

Död ved och dess påverkan på hydromorfologin med exempel från Helge å



LÄNSSTYRELSEN
I KRONOBERGS LÄN

Innehållsförteckning

Innehållsförteckning	2
<i>Förord</i>	4
<i>Sammanfattning</i>	5
Död ved och hydromorfologin	6
<i>Vad menas med död ved</i>	7
<i>Tillförseln av död ved till fåran</i>	8
<i>Effekten av död ved på strömningen i vattendraget</i>	10
Mannings ekvation	15
<i>Vid vilket flöde börjar en trädstam röra på sig?</i>	17
<i>Dämningseffekten</i>	19
<i>Påverkan på sedimenttransporten</i>	20
<i>Påverkan på översvämningsrisk</i>	21
När uppstår översvämningar	22
Rensa död ved eller inte?	23
Översvämningsdirektivet och död ved	25
Analys av träd och död ved i Helge å	27
<i>Syfte</i>	27
<i>Plats</i>	27
<i>Metod</i>	29
<i>Flödesmätningar kring träd i fåran</i>	29
Träd 1	29
Träd 2	32
<i>Utvecklingen från stående träd till död ved i vattendraget</i>	34
Strömningen runt träd i vattnet	35
Analys av ökad mängd död ved i Helge å	37
<i>Metod</i>	37
<i>Påverkan från stenvalsbron till Tornasjön</i>	37
Lågvattenflöde	38
Högvattenflöde	40
<i>Trädets storlek</i>	40
<i>Avstånd mellan trädstammar i fåran</i>	41
<i>Skjuvspänning från botten jämfört med träden</i>	42
<i>Trädets vinkel mot flödesriktningen</i>	44
Förslag till åtgärdsprogram för död ved i Helge å	46
<i>Allmänt för länet</i>	46
<i>Helge å</i>	46

Byvärma till Tornasjön.....	46
Kråka kanal.....	46
Skepphultasjön till Bökönsjön.....	47
Bökönsjön till Gustavsfors.....	48
Gustavsfors till Delarymagasinet	48
Referenser	49

Förord

I samband med inventeringar i Helge å 2007 noterades att död ved var mycket begränsad i fåran, men att det fanns potential att på sikt tillföra mer död ved. En viktig fråga för den långsiktiga skötseln av delsträckorna är om död ved ska få utvecklas fritt eller om det behövs rensningar för att inte öka risken för översvämningar runt Möckeln.

Länsstyrelsen i Kronobergs län har gett Johan Kling, Envicarta Naturgeografisk konsult i uppdrag att utvärdera effekten av död ved på de hydro-morfologiska processerna i Helge å. Målsättningen är att rapporten ska utgöra underlag för åtgärdsprogram i första hand för Helge å men även andra vattendrag inom Kronobergs län.

Länsstyrelsen har inte tagit ställning till innehållet i rapporten utan Envicarta ansvarar ensam för det som framförs i rapporten.

Länsstyrelsen i Kronobergs län

Död ved och dess påverkan på hydromorfologin med exempel från Helge å

ISSN 1103-8209, meddelande nr 2009:19

Text och redigering: Johan Kling, Envicarta Naturgeografisk konsult

Bild: Johan Kling

Sammanfattning

Död ved i vatten har sällan analyserats avseende påverkan på hydromorfologin trots att just detta är en viktig anledning till att man vill rensa vattendrag. Eftersom död ved i vattendrag fyller en viktig funktion för såväl hydromorfologin som biologisk mångfald och att många vattendrag har en brist på död ved, finns det ett intresse att öka mängden död ved. Även om effekterna i huvudsak är positiva finns det osäkerhet kring om detta leder till ökad översvämningsrisken. En genomgång av nationella och internationella publikationer kring död ved och påverkan på hydromorfologin visar att det finns relativt få undersökningar i fält i jämförelse med den biologiska nyttan av död ved. Det finns därför behov av att undersöka effekten av död ved i framförallt finkorniga vattendrag.

Död ved tillför ökat friktionsmotstånd i fåran vilket i sin tur påverkar både vattenstånd och flöde. Rapporten ger flera exempel hur dessa effekter kan beräknas. I många fall innebär mer död ved att vattenståndet ökar något och att flödet bromsas. För sedimenttransporten betyder död ved att mer sediment hålls kvar i fåran. Undersökningar visar att flera hundra års sedimenttransport kan hållas kvar i fåran genom död ved. Regelbundna rensningar av död ved kan därför få stora konsekvenser nedströms genom att sediment snabbare förflyttas nedströms till en delsträcka som domineras av deposition och därmed skapar ökad översvämningsrisk.

I syfte att förstå hur flödet strömmar runt nedfallna träd genomfördes mätningar på träd i Helge å vid Byvärma. Mätningarna visar att trädstammar har mycket liten effekt på flödet även vid lågvattenföring då effekten borde vara som störst. Mätningar runt trädkronan visar på viss blockerande effekt även om två tredjedelar av flödet passerar rakt igenom kronan. Bakom trädkronan bildas en svans av turbulent vatten som avtar i omfattning nedströms. Under och bredvid kronan sker en betydande ökning i flödeshastighet vilket gör att den totala inbromsningseffekten blir relativt liten. Trädkronan kan antas vara en semipermeabel droppformat objekt i vattendraget. Fältbesök visar dock att effekten av kronan avtar snabbt med tiden genom att blad och små grenar bryts av. Redan efter ett år är det i princip enbart stamveden som tillför friktionsmotstånd och inbromsning av vattnet.

