

Miljöanpassat underhåll i Skånes utpekade värdefulla vattendrag

Vägledning och checklista för miljöanpassade underhållsplaner



Rapport

Naturcentrum AB februari 2022

Naturcentrums projektnummer: 1997

Uppdragsgivare

Länsstyrelsen i Skåne

Uppdragsgivarens kontaktperson

Karin Olsson

Uppdragstagare

Naturcentrum AB

Strandtorget 3

444 30 Stenungsund

Tel. 010-220 12 00 E-post ncab@naturcentrum.se

Projektledare Naturcentrum

Charlotte Lindström

Tel. 010-220 12 26

E-post: charlotte.lindstrom@naturcentrum.se

Projektdeltagare Naturcentrum:

Per Saarinen

John Fidler

Jens Morin

DHI

DHI Sverige AB

Svartmansgatan 18

SE- 111 29 Stockholm

Projektansvarig

Ola Nordblom

E-post: ono@dhigroup.com

Omslagsbild: Tommarpsån

Foton i rapporten

Samtliga bilder är från Tommarpsåns nedre delar och har tagits eller framställts inom uppdraget, om inget annat anges.

Innehåll

Vägledning och checklista för miljöanpassade underhållsplaner	0
1. <i>Bakgrund</i>	3
2. <i>Hur vägledningen och checklistan kan användas för att ta fram en miljöanpassad underhållsplan</i>	4
3. <i>Kunskapsstöd</i>	7
4. <i>Hydrologiska och hydromorfologiska förhållanden i vattendraget och dess avrinningsområde</i>	8
Inledning	8
Förhållanden i avrinningsområdet	8
Hydromorfologi och karaktärisering	13
Hydrologiska förutsättningar i vattendraget.....	15
Bestämmande sektioner	15
Vattendrag av SB-typ.....	21
6. <i>Hydrauliska förhållanden</i>	23
Inledning	23
Variabler relaterade till tvärsektionen.....	23
Kontinuitet och vattenhastighet.....	25
Likformig strömning och naturligt vattendjup	26
Avbördningskurva för likformig strömning.....	29
Olikformig strömning.....	31
Bestämmande sektion.....	33
Lokala energiförluster	34
Förändring av hydraulisk kapacitet efter utveckling av sekundärt svämplan	36
Kartläggning av hydrauliska förhållanden	37
7. <i>Statusklassning och miljö kvalitetsnormer för vatten</i>	38
8. <i>Referenser</i>	39

1. Bakgrund

I Skåne län finns ett stort antal mycket artrika och därmed skyddsvärda vattendrag. På länsstyrelsens hemsida kan man läsa mer om dem (www.lansstyrelsen.se/skane.html.) Många av dessa har under lång tid påverkats och förändrats av olika åtgärder. Ett exempel på en åtgärd som ger betydande påverkan är de underhållsåtgärder som utförs med stöd av gällande tillstånd. Åtgärderna kan medföra betydande skador på den biologiska mångfalden i och längs vattendragen, ökad erosion och sedimentation samt ökat läckage av fosfor till havet. Även företagens ursprungliga syfte och funktion är inte sällan negativt påverkade av åtgärderna eftersom de ursprungliga förutsättningarna är kraftigt förändrade med avseende på bland annat vattenflöde, markanvändning i båtandsområdet samt att vattendragens läge, djup och sektioner förändrats.

Underhållsplaner för markavvattningsföretag förekommer inte i Sverige idag. I till exempel Danmark och Storbritannien har man relativt lång erfarenhet av olika former av underhållsplaner. En grundläggande skillnad är hur vattendragen förvaltas i både Danmark och Storbritannien. I Storbritannien och Danmark förvaltas de flesta vattendragen av det offentliga till skillnad från Sverige där markavvattningsföretagen förvaltas av fastighetsägare inom båtandsområdet.

Länsstyrelsen i Skåne län har bedömt att det är angeläget att utreda hur behovet av underhåll och underhållets negativa effekter på miljön kan minskas. Det är i många fall nödvändigt för att vattendragens kvalitet ska uppnå miljö kvalitetsnormen God ekologisk status, samt för att nå miljö kvalitetsmålet Levande sjöar och vattendrag. För att uppfylla miljö kvalitetsnormen (MKN) vad gäller konnektivitet, morfologi och flöde för Skånes utpekade värdefulla vattendrag behöver rensningen bli mer miljöanpassad. Genom att ta fram underhållsplaner som utgår från de hydromorfologiska förutsättningarna på olika skalor kan miljöanpassad rensning bli standardmetoden för rensning i skånska vattendrag.

Projektet har resulterat i en vägledning och en checklista som ska utgöra stöd för markavvattningsföretagen när miljöanpassade underhållsplaner tas fram. Den inledande litteraturstudien samt kontakten med ett aktivt markavvattningsföretag har varit grundläggande i arbetet med att ta fram både vägledning och checklista. Vad är och vilken är nyttan av en miljöanpassad underhållsplan?

En miljöanpassad underhållsplan ska ses som ett stöd i markavvattningsföretagens löpande förvaltning. Miljöanpassad underhåll innebär att åtgärder anpassas efter vattendragets och avrinningsområdets lokala förutsättningar. Underhållsplanen ska bygga på de faktiska hydrologiska, geomorfologiska och hydrauliska förhållanden som gäller för den specifika platsen. Genom att sätta upp långsiktiga mål för underhållsarbetet utifrån de lokala förutsättningarna undviker man att orsaka onödiga skador på vattendragets ekosystem och åtgärderna blir samtidigt mer kostnadseffektiva. I underhållsplanen ingår uppföljning av genomförda åtgärder, samt analys och förslag på förebyggande arbeten för att minska det framtida underhållsbehovet. I arbetet med att ta fram underhållsplanen bör även ingå att utreda specifika omständigheter i eller utanför anläggningen som påverkar underhållsbehovet.

En väl genomarbetad och lokalt anpassad underhållsplan kommer på sikt att kunna leda till minskat underhållsbehov utan att det ursprungliga syftet med markavvattningsföretaget går förlorat. Samtidigt kan underhållsplanen bidra till att minska störningen på ekosystemen och de hydromorfologiska processerna, samt bidra till minskade underhållskostnader.

Förutom den framtagna vägledning och checklistan hänvisas markavvattningsföretagen till Jordbruksverkets rapporter: Jordbruksinformation 2018–1, ”Underhåll ditt dike för ett rikare odlingslandskap”, Jordbruksinformation 2020–5 ”Förvaltning av vattenanläggningar – ibland genom en förordnad sysloman” och Jordbruksverkens studievägledning ”Aktiv förvaltning och underhåll av enskilda och samfälliga diken” som stöd i arbetet med att ta fram underhållsplanen.

2. Hur vägledningen och checklistan kan användas för att ta fram en miljöanpassad underhållsplan

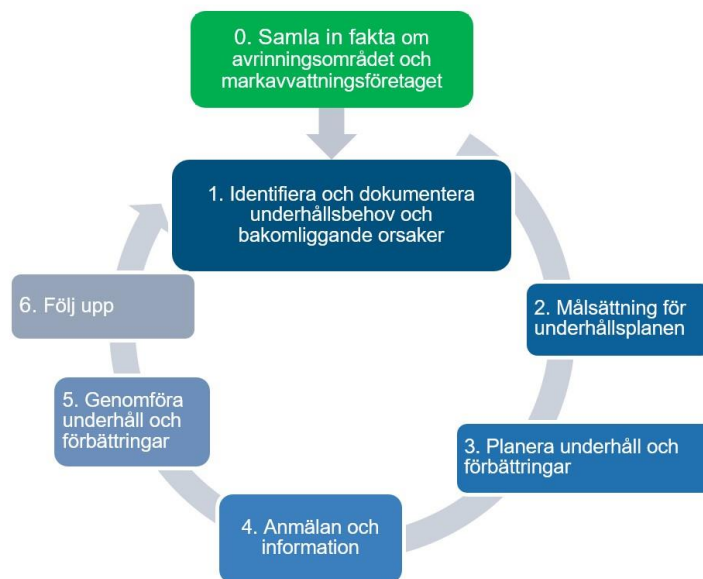
En miljöanpassad underhållsplan ska uppfylla kraven på egenkontroll enligt miljöbalken (26 kap 19 § MB) och hjälpa markavvattningsföretaget att uppfylla de allmänna hänsynsreglerna (2 kap MB); bevisbörderegeln, kunskapskravet, försiktighetsprincipen och bästa möjliga teknik.

För att ta fram en miljöanpassad underhållsplan behöver delägarna i markavvattningsföretaget skaffa sig kunskaper om de grundläggande förutsättningarna för underhållet. Det är faktorer som till exempel vattenflöde, vattendragets form och lutning, jordart, markanvändning, naturvärden och miljökvalitetsnormer (framför allt ekologisk status). Denna kunskap ska kombineras med markavvattningsföretagets gällande tillstånd. Genom att sätta upp mål för vattendragets olika funktioner och status kan man på sikt minimera underhållet av anläggningen men ändå uppfylla markavvattningskravet.

En underhållsplan tas fram i sju steg och arbetet sker enligt en cykel där de olika delarna bygger på varandra. I figur 1 illustreras underhållsplanens olika steg och hur de följer på varandra. Till varje steg hör motsvarande punkt i checklistan. Den samlade dokumentationen till de olika stegen utgör tillsammans underhållsplanen. Markavvattningsföretagets samtliga delägare bör vara delaktiga i arbetet med att ta fram underhållsplanen. Underhållsplanen bör beslutas på stämman i de fall markavvattningsföretaget ska hålla en stämma enligt regelverket.

Första gången en underhållsplan tas fram kan vissa steg vara tidskrävande om det är svårt att få tillgång till nödvändiga och lämpliga underlag. Det är angeläget att andra aktörer som vattenmyndigheter, länsstyrelser, kommuner och vattenråd kan bidra med underlag som underlättar arbetet med att ta fram miljöanpassade underhållsplaner.

Vid underhåll av en markavvattningsanläggning är det angeläget att planera och genomföra åtgärderna på ett sätt som uppfyller de skyldigheter som tillståndet innebär. Det är viktigt att underhållet genomförs så att markavvattningssyftet uppfylls men också så att anläggningen inte förändras på ett sådant sätt att dess funktioner inte kan upprätthållas. Felaktiga åtgärder kan innebära störningar av de naturliga hydromorfologiska processerna, vilket ofta leder till ökade erosions- och sedimentationsproblem. I en miljöanpassad underhållsplan planeras underhållet utifrån dessa grundläggande processer för att minska risken för alltför stora störningar och negativ påverkan. I verktygets kunskapsdel kan delägarna få kunskap om hydrologiska och hydromorfologiska förhållanden i vattendrag, samt om hydrauliska förhållanden. Kunskapsdelen ska ses som en uppslagsdel för fördjupad förståelse för de naturliga processer som pågår i ett rinnande vatten.



Figur 1. Underhållsplanen består av flera olika steg som följer på varandra. I steg 0 samlar man in olika underlag som sedan utgör en generell faktabas för underhållsplanen. Steg 1 fokuserar på den aktuella vattendragssträckan, men även på närområdet både upp- och nedströms. De steg som följer fokuserar på den del av vattendraget som ingår i vattenanläggningen. I steg 2 bestämmer delägarna målsättningar med underhållsplanen och vad planen ska omfatta. Vilka åtgärder och förbättringar som behöver genomföras planeras i steg 3. Styrelsen kan behöva anmäla åtgärderna till länsstyrelsen innan genomförandet. Även grannar och andra intressenter behöver informeras. Detta görs i steg 4. Åtgärderna genomförs i steg 5. När åtgärderna är genomförda sker en uppföljning av effekterna. Hur länge underhållsplanen ska löpa bestäms lämpligen under steg 1.

Här nedan beskrivs varje steg mycket kortfattat. Varje markavvattningsföretag är unikt och därför kan det finnas punkter under varje steg som inte är aktuella eller så kan någon punkt saknas.

Steg 0 - Fakta och underlag för att ta fram en underhållsplan.

I steg 0 görs en inventering av vilka intressen som på något sätt kan påverka och påverkas av markavvattningsföretaget. Kontrollera så att alla handlingar till markavvattningsföretaget finns tillgängliga. All grundläggande fakta och information som berör ett kommande underhåll samlas in.

Steg 1- Karakterisera och dokumentera underhållsbehov

I detta steg arbetar man på olika skalor. Vattenanläggningen påverkas i olika grad av jordart, topografi, vattenflöden och markanvändning. Finns det markavvattningsföretag i närheten kan åtgärder i dessa också påverka underhållet i den aktuella vattenanläggningen. För att få ett landskapsperspektiv så är det lämpligt att införskaffa en översiktlig karta över vattendragets avrinningsområde där markavvattningsföretaget markeras.

I detta steg beskrivs anläggningen och dess närområde mer i detalj. I fält identifieras strukturer och sträckor som påverkar det faktiska underhållsbehovet. Det kan vara sträckor med sedimenttransport, erosion och deposition, förekomst av vegetation i och i anslutning till vattendraget, anslutande diken och täckdikningsrör, död ved, naturvärden med mera. En annan fråga är hur tillståndet för vattenanläggningen ser ut. Finns det fixpunkter för att säkerställa att man inte går utanför tillståndet? Vad står i tillståndets utlåtande?

Steg 2 - Varför ska underhållsplanen tas fram – långsiktiga målsättningar

En grundläggande målsättning med underhållet bör vara att underhållsbehovet ska minska över tid, samtidigt som markavvattningsfunktionen bibehålls enligt gällande tillstånd.

Med fördel kan underhållsplanen innehålla målsättningar som rör åtgärder för att förebygga sedimentations- och erosionsprocesser, eller åtgärder för att minska belastningen på anläggningen vid höga vattenflöden. Exempel på andra målsättningar kan gälla anpassningarna av kantzoner och att genomföra förbättringar av hydromorfologiska kvalitetsfaktorer som till exempel konnektivitet.

Under detta steg bestämmer man för hur lång tid underhållsplanen löpa innan den revideras. Tiden beror på vilken eller vilka målsättningar man bestämmer sig för. Har man som målsättning att göra mer omfattande åtgärder för att minska underhållsbehovet kan tiden mellan revideringarna vara längre.

Steg 3 – Planera underhållsåtgärder och förebyggande åtgärder

I detta steg bestämmer man vilka olika åtgärder som ska genomföras. De olika åtgärderna ska planeras utifrån den kunskap som framkommit i de tidigare stegen. Det är angeläget att åtgärderna anpassas efter de hydrauliska och hydromorfologiska förutsättningarna på platsen. Om man inte tar hänsyn till detta kan åtgärderna innebära att anläggningens funktion sätts ur spel och att man i stället får ett ökat underhållsbehov i framtiden.

Finns det naturvärden som har juridiskt skydd? Om till exempel vattendraget rinner genom ett område som omfattas av områdes- eller artskydd så fall måste åtgärderna anpassas efter dessa. På samma sätt måste åtgärderna anpassas om det finns fisk, musslor och kräftor.

Vissa åtgärder som klippning av vegetation behöver eventuellt genomföras varje år. Andra åtgärder som att ta bort en sedimentbank görs lämpligen vid ett tillfälle. Rena underhållsåtgärder kostnadsfördels enligt den fastställda debiteringsförteckning som är knuten till tillståndet.

Åtgärder som syftar till att minska det framtida underhållsbehovet kan kräva längre tid både för planering och genomförande. Om markavvattningsföretaget exempelvis vill skapa aktiva svämplan för effektivare dämpning av högflöden så kan den typen av åtgärder behöva planeras över en längre tid. Om man anlägger anpassade kantzoner kan dessa lämpligen samordnas mellan flera markägare. Den typen av åtgärder omfattas inte av markavvattningstillståndet utan kostnader och finansiering får lösas på annat sätt.

Steg 4 – Anmälan och information

Innebär åtgärderna risk för skador på fiske ska en anmälan göras till länsstyrelsen. Om åtgärden berör område som omfattas av områdesskydd bör markavvattningsföretaget samråda med länsstyrelsen om åtgärderna. Grannar eller andra som på något sätt kan beröras av åtgärderna bör informeras innan åtgärderna genomförs. Eventuella villkor och synpunkter läggs till i underhållsplanens genomförandebeskrivning.

