacering av sten och den gröna linjen representerar vattendjupet för scenariot med sektionvis utplacering av sten.

Vattennivån för respektive scenario i den meandrande fåran med våtmark redovisas i figur 30. Den bruna grafen i figuren visualiserar terrängen längs med mittlinjen och den blå respektive gröna grafen representerar även här scenarierna med respektive utan sten. Här syns skillnaden i form av en högre vattennivå för scenariot med sten jämfört med utan fram till stationsvärde 320 meter strax efter våtmarken varpå vattennivån därefter blir densamma för båda scenarierna.



**Figur 30.** Vattennivå längs mittlinjen i den meandrande fåran med våtmark i Rocklösaån där blå linje representerar vattennivån för scenariot utan utplacering av sten och den gröna linjen representerar vattennivån för scenariot med sektionvis utplacering av sten. Brun linje representerar terrängen i fåran längs mittlinjen.

## 5.3 KONVENTIONELLA BERÄKNINGAR - HÅGAÅN

### 5.3.1 Uppskattning av Mannings skrovlighetskoefficient

Genom nyttjandet av ekvation 14 samt tabellvärden för observerade parametrars bidrag till Mannings skrovlighetskoefficient kunde koefficienten bestämmas för samtliga undersökta scenarion i Hågaån. I tabell 6 nedan redovisas de uppskattade värdena för samtliga bidragande koefficienter samt slutgiltigt värde för Mannings skrovlighetskoefficient.

**Tabell 6.** Observerade parametrars bidrag till Mannings skrovlighetskoefficient för de olika scenariona.

Koefficienter	Rätad fåra	Rätad fåra med sten hela sträckan	Återmeandrad fåra	Återmeandrad fåra med sten sektionvis
$n_b$ [s/m <sup>1/3</sup> ]	0,025	0,025	0,025	0,025
$n_1$ [s/m <sup>1/3</sup> ]	0,002	0,002	0,002	0,002
$n_2$ [s/m <sup>1/3</sup> ]	0	0	0	0
$n_3$ [s/m <sup>1/3</sup> ]	0	0,015	0	0,008
$n_4$ [s/m <sup>1/3</sup> ]	0,010	0,010	0,010	0,010
$m$ [-]	1	1	1,3	1,3
$n$ [s/m <sup>1/3</sup> ]	0,037	0,052	0,048	0,059

$n_b$ : Basvärde, uppskattas utifrån markens sammansättning i form av kornstorlek

$n_1$ : Uppskattas utifrån fårans ojämnheter

$n_2$ : Uppskattas utifrån tvärsektionernas geometriska variation

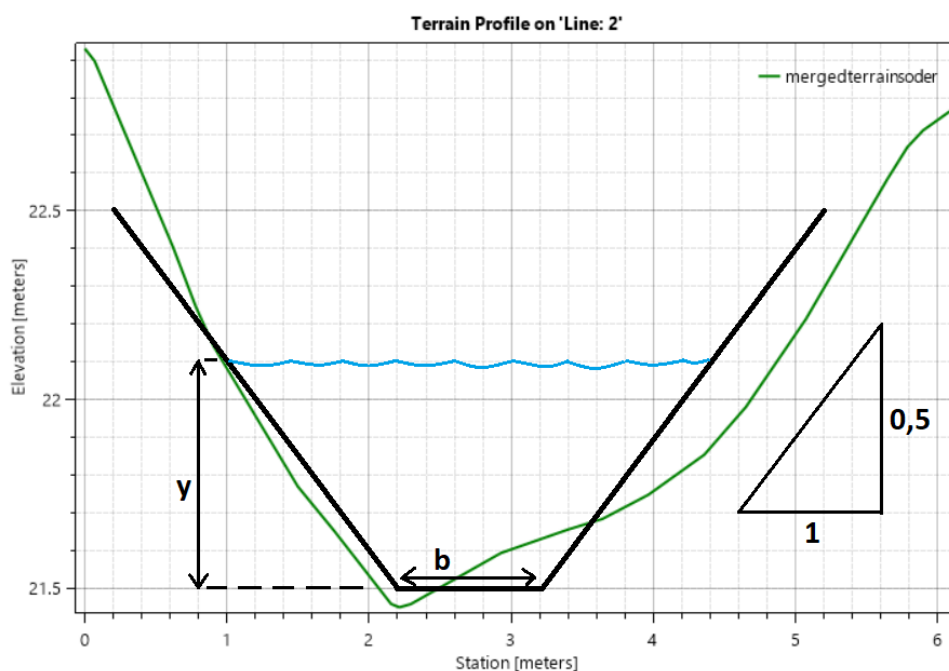
$n_3$ : Uppskattas utifrån andelen vattenhinder i fåran