För att kunna analysera effekten av död ved i Helge å sammanställdes en beräkningsmodell. Som indata till modellen användes mätningar i fält. Analysen visar att den översta delen av Helge å kan vara känslig för större och fler träd i fåran. Längre nedströms är sedimenten grövre, vattendjupet större och flödeshastigheten lägre vilket leder till att friktionsmotståndet från träden är mycket liten i jämförelse med sedimenten. Analysen visar också att effekten av död ved är störst vid lågvattenföring. Effekten av nedfallna träd kan reduceras kraftigt om dessa förs in mot fårans kant.

Död ved och hydromorfologin

Rensning av död ved i form av delvis eller helt nedfallna träd i vattendrag har förekommit under lång tid i många av de svenska vattendragen. Orsakerna är många, från ökad framkomlighet, minskad översvämningsrisk, till minskning av riskerna för igensättning av rens-galler i vattenkraftverk. Det var inte ovanligt att samfälligheter bildades vid förra sekelskiftet för att genomföra gemensamma rensningar av vattendragen. I vissa fall har detta skrivits in i äldre vatten- eller häradsdomar. Med tanke på att kunskapen kring vattendrag är ofantligt mycket större idag än då rensningsföretagen kom till är det i många fall befogat att ompröva dessa och utvärdera dessa med dagens kunskaper kring processerna i vattendrag.

Forskning under det senaste årtiondet har dock förändrat bilden av betydelsen av död ved i frågan för vattendragets processer. Idag vet vi att död ved är en viktig komponent för akvatiska ekosystem, att det skapar fysiska strukturer som är nödvändiga för reproduktion av många organismer, att det är en viktig källa av organiskt material till vattendraget. Även på flodplanet är död ved en mycket viktig komponent. De fysiska processerna i vattendraget såsom sedimenttransport, erosion och deposition, vattendragets morfologi, vattenkvalité påverkas av död ved. Till exempel har man under lång tid ansett att flödesregimen i sig är den största orsaken till ett vattendrags form och funktion. Forskning under de senaste tjugo åren har emellertid visat att död ved har en betydligt större påverkan på vattendragets form och funktion än vad man tidigare har ansett.

Inom arbete med det nationella miljömålet, Levande vattendrag och sjöar, har man noterat att många vattendrag har en stor brist av död ved. En del av det kommande arbetet med att restaurera vattendrag kommer därför att fokuseras på att öka mängden död ved. En utmärkt genomgång av de positiva effekterna av död ved på de akvatiska ekosystemen finns bland annat i den nya boken Ekologisk restaurering av vattendrag (Naturvårdsverket, Fiskeriverket, 2008). Även inom arbetet med Ramdirektivet för vatten finns död ved med i bedömningsgrunder för hydromorfologi.

Alla mynt har emellertid en baksida och det gäller även död ved i vattendrag. Död ved ger en påverkan på såväl hydrologin som de geomorfologiska processerna och dess formelement. Vissa effekter av död ved kan till exempel öka risken för översvämnningar medan andra kan minska risken. Detta beror på vilken skala man betraktar effekten av död ved. Vid alla projekt där man avser att öka eller för den del, rensa bort död ved, måste man ta hänsyn till påverkan på hydromorfologin. Denna rapport syftar till att belysa effekterna av död ved på hydromorfologin, ge exempel hur dessa effekter

kan beräknas, samt belysa Helge å som exempel hur dessa faktorer kan tillämpas i ett praktiskt fall.

Vad menas med död ved

Det finns idag ingen standardiserad nomenklatur för död ved. I internationell litteratur brukar död ved delas in i död storved, *large woody debris*, och död finved, *fine woody debris*. Orsaken till en uppdelning i två storleksklasser är att dessa fyller olika funktion i vattendraget. Död storved brukar delas in i stammar, rotmassa och stora vedansamlingar. Död stor ved ska ha fallit i ett vattendrag och förekomma exponerat ovan vattenytan, under vattenytan men förankrat på stranden eller helt eller delvis under vattenytan med förankring i botten och sidor.

Det finns inte heller ett standardiserat mått på hur stor stamved ska vara för att klassas som död storved. Ett vanligt mått är att stamdiametern ska överstiga 10 cm på en längd av minst 200 cm. Stamved ska vara helt eller delvis avklippt från rotmassan. Det kan noteras att rapporten, Död ved i vattendrag (Degerman et al., 2005) användes en längd på 100 cm. För att definieras som rotmassa ska veden vara minst 200 cm lång med helt eller kvarvarande rotsystem. Kvarvarande stam ska ha en diameter av minst 20 cm vid basen till rotsystemet. Slutligen brukar en rotansamling definieras som en ansamling av tio eller fler stammar eller rotmassor som är i kontakt med varandra (Schuett-Hames et al., 1994). Även om död finved är en mycket viktig komponent i vattendrag har denna rapport fokuserat på död storved



Fig 1. En tät veddam i ett vattendrag. Orsaken i detta fall är inte bäver utan ytliga skred på vänstra sidan av bilden. Första intrycket är att denna damm borde ge stor dämmande effekt men vid lite närmare granskning kan man se att nivåskillnaden uppströms och nedströms dammen är bara 2 cm och uppbromsningen är relativt liten.

Tillförseln av död ved till fåran

I ett opåverkat vattendrag är det en naturlig process att död ved tillförs vattendraget om det växer skog längs fårans kanter. Tillförseln kan ske antingen genom en kontinuerlig tillförsel av ved tack vare att träd dör eller att träd blir underminerade, extrema händelser kopplade till stormar, massrörelser i sluttningar såsom ras, skred och slamströmmar eller kraftig erosion i samband med extrema flöden. Bäver är en "process" som ligger utanför ovanstående sätt att tillföra död ved, men har en fantastisk förmåga att tillföra ved till vattendragen, framförallt i form av veddammar. Bäverdammar fungerar i stort sätt som stora naturliga vedansamlingar. Även om bäverdammar kan ge lokal negativa effekter i form av dämning av vattnet och försumpning av omkringliggande marker, finns det många positiva effekter som också måste beaktas. Med tanke på att bäverpopulationen i Sverige har varit betydligt större under historisk tid är det inte osannolikt att många vattendrags geomorfologi har påverkats av bävvar. Dateringar av gamla bäverdammar har också visat att de kan finnas kvar i vattendraget i tusentals år om det inte sker rensningar.