Steg 5 – Genomföra underhåll och förbättringar

När stegen 0–4 är klara kontaktas eventuella entreprenörer och en beställning görs med underhållsplanen som underlag. Dokumentera åtgärderna löpande under genomförandet. Ta foto på de åtgärder som genomförs. Entreprenören bör dokumentera att arbetet sker inom de nivåer som är tillståndsgivna och att arbetena görs utifrån de fixpunkter som finns i tillståndet.

Steg 6 – Följa upp underhållet

Åtgärderna följs upp dels i samband med de åtgärderna genomförs, dels över längre tid. Andra faktorer som bör följas upp är om jordbrukets behov uppnås, om vattendraget återfår bättre balans, om erosionen minskar men också hur andra värden utvecklas över tid. Diskutera i markavvattningsföretaget om målsättningarna som fastställs uppnås. Ta gärna foto vid olika tidpunkter efter de genomförda åtgärderna för dokumentation och anpassningar inför nästa underhållsinsats. Dokumentera både i bild och text hur vattendraget och bätnadsområdet förändras vid olika flöden och årstider.

3. Vägledning – Kunskapsstöd

För att kunna fylla i checklistan och ta fram underhållsplanen har ett kunskapsstöd tagits fram som ska användas som stöd i de olika stegen. Syftet med kunskapsstödet är att ge en grundläggande förståelse för följande:

- vilka fysiska processer som formar vattendragen och de akvatiska ekosystemen, samt hur processerna är kopplade till varandra,
- hur de fysiska processerna verkar för att skapa balans mellan tillgången på sediment och krafterna som transporterar sedimenten,
- hur påverkansfaktorer i avrinningsområdet inverkar på lokala förhållanden, samt hur förändringar p.g.a. underhållsåtgärder på lokal skala kan påverka förhållandena uppströms och nedströms,
- hur man kan arbeta förebyggande med de naturliga processerna för att på sikt minska underhållsbehovet,
- hur ett vattendrag fungerar hydrauliskt sett, vilka parametrar som bestämmer den hydrauliska kapaciteten och hur den kan uppskattas, hur de hydrauliska förhållandena på en viss plats påverkar förhållandena upp- eller nedströms.

4. Hydrologiska och hydromorfologiska förhållanden i vattendraget och dess avrinningsområde

Inledning

Vattendrag följer strikta fysiska lagar där gravitationen utövar kraft via vatten på marken som vattnet rinner på eller igenom. Det är därför möjligt att med mycket god precision kunna förutsäga hur ett vattendrag, på specifika sträckor, ser ut och hur de kommer att utvecklas över tid i form och läge. Det som krävs för att avgöra detta är en analys av vissa grundparametrar. Dessa är framför allt vilket substrat (jordarter) som vattendraget flyter i, markens lutning längs med vattendraget, hur bred vattendragets dalgång är (dalgångens inneslutning), flödesförhållanden samt mänsklig påverkan i vattendraget och dess avrinningsområde.

Vattendrag kan sedan, beroende på de fysiska och hydrologiska karaktärerna, kategoriseras och delas in i olika grupper. Varje grupp har sina förutsättningar i fråga om till exempel lutning, flöde och geologi och sina förutsättningar i fråga om utveckling och förändring över tid. I detta avsnitt kommer en kortare genomgång redogöras gällande vattendragens karaktärisering, fåornas utveckling över tid och hur den går att förutsäga samt olika flödets betydelse för utseende och processer.

En hydromorfologisk analys är grunden för en översiktlig plan i sitt vattendrag. Detta kopplar sedan till hydrauliska effekterna som mer hanterar förutsättningarna på en precis plats.

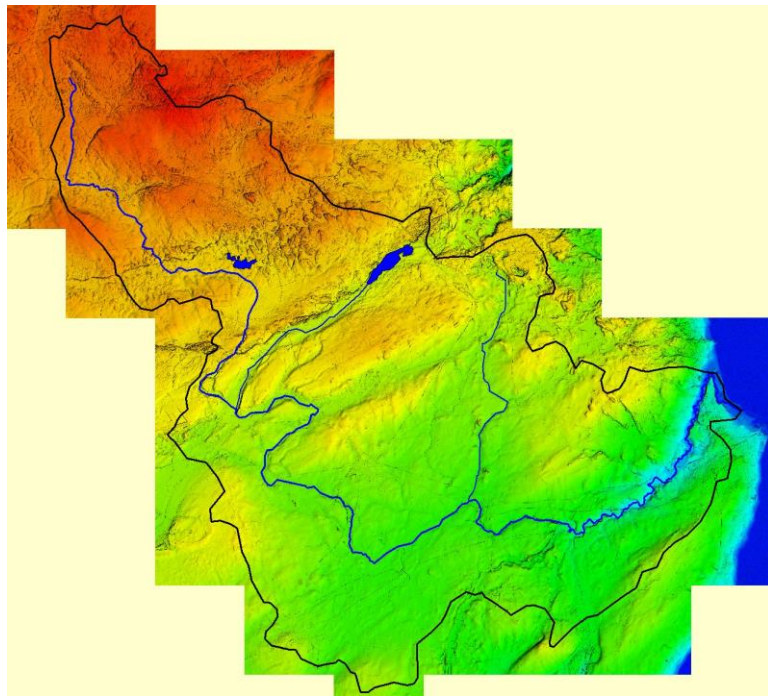
Genom att identifiera sitt vattendrags grundförutsättningar och använda de karaktäriseringar som finns kan en underhållsplan där man arbetar med de naturliga processerna tas fram. Det bör vara grundläggande för att både minimera underhållskostnader och påverkan på naturvärden.

Beskrivningarna av vattendragens hydromorfologi bygger mycket på metodiken för biotopkartering av vattendrag (länsstyrelsen i Jönköpings län 2017) som i sin tur bygger på sedan länge vedertagna (se till exempel Buffington J M & Montgomery D R 2013).

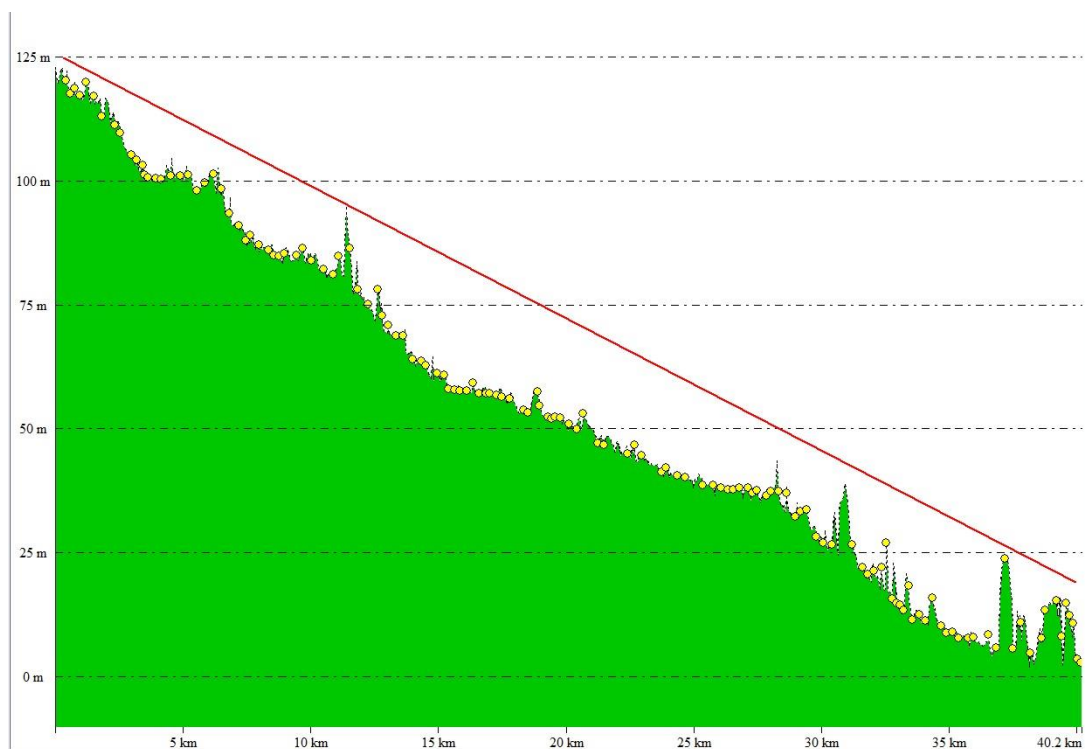
Förhållanden i avrinningsområdet

Varje vattendrag och vattenmiljö har ett avrinningsområde där all nederbörd samt en del grundvatten samlas upp. Avrinningsområden avgränsas av vattendelare som är mer eller mindre tydliga höjdryggar i landskapet, se figur 3. Vatten som faller innanför vattendelaren bidrar förr eller senare till vattenflödet längst ner i avrinningsområdet. Landskapets form, lutning och jordart är det som tillsammans med markanvändning, växtlighet, nederbörd och klimat, formar vattendraget.

Avrinningsområdets topografi påverkar också vattendragets karaktär i och med att det har en del i hur snabbt nederbörd når vattendragen. Längs vattendraget finns avsnitt som lutar mer där vattnet rinner snabbare och längs andra sträckor finns mer lugnflytande avsnitt, figur 4.

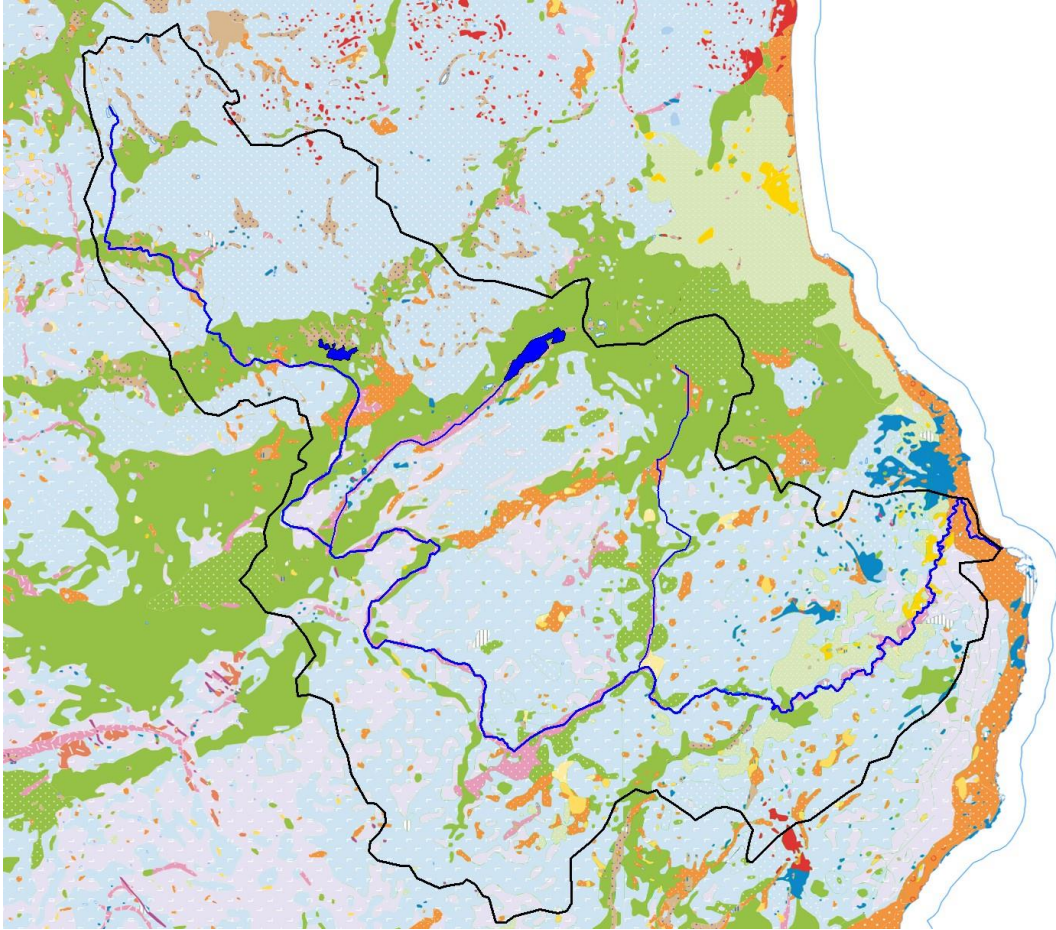


Figur 3. Ett vattendrags avrinningsområde avgränsas av en vattendelare (svart linje) som löper längs högre eller lägre höjdryggar i landskapet. Nederbörd som faller innanför vattendelaren kan förr eller senare bidra till vattenflödet i vattendraget. I ett naturligt vattendrag avgör berggrundens och jordlagrens form var vattendelaren finns i landskapet.



Figur 4. Här ser man att exempelvattendraget har en total fallhöjd på 125 meter på en sträcka av ca 40 km. Det ger en medellutning på ca 0,3% vilket visar att det är ren relativt brant profil i förhållande till förekommande jordarter (som domineras av lera, silt och svämsediment). Det finns också relativt mycket isälvsmaterial i området och det är främst där vattendraget rinner genom det materialet som de tydligt brantare sträckorna förekommer.

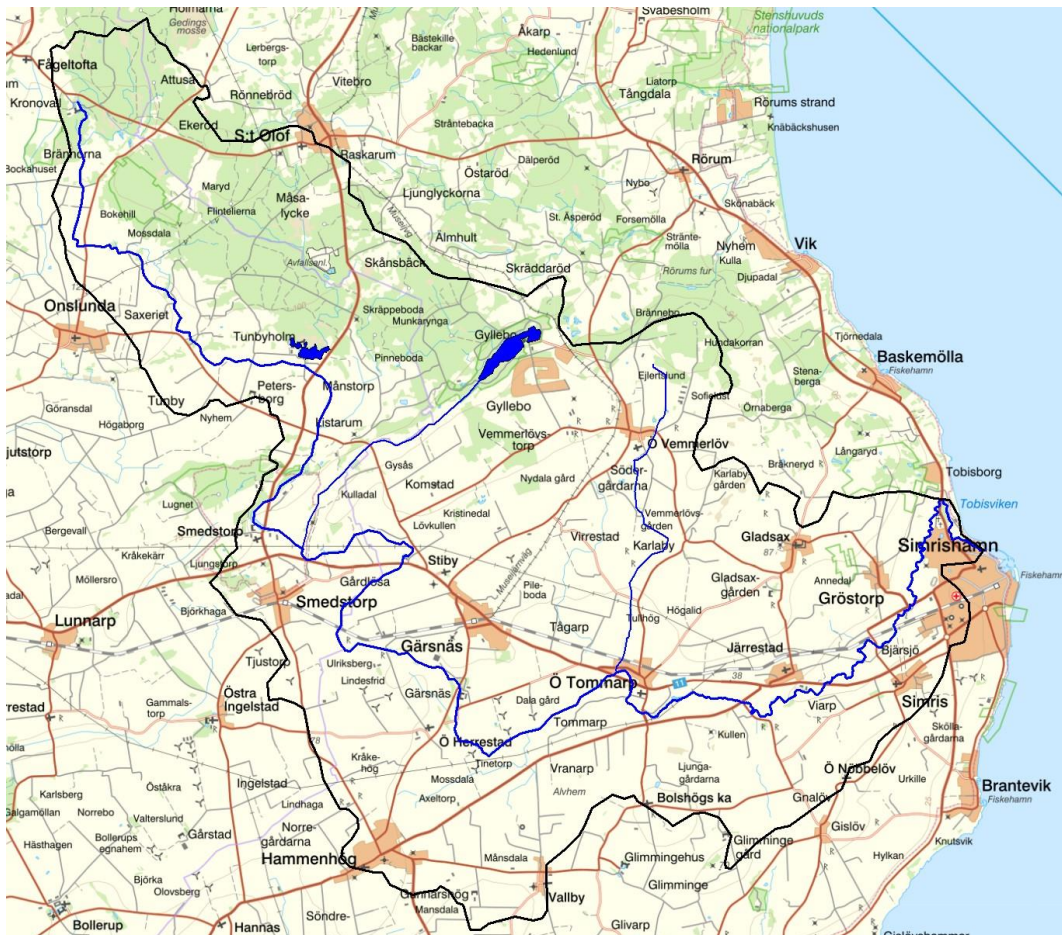
Jordart och vegetation i avrinningsområdet påverkar också hur mycket och hur snabbt vattenflödet till vattendraget är. En torr lerjord eller berg kan transportera vatten mycket snabbt i landskapet medan torv eller en blöt lerjord kan hålla kvar vatten längre. I figur 5 kan man se ett exempel på hur jordarten varierar inom ett avrinningsområde.