$n_4$ : Uppskattas utifrån andel vegetation

$m$ : Uppskattas utifrån fårans grad av meandring

### 5.3.2 Mannings formel

Utifrån inmätta värden för tvärsektioner i flödessträckan utformades en parallelltrapets i dimension enligt figur 31. Bottenbredden kunde bestämmas till 1 meter och släntlutningen till 2 meter. Den bestämda dimensionen visualiseras här i förhållande till terrängprofilen i en bestämmande sektion av vattendraget.



**Figur 31.** Bestämd dimension för parallelltrapetsen som används vid beräkning med Mannings formel. Bottenbredden ( $b$ ) bestäms till 1 meter och släntlutningen ( $x$ ) till 2 meter. Den gröna linjen beskriver terrängprofilen i vattendragets tvärsnitt,  $y$  är vattendjupet och den blå linjen symboliserar vattenytan.

I tabell 7 sammanställs parametrar erhållna från bestämd geometri, uppskattade värden för Mannings koefficient, beräknad lutning utifrån inmätningar samt medelvattenföring i den aktuella flödessträckan i Hågaån. Notera skillnaden i flödessträckans längd, lutning samt Mannings  $n$  för de olika scenarierna.

**Tabell 7.** Summering av erhållna parametrar utifrån bestämd geometri, uppskattade Mannings  $n$ , beräknad lutning samt medelvattenföring.

Parametrar	Rätad fåra	Rätad fåra med sten hela sträckan	Återmeandrad fåra	Återmeandrad fåra med sten sektionsvis
Q [m <sup>3</sup> /s]	0,1265	0,1265	0,1265	0,1265
dh [m]	0,26	0,26	0,26	0,26
dL [m]	180	180	350	350
S [m/m]	$1,44 \cdot 10^{-3}$	$1,44 \cdot 10^{-3}$	$0,743 \cdot 10^{-3}$	$0,743 \cdot 10^{-3}$
$n$ [-]	0,037	0,052	0,048	0,059
$n_{kal}$ [-]	0,059	0,074	0,070	0,081
$b$ [m]	1	1	1	1
$x$ [m]	2	2	2	2

Genom iterativa beräkningar med Mannings formel erhöles medeldjup och medelhastighet för samtliga undersökta scenarion i Hågaån. I tabell 8 redovisas beräknade medelvärden enligt Mannings formel samt beräknade medelvärden från modellgenererade tabellvärden. Beräkningar med Mannings formel har gjorts både med och utan kalibrering av Mannings skrovlighetskoefficient.

**Tabell 8.** Beräknade medelvärden enligt Mannings formel samt beräknade medelvärden från modellgenererade tabellvärden.

Medelvärden för djup och hastighet	Rätad fåra	Rätad fåra med sten hela sträckan	Återmeandrad fåra	Återmeandrad fåra med sten sektionvis
Djup, Modell [m]	0,349	0,407	0,636	0,657
Djup, Manning [m]	0,256	0,306	0,349	0,387
Djup, Manning Kalibrerad [m]	0,327	0,367	0,422	0,454
Hastighet, Modell [m/s]	0,222	0,193	0,098	0,093
Hastighet, Manning [m/s]	0,327	0,256	0,213	0,184
Hastighet Manning kalibrerad [m/s]	0,234	0,199	0,163	0,146

## 6 DISKUSSION

### 6.1 HÅGAÅN

För den ursprungliga räta sträckan i Hågaån erhöles ett resultat som visar på att utplacering av sten genererar en minskad vattenhastighet, större djup samt en högre vattennivå än i samma sträcka utan sten. Utplacering av sten kan utifrån resultatet för den räta fåran konstateras ha en bromsande effekt på flödet. Djupet ökar som en direkt effekt av den minskade hastigheten vilket kan förklaras utifrån rörelsemängdens bevarande. Om hastigheten minskar måste massan öka för att bevara rörelsemängden. Om vattenmassans densitet antas vara konstant måste den ökade massan bero på en ökad volym som i ett vattendrag med relativt vertikala kantzoner tydligt återspeglas i form av ett ökat djup. Fenomenet kan under antagandet om stationärt flöde också förklaras med Mannings formel. Vid nyttjandet av Mannings formel betraktas stenar i fåran som ett vattenhinder. Andel vattenhinder i fåran är en parameter som är bidragande till Mannings skrovlighetskoefficient på så vis att koefficienten ökar vid en större andel vattenhinder. En större friktion kan genom observation av Mannings formel konstateras ge en lägre hastighet och ett större djup. Utifrån observationer av hastigheten i fåran (se figur A och B i Appendix) kan också konstateras att sektionerna där sten har utplacerats i samtliga scenarion får ett flöde som kan beskrivas som mer turbulent. Hastigheten blir med andra ord svårare att förutspå i en viss punkt. Detta är en av effekterna som eftersträvas med utplacering av sten i biotopvårdande sammanhang. Utöver den sänkta hastigheten och det ökade djupet erhålls platser i fåran som kan utgöra viloplats för fiskar då det skapas fickor bakom stenarna med en sänkt vattenhastighet.

