

Master Thesis
TVVR 16/5001

Avbödningskapaciteten som verktyg för bedömning av underhållsbehovet i ett vattendrag

Tillämpning på ett dikningsföretag i Höje å

Nina Svenbro



Division of Water Resources Engineering
Department of Building and Environmental Technology
Lund University

Avbördningskapaciteten som verktyg för bedömning av underhållsbehovet i ett vattendrag

Tillämpning på ett dikningsföretag i Höje å

By:
Nina Svenbro

Master Thesis

Division of Water Resources Engineering
Department of Building & Environmental Technology
Lund University
Box 118
221 00 Lund, Sweden

Water Resources Engineering
TVVR-16/5001
ISSN 1101-9824

Lund 2016
www.tvrl.lth.se

Master Thesis
Division of Water Resources Engineering
Department of Building & Environmental Technology
Lund University

Swedish title: Avbördningskapaciteten som verktyg för bedömning
av underhållsbehovet i ett vattendrag – Tillämpning på
ett dikningsföretag i Höje å

Author: Nina Svenbro

Supervisors: Rolf Larsson
Johan Krook

Examiner: Magnus Persson

Language: Swedish

Year: 2016

Keywords: Höje å, avbördningskapacitet, underhåll,
markavvattning, dikningsföretag, HEC-RAS

Förord

Detta examensarbete är det avslutande momentet i mina studier på Ekosystemteknikprogrammet, med inriktning mot vattenresurshantering, på Lunds Tekniska Högskola. Arbetet har utförts på konsultföretaget Ekologgruppen inom ramen för ett uppdrag till Höje ås vattenråd.

Jag vill tacka mina handledare på avdelningen för Teknisk Vattenresurslära och Ekologgruppen, Rolf Larsson och Johan Krook. Tack för er hjälp och era kloka synpunkter som på olika sätt har hjälpt mig framåt i arbetet. Tack även till Siri Wahlström på Ekologgruppen som har bistått på många olika sätt, inte minst som teknisk support för HEC-RAS.

Ett stort tack riktas även till Tilla Larsson, Marcus Lundmark och Gwidon Jakowlew på Jordbruksverkets Vattenenhet i Alnarp för mycket värdefulla diskussioner.

Nina Svenbro
Landskrona, januari 2016

Sammanfattning

Examensarbetet undersöker möjligheten att låta avbördningskapaciteten – det vill säga sambandet mellan vattennivå och vattenföring – vara vägledande för bedömning av underhållsbehovet i åar och diken. Den potentiella nyttan av en sådan metod bedöms vara hög då den skulle kunna minska frekvensen av omotiverade underhållsinsatser som påverkar vattenmiljön negativt. Arbetet utgår från ett dikningsföretag i Höje ås huvudfåra. Utifrån inmätta tvärsektioner har en representation av dikningsföretaget skapats i modellverktyget HEC-RAS. Modellen har använts för att 1) ta fram *referenskurvor* för ett antal kontrollpunkter i dikningsföretaget, som beskriver avbördningskapaciteten i fåran efter dikningsföretagets underhåll med klippskopa i september 2015 och 2) modellera en *kritisk dämning* utifrån ett markavvattningsperspektiv, genom anpassning av Mannings skrovlighetskoefficient, n , i modellen. Tillämpbarheten av de framtagna referenskurvorna – och av metoden generellt – bedöms vara mycket beroende av tillgången till en flödesreferens som kan utnyttjas för både upprättandet och uppföljandet av referenskurvor. I det studerade dikningsföretaget finns en sektion som förmodligen är bestämmande och därmed möjliggör flödesmätning utifrån en avbördningskurva, men sektionens lämplighet behöver utredas vidare. Modelleringar av kritisk dämning visade att det i uppströmshalvan av dikningsföretaget finns höjdförhållanden som skapar en marginal i fårans avbördningskapacitet, i förhållande till jordbrukets behov av dräneringsdjup under odlingssäsongen. Resultaten kan ses som en indikation på att dikningsföretagets frekvens av vegetationsklippning skulle kunna minskas på denna sträcka.

Abstract

This master thesis project investigates the possibility of using stage–discharge relationships for evaluation of river maintenance demands. In Sweden, the potential benefit of this type of methodology is considered high, in order to prevent unnecessary maintenance activities which are harmful for the aquatic environment. The study is focused on a ditching organization in Høje River in southern Sweden, responsible for maintenance on a specific stretch of the river. Based on cross-section coordinate data, a representation of the stretch was created in the river analysis model HEC-RAS. The model was then used to 1) generate *reference curves* for a number of control points within the stretch, to represent the stage-discharge relationship after the cutting of vegetation that was carried out by the ditching organization in September 2015 and 2) model a *critical stage-discharge situation* with respect to agricultural demands of drainage capacity, by modification of the Manning roughness coefficient, n , in the model. The applicability of the generated reference curves – and this method in general – is considered to be very dependent on the presence of a flow reference that can be used both in the development and the follow-up of reference curves. Within the studied stretch there is an abandoned gauging station that may be suitable for this purpose, but further investigations are needed. Modeling of a critical stage-discharge situation indicated that maintenance needs are likely to be smaller for the upper half of the modeled stretch. This stretch appears to have a more beneficial gradient situation compared to the lower half, allowing for a higher stage in the river with respect to agricultural drainage needs.

Innehåll

Förord	iii
Sammanfattning	v
Abstract	vii
1. Inledning	1
1.1 Syfte	3
1.2 Avgränsningar	3
2. Bakgrund	5
2.1 Miljökonsekvenser av underhåll	5
2.2 Avbördningskapacitetens styrande mekanismer	5
2.2.1 Tvärsnittsgeometri	7
2.2.2 Friktionsmotstånd	7
2.2.3 Nedströmsförhållanden.....	8
2.3 Flödesmätning utifrån en avbördningskurva.....	8
2.4 Tillämpning av ”kravkurvor” i Danmark	8
2.5 Jordbrukets markavvattning.....	9
2.5.1 Behovet av dränering.....	9
2.5.2 Detaljdränering och huvudavvattning.....	10
2.5.3 Relevant praxis för dimensionering.....	10
3. Områdesbeskrivning	13
3.1 Generell beskrivning	13
3.2 Karakteristiska flöden	14
4. Beskrivning av modellverktyget HEC-RAS	17
5. Metodbeskrivning	21
5.1 Uppbyggnad av modellen HEC-RAS Bjällerup-Kornheddinge	21
5.1.1 Geometrifil.....	22
5.1.2 Flödesfil	23
5.2 Kalibreringsunderlag.....	24
5.3 Identifiering av kritisk avbördningskapacitet.....	26
6. Resultat	29
6.1 Känslighetsanalys och kalibreringsresultat	29
6.2 Referenskurvor.....	31
6.3 Underhållsbehov utifrån ett markavvattningsperspektiv.....	33
6.3.1 Olika underhållsbehov på olika sträckor	33
6.3.2 Kravkurvor.....	36
7. Diskussion	39
7.1 Modellens tillförlitlighet efter kalibrering	39
7.2 Kritisk avbördningskapacitet utifrån markavvattningsbehov	40
7.3 Resultatens tillämpbarhet på det studerade dikningsföretaget	41

7.3.1 Referenskurvor	41
7.3.2 Olika underhållsbehov på olika sträckor	43
7.4 Metodernas generella tillämpbarhet.....	43
7.5 Avslutande reflektioner.....	44
8. Slutsatser och förslag på fortsatt arbete	47
Referenser	49
Appendix	51

1. Inledning

Åar och diken i jordbrukslandskap behöver ibland rensas på vegetation och bottenavlagringar för att en viss vattenföringsförmåga, eller *avbördningskapacitet* ska upprätthållas. Detta underhållsarbete är ett sätt att hålla vattennivåerna nere i vattendragen, genom att ta bort material och förträngningar i fåran som skapar dämning. Nivåerna i vattendragen är viktiga inom jordbruket, eftersom de är styrande för grundvattennivåerna ute på fälten, som i sin tur styr markens brukbarhet och grödornas växtmiljö (Lantbrukarnas Riksförbund [LRF] 2014). I Sverige är en stor del av jordbruksmarken dränerad med så kallade täckdikningssystem (Miljösamverkan Sverige 2015). Täckdikningen har sina utlopp till åar och diken (se figur 1.1), och får försämrade funktion vid höga vattennivåer som dämmer upp i systemet. Varaktigt förhöjda vattennivåer under odlings säsongen påverkar grödornas tillväxt negativt, om rotsystemen drabbas av syrebrist (Jordbruksverket 2013). Vidare kan förhöjda vattennivåer skapa problem med åkermarkens bärighet för jordbruksmaskiner, samt skapa risk för skada på bebyggelse och infrastruktur som har anlagts utifrån de förutsättningar i landskapet som jordbruksdräneringen en gång har skapat.

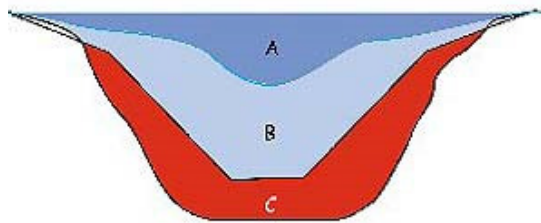


Figur 1-1 Täckdikningsutlopp till Höje ås huvudfåra (Foto: Nina Svenbro)

Underhåll i vattendrag är en kontroversiell fråga, där markavvattningsintressen och naturvårdsintressen ofta ställs emot varandra. Markavvattningen är en grundförutsättning för ett produktivt jordbruk i Sverige, då de flesta jordar inte är självdränerande (Miljösamverkan Sverige 2015), men samtidigt betraktas underhållet av åar och diken som ett av de allvarligare hoten mot miljön i vattendragen (Naturvårdsverket 2015). Underhållsinsatser innebär många gånger fysiska ingrepp på vattenfåran som skadar botten och slänter, typiskt då rensning sker med grävsropa (Ekologgruppen 2003). Sådana ingrepp leder till en negativ påverkan på vattenmiljön. Frågan om *hur*, *var* och *när* underhåll ska utföras, med hänsyn till miljön, är därför ständigt aktuell.

I Sverige har dikningsföretagen det juridiska ansvaret för underhåll i reglerade vattendrag, vilket behandlas i Miljöbalken (SFS 1998:808) 11 kap. om vattenverksamhet. Benämningen *dikningsföretag* syftar här till den samfällighet av markägare som äger och drar nytta av en *markavvattningsanläggning*. En markavvattningsanläggning kan vara ett anlagt dike eller en uträtad och fördjupad del av ett vattendrag som förbättrar förutsättningarna för vattenavledningen. Enligt MB 11 kap. 17§ ska anläggningen underhållas ”så att det inte uppkommer skada för allmänna eller enskilda intressen, genom ändringar i vattenförhållandena”. Dikningsföretagens förrättningsdokument fungerar som ett tillstånd, där det finns fastställda tvär- och längdsektioner som ska följas. Det förekommer också att

dikningsföretagen har utfört ytterligare fördjupningar sedan tiden för förrättningen. Fördjupningar tillkomna innan år 1986, då markavvattning först blev tillståndspliktigt, betraktas då också som lagliga (Naturvårdsverket 2009). Underhåll får ske ned till den fastställda, eller på annat vis lagliga, sektionen (se figur 1.2). Ytterligare fördjupning eller breddning är olaglig, då detta innebär en kapacitetsökning och en *förbättring* av markavvattningen, vilket kräver tillstånd.



- A: ursprunglig åfåra
- B: laglig åfåra
- C: olaglig rensning

Figur 1-2 Dikningsföretagens underhåll får ske ned till den fastställda eller på annat vis lagliga tvärsnittet, men inte djupare (modifierad efter Ekologgruppen, 2004).

Inte helt sällan beskylls underhållsinsatser för att vara rutinmässiga, omotiverade eller onödigt omfattande. Dikningsföretagen uppmanas, av myndigheter och intresseorganisationer, att med hänsyn till miljön undvika underhåll i så stor utsträckning som möjligt – underhåll ska bara utföras om ett uppenbart behov föreligger. Samtidigt har dikningsföretagen både en juridisk skyldighet och rättighet att underhålla, och bär det ekonomiska ansvaret för eventuella skador som uppstår på mark och bebyggelse, om de kan kopplas till bristande underhåll (MB 11 kap. 18§).

När är då underhåll motiverat? Detta är en grundfrågeställning för detta examensarbete. I Naturvårdsverkets skrift "Markavvattning och rensning – Handbok för tillämpningen av bestämmelserna i 11 kapitlet i miljöbalken" (2009) presenteras ett antal kriterier som kan vara vägledande för dikningsföretagen i deras bedömning, till exempel:

- Är det risk för att byggnader, vägar, broar eller liknande kan skadas av översvämningar?
- Är vattenståndet inför eller under odlings säsongen så högt att jordbruket eller skogsbruket försvåras eller skördeutfallet blir lidande?
- Indikerar dikets vattennivåer att det är problem med dämning i diket? Är det sämre avrinning i till exempel avloppssystem för dagvatten från enskilda fastigheter?

Dessa kriterier utgår från att dikningsföretagen gör en mer eller mindre *subjektiv* bedömning av hur höga vattennivåerna är eller kommer att bli. Målet med detta examensarbete är att belysa en mer *objektiv* bedömningsgrund för underhållsbehovet, där avbördningskapaciteten – det vill säga sambandet mellan vattennivå och vattenföring – är vägledande. Detta är en metod som tillämpas exempelvis i Danmark, vilket beskrivs längre fram i rapporten.

Denna utredning har initierats av Höje ås vattenråd, inom ramen för det HaV-finansierade projektet "Helhetsperspektiv Höje å". Syftet med Helhetsperspektiv-projektet är att höja kunskapsnivån om Höje å samt att ta fram olika typer av åtgärdsplaner med avseende på vattenkvalitet, översvämningssituationer och ekologisk status. En rad delprojekt har tilldelats Ekologgruppen AB, bland annat en utredning av möjligheten att låta avbördningskapaciteten vara vägledande för dikningsföretagens bedömning av underhållsbehov. Denna frågeställning knyter tydligt an till ett av målen för Helhetsperspektiv-projektet: "Att skapa ett vattendrag och avrinningsområde som klarar av dagens

och framtidens behov av markavvattning utan att orsaka oönskade översvämningar till ett så litet underhållsbehov som möjligt” (Höje å vattenråd 2014).

1.1 Syfte

Examensarbetet undersöker möjligheten att låta avbördningskapaciteten vara vägledande vid bedömning av underhållsbehovet i ett vattendrag. Utgångspunkten är ett av dikningsföretagen i Höje ås huvudfåra, ”Höje ås vattenavledningsföretag år 1897–1898”. Genom modelleringar i modellverktyget HEC-RAS har flöden och vattennivåer kunnat sammanlänkas. Målet för examensarbetet är att presentera **en objektiv metod för att bedöma huruvida underhållsarbete är motiverat** ur markavvattningssynpunkt. En sådan metod skulle kunna bidra till färre onödiga ingrepp i vattenfåran samt mindre utrymme för konflikter i samband med dikningsföretagens underhållsinsatser.

Följande frågor har varit utgångspunkten för projektet:

1. **Hur stor är avbördningskapaciteten – det vill säga vattenföringsförmågan vid ett visst vattenstånd – i dikningsföretaget?**
2. **Vilken avbördningskapacitet är nödvändig för att upprätthålla en fungerande markavvattning på jordbruksmark?**
3. **I vilken utsträckning kan resultat från punkt 1 och/eller 2 fungera som underlag för det aktuella dikningsföretaget vid bedömning av underhållsbehov?**

Besvarandet av punkt 2 bygger på en bedömning av vad som kan anses vara *en fungerande markavvattning* för jordbruket. Denna bedömning bygger i sin tur på Jordbruksverkets dimensioneringspraxis för jordbruksdränering samt på diskussioner med anställda på Jordbruksverkets Vatteningenhet i Alnarp.

1.2 Avgränsningar

Avbördningskapaciteten i ett vattendrag är i ständig förändring och varierar med årstid och underhållsstatus. Denna undersökning har tidmässigt begränsat sig till perioden september–januari 2015/2016. När arbetet inleddes hade underhåll i form av vegetationsklippning nyligen utförts av dikningsföretaget. De mätningar av flöde och vattennivå som har utförts som underlag för kalibrering av modellen i HEC-RAS gjordes i detta vegetationsklippta tillstånd i vattenfåran. Besvarandet av punkt 1 i rapportens syftesbeskrivning utgår därför från avbördningskapaciteten i detta tillstånd.

Problem med vattenavledningen i vattendragen uppstår lätt då hög avrinning från naturmark och jordbruksmark sammanfaller med stora dagvattenutsläpp, och ofta aktualiseras underhållsfrågan i samband med översvämningar. Det är dock viktigt att komma ihåg att dikningsföretagens underhållsansvar endast sträcker sig till att upprätthålla den tillståndsgivna jordbruksavvattningen. I denna undersökning har avbördningskapaciteten utvärderats utifrån *jordbrukets* markavvattningsbehov, och inte efter kapacitetsbehov vid extrema översvämningssituationer. De flöden som har modellerats ligger inom ett normalspann.

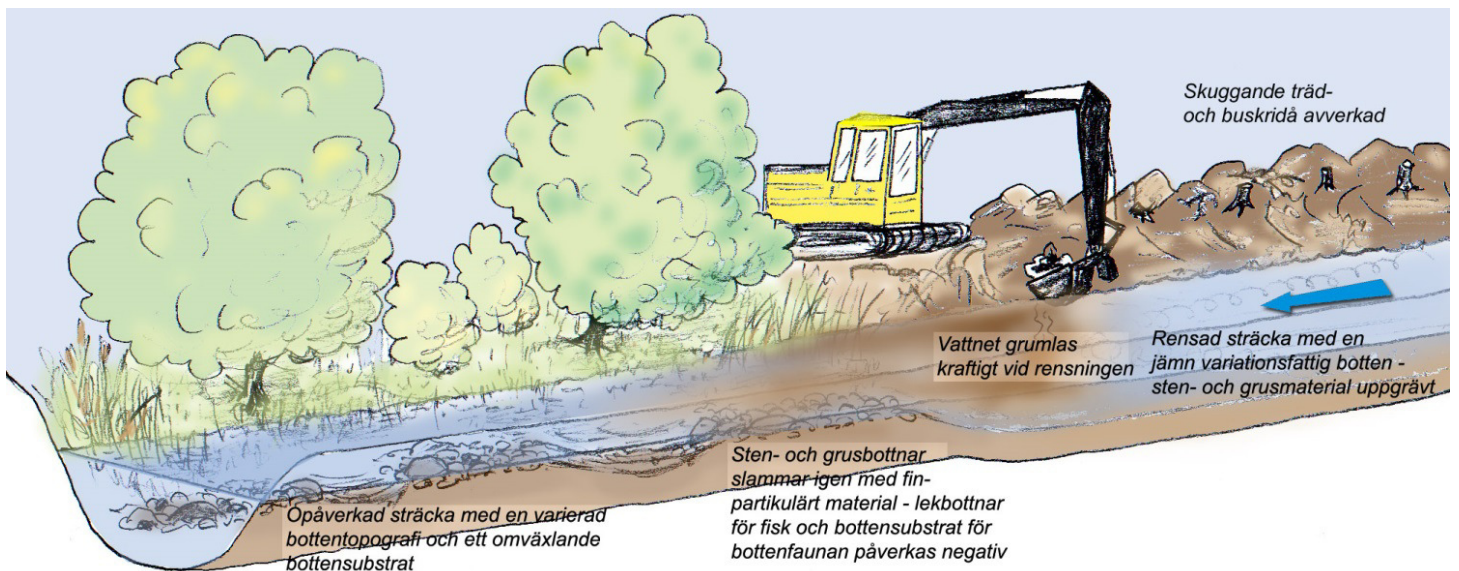
Slutligen har det aktuella dikningsföretagets laglighet, det vill säga hur den nuvarande fåran förhåller sig till förrättningsens fastställda sektioner, inte berörts i arbetet.

2. Bakgrund

2.1 Miljökonsekvenser av underhåll

Vattendrag som inte utsätts för ”störningar” genom underhåll har – normalt sett – en väsentligt större biologisk mångfald och mer effektiva naturliga vattenreningsprocesser jämfört med vattendrag som underhålls (Ekologgruppen 2003). Det bör dock poängteras att den störning som en underhållsinsats innebär kan vara olika stor beroende på *hur* underhållet utförs. Traditionellt sett utförs underhåll med grävskopa, vilket kan sammankopplas med en särskilt stor negativ påverkan på fisk och bottenlevande organismer (Ekologgruppen 2003). Grävarbeten leder till att vattnet grumlas kraftigt, både i samband med ingreppet och i efterhand, på grund av ökad erosion från blottade slänter. De kan också leda till att viktiga livsmiljöer för vattenlevande organismer försvinner, till exempel om hårbotten förstörs eller om naturlig variation i bottenförhållanden och strömhastighet går förlorad till följd av ingreppet. I figur 2.1 tydliggörs de negativa konsekvenser som oförsiktiga underhållsinsatser med grävskopa kan ha på vattenmiljön. Det bör även nämnas att grävande underhåll kan påverka vattenkvaliteten negativt, då ökad erosion i åar och diken leder till ett större läckage av den partikulära fosfor som finns bunden till sedimenten (Sveriges lantbruksuniversitet 2012).

Ett alternativ till underhåll med grävskopa är att använda klippande maskiner, vilket är något som förespråkas gentemot dikningsföretagen av myndigheter och intresseorganisationer. Genom att klippa bort vegetation i stället för att gräva bort den kan de allra flesta ingrepp i vattenfåran undvikas, eftersom behovet av vegetationsrensning normalt är betydligt mer frekvent än behovet av att gräva bort bottenavlagringar eller sediment (Ekologgruppen 2004). Ett dikningsföretag som använder sig av klippskopa kan på så vis begränsa sina ingrepp på själva fåran signifikant. Vidare kan nödvändiga ingrepp i fåran begränsas till att bara beröra de platser där signifikant avlagring eller sedimentation har skett.