Figur 5. I avrinningsområdet varierar jordarterna oberoende av vattendelaren. Jordarten påverkar både vattenkvaliteter, vattentransporten och vattendragets form. Vattnet som kommer till en punkt i vattendraget karakteriseras förutom om markens form och lutning utan även av jordarterna uppströms.

Markanvändningen i landskapet påverkar också vattnets flöde genom landskapet. Vatten rinner snabbt av från hårdgjorda ytor som gårdsplaner, vägar och inte minst tätorter medan ett varierat skogslandskap med myrmarker håller kvar vattnet längre. Dräneringar och andra markavvattnande anläggningar ökar också generellt vattnets hastighet genom landskapet.

Ju längre ner i avrinningsområdet man befinner sig desto större blir effekterna av påverkan på de hydrologiska förhållandena i avrinningsområdet uppströms. I figur 6 är avrinningsområdet inritat på en karta som visar markanvändningen i landskapet. Förekomst av våtmarker och översvämningsytor inom avrinningsområde är några av de vattenmiljöer som bidrar till att dämpa högflöden och har även generellt sett en renande effekt på näringsämnen och föroreningar.



Figur 6. Kartan ger en bild av markanvändningen i avrinningsområdet. Markanvändningen har stor betydelse för kvaliteten på vattnet och med vilken hastighet som vattnet transporteras genom landskapet.

Faktaruta: Specifik flödeseffekt

När vattnet rör sig nedåt i vattensystemet med hjälp av tyngdkraften omvandlas lägesenergi till kinetisk energi och vidare till värme. Att förstå hur denna omvandling sker är nödvändigt för att förstå varför olika typer av mänsklig påverkan ger en viss effekt på vattendraget. Att vattnet inte accelererar konstant när det rör sig ned i vattensystemet innebär att energin samtidigt omvandlas till någon annan form. I och med vattnets rörelse omvandlas energin omvandlas från kinetisk energi till främst värme och transport av sediment. Således är det den drivande kraften bakom omformning av vattendragen. Ett vattendrags kapacitet att utföra geomorfologiskt arbete och på så vis förändra vattendragets läge och morfologi kan beskrivas med tillgången på flödeseffekt. Flödeseffekten definieras som:

$$\Omega = \rho g Q S$$

$$\Omega = \text{Flödeseffekt (W/m)}$$

$$\rho = \text{Vattnets densitet (kg/m}^3\text{)}$$

$$g = \text{Gravitationskraften (m/s}^2\text{)}$$

$$Q = \text{Vattenföring (m}^3\text{/s)}$$

$$S = \text{Vattenytans lutning (m/m)}$$

Ekvationen visar att flödeseffekten beror på hur stort vattendraget är. Ett större vattendrag (högre vattenföring) har högre flödeseffekt än ett mindre vattendrag (låg vattenföring).

För att få ett bättre värde att jobba med och ett jämförelsevärde mellan vattendrag med olika storlekar kan man istället använda specifik flödeseffekt, vilket erhålls genom att dela energin med vattendragets bredd:

$$\omega = \rho g Q S / b$$

$$\omega = \text{Specifik flödeseffekt (W/m}^2\text{)}$$

$$b = \text{Vattendragsbredd (m)}$$

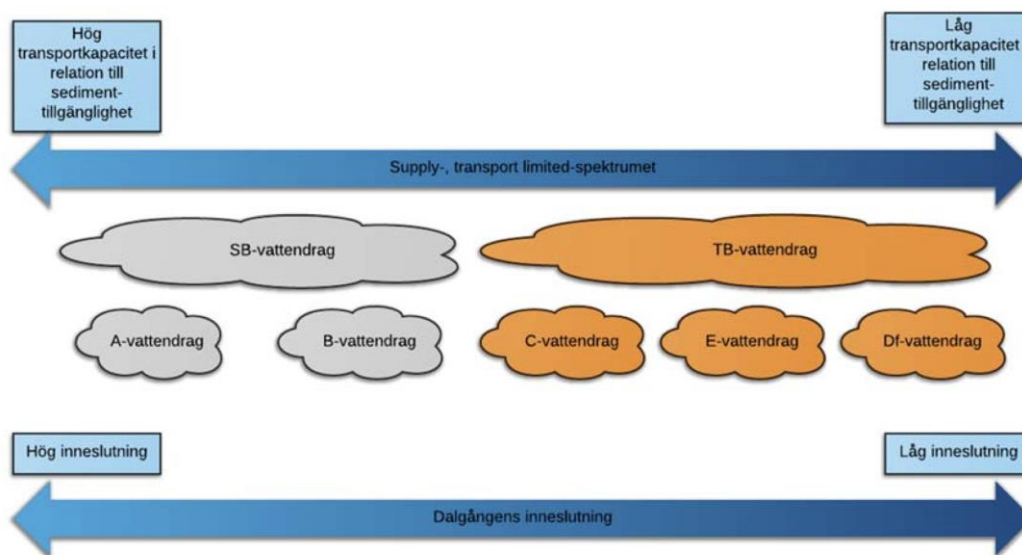
Specifik flödeseffekt beskriver alltså hur stor effekt som vattnet har på en viss yta och enheten som används är normalt sett watt per kvadratmeter (W/m²). Detta kan i sin tur användas till att förstå varför erosion eller sedimentation sker på olika platser i ett vattendrag och således också användas när man planerar sina underhållsinsatser.

Det är inte nödvändigt att räkna på den specifika flödeseffekten i detalj utan det viktiga är att kunna avgöra om en förändring i specifik flödeseffekten har skett och vad det ger för effekter i vattendraget.

Exempel: När ett vattendrag grävs rakare så ökar lutningen. Eftersom lutningen är en av parametrarna i formeln för flödeseffekt så finns större kapacitet att transportera sediment (förutsatt att vattenföring och bredd är oförändrad). Om den omgrävda sträckan rinner genom finkornigt material kommer har vattnet större kapacitet att flytta sediment och således resulterar det i ökade erosionsprocesser.

Hydromorfologi och karaktärisering

Vattendragens hydromorfologi är ett begrepp som används för att beskriva deras utseende, processer och utveckling över tid. Det omfattar både geologiska förutsättningar, flödesförutsättningar och vegetationsförutsättningar. Internationellt finns ett flertal olika indelningsmetoder. En indelning innebär att vattendraget klassificeras efter hur hög kapaciteten att transportera sediment är i relation till hur mycket sediment som finns tillgänglig för transport. En annan är indelningen i hydromorfologisk typ, figur 7. Båda dessa är viktiga att känna till för att kunna bedöma ett vattendrags grundförutsättningar.



Figur 7. Översikt över de olika indelningstyperna kopplat till hydromorfologiska förhållanden i vattendrag. (Illustration av Peter Gustafsson från manualen biotopkartering av vattendrag, Länsstyrelsen i Jönköpings län 2017).

Kapacitet för sedimenttransport

Det finns två typer av vattendrag som ingår i kategoriseringen av vattendrag utifrån deras förmåga att transportera sediment; Sedimentbegränsade vattendrag (SB) som har låg tillgång på sediment och som ofta har hög lutning, dvs transportkapacitet, samt Transportbegränsade vattendrag (TB) som har hög tillgång på sediment men ofta låg lutning, dvs låg transportkapacitet. I ytterligheterna finner man vattenfall i berg som är de sedimentbegränsade samt mycket finkorniga vattendrag som flyter genom finkornigt material såsom sand, silt och lera.

Hydromorfologiska typer

Indelningen i hydromorfologiska typer är en mer detaljerad indelning än den i SB eller TB-vattendrag. Här finns i dagsläget sex huvudgrupper som har delats in beroende på kapacitet att transportera sediment (lutning och tillgång på sediment) men också på vilka processer, jordarter och storlek på substrat som förekommer. Inom varje hydromorfologisk typ finns en typisk sammansättning av mindre enheter med särskilda strukturer och processer. Dessa kallas för morfologiska enheter. En morfologisk enhet kan till exempel vara en hölja, en svagt strömmande sträcka med grövre material eller stegformad ansamling av sten. Vissa av de morfologiska enheterna är starkt knutna till och karaktäristiska för en viss hydromorfologisk typ, medan vissa förekommer i flera olika typer.

Notera att det inte finns någon exakt gräns mellan del olika typerna men att ett vattendrags utseende ändå är så förutsägbart att kategoriseringen kan göras. Notera också att den hydromorfologiska typen kan vara svår att bestämma särskilt om vattendraget är kraftigt påverkat.

Dalgångens inneslutning

Dalgångens inneslutning är direkt kopplat till indelningen mellan SB och TB samt indelningen i hydromorfologiska typer. Inneslutningen beskriver hur nära dalgångens sidor är varandra, i vilken omfattning vattendraget kan migrera i sidled och i vilken omfattning det finns eller kan utvecklas svämplan eller andra översvämningsytor.

Faktaruta: Hydromorfologiska typer:

Samtliga vattendragssträckor på exempelbilder nedan är i stort sett helt fysisk opåverkade.

A Branta vattendrag i fast berg



B Branta vattendrag med sten och turbulent flöde



C Vattendrag med regelbundet växlande strömsträckor och höljor



E Vattendrag i finkorniga sediment



T Vattendrag i torv



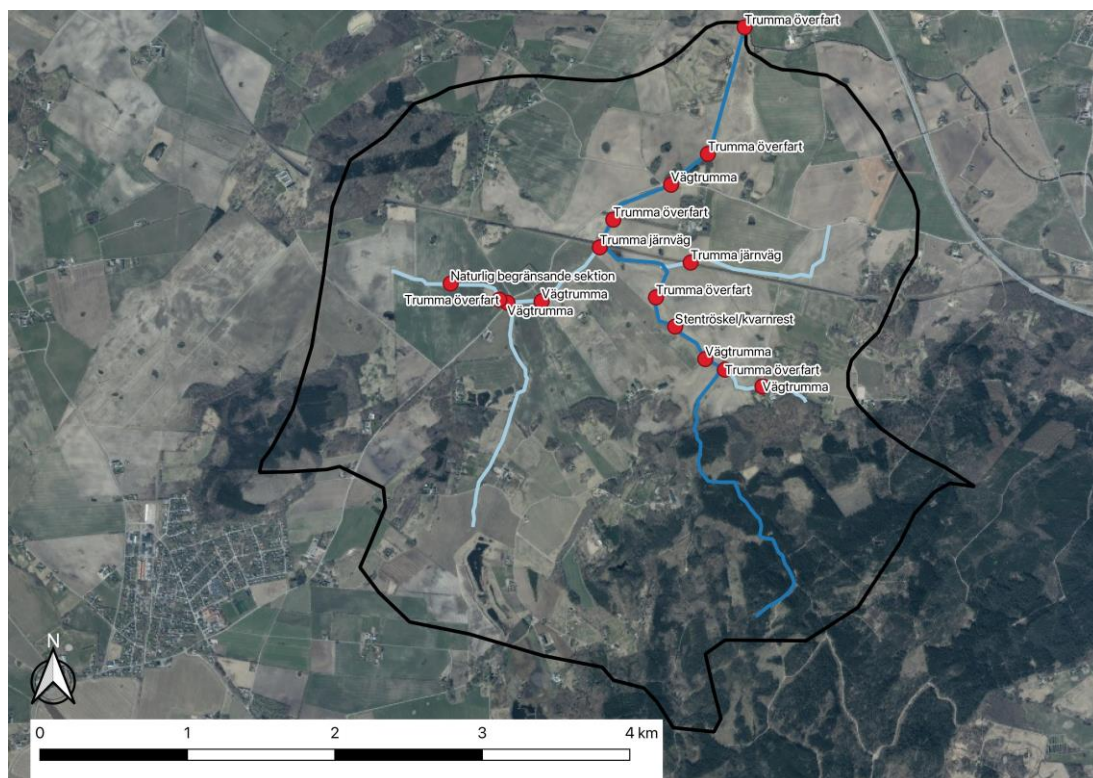
Hydrologiska förutsättningar i vattendraget

Hydrologin i ett vattendrag beror till stor del på förhållandena inom avrinningsområdet, dvs vilken markanvändning som finns, vilka jordarter som förekommer och landskapets topografi. Hur flöden varierar över året har en stor inverkan på vattendragets form och vilka processer som dominerar. Små kustnära avrinningsområdet kan ha väldigt kraftiga variationer i flöden med snabba höglödestoppar men också med mycket torra förhållanden medan större vattendrag ofta svarar långsammare och mer utdragna toppar och torrperioder. Viktigt att nämna är att detta är en generalisering och att inte bara ytvattentillförsel utan också grundvattentillförsel kan ha stor effekt, främst på mindre vattendrag.

Högre frekvens av höglöden, som resultat av dräneringar, hårdgörande av mark eller avverkning av skog, ökar flödeseffekten i vattendraget och vattendragets jämvikt ändras. I ett vattendrag där höglöden ökar tenderar vattendragets dalgång att dra sig mot en större tvärsnittsarea. Detta gör ofta också att vattendragen är för stora vid låglöden och att igenväxning sker snabbare av hela eller delar av bottenytan. Att sträva efter att få en så naturlig hydrologisk regim i avrinningsområdet, t.ex. genom att återskapa våtmarker eller att på annat sätt hålla kvar vatten i landskapet, är därför avgörande för att få ett så underhållsfritt vattendrag som möjligt.

Bestämmande sektioner

Längs med ett vattendrag finns ofta flera bestämmande sektioner. Bestämmande sektioner är endast applicerbart om vattendraget uppströms rinner genom finkornigt material (som är eroderbart) eller organiskt material (där grundvattennivån normalt är hög). Dessa sektioner bestämmer vattendragets lokala basnivå och därför också lutningen på vattendragssträckan uppströms. Samtliga har gemensamt att de styr lutningen på sträckor uppströms och således också styr flödeseffekten på dessa sträckor. I figur 8 illustreras hur olika bestämmande sektioner inom ett avrinningsområde.



Figur 8. Visualisering av bestämmande sektioner inom ett mindre avrinningsområde. Genom att mäta nivåer mellan de bestämmande sektionerna kan medellutning på sträckan fås. Lutningen är en viktig parameter för att avgöra påverkan på vattendragets jämviktssläge.

Faktaruta: Basnivå och bestämmande sektioner

Ett vattendrags basnivå är den lägsta nivå till vilken en botten kan erodera. Alla vattendrags basnivå är på lång sikt (oändligt lång sikt) havet. I ett kortare perspektiv är det dock vanligare att prata om lokala basnivåer. Dessa styrs av bestämmande sektioner som t.ex. består av trösklar i landskapet med grövre material såsom berg, block och sten. Det kan också vara sjötytor eller mänskliga strukturer såsom brofundament, vägtrummor eller dammar.

När en basnivå påverkas, t.ex. genom att en bestämmande sektion rensas, ändras jämviktsläget för sträckan uppströms och en mängd processer sätter igång för att fåran strävar mot ett nytt jämviktsläge. Vanligt är att fåran skär ner sig och får ett djupare läge. En sänkt basnivå påverkar också översvämningsfrekvens som i sin tur har en effekt på vattendragets flödesutjämnande effekt. En sänkt basnivå påverkar också infiltration från vattendrag till grundvattenmagasin.

Fårans form och dalgångens inneslutning

Fårans form beror också den mycket på vilka hydromorfologiska förutsättningar som råder i vattendraget. Här beskrivs de två typerna TB och SB-vattendrag och hur deras fåror ändras efter en omgrävning.