Vid återmeandring av flödessträckan i Hågaån erhålls en sänkt hastighet samt ökat djup och vattennivå. Resultatet för detta scenario kan förklaras utifrån teorin på så vis att återmeandringen av sträckan genererar en längre flödessträcka men altituden vid start- och slutpunkt av flödessträckan förblir givetvis densamma. Lutningen för den återmeandrade sträckan är därför mindre än för den rätade sträckan. Utöver minskad lutning har återmeandring också ett bidrag till Mannings koefficient på så vis att koefficienten ökar för en större grad av meandring av fåran. Effekten av att lutningen minskar och friktionen ökar blir en sänkt vattenhastighet och ett ökat djup. Att återmeandra en flödessträcka likt Hågaån ger enligt resultatet mycket god effekt. Ett ökat djup och en lägre hastighet i en å där djupet bara är några decimeter kan innebära räddningen för många vattenlevande organismer under torrare perioder. Med hänsyn till den intilliggande åkermarken kan dessutom den sänkta hastigheten innebära en minskad transport av organiskt material och näringsämnen till recipienter nedströms.

Utifrån resultatet för den återmeandrade fåran med sektionsvis utplacering av sten erhöles inga större skillnader i hastighet och djup jämfört med den återmeandrade fåran utan sten. I dom sektioner där sten placerades kan en aning större variation i hastighet och djup avläsas från graferna. Detta kan förklaras utifrån förändringen av flödets egenskaper då det skapas mer turbulenta förhållanden. Den största effekten erhöles vid den sista sektionen med utplacerade stenar. Något som inte kan tolkas ur resultatet för

den räta fåran men som kan åskådliggöras i detta fall är att utplacering av sten har en väldigt lokal effekt på flödets egenskaper. Det är endast i sektionerna med sten som en liten skillnad i hasighet och djup erhålls. Den minimala skillnaden mellan de beräknade medelvärdena för djup och hastighet mellan dessa scenarion beror troligtvis på förändringen i just dessa sektioner.

## 6.2 ROCKLÖSAÅN

I den ursprungliga meandrande fåran för Rocklösaån erhöles ett liknade resultat som för den återmeandrade sträckan i Hågaån. De sektionsvis utplacerade stenarna ger även här mycket liten effekt sett till medelvärdena för djup och hastighet över hela sträckan. De utplacerade stenarnas effekt visar sig endast i form av större lokala variationer i hastighet och djup för de stenlagda partierna.

I scenariot med våtmark i anslutning till Rocklösaån erhöles ett mindre djup samt en aning lägre hastighet utifrån de beräknade medelvärdena längs hela flödessträckan. Detta resultat skiljer sig från övriga resultat på så vis att en sänkt hastighet jämfört med scenariot utan våtmark inte resulterar i ett ökat djup. Våtmarkens relativt stora area resulterar i att djupet minskar relativt djupet i fåran. Dessutom resulterar våtmarkens area i att en ändrad hastighet har en marginell påverkan på djupet i våtmarken. Det lägre djupet i våtmarken jämfört med i fåran är en stor del av förklaringen till att medeldjupet längs hela sträckan beräknas vara lägre än för scenariot utan våtmark. Våtmarken som är utformad utan lutning har en tydlig lokalt bromsande effekt på flödet (se Appendix C). Sett till den hydrologiska nyttan som våtmarken utgör så är medelhastigheten över hela sträckan mindre intressant. Det är den lokalt minskade hastigheten och det minskade djupet i våtmarken som utgör våtmarkens funktionalitet. Den sänkta hastigheten utgör en viktig parameter för att våtmarken ska kunna verka som sedimentationsfälla. Den sänkta hastigheten och det minskade djupet skapar också gynnsamma förhållanden för makrofyter och annan växtlighet i våtmarken som bidrar till rening av vattnet genom biologiska processer. Sett till resultatet ger den upprättade våtmarken önskvärda effekter. Det bör dock nämnas att den modellerade våtmarken i det här fallet är upprättad för att analysera de hydrauliska effekterna vid anläggning av våtmark. Flera faktorer bör tas i beaktning för att kunna konstatera om denna våtmark är lämplig för den aktuella platsen. Schaktning kan hur som helst konstateras vara nödvändig på grund av den sluttande marken och för att erhålla ett önskat djup i våtmarken. Vidare bör undersökas huruvida våtmarkens area är tillräcklig ur reningsaspekt vilket måste utvärderas utifrån hur stor belastning den inkommande vattenkvalitén innebär. Även hur våtmarken hanterar låg- respektive högvattenföring bör utredas för att utesluta att våtmarken vid höga flöden förlorar funktionalitet eller att den utgör ett vandringshinder för fisk vid låga flöden.