Figur 2-1 Konsekvenser av oförsiktigt underhåll (Ekologgruppen 2004)

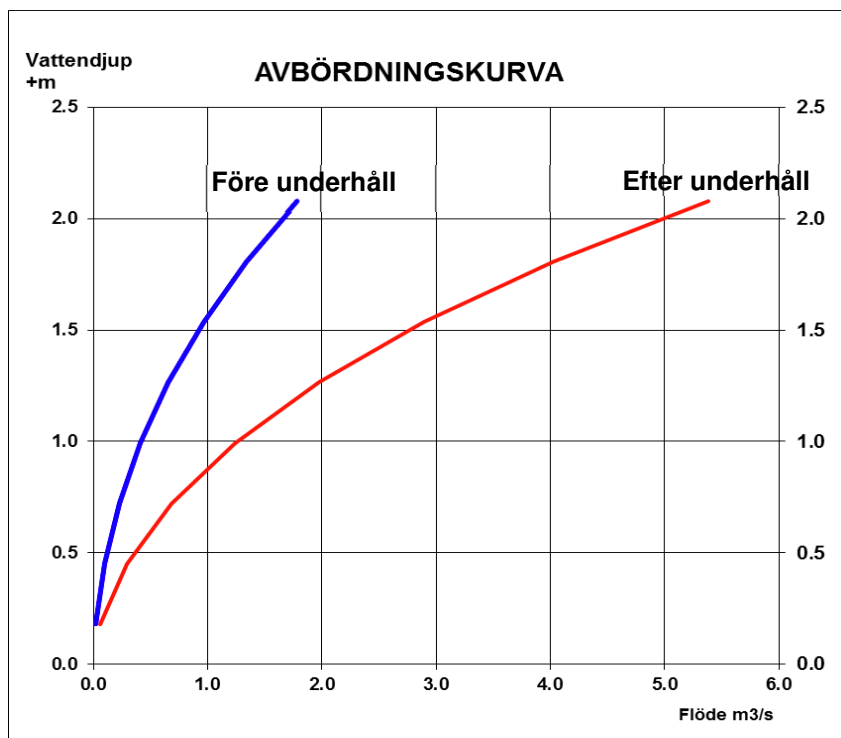
2.2 Avbördningskapacitetens styrande mekanismer

Avbördningskapacitet kan definieras som *förhållandet mellan vattenstånd och vattenföring vid en specifik tvärsektion av ett vattendrag* (SMHI 2015). Sambandet kan illustreras grafiskt med en så

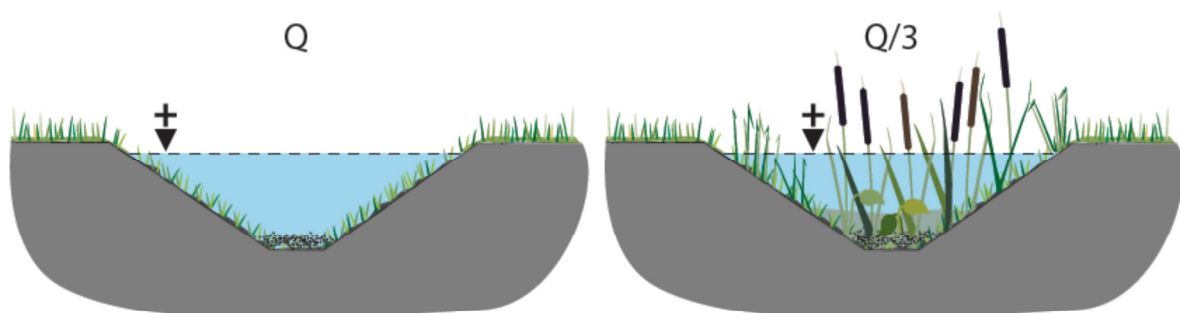
kallad *avbördningskurva*, se exempel i figur 2.2. Det finns tre huvudsakliga faktorer som är styrande för hur högt vattnet kommer att stå vid ett givet flöde (Hägström 1999; Hamill 2011):

1. Fårans tvärsnittsgeometri
2. Fårans friktionsmotstånd
3. Förhållandena nedströms, utifrån ett antagande om *subkritiskt strömningstillstånd*

Inverkan av respektive punkt beskrivs i de följande avsnitten, 2.2.1, 2.2.2 och 2.2.3. Underhåll i vattendrag kan sägas syfta till att upprätthålla fårans tvärsnittsgeometri samt att minska fårans friktionsmotstånd. Figurerna 2.2 och 2.3 visar exempel på hur underhåll kan påverka avbördningskapaciteten.



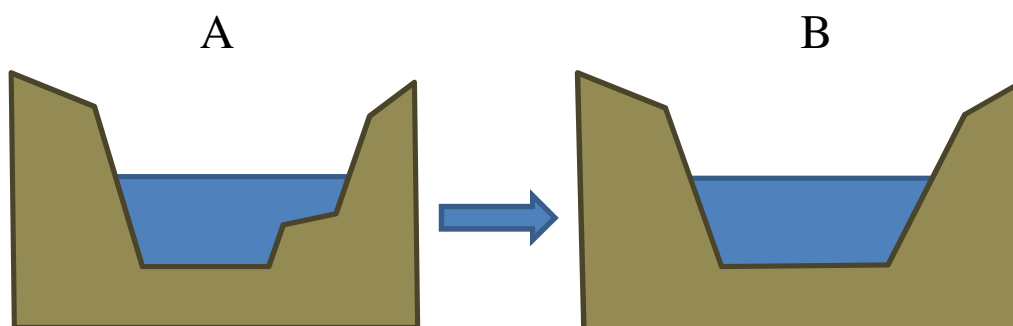
Figur 2-2 Exempel på hur underhåll i ett vattendrag kan öka avbördningskapaciteten (modifierad efter Jordbruksverket, 2013)



Figur 2-3 Skillnaden på ett underhållet respektive ej underhållet dike. I diket till vänster har vegetation och bottenavlagringar rensats bort, vilket i exemplet ökar avbördningskapaciteten med en faktor 3 (modifierad efter Jordbruksverket, 2013).

2.2.1 Tvärsnittsgeometri

Materialtransport genom erosion och sedimentation leder till kontinuerliga förändringar av ett vattendrags tvärsnittsgeometri. Detta är något som påverkar den vattenförande tvärsnittsarean. Exemplet i figur 2.4 visar samma tvärsektion vid två olika tillfällen, A och B. Vattenståndet är samma vid båda tidpunkter men vid tidpunkt B har fåran eroderats vilket leder till en större vattenförande area och en större avbördningskapacitet. En avbördningskurva för en specifik tvärsektion är därför mer eller mindre en färskvärd – beroende på hur stabil sektionen i fråga är (SMHI 2009a).



Figur 2-4 Förändringar i fårans tvärsnittgeometri påverkar den vattenförande arean. Samma vattenstånd kan på så vis motsvara olika flöden (baserad på SMHI, 2009a).

2.2.2 Friktionsmotstånd

Friktionsmotståndet i ett naturligt vattendrag används ofta som ett samlande begrepp för en mängd faktorer som är styrande för de *energiförluster* som uppstår i det strömmande vattnet, till exempel (HEC-RAS 2010; Arcement & Schneider 1989, Hamill 2011):

- Mängden och höjden på vegetation i fåran
- Fårans bottensubstrat och slänternas ytegenskaper
- Förekomsten av mer eller mindre abrupta variationer i fårans tvärsnitt
- Förekomsten av enskilda hinder i fåran (till exempel stenar, träd, brokonstruktioner)
- Fårans meandring

Energiförlusterna yttrar sig som en hävning av vattenytan. I kanalströmningsberäkningar bestäms energiförluster normalt utifrån Mannings formel, se ekvation 2.1.

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S_f^{1/2} \quad \text{Ekvation 2-1}$$

där

V	är vattenhastigheten [m/s]
n	är Mannings skrovlighetskoefficient [$s/m^{1/3}$]
S_f	är energilinjens lutning [m/m]
R	är hydraulisk radie, A/P [m]
A	är vattenförande tvärsnittsarea [m^2]
P	är våta perimetern (längden på kontakten mellan vatten och tvärsektion) [m]

I dessa beräkningar representeras fårans friktionsmotstånd med Mannings skrovlighetskoefficient, n . Skrovlighetskoefficientens samband med Mannings tal (M) är $M=1/n$.

I de beräkningar av energiförluster som HEC-RAS utför separeras energiförluster kopplade till kontraktion och expansion av det strömmande vattnet från energiförluster kopplade till fårans ”övriga” friktionsmotstånd. Denna uppdelning beskrivs närmare i kapitel 4 i denna rapport, som redogör för modellen HEC-RAS. Uppdelningen skapar möjlighet till en separat hantering av energiförluster kopplade till trängre sektioner och förändringar i fårans tvärsnittsgeometri. Värdet på n i HEC-RAS representerar på så vis ett mer ”allmänt” friktionsmotstånd i fåran, medan förluster kopplade till särskilda sektioner får en lokal representation i modellen.

2.2.3 Nedströmsförhållanden

Strömningstillståndet i ett vattendrag kan vara antingen *subkritiskt* eller *superkritiskt*, vilket motsvarar att vattnet är lugnflytande respektive forsande (Häggström 1999). Vid subkritisk strömning är djupet stort i förhållande till vattenhastigheten medan det omvända gäller för superkritisk strömning. Det *kritiska djupet* motsvarar skiljelinjen mellan strömningstillstånden. Subkritisk strömning är det vanligast förekommande tillståndet i naturliga, lugnflytande vattendrag (Hamill 2011).

Vattennivån vid en given tvärsektion är vid subkritisk strömning styrd av förhållandena nedströms sektionen medan förhållandena uppströms styr vid superkritisk strömning (Häggström 1999). Detta är en viktig praktisk skillnad eftersom subkritisk strömning således är en förutsättning för att dämning ska kunna fortplanta sig uppåt i ett vattendrag och ge utslag på vattennivåerna. Strömningstillståndet styr också angreppssättet vid stegvisa beräkningar av vattennivå i ett vattendrag, som vid subkritisk strömning utgår från nedströmsänden och vid superkritisk strömning från uppströmsänden.

Utifrån ovanstående resonemang kan till exempel vegetation eller förträngningar i fåran dämna uppåt i ett vattendrag – om strömningstillståndet är subkritiskt. Förhållandena nedströms kan då påverka avbördningskurvans utseende för en uppströmsliggande tvärsektion. *Hur långt* uppströms dämningens påverkan sträcker sig är beroende av fårans lutning. Om lutningen är stor påverkas en kortare sträcka, och vice versa (Ekologgruppen 2004). Detta förhållningssätt kan verifieras utifrån beräkningar av längden på så kallade ”M1”-kurvor (”Mild slope, Backwater conditions”), där större lutning resulterar i kortare ”backwater curve” (Subramanya 2009; Hamill 2011).

2.3 Flödesmätning utifrån en avbördningskurva

Begreppet *bestämmande sektion* syftar till en tvärsektion där förekomsten av en trång konstruktion eller en naturlig tröskel gör att vattnet går från subkritisk till superkritisk strömning och passerar det kritiska djupet (SMHI & Naturvårdsverket 1979). Sådana sektioner fungerar som ”brytpunkter” i vattendraget där dämning inte kan passera från nedströms till uppströms. Precis uppströms den bestämmande sektionen går det därför att finna ett *entydigt samband mellan flöde och vattennivå*. Sådana sektioner kan utnyttjas för flödesmätning eftersom en uppmätt vattennivå kan relateras direkt till ett flöde, med hjälp av en avbördningskurva. Avbördningskurvor för flödesmätning bygger på en serie av sammanhängande mätningar av flöde och vattennivå, till vilka en kurva passas (SMHI 2009a).

En bestämmande sektion kan sägas vara av olika kvalitet. Om sektionen är instabil kommer tvärsnittsgeometrin att ändras vilket leder till att avbördningskurvan relativt fort kan bli missvisande (SMHI 2009a). Vidare kan en del sektioner betraktas som bestämmande vid lägre flödesintervall, men inte vid högre (SMHI 2009b).

2.4 Tillämpning av ”kravkurvor” i Danmark

I Danmark står majoriteten av de större vattendragen under offentlig förvaltning, och förvaltningen sköts på ett annorlunda sätt än i Sverige. Det svenska Naturvårdsverket omnämner Danmark som en potentiell förebild vid en miljöanpassning av de lagar som reglerar svenska dikningsföretag

(Naturvårdsveket 2015). I skriften ”*Udarbejdelse af vandløbsregulativer*” från Miljøministeriet & Skov- og Naturstyrelsen (2007) beskrivs det system som tillämpas i Danmark. Skriften är framtagen som ett stöd för de vattendragsmyndigheter som ansvarar för förvaltning av respektive vattendrag. Vattendragsmyndigheterna är ansvariga för framtagandet av ”vandløbsregulativ”, som reglerar hur underhåll av vattendraget ska hanteras. Underhåll delas här upp i två kategorier:

- Grävande åtgärder, som syftar till att upprätthålla och utjämna fårans tvärsnitt
- Klippning av vegetation

I vandløbsregulativet finns vanligen en plan för hur ofta klippning av vegetation bör ske och vid vilken tidpunkt på året. Dokumentet ska även innehålla bestämmelser för vattendragets form *eller* avbördningskapacitet. Till skillnad från i Sverige så erbjuder alltså dansk lagstiftning möjligheten att låta avbördningskapaciteten vara styrande för om fårans dimension är tillräckligt stor för att klara avvattningsbehoven. I praktiken så tillämpas detta genom att avbördningskurvor – så kallade ”kravkurvor” – sätts upp för ett antal kontrollstationer i vattendraget, som beskriver hur hög vattennivån får lov att vara vid ett intervall av flöden. Framtagandet av kravkurvor bygger typiskt på sammanhängande mätningar av vattennivå och vattenföring på ett antal kontrollstationer i vattendraget, under en längre period. Kravkurvan är kopplad till en viss tidpunkt på året, vanligen mars månad. På så vis representerar kravkurvan vattendragets *grundkapacitet*, det vill säga avbördningskapaciteten i ett vegetationsfritt tillstånd. Mätning av vattennivåer måste således ske vid samma tidpunkt varje år. Om kravkurvan överskrids är detta en indikation på att fårans grundkapacitet kan ha försämrats och att grävande åtgärder kan vara nödvändiga.

Vandløbsregulativen genomgår revision med jämna mellanrum, och i samband med detta ska relevanta uppgifter inhämtas, dels angående vattendragets natur- och miljöstatus men också utifrån synpunkter från till exempel markavvattnings- och dagvattenintressen. Revisionen kan på så vis ligga till grund för en ”uppdatering” av kravkurvorna.

2.5 Jordbrukets markavvattning

2.5.1 Behovet av dränering

Avvattning av jordbruksmark har två huvudsakliga syften (LRF 2014):

- Att förbättra växtmiljön, det vill säga balansen mellan luft, vatten och växtnäring i jorden som brukas
- Att skapa bättre bärighet på åkermarken, och därmed öka framkomligheten för jordbruksmaskiner samt minska risken för markpackningsskador som leder till försämrad markstruktur

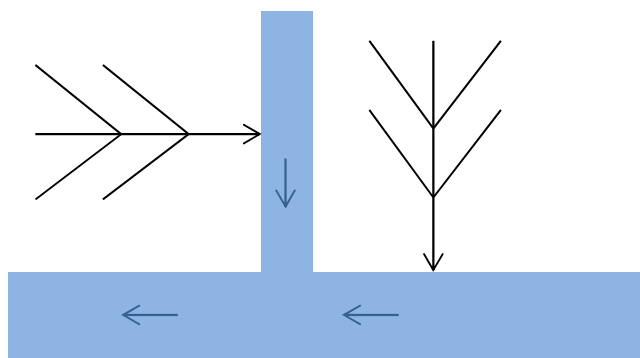
Ur jordbrukssynpunkt är det framförallt viktigt att ha en fungerande markavvattning under *odlingssäsongen*, det vill säga perioden från att vårbruket påbörjas till dess att höstbruket är avslutat (Jordbruksverket 2013). Höstgrödor som sås under hösten klarar av att grundvattnet stiger upp till någon decimeter under markytan under vintern, utan att grödan skadas.

Vid dränering av jordbruksmark läggs perforerade rör – *täckdikningsrör* – på ett visst djup på åkern. En i Sverige vanligt förekommande målsättning är att marken ska vara dränerad ned till 1.2 meters djup (Jordbruksverket 2013; LRF 2014; Miljösamverkan Sverige 2015). Bakgrunden till detta värde är lång erfarenhet och odlingsförsök som visar att jordbrukets avkastning ökar med dräneringsdjup ned till 1.2 meter för de flesta jordar. När dräneringsdjupet är mindre minskar utrymmet för tillväxt av växternas rotsystem, och när rotsystemen blir grundare minskar möjligheterna till en god och säker skörd. En viss variation av värdet 1.2 förekommer, med hänsyn till jordart och typ av gröda

(Jordbruksverket 2013). Det är viktigt att poängtera att djupet 1.2 meter inte behöver uppnås under *hela* odlingssäsongen. I takt med att grödans rotsystem utvecklas så ökar kravet på dräneringsdjup. Enligt Jordbruksverket (2013) så är det framförallt under perioden juli-september som fullt dräneringsdjup behövs för att grödan ska få optimala förhållanden.

2.5.2 Detalldränering och huvudavvattning

Ett jordbruksdräneringssystem kan sägas bestå av två enheter; *detalldränering och huvudavvattning* (Jordbruksverket 2013). Detalldräneringen består av de täckdikningsrör som avvattnar själva åkermarken, samt de stamledningar som transporterar vattnet vidare till huvudavvattningen. Huvudavvattningen består i sin tur av de grövre rör, anlagda diken, fördjupade vattendrag eller naturliga vattendrag som transporterar vattnet vidare till sjöar eller hav. Sambandet mellan detalldränering och huvudavvattning tydliggörs i figur 2.5.



Figur 2-5 Jordbruksdräneringens principiella uppbyggnad. Detalldräneringen ute på fälten (svarta linjer) leder vatten vidare till diken och åar som fungerar som huvudavvattning

Tätheten och dimensionen på detalldräneringen bestämmer hur snabbt vatten kan avledas i samband med nederbörd (LRF 2014). Eftersom grödornas rötter kan drabbas av syrebrist redan efter 2–3 dagars vattendränkning så är det viktigt att detalldräneringens kapacitet möjliggör tillräckligt snabb bortledning av vatten (Jordbruksverket 2013). För att detalldräneringen ska fungera fullt ut behövs ett tillräckligt *fall* i stamledningarna och tillräcklig *avbördningskapacitet* i huvudavvattningen (LRF 2014). Vid anläggning av täckdikningssystem är det dessa förutsättningar som styr hur djupt i marken täckdikningsrören kan läggas, och följaktligen vilket dräneringsdjup som är möjligt att uppnå. Fördjupningar av vattendrag, såsom det studerade dikningsföretaget i Höje å, har tillkommit just för att förbättra de naturliga förutsättningarna till avvattning.

2.5.3 Relevant praxis för dimensionering

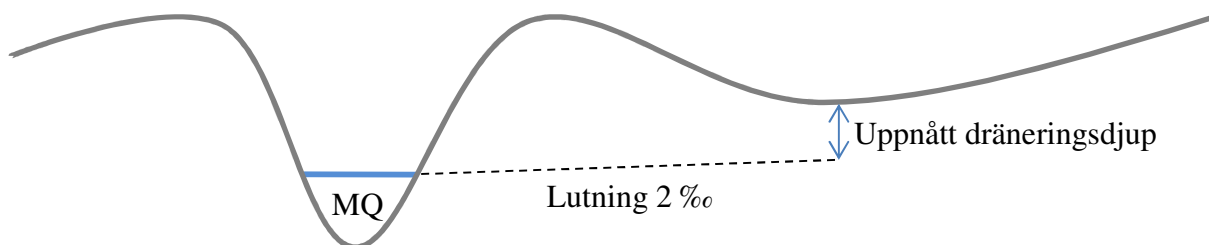
Dimensioneringspraxis för jordbruksdräneringssystem presenteras i flera av Jordbruksverkets skrifter, bland annat "Läggingsanvisningar för jordbruks- och vägdränering" (Jordbruksverket, Vägverket & Plast- och Kemibranscherna 1996) och "Jordbrukets vattenanläggningar i ett nytt klimat" (Jordbruksverket 2013). I denna litteratur beskrivs sambandet mellan huvudavvattningens avbördningskapacitet och det dräneringsdjup som kan uppnås på jordbruksmarken. Litteraturen är därför användbar i den bedömning av *huvudavvattningens möjlighet att ge en fungerande markavvattning* som ingår i denna utredning. Följande redogörelse bygger även på diskussioner med Jordbruksverkets Vattenenhet, där dimensioneringspraxis har förtydligats¹. Redogörelsen behandlar *inte* den del av praxis som berör detalldräneringens dimensionering (ledningarnas dimension och täthet utifrån dimensionerande regnfall).

¹ Samtal med Marcus Lundmark på Jordbruksverkets Vattenenhet, 3/12 2015

Två viktiga utgångspunkter vid dimensionering av jordbruksdränering är

- Dimensionerande marknivå på jordbruksmarken, utifrån lågpunkter i landskapet
- Dimensionerande vattennivå i huvudavvattningen

Sambandet mellan dessa faktorer tydliggörs i figur 2.6 nedan:



Figur 2-6 Sambandet mellan dimensionerande vattenyta i huvudavvattningen och dimensionerande marknivå på jordbruksmarken. 2 ‰ är en minimilutning för täckdikningens stamledningar som anges av Jordbruksverket (1996). Figuren illustrerar den s.k. medelvattennyttan, det vill säga det dräneringsdjup som kan uppnås vid medelvattenföring, MQ, i huvudavvattningen (baserad på Jordbruksverket, 2013).