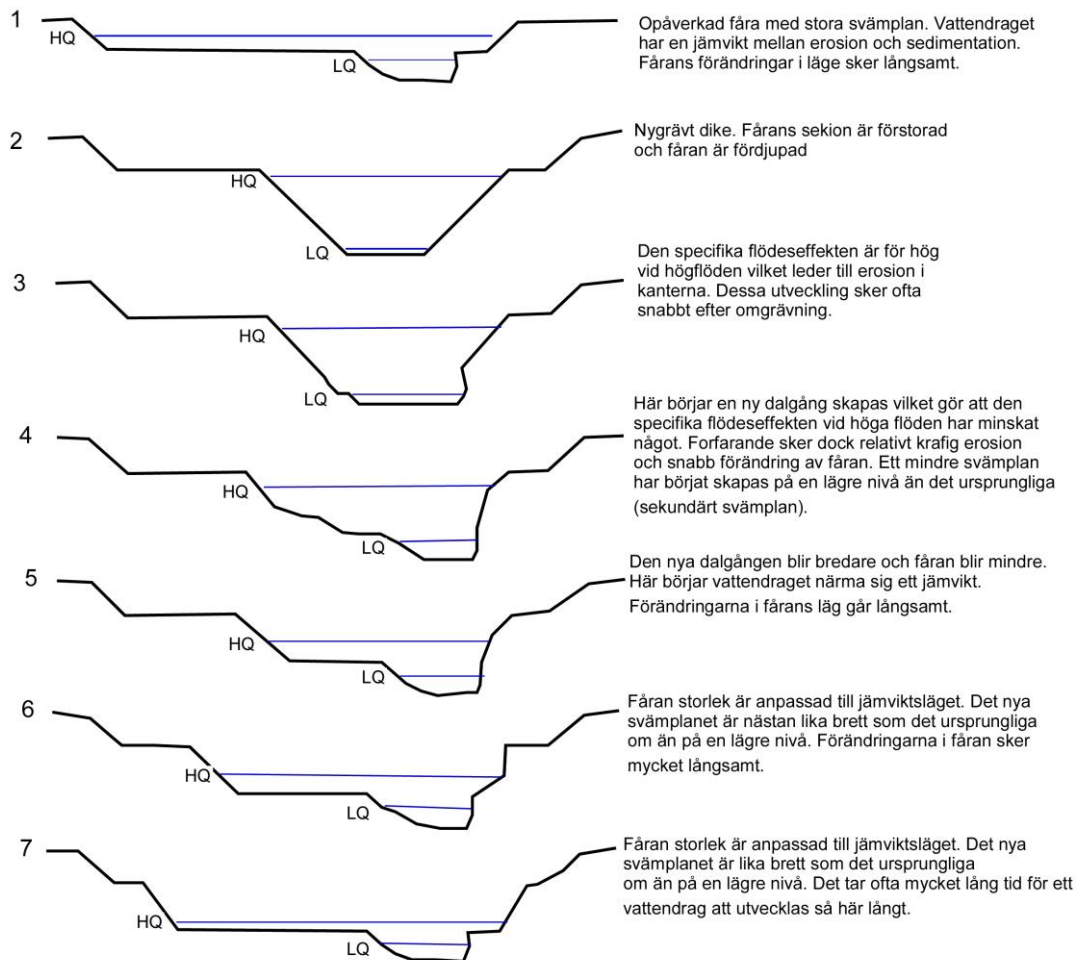
I ett vattendrag som rinner genom finkorniga sediment (TB-vattendrag) är stort sett alltid fåran anpassad i storlek (tvärsnittsarea) för att kunna rymma flöden som är något mindre än ett årligt högflöde (MHQ). De har också i stort sett alltid ett svämplan (se Faktaruta om svämplan) där vatten kan bredda ut sig vid högre flöden. Dalgångens inneslutning är alltså låg. Vid en dikning tas ofta översvämningsfunktionen bort och fårans sektion förstoras och fördjupas. I och med att den specifika flödeseffekten vid höga flöden då ökar kraftigt inom fårans nya sektion (då bredden vid högflöden minskat kraftigt) är den direkta responsen en relativt kraftig erosion. Vid låga flöden blir i stället de specifika flödeseffekten väsentligt lägre (då fårans bredd har ökat) vilket istället leder till sedimentation och risk för igenväxning. Se t.ex. avsnittet för utveckling av vattendrag och jämviktsförhållanden.

Vattendrag som rinner genom grövre substrat såsom block eller sten (SB-vattendrag) saknar oftast svämplan. Dalgångens inneslutning är hög. De är anpassade för att kunna hantera även högflöden inom fåran. Fåror är här ofta bredare och med brantare lutning vilket gör att kapaciteten blir mycket större. Vid dikning av denna typ av vattendrag är det i stället vanligt att fårans sektionsarea minskas genom fördjupning invallning. Då är istället risken att man skapar översvämningsområden på områden kring den nya avsmalnade fåra (dvs inom den naturliga breda fårans gränser) samtidigt som vatten snabbare transporteras i den grävda kanalen ner mot nedströms liggande områden. Risken för erosion eller sedimentation inom dessa sträckor är ofta inte överhängande. I stället transporteras allt finkornigare material snabbt förbi.

Utveckling av vattendrag och jämviktsförhållanden

Ett vattendrag strävar alltid efter att nå ett jämviktsförhållande mellan erosion och sedimentation. Det är en dynamisk företeelse som går olika fort beroende på vattendragets kapacitet att transportera sediment (se avsnitt ovan angående kategorisering av vattendrag) samt andra parametrar som till exempel vilken vegetation som förekommer. All påverkan på ett vattendrag innebär att vattendragen att den specifika flödeseffekten ändras och vattendraget störs ur sitt jämviktsläge och en utveckling mot ett nytt jämviktsläge påbörjas. Det finns många olika typer av påverkan som kan störa ett vattendrags jämvikt där de vanligaste är fysisk påverkan som till exempel omgrävning/fördjupning, indämning, förändrade flöden samt ökad eller minskad sedimenttillförsel.

Det går att förutsäga hur ett vattendrag strävar efter att återgå till ett jämviktsläge efter t.ex. en omgrävning. Utvecklingen brukar kategoriseras i olika stadier men är såklart en kontinuerlig process. Nedan i figur 9 visas de utvecklingssteg som man normalt kan förvänta sig efter en påverkan på ett vattendrag.



Figur 9. Konceptmodell för ett dikes utveckling över tid om sedimenttillskottet är mindre än sedimenttrasporten, vilket normalt är förutsättningen. Utvecklingen förutsätter att inga kontinuerliga rensningar sker. Om rensningar sker kontinuerligt startar processerna från början igen. I ett rensat dike kan också de två ovanstående beskrivna utvecklingsfaserna hoppa mellan varandra då det ofta sker kraftig sedimentation periodvis. Utvecklingen förutsätter också att den lokala basnivån är sänkt nedströms. Om rensning sker utan att basnivån är sänkt kommer vattendraget i stället att sedimentera igen och återgå till sitt ursprungliga utseende.



Figur 10. Fyra exempel på olika utvecklingsfaser i ett vattendrag. Överst till vänster en nyrensad/nygrävd fåra där kraftig erosion förekommer, dvs fåran är långt mycket instabil och mycket sediment omfördelas och transporteras nedströms. Fåran är i utveckling 3 (se figur 9) Överst till höger är ett större vattendrag som inte har rensats på lång tid. Här har nya svämplan (sekundära svämplan (bildats på en lägre nivå än de naturliga) och fåran smalnar av. Vattendraget är i utveckling 4 (se figur 9) och är förhållandevis stabilt. Nere till vänster är ett mindre vattendrag med som har nått liknande utveckling som ovan till höger. Nere till vänster är ett återställt vattendrag där vattennivån ligger mycket nära svämplanen. Vattendraget är i utveckling 1 och är i jämvikt.

Markanvändning

Vattendrag har olika utveckling och olika jämviktslägen beroende på hur närområdet ser ut. Detta gäller framför allt i mindre vattendrag under 10 meter i bredd och det gäller främst vattendrag i finkorniga jordar (TB-vattendrag). Generellt kan sägas att vattendrag med träd längs kanterna tenderar att vara bredare än vattendrag med öppen mark och gräs- och örtvegetation längs kanterna. Det innebär att om markanvändningen ändras kommer också en förändring ske av vattendragsfårans form.

För att vattendrag med målbild att det ska vara träd i kantzonerna är det viktigt att veta att jämviktsläget, med aktiva svämplan, först uppnås om tillräckligt med död ved får hamna i och ligga kvar i fåran. Den döda veden blir som små lokala bestämmande sektioner som sänker den specifika flödeseffekten på en kortare sträcka uppströms. Om död ved kontinuerligt rensas bort kommer vattendraget konstant att förändras genom erosion och sedimentationsprocesser då den specifika flödeseffekten generellt är för hög.

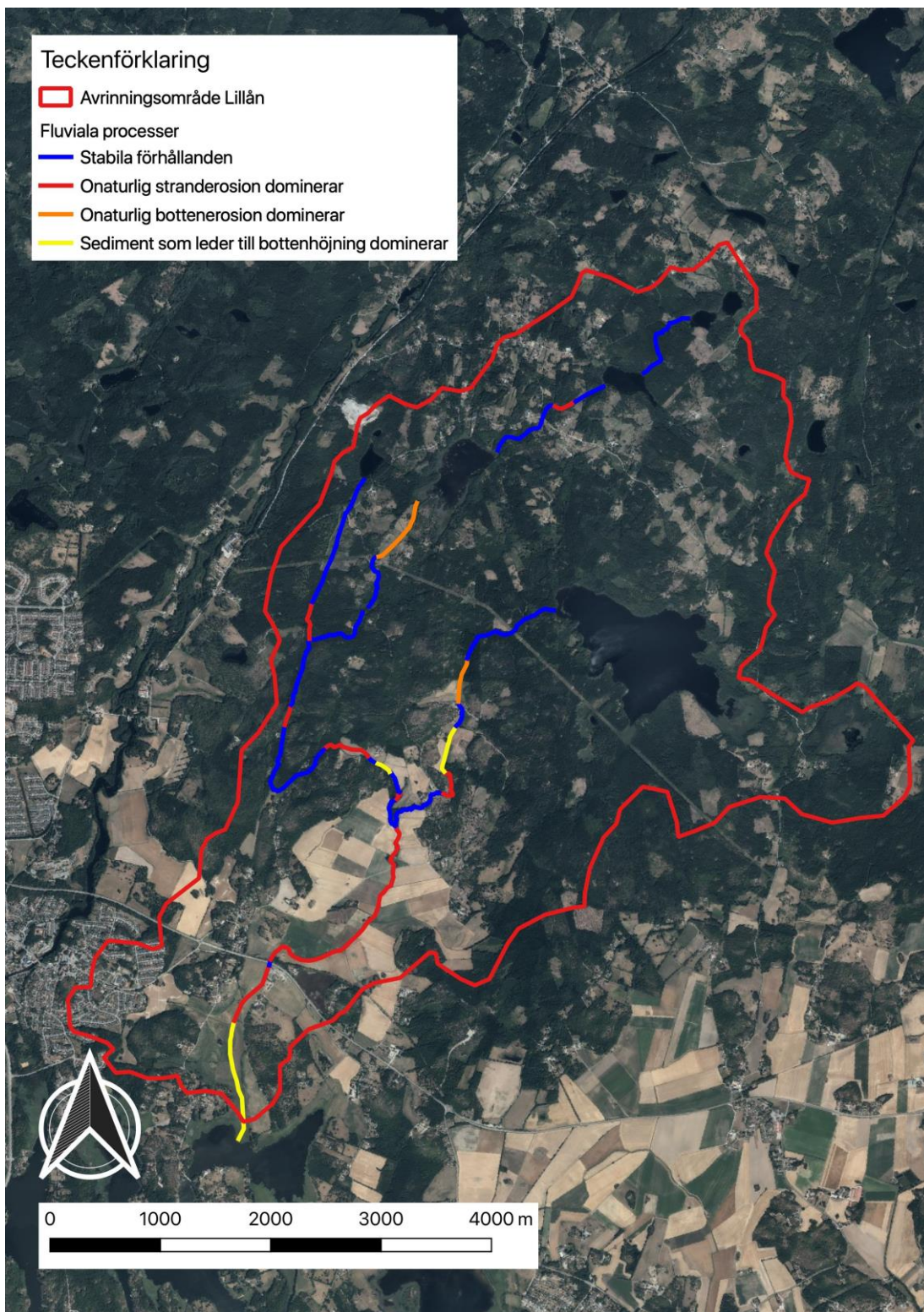
Träd längs med fåran kan dock ha en mycket viktig ekologisk effekt genom skuggning och tillförsel av organiskt material och att ha en långsiktig målbild där det bestäms om det ska vara en öppen kantzon eller en trädbevuxen kantzon är mycket viktigt.

Påverkan på vattendrag

En av de viktigaste delarna för att kunna utreda underhållsbehovet i sitt vattendrag är att identifiera påverkanstrycket. Det vill säga, att leta efter de faktorer som gör att vattendraget hamnar i oönskat tillstånd, vilket ofta innebär ett instabilt tillstånd långt ifrån jämviktsförhållanden. Exempel på sådana faktorer är t.ex. kraftig erosion i kanterna, hög strömningshastighet i finkornigt material, tjocka bottenhöjande sedimentbankar på längre sträckor. Orsakerna till detta är ofta omgrävning av fåran så att den har fått en högre lutning eller rensning av en bestämmande sektion. Även rensning av död ved och andra sedimenthållande strukturer kan starta i gång långtgående processer. Det är viktigt att veta att i stort sett alla vattendrag som är omgrävda, dvs alla markavvattningsföretag, innebär att vattendraget är försatt i ett instabilt tillstånd och att jämvikt (referenstillståndet) är svårt att nå. Det går dock att närma sig jämviktsförhållandet utan att göra större avkall på markavvattningen och ju närmare jämvikt vattendraget är desto långsammare sker förändringar och desto mindre blir underhållsbehovet, förutsatt att vattendraget och vattnet tillåts ta viss plats.

Genom att göra en kartering av sträckor i vattendragen som domineras antingen av sedimentation eller erosion kan man få en bild av hur ett vattendrag fungerar i dagsläget och hur det kommer att utvecklas på sikt. Man kan också få hjälp att hitta punkter som är viktiga att underhålla och som samtidigt inte har mer långtgående negativa effekter på sträckor uppströms eller nedströms. Utöver processerna i vattendragsfåran så tillförs också sediment från tillrinnande bäckar, diken och från ytvattenavrinning. För att få en så god bild som möjligt av var sediment kommer ifrån bör alltså även dessa områden ingå i en övergripande analys.

Nedan i figur 11 visas ett exempel på en kartering av sedimentations- och erosionsprocesser i ett mindre vattendrag där delar av det ingår i ett markavvattningsföretag.



Figur 11. Exempel på visualisering av förekomst av erosion eller sedimentation inom ett avrinningsområde. Det är alltså också en karta över förändring i specifik flödeseffekt. Där onaturligt hög erosion sker är den specifika flödeseffekten för hög och där onaturligt hög sedimentation sker är den specifika flödeseffekten för låg. Noterbart är att mycket av den onaturligt höga mängden sedimenten som eroderas hamnar i den havsvik som exempelvattendraget ovan mynnar i.

Vattendrag av SB-typ

I vattendragssträckor av SB-typ, dvs brantare vattendrag med grövre substrat, där vanligen block, sten med inslag av grus dominerar, sker inte utveckling efter en påverkan på samma sätt som i ett vattendrag med finkorniga substrat. En förändring här är i stället konstant då det grövre materialet vanligtvis inte kan flyttas med vattnets kraft. Rensningar i dessa syftar ofta till att sänka de lokala basnivåerna i landskapet för att möjliggöra fördjupning av sträckor i finkornigare material. Att eftersträva en bredare fåra med mer variation i bottensubstratet även om sträckan fördjupad kan göra stor nytta för biologin på sträckan utan att basnivåer uppströms påverkas. I figur 12 är två exempel på ett orört respektive omgrävt SB-vattendrag.



Figur 12. Exempel på ett orört (bild till vänster) och ett omgrävt (bild till höger) SB-vattendrag. I dessa sker mycket lite erosions- och sedimentationsprocesser. Det innebär de är mycket stabila i sitt utseende och därmed också att helt saknar möjlighet att återställa sig själva efter en påverkan. Ett opåverkat vattendrag av denna typ är vanligen brett med stor variation av substrat och strömningsförhållanden medan ett påverkat är kanaliserat, smalare och med mycket mer likartad bottenstruktur.