För sektionsvis utplacering av sten i scenariot med våtmark i anslutning till Rocklösaån kunde en sänkt hastighet och ett ökat djup erhållas utifrån beräknade medelvärden jämfört med scenariot med våtmark och utan sten. Variationen i hastighet kan konstateras öka i de sektioner där sten utplacerats. För de stenlagda partierna kan också ett större djup avläsas. Dessutom erhöles våtmarken ett ökat djup med cirka fem



centimeter. En förklaring till det ökade djupet kan vara en sänkt hastighet till följd av stenarnas bromsande effekt på flödet. Däremot kan ingen drastisk förändring av hastigheten i våtmarken avläsas. Det ökade djupet i våtmarken kan således tolkas som en konsekvens på grund av den minskade hastigheten och ökade vattennivån strax uppströms samt strax nedströms våtmarken.

### 6.3 KOVENTIONELLA BERÄKNINGAR FÖR HÅGAÅN

Att analysera förhållandet mellan flöde, hastighet och djup kan göras genom nyttjandet av energiekvationen, bevarandet av massa och rörelsemängd samt med Mannings formel. Resultatet kommer variera beroende på vilken metod som används då metoderna grundar sig på olika antaganden om flödets egenskaper. Utifrån beräkningarna som gjordes med Mannings formel för Hågaån kan konstateras att trenden är densamma för de manuellt beräknade värdena för djup och hastighet som de modellgenererade värdena. I de scenarion som hastigheten ökar utifrån modellresultatet ökar också hastigheten enligt beräkningarna med Mannings formel. Detta talar för att översiktliga trender kan uppskattas med båda metoderna. Det finns dock skillnader i resultatet som i vissa situationer kan vara av stor betydelse. För scenariot återmeandring predikterar modellen ett djup som är cirka 2 decimeter högre än vad som beräknats med Mannings formel. Dessutom kan lokala effekter som ökad hastighet och turbulentare flöde avläsas från modellresultatet vilket inte kan erhållas med beräkningar med konventionella beräkningar. Sådana effekter kan vara av stor betydelse för utvärdera erosionsutsatta partier i strömsträckan samt eventuella vandringshinder till följd av för en för hög vattenhastighet.

Den kanske största skillnaden mellan upprättandet av modell och beräkningar med Mannings formel utgörs av återspeglandet av geometrin i fåran. Vid upprättandet av modell skapas fårans geometriska form genom inmätningar vid ett antal tvärsektioner varpå sträckan mellan varje inmätt sektion interpoleras. En terrängmodell upprättad i HEC-RAS kan på så vis återspegla en varierande geometri längs hela flödessträckan. Vid nyttjandet av Mannings formel bestäms geometrin också utifrån inmätningar men den stora skillnaden är att denna bestämda geometri gäller för hela den observerade sträckan. Med andra ord beskriver terrängmodellen ett olikformigt flöde där tvärsnittsarean varierar medan Mannings formel beskriver ett likformigt flöde, det vill säga att tvärsnittsarean är konstant längs med sträckan. Givetvis kan beräkningar med Mannings formel också delas upp och göras separat för olika delar av flödessträckan för att erhålla ett noggrannare resultat för olika sektioner i vattendraget.