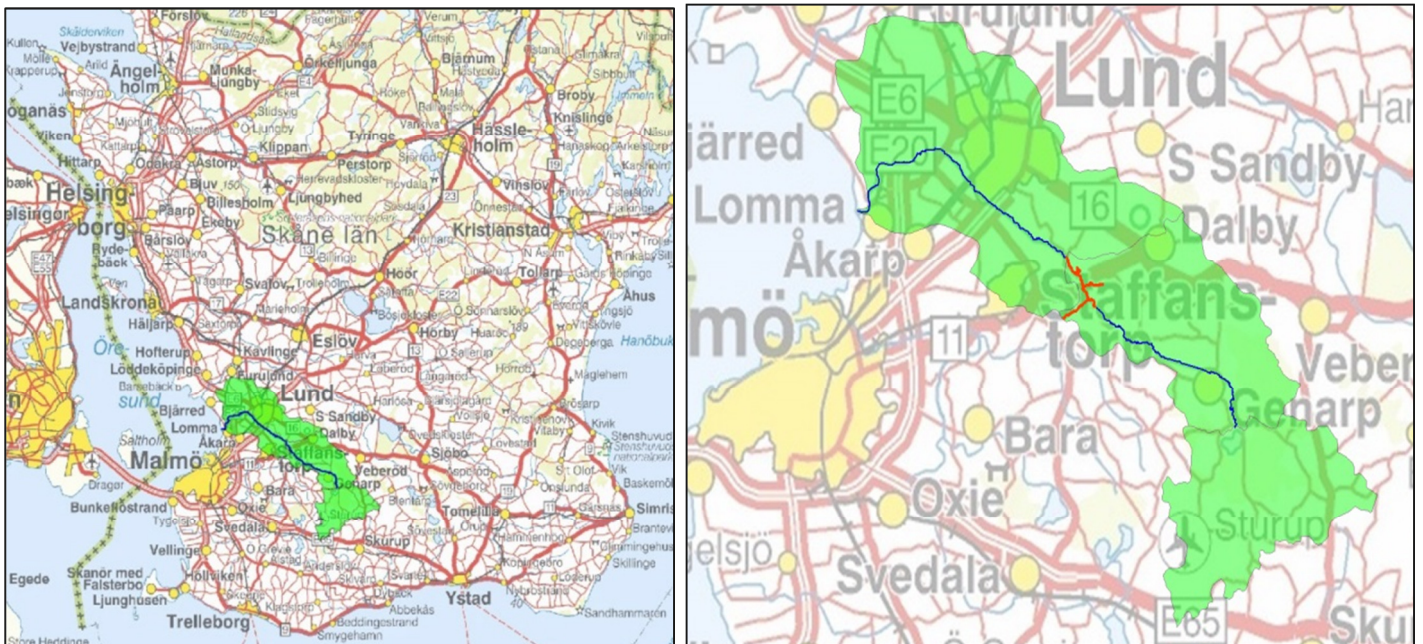
Principen som illustreras i figur 2.6 bygger på den så kallade *medelvattennyttan*, vilket innebär *det dräneringsdjup som kan uppnås vid medelvattenföring i huvudavvattningen*, med hänsyn till det fall som behövs i stamledningarna. En vanlig målsättning är att täckdikningen ska kunna läggas på djupet 1.2 meter. Den relevanta medelvattenföringen är då den för perioden kring juli-september, då fullt dräneringsdjup är önskvärt med hänsyn till grödans tillväxt (se avsnitt 2.5.1). Om huvudavvattningens kapacitet är otillräcklig, eller fallförutsättningarna för dåliga, kommer vattenytan vid medelvattenföring (MQ) dämna upp i täckdikningen. Täckdikningen kan då inte läggas lika djupt.

Att hålla grundvattennivån nere vid *normalflöden* betraktas generellt sett vara den största vinningen med att täckdika (Miljösamverkan Sverige 2015). Just medelvattennyttan används ofta som ett mått på hur täckdikning förbättrar det ekonomiska värdet på olika markområden. Täckdikning som dimensionerats utifrån medelvattenföring kommer emellanåt att belastas av flöden i huvudavvattningen som är högre än medelvattenföringen, och som gör att fullt dräneringsdjup inte kan uppnås. Här är det dock viktigt att komma ihåg att det inte är förekomsten, utan *varaktigheten*, av höga grundvattennivåer som är kritisk för grödan.

3. Områdesbeskrivning

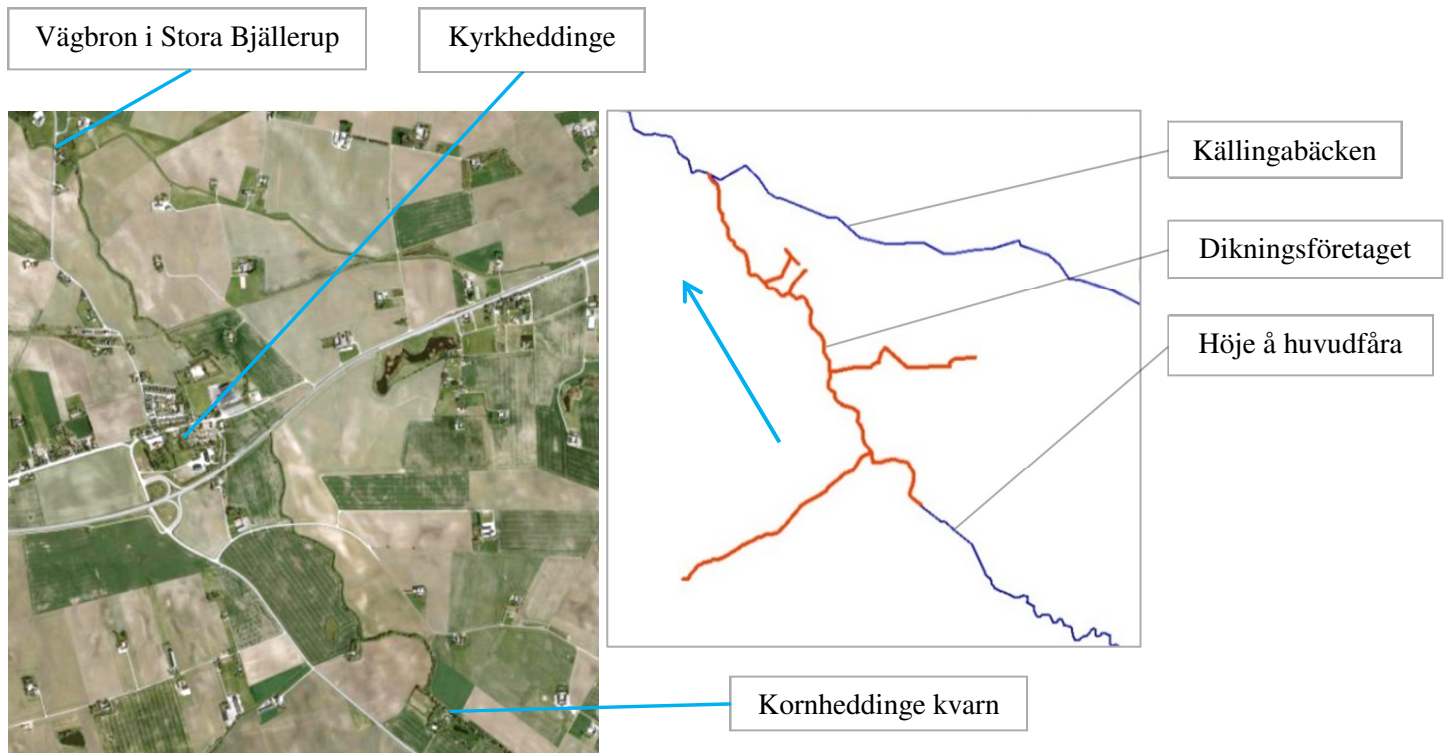
3.1 Generell beskrivning

Höje å ligger i Skånes sydvästra del och avrinningsområdet är 313 km² till ytan, se figur 3.1. Huvudfåran är cirka 35 km lång och börjar vid Håckebergasjöns utlopp, söder om Genarp. Ån rinner sedan i nordvästlig riktning förbi Genarp, Esarp, Kyrkheddinge och Lund innan den i Lomma mynnar ut i Öresund. I Höje å finns sju olika dikningsföretag som reglerar större delen av huvudfåran och ytterligare ett 50-tal som reglerar tillrinnande diken och rörledningar (Larsson 2012). Dikningsföretaget ”Höje åns vattenavledningsföretag år 1897–1898” är utmarkerat till höger i figur 3.1 och motsvarar en sträcka i huvudfåran på cirka 3,5 km. I figuren syns även tillrinnande diken och kulvertar som ingår i dikningsföretaget.



Figur 3-1 Höje å avrinningsområde och huvudfåran. Huvudfårans längd är ca 35 km. Till höger är dikningsföretaget ”Höje åns vattenavledningsföretag år 1897–1898” utmarkerat i orange, med de diken och kulvertar som mynnar ut i huvudfåran.

Dikningsföretaget sträcker sig från Kornheddinge kvarn (uppströms) till vägbron i Stora Bjällerup (nedströms), se figur 3.2. På den här sträckan är ån omgiven av jordbruksmark och fåran har karaktär av ett uträtat jordbruksdike. Vidare kan fåran beskrivas som relativt homogen med avseende på vegetation, bottenmaterial och förekomsten av variationer i fårans form och strömningskaraktär. På sträckan finns sex brokonstruktioner av varierande storlek och utformning. Nära dikningsföretagets nedströms ände, vid Stora Bjällerup, ansluter sig Källingabäcken (även kallat Dalbydiket) till Höje å, se figur 3.2. Källingabäcken leder dagvatten från Dalby ut i Höje å. Utöver detta finns inga större dagvattentillflöden till dikningsföretaget.



Figur 3-2 Till vänster: Dikningsföretaget sträcker sig mellan Kornheddinge kvarn (uppströms) och vägbron i Stora Bjällerup (nedströms). Sträckan är 3,5 km. Till höger: Dikningsföretaget med tillrinnande diken och kulvertar markerat i orange. Källingabäcken ansluter sig till Höje å huvudfåra strax uppströms från vägbron i Stora Bjällerup (Hitta.se 2016).

Ungefär 60 meter uppströms Källingabäckens tillflöde till Höje å har Lunds kommun tidigare haft en vattenföringsstation där vattennivån har registrerats kontinuerligt i en så kallad pegelbrunn. Detta är en indikation på att här finns en naturlig tröskel, som har gjort platsen lämplig för vattenföringsmätning utifrån en avbördningskurva (se avsnitt 2.3). Fallet på en sträcka av drygt hundra meter nedströms pegelbrunnen är ca 7 ‰, vilket kan jämföras med medellutningen i hela dikningsföretaget som är 0,08 ‰². Denna fallsträcka medför att också att dämningpåverkan från Höje å längre nedströms kan förväntas vara låg i dikningsföretaget. Vidare utgör kvarndämnet i Kornheddinge kvarn en bestämmande sektion som hindrar dämning från dikningsföretaget att fortplanta sig uppåt i Höje å. ”Isoleringen” av dikningsföretaget skapar särskilt goda förutsättningar för denna typ av utredning, eftersom sambandet mellan vattennivåer och underhåll i det egna dikningsföretaget blir särskilt tydligt.

3.2 Karakteristiska flöden

På SMHI:s VattenWebb³ går det att ladda ned flödesstatistik på delavrinningsområdesnivå i hela Sverige, bland annat för Höje å ”Ovan Källingabäcken”. Värdena baserar sig på beräkningar utförda med SMHI:s hydrologiska modell, S-HYPE (SMHI 2014). I tabell 3.1 presenteras karakteristiska flöden utifrån modellberäknade dygnsmedelvärden för perioden 1981–2010.

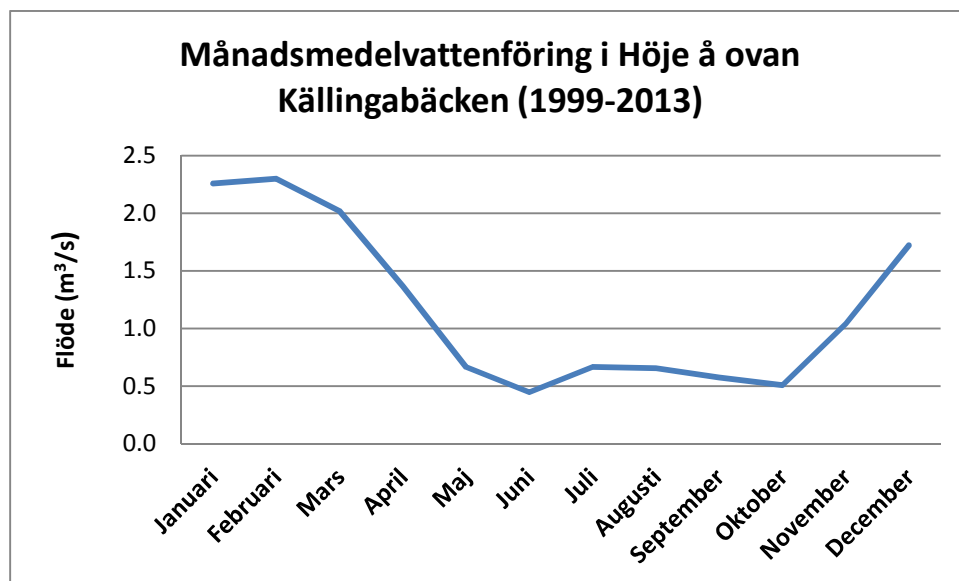
Tabell 3-1 Medelvattenföring (MQ), medellågvattenföring (MLQ) och medelhögvattenföring (MHQ) i Höje å ovan Källingabäcken, för perioden 1981-2010. Baserat på modellberäknade dygnsmedelvärden för perioden 1981-2010 (SMHI 2016).

Höje å, ovan Källingabäcken	Flöde (m ³ /s)
MQ	1.2
MLQ	0.21
MHQ	4.32

² Värdena är baserade på sektioninmätningar gjorda av Metria (september 2015) samt Sweco (2010)

³ <http://vattenwebb.smhi.se/>

I figur 3.3 presenteras flödesvariationen över årets månader, baserat på modellberäknade dygnsvärden för 1999-2013. Det bör understrykas att detta är modellbaserade värden och inte uppmätta flöden. I brist på områdesspecifik flödesdata får dessa modellbaserade värden fungera som vägledande för området.



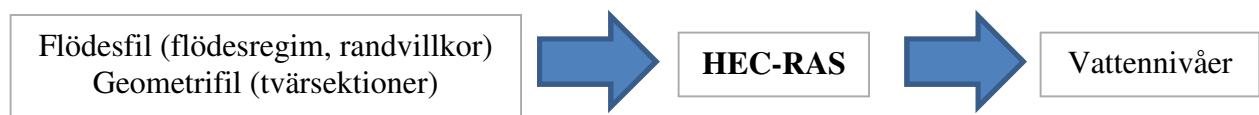
Figur 3-3 Månadsmedelvattenföring, baserat på modellberäknade dygnsmedelvärden för perioden 1999-2013 (SMHI 2016).

4. Beskrivning av modellverktyget HEC-RAS

HEC-RAS står för "Hydrologic Engineering Center River Analysis System" och är en programvara som har utvecklats av U.S. Army Corps of Engineers. Programmet är en så kallad "freeware" som kan laddas ned kostnadsfritt. Den första versionen släpptes 1995 och sedan dess har ett antal uppgraderingar gjorts. Den senaste versionen, som använts för denna undersökning, är HEC-RAS 4.1 som släpptes 2010.

HEC-RAS används för att modellera flöden i naturliga vattendrag eller anlagda kanaler. Programmet bygger på endimensionella hydrauliska beräkningar som kan utföras för både stationära och icke-stationära flödessituationer. Det finns även moduler inom programvaran som kan användas för att modellera materialtransport och vattenkvalitetsparametrar. Den modul som används för denna undersökning kallas "Steady Flow Water Surface Profiles".

Figur 4.1 visar informationsflödet för modellering av vattenytan vid stationärt flöde. HEC-RAS använder två filer vid körning – en geometrifil och en flödesfil. Geometrifilen innehåller tvärsektioner som bygger upp fårans form och lutning. Här finns också möjlighet att, med hjälp av ritverktyg, lägga in broar, kulvertar och andra konstruktioner. I flödesfilen specificerar användaren vilken typ av flödesregim som är rådande i vattendraget; *subcritical*, *supercritical* eller *mixed*. Vid modellering av subkritiskt flöde krävs två typer av randvillkor i flödesfilen; storleken på flödet in i modellen och ett nedströms randvillkor som används som utgångspunkt för beräkningarna. Flödesvillkoret går att variera längs hela den modellerade sträckan, för att representera diffusa eller punktvisa tillflöden. Som nedströms randvillkor får användaren välja mellan *known water surface*, *critical depth*, *normal depth* eller *rating curve*. "Normal depth" används ofta i brist på övrig information, och detta innebär att användaren anger bottenlutningen nedströms den modellerade sträckan och att HEC-RAS genom Mannings ekvation räknar ut ett vattendjup för sektionen längst nedströms. Beräkningen bygger då på ett antagande om så kallad likformig strömning, det vill säga att energilinjens lutning är samma som bottenlutningen (HEC-RAS 2010).



Figur 4-1 Informationsflödet vid modellering av vattenyta för stationärt flöde i HEC-RAS

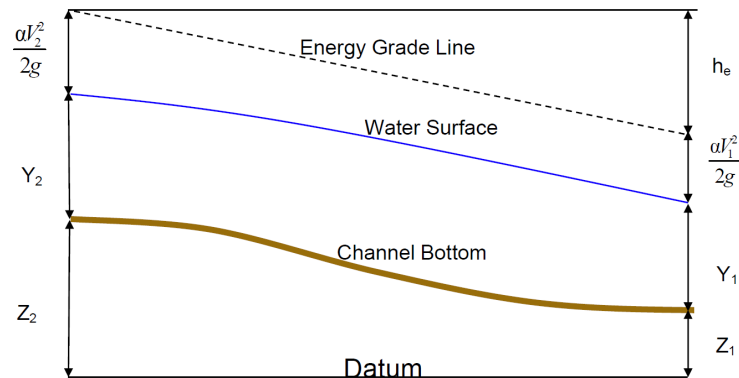
HEC-RAS beräkningar av vattennivå vid stationärt flöde bygger på lösning av energiekvationen från en tvärsektion i vattendraget till en annan, se ekvation 4.1 (HEC-RAS 2010):

$$Z_2 + Y_2 + \frac{a_2 V_2^2}{2g} = Z_1 + Y_1 + \frac{a_1 V_1^2}{2g} + h_e \quad \text{Ekvation 4-1}$$

där

Z	är bottennivå över datumnivå [m]
Y	är vattnets djup [m]
V	är vattenhastigheten [m/s]
a	är en korrektionsfaktor för flödets hastighetsdistribution ($a \geq 1$)
g	är tyngdaccelerationen [m/s ²]
h_e	är energiförluster [m]

Energiekvationen uttrycker att energin, i form av lägesenergi, kinetisk energi och energiförluster, är bevarad då vattnet rör sig mellan uppströmssektionen och nedströmssektionen i ett vattendrag. Ekvationens olika termer förtydligas ytterligare i figur 4.2 nedan.



Figur 4-2 Illustration som förtydligar betydelsen av energiekvationens (ekvation 4.1) olika termer (HEC-RAS 2010)

HEC-RAS löser energiekvationen iterativt, genom att gissa vattendjupet i nästkommande sektion. Beräkningar utgår från det vattendjup som angetts som nedströms randvillkor och fortsätter sedan uppströms. Utifrån det gissade djupet Y_2 så kan en hastighet, V_2 , bestämmas från flödet och flödesarean, genom sambandet $V=Q/A$. HEC-RAS kan sedan beräkna energiförlusterna, h_e . Proceduren upprepas till felet mellan gissad och beräknad vattenyta är mindre än 0,003 meter (om användaren inte anger något annat).

När HEC-RAS beräknar energiförlusterna (h_e i ekvation 4.1) delas förlusterna upp i friktionsförluster och kontraktions- och expansionsförluster, se ekvation 4.2 (HEC-RAS 2010).

$$h_e = L\bar{S}_f + C \left| \frac{a_2 V_2^2}{2g} - \frac{a_1 V_1^2}{2g} \right| \quad \text{Ekvation 4-2}$$

där

- L är längden mellan tvärsektionerna [m]
- \bar{S}_f är energilinjens medellutning för de två sektionerna [m/m]
- C är en användardefinierad koefficient som representerar den kontraktion eller expansion som kan kopplas till varje ny sektion
- $\frac{aV^2}{2g}$ är energiekvationens hastighetshöjd för respektive tvärsektion [m]

Energilinjens lutning bestäms utifrån Mannings ekvation i respektive sektion ($V = \frac{1}{n} R^{2/3} S_f^{1/2}$).

Värdena på n och C kan anges separat för varje tvärsektion, för att representera förändringar i fårans generella friktionsmotstånd (n) samt mer eller mindre abrupta förändringar i fårans tvärsnitt (C). Värdet på n kan även varieras inom respektive tvärsektion för att representera ytor med olika friktionsmotstånd (till exempel botten, slänter och svämplan).

För de beräkningar av vattennivåer som HEC-RAS utför är valet av n av stor vikt, och ska helst bestämmas genom kalibrering (HEC-RAS 2010). Vägledande värden går att hitta i litteraturen, där intervall på n anges utifrån beskrivningar av olika typer av kanaler och naturliga vattendrag. I tabell

4.1 presenteras en sammanställning av rimliga intervall för n i en ej underhållen respektive underhållen fåra, baserat på tre källor (Jordbruksverket 2013; Hamill 2011; HEC-RAS 2010).

Tabell 4-1 Sammanställning av rimliga intervall för Mannings skrovlighetskoefficient, n .

Källa	n , välunderhållen fåra	n , ej underhållen fåra
Jordbruksverket (2013)	0,033–0,04	0,1–0,125
Hamill, L. (2011)	0,02–0,05	0,05–0,150
HEC-RAS Reference Manual (2010)	0,025–0,045	0,05–0,150

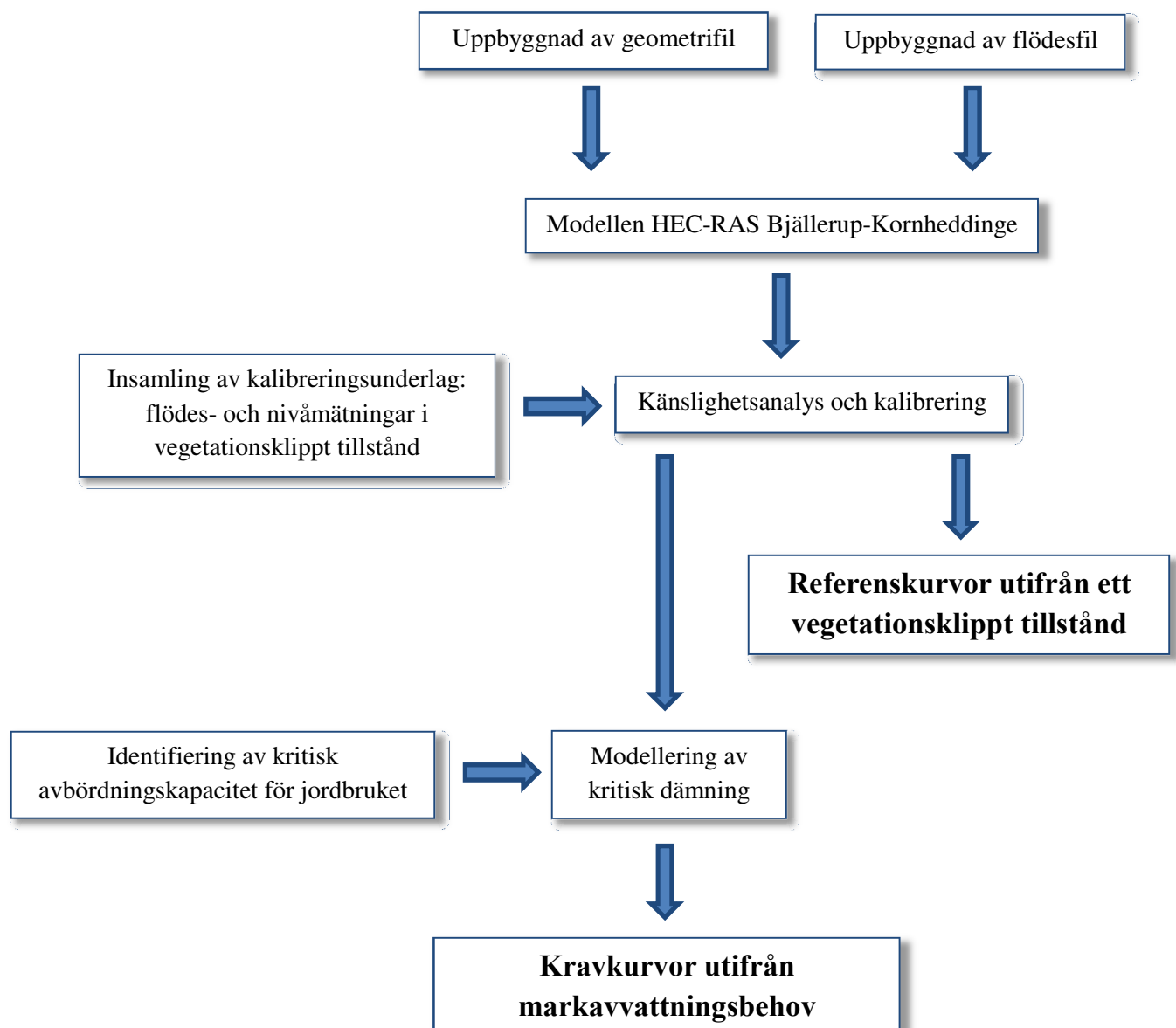
I tabell 4.2 presenteras de värden på C som föreslås i HEC-RAS användarmanual (2010). Förluster vid expansion av det flödande vattnet är generellt sett högre än vid kontraktion. Vid beräkningar av dessa förluster kan programmet själv avgöra om övergången till en ny sektion innebär kontraktion eller expansion, och därmed vilket koefficientvärde som ska användas.