Vattendrag i torv

Vattendrag som rinner genom organiska jordar svarar annorlunda på en påverkan än SB- och TB-vattendrag. Vid en omgrävning och sänkning av basnivån är det inte främst erosions- och sedimentationsprocesser som sätts i gång utan en sänkning av grundvattennivån som leder till marksänkning. Marksänkningen sker när de organiska jordarna torrläggs och bryts ner. Marksänkningen i sidled från den dikade sträckan kan pågå under lång tid men fortsätter generellt tills marknivån är anpassad till den nya grundvattennivån.

Hur kan hydromorfologisk analys användas för planering av skötselåtgärder?

Den hydromorfologiska analysens främsta syfte är att skapa en kunskap om hur olika delar av vattendraget och avrinningsområdet påverkar vattendragets utseende och förändring över tid. Ett vattendrag i finkornigare sediment drar sig alltid mot ett jämviktsläge som är beroende av ett flertal yttre parametrar såsom flöde, jordarter, lutning mm. Genom att underhålla, eller ibland inte underhålla, vattendraget så att det hamnar så nära sitt jämviktsläge som möjligt. Nedan följer en lista exempel på frågor man kan ställa sig och tecken i fåran som är bra att lära sig för att kunna göra en första bedömning av tillståndet i vattendraget.

- Vilka jordarter förekommer? Är de finkorniga kan man förvänta sig att vattendraget har förmåga att ändra sig i form och läge över tid. Om det däremot är grövre substrat kan man förvänta sig mindre förändring.
- Vilken lutning har vattendraget mellan bestämmande sektioner. Om lutningen är hög, vanligen över 0,1% och jordarterna är finkorniga kan man förvänta sig en hel del erosion över tid. Om lutningen är mycket låg, mindre än 0,01% kan man förvänta sig att sedimentation kommer att ske.
- Mäta nivåer på bestämmande sektioner. Att rensa djupare än bestämmande sektioner är verkningslöst då de områdena snabbt kommer att sedimentera igen.

- Hur långt har vattendraget utvecklats och hur stor är tvärsektionen i genomsnitt? Ju längre ett vattendrag har kommit i utvecklingen efter en omgrävning desto närmare ett jämviktsläge är det. Ju närmare ett vattendrag är sitt jämviktsläge utan att det påverkar markavvattning, desto mindre underhåll kommer att behövas.
- Vilken vattennivå förekommer vid olika flöden. Tecken såsom uppbyggnad av sekundära svämplan och erosionskanter kan användas för att anpassa mynningsdjup på dräneringsrör. Sekundära svämplan avsätts generellt alltid på en nivå som är högre än medelvattennivå. Dräneringsrör som mynnar över denna nivå kommer alltså alltid att vara över vattennivå vid flöden som är lägre än medel.

6. Hydrauliska förhållanden

Inledning

I det här avsnittet redogörs för några grundläggande hydrauliska begrepp och samband som förklarar vilka variabler som bestämmer vattennivåerna längs ett vattendrag. I avsnittet ges också exempel på enkla beräkningsformler som kan användas för att uppskatta hur vattennivån påverkas av förändringar i vattendraget. Fokus ligger på den lokala skalan och förhållanden som bestämmer vattendragets kapacitet att transportera ett visst (givet) vattenflöde, men även påverkan på den närmaste sträckan uppströms och nedströms diskuteras.

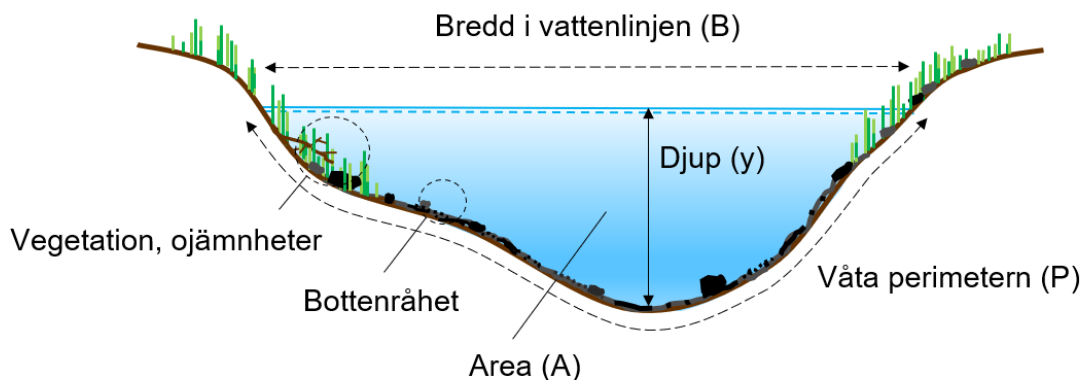
De flesta begrepp som tas upp är hämtade från den tekniska litteraturen (kanalströmnings-teori) som beskriver flöden i tekniska anläggningar som kanaler, kulvertar, utskov med mera. Samma teori och beräkningsmetoder är tillämpbara på naturliga vattendrag, även om variationerna i ingående variabler, till exempel tvärsektionernas geometri och råhet, är betydligt större i naturen och därmed även osäkerheten i resultaten från beräkningar. Som komplement till beräkningar behövs därför ofta kontrollmätningar av flöde och vattennivå i utvalda punkter längs vattendraget vid olika flöden och nivåer.

Flödet antas i det här sammanhanget vara känt, till exempel genom tillgång till mätdata från det aktuella vattendraget eller uppskattningar baserade på data från närliggande mätstationer eller hydrologiska modellberäkningar. Vidare antas flöde och vattendjup vara konstanta i tiden. Man kan tänka att vi betraktar ett vattendrag under en tidsperiod som är kort i förhållande till tidsskalan för naturliga variationer i flöde och vattendjup. Detta är en vanlig förenkling vid dimensionering av kanaler och kulvertar. Ofta använder man sig då av ett beräknat dimensionerande flöde (designflöde) som väljs utifrån en avvägning mellan risken för skador på anläggningen och anläggningens kostnad. I den aktuella tillämpningen med fokus på naturliga vattendrag som samtidigt fungerar som markavvattningsanläggningar antas det i första hand vara flöden mellan medelflödet (MQ) och medelhögflödet (MHQ) som är intressanta ur kapacitetssynpunkt, snarare än extrema högflöden.

Variabler relaterade till tvärsektionen

För att beskriva vattendragets hydrauliska egenskaper behövs flera olika fysiska variabler. På den lokala skalan är de viktigaste variablerna relaterade till tvärsektionens storlek och form, samt strömningsmotståndet från botten och kanter. Figur 13 visar vilka variabler som vanligen används för att beskriva tvärsektionen (se även Faktaruta Variabler relaterade till tvärsektionen). Förutom djupet (y), arean (A) och bredden i vattenlinjen (B), tillkommer våta perimetern (P), samt en beskrivning av bottenytans råhet (skrovlighet) och andra bidrag till strömningsmotståndet. Våta perimetern definieras som längden på den sträcka utmed botten som har kontakt med vattnet och därmed ger upphov till friktionskrafter som bromsar flödet.

Baserat på variablerna i figur 13 definieras det hydrauliska medeldjupet (H) som arean dividerad med bredden ($H = A/B$), samt den hydrauliska radien (R) som arean dividerad med våta perimetern ($R = A/P$). Den hydrauliska radien (R) kan tolkas som medelavståndet till fasta ytor (botten eller kanter) där friktionen verkar. Generellt gäller att ju större den hydrauliska radien är, desto mindre blir friktionens inverkan och desto större blir hastigheten och flödeskapaciteten. För en given (inmätt) tvärsektion kan alla geometriska variabler (A , B , P och R) uttryckas som funktioner av vattendjupet (y). Normalt sett ökar samtliga geometriska variabler med ökat vattendjup.



Figur 13. Illustration av tvärsnitt med variablerna djup (y), area (A), bredd i vattenlinjen (B), våta perimetern (P), samt bottenråhet, vegetation och ojämnheter. Vattnet antas flöda vinkelrätt mot tvärsnittet.

Faktaruta: Variabler relaterade till tvärsnittet

Flöde (Q)

Den vattenvolym som passerar genom en tvärsnitt av vattendraget per tidsenhet. Flödet anges vanligen i enheten m^3/s (eller l/s när det handlar om små flöden).

Area (A)

Tvärsnittets våta area (m^2), det vill säga, den area som vattnet upptar. Arean beror av djupet, bredden och tvärsnittets form.

Medelhastighet (V)

Den hastighet som vattnet rör sig med i genomsnitt över en tvärsnitt. Definieras som flödet dividerat med våta arean ($V = Q/A$) och anges oftast i enheten m/s .

Djup (y)

Avståndet (m) mellan vattenytan och botten. Varierar mellan olika delar av tvärsnittet. För sektionen som helhet brukar djupet avse avståndet mellan vattenytan och lägsta punkten i sektionen.

Bredd i vattenlinjen (B)

Avståndet (m) från kant till kant längs med vattenytan.

Våta perimetern (P)

Längden (m) på den sträcka utmed botten som har kontakt med vattnet och därmed ger upphov till friktionskrafter.

Hydrauliska medeldjupet (H)

Medeldjupet (m) i sektionen. Definieras som arean dividerad med bredden i vattenlinjen ($H = A/B$).

Hydrauliska radien (R)

Ett mått på medelavståndet (m) till fasta ytor (botten eller kanter) där friktionen verkar. Definieras som arean dividerad med våta perimetern ($R = A/P$).

Bottenråhet

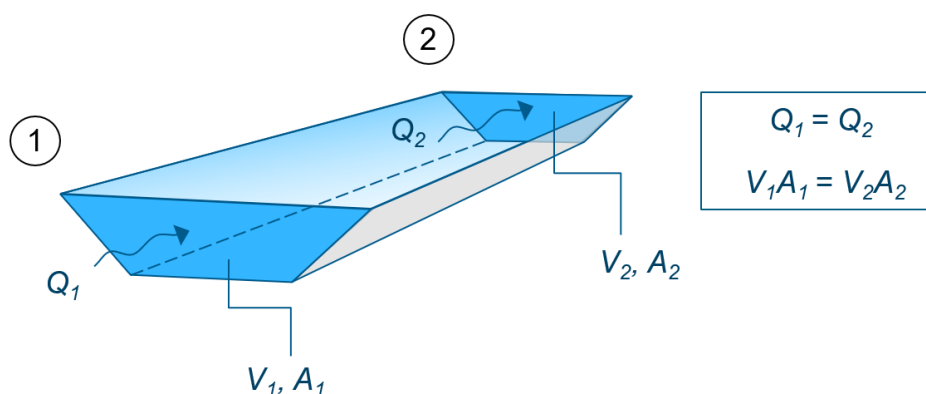
Ett mått på bottenytans skrovlighet som har betydelse för strömningsmotståndet. Ökar generellt med ökad kornstorlek. Övriga bidrag till strömningsmotståndet som vegetation och ojämnheter i botten och kanter tillkommer.

Kontinuitet och vattenhastighet

Det mest grundläggande begreppet när det gäller förståelsen av vattenflöden är begreppet kontinuitet, vilket relaterar vattenflödet (Q) genom en tvärsektion till vattnets medelhastighet (V) och tvärsektionens area (A) via formeln:

$$Q = V \cdot A$$

Detta samband brukar kallas för kontinuitetsekvationen och definierar samtidigt vattnets medelhastighet över en tvärsektion ($V = Q/A$). Kontinuitetsekvationen säger att om flödet på en viss sträcka av vattendraget är konstant så kommer även produkten av vattnets medelhastighet och tvärsektionens area att vara konstant i varje sektion längs sträckan (figur 14). Det betyder att om sektionens area ökar från en plats till en annan, till exempel för att bredden ökar, så måste medelhastigheten minska och vice versa. Motsvarande gäller med utgångspunkt från hastigheten: om hastigheten minskar på grund av ökat strömningsmotstånd så måste sektionens area öka, vilket betyder att vattendjupet ökar om sektionens bredd är oförändrad. På samma sätt minskar vattendjupet vid oförändrad bredd när hastigheten ökar, vilket exempelvis sker där vattendragets bottenlutning ökar.

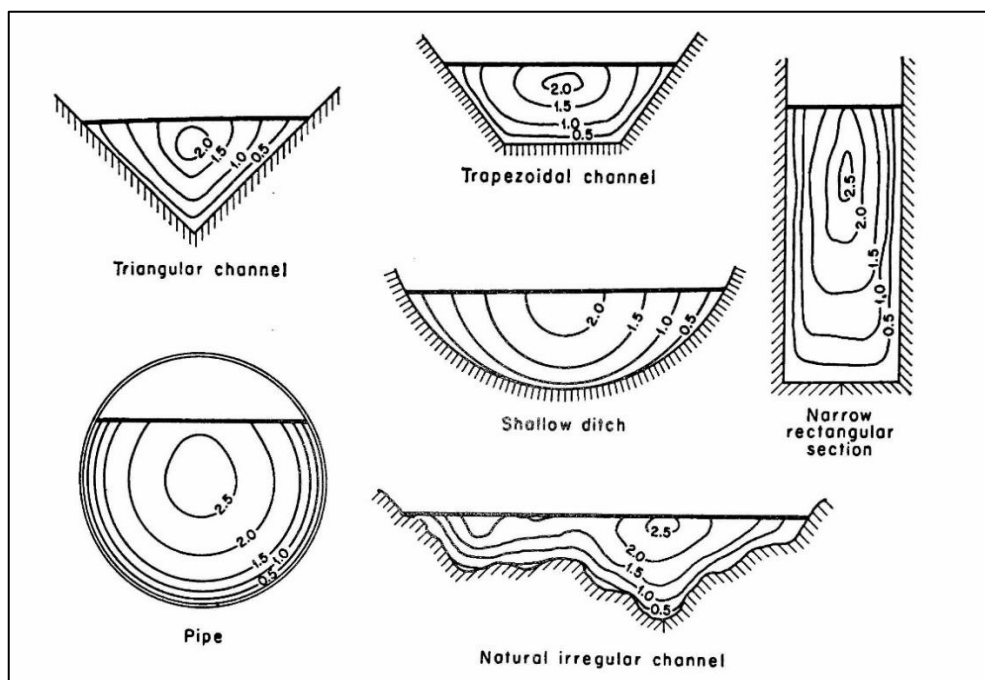


Figur 14. Illustration av begreppet kontinuitet. Om flödet (Q) är konstant längs en delsträcka av vattendraget så är produkten av vattnets medelhastighet (V) och tvärsektionens area (A) konstant i varje sektion längs sträckan.

Den här typen av resonemang som bygger på kontinuitetsekvationen är användbara vid studier av förändringar på den lokala skalan där man vid varje tidpunkt ofta kan anta att flödet är konstant längs delsträckan. Lokala förändringar i hastighet på grund av plötsliga förändringar i sektionens area leder ofta till extra virvelbildning (turbulens), energiförluster och ökad risk för erosion. Det gäller särskilt vid övergång från högre till lägre hastighet, eller med andra ord vid plötslig ökning av sektionens area, till exempel vid utloppet från en smal kulvert.

Det bör noteras att vattnets medelhastighet oftast inte är representativt för hela tvärsnittet. Särskilt i naturliga vattendrag kan vattenhastigheten variera mycket mellan olika delar av tvärsektionen beroende på sektionens form och skillnader i råhet. Oftast är hastigheten högst nära vattenytan i den djupaste delen av fåran och lägst närmast botten och in mot kanterna där det är grundare. Figur 15 illustrerar hur hastigheten kan variera i några olika typer av tvärsnitt. Även vattendragets sträckning i terrängen (planformen) påverkar hastighetsfördelningen på så sätt att hastigheten blir högre vid ytterkurvor, ibland så mycket som 50 % högre än medelhastigheten, och lägre vid innerkurvor. Hur hastigheten är fördelad över tvärsektionen har stor betydelse både för strömningsmotståndet och för de hydro-morfologiska processer som formar vattendraget.

Vid noggranna mätningar av flöden i vattendrag måste tvärsnittet delas in i mindre delar där den lokala hastigheten mäts, varefter hastighet och delarea multipliceras för varje delyta och summeras till det totala flödet.