En annan skillnad mellan metoderna är det faktum att för beräkningar med Mannings formel görs antagandet om turbulent och stationärt flöde. Per definition är ett turbulent flöde icke-stationärt. Antagandet om stationärt flöde kan dock göras utifrån resonemanget att för en bestämd punkt över en liten tidskala varierar hastigheten mycket, men om medelhastigheten beräknas över små tidsintervall varierar hastighetskomponenterna mycket långsammare eller inte alls. Vid små eller inga variationer kan det turbulenta flödet antas vara stationärt. Det vill säga flödets egenskaper i en viss punkt är oberoende av tiden. En två-dimensionell modell upprättad

för icke-stationärt flöde utför beräkningar under antagandet att flödets egenskaper i en viss punkt varierar med tiden och tar hänsyn till hastighetskomponenterna i två dimensioner. För ett naturligt vattendrag vars flöde beskrivs som turbulent och icke-stationärt utgör modellen en korrektere beskrivning av verkligheten.

Utifrån beräknade hastigheter och djup med Mannings formel kan konstateras att det beräknade djupet avviker från de modellsimulerade djupet med nästan en decimeter för den räta fåran både med och utan sten. För återmeandring är differensen nästan tre decimeter för både med och utan sten. Efter kalibrering av Mannings koefficient kan differensen reduceras med ungefär sex till sju centimeter för samtliga scenarion. För den räta fåran är nu differensen två respektive fyra centimeter mellan det modellsimulerade djupet och det beräknade djupet med Mannings formel för scenariona utan respektive med sten. Hastigheten följer samma mönster och närmar sig den modellsimulerade hastigheten för respektive scenario i den räta fåran. Den största skillnaden mellan metoderna erhöles för scenariot med återmeandring där skillnaden är ungefär två decimeter i djup för både med och utan sten.

Beskrivningen av geometrin i vattendraget är troligtvis den största bidragande orsaken till att det beräknade djupet med Mannings ekvation avviker från det simulerade djupet för den återmeandrade fåran. Den meandrande fåran tenderar att vara en aning smalare än den räta fåran vid flera sektioner vilket kan tolkas från figurerna som visualiserar de upprättade terrängmodellerna för Hågaån (se figur 15 och 16). Den approximerade geometrin som ligger till grund för beräkningarna med Mannings formel är upprättad och anpassad utifrån inmätningar i den räta fåran. Modellen beskriver alltså flödets egenskaper i en fåra som på sina ställen är aningen smalare än den fåra som ligger till grund för beräkningarna med Mannings formel. Det är alltså möjligt att en korrektere geometrisk beskrivning av den återmeandrade fårans tvärsnitt skulle generera ett djup och en hastighet som i högre grad överensstämmer med modellen.

De två decimeter i djup som skiljer resultatet åt mellan modellen och Mannings formel representerar cirka 30% av det modellgenererade djupet. Det är en felmarginal som i vissa situationer kan betraktas som helt acceptabel, exempelvis då det undersökta objektet har ett gynnsamt flöde med goda marginaler både från att bli torrlagt samt att svämma över. Det finns givetvis också scenarion där två decimeter, eller 30% av djupet, inte är en acceptabel felmarginal. Att inom biotopvårdsarbetet nyttja Mannings formel för att förutspå effekter av relevanta åtgärder har en klar fördel ur aspekterna tidseffektivitet och användarvänlighet. Resultatet visar också på att en god precision kan uppnås under förutsättning att den geometriska beskrivningen överensstämmer med vattendragets verkliga geometri. Den felaktigt beskrivna geometrin i det här fallet kan också återspegla svårigheterna kring att erhålla en korrekt geometrisk beskrivning. Vid nyttjandet av Mannings formel bör därför stor vikt läggas på att uttrycka geometrin så verklighetstroget som möjligt. Det är också viktigt att inse metodens begränsningar och ta i beaktning vilka effekterna skulle bli med en felmarginal på exempelvis 30%. En annan begränsning med metoden är antagandet om stationärt flöde och att det beräknade djupet och hastigheten representerar hela den observerade sträckan. I situationer där flödet tydligt beskrivs som ett olikformigt flöde eller då effekterna av de åtgärder som utreds har lokala effekter i flödessträckan kan upprättandet av modell vara fördelaktigt. Att utvärdera extra erosionsutsatta delar av flödessträckan, utbredningen av en viss

störning och dimensionering av våtmark är några exempel på situationer där upprättandet av modell kan utgöra stor nytta.