Tabell 4-2 Föreslagna koefficientvärden för kontraktion och expansion, vid modellering av subkritiskt flöde i HEC-RAS (HEC-RAS 2010). Förluster vid flödesexpansion är generellt sett högre än vid kontraktion.

	C , kontraktion	C , expansion
Inga förluster genom kontraktion/expansion	0	0
Gradvisa förändringar av tvärsnitt	0.1	0.3
Brosektioner och liknande	0.3	0.5

5. Metodbeskrivning

Flödesschemat i figur 5.1 nedan beskriver utredningens arbetsgång. Olika moment i processen beskrivs närmare i avsnitt 5.1–5.3. ”Slutprodukterna” i flödesschemat är markerade i fet stil i figur 5.1. Dessa knyter an till punkterna 1 och 2 i rapportens syftesbeskrivning (avsnitt 1.1).



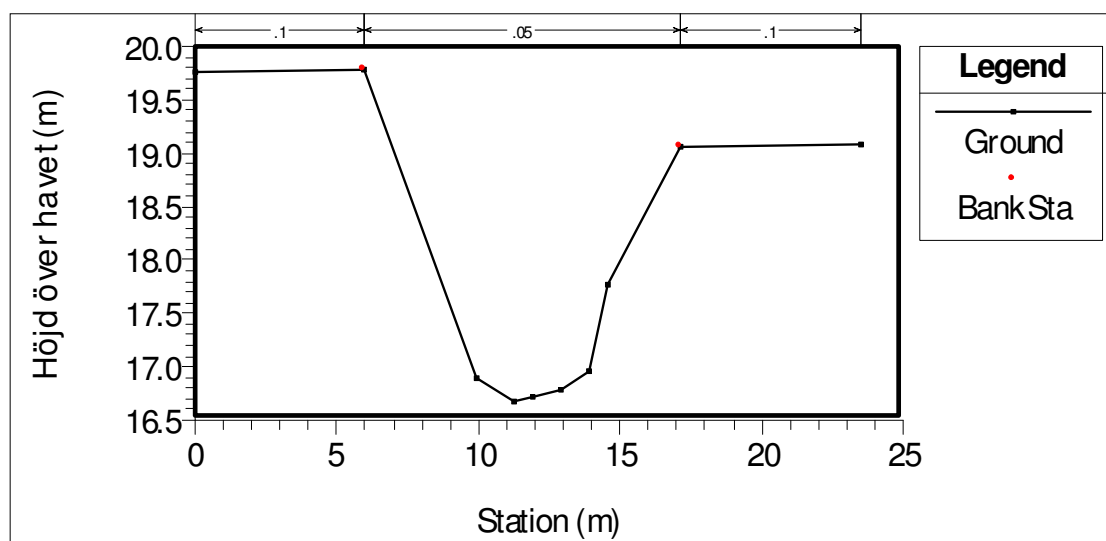
Figur 5-1 Flödesschema som beskriver utredningens arbetsgång. ”Slutprodukterna” som är markerade i fet stil är 1) referenskurvor som beskriver fårans avbördningskapacitet efter dikningsföretagets underhåll med klippskopa i september 2015 och 2) kravkurvor som beskriver hur stor avbördningskapacitet som behövs ur ett markavvattningsperspektiv. Dessa punkter knyter an till punkt 1 och 2 i rapportens syftesbeskrivning, se avsnitt 1.1.

5.1 Uppbyggnad av modellen HEC-RAS Bjällerup-Kornheddinge

Beskrivningen av modellens uppbyggnad är uppdelad i ”Geometrifilens uppbyggnad” (avsnitt 5.1.1) och ”Flödesfilens uppbyggnad” (avsnitt 5.1.2). Respektive avsnitt beskriver dataunderlag och implementering i HEC-RAS.

5.1.1 Geometrifil

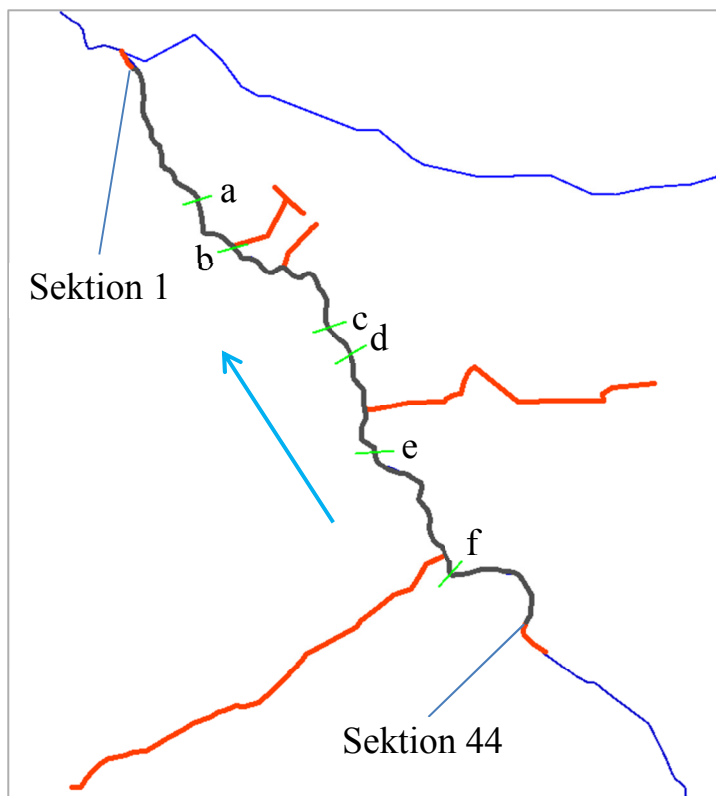
Arbetet inleddes med insamling av den geometriska data som behövs för att representera sträckan i HEC-RAS, i form av GPS-koordinater som beskriver tvärsnitt i åfåran samt broarnas geometri. Inmätningar gjordes av en konsult från företaget Metria under september 2015, med hjälp av högprecisions-GPS. Även inmätningar gjorda av Sweco (2010) användes på en del av den modellerade sträckan. Ett fåtal kompletterande inmätningar gjordes med hjälp av Ekologgruppens eget avvägningsinstrument. Koordinater importerades in i HEC-RAS eller lades in manuellt. Figur 5.2 visar ett exempel på en av tvärsnitten i HEC-RAS. Varje tvärsnitt är representerat i xy-planet och avståndet mellan tvärsnitten lades in manuellt, utifrån avståndsmätningar i Ekologgruppen GIS-verktyg, MapInfo Professional 11.5. Fårans meandring representeras genom att sätta olika avstånd på höger och vänster sida av ån.



Figur 5-2 Utdrag ur HEC-RAS som visar representationen av en tvärsnitt.

I figur 5.3 visas den sträcka i dikningsföretaget som är representerad i modellen. Den modellerade sträckan är 3.4 km av dikningsföretagets totala 3.5 km i huvudfåran. Denna sträcka representeras av 44 inmätta tvärsnitt i HEC-RAS. Medelavståndet mellan sektionerna är därav 77 meter, men det bör noteras att sektionerna (i enlighet med HEC-RAS användarmanual (2010)) ligger tätare i närheten av brokonstruktioner och glesare ute i landskapet. Tätheten mellan sektionerna ligger väl i nivå med den täthet som använts av Sweco vid modelleringar av Höje å (2010) och Almaån (2012). Sektioner i HEC-RAS numreras från nedströms och uppåt, se figur 5.3. Sektion 1 i figur 4.5 sammanfaller geografiskt med pegelbrunnens läge (se avsnitt 3.1).

I figur 5.3 är brokonstruktionerna på sträckan markerade i grönt. Samtliga brokonstruktioner på sträckan lades in i HEC-RAS, trots att vissa broar (framförallt d och e i figur 5.3) har en mycket väl tilltagen konstruktion och sannolikt ingen eller mycket liten påverkan på vattennivåerna annat än vid extrema höglöden. Broarna märkta "a" och "f" i figur 5.3 är i själva verket rester av gamla broar, där fundament av betong eller sten står kvar i åfåran.



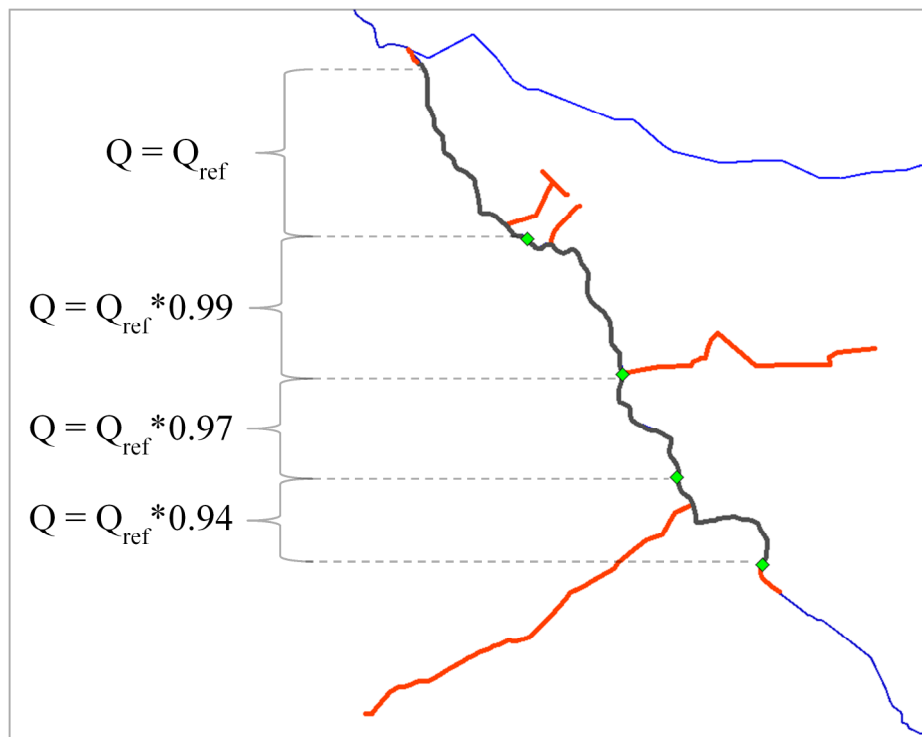
Figur 5-3 Delen av diktningföretaget som är representerad i modellen i HEC-RAS, markerad i svart. Sträckan är 3.4 km av diktningföretagets totala 3.5 km i Höje ås huvudfåra. Sträckan representeras i HEC-RAS av 44 inmätta tvärsnitt. Samtliga brokonstruktioner på sträckan har lagts i modellen och är utmarkerade med a-f figuren.

Utifrån de inlagda tvärsnitten i HEC-RAS utför programmet en interpolering av sektionernas geometri, för att förbättra underlaget för programmets beräkningar. Interpoleringen resulterade i totalt 94 tvärsnitt.

Värdet på kontraktion- och expansionskoefficienten, C , sattes i enlighet med tabell 4.2 till 0.1/0.3 ute i landskapet och 0.3/0.5 för sektionerna närmast broarna. Värdet på Mannings skrovlighetskoefficient, n , lämnades till att börja med på ett förinställt värde, och justerades sedan genom kalibrering.

5.1.2 Flödesfil

Genom areaberäkningar i MapInfo Professional 11.5, kunde *förändringen av Höje ås totala avrinningsområdesarea* inom den modellerade sträckan uppskattas. Punkter för uppströms flödeskorrigering valdes ut, med viss hänsyn till tillrinnande diken och kulvertar. Ett antagande gjordes att förändringen av avrinningsarea mellan punkterna är proportionell mot flödesändringen. I figur 5.4 visas storlek och läge för respektive flödeskorrigering. Flödeskorrigeringen lades sedan in i HEC-RAS flödesfil. Utgångspunkten vid *samtliga* modelleringar har varit storleken på flödet vid modellens nedströmsände, Q_{ref} i figur 5.4. Q_{ref} har i de olika utförda modelleringarna motsvarat antingen flöde utifrån SMHI:s flödesdata för "Höje å ovan Källingabäcken" (se avsnitt 3.2) eller flöde utifrån mätningar i fält (se avsnitt 5.2). Båda dessa flöden kan geografiskt knytas till modellens sektion 1, längst nedströms.



Figur 5-4 Samtliga modelleringar utgår från storleken på flödet vid nedströmsändan av det modellerade området, Q_{ref} i figuren. En flödeskorrigering utifrån avrinningsarea har lagts in i modellen, för tre uppströms liggande tvärsektioner.

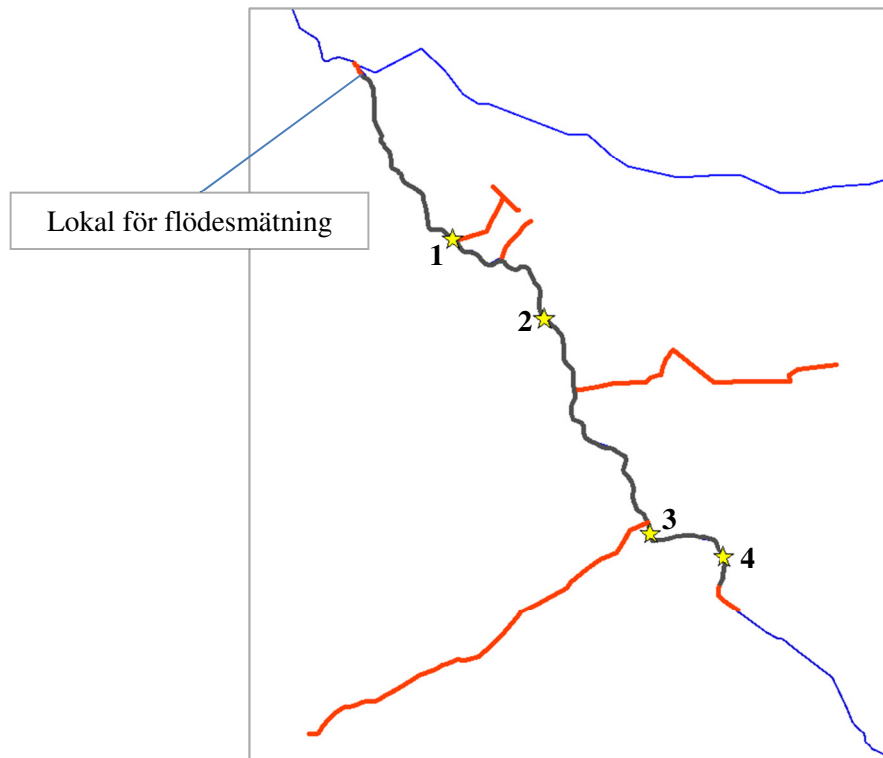
Modellens flödesregim sattes till subkritisk, då detta bedömdes rimligt för denna typ av vattendrag (se avsnitt 2.2.3). Antagandet kunde senare verifieras genom att studera HEC-RAS uträkning av respektive tvärsektions värde på *Froude-talet* vid körning av modellen. Om Froude-talet är större än 1 är flödet superkritiskt (Hamill 2011). Värdet på Froude-talet höll sig väl under 1 för alla tvärsektioner och flöden, med undantag för tvärsektionen närmast nedströms bron ”b” i figur 5.3. För flöden lägre än $0.6 \text{ m}^3/\text{s}$ blev Froude-talet $1.0\text{--}1.01$ vilket indikerar att flödet är kritiskt och sektionen kan vara bestämmande i detta flödesintervall.

Som nedströms randvillkor användes alternativet ”Normal depth” (se kapitel 4) med en bottenlutning på 4.7 ‰ , baserat på en sträcka av 56 meter nedströms modellens sektion 1. En annan potentiell bottenlutning fanns att tillgå, 7.1 ‰ , baserat på en sträcka av 114 meter nedströms modellens nedersta sektion. Även alternativet ”Critical depth” övervägdes, utifrån misstanken om en bestämmande sektion nedströms från pegelbrunnen (se avsnitt 3.1). Känsligheten för olika randvillkor testades inom ramen för kalibreringens känslighetsanalys och resultatet av detta presenteras i avsnitt 6.1.

5.2 Kalibreringsunderlag

För att kalibrera modellen användes mätningar av flöde och vattennivåer som gjordes i fält vid två tillfällen (23 september och 18 november 2015). Vid dessa två tillfällen gjordes en flödesmätning i anslutning till pegelbrunnen som ligger cirka 60 meter uppströms Källingabäckens tillflöde, samt mätningar av vattennivå på fyra förutbestämda kontrollpunkter i dikningsföretaget (koordinat-angivelser i Appendix A-1). I figur 5.5 visas lokalen för flödesmätning och de fyra kontrollpunkterna. Antalet kontrollpunkter valdes utifrån den täthet som har använts i ett danskt vandløbsregulativ (Viborg Amt 2003) för att representera avbördningskapaciteten i Jordbro å på Jylland (avrinningsområde 114 km^2). Placeringen av kontrollpunkter valdes framförallt utifrån att de skulle vara lättillgängliga för mätning. Kontrollpunkt 3 och 4 ligger relativt tätt och innesluter brokonstruktionen

”F” i figur 5.3. I fält bedömdes denna konstruktion vara den mest trånga på sträckan, med synlig erosionspåverkan i slänterna uppströms och nedströms konstruktionen. För att se om modellen kunde återge eventuell dämningpåverkan uppströms från denna sektion, ansågs det motiverat att lägga kontrollpunkter tätare här.



Figur 5-5 Lokalen för flödesmätning samt de fyra kontrollpunkterna för vattennivåmätning

Tillfällena för mätningar valdes med hänsyn till förväntat flöde, för att få kalibreringsunderlag för flöden av olika storlek. Variationer i flöde går att följa via SMHI:s modellberäknade dygnsmedelvärden på VattenWebben. Oktober 2015 var ovanligt torr, följt av en snabb flödesökning i novembers första halva och sedan ihållande höga flöden. Detta var något som försämrade förutsättningarna för flödesmätning, vilket resulterade i att mätning bara har skett vid två tillfällen.



Flödesmätningen genomfördes med ett flygelinstrument (OTT Current Meter No. 39728, type 10.002), se figur 5-6. Mätning gjordes på djupet 0.6 av totaldjupet i varje mätvertikal, i enlighet med en instruktion för vattenföringsmätning från SMHI (1984). Mätning i fler punkter per vertikal var ej möjligt med hänsyn till det rådande vattendjupet och propellerns diameter, som var förhållandevis stor (12.5 cm).

Antalet mätvertikaler var 12 vid det första tillfället och 19 vid det andra, då vattenståndet var högre och den vattenförande sektionen bredare. Således var antalet mätvertikaler fler än 10 vid båda tillfällena, vilket är det minsta antalet vertikaler som rekommenderas i skriften ”Vattenföringsbestämning vid vattenundersökningar” av SMHI och Naturvårdsveket (1979).

Figur 5-6 Flygelinstrumentet som användes för flödesmätning

Vattenståndmätningarna i de fyra kontrollpunkternas gjordes med måttband, utifrån kända nivåer – fixpunkter – på de fyra kontrollpunkterna (se fixnivåer i Appendix A-1). Fixpunkterna mättes in av Metria, i samband med att åfårans tvärsektioner mättes in. Måttbandet hade vid alla mättillfällen en tyngd förankrad i änden, för att förbättra mätnoggrannheten. Kontrollpunkt 1, 3 och 4 består av järnrör nedbankade i fåran, där fixpunkten sitter på toppen av röret, se figur 5.7. Kontrollpunkt 2 motsvaras istället av en fixpunkt på kanten av en bro, där mätningen gjordes från brokanten ned till vattenytan.



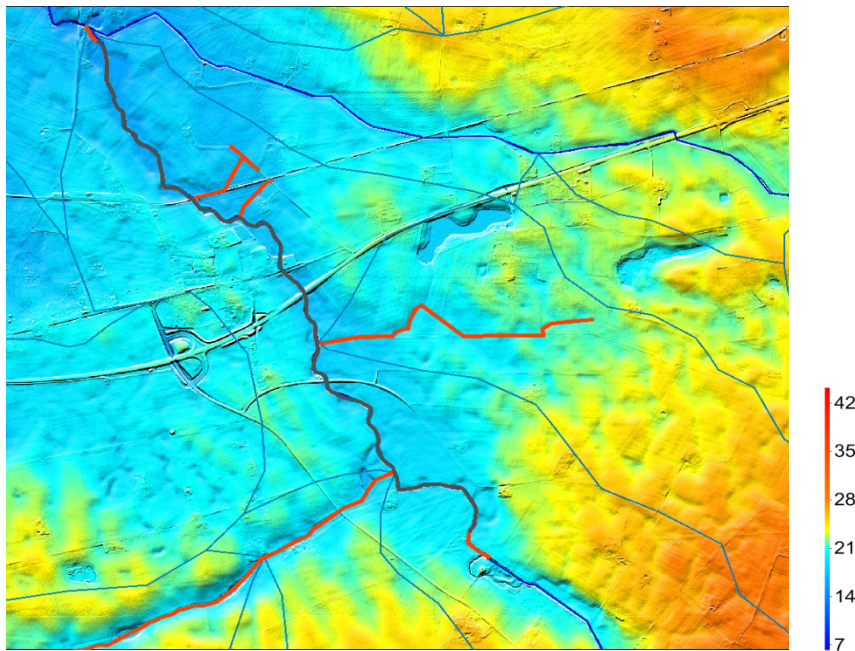
Figur 5-7 Kontrollpunkt 4. Mätningarna av vattennivå i kontrollpunkterna gjordes utifrån kända fixpunkter, i detta fall rörets topp.