Figur 15. Exempel på vattenhastighetens fördelning i tvärsnitt med olika form. Linjerna i figurerna sammanbinder punkter med samma hastighet. Från Chow (1959).

Likformig strömning och naturligt vattendjup

Nästa steg i beskrivningen av vattendragets hydrauliska egenskaper inkluderar bottenlutningen i längdled. För enkelhetens skull antar vi först att tvärsnittens geometri och råhet, samt flöde och bottenlutning är konstanta på en längre sträcka, så att förhållandena nedströms eller uppströms inte påverkar det som sker på den lokala skalan. Vattendjup och vattenhastighet blir då konstanta i strömriktningen och vattenytans lutning blir lika med bottenlutningen. Detta specialfall kallas för likformig strömning och det djup som ställer in sig i vattendraget kallas för naturligt vattendjup. Ur energisynpunkt innebär likformig strömning att det råder en balans mellan hur snabbt lägesenergin (vattennivån) minskar i strömriktningen och hur snabbt energin omvandlas till värmeenergi genom friktionen mot botten och kanter.

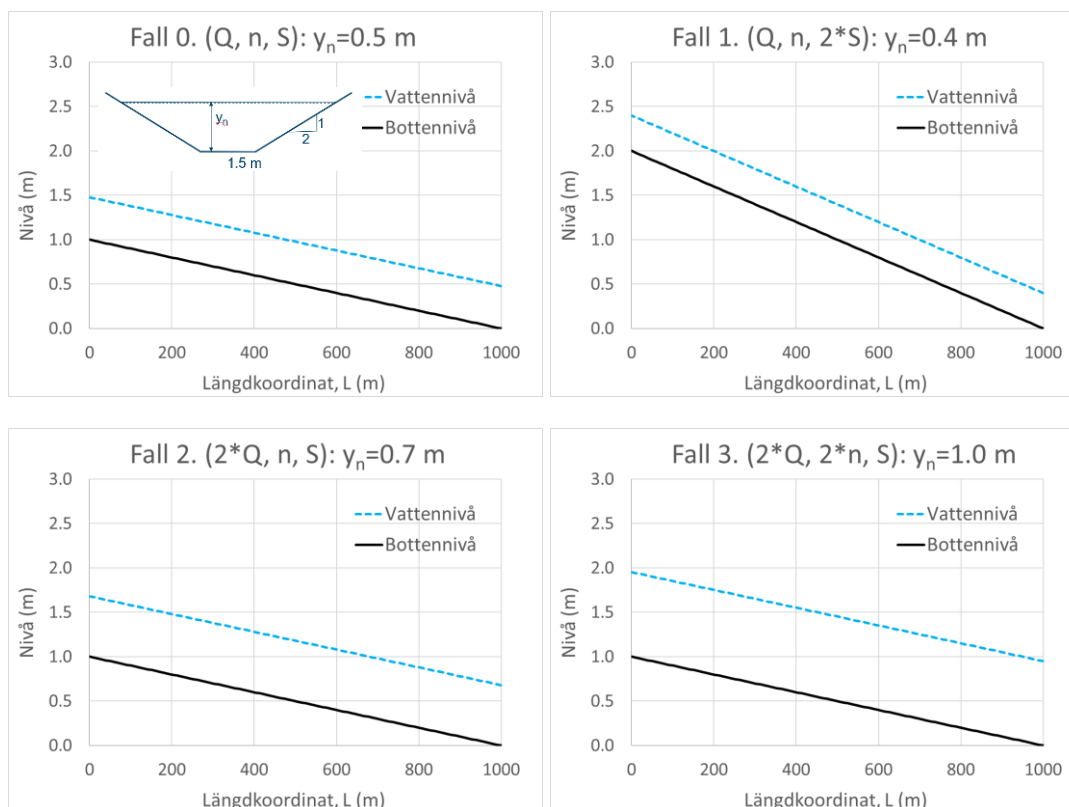
Det naturliga vattendjupet är ett viktigt begrepp inom hydrauliken eftersom det återspeglar vattendragets lokala flödeskapacitet (avbördningskapacitet) så att om flödeskapaciteten är låg blir det naturliga djupet stort och om flödeskapaciteten är hög blir det naturliga djupet litet. Mer specifikt beror det naturliga djupet av flödet, bottenråheten, vattendragets bredd och bottenlutningen i längdled. Som man kan förvänta sig ökar det naturliga djupet med ökat flöde, ökad bottenråhet, minskad bredd och minskad bottenlutning, se Tabell 1. Sambandet kan även uttryckas som att vattendragets flödeskapacitet minskar med ökad bottenråhet, minskad bredd och minskad bottenlutning.

Tabell 1. Samband mellan naturligt vattendjup och förändringar i flöde, råhet, bredd och bottenlutning.

Förändring	Oförändrad variabel	Effekt på naturligt vattendjup
flödet ökar/minskar	råheten, bredden, lutningen	djupet ökar/minskar
råheten ökar/minskar	flödet, bredden, lutningen	djupet ökar/minskar
bredden ökar/minskar	flödet, råheten, lutningen	djupet minskar/ökar
lutningen ökar/minskar	flödet, råheten, bredden	djupet minskar/ökar

Sambandet i Tabell 1 kan uttryckas matematiskt med en kapacitetsekvation för likformig strömning. En av de mest använda ekvationerna är Mannings ekvation. I Mannings ekvation ingår, förutom de variabler som redan har beskrivits, en friktionsparameter (n) som beror av bottenmaterialet, vegetation med mera och som kallas för Mannings tal (se Faktaruta Mannings ekvation).

Figur 16 visar ett räkneexempel med likformig strömning i en kanal där det naturliga vattendjupet har beräknats med Mannings ekvation. Kanalens tvärsnitt är trapetsformad med bottenbredden 1.5 m och släntlutningen 1:2. I övre vänstra figuren (Fall 0) har flödet (Q) satts till $0.5 \text{ m}^3/\text{s}$, Mannings tal (n) till 0.035 och bottenlutningen (S) till 0.1 %. Ekvationen ger då ett naturligt vattendjup (y_n) på 0.5 m. Figuren visar även vad det naturliga djupet blir vid dubblad bottenlutning ($2*S$), dubblat flöde ($2*Q$), respektive dubblat flöde och dubblat Mannings tal ($2*Q$ och $2*n$). I samtliga fall antas likformig strömning, vilket framgår genom att djupet är konstant och vattenytan är parallell med botten.



Figur 16. Exempel på längdprofil vid likformig strömning beräknad med Mannings ekvation för olika bottenlutning, flöde och råhet. Referensfallet (Fall 0) ger naturligt vattendjup, $y_n=0,5 \text{ m}$, dubbla lutningen (Fall 1) ger $y_n=0.4 \text{ m}$, dubbla flödet (Fall 2) ger $y_n=0.7 \text{ m}$, medan dubbla flödet och dubbla Manningstalet (Fall 3) ger $y_n=1.0 \text{ m}$.

Faktaruta: Mannings ekvation

Vid uppskattning av flödeskapaciteten i vattendrag med hjälp av enkla handberäkningar används ofta Mannings ekvation. Mannings ekvation relaterar flödet (Q) genom en tvärsnitt till våta arean (A), hydrauliska radien (R) och vattendragets bottenlutning (S) enligt formeln:

$$Q = \left(\frac{1}{n}\right) AR^{2/3} S^{1/2}$$

Bottenlutningen (S) anger hur snabbt botten faller i strömriktningen och anges i meter fallhöjd per meter delsträcka (m/m). Friktionsparametern (n) kallas för Mannings tal (enhet: s/m^{1/3}) och beskriver den samlade effekten av energiförluster p.g.a. friktion mot botten, motstånd från vegetation, samt virvelbildning orsakad av ojämnheter längs botten och kanter. Lokala energiförluster som uppstår vid förändringar i tvärsnittens form eller på grund av vattendragets krökning bakas ofta in i Mannings tal.

Värdet på n ökar med ökad råhet och ligger normalt i intervallet 0.02 till 0.2, där $n = 0.02$ motsvarar råheten hos en plan sand- eller lerbotten utan vegetation, medan $n = 0.2$ motsvarar ett kraftigt igenväxt vattendrag med högt gräs och tät buskvegetation. I tabellen nedan listas några standardvärden på Mannings tal för flacka vattendrag, samt ett typiskt intervall som indikerar osäkerheten i Manningstalet (från Chow, 1959).

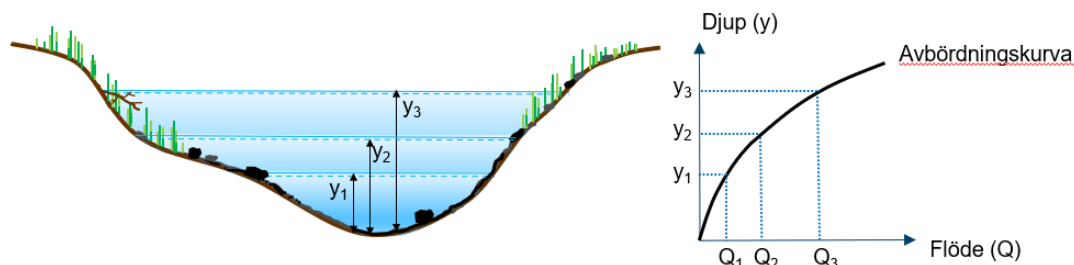
Beskrivning	Standard värde	[undre; övre]
Rensad, rak fåra vid fylld sektion, inga strömsträckor eller djupa höljor	0.030	[0.025; 0.033]
Som ovan, men fler stenar och mer vegetation	0.035	[0.030; 0.040]
Slingrande fåra med vissa höljor och strömmande partier	0.040	[0.033; 0.045]
Som ovan, men en del stenar och vegetation	0.045	[0.035; 0.050]
Som ovan, men vid lägre vattenstånd	0.048	[0.040; 0.055]
Saktflytande fåra med mycket vattenvegetation och djupa höljor	0.070	[0.050; 0.080]
Mycket vattenvegetation, djupa höljor, buskar och träd längs kanterna	0.100	[0.075; 0.150]

Mannings ekvation har fördelen att den är enkel att använda och visar hur variablerna flöde, lutning, råhet och djup förhåller sig till varandra. Om exempelvis Mannings tal ökar (råheten ökar) så säger ekvationen att vattendjupet ökar om allt annat är oförändrat. Om lutningen ökar säger ekvationen att vattendjupet minskar om allt annat är oförändrat.

Den största osäkerheten i beräkningar av flödeskapacitet med Mannings ekvation är relaterad till Mannings tal. Även med en detaljerad fysisk beskrivning av bottenmaterial, vegetation med mera brukar det vara svårt att sätta ett korrekt värde. För noggrannare beräkningar krävs alltid mätdata inom relevant flödesintervall för kalibrering. Vid mer komplicerade fall med stor skillnad i råhet och djup mellan olika delar av tvärsnittet och därmed stor skillnad i vattenhastighet över tvärsnittet behöver man ta till mer avancerade tvådimensionella beräkningsmetoder.

Avbödningskurva för likformig strömning

Ett vanligt sätt att beskriva flödeskapaciteten (avbördningskapaciteten) på en viss plats i ett vattendrag är att pricka in samhörande värden på flöde och vattendjup (eller vattennivå) i ett diagram, se Figur 17. Detta brukar kallas för avbördningskurva.



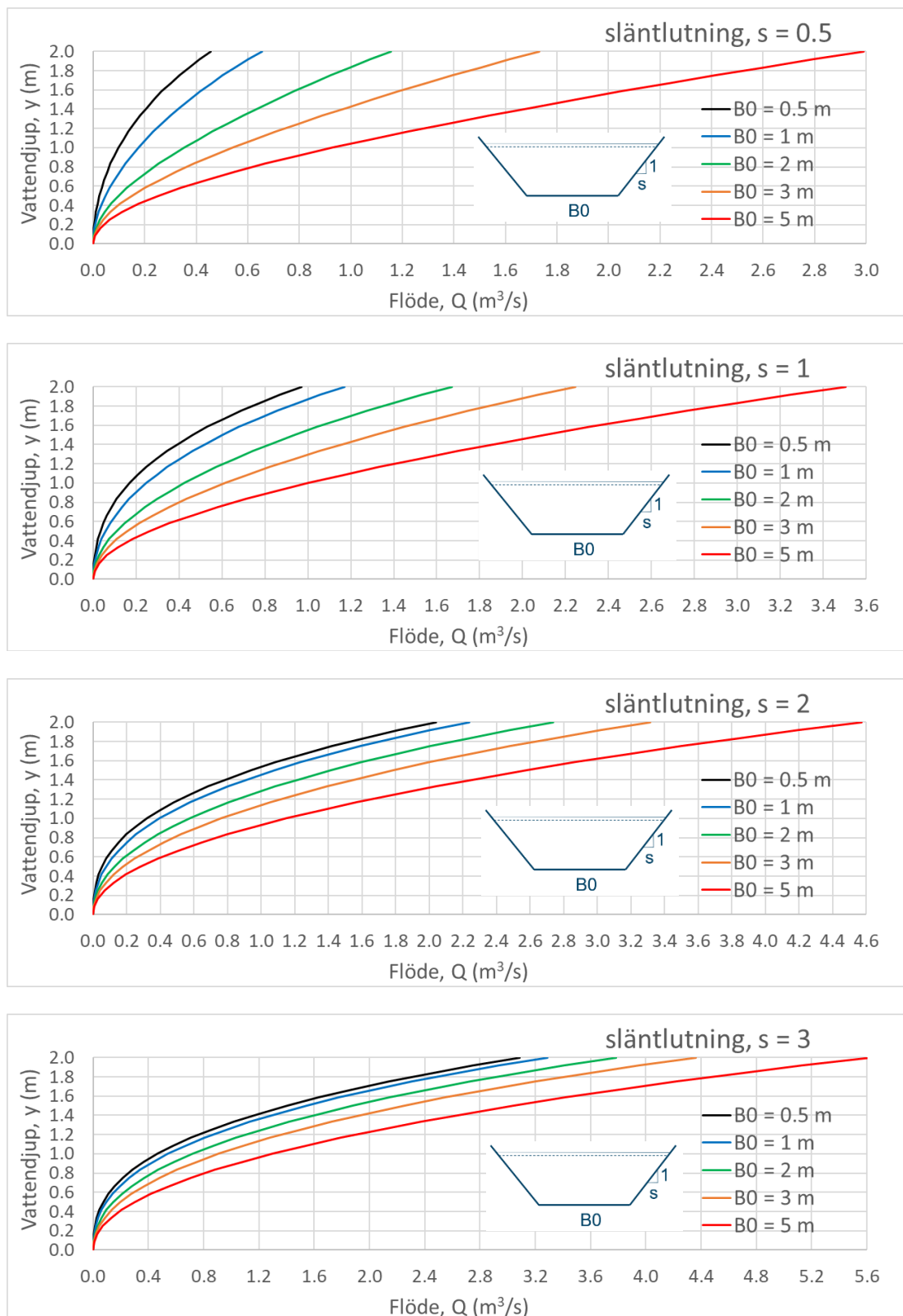
Figur 17. Illustration av avbördningskurva som beskriver sambandet mellan flöde och vattendjup (eller vattennivå) för en tvärsektion.

En avbördningskurva kan tas fram genom mätningar av vattendjup (eller vattennivå) och flöde, eller beräkningar med Mannings ekvation. En bra metod är att kombinera mätningar och beräkningar eftersom friktionsparametern (Mannings tal) är svår att uppskatta med någon större noggrannhet enbart utifrån en fysisk beskrivning av vattendraget. Med några mätpunkter inom relevant flödesintervall kan friktionsparametern justeras in, vilket minskar osäkerheten i den beräknade avbördningskurvan avsevärt.