Död ved kan förankras på den delsträcka som veden härstammar ifrån men kan också komma från uppströms liggande områden. Detta gäller framförallt mindre vedbitar som kan transporteras relativt långt nedströms innan de avsätts på botten eller i en ytterkurva. Delsträckor som idag inte har trädbevuxna kanter kan mycket väl innehålla död ved genom att uppströms liggande delsträckor är skogsbevuxna. Likaså kan delsträckor med skogsbevuxna kanter ändå innehålla begränsad mängd död ved genom att de hydromorfologiska förutsättningarna är sådana att delsträckan domineras av erosion och transport. I många fall kan det också vara värt att studera tidigare markanvändning genom historiska kartor, till exempel äldre skifteskartor, för att fastställa hur mycket död ved en delsträcka bör innehålla.

Skog på flodplanet nära fåran har naturligtvis en stor betydelse för denna tillförseln av död ved. Marsch et al. (2001), undersökte sex australiska vattendrag och fann ett linjärt samband mellan hur stor yta av fåran som var beskuggad av trädkronor och mängden död ved i vattnet. Ju större del av ytan som täcktes av trädkronor, desto mer död ved påträffades i fåran. Ovanstående samband ger en fingervisning kring hur mycket död ved som borde förekomma naturligt inom en given delsträcka av vattendraget, men också vikten att ha trädbevuxna buffertzoner längs vattendragen, i alla fall inom vissa delsträckor.

Trädens rotsystem spelar en viktig roll när hela träd tillförs fåran. Klibbal, som är anpassad till ett dynamisk flodplan med ytligt liggande grundvattenyta, skapar palissader av rötter vilka i sin tur skapar effektiva erosionskydd och en gedigen förankring i marken. Al har också en god förmåga att tränga igenom även täta lerlager eller stenrik mark, så kallad hög rotenergi,

och bildar grovrötter på relativt stort djup (von Leibundgut m.fl. 1963). Det krävs därför långvarig eller kraftig erosion innan en al faller ut i fåran. Död ved från al har också god förmåga att stå emot röta vilket gör att veden blir del av vattendragets morfologi under lång tid.



Fig 2. Död ved längs kanten av ett vattendrag. Många träd som fall i vattnet kommer att läggas sig på detta sätt längs fårans kant och bilda ett naturligt erosionsskydd. I denna form ger veden mycket liten effekt på strömningen i vattendraget.

Gran till skillnad mot al, har ett ytligt men utbrett rotsystem. Mängden rötter avtar i stort sätt exponentiellt med djupet och under 40 cm jorddjup finns sällan mer än 5 % av rotmassan (Rosengren och Stjernquist, 2004). I vattendränkta jordar, till exempel på flodplanet, ligger rotsystemet ännu grundare. Detta gör att gran som växer nära vattendraget lätt kan undermineras och falla ut i fåran. Eftersom gran dessutom har ett utbrett rotsystem följer även en stor areal, upp till 50 m², av det ytnära förnaskiktet med granar när de faller ut i fåran. Stora mängder med organiskt material tillförs vattendraget samtidigt som motsvarande markyta blottas för erosion genom ytavrinning och erosion i fårans kant. Även om gran är ett olämpligt trädslag på finkorniga flodplan är det inte ovanligt att se produktionsskog ända ut till fåran. I samband med senare års stormar föll ovanligt mycket träd ner i många vattendrag. Vid närmare granskning kan man se att många av dessa träd är just granar. De fåtal alträd som föll i fåran var ofta äldre träd, träd nära erosionsbranter i ytterkurvor eller träd som var drabbade av sjukdomar.

Mängden död ved som tillförs fåran är också beroende på ålder på skogen nära vattendraget. Grette (1985) visade från en studie från nordvästra USA

att tillskottet av död var blygsamt de första femtio åren men ökade därefter exponentiellt. Detta gällde såväl barrskog som lövskog. Samma resultat har också påvisats i Sverige (Degerman et.al, 2005). Ett orört vattendrag kan ha mer än hundra gånger mer död ved jämfört med områden som har avverrats under de senaste 30 åren. Om trädridåns bredd ökar, kommer även mängden död ved öka, framför allt om skyddszonen är mer än 30 meter bred (Degerman et.al. 2005). Även storleken på den döda veden som tillförs vattendraget ökar med ökad ålder på skogen.

Effekten av död ved på strömningen i vattendraget

Fårans form och friktionsmotstånd är viktiga faktorer för att bestämma samspillet mellan vattenföring och vattenstånd. I ett perfekt tillstånd motsvaras fårans form av ett U och friktionsmotståndet i botten och kanter är obefintligt. I en sådan situation kommer vattenståndet att visa ett perfekt samband med vattenflödet vid en given punkt i vattendraget. Sambandet leder till att man med god säkerhet kan förutsäga till exempel vid vilket flöde vattendraget når över fårans kanter. Naturen är sällan så perfekt och i verkligheten förekommer en betydligt mer komplex situation i och med att fårans form varierar och att friktionsmotståndet är påverkas av kornstorlek, bottenformer, vegetationen, m.m.