5.3 Identifiering av kritisk avbördningskapacitet

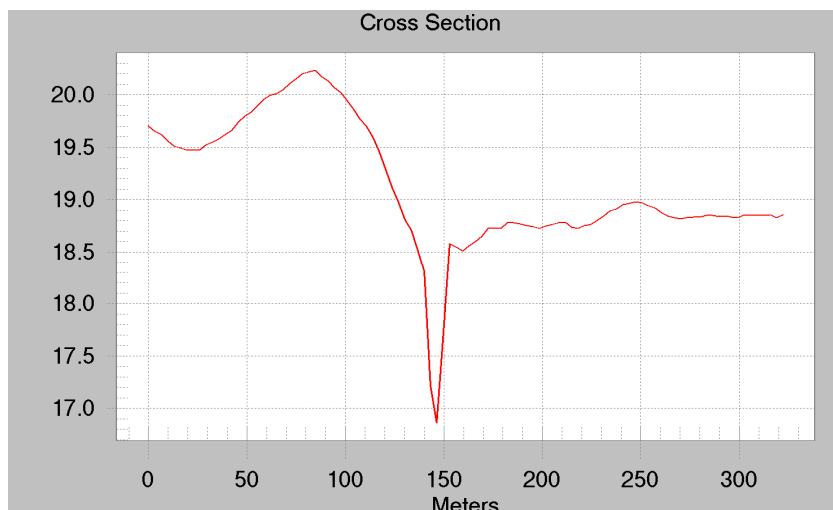
Ett av de beskrivna syftena i denna rapport är att ta fram underlag för vilken avbördningskapacitet som är nödvändig för att få en *fungerande markavvattning*. Det är viktigt att komma ihåg att problem med markavvattningen kan uppstå under olika delar av odlingsssäsongen och av olika anledningar. Under perioderna för vår- och höstbruk är problem med markavvattning framförallt kopplade till dålig markbärlighet som försvårar aktiviteter såsom jordbearbetning och sådd. På sommaren är det istället problem med att uppnå fullt dräneringsdjup som är i fokus. I denna undersökning har begreppet medelvattennyta (se avsnitt 2.5.3) fått fungera som utgångspunkt för en fungerande markavvattning, eftersom den framhålls som särskilt styrande för jordbrukets avkastning.

Kravet på avbördningskapacitet som legat till grund för modelleringen av kritisk dämning är – utifrån definitionen av medelvattennyta – att fullt dräneringsdjup ska kunna uppnås vid medelvattenföring under perioden juli-september. ”Fullt dräneringsdjup” syftar då till det djup som täckdikningen ligger på, vilket generellt sett är runt 1.2 meter under marknivå på den jordbruksmark som avvattnas till det

aktuella dikningsföretaget⁴. Möjligheten att uppnå fullt dräneringsdjup är sammankopplad med vattennivån i huvudavvattningen, vilket beskrivs i avsnitt 2.4.3. Kritiska vattennivåer har därför tagits fram för 20 punkter, jämnt spridda längs den modellerade sträckan. Dessa motsvarar den *högsta tillåtna vattennivån* vid medelvattenföring för juli–september. De kritiska vattennivåerna togs fram med hjälp av högupplöst höjddata i MapInfo Professional 11.5, se figur 5.8. Utifrån höjddatan kunde en ”förlängd” tvärprofil tas fram för var och en av de 20 punkterna, där topografin på båda sidor om ån finns representerad, se exempel i figur 5.9. Utifrån denna tvärprofil identifierades en lägsta punkt i landskapet, inom ett avstånd på 100 meter på var sida om ån.



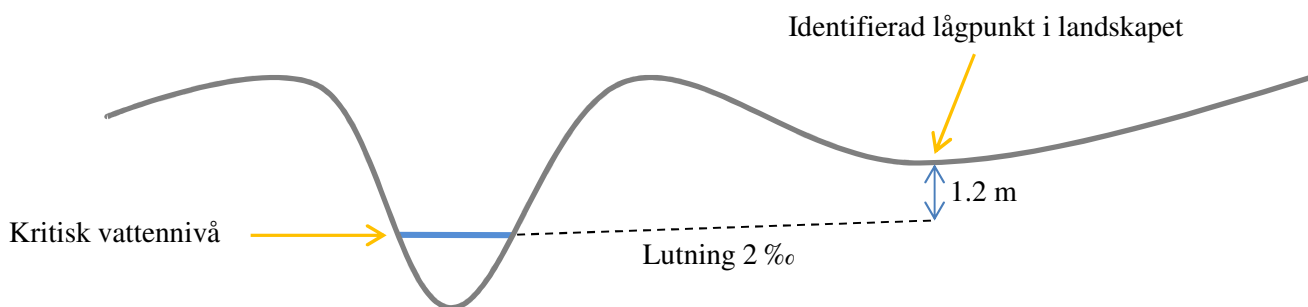
Figur 5-8 Lager med höjddata i MapInfo Professional 11.5 som användes vid framtagandet av kritiska vattennivåer. Höjdangivelse till höger i m.ö.h.



Figur 5-9 Exempel på förlängd tvärsektion som användes för att hitta representativa topografiska lågpunkter i landskapet. I figurens exempel hittas en lågpunkt vid $x \approx 160$ m.

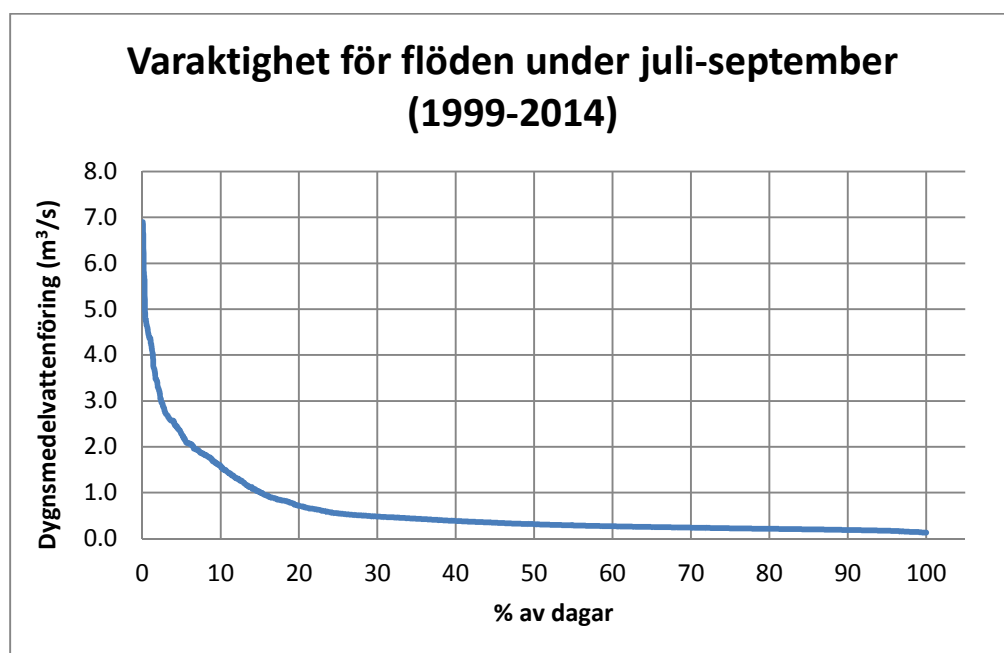
³ Samtal med Emil Sällvik, lantbrukare och deltagare i det aktuella dikningsföretaget, 10/12 2015

Den kritiska vattenytan räknades sedan fram i enlighet med figur 4.12, som bygger på samma illustration som presenterades i avsnitt 2.5.3, för att beskriva begreppet medelvattennyta.



Figur 5-10 Framtagandet av kritiska vattennivåer utifrån topografiska lågpunkter i landskapet.

Det flöde som har använts bygger på SMHI:s modellbaserade dygnsmedelvärden (jul-sep, 1999-2014), för delavrinningsområdet "Höje å ovan Källingabäcken" (SMHI 2016). I stället för att använda medelvärdet på hela dataserien användes ett flöde som *inte är överskridet för 2/3 av dagarna* i dataserien. Detta flöde motsvarar $0.45 \text{ m}^3/\text{s}$ och kan avläsas i varaktighetsdiagrammet i figur 5.11 nedan, vid $x=33.3\%$ av dagarna. Detta flöde kommer att benämnas $Q_{2/3}$ vidare i rapporten. Anledningen till att detta flöde användes är att det bedömdes vara mer representativt för en normalflödessituation än ett vanligt medelvärde, där inverkan av extrema flöden i dataserien får stort genomslag på det beräknade medelvärdet⁵. För jämförelse är medelvärdet för dataserien $0.61 \text{ m}^3/\text{s}$.



Figur 5-11 Varaktighetsdiagram för flöden juli-september, baserat på SMHI:s modellberäknade dygnsmedelvärden för "Höje å, ovan Källingabäcken" Vid modelleringar av kritisk dämning i HEC-RAS så har flödet $0.45 \text{ m}^3/\text{s}$ använts för att representera en normalvattenföring under juli-september. Detta är det flöde som ej är överskridet för 2/3 av dygnsmedelvärdena, och kan avläsas vid $x= 33.3\%$ (dvs. 1/3) i figuren.

⁵ Bedömningen bygger på diskussioner med Tilla Larsson, Gwidon Jakowlew och Marcus Lundmark på Jordbruksverkets Vattenenhet i Alnarp.

6. Resultat

6.1 Känslighetsanalys och kalibreringsresultat

Känslighetsanalysen bygger på ett antal test, där parametrar och modellinställningar i HEC-RAS har varierats inom rimliga intervall för att identifiera de faktorer som har signifikant inverkan på modellresultatet, det vill säga på modellerad vattennivå. Resultatet av känslighetsanalysen visar att justeringar av Mannings skrovlighetskoefficient, n , är det som har störst inverkan på modellerad vattenyta. Resultaten av olika test sammanställs i tabell 6.2 nedan. Samtliga test har körts för båda kalibreringsflödena, det vill säga de två flöden som har mätts upp i fält med flygelinstrument, se tabell 6.1. Mannings n är satt till 0.05 i alla test, förutom då annat anges i tabell 6.2.

Tabell 6-1 De två flöden som mätts upp med flygel, i höjd med modellens sektion 1. Flödena fungerar som utgångspunkt för kalibrering av modellen, tillsammans med de vattennivåer som mättes upp i de fyra kontrollpunkterna.

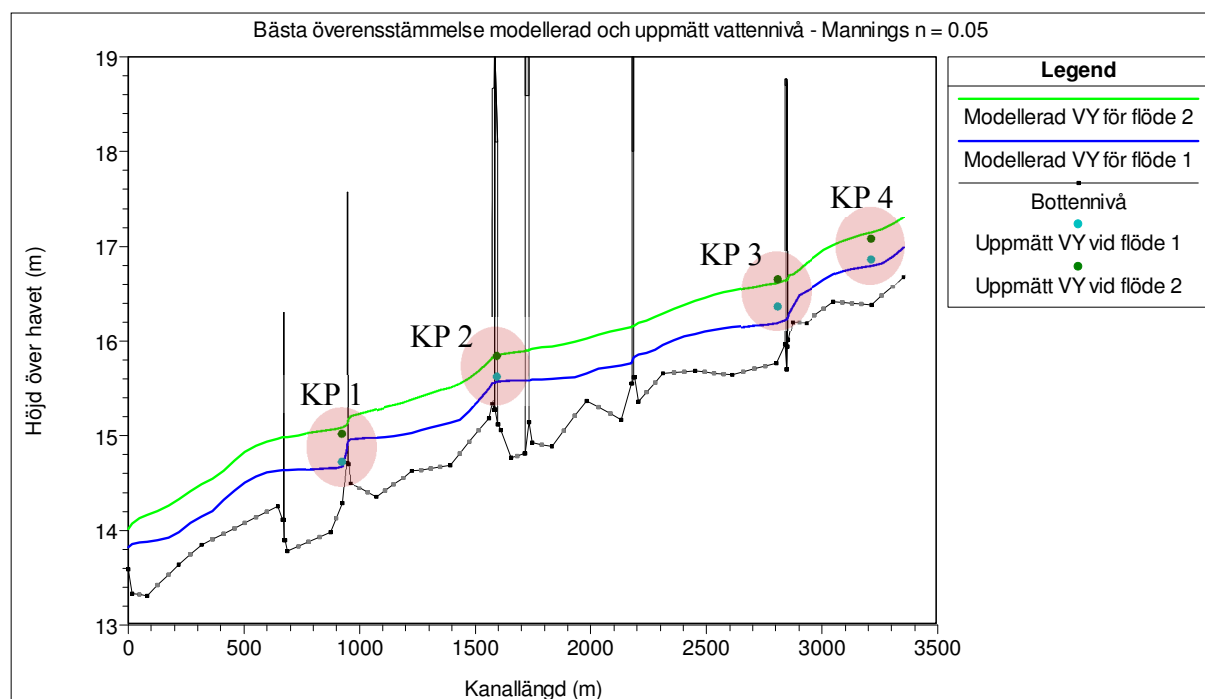
	Datum för flödesmätning	Uppmätt flöde
Q_{kalib_1}	23/9 2015	0.25 m ³ /s
Q_{kalib_2}	18/11 2015	1.1 m ³ /s

Tabell 6-2 Sammanställning av känslighetsanalys för olika modellparametrar. Samtliga test har körts för båda de kalibreringsflöden som presenteras i tabell 6.1. Mannings n är den parameter som har störst inverkan på modellerad vattenyta.

Test	Ändring	Utfall
Val av nedströms randvillkor	Randvillkoret ändras från "Normal depth" (med bottenlutning 4.7 ‰) till "Critical depth"	Modellerat vattendjup <i>minskar signifikant</i> inom en sträcka på 15 meter från nedströmsänden. Därefter är minskningen < 4% för båda flöden. Efter 250 meter är förändringen försumbar.
Justering av randvillkoret "Normal depth"	Bottenlutning ändras från 4.7 ‰ till 7.1 ‰ (se avsnitt 5.1.2 för bakgrund till dessa värden)	Modellerat vattendjup <i>minskar marginellt</i> , inom en sträcka på ca 300 meter från nedströmsänden. Förändringen är störst längst nedströms och för det högre flödet Q_{kalib_2} (ca - 7%).
Brokonstruktionernas dämmande effekt	Samtliga brokonstruktioner tas bort ur modellen	Modellerat vattendjup <i>minskar marginellt</i> uppströms från brokonstruktionerna b, c och f i figur 5.3. Förändringen är störst precis uppströms brokonstruktion c (ca - 6%). Förändringen är samma för båda flöden.
Betydelsen av uppströms flödeskorrigering	Flödeskorrigeringen uppströms (beskrivs i avsnitt 5.1.2) tas bort, så att $Q=Q_{kalib}$ på hela den modellerade sträckan	Modellerat vattendjup <i>ökar marginellt</i> för samtliga sträckor där flödesvillkoret förändrats. Förändringen är störst för sträckan längst uppströms och för det högre flödet Q_{kalib_2} (ca +3%).
Val av Mannings n	Värdet på n ökas från 0.02 till 0.05, för alla tvärsektioner (baserat på det rimliga intervall som presenteras i tabell 4.1)	Modellerat vattendjup <i>ökar signifikant</i> på hela den modellerade sträckan. Störst är förändringen för det högre flödet Q_{kalib_2} då medeldjupet på sträckan ökar med drygt 40%. För det lägre flödet Q_{kalib_1} så ökar medeldjupet med drygt 30% på hela sträckan.

Med känslighetsanalysens resultat som bakgrund, så har Mannings n varit utgångspunkten vid kalibrering av modellen. Värdet på n har varierats för att åstadkomma så bra överensstämmelse som möjligt mellan modellerad vattennivå samt de vattennivåer som mättes upp vid de fyra kontrollpunkterna, i samband med respektive flödesmätning. Känslighetsanalysens resultat gav ingen anledning att göra vidare finjusteringar av nedströms randvillkor, flödesvillkor eller i modellens representation av brokonstruktioner. För det flödesintervall som är relevant för denna undersökning kan känsligheten för dessa faktorer betraktas som låg, i förhållande till betydelsen av Mannings n .

Bästa överensstämmelse mellan modellerad och uppmätt vattennivå uppnåddes då Manning n sattes till 0.05, se figur 6.1. Detta värde bedöms vara rimligt i förhållande till det intervall för n i ett underhållet dike som presenterades i tabell 4.1. I figur 5.1 visas modellerad vattenyta för flödena Q_{kalib_1} och Q_{kalib_2} samt uppmätta vattennivåer för respektive flöde i de fyra kontrollpunkterna. Modellen hade då körts för olika Mannings n med en noggrannhet på $\Delta n = 0.005$ mellan körningarna. Vid ett högre värde än 0.05 på n , blev modellerad vattenyta vid det högre flödet Q_{kalib_2} för hög. Då ett lägre värde användes blev modellerad vattenyta för det lägre flödet Q_{kalib_1} för låg. Bästa möjliga balans uppnåddes vid värdet $n=0.05$. Felet är då ≤ 7 cm (eller $\leq 10\%$ av modellerat vattendjup) för samtliga kontrollpunkter och flöden, förutom kontrollpunkt 3 där felet är drygt 15 cm för det lägre flödet (cirka 35% av modellerat vattendjup).



Figur 6-1 Resultat efter kalibrering av Mannings n i modellen. Bästa överensstämmelse mellan modellerad vattenyta och uppmätt vattenyta uppnås vid $n=0.05$. "Flöde 1" och "Flöde 2" motsvarar kalibreringsflödena Q_{kalib_1} och Q_{kalib_2} från tabell 6.1. Punkterna i figuren motsvarar uppmätt vattennivå i de fyra kontrollpunkterna, KP 1-4. Överensstämmelsen är sämst för kontrollpunkt 3 vid det lägre flödet, då felet är dryga 15 cm. För övriga flöden och kontrollpunkter är felet ≤ 7 cm.

Ett försök gjordes att korrigera modellens tendens att överskatta vattennivån vid det högre flödet och underskatta vattennivån vid det lägre flödet. Detta gjordes genom att sätta olika Mannings n på botten och slänter för samtliga tvärsnitt i modellen. Genom att öka värdet på n för botten till 0.08 och minska värdet för slänterna till 0.01 kunde en marginell förbättring av överensstämmelse mellan modellerad och uppmätt vattennivå uppnås, för kontrollpunkterna 1, 2 och 4. Dessa värden ligger utanför de intervall för rimliga värden på n i ett underhållet vattendrag som presenteras i tabell 4.1.

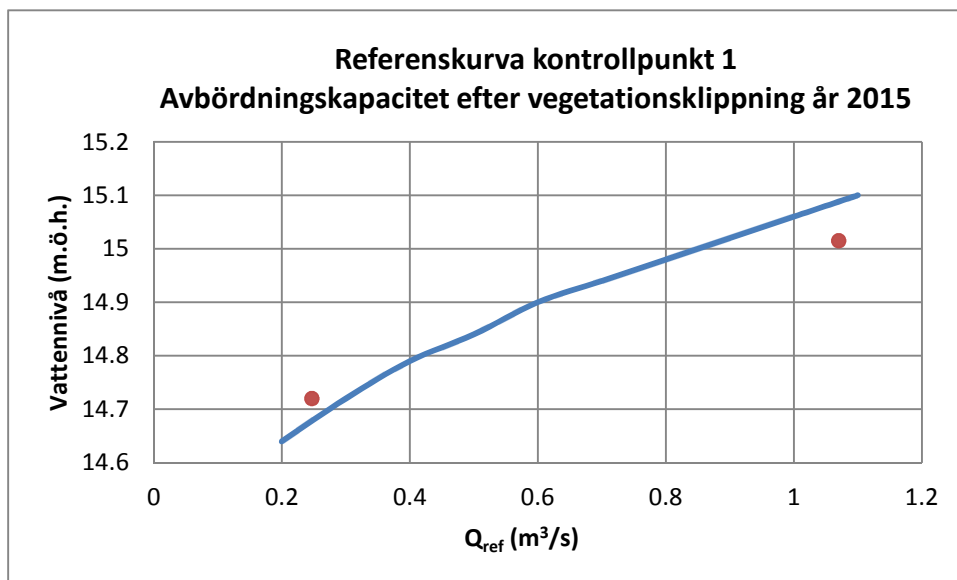
Vidare är det svårt att utifrån de befintliga förhållandena i vattendraget motivera en så stor differentiering av värdena för botten och slänt. Av dessa anledningar har värdet 0.05 för hela fåran behållits, och detta värde på n får representera fårans friktionsmotstånd efter underhåll med klippskopa.

Eftersom felet mellan modellerad och uppmätt vattennivå var anmärkningsvärt större för kontrollpunkt 3 jämfört med övriga kontrollpunkter så redovisas inga resultat för denna kontrollpunkt i avsnitt 6.2 och 6.3. Modellen anses inte kunna återge vattennivå i denna kontrollpunkt på ett korrekt sätt.

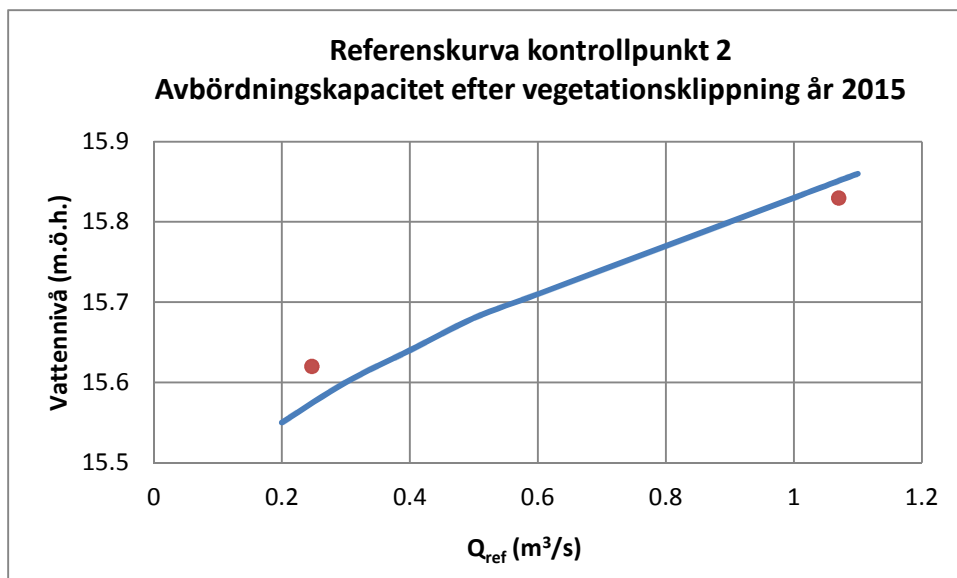
6.2 Referenskurvor

Genom att köra den kalibrerade modellen för ett intervall av flöden kunde referenskurvor tas fram för att representera fårans avbördningskapacitet i ett vegetationsklippt tillstånd. Sådana kurvor kan fungera som en referens för dikningsföretaget som genom att upprepa flödesmätningen och nivåmätningarna ett annat år, vid motsvarande tillstånd i fåran, kan få en indikation på om fårans grundkapacitet har förändrats, i jämförelse med referensåret 2015. Principen tillämpas i Danmark, vilket beskrivs i avsnitt 2.4. Det bör understrykas att varje referenskurva bara kan vara vägledande för underhållsbehovet på sträckan nedströms respektive kontrollpunkt, vilket är kopplat till den subkritiska flödesregimen (se avsnitt 2.2.3).