#### **6.4 FORTSATTA STUDIER**

För att kunna formulera säkrare slutsatser kring skillnad mellan upprättade flödesmodeller och konventionella beräkningar med Mannings formel skulle fler jämförelser behövas. Utifrån fler försök för respektive scenario skulle trender i resultatet kunna analyseras. Att komplettera uppskattade effekter med inmätningar i fält efter utförda åtgärder hade också bidragit till en mer komplett studie. I ett sådant scenario hade resultatet kunnat utvärderas mot de verkliga effekterna vilket hade skapat underlag för att kunna uppskatta både modellens och de konventionella beräkningarnas precision. Det skulle i vissa fall kunna vara så att de verkliga effekterna är större än vad beräkningarna med Mannings formel förutspår men mindre än modellprediktionen. Felmarginalen för den konventionella metoden skulle då kunna konstateras vara mindre än vad som kan antas utifrån denna studie. Felmarginalen skulle givetvis också kunna konstateras vara större än vad som framkommer i denna studie om de verkliga effekterna visar sig vara större än både modellprediktionen och de konventionellt beräknade effekterna.

## 7 SLUTSATSER

TVå olika scenarion för meandrande vattendrag med sektionvis utplacering av sten visar inte några större effekter på djup och hastighet över en längre flödessträcka. Effekten av utplacering kan konstateras ge större effekt för den räta sträckan och då sten placerades längs med hela sträckan. Att placera ut stenar i vattendraget kan alltså utifrån resultatet sägas ha lokalt avgränsade effekter med avseende på djup och hastighet. Utplacering av sten i syfte att sänka hastighet och öka djupet bör därför göras med vetskap om att effekterna är lokalt avgränsade och bör införas i de mest kritiska sektionerna av vattendraget sett till djup och hastighet. Utplacering av sten sker också i syfte att skapa mindre strömutsatta områden bakom stenar som utgör viloplats för fiskar. Denna effekt erhöles i samtliga sektioner där stenar utplacerades vilket bekräftar nyttan med en sådan åtgärd ur den aspekten. Återmeandring visade sig vara den mest lämpade åtgärden för att erhålla en sänkt hastighet och ett ökat djup över en längre sträcka. För våtmarken erhöles lokala effekter i form av sänkt hastighet och minskat djup. Hur våtmarken påverkar flödets egenskaper över hela flödessträckan beror på hur våtmarken dimensioneras. I detta scenario dimensionerades våtmarken för att erhålla lokalt gynnsamma effekter i våtmarken men mindre påverkan på resterande flödessträcka.

När det kommer till val av metod för att förutspå hydrauliska effekter visade sig Mannings formel generera mycket liknande resultat som modellen för åtgärden utplacering av sten. För återmeandring erhöles lite större skillnad i resultatet som troligtvis beror på felaktigheter i den geometriska beskrivningen av fårans tvärsnitt. Med en korrektare geometrisk beskrivning för den återmeandrade fåran uppskattas att även effekterna av återmeandring kan återspeglas med en acceptabel noggrannhet genom nyttjandet av Mannings formel.

Ett intressant uppslag för vidare studier är att jämföra de uppskattade hydrauliska effekterna med inmätningar i fält efter utförd åtgärd. Att jämföra modellsimuleringar med Mannings formel för flera objekt skulle dessutom ge möjlighet att analysera trender vilket hade bidragit till ett mer givande resultat.