Död ved påverkar strömningen och vattenståndet i vattendraget. När ved i olika former tillförs fåran kommer den på sikt att följa med nedströms för att antingen sjunka och förankras i fårans botten och sidor, alternativt avsättas på bankar eller flodplanet vid högvattenflöden. Om veden förankras i fårans botten ändras det tredimensionella flödesmönstret i fåran. Vattnet måste helt enkelt strömma runt en trädstam, gren eller rotmassa vilket skapar divergerande och konvergerande flöden. Där flödet divergerar minskar flödes hastigheten vilket leder till att sediment avsätts i fårans botten och sidor. På de platser flödet går samman, konvergerar, ökar flödes hastigheten vilket leder till erosion.

Braudrick och Grant (2001), genomförde modellförsök med stammar och rotmassor för att studera interaktionen mellan hydrologin, fårans form, transportavstånd för död ved samt hur död ved deponeras i fårans botten. Försöken visade att trädstammar orienterar sig parallellt med flödesriktningen i fåran vilket är ett sätt för naturen att minimera friktionsmotståndet. Vanligtvis fastnade veden framför mittbankar och grundare områden där flödet naturligt divergerade eller i ytterkurvor i meanderbågar. Hur långt en trädstam förflytta sig i vattnet är relaterat med kvoten mellan trädets längd och fårans bredd. Ju längre vedbitar som faller i vattendraget ju längre transporteras dessa. Orsaken till detta samband är att längre död ved kräver högre flödes hastigheter för att komma i rörelse. Vid högre flödes situationer har vi också högre vattenstånd vilket leder tillsammans till att stamved och

rotmassor förflyttas längre. Långa träd som sträcker sig över mer än halva fårans bredd brukar vara stabila och ligga kvar under lång tid.

För att närmare analysera hur död ved kan påverka flödet och vattenståndet i ett vattendrag måste man förstå hur flödet och strömningen varierar i ett vattendrag. Flödet i en naturlig fåra minskar med djupet på grund av inre friktion i vattnet och friktion mot fårans botten och sidor. Ju närmare botten man kommer desto lägre flödes hastighet förekommer. Hur mycket flödes hastigheten minskar beror på friktionsmotståndet i fåran och eventuell turbulens i vattnet. Närmast botten är flödet oftast i det närmaste noll genom att ett laminärt gränsskikt bildas. Gränsskiktets tjocklek varierar från några millimeter i finkorniga vattendrag till decimetrar beroende på friktionsmotståndet när vatten flödar över fårans botten och sidor. Genom friktionsmotståndet bildas en skjuvspänning vilken är en motriktad kraft mot flödet. Om vi antar att skjuvspänningen är konstant kan vi beskriva flödes hastigheten från botten till ytan enligt följande:

$$(1.1) \quad \frac{U}{u_*} = \frac{1}{\kappa} \ln \left(\frac{h}{ez_0} \right)$$

där U är medelflödes hastighet, u_* är skjuvhastigheten, κ är von Karmans konstant (lika med 0,41), h är vattendjupet på den aktuella platsen och z_0 är råhetslängden. Om man har mätningar av flödes hastigheten i en profil från ytan till botten kan man relativt enkelt uppskatta både skjuvhastigheten och råhetslängden med hjälp av följande ekvation:

$$(1.2) \quad u_z = \frac{u_*}{\kappa} \ln \left(\frac{z}{z_0} \right)$$

där u_z är flödes hastigheten vid ett specifikt djup, z . Nästa steg i analysen är att plotta flödes hastighet mot djupet och anpassa en kurva till mätdata med hjälp av regression. Skjuvhastigheten kan beräknas med hjälp av kurvans lutning enligt följande ekvation:

$$(1.3) \quad u_* = \frac{\kappa}{\text{kurvans lutning}}$$

För att beräkna råhetslängden, z_0 använder vi den punkt där linjen skär y-axeln. Råhetslängden representerar den höjd över botten där flödes hastigheten är lika med noll. Slutligen för att beräkna skjuvspänningen:

$$(1.4) \quad \tau_0 = \rho u_*^2$$

Skjuvspänningen kan också beräknas om man har mätningar av vattenytans lutning enligt följande ekvation:

$$(1.5) \quad \tau_0 = \rho_w g R S$$

där γ är enhetvikten för vatten (9,81 N/m³), h är vattendjupet och S är vattenytans lutning.

För att studera effekten på bottenfauna används ofta en mer fysiskt relevant parameter, Nikuradse råhetslängd. I en perfekt turbulent miljö kan den beräknas som:

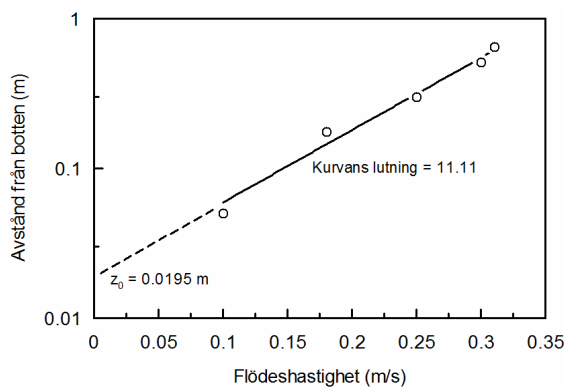
$$(1.6) \quad K_s \approx 30 \cdot z_0$$

Beräkningsexempel 1:

Flödesmätningar i Helge å ger följande flödesprofil från botten och till ytan. Vattentytans lutning vid tillfället var 2 cm/100 m. Vattendjupet var 67 cm vid tillfället:

5 cm: 0,10 m/s; 17,5 cm: 0,18 m/s; 30 cm: 0,25 m/s; 51 cm: 0,30 m/s; 64,5 cm: 0,31 m/s.