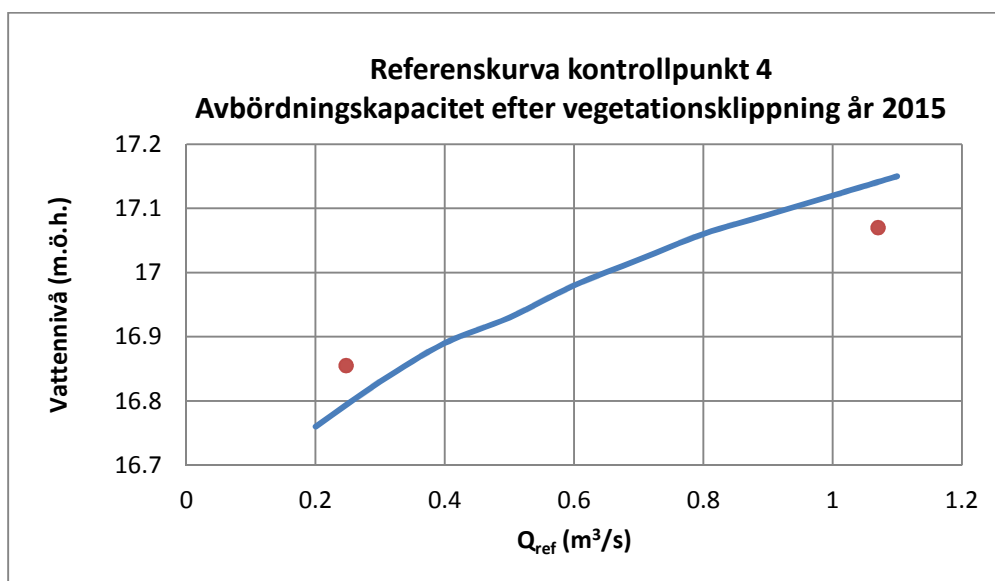
I figur 6.2, 6.3 och 6.4 presenteras referenskurvor baserade på HEC-RAS modellerade vattennivåer för kontrollpunkterna 1, 2 och 4. Ett Mannings n på 0.05 har använts, i enlighet med kalibreringsresultaten. Modellen kördes för flödesintervallet 0.2-1.1 m³/s med 0.1 m³/s mellan körningarna. Kurvorna representerar med andra ord det intervall av flöde som modellen har kalibrerats för. Det bör noteras att graferna korrelerar vattennivån i respektive kontrollpunkt med flödet vid modellens sektion 1, Q_{ref} . Det är detta flöde som modellen utgår ifrån, och sedan korrigerar uppströms (se avsnitt 5.1.2).



Figur 6-2 Den blå linjen motsvarar modellerad vattennivå i kontrollpunkt 1, för flödesintervallet 0.2-1.1 m³/s. Q_{ref} motsvarar flödet vid modellens sektion 1, längst nedströms. Mannings $n=0.05$, vilket motsvarar det vegetationsklippta tillstånd som modellen har kalibrerats efter. De röda punkterna visar uppmätt vattennivå i kontrollpunkt 1 för de två kalibreringsflödena, Q_{kalib_1} och Q_{kalib_2} . Även dessa flödesmätningar utfördes i höjd med modellens sektion 1.



Figur 6-3 Den blå linjen motsvarar modellerad vattennivå i kontrollpunkt 2, för flödesintervallet 0.2-1.1 m³/s. Q_{ref} motsvarar flödet vid modellens sektion 1, längst nedströms. Mannings $n=0.05$, vilket motsvarar det vegetationsklippta tillstånd som modellen har kalibrerats efter. De röda punkterna visar uppmätt vattennivå i kontrollpunkt 2 för de två kalibreringsflödena, Q_{kalib_1} och Q_{kalib_2} . Även dessa flödesmätningar utfördes i höjd med modellens sektion 1.



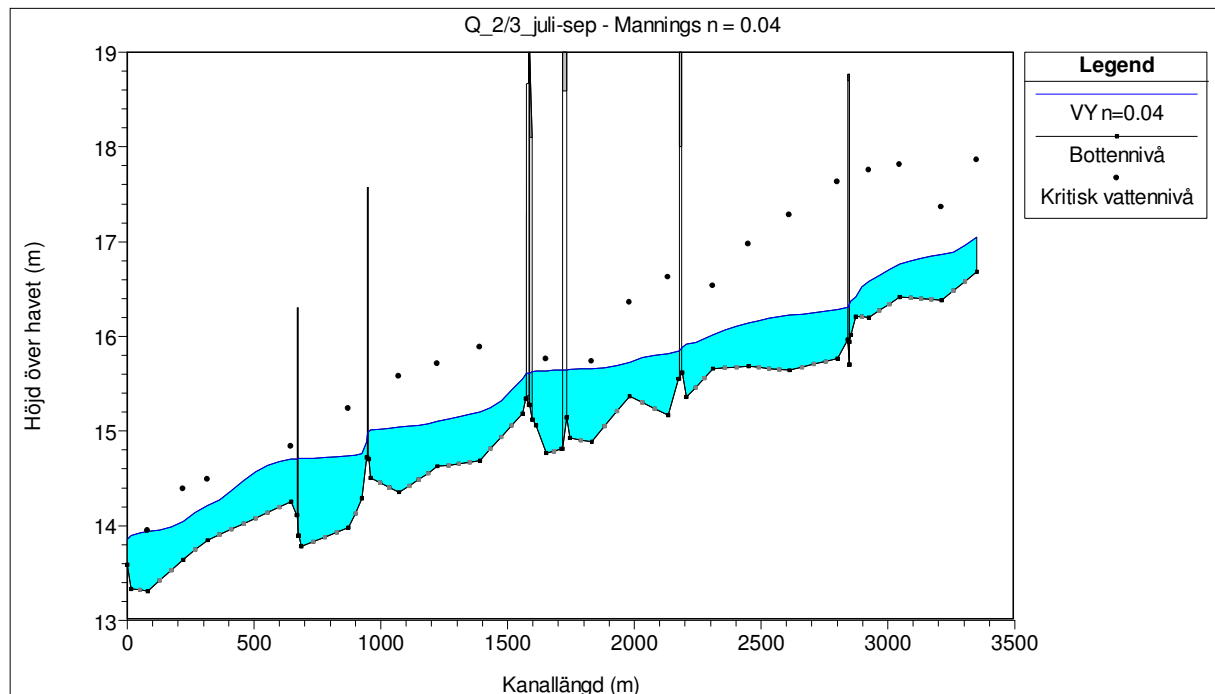
Figur 6-4 Den blå linjen motsvarar modellerad vattennivå i kontrollpunkt 4, för flödesintervallet 0.2-1.1 m³/s. Q_{ref} motsvarar flödet vid modellens sektion 1, längst nedströms. Mannings $n=0.05$, vilket motsvarar det vegetationsklippta tillstånd som modellen har kalibrerats efter. De röda punkterna visar uppmätt vattennivå i kontrollpunkt 4 för de två kalibreringsflödena, Q_{kalib_1} och Q_{kalib_2} . Även dessa flödesmätningar utfördes i höjd med modellens sektion 1.

Referenskurvorna kan sägas vara representativa för perioden mellan de två flödes- och nivåmätningarna, det vill säga 23 september till 18 november 2015. Detta bygger på ett antagande om att värdet $n=0.05$ kan representera fåran vid båda dessa tillfällen. Den process som kan antas vara styrande för en eventuell förändring av friktionsmotståndets utveckling är en eventuell återväxt av vegetation efter dikningsföretagets klippning i september början. Återväxtens betydelse bedöms dock vara marginell inom denna period.

6.3 Underhållsbehov utifrån ett markavvattningsperspektiv

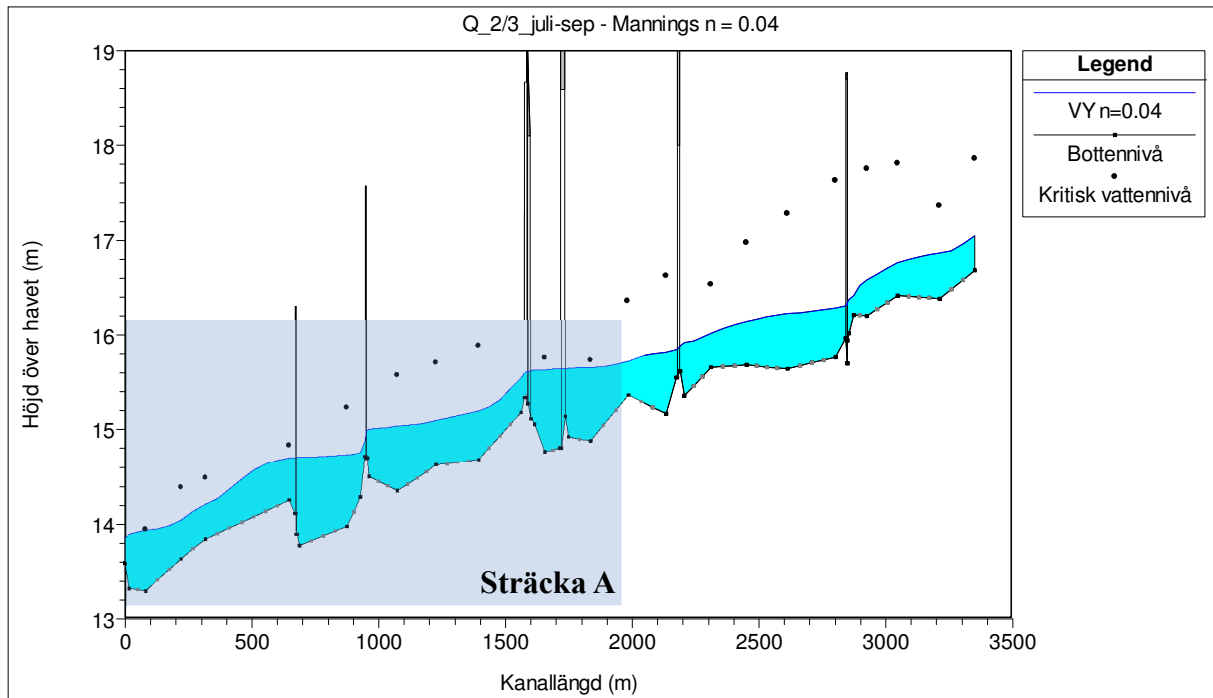
6.3.1 Olika underhållsbehov på olika sträckor

De kritiska vattennivåer som har tagits fram utifrån topografiska lågpunkter på jordbruksmarken indikerar att problem med att uppnå fullt dräneringsdjup är mer sannolika i nedströmshalvan av dikningsföretaget jämfört med den övre halvan, se figur 6.5. De svarta punkterna i figuren motsvarar de kritiska vattennivåer som tagits fram utifrån ett dräneringsdjup på 1.2 meter. Figuren visar modellerad vattenyta för flödet $Q_{2/3}$ ($0.45 \text{ m}^3/\text{s}$), vilket är det flöde som använts för att representera ett normalflöde för perioden juli-september (se avsnitt 5.3). Mannings skrovlighetskoefficient, n , är satt till värdet 0.04 för att modellerad vattenyta ska ligga under *samtliga* svarta punkter. Som figur 6.5 visar finns det då en sammanhängande sträcka uppströms i vattendraget, där det finns marginal mellan den modellerade vattenytan och de kritiska vattennivåerna. Detta skulle kunna vara en indikation på att behovet av underhåll är mindre i uppströmsdelen av dikningsföretaget. Eftersom dämning fortplantar sig från nedströms och uppåt, så har en minskad frekvens av underhåll i uppströmsdelen rimligtvis inte någon inverkan nedströms i dikningsföretaget.

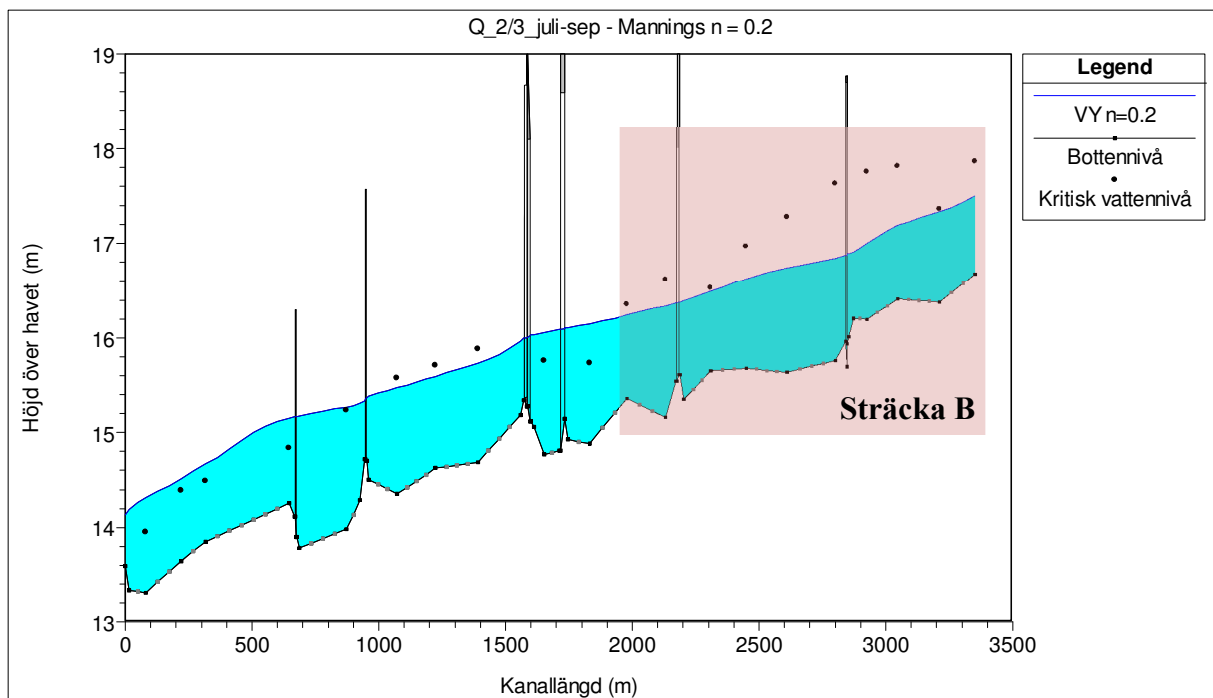


Figur 6-5 Modellerad vattenyta och kritiska vattennivåer. De svarta punkterna motsvarar de kritiska vattennivåer som tagits fram utifrån ett dräneringsdjup på 1.2 m. Det modellerade flödet $Q_{2/3}$ ($0.45 \text{ m}^3/\text{s}$) är framtaget för att representera ett normalflöde under perioden juli-september (se avsnitt 5.3). Då Mannings $n=0.04$ når modellerad vattenyta upp till den första kritiska vattennivån, punkten längst nedströms på den modellerade sträckan. I den övre halvan av den modellerade sträckan är marginalen upp till de kritiska vattennivåerna fortfarande god.

Med ovanstående resonemang som bakgrund har en uppdelning av dikningsföretaget i två sträckor gjorts, se figur 6.6 och 6.7. Sträckorna benämns hädanefter "A" och "B", såsom figurerna visar. I figur 6.6 visas modellerad vattenyta vid flödet $Q_{2/3}$ då Mannings n är satt till 0.04, det vill säga samma situation som i figur 6.5. Vid detta värde på n är friktionsmotståndet tillräckligt stort för att den modellerade vattenytan ska nå upp till den första punkten för kritisk vattennivå, inom sträckan A, se figur 6.6. I figur 6.7 har samma flöde modellerats, men n har ökat till ett värde av 0.2, för att den modellerade vattenytan ska nå upp till en kritisk vattennivå på sträcka B.



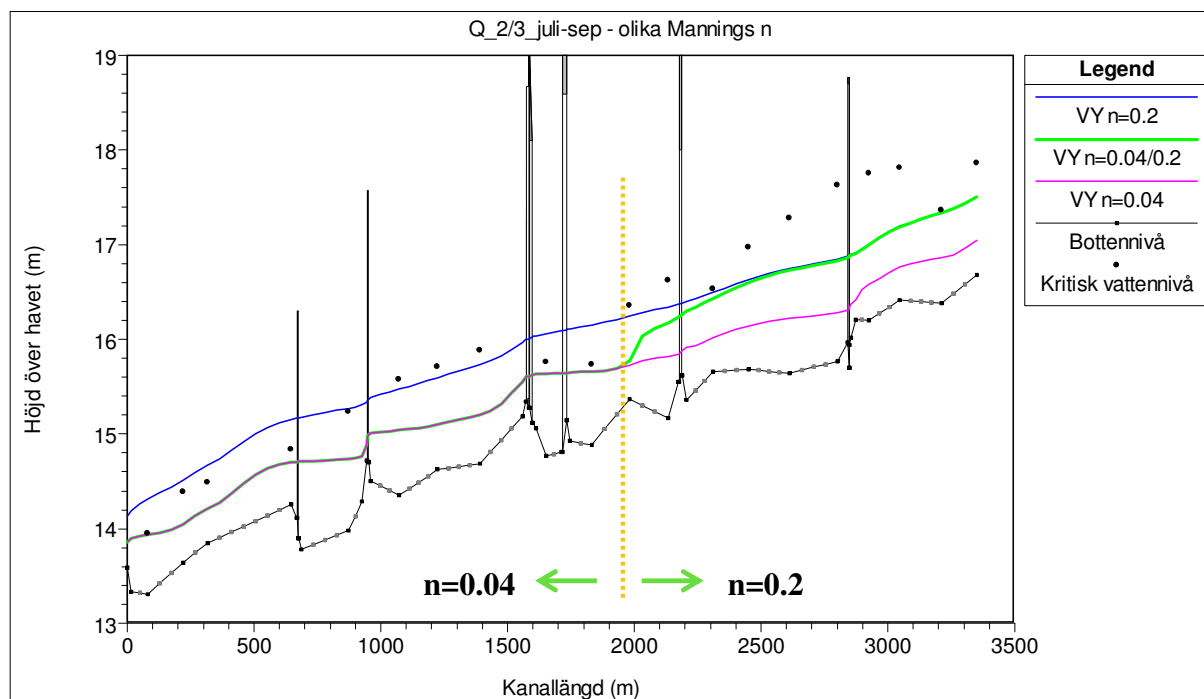
Figur 6-6 Inom sträcka A får Mannings $n=0.04$ representera en kritisk dämning, då vattenytan når upp till en kritisk nivå. $Q=Q_{2/3}$ ($0.45 \text{ m}^3/\text{s}$).



Figur 6-7 Inom sträcka B får Mannings $n=0.2$ representera en kritisk dämning, då vattenytan når upp till en kritisk nivå. Notera att flödet är samma som i figur 6.6, dvs. $Q=Q_{2/3}$ ($0.45 \text{ m}^3/\text{s}$).

Genom ett test i HEC-RAS kan effekten av uteblivet underhåll uppströms i diktningföretaget undersökas närmare. I figur 6.8 har Mannings n satts till 0.04 för sektionerna inom sträcka A, medan det högre värdet på 0.2 har använts för sektionerna inom sträcka B. Den gula streckade linjen markerar skiljelinjen mellan de två sträckorna. Resultatet blir, som figur 6.8 visar, att den modellerade

vattenytan för flödet $Q_{2/3}$ ligger under punkterna för kritisk vattennivå, genomgående i dikningsföretaget.



Figur 6-8 Test av effekten av uteblivet underhåll på sträcka B, uppströms den gula, streckade linjen. Tre modellerade vattenytan är synliga i figuren. Flödet är $Q_{2/3}$ ($0.45 \text{ m}^3/\text{s}$) för samtliga vattenytan. Den lila och blå linjen motsvarar samma vattenytan som presenterades i figur 6.6 och 6.7. Den gröna linjen motsvarar modellerad vattenytan då Mannings n har satts till 0.04 på sträcka A och 0.2 på sträcka B. Ingen av de svarta punkterna – de kritiska vattennivåerna – ligger då under vatten. Resultatet kan ses som en indikation på att behovet av underhåll är mindre på sträcka B i dikningsföretaget.