Figur 18 visar exempel på avbördningskurvor beräknade med Mannings ekvation för några olika trapetsformade typsektioner. I beräkningarna har bottenlutningen satts till $S = 0.01\%$ och Mannings tal till $n = 0.05$. Diagrammen kan användas för en första uppskattning av flödeskapaciteten när tvärsektionen kan approximeras med en trapetsformad typsektion och när tvärsektion, råhet och lutning är någorlunda konstanta på en längre sträcka. Variabelvärdena representerar då medelvärden för sträckan. Det valda värdet på Mannings tal (0.05) är ganska typiskt för flacka vattendrag, men variationen är stor. För andra värden på Mannings tal (se Faktaruta Mannings ekvation) och annan bottenlutning justeras sambanden i Figur 18 enligt följande: Vid givet vattendjup avläses flödet i diagrammet, varefter flödet multipliceras med faktorn $n_{\text{kor}} = 0.05/n$, där n är det aktuella värdet på Mannings tal, samt faktorn $S_{\text{kor}} = 100\sqrt{S}$, där S är den aktuella bottenlutningen. Vid givet flöde divideras flödet med n_{kor} samt S_{kor} , varefter motsvarande vattendjup avläses ur diagrammet.

En avbördningskurva definierar vattendragets lokala flödeskapacitet vid ett visst tillfälle. Den kan därför fungera som en referens vid uppföljning av förändringar i flödeskapaciteten över tid på grund av förändringar som sker i vattendraget. Platser där flödeskapaciteten följs upp (kontrollstationer) bör väljas så att vattennivån inte påverkas av förhållanden längre nedströms i vattendraget, exempelvis en närliggande kulvert eller tröskel som dämmer. Hur stort avståndet bör vara diskuteras under avsnittet om olikformig strömning nedan.

Avbördningskurvor för kontroll av flödeskapaciteten bör inte blandas ihop med avbördningskurvor som används vid mätningar av flöden i vattendrag genom nivåmätning. Sådana mätningar sker så gott som alltid strax uppströms en så kallad bestämmande sektion, där avbördningskurvan främst är styrd av sektionens geometri och är mycket mindre påverkad av friktionsförluster. Bestämmande sektioner beskrivs längre fram.

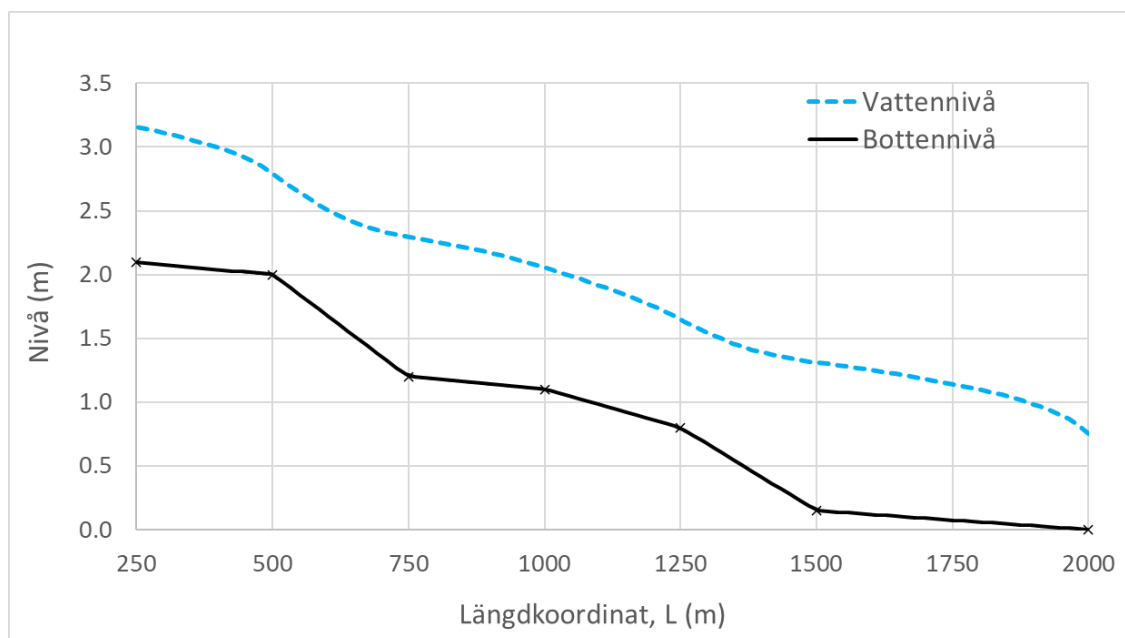


Figur 18. Beräknade avbördningskurvor med Mannings ekvation för trapetsformad typsektion för olika bottenbredd (B0) och släntlutning (s). Diagrammen gäller för Mannings tal, $n = 0.05$ och bottenlutning, $S = 0.01\%$. För andra värden på n och S justeras flödet enligt beskrivningen i texten.

Olikformig strömning

I naturen är likformig strömning ovanligt eftersom tvärsektionens fysiska egenskaper och bottenlutningen sällan är konstanta någon längre sträcka i taget. Det betyder att vattendjupet inte hinner ställa in sig på det naturliga djupet innan förhållandena ändras. Istället kommer djupet, arean och medelhastigheten att variera längs vattendraget. Det gäller även om flödet är konstant på sträckan. Denna situation är normalfallet i naturliga vattendrag och kallas för olikformig strömning.

I Figur 19 visas ett beräkningsexempel där flödet och tvärsektionens egenskaper är konstanta längs hela sträckan, men där bottenlutningen ändras med så korta intervall att djupet aldrig hinner ställa in sig på det naturliga vattendjup som motsvarar den lokala bottenlutningen. En liknande effekt skulle man se om någon annan variabel hade ändrats, exempelvis vattendragets bredd eller bottenråheten. Vid olikformig strömning kommer vattenytans lutning i längdled inte längre att vara lika med bottenlutningen, utan kan vara både större och mindre. Bottenprofilen kan också vara horisontell eller luta uppåt kortare sträckor i strömriktningen, medan vattennivån ändå alltid faller.



Figur 19. Illustration av begreppet olikformig strömning. Vattenytans lutning skiljer sig från bottenlutningen.

Den viktigaste omständigheten vid olikformig strömning är att vattennivån på en viss plats i vattendraget inte bara beror av de lokala förhållandena, utan även av uppströms- eller nedströmsförhållandena. Den vanligaste situationen är att påverkan sker från nedströmssidan mot uppströmssidan. Det kallas för subkritisk strömning och är den situation som illustreras i Figur 19.

Notera i Figur 19 hur vattennivån påverkas från nedströmssidan inom varje delsträcka med konstant lutning. Med början längst ner ökar vattendjupet från ca 0.75 m vid $L=2000$ m till 1.15 m vid $L=1500$ m. Där ändras bottenlutningen och djupet minskar till 0.8 m vid $L=1250$ m. Därefter ökar djupet till 0.95 m vid $L=1000$ m o.s.v. På delsträckor där djupet ökar i riktning uppströms är den lokala flödeskapaciteten lägre (naturliga djupet högre) än vad som motsvarar djupet längst ner på delsträckan. På delsträckor där djupet minskar i riktning uppströms är den lokala flödeskapaciteten högre (naturliga djupet lägre) än vad som motsvarar djupet längst ner på delsträckan.

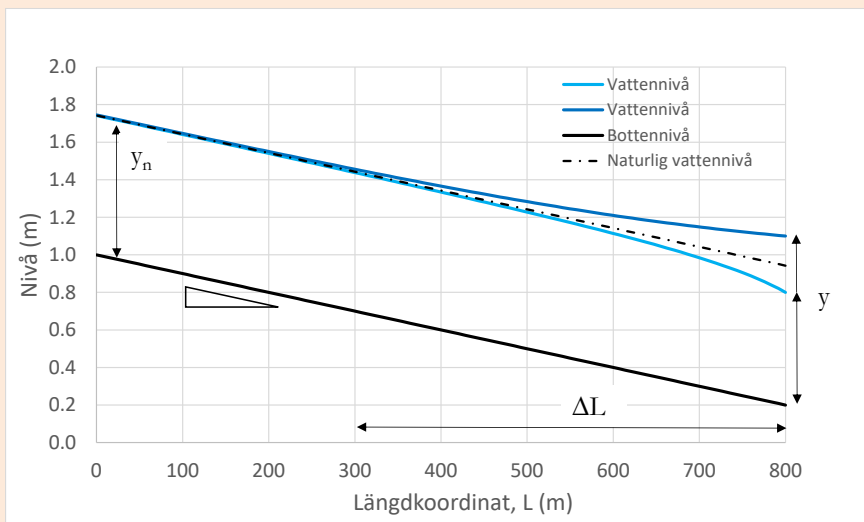
Den här påverkan från nedströmssidan mot uppströmssidan som man får vid subkritisk strömning kallas ibland för "bakvatten" (se Faktaruta Bakvatten). Som exemplet i Figur 19 visar kan bakvatten-effekten antingen betyda att vattenytan lyfts upp eller dras ner genom påverkan från nedströmssidan.

Faktaruta: Bakvatten

Ett vanligt problem vid olikformig subkritisk strömning handlar om att bedöma påverkansområdet på grund av "bakvatten". Figuren nedan visar en delsträcka av ett vattendrag med konstanta förhållanden (konstant tvärsektion, råhet och lutning). Längst ner avviker djupet från det naturliga vattendjupet. Orsaken kan till exempel vara att vattennivån är styrd av en närliggande bestämmande sektion som antingen lyfter upp (dammtröskel) eller drar ner (forsnacke) vattenytan. En annan situation är ett utlopp i en sjö eller i havet där vattennivån styrs av andra faktorer, utan någon koppling till förhållandena i vattendraget. Det kan också handla om att vattennivån längst ner på sträckan är påverkad av någon förändring i flödeskapaciteten nedströms, till exempel en lokal begränsning som en kulvert eller en förändring av tvärsektionen, råheten eller lutningen. Oavsett vad som styr vattennivån längst ner på delsträckan kan bakvatten-längden (ΔL) uppskattas från djupet (y) längst ner och bottenlutningen (S) med följande approximativa formel (Samuels, 1989):

$$\Delta L = 0.7y/S$$

Bakvatten-längden (ΔL) definieras som den sträcka man behöver förflytta sig uppströms i vattendraget för att avvikelser från det naturliga vattendjupet (y_n) ska bli mindre än 10 % av avvikelserna längst ner på delsträckan. Det betyder att efter avståndet ΔL har bakvatten-effekten praktiskt taget försvunnit. Man kan också visa att på avståndet $\Delta L/2$ har avvikelserna från det naturliga vattendjupet (y_n) minskat till 30 % av avvikelserna längst ner. Formeln gäller approximativt både då $y < y_n$ och $y > y_n$ för djup upp till maxdjupet i åfåran ("bankfull"-djupet).



Formeln ovan indikerar att bakvatten-längden ökar med ökat djup och minskad bottenlutning. I flacka vattendrag kan således en lokal förändring av vattennivån påverka vattennivåerna en lång sträcka uppströms. Påverkansområdet för hydromorfologiska effekter av en vattennivåändring kan dock sträcka sig ännu längre uppströms än den direkta hydrauliska effekten.

Subkritisk strömning betyder lugnflytande förhållanden och innebär att strömhastigheten är låg i förhållande till djupet så att vattennivåer nedströms kan fortplanta sig mot strömriktningen och påverka vattennivåerna uppströms. Den motsatta situationen med påverkan från uppströmssidan mot nedströmssidan kallas för superkritisk strömning och kan översättas med ”snabbflytande” eller ”forsande” vatten. I naturliga vattendrag råder superkritisk strömning på sträckor där bottenlutningen överstiger ungefär 1 %. I övrigt kan man räkna med att man har subkritisk strömning och att vattennivåerna påverkas från nedströmssidan.

Bestämmande sektion

Av särskild betydelse är platser i vattendraget där det sker en övergång från subkritisk till superkritisk strömning. Vid övergången säger man att strömningen är kritisk och sektionen där detta inträffar kallas för en bestämmande sektion. Bestämmande sektioner brukar vara ganska lätta att lokalisera eftersom vattenhastigheten ökar markant samtidigt som vattenytan faller snabbt nära den bestämmande sektionen. Som en ”tumregel” gäller i en bestämmande sektion att $V \approx 3\sqrt{H}$, det vill säga att medelhastigheten (m/s) är ungefär 3 gånger roten ur hydrauliska medeldjupet (m). Det betyder även vid små vattendjup att hastigheten är hög i en bestämmande sektion. Nedströms den bestämmande sektionen råder superkritiska förhållandena ($V > 3\sqrt{H}$) en viss sträcka, innan strömningen återgår till att vara subkritisk ($V < 3\sqrt{H}$). Vid övergången tillbaka till subkritisk strömning får man ett mer eller mindre tydligt vattensprång, kraftig virvelbildning och ofta lokal erosion.

Typiska platser för bestämmande sektioner är vid en forsacke precis före en brantare sträcka, se Figur 20 *Figur*, eller vid en lokal förhöjning av botten (tröskel). Bestämmande sektioner kan även uppstå vid en kraftig minskning av vattendragets bredd, till exempel vid inloppet till en smal kulvert eller där ett hinder blockerar större delen av tvärsektionens area.



Figur 20. Exempel på bestämmande sektion vid övergång till en brantare sträcka. Bilden är tagen i riktning mot strömmen. Notera de karaktäristiska stående vågor som uppstår precis före den brantare delen i förgrunden. I bakgrunden råder subkritisk strömning (lugnflytande förhållanden).

I den bestämmande sektionen är vattennivån styrd av ett lokalt samband mellan vattennivå, sektionens geometri (tröskelnivå) och flödet. Ju större flödet är desto större blir djupet och vattennivån i den bestämmande sektionen. Varken uppströms- eller nedströmsförhållandena i vattendraget har någon påverkan på detta samband. I stället är det den bestämmande sektionen som styr vattennivån både på uppströms- och nedströmssidan. Det innebär speciellt att förhållanden nedströms den bestämmande sektionen inte kan påverka förhållanden uppströms. I vissa fall kan dock låga trösklar som fungerar som bestämmande

sektioner vid låga flöden bli dämnda vid höga flöden på grund av någon begränsning i kapaciteten längre nedströms. Då upphör den låga tröskeln tillfälligt att fungera som bestämmande sektion och nivåerna nedströms tröskeln ger bakåtdämning till uppströmssidan.

Om vattendraget är mycket flackt uppströms den bestämmande sektionen påverkas vattennivån en lång sträcka uppströms, ibland hela vägen till nästa bestämmande sektion. Vid kartering av vattendrag är det viktigt att lokalisera bestämmande sektioner och skaffa sig kunskap om hur dessa påverkar förhållandena i vattendraget, både hydrauliskt och hydromorfologiskt.

Lokala energiförluster

Lokala energiförluster uppstår där strömförhållandena i vattendraget ändras plötsligt, vilket leder till virvelbildning (turbulens) och extra energiförluster. Det kan exempelvis bero på att tvärsektionens area eller form ändras, att en del av tvärsektionen blockeras av något hinder, att vattendraget har en skarp krök eller att vattnet leds med förhöjd hastighet genom en kulvert eller vägtrumma. Som tidigare har nämnts är lokala energiförluster ofta koncentrerade till områden där det sker en övergång från högre till lägre vattenhastighet.

En lokal energiförlust ger upphov till en lokal höjning av vattennivån i tvärsektionen, vilken fortplantas uppströms vid subkritisk strömning enligt tidigare resonemang. Från ett markavvattnings- och underhållsperspektiv är det viktigt att kunna göra rimliga uppskattningar av storleken på lokala energiförluster, utöver det generella strömningsmotståndet som domineras av friktionen mot botten och kanter. Sett över längre sträckor har lokala energiförluster i regel liten betydelse för flödeskapaciteten i förhållande till det generella strömningsmotståndet i vattendraget. I flacka vattendrag med underdimensionerade eller igensatta trummor som blir dämnda (helt fyllda) vid höga flöden kan dock lokala energiförluster i trummor få relativt stor betydelse för den totala flödeskapaciteten.