1. Plotta flödes hastigheten på x-axeln och djupet på y-axeln. Logaritmera Y-axeln så att det bildas en rät linje



2. Beräkna u_* genom κ /kurvans lutning= $0,41/11,11 = 0,037$ m/s
3. Beräkna z_0 genom att ta värdet från punkten där kurvan skär y-axeln = 0,0195 m
4. Beräkna $K_s = 30 \cdot 0,0195 = 0,59$ m
5. Beräkna $\tau_0 = 1000 \text{ kg/m}^3 \cdot (0,037 \text{ m/s})^2 = 1000 \cdot 0,037^2 = 1,369 \text{ N/m}^2$
6. Beräkna τ_0 med hjälp av ekv (1.5) = $9,81 \cdot 0,67 \cdot 0,0002 = 0,00131 = 1,31 \text{ N/m}^2$

Skillnaden mellan de två beräknade τ_0 beror troligen på att det är svårt att mäta vattentytans lutning tillräckligt noggrant.

När det gäller att utvärdera effekten av död ved i vattendraget är det friktionsmotståndet som är intressant. Mer död ved i vattendraget borde innebära större friktionsmotstånd och därmed större skjuvspänning och upp-bromsning av flödet. I ett vattendrag beror den totala skjuvspänningen av flera faktorer (Einstein och Banks, 1950):

$$(1.7) \quad \tau_0 = \tau_{GS} + \tau_{BF} + \tau_{DV} + \tau_{andra}$$

där τ_{GS} är skjuvspänning på grund av sedimenten, τ_{BF} är skjuvspänning från eventuella bottenformer, till exempel dyner och ripples samt τ_{DV} är skjuvspänningen som uppstår på grund av död storved i fåran. Den skjuvspänning som bildas tack vara död stamved, med andra ord trädstammar liggande i vattnet, kan utvecklas ytterligare (Clifford et al. 1992):

$$(1.8) \quad \tau_{DV} = \rho C_D^{app} \frac{H}{2L} U^2$$

där ρ är vattnets densitet, H är stamdiameter hos den döda veden, H är medelvattendjup i fåran, L är avståndet mellan enskilda trädstammar och U är flödehastigheten. C_D innebär Fannings friktionsfaktor och är en dimensionslös koefficient för att beskriva motståndet när vatten strömmar över botten och sidor i fåran. Precis som fårans botten och sidor gäller samma princip när vattnet strömmar runt en trädstam. Eftersom stamved har formen av en cylinder kan man ofta approximera C_D med Fannings friktionsfaktor för en cirkulär cylinder. För Reynolds tal under 10^4 , med andra ord delsträckor som har måttligt turbulent flöde, kan man använda C_D lika med 1,2. I strömsträckor med mycket turbulens är ett värde kring 0,3 mer likt verkligheten (White, 1988).

Orsaken till ett högre värde vid laminärt flöde är att det bildas ett lågtrycksområde bakom stammen med ett flöde riktat uppströms. Denna situation förekommer vid långsamflytande vattendrag med lågt friktionsmotstånd. När flödet och turbulensen ökar bildas det en svans av turbulens och virvelbildning som leder till att formen allt mer kan liknas vid en flygplansvinge. Mätningar av Fannings friktionsfaktor kring trädstammar visar dock på lägre värden än 1,1 även vid laminärt flöde. Detta beror på att det bildas ett tunt turbulent skikt runt stammen på grund av barkens skrovlighet. Detta kan jämföras med flödet runt en slät boll där C_D motsvarar 1,2 medan en golfboll med sina gropar och med samma diameter har ett C_D motsvarande 0,3 (White, 1988). En rekommendation är därför att använda ett C_D -värde motsvarande 0,6 för trädstammar.

Genom att ta hänsyn till stamvedens blockeringseffekt i fåran anger man en skenbar friktionfaktor, C_D^{app} enligt nedan (Gippel et al, 1994):

$$(1.9) \quad C_D^{app} = \frac{C_D}{(1-B)^2}$$

där C_D är Fannings friktionskoefficient och B är blockeringseffekten. Den sistnämnda termen beräknas som trädstammens tvärsnittsytta, lika med dimetern gånger längden, delat med fårans tvärsnittsarea.

Från ekvation (1.8) kan vi se att skjuvspänningen från död storved ökar exponentiellt med ökad stamdiameter och flöde samt minskar vid ökat medelvattendjup och avstånd mellan trädstammarna.

Beräkningsexempel 2:

I Helge å ligger det trädstammar med diametern 20 cm och längden 10 meter. Trädstammarna ligger med 50 meters avstånd. Vattendjupet är 0,67 meter och fårans bredd är 33 meter. Flödes hastigheten motsvarar 0,28 m/s och är turbulent. Träden ligger vinkelrät ut från fårans kant. Vattnets densitet är 1000 kg/m³ Hur stor skjuvspänning uppstår från trädstammarna?

1. Trädstammens area i riktning mot flödet är $10 \text{ m} \cdot 0,2 \text{ m} \cdot \sin 90 = 2 \text{ m}^2$
2. Fårans area, $A = 33 \text{ m} \cdot 0,67 \text{ m} = 22,1 \text{ m}^2$
3. Trädets blockeringsseffekt $B = a/A = 1,598/22,1 = 9 \%$ av fårans tvärsnittsarea.
4. Skenbar friktionsfaktor, $C_D^{app} = 0,3/(1-0,09)^2 = 0,36$ (vi antar $C_D = 0,3$)
5. Skjuvspänningen, $\tau_{DV} = 1000 \cdot 0,33 \cdot (0,2/2 \cdot 50) \cdot 0,28 = 0,185 \text{ N/m}^2$

I detta fall motsvarar död ved 12 % av den totala skjuvspänningen om vi nyttjar värdena i räkneexempel 1.