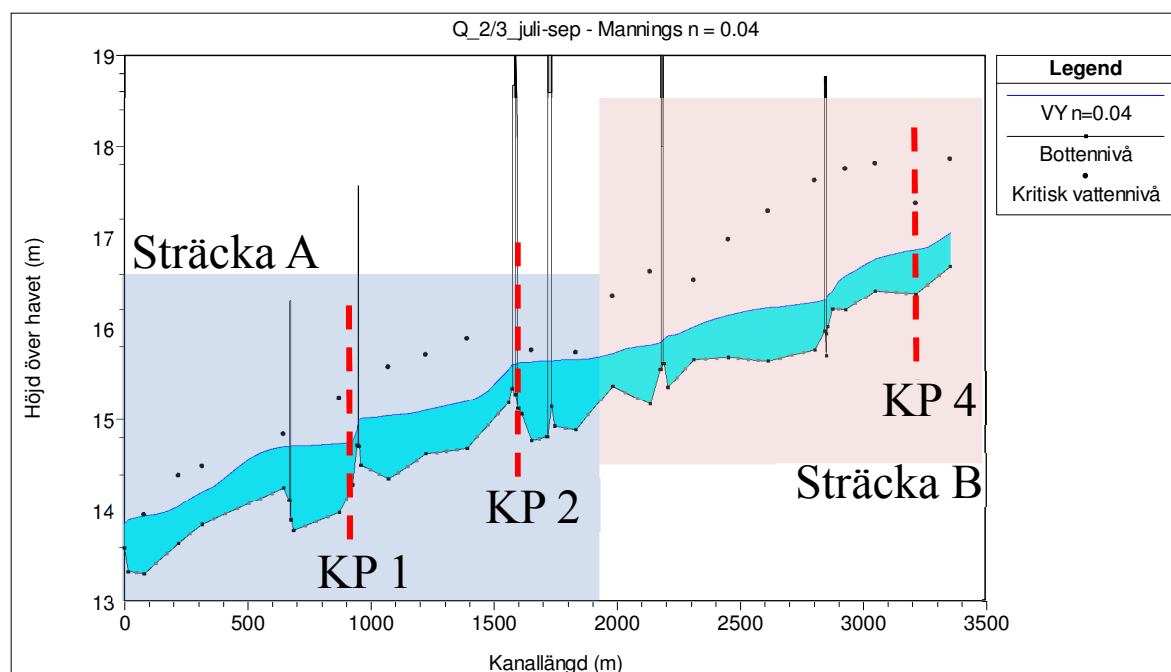
Det bör understrykas att de använda värdena på n , 0.04 och 0.2, är ”fiktiva” – de har inte någon förankring i verkligheten eller i rimliga intervall för n utan har tagits fram enbart för att representera en *kritisk dämning*. En jämförelse är dock intressant. Värdet 0.04 på sträcka A, indikerar att friktionsmotståndet i den vegetationsklippta fåran ($n=0.05$), som togs fram genom kalibrering, är för högt och att ytterligare underhållsinsatser skulle vara nödvändiga för att uppnå fullt dräneringsdjup på sträcka A under juli-september. Rimligheten i detta resultat diskuteras i avsnitt 7.2 och 7.3.2. Vidare kan värdet 0.2 jämföras med det rimliga intervall för n som presenteras i tabell 4.1, för ett ej underhållet dike. Tabellens intervall sträcker sig upp till ett värde på 0.15. Värdet 0.2 indikerar då att god marginal finns, och att underhåll principiellt inte bör vara nödvändigt på sträckan ur markavvattnings synpunkt. Detta diskuteras vidare i avsnitt 7.3.2. I figur 6.9 visas den geografiska översättningen av sträcka A respektive B i modellen, där den gula skiljelinjen från figur 6.8 är inlagd på rätt läge i förhållande till modellens inmätta sektioner.



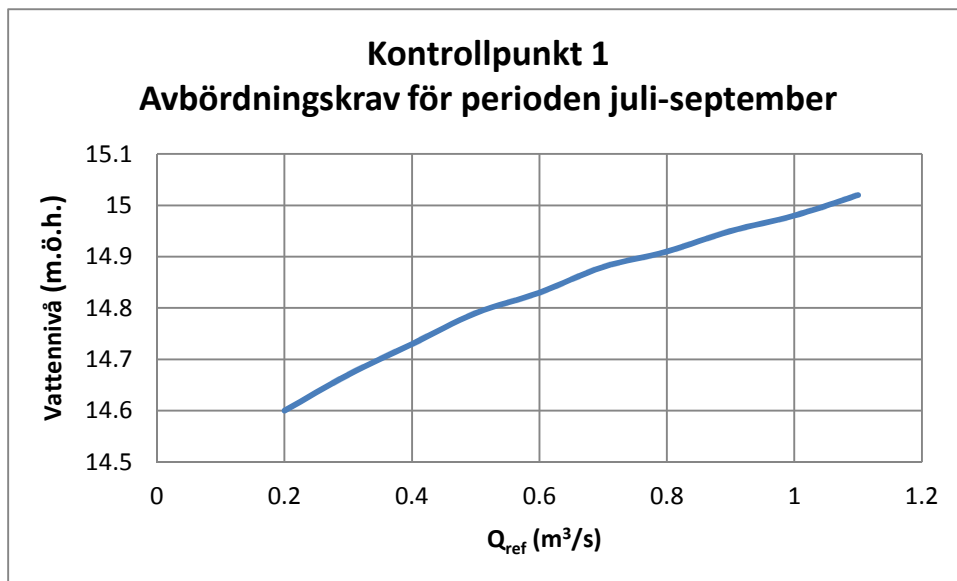
Figur 6-9 Den geografiska motsvarigheten till skiljelinjen i figur 6.8, som delar upp modellen i sträcka A och B. Gränsen går mittemellan väg 11 och Trulstorsvägen.

6.3.2 Kravkurvor

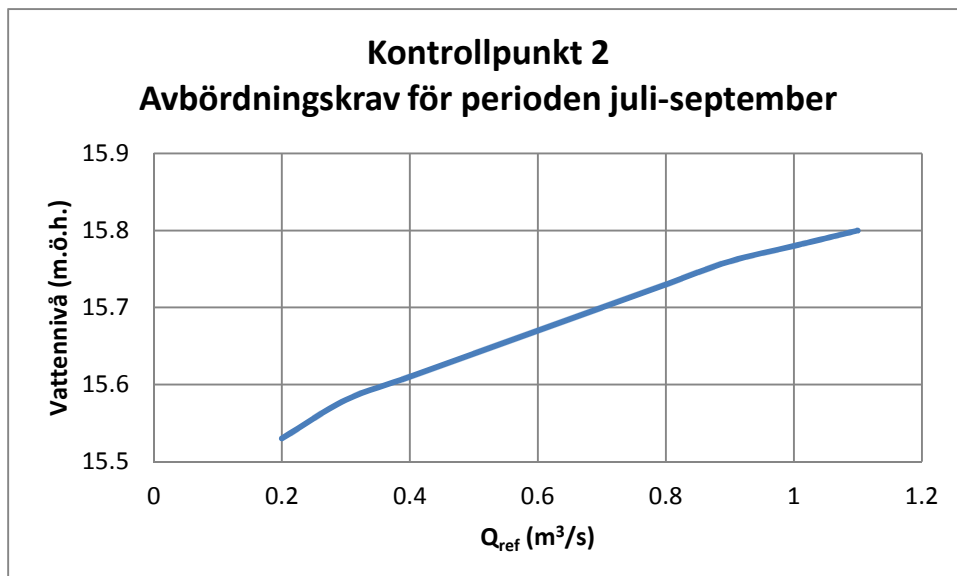
Utgångspunkten för kravkurvorna är de värden på n som presenterades i avsnitt 6.3.1 och som motsvarar en kritisk dämning vid flödet $Q_{2/3}$. Modellen har sedan körts för intervallet 0.2-1.1 m³/s. Nedan presenteras kravkurvor för kontrollstationerna 1,2 och 4, se figur 6.11–6.13. I figur 6.10 visas respektive kontrollpunkts läge. Det bör understrykas att varje kravkurva bara kan vara vägledande för underhållsbehovet på sträckan nedströms respektive kontrollpunkt, vilket är kopplat till den subkritiska flödesregimen (se avsnitt 2.2.3). Kravkurvornas tillämpbarhet diskuteras vidare i avsnitt 7.2.



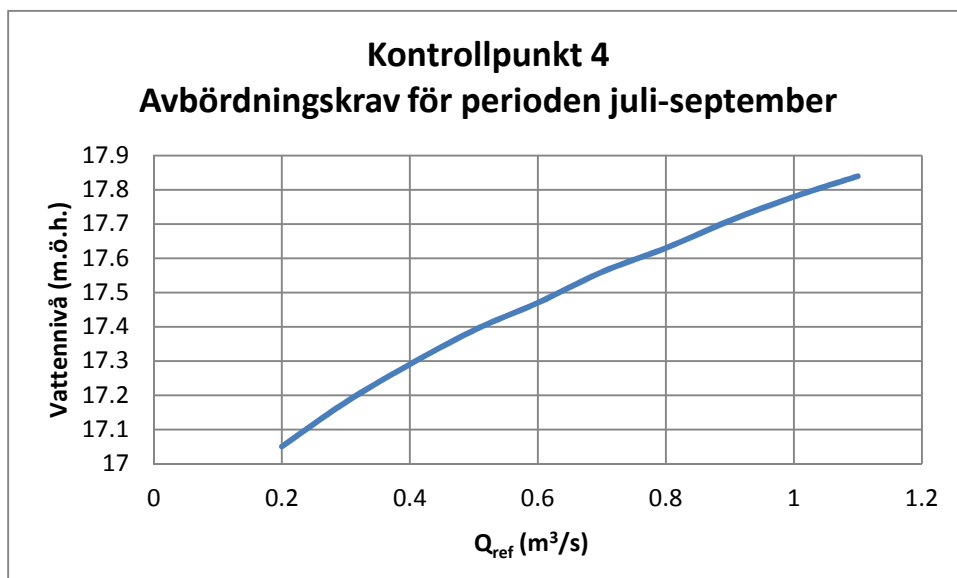
Figur 6-10 Läget för kontrollpunkt 1,2 och 4. Kontrollpunkt 1 och 2 faller inom sträckan A, som definierades i avsnitt 6.3.1 medan kontrollpunkt 4 tillhör sträcka B.



Figur 6-11 Kravkurva för kontrollpunkt 1. Q_{ref} motsvarar flödet vid modellens sektion 1, längst nedströms. Kurvan visar den avbördningskapacitet som är nödvändig för att dräneringsdjupet 1.2 meter ska kunna uppnås vid flödet $Q_{2/3}$ (0.45 m³/s). Utifrån denna kritiska dämningssituation har kurvan modellerats fram för flödesintervallet 0.2-1.1 m³/s. Eftersom kontrollpunkt 1 ligger inom sträcka A (se figur 6.6) så har Mannings $n=0.04$ fått representera en kritisk dämning.



Figur 6-12 Kravkurva för kontrollpunkt 2. Q_{ref} motsvarar flödet vid modellens sektion 1, längst nedströms. Kurvan visar den avbördningskapacitet som är nödvändig för att dräneringsdjupet 1.2 meter ska kunna uppnås vid flödet $Q_{2/3}$ (0.45 m³/s). Utifrån denna kritiska dämningssituation har kurvan modellerats fram för flödesintervallet 0.2-1.1 m³/s. Eftersom kontrollpunkt 2 ligger inom sträcka A (se figur 6.6.) så har Mannings $n=0.04$ fått representera en kritisk dämning.



Figur 6-13 Kravkurva för kontrollpunkt 4. Q_{ref} motsvarar flödet vid modellens sektion 1, längst nedströms. Kurvan visar den avbördningskapacitet som är nödvändig för att dräneringsdjupet 1.2 meter ska kunna uppnås vid flödet $Q_{2/3}$ ($0.45 \text{ m}^3/\text{s}$). Utifrån denna kritiska dämningssituation har kurvan modellerats fram för flödesintervallet $0.2\text{-}1.1 \text{ m}^3/\text{s}$. Eftersom kontrollpunkt 4 ligger inom sträcka B (se figur 6.7) så har Mannings $n=0.2$ fått representera en kritisk dämning.

7. Diskussion

7.1 Modellens tillförlitlighet efter kalibrering

Efter kalibrering av modellen kunde den återge vattennivån i tre av fyra kontrollpunkter med ett fel på ≤ 7 cm för båda kalibreringsflödena (Q_{kalib_1} och Q_{kalib_2} , se tabell 6.1). Detta resultat får betraktas som tillfredsställande, särskilt med hänsyn till den relativt ”grova” modelluppbyggnaden. Modellens kanske mest uppenbara förenkling är användandet av ett och samma Mannings n för att representera *hela* den modellerade sträckan. En differentiering av Mannings n längs modellens tvärsektioner var svår att motivera utifrån fårans utseende, som kan beskrivas som homogent med enstaka inslag av träd på slänterna. Inte heller överensstämmelsen med de uppmätta vattennivåerna gav någon anledning till att justera n längs med modellens tvärsektioner, eftersom alla kontrollpunkter hade samma principiella fel, med undantag för kontrollpunkt 3 vid det lägre flödet.

En mer lättmotiverad justering, utifrån de befintliga förhållandena i fåran, hade varit att sätta olika Mannings n för botten och slänter. Utifrån den litteratur som studerades i framtagandet av tabell 4.1 (”Rimliga intervall för Mannings n ”), framstår det som mer rimligt att sätta ett något högre värde på n för en bevuxen slänt än för en sandig eller stenig botten (som bedöms vara den mest aktuella bottentypen på denna sträcka av huvudfåran). En sådan differentiering hade emellertid bara förstärkt modellens tendens att överskatta vattennivån vid högre flöden och underskatta den vid lägre flöden, och därför inte förbättrat modellens precision. Som beskrevs i avsnitt 6.1 testades det motsatta, alltså att sätta högre n på botten och lägre på slänter. En mycket marginell förbättring kunde då uppnås, men endast vid realistiska parametervärden.

De flöden som användes vid kalibrering av modellen (Q_{kalib_1} och Q_{kalib_2}) är uppmätta i fält med ett flygelinstrument och värdena innehåller en viss felmarginal. Osäkerheten i flödesmätningarna är en trolig förklaring till att modellen – till synes – överskattar respektive underskattar vattennivåerna vid de olika kalibreringsflödena. I själva verket kan det alltså mycket väl vara flödena som matats in i modellen som är över- respektive underskattade i förhållande till de verkliga flödena. Enligt SMHI & Naturvårdsverket (1979) ligger felet vid flödesmätning med flygel på 5-15% för en konventionellt utförd mätning. Mätning enligt den så kallade enpunktsmetoden (0.6 av totaldjupet) motsvarar då den övre delen av det intervallet. Mätning enligt tvåpunktsmetoden var inte möjligt vid de utförda flödesmätningarna, på grund av propellerns stora diameter i förhållande till vattendjupet. Detta medför att en relativt stor felmarginal kan förväntas. Det bör också nämnas att flygelinstrument av denna typ bör kalibreras inför mätning, vilket inte är gjort på länge för det aktuella instrumentet. Instrumentet var ”uppsmört” och gick jämnt och fint vid båda mättillfällena, men detta är ändå något som kan öka felmarginalen ytterligare. Ett test av modellens känslighet för flödeskorrigering gjordes inom ramen för kalibreringens känslighetsanalys (se tabell 6.2). Känsligheten bedömdes då vara låg, men flödet korrigeras också som mest med 6% i modellen, för sträckan längst uppströms (se figur 5.4). Detta är en relativt liten korrigering i jämförelse med mätosäkerheten i flödesmätningen som alltså kan ligga över 15%.

Osäkerheten i flödesmätningarna försämrar underlaget för kalibrering, och gör att modellen kan ha kalibrerats för ”fel” flöden. Till exempel: om det uppmätta kalibreringsflödet som matas in i modellen är större än det verkliga flödet så kommer modellen att generera högre vattennivåer än de som mättes upp i fält. Det omvända gäller självklart om uppmätt flöde skulle vara mindre än verkligt flöde. Det kan fortfarande gå att uppnå en god överensstämmelse mellan modellerad och uppmätt vattennivå i modellen, genom kalibrering av friktionsmotståndet n . Osäkerheten ”förflyttas” då till värdet på

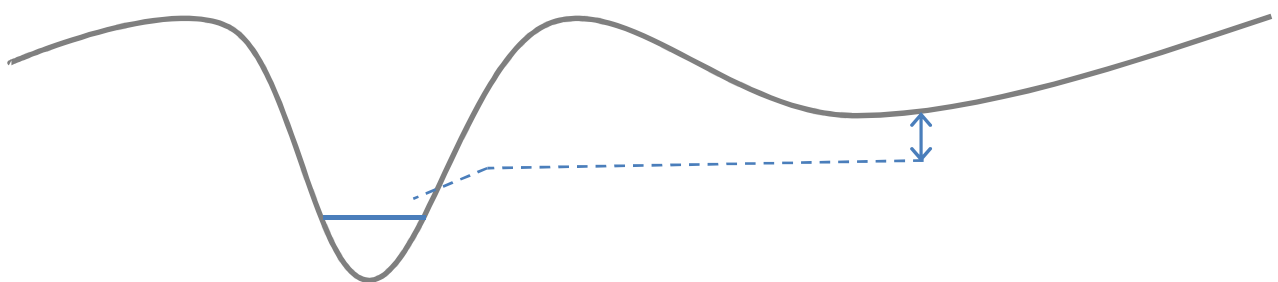
Mannings n . Det Mannings n som tagits fram genom kalibrering (0.05), och de referenskurvor som representerar fåran i ett vegetationsklippt tillstånd, innehåller därför denna osäkerhet.

Sammanfattningsvis kan det sägas att modellen ändå lyckas återge vattennivåerna på ett tillfredsställande sätt inom flödesintervallet 0.2-1.1 m³/s. Osäkerheten i flödesmätningarna gör det dock svårt att tillskriva modellen en hög tillförlitlighet. En högre mätprecision och ett större antal mätningar hade behövts för att förbättra kalibreringsunderlaget. Möjligheterna till detta diskuteras vidare i avsnitt 7.3.1.

I kontrollpunkt 3 var felet mellan modellerad och observerad vattenyta betydligt större än i övriga kontrollpunkter. En möjlig förklaring är att modellen inte har en tillräckligt bra geometrisk representation av fårans tvärsnitt i just detta område. Kontrollpunkt 3 ligger precis nedströms ett gammalt brofundament och, som nämns i avsnitt 5.2, är slänterna i närområdet tydligt erosionspåverkade, vilket var synligt särskilt vid lågflöde. Beroende på hur de inmätta tvärsektionerna ligger i förhållande till erosionspåverkan kan modellen ha utfört ”missvisande” interpoleringar av tvärsnittet, som kan ha lett till en sämre överensstämmelse.

7.2 Kritisk avbördningskapacitet utifrån markavvattningsbehov

Ett av rapportens beskrivna syften är att uppskatta hur stor avbördningskapacitet som behövs i dikningsföretaget för att få en fungerande markavvattning. En stor svårighet i detta har varit att formulera ett rimligt och gångbart krav för hur stor avbördningskapacitet som behövs för att markavvattningen ska fungera tillfredsställande och vad som därmed kan betraktas som en ”kritisk dämning”. Initialt i arbetet var tanken att sammankoppla vattennivån i ån med täckdikningens utloppsnivåer. Dessa nivåer mättes även in, i samband med Metrias tvärsektionsinmätning. En kritisk dämning hade då kunnat tas fram utifrån kravet att utloppen ska ligga fria vid medelvattenföring. Detta angreppssätt innehåller dock vissa svagheter, vilket poängterades i diskussioner med Jordbruksverkets Vattenenhet. Utloppsnivåerna är inte alltid representativa för hur täckdikningen ligger, eftersom täckdikningens stamledningar vid anläggning kan ha ”kröcks” nedåt för att utloppet ska ligga närmare medelvattenytan, se illustration i figur 7.1. Anledningen till att utloppen läggs så, är för att undvika den erosion av slänterna som kan uppstå om utloppen ligger högt.



Figur 7-1 Täckdikningens utlopp läggs ofta avsiktligt nära medelvattenytan, för att undvika att dräneringsvattnet eroderar slänterna. Utloppsnivåerna är därför inte alltid representativa för hur täckdikningen ligger och för den ”marginal” som goda höjdförhållanden kan skapa.

Utifrån detta drogs slutsatsen att metoden att använda utloppsnivåer inte på ett korrekt sätt kan återge den marginal som goda höjdförhållanden kan skapa, varför kritiska vattennivåer istället togs fram utifrån lågpunkter i jordbrukslandskapet, dräneringsdjupet 1.2 meter och en minimilutning för stamledningarna på 2‰.

Det krav som i slutändan fick ligga till grund för kravkurvorna bygger på att dräneringsdjupet 1.2 meter under marknivå ska kunna uppnås vid flödet $Q_{2/3}$ i Höje å – i *samtliga av de lågpunkter* som tagits fram utifrån höjddata. Kravet måste då betraktas som högt satt, eftersom det förutsätter att en ”optimal” dränering (1.2 meter) ska kunna uppnås även i svackor i jordbrukslandskapet. I själva verket är det mer regel än undantag att odlingsmark innehåller blötare och mer svårbrukade områden, där ytterligare markavvattningsåtgärder inte har gått att genomföra eller ansetts ekonomiskt lönsamma utifrån rådande förutsättningar. Sammanfattningsvis så kan det ”krav” som har använts sägas vara mer vägledande för ”en optimal markavvattning” än ”en fungerande markavvattning”.

Valet av flödet $Q_{2/3}$ gjordes för att det bedömdes representera en normalflödessituation bättre än medelvattenföringen för samma period. Kriteriet för en kritisk avbördningskapacitet bedömdes då bättre kunna reflektera att det är *varaktigheten* och inte *förekomsten* av höga flöden som är problematiskt utifrån markavvattningssynpunkt. Dock är det fortfarande svårt att genom statistiska modelleringar återspegla detta på ett korrekt sätt. Ett annat – och kanske mer användbart – sätt att utvärdera avbördningskapaciteten hade kunnat vara genom dynamiska modelleringar. Genom att köra en sekvens av flöden (till exempel SMHI:s dygnsmedelvärden för juli–september) så hade det varit möjligt att utvärdera *hur ofta* vattennivån stiger över en kritisk nivå under mer än till exempel tre dagar i sträck, vilket ungefär motsvarar den tid det tar innan grödans rötter drabbas av syrebrist och skadas. Genom denna typ av modellering hade det då varit möjligt att utvärdera hur stor nytta – i form av minskad återkomst av *varaktigt kritiska vattennivåer* – som en underhållsinsats gör.

De kravkurvor som har tagits fram för det aktuella dikningsföretaget, bedöms sammantaget ha en låg direkt tillämpbarhet. Begreppet ”en fungerande markavvattning” innehåller en komplexitet som är svår att återspegla med en enda kurva. Det bör även återigen poängteras att kravet på avbördningskapacitet varierar under odlings säsongen vilket heller inte går att återspegla med endast *en* kurva, kopplad till *en* kritisk period för jordbruket. Modelleringar av kritisk dämning kan dock ge intressanta resultat kopplade till markavvattning och underhåll. Detta diskuteras vidare i avsnitt 7.3.2 och 7.4.

7.3 Resultatens tillämpbarhet på det studerade dikningsföretaget

7.3.1 Referenskurvor

Kurvor som motsvarar en ”erfarenhetsmässig” avbördningskapacitet för ett vegetationsklippt tillstånd kan användas av det aktuella dikningsföretaget som en utgångspunkt för att upptäcka och kartlägga *förändringar* i fårans grundkapacitet. Om mätningar indikerar en signifikant försämring i avbördningskapacitet skulle detta resultat kunna användas för att ta beslut om – och även motivera – grävande underhållsåtgärder i fåran. Relevansen av denna typ av kurvor bedöms sammantaget vara hög. Det bör dock poängteras att eventuella grävande åtgärder fortfarande måste ske inom ramen för de fastställda, eller på annan grund lagliga, tvärsektionerna i dikningsföretaget.

De referenskurvor som har tagits fram för kontrollpunkterna 1,2 och 4 i dikningsföretaget (se figur 6.2–6.4) innehåller en viss osäkerhet som framförallt är kopplad till brister i kalibreringsunderlaget. Detta har diskuterats i avsnitt 7.1. Om flödesmätning samt nivåmätningar i kontrollpunkterna skulle upprepas efter dikningsföretagets underhåll med klippskopa ett annat år är det därför möjligt att jämförelsen med de framtagna kurvorna blir något missvisande.