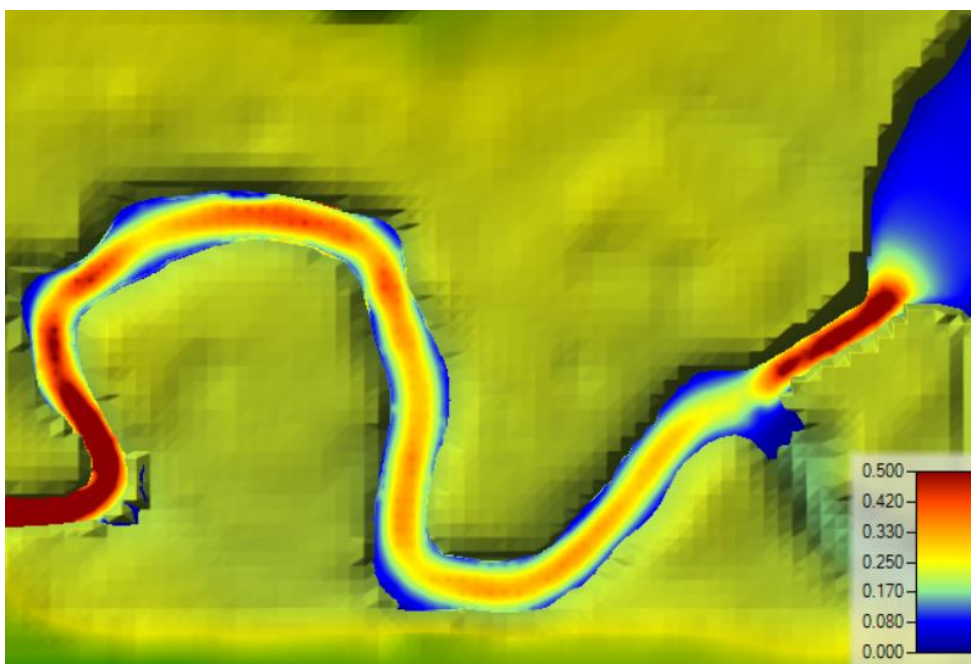
## 8 REFERENSER

- Andersson, A.-C. & Isaksson, I. (2010). *Närsalter och övergödning*.  
<https://www.tillvaxtbokuslan.se/bla-op/wp-content/uploads/sites/4/2014/04/narsalter-och-overgodning.pdf> [2021-02-10]
- Degerman, E. (2008). *Ekologisk restaurering av vattendrag*. Stockholm: Naturvårdsverket och Fiskeriverket.
- Dharmappa, H.B., Sivakumar, M. & Singh, R.N. (1995). Wastewater Minimization and Reuse in Mining Industry in Illawarra Region.  
[http://www.imwa.de/docs/imwa\\_1995/IMWA1995\\_Dharmappa.pdf](http://www.imwa.de/docs/imwa_1995/IMWA1995_Dharmappa.pdf) [2021-02-10]
- Eniro (2017). *Kartor, vägbeskrivningar, flygfoton, sjökort & mycket mer på eniro.se*.  
<https://kartor.eniro.se/?zoomfb=15&centerfb=12.303379,59.612115&mapttypefb=aerial> [2017-12-07]
- esri (2020). *ArcGIS-plattformen / Esri Sverige*. <https://www.esri.se/sv-se/arcgis/about-arcgis/overview> [2021-02-22]
- Havs- och Vattenmyndigheten (2017). *Biotopskyddsområden*. [text].  
<https://www.havochvatten.se/arter-och-livsmiljoer/atgarder-skydd-och-rapportering/skyddade-omraden/biotopskyddsomraden.html> [2021-02-09]
- Hydrologic Engineering Center (2018). *HEC-RAS*.  
<https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/> [2021-02-04]
- Jordbruksverket (2017-09-26). *Basfakta om svenskt jordbruk - Jordbruksverket*.  
<https://web.archive.org/web/20170926143709/http://www.jordbruksverket.se/o-mjordbruksverket/statistik/statistikomr/jordbruksstatistisksammanstallning/basfaktaomsvensktjordbruk.4.116e9b9d159b31e6cb936b4a.html> [2021-02-12]
- Kyllmar, K. & Wesström, I. (2018). *vattenfördröjande åtgärder i landskapet - Förstudie och förslag på pilotområden i Kalmar län*. Uppsala: SLU.  
[https://pub.epsilon.slu.se/15518/11/kyllmar\\_k\\_wesstrom\\_i\\_180607.pdf](https://pub.epsilon.slu.se/15518/11/kyllmar_k_wesstrom_i_180607.pdf) [2021-02-03]
- Kärki, J. (2018). *Fiskevårdsförslag för Vitsån*. Sportfiskarna.
- Liljelund, L., Liliequist, I. & Wenblad, A. (2007). *Nationell strategi för restaurering av skyddsvärda vattendrag*. Naturvårdsverket.
- Länsstyrelsen i Kronobergs län (2009). *Block och sten som åtgärd vid restaurering i vattendrag - exempel från Helge å*.  
<https://www.lansstyrelsen.se/download/18.4e0415ee166afb593243598/1540827310989/Block%20som%20%C3%A5tg%20%C3%A4rd%20vid%20restaurering%20i%20vattendrag%20E2%80%93%20exempel%20fr%C3%A5n%20Helge%20%C3%A5.pdf> [2021-02-10]
- Naturvårdsverket (2003). *Flöden i vattendrag: bakgrundsrapport till Miljö kvalitetsnormer för flöden/nivåer i rinnande vatten - redovisning av ett regeringsuppdrag (NV rapport 5292)*. Stockholm: Naturvårdsverket.  
<https://naturvardsverket.se/Documents/publikationer/620-5293-4.pdf> [2021-02-12]
- Papaioannou, G., Papadaki, C. & Dimitriou, E. (2020). Sensitivity of habitat hydraulic model outputs to DTM and computational mesh resolution. *Ecohydrology*, 13 (2), e2182. <https://doi.org/10.1002/eco.2182>
- Persson, J., Fridell, K., Gustafsson, E.-L., Englund, J.-E., Sveriges lantbruksuniversitet & Fakulteten för landskapsarkitektur, trädgårds- och växtproduktionsvetenskap (2014). *Att räkna på vatten - en formelsamling för landskapsingenjörer*. Alnarp:

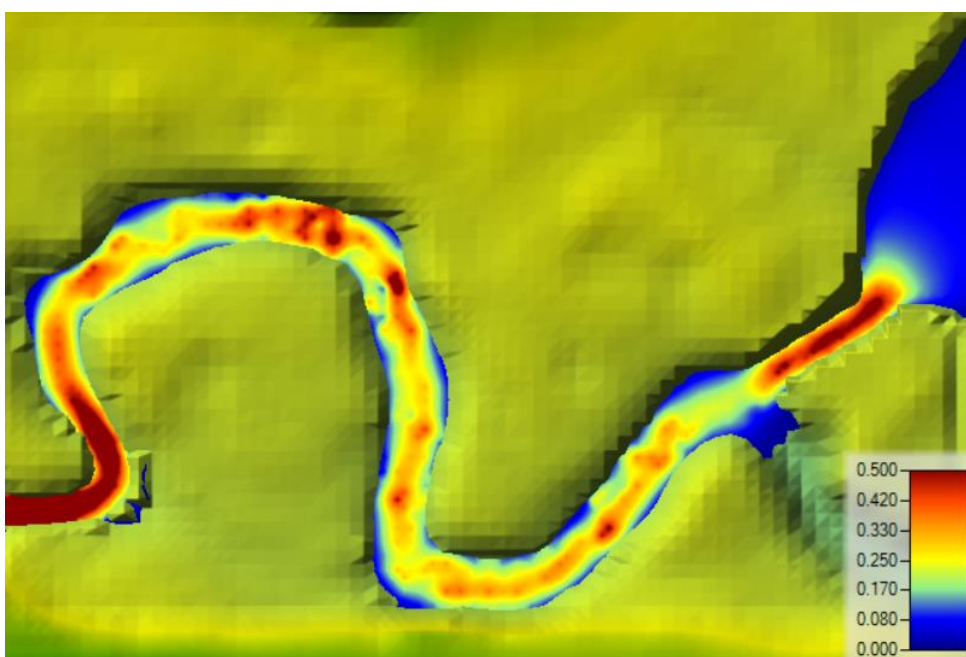
- Fakulteten för landskapsarkitektur, trädgårds- och växtproduktionsvetenskap, Sveriges lantbruksuniversitet.  
<http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:slu:epsilon-e-2353> [2021-02-02]
- Phillips, J.V. & Tadayon, S. (2006). *Selection of Manning's Roughness Coefficient for Natural and Constructed Vegetated and Non-vegetated Channels, and Vegetation Maintenance Plan Guidelines for Vegetated Channels in Central Arizona*. U.S. Geological Survey.
- Saltelli, A., Tarantola, S., Ratto, M. & Campolongo, F. (2004). *Sensitivity analysis in practice: a guide to assessing scientific models*. Hoboken, NJ: Wiley.
- SCALGO (2021). <https://scalgo.com/> [2021-06-22]
- SMHI (2017). *SMHI handleder studenter i hydraulisk modellering | SMHI*.  
<https://www.smhi.se/professionella-tjanster/professionella-tjanster/bygg-och-infrastruktur/smhi-handleder-civilingenjorsstudenter-i-hydraulisk-modellering-1.119646> [2021-02-22]
- SMHI (2020). *Modelldata per område | SMHI - Vattenwebb*.  
<https://vattenwebb.smhi.se/modelarea/> [2021-02-18]
- Sveriges Sportfiske- och Fiskevårdsförbund (2015). *Om oss - Sportfiskarna*.  
<https://www.sportfiskarna.se/Om-oss/Om-oss> [2021-02-09]
- Sveriges Sportfiske- och Fiskevårdsförbund (2018). *Projektplan ansökan LONA - Hydrologisk restaurering av Södertörns avrinningsområde*.
- US Army Corps of Engineers (2016). *HEC-RAS reference manual*. US Army Corps of Engineers - Hydrologic Engineering Center.  
<https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/documentation/HEC-RAS%205.0%20Reference%20Manual.pdf> [2021-02-12]

## 9 APPENDIX

A) Bilden visualiserar vattenhastigheten i fåran utan utplacerade stenar.



B) Bilden visualiserar vattenhastigheten i fåran med utplacering av stenar.



C) Bilden visualiserar vattenhastigheten i våtmarken.