I många fall är det intressant att försöka uppskatta den totala skjuvspänningen i fåran men andra ord summan av skjuvspänningen som uppstår av sedimenten, död ved, bottenformer och andra faktorer. Den totala skjuvspänningen kan beskrivas enligt följande (Nepf, 1999):

$$(1.10) \quad \underbrace{\rho C_b U^2}_{\tau_{sed}} + \underbrace{\rho C_D^{app} \frac{H}{2L} U^2}_{\tau_{DV}} = \underbrace{\rho g \bar{h} S}_{\tau_0}$$

För att förstå hur mycket död ved reducerar flödet är det intressant att jämföra skjuvspänningen som uppstår genom sedimenten i fåran med den som uppstår tack vare död ved. Skjuvspänning som bildas genom sedimenten i fårans botten och sidor har studerats under lång tid. Ofta har man försökt beskriva den punkt i systemet där sedimenten kommer i rörelse och erosionen börjar. Wilcock (2001) utvecklade ett samband mellan kornstorlek och skjuvspänningen som uppstår på grund av friktionsmotståndet från sedimenten enligt följande:

$$(1.11) \quad \tau_{sed} = 0,052 \rho (g \cdot S \cdot D_{65})^{0,25} u^{1,5}$$

där τ_{sed} är skjuvspänningen som uppstår på grund av friktionsmotståndet från sedimenten, ρ vattnets densitet, g är gravitationskraften, S är fårans

lutning, D_{65} är kornstorleken vid som motsvarar 65% av sedimentet och u är flödes hastigheten.

Beräkningsexempel 3:

På samma plats som räkneexempel 2 består bottensedimentet av sandigt grus med D_{65} motsvarande 20 mm. Hur stor skjuvspänning uppstår på grund av sedimentet?

$$1. \tau_{sed} = 0,052 \cdot 1000 \cdot (9,81 \cdot 0,0002 \cdot 0,02)^{0,25} \cdot 0,28^{1,5} = 0,407 \text{ N/m}^2$$

Mannings ekvation

En mycket vanlig metod för att beskriva sambandet mellan fårans form, friktionsmotståndet och flödet är att nyttja Mannings ekvation:

$$(1.12) \quad Q = \frac{1}{n} A \cdot R^{2/3} \cdot S^{0,5}$$

där Q är flödet i m^3/s , n är Mannings tal som är ett mått på friktionsmotståndet, R är hydrauliska radien vilket är kvoten mellan arean och den våta perimetern (längden av botten och sidor tvärs över fåran) och S är vattenytans lutning. Avseende Mannings tal, n , så finns det tabellvärden att hämta från olika referenser. I många finkorniga vattendrag motsvarar Mannings tal 0,03.

Mannings ekvation kan nyttjas för att uppskatta effekten av död ved på vattenståndet genom att justerar Mannings tal med och utan död ved i vattnet. Det finns tämligen rikligt med vetenskaplig litteratur kring död ved och Mannings ekvation.

Dudley et.al, 1998, genomförde hydrauliska mätningar före och efter att död ved hade rensats i ett vattendrag och resultaten visade att friktionsmotståndet, i form av Mannings tal, hade minskat med närmare 40 % efter rensningen. Effekten minskade med minskat vattendjup vilket i sin tur är relaterat till flödet. Om detta resultat extrapoleras till vattendrag, innebär att det att en flödespuls, genom ett nederbördstillfälle, snabbare fortplantar sig nedströms om det inte finns död ved i vattnet. Effekten blir att flödestopparna blir mer accentuerade men mer kortvariga utan död ved i vattnet. Det ökade friktionsmotståndet som bildas genom död storved innebär att sambandet mellan vattenföring och vattenstånd förändras. Med mer död ved i fåran ökar friktionsmotståndet. En effekt av död ved blir därför att mer vatten uppehåller sig i vattendraget vid en given tidpunkt med död ved än utan död ved (Thomas, 2005). Det betyder också att vattenståndet ökar något.



Fig 3. Naturligt avsatt rotmassa i ett stenrikt vattendrag. Roten med stam har transporterats ett hundratal meter i samband med högvattenflöde för att avsättas på denna grunda delsträcka.

Ökad mängd vatten vid en given tidpunkt kan ses som negativt eftersom detta skulle kunna innebära en ökad översvämningrisk. Man måste dock beakta att fårans tvärsektion är avsevärt annorlunda vid översvämningstillfällena än vid låg- och medelvattenföring. Man kan emellertid notera att ökad mängd vatten och långsammare genomströmning kan vara positivt avseende vattenkvaliteten genom att retentionsförmågan ökar.

Det vanligaste sättet att ange Mannings tal är att gå in i tabellverk men det finns andra metoder att mer direkt bestämma ett värde för den specifika tvärsektionen. Om det finns mätningar av skjuvspänningen i vattendraget liksom räkneexempel 1.1 kan man beräkna Mannings tal med hjälp av följande ekvation (Wu, 2007):

$$(1.13) \quad \tau_0 = \frac{\rho g n^2 U^2}{R_s^{1/3}} \rightarrow n = \sqrt{\frac{\tau_0 R_s^{1/3}}{\rho g U^2}}$$

Beräkningsexempel 4:

Bestäm Mannings tal på samma plats som räkneexempel 1.

$$\tau_0 = 1,369 \text{ N/m}^2; U = 0,29 \text{ m/s}; R = 0,67 \text{ m}; g = 9,81 \text{ m/s}^2; \rho = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$1. n = \sqrt{\frac{1,198}{769,1}} = 0,039$$

Ett Mannings tal motsvarande 0,039 är nära ett tabellvärde för kornstorleken.