För enstaka hinder som till exempel större stenar eller stockar som vattnet kan strömma runt eller över blir den lokala höjningen av vattennivån i tvärsektionen i praktiken ofta försumbar. Överslagsberäkningar visar att för att höja vattennivån i tvärsektionen med mer än omkring 1 cm vid vattenhastigheter mot hindret som understiger ca 0.5 m/s så krävs det att hindret blockerar minst 30 % av tvärsektionens area (se Faktaruta Lokal nivåhöjning vid strömning runt hinder). Om blockeringen är begränsad till en grund del av tvärsektionen (nära kanten) eller till ett område nära botten kan man anta att vattenhastigheten mot hindret i normala fall är betydligt lägre än så. Vid påverkan på flödesmönstret brukar det också ske en viss självjustering av tvärsektionen genom lokala erosionsprocesser så att sektionen efter ett tag antar en mer optimal hydraulisk form, vilket minskar de lokala energiförlusterna. Notera att den lokala höjning av vattennivån som diskuteras här avser den genomsnittliga höjningen för hela tvärsektionen, vilket är den höjning som har betydelse för flödeskapaciteten och är relevant vid beräkning av uppströms påverkan. Den genomsnittliga nivåhöjningen i tvärsektionen ska inte förväxlas med den mycket lokala och ofta större höjningen av vattenytan som kan observeras alldeles intill hindret på uppströmssidan.

Faktaruta. Lokal nivåhöjning vid strömning runt hinder

Följande approximativa formel kan användas för att uppskatta den genomsnittliga höjningen av vattennivån i tvärsektionen på grund av enstaka hinder som vattnet tvingas strömma runt eller över, exempelvis en större sten eller en stock. Formeln förutsätter att subkritisk strömning råder i vattendraget både vid hindret och upp/nedströms, samt att medelhastigheten i tvärsektionen är relativt låg. Detta villkor kan uttryckas med ”tumregeln” $V < \sqrt{H}$, det vill säga medelhastigheten (m/s) är mindre än roten ur hydrauliska medeldjupet (m), vilket ofta är uppfyllt med god marginal i flacka lugnflytande vattendrag. Höjningen (Δy) av vattennivån kan då uppskattas med formeln (Fenton, 2015):

$$\Delta y = C \frac{v^2}{2g} \left(\frac{a}{A} \right)$$

Δy = genomsnittlig höjning (m) av vattennivån i tvärsektionen p.g.a. det extra motstånd som uppstår vid strömning runt hindret.

v = lokala vattenhastigheten (m/s) i strömmen som träffar hindret, varierar beroende på var i tvärsektionen hindret är placerat, generellt lägre nära botten och kanter, högre nära ytan i mitten av vattendraget.

g = tyngdaccelerationen ($\approx 10 \text{ m/s}^2$).

C = en dimensionslös koefficient som tar hänsyn till motståndet när vattnet tvingas strömma runt hindret, beror av formen och har oftast ett värde mellan 1 och 2.

a/A = förhållandet mellan hindrets area (a) sett i strömriktningen och tvärsektionens area (A), d.v.s. a/A anger hur stor andel av tvärsektionens area som blockeras av hindret. Formeln kan tillämpas för en blockeringsgrad upp till åtminstone 30 %.

I tabellen nedan ges exempel på höjningen (enhet: m) av vattennivån i tvärsektionen vid olika hastighet (v) och blockeringsgrad (a/A). Koefficienten C har satts till 2 (konservativt val). Om hastigheten i vattendraget är jämnt fördelad i tvärled och hindrets höjd ungefär motsvarar vattendjupet så blir den lokala hastigheten (v) mot hindret ungefär lika med medelhastigheten (V) i tvärsektionen. Vid flera hinder i bredd och jämn hastighetsfördelning kan arean (a) bytas ut mot summan av arean (sett i strömriktningen) för samtliga hinder.

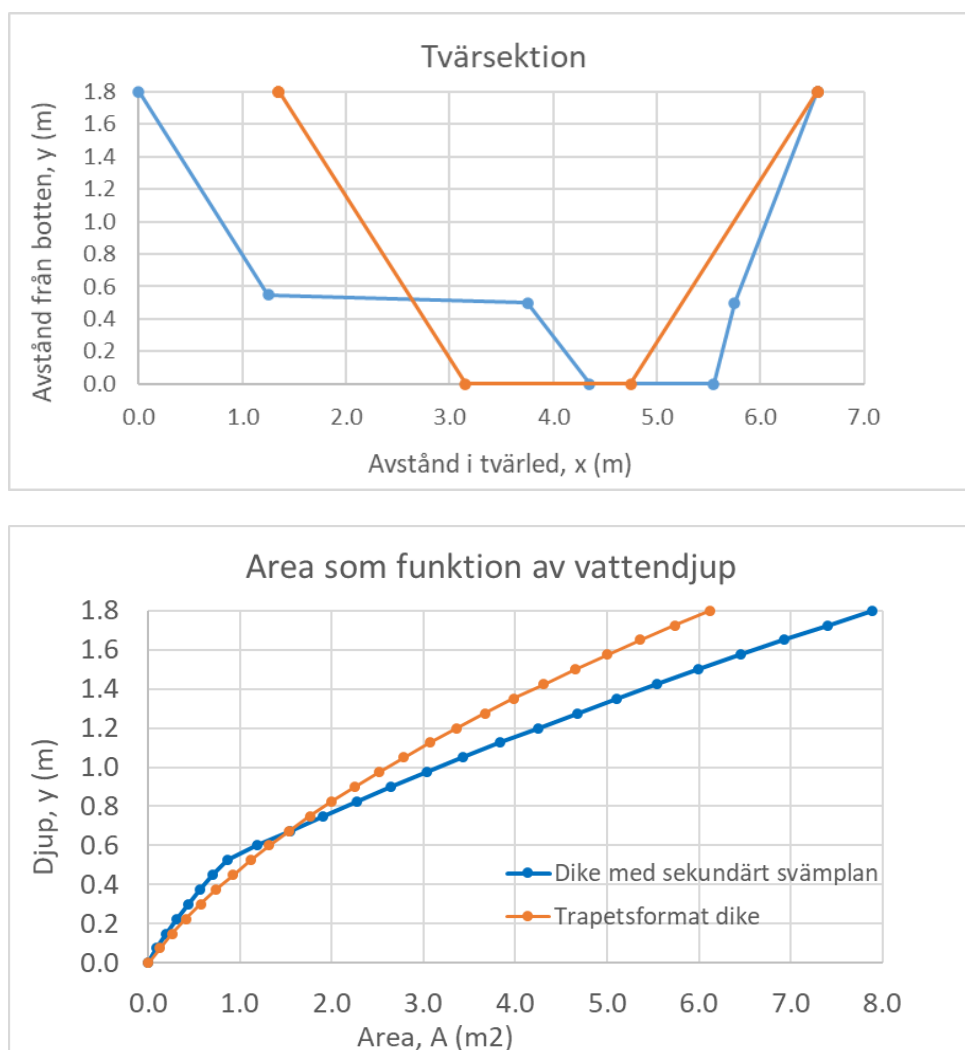
Hastighet, v	Blockeringsgrad, a/A			
	5 %	10 %	20 %	30 %
0.2 m/s	<0.001	<0.001	0.001	0.001
0.5 m/s	0.001	0.003	0.005	0.008
0.7 m/s	0.002	0.005	0.010	0.015
1.0 m/s	0.005	0.010	0.020	0.030

Förändring av hydraulisk kapacitet efter utveckling av sekundärt svämplan

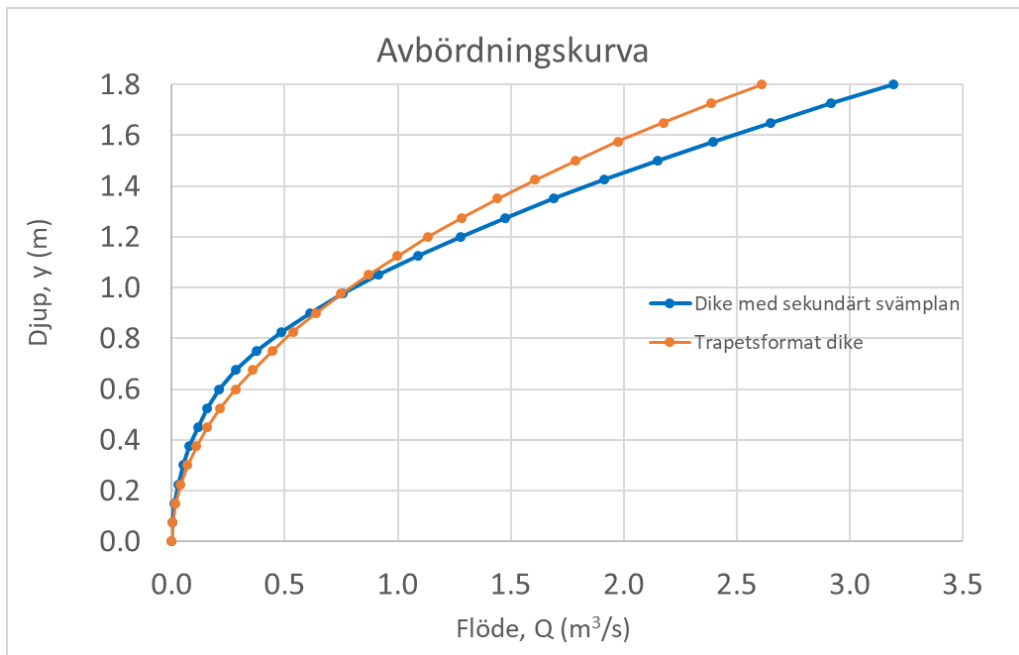
Som tidigare har beskrivits (Figur 9) sker kontinuerligt förändringar i tvärsektionerna genom morfologiska processer i vattendraget. Detta är särskilt tydligt när vattendraget strävar efter att återgå till ett jämviktsläge efter uträtning eller rensning. Förändringar i tvärsektionens form påverkar även den hydrauliska kapaciteten. Med utgångspunkt från konceptmodellen för ett dikes utveckling från ett trapetsformat, förstorat och fördjupat dike (Figur 9, Steg 2) till en mer naturlig och stabilare sektion med smalare djupfåra och sekundärt svämplan (Figur 9, Steg 5) gäller generellt att kapaciteten minskar vid låga flöden och ökar vid höga flöden. Detta är en följd av den naturliga anpassningen av tvärsektionens storlek och form till de hydromorfologiska förutsättningarna i vattendraget.

För att illustrera hur kapaciteten ändras efter utveckling av sekundärt svämplan har avbördningskurvor beräknats för sektionerna i Figur 21. Beräkningarna har i detta fall gjorts med en variant av Mannings ekvation som delar upp tvärsektionen i flera parallella delar och beräknar flödet separat för varje del, varefter delflödena adderas. Detta ger en mer korrekt beskrivning flödeskapaciteten när vattnet når över svämplanet.

Resultatet i Figur 22 visar att vattendjupet i detta exempel ökar med som mest 0.1 m vid låga flöden och vattennivåer under svämplanets nivå (kapaciteten minskar). Med ökande flöden och nivåer över svämplanets nivå minskar istället vattendjupet (kapaciteten ökar) på grund av den större tillgängliga arean.



Figur 21. Exempel på tvärsektioner före och efter utveckling av sekundärt svämplan i trapetsformat dike. Geometri överst och area underst.



Figur 22. Beräknade avbördningskurvor före och efter utveckling av sekundärt svämplan. Mannings tal, $n = 0.05$ och bottenlutning, $S = 0.05$ %.

Kartläggning av hydrauliska förhållanden

För kartläggning av hydrauliska förhållanden längs en vattendragssträcka krävs mätningar av tvärsektioner och strukturer (naturliga och anlagda). Principen vid mätningar bör vara att dela in den aktuella sträckan i delsträckor med hänsyn till var det sker större förändringar i tvärsektion, råhet eller lutning, var strukturer och bestämmande sektioner är lokaliserade, var biflöden ansluter och så vidare. Därutöver dokumenteras tecken på erosion och sedimentation, typ av bottensediment, ojämnheter i botten och kanter, samt typ och status för vegetation. I samband med mätning av tvärsektioner är det bra att även mäta in vattenytans nivå och om möjligt uppskatta flödet i vattendraget vid mätpunkten.

Data från mätningar enligt ovan utgör en grund både för dokumentation av vattendragets status och för analyser av hydrauliska förhållandena. De hydrauliska samband och formler som har beskrivits ovan kan användas för att göra en första uppskattning av den hydrauliska kapaciteten längs den aktuella sträckan, samt identifiera eventuella åtgärdsbehov. I samband med planering av åtgärder kan mer detaljerade hydrauliska analyser och även modellberäkningar användas som underlag för val av åtgärder och prioriteringar mellan åtgärdsalternativ.

7. Statusklassning och miljö kvalitetsnormer för vatten

Svensk vattenförvaltning är ett samlingsnamn för olika myndigheters och kommuners arbete med vatten. Vattendirektivet (2000/60/EG) har införts för att säkra en långsiktigt hållbar vattenförvaltning inom Sverige och övriga EU. Vart 6:e år fastställs en förvaltningsplan för vattenmiljöer som är utpekade som vattenförekomster. I förvaltningsplanen redovisas tillståndet i vattenförekomsterna utifrån analyser och undersökningar som genomförts de senaste åren. Målet för att åtgärda påverkan fastställs för alla vattenförekomster i form av tidsatta miljö kvalitetsnormer. De specifika miljö kvalitetsnormerna är juridiskt bindande. Statliga myndigheter och kommuner är ansvariga för att normerna följs. Grundläggande i vattendirektivet är att det inte får ske någon försämring av vattenkvaliteten.

Inom ramen för vattenförvaltningen pekar vattenmyndigheten ut vattenförekomster som statusklassas vart 6:e år. Utifrån olika faktaunderlag klassas vattenförekomsternas kemiska och ekologiska status. Faktaunderlagen kan vara till exempel flödesmätningar, karteringar av vattendragen och deras omland, vattenprovtagningar, olika inventeringar av djur- och växtlivet.

I arbetet med att ta fram en underhållsplan för ett markavvattningsföretag är den ekologiska statusen av särskilt intresse. Olika fysikalisk-kemiska och hydromorfologiska kvalitetsfaktorer används för att bedöma den ekologiska statusen i vattenförekomsten. Markavvattningsföretagets verksamhet har stor påverkan på framför allt de hydromorfologiska kvalitetsfaktorerna. Genom att skaffa kunskap om de hydromorfologiska kvalitetsfaktorerna för vattenförekomsten kan underhållet av vattenanläggningen anpassas så vattnets status inte försämras.

Här nedan beskrivs de olika hydromorfologiska kvalitetsfaktorer kortfattat.

- Konnektivitet i vattendrag beskriver djurs och växters möjligheter att röra sig och sprida sig upp- och nedströms i ett vattendrag. Konnektivitet i sidled är ett mått på om det finns översämningsytor längs vattendraget som regelbundet kan svämma över.
- Hydrologisk regim beskriver flöde och vattenståndsförändringar i vattendraget.
- Morfologiskt tillstånd beskriver vattendragets fysiska form till exempel djup, bredd, bottensubstratets sammansättning samt förekomst av svämplan. Här bedöms även erosions- och sedimentationsförhållanden och förekomst av död ved.

Mer information finns på vattenmyndighetens hemsida.

8. Referenser

- <https://www.lansstyrelsen.se/skane/miljo-och-vatten/vattenforvaltning/vardefulla-vatten.html>
- Jordbruksinformation 2018–1. Underhåll ditt dike för ett rikare odlingslandskap.
- Jordbruksinformation 2020–5. Förvaltning av vattenanläggningar – ibland genom en förordnad syssloman.
- Jordbruksverkens studievägledning (2018). Aktiv förvaltning och underhåll av enskilda och samfällda diken.
- Länsstyrelsen i Jönköpings län (2017). Biotopkartering vattendrag Metodik för kartering av biotoper i och i anslutning till vattendrag.
- Buffington J. M. & Montgomery D. R. (2013). Geomorphic Classification of Rivers.
- Chow, V.T. (1959). Open-Channel Hydraulics. McGraw Hill, New York.
- Fenton, J.D. (2015). Basic Physical Processes in Rivers, Chapter 1 in Rivers – Physical, Fluvial and Environmental Processes, (eds) Pawel Rowiński and Artur Radecki-Pawlik, Springer.
- Samuels, P.G. (1989). Backwater lengths in rivers, Proceeding of the Institution of Civil Engineers, Part 2, 87, 571–582.
- <https://www.vattenmyndigheterna.se/>
- Nordblom, O. & Lindström, C. 2020. Litteraturgenomgång; Vägledning och verktyg för miljöanpassat underhåll av markavvattningsföretag. DHI Sverige AB och Naturcentrum AB i pdf-rapport till länsstyrelsen i Skåne. 14 sidor