En viktig förutsättning för att referenskurvor av detta slag ska kunna bli verkligt användbara är att det finns tillgång till en *flödesreferens* som kan användas för både *upprättning* och *uppföljning* av kurvorna. Det kan inte betraktas som en gångbar metod att dikningsföretaget ska genomföra en flödesmätning, med till exempel flygel, varje gång de vill utföra en kontroll av vattennivåerna

uppströms i kontrollpunkterna. Flera alternativ för flödesreferens har diskuterats för det aktuella dikningsföretaget:

- 1) Flödet i Trolleberg i Lund, som är den närmaste vattenföringsstationen till dikningsföretaget
- 2) Flödet utifrån SMHI:s HYPE-beräknade dygnsmedelvärden, för Höje å ”ovan Källingabäcken”
- 3) Flödet utifrån en avbördningskurva upprättad vid den gamla pegelbrunnen i Stora Bjällerup, utifrån antagandet om att här finns en fungerande bestämmande sektion och därför ett entydigt samband mellan flöde och vattennivå

Alternativ 1 innebär en stor osäkerhet på grund av det geografiska avståndet mellan vattenföringsstationen och det aktuella dikningsföretaget. Inverkan av dagvattentillflöden och lokal nederbörd är exempel på sådant som kan störa sambandet mellan detta flöde och vattennivåerna i dikningsföretaget. Att använda SMHI:s HYPE-flöden misstänks också kunna bli alltför missvisande, inte minst utifrån en jämförelse mellan uppmätt och modellberäknat flöde vid tillfällena för flödesmätning (se tabell 7.1). Vid det senare datumet är SMHI:s värde otvivelaktigt för litet utifrån de förhållanden som observerades i fält. Eftersom denna mätning skedde i en period av snabb flödesökning i ån så kan ett sådant värde troligtvis förklaras utifrån en viss eftersläpning i HYPE-modellens resultat.

Tabell 7-1 Jämförelse mellan uppmätt flöde och SMHI:s modellberäknade dygnsmedelvärde för ”Höje å ovan Källingabäcken” (SMHI 2016).

	Datum för flödesmätning	Uppmätt flöde	SMHI:s modellberäknade dygnsmedelvärde
Q_{kalib_1}	23/9 2015	0.25 m ³ /s	0.26 m ³ /s
Q_{kalib_2}	18/11 2015	1.1 m ³ /s	0.37 m ³ /s

Att, enligt punkt 3 ovan, upprätta en avbördningskurva vid pegelbrunnen i Stora Bjällerup bedöms vara det mest intressanta alternativet. Det faktum att en pegelstation tidigare har upprättats på platsen är en stark indikation på att denna sektion är lämplig för upprättande av en avbördningskurva för flödesmätning. Detta skulle dock behöva verifieras, och kanske framförallt inom vilket flödesintervall som sektionen då kan betraktas som bestämmande. Ett sätt att utreda sektionens lämplighet är genom fortsatta modelleringar i HEC-RAS, som kan indikera vilket strömningstillstånd som råder vid olika flöden. Den befintliga modellen bör då förlängas nedströms för att bättre kunna representera vad som händer med flödet nedströms pegelbrunnen.

Kornheddinge kvarn kan framstå som ett till synes intressant alternativ för flödesmätning utifrån en avbördningskurva, då kvarndämnet rimligtvis utgör en god bestämmande sektion. Dock kompliceras flödessituationen av att ett delflöde leds runt dämnet i en så kallad faunapassage, varför detta alternativ inte diskuteras vidare.

En tillförlitlig avbördningskurva vid pegelbrunnen hade kunnat ge ett omfattande underlag för referenskurvor i kontrollpunkterna, som endast kräver nivåmätning vid pegelbrunnen och vid de uppströms liggande kontrollpunkterna. Dessa mätningar hade kunnat användas för att förbättra modellen i HEC-RAS och ta fram nya, säkrare kurvor. Det bör också poängteras att det finns betydligt enklare angreppssätt för att ta fram kurvor för kontrollpunkterna – utifrån förutsättningen att pegelbrunnen fungerar som bestämmande sektion. Genom ett större antal mätningar vid olika flöden kan nya kurvor för kontrollpunkterna tas fram genom en enkel kurvanpassning till mätpunkterna, helt utan inblandning från HEC-RAS. En ytterligare förenkling vore att använda vattennivån vid pegelbrunnen som referens i kontrollpunkternas kurvor, i stället för flödet vid pegelbrunnen. Detta

alternativ är särskilt intressant eftersom själva upprättandet av avbördningskurvan för pegelbrunnen (som annars måste göras genom ett flertal mätningar med till exempel flygel) då kan uteslutas. Kurvor som relaterar nivå med nivå är lika användbara för att se *förändringar* i avbördningskapacitet. Det som möjligtvis går förlorat i sådana kurvor är vetskapen om vilket flödesintervall som är representerat i kontrollpunkternas kurvor. De referenskurvor som tagits fram inom ramen för detta arbete skulle då kunna användas för att få en fingervisning om vilka flöden som olika vattennivåer motsvarar.

Ett relevant och intressant sätt att vidareutveckla metoden med referenskurvor i det aktuella dikningsföretaget vore sammanfattningsvis att 1) verifiera pegelbrunnens lämplighet som bestämmande sektion och 2) utifrån mätningar vid olika vattenstånd ta fram referenskurvor som korrelerar vattennivånivå vid pegelbrunnen med vattennivån i kontrollpunkter, genom en kurvanpassning till uppmätta värden. Antalet mätningar, och hur väl de är spridda mellan olika vattenstånd, blir då avgörande för kurvornas exakthet.

7.3.2 Olika underhållsbehov på olika sträckor

För kravkurvorna i kontrollpunkt 1 och 2 motsvarade värdet $n=0.04$ en kritisk dämning, vilket indikerar att ett lägre friktionsmotstånd än det som togs fram genom kalibrering för ett vegetationsklipp tillstånd (0.05) är nödvändigt ur ett markavvattningsperspektiv. Detta resultat måste i första hand tolkas som en effekt av det högt ställda kravet, som diskuterades i avsnitt 7.2, och inte som att dikningsföretaget behöver öka frekvensen av klippning för att klara markavvattningsbehoven.

I dagsläget klipper dikningsföretaget vegetationen en gång per år, men har för avsikt att minska frekvensen av klippning framöver⁶. Man hoppas att den årliga klippning som har tillämpats under de senaste åren ska ha försvagat vassbestånden tillräckligt för att frekvensen ska kunna minskas. Modelleringen av kritisk dämning visade att Mannings n kunde ökas till ett värde av 0.2 innan vattenytan nådde upp till den första kritiska vattennivån inom sträcka B. Värdet 0.2 skulle, utifrån de rimliga intervall som presenterades i tabell 4.1, kunna ses som ett extremfall av igenväxning eller "oregelbundenhet" i fåran. Samtidigt kan det krav som låg till grund för modelleringen av kritisk dämning betraktas som "högt satt", vilket har diskuterats i avsnitt 7.2. Av båda dessa anledningar kan modelleringsresultaten ses som en indikation på att en minskad frekvens av klippning är möjlig på denna sträcka. Resultaten antyder, principiellt sett, att underhåll inte skulle vara nödvändigt alls ur ett markavvattningsperspektiv. Det kan dock finnas flera anledningar för dikningsföretaget att upprätthålla en viss frekvens av klippning. Om vegetationen blir alltför tät skapas förutsättningar för sedimentation och uppbyggnad av slambankar, som i ett längre tidperspektiv måste grävas bort. Vidare kan en minskad frekvens av klippning och förhöjda vattennivåer resultera i att täckdikningens utlopp till ån i större utsträckning ligger under vatten, om utloppen är krökta mot medelvattenytan såsom figur 7.1 visar. Dikningsföretaget måste då ta ställning till i vilken utsträckning detta kan fungera, utifrån fallet i ledningarna och deras benägenhet att slamma igen. Även eventuell påverkan på avloppsledningarna med utlopp till ån bör övervägas. Sammanfattningsvis så behöver modelleringsresultatet förankras hos dikningsföretaget som sedan får göra en vidare bedömning av vilken frekvens av klippning som är nödvändig.

7.4 Metodernas generella tillämpbarhet

Att upprätta referenskurvor för avbördningskapacitet bedöms vara en generellt användbar metod men förutsättningarna behöver utredas separat för olika dikningsföretag. Fallsträckan vid nedströmsänden medför att dämningpåverkan från Höje å längre nedströms sannolikt är låg. Sambandet mellan vattennivåer och underhåll i det egna dikningsföretaget blir då särskilt tydligt och osäkerheten kring

⁶ Samtal med Emil Sällvik, lantbrukare och deltagare i det aktuella dikningsföretaget, 10/12 2015

”vad det är som dämmer” mindre. Vidare är möjligheten till att skapa en flödes- eller nivåreferens något som har stor betydelse för metodens tillämpbarhet.

De referenskurvor som tagits fram för det studerade dikningsföretaget representerar avbördningskapaciteten efter dikningsföretaget årliga underhåll med klippskopa, det vill säga en grundkapacitet i ett vegetationsklippt tillstånd. Det bör dock poängteras att andra referenstillstånd kan användas, så länge det går att göra uppföljande mätningar i ett tillstånd som är jämförbart. En annan möjlig period är vår-vintern, till exempel mars månad, då vegetationen är som mest nedvissnad. Detta är också den referensperiod som typiskt används i danska vandløbsregulativ.

Ytterligare en förutsättning för tillämpningen av referenskurvor är att kontrollpunkter kan placeras i tvärsektioner som kan betraktas som *stabila*, där kurvan inte störs av alltför stora förändringar i fårans tvärsnitt. Om fårans tvärsnitt vid kontrollpunkten förändras drastiskt kan sambandet mellan vattennivå och vattenföring störas, utan att förändringen är representativ för underhållsbehovet på sträckan nedströms kontrollpunkten. Denna förutsättning kan eventuellt vara svårare att uppnå i ett dikningsföretag som underhåller med grävskopa jämfört med det studerade dikningsföretaget, där frånvaron av ingrepp i fåran har lett till att släntstabiliteten generellt sett är god.

Att upprätta kravkurvor utifrån den metod som har använts i detta arbete bedöms ha en låg generell tillämpbarhet, vilket diskuterades i avsnitt 7.2. Kurvan återger ett ”absolut” samband mellan nivå och vattenföring som inte är återspeglad i metodens exakthet. Ett sätt att göra kurvorna mindre missvisande skulle kunna vara att redovisa ett ”spann” i stället för en enda kurva. Spannet skulle då kunna motsvara ett relevant intervall av dräneringsdjup för ett relevant intervall av flöden.

Modelleringar av kritisk dämning, utifrån rapportens metod, skulle kunna tillämpas på andra dikningsföretag eller längre sammanhängande sträckor i ett vattendrag för att framförallt *jämföra* underhållsbehovet på olika sträckor. Sträckor med större eller mindre underhållsbehov kan då eventuellt identifieras. Modelleringar kan även göra det möjligt att uppskatta vilken uppströmspåverkan som en minskad frekvens av underhåll kan få. Rimligheten i det krav på avbördningskapacitet som modelleringen utgår ifrån blir mindre viktig om de slutsatser som dras framförallt är uppskattande eller jämförande, och inte ”kvantifierande”, såsom de blir i kravkurvorna.

7.5 Avslutande reflektioner

Den lagstiftning som idag reglerar dikningsföretagens underhåll utgår ifrån att fårans rättsligt gällande tvär- och längdsektioner ska upprätthållas för att säkerställa markavvattningen. Utgångspunkten i fasta sektioner måste betraktas som problematisk i sammanhanget, eftersom den i viss mån kan tyckas ”uppmuntra” till ingrepp i fåran. I själva verket är det ju upprätthållandet av avbördningskapaciteten och inte upprätthållandet av sektionen som är lagstiftningens ”andemening”. Utifrån detta resonemang så måste avbördningskapaciteten betraktas som ett mycket användbart verktyg för bedömning av underhållsbehov.

I detta arbete har möjligheten att låta avbördningskapaciteten vara *vägledande* för dikningsföretagens underhåll undersökts, utifrån principen att underhåll endast bör ske när ett uppenbart behov föreligger. Den typ av metodik som rapporten presenterar har dock ingen koppling till den rättsligt gällande tvärsektionen och kan inte påvisa huruvida markavvattningen sker inom ramen för tillståndet. Ett sätt att skapa en sådan koppling skulle kunna vara att ”översätta” ett dikningsföretags fastställda sektioner till en modell och jämföra avbördningskapaciteten i fåran enligt förrättning och i den verkliga fåran. En fråga som då väcks är hur ”relevanta” de fastställda sektionerna egentligen är. Ofta är de tillkomna för uppemot hundra år sedan, i en tid då markanvändningen och flödessituationen var en helt annan. I

dagsläget ställs helt andra krav på kapacitet i många dikningsföretag. Detta är en konflikt som ofta blir synlig i dikningsföretag med stora dagvattentillflöden.

8. Slutsatser och förslag på fortsatt arbete

Genom modellering i HEC-RAS har referenskurvor tagits fram för kontrollpunkter i det studerade dikningsföretaget. Dessa representerar fårans avbördningskapacitet i ett vegetationsklippt tillstånd, efter dikningsföretagets underhåll med klippskopa år 2015. Genom uppföljande mätningar kan dikningsföretaget få en indikation på om fårans ”grundkapacitet” har försämrats och om grävande åtgärder i fåran är motiverade. Kontrollpunkterna i dikningsföretaget bedöms inte vara ”störda” av dämningpåverkan från sträckor nedströms dikningsföretaget, vilket är en förutsättning för metodens tillämpning. En viss osäkerhet kan kopplas till kurvorna, utifrån brister i det underlag som användes för kalibrering av modellen i HEC-RAS.

Behovet av en fungerande flödesreferens bedöms vara stort för att skapa bättre underlag för referenskurvor i kontrollpunkterna och även möjliggöra uppföljande mätningar för dikningsföretaget. Sektionen vid den gamla pegelbrunnen i Stora Bjällerup kan sannolikt fungera, utifrån förutsättningen att här finns en bestämmande sektion som skapar ett entydigt samband mellan flöde och vattennivå. Förekomsten och kvaliteten av den bestämmande sektionen behöver utredas vidare.

Modellering av kritisk dämning enligt rapportens metod kan inte ge ett entydigt svar på hur stor avbördningskapacitet som behövs utifrån jordbrukets markavvattningsbehov. Detta grundar sig framförallt i svårigheten att formulera ett ”avbördningskrav” som på ett tillräckligt korrekt sätt kan återspegla markavvattningsbehoven. Modellering av kritisk dämning bedöms dock vara en potentiellt användbar metod för att ge en fingervisning om sträckor där ett större eller mindre underhållsbehov föreligger, utifrån behovet av markavvattning. I det studerade dikningsföretaget visade modelleringar att det i uppströmshalvan av dikningsföretaget finns höjdförhållanden som skapar en marginal i fårans avbördningskapacitet i förhållande till jordbrukets behov av dräneringsdjup. Resultatet skulle kunna ses som en indikation på att det är möjligt att minska frekvensen av vegetationsklippning på denna sträcka.

Det arbete som har utförts bör ses som ett ”test” av en ny typ av metodik som kan användas för att utvärdera underhållsbehovet i vattendrag. Metoden och tillämpbarheten kan vidareutvecklas på ett flertal sätt. Nedan sammanställs några förslag på hur arbetet kan fortsätta:

1. Förbättra underlaget för referenskurvor i det aktuella dikningsföretaget genom att utreda pegelbrunnens lämplighet som flödesreferens. Det studerade dikningsföretaget skulle då kunna fortsätta fungera som ”pilotprojekt”.
2. Dynamisk modellering av flöden i HEC-RAS. Genom att köra en sekvens av flöden synliggörs återkomsten av kritiska vattennivåer med sådan varaktighet att grödor riskerar att ta skada. Återkomsten skulle då kunna studeras för olika ”tillstånd” i fåran, genom att variera värdet på Mannings n .
3. Överföra dikningsföretagets fastställda, eller på annat vis lagliga, tvär- och längdsektioner till HEC-RAS och därmed skapa en referens för hur stor avbördningskapacitet som är tillåtlig.

Referenser

Arcement, G. J. Jr & Schneider, V. R. (1989). *Guide for Selecting Manning's Roughness Coefficients for Natural Channels and Flood Plains*. Denver: U.S. Geological Survey.
<http://pubs.usgs.gov/wsp/2339/report.pdf>

Ekologgruppen (2003). *Åmansboken*. Landskrona: Saxån-Braåns vattenvårdskommitté.

Ekologgruppen (2004). *Miljöhänsyn vid dikesrensningar* [Broschyr].
http://www.lansstyrelsen.se/kronoberg/SiteCollectionDocuments/sv/miljo-och-klimat/verksamheter-med-miljopaverkan/tillstand-samrad/miljohansyn_dikesrens.pdf

Hamill, L. (2011). *Understanding Hydraulics*. 3. uppl. Hampshire: Palgrave Macmillan.

HEC-RAS (2010). *HEC-RAS River Analysis System – Hydraulic Reference Manual* (Report number: CPD-69). Davis, California: US Army Corps of Engineers.
http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/documentation/HEC-RAS_4.1_Reference_Manual.pdf

Hägglström, S. (1999). *Hydraulik för V-teknologer*. Göteborg: Chalmers Tekniska Högskola.

Höje å vattenråd (2014). *Helhetsperspektiv Höje å – projektbeskrivning*.
<http://hojea.se/Helhetsper-Hoeje-aa.htm>

Jordbruksverket, Vägverket & Plast- och Kemibranscherna (1996). *Lägningsanvisningar för jordbruks- och vägdränering* [Broschyr].
<https://www.jordbruksverket.se/download/18.31272047121541f6c33800033/1370040772072/L%25C3%25A4ggningsanvisningar.pdf>

Jordbruksverket (2013). *Jordbrukets markavvattningsankläggnings i ett nytt klimat* (Rapport 2013:14). Jönköping: Jordbruksverkets Vattenenhet.
http://www2.jordbruksverket.se/webdav/files/SJV/trycksaker/Pdf_rapporter/ra13_14.pdf

Lantbrukarnas Riksförbund [LRF] (2014). *Äga och förvalta diken*. Stockholm: LRF.
<https://www.lrf.se/globalassets/dokument/mitt-lrf/regioner/skane/aga-och-forvalta-diken.pdf>

Larsson, T. (2012). *Ansvar och delaktighet för vattenavledning i Höje å huvudfåra och Önnerupsbäcken* (Dnr 27-8081/12). Alnarp: Jordbruksverkets Vattenenhet.

Miljøministeriet & Skov- og Naturstyrelsen (2007). *Udarbejdelse af vandløbsregulativer – erfaringsopsamling og ny viden*.
<http://naturstyrelsen.dk/media/nst/Attachments/vandlobsregulativerjuni07.pdf>

Miljösamverkan Sverige (2015). *Markavvattningsföretag – vägledning för tillstånd, omprövning och avveckling* (Rapport 2015:2). Göteborg: Miljösamverkan Sverige.
<http://www.miljosamverkansverige.se/miljosamverkansverige/SiteCollectionDocuments/Projekt%20och%20rapporter/Vatten/Tillsyn%20markavvattning/Rapport%20Tillsyn%20Markavvattning%20med%20bilagor.pdf>

Naturvårdsverket (2009). *Markavvattning och rensning – Handbok för tillämpningen av bestämmelserna i 11 kapitlet i miljöbalken* (Handbok 2009:5). Stockholm: Naturvårdsverket.
<http://www.naturvardsverket.se/Documents/publikationer/978-91-620-0163-6.pdf>

Naturvårdsverket (2015). *Når vi Skåne läns miljömål? Resultat för delmålet "Levande sjöar och vattendrag"*.

http://www.miljomal.se/Miljomalen/Regionala/Regionalt/?eqo=8&t=Lan&l=12#_ftn6
[2015-12-14]

SMHI & Naturvårdsverket (1979). *Vattenföringsbestämning vid vattenundersökningar*.

SMHI (1984). *Instruktion Vattenföringsmätning* (Hoa-PM nr 33).

SMHI (2009a). *Tema-Avbödningskurvan* [Power-Point].

http://www.smhi.se/polopoly_fs/1.8902!/01_Introduktion.pdf

SMHI (2009b). *Avbödningskurvor – historik och standardisering* [Power-Point].

http://www.smhi.se/polopoly_fs/1.8903!/02_Nils_Sj%C3%B6din.pdf

SMHI (2014). *Flödesstatistik från S-HYPE i VattenWebb*.

<http://www.smhi.se/professionella-tjanster/professionella-tjanster/miljo-och-klimat/vattenmiljo/indata-for-markanvandning-i-vattenwebben-1.26063> [2014-04-23]

SMHI (2015). *Hydrologiska begrepp*.

<http://www.smhi.se/kunskapsbanken/hydrologiska-begrepp-1.29125>

[2015-10-07]

SMHI (2016). *SMHI VattenWebb – Modelldata per område*.

<http://vattenwebb.smhi.se/modelarea/>

Sveriges lantbruksuniversitet (2012). *Fånga fosfor – dammar, filter och tvåstegsdiken* [Broschyr].

<http://www.slu.se/PageFiles/49748/F%C3%A5nga%20fosfor%20dammar%20filter%20och%20tv%C3%A5stegsdiken.pdf>

Subramanya, K. (2009). *Flow in Open Channels*. 3. uppl. New Delhi: Tata McGraw-Hill

Sweco (2010). *Höje å genom Lomma, Lund och Staffanstorps* (Sweco uppdragsnummer 1260084000).

Malmö: Sweco Environment AB

Sweco (2012). *Miljöanpassad rensning i Almaån – förutsättningar och metoder* (Rapport 2012:10 hos

Länsstyrelsen i Skåne län). Malmö: Länsstyrelsen

Viborg Amt (2003). *Regulativ for Mønsted – Jordbro å*.

http://www.skive.dk/media/1956/Jordbro_%C3%85_regulativ.pdf

Appendix

A-1 Koordinatangivelser och fixnivåer för de fyra kontrollpunkterna

Kontrollpunkt	Koordinat (SWEREF99 TM)	Nivå fixpunkt (RH 2000)
1	6168573.1, 390997.6	15.88 (rörets topp)
2	6168208.4, 391408.3	18.23 (mitten av brons uppströmsände, betongnivå)
3	6167219.2, 391888.5	17.76 (rörets topp)
4	6167113.0, 392217.5	17.89 (rörets topp)



A-2 Orensad sträcka nedströms vägbron i Stora Bjällerup (Foto: Nina Svenbro)



A-3 Sträcka i dikningsföretaget, efter underhåll med klippskopa (Foto: Nina Svenbro)