Hur mycket kommer död ved enligt räkneexempel 2 påverka vattenytans lutning?
Vi antar en skjuvspänning från sedimenten till 1,369 N/m².

2. Enligt räkneexemplet tillför död ved en skjuvspänning på 0,185 N/m²

3. Total skjuvspänning = 1,369 + 0,185 = 1,555 N/m²

4. För att räkna ut lutningsförändringen använder vi ekvation 1.5

$$5. \tau_0 = \rho_w g R S \rightarrow S = \frac{\tau_0}{\rho_w g R} = \frac{1,555}{1000 \cdot 9,81 \cdot 0,67} = 0,000237$$

Eftersom den ursprungliga lutningen var 2 cm/100 m har den ökat till 2,37 cm /100 m med trädstammar i fåran var 50 meter. Delsträckan är 1800 meter lång vilket betyder en nivåskillnad från 40 cm till 42,5 cm om fårans form och botten vara konstant.

Vid vilket flöde börjar en trädstam röra på sig?

En vanlig oro i samband med ökad mängd död ved är att trädstammar i vattnet ska börja röra på sig och bilda täta veddammar. Även i samband med restaureringsprojekt är det viktigt att dimensionera trädstammar så att de inte kommer i rörelse i samband med högvattenflöden. Det kan därför vara av intresse att kunna beräkna de krafter som påverkar en trädstam i fåran.

Braudrick och Grant (2000) har beskrivit de olika krafterna som styr när en trädstam kommer i rörelse. Precis som på land påverkas en trädstam av gravitationskraften som är riktad mot jorden mitt. I ett vattendrag har botten en lutning och därför anges tyngdkraften vara den kraft som vill dra trädstammen från högre liggande område till lägre nivå. Tyngdkraften kan beskrivas som:

$$(1.14) \quad F_g = - \left(g \rho_{dv} L_{dv} \frac{\pi D_{dv}^2}{4} - g \rho_v L_{dv} A_{dv} \right) \sin \alpha$$

där F_g är tyngdkraften som är riktad nedströms i vattenytans lutning ($\sin \alpha$), ρ_{dv} är trädstammens densitet, ρ_v är vattnets densitet, L_{dv} är trädstammens längd, D_{dv} är trädstammens diameter, A_{dv} är den area av trädstammen som ligger under vattenytan. Trädstammens densitet beror på trädslag, men också hur länge trädet har legat i vattnet. Abbey et al (2003) visade att amerikanske trädslag hade en densitet mellan 400 till 800 kg/m³ för att sedan öka till mellan 800 till 1400 kg/m³ när trädet har legat i vattnet ett tag. Svenska trädslag har en rådensitet, med andra ord när virket är till 50 % mättat med vatten, mellan 750 till 1070 kg/m³. Gran och tall står för de lägre värdena. Densiteten brukar också sjunka från roten mot trädtoppen.

Om en trädstam kommer i rörelse och glider på botten kommer den att utsättas av ett friktionsmotstånd mellan trädstammen och botten. Denna frik-

tionskraft är riktad uppströms i rakt motsatt riktning mot tyngdkraften. Friktionskraften kan beskrivas enligt följande:

$$(1.15) \quad F_{fr} = \left(g \rho_{dv} L_{dv} \frac{\pi D_{dv}^2}{4} - g \rho_v L_{dv} A_{dv} \right) \mu_b \cos \alpha$$

där F_{fr} är friktionskraften, g är gravitationen, ρ_{dv} trädets densitet, L_{dv} är trädstammens längd, D_{dv} är trädstammens diameter och μ_b är en koefficient för friktionen mellan trädet och botten. För sandiga botten kan man anta ett värde motsvarande 0,47 för μ_b (Ishikawa, 1989).

Som tidigare nämnt uppstår ett undertryck omedelbart nedströms stammen när vattnet flödar runt en trädstam. Detta undertryck skapar en dragkraft som är riktad nedströms. Storleken på dragkraften beror till stor del av flödes hastigheten enligt:

$$(1.16) \quad F_d = -\frac{U^2}{2} \rho_v C_D (L_{dv} d_v \sin \theta + A_{dv} \cos \theta)$$

där U är flödes hastigheten, C_D är motståndskoefficienten, θ är trädstammens vinkel mot strömriktningen. Om vinkeln är noll grader betyder det att trädet är parallellt med flödesriktningen.

Om vi går tillbaka till det ursprungliga problemet, när en trädstammar börjar rör sig nedströms kan vi arrangera om ekvation 1.14 till 1.16 och lösa ekvationen för U , flödes hastigheten.

Beräkningsexempel 5:

Beräkna om en trädstam kommer att röra sig nedströms enligt räkneexempel 1. Trädets längd är 10 meter, diameter är 20 cm, Trädets densitet är 550 kg/m. Trädet ligger till 80 % under ytan. Trädets vinkel är 70 grader mot strömriktningen. Friktionsmotståndet mellan trädet och botten sätts till 0,3. Bottenlutningen är 2 cm/100 m = $\tan 0,0002 = 3,49 \cdot 10^{-6}$ grader. Motståndskoefficienten, C_D sätts till 0,3.

1. Beräkna trädstammens yta under vattenytan, $A_{dv} = \pi \cdot 0,1 \cdot 0,1 \cdot 0,8 = 0,025 \text{ m}^2$

2. Beräkna gravitationskraften:

$$F_g = ((9,81 \cdot 550 \cdot 10 \cdot (3,1415 \cdot 0,2 \cdot 0,2/4)) - (9,81 \cdot 1000 \cdot 10 \cdot 0,025)) \cdot \sin 3,49 \cdot 10^{-6} = (1695 - 2452,5) \cdot 6 \cdot 10^{-8} = 757,5 \cdot 6 \cdot 10^{-8} = 0,0000462 \text{ N/m}^2.$$

3. Beräkna friktionskraften:

$$F_{fr} = ((9,81 \cdot 550 \cdot 10 \cdot (3,1415 \cdot 0,2 \cdot 0,2/4)) - (9,81 \cdot 1000 \cdot 10 \cdot 1,6)) \cdot 0,3 \cdot \cos 3,49 \cdot 10^{-6} = (1695 - 2465,5) \cdot 0,3 \cdot 1 = 231 \text{ N/m}^2.$$

4. Beräkna dragkraften:

$$F_d = -(0,28^2/2 \cdot 1000 \cdot 0,3 \cdot (10 \cdot 0,67 \cdot \sin 70 + 0,025 \cdot \cos 70)) =$$

$$F_d = -(0,0392 \cdot 300 \cdot (6,296 + 0,00855)) = 75 \text{ N/m}^2 = 7,64 \text{ kg/m}^2 \\ = 12,23 \text{ kg för hela trädet}$$

Trädet kommer inte att flytta på sig eftersom $F_{fr} = 231 \text{ N/m}^2 > F_d$

Vid högvattenflöde ökar vattendjupet till 2,1 meter, flödes hastigheten ökar till 0,56 m/s och vattenytans lutning ökar till $0,00056 \text{ m/m} = 9,77 \cdot 10^{-6}$ grader.

$$F_g = 1,27 \cdot 10^{-4} \text{ N/m}^2$$

$$F_{fr} = 227,3 \text{ N/m}^2$$

$$F_d = 47,04 \cdot (19,73 + 0,547) = 961 \text{ N/m}^2 = 97,9 \text{ kg/m}^3 = 157 \text{ kg för hela trädet}$$

$F_d > F_{fr} + F_D \rightarrow$ Trädet kommer flytta sig nedströms om det inte är förankrat i fårans kant!

Dämningseffekten

När stamved och större bitar död ved ligger under vattenytan kommer de ge en viss dämmande effekt. En vanlig oro bland markägare är att denna effekt ska skapa mer översvämningar eller höja grundvattennivån kring vattendraget. En naturlig fråga är därför hur mycket stiger vattenytan uppströms en trädstam i fåran?

Den dämningseffekt som död ved skapar uppströms har undersökts i samband med olika installationer i vattendrag, till exempel bropelare. I de flesta fall har beräkningarna utgått från en rektangulär fåra. Fenton (2003) utvecklade en metod för att beräkna dämningseffekten av trädstammar i fåran. Metoden sammanställdes i följande formel:

$$(1.17) \quad \Delta n = \frac{u^2}{2 \cdot g} \cdot \frac{C_D}{\beta \cdot F^2 - 1} \cdot \frac{a}{A}$$

där Δn är vattenytans höjning ovan trädstammen, u är flödes hastigheten (m/s) uppströms trädet, g är gravitationskraften ($9,81 \text{ m/s}^2$), C_D är lika med den nedströms riktade dragkraften, β är Boussinesq koefficient vilket är korrektionsfaktor som varierar mellan 1,01 till 1,12 (Chow, 1959). I många fall kan denna koefficient sättas till 1,0. F är Froudes tal uppströms stammen, a är arean på trädstammen och slutligen A är fårans tvärsnittsarea. Kvoten mellan a och A motsvarar trädets blockeringseffekt. Dragkraften riktad nedströms, C_D , varierar ofta mellan 0,6 till 0,7 (Gippel et al. 1996) om trädstammen ligger vinkelrät ut från fårans kant. Froudes tal kan beräknas enligt följande ekvation:

$$(1.18) \quad F = \frac{\bar{u}}{\sqrt{gd}}$$

där \bar{u} är medelflödes hastigheten, g är gravitationskraften och d är medelvattendjup.

Beräkningsexempel 3:

En trädstam med diametern 170 mm och längden 10 meter ligger 70° ut i Helge å. Vattendjupet är 67 cm och fårans bredd är 33 meter. För enkelhet skull antar vi att fårans form är rektangulär. Flödes hastigheten uppströms trädstammen motsvarade 0,28 m/s. Hur mycket dämmer trädstammen?

1. Trädstammens area i riktning mot flödet är $10 \text{ m} \cdot 0,17 \text{ m} \cdot \sin 70 = 1,598 \text{ m}^2$
2. Fårans area, $A = 33 \text{ m} \cdot 0,67 \text{ m} = 22,1 \text{ m}^2$
3. Trädets blockerings effekt, $a/A = 1,598/22,1 = 0,0723 = 7,2 \%$ av fårans tvärsnitt
4. Froudes tal $= F = 0,28/\sqrt{33 \cdot 0,67} = 0,0595 = \text{subkritiskt flöde}$
5. Vi antar ett värde för C_d motsvarande 0,3 och $\beta = 1$.
6. Dämningseffekten $= (0,28^2/2 \cdot 9,81) \cdot (0,65/1 \cdot 0,0595^2) \cdot 0,0723 = 0,00392 \cdot 183,6 \cdot 0,0723 = 0,024 \text{ m} = \text{dämningseffekten motsvarar } 2,4 \text{ cm!}$

Påverkan på sedimenttransporten

Död storved har en betydande påverkan på sedimenttransporten i vattendraget. Genom att strömningen avleds runt den döda veden skapas låg-energiområden som leder till deposition av sediment nedströms den döda veden och erosion i en form av en hästsko uppströms. Förankrade vedbitar och stammar skyddar botten och fårans sidor vilket minskar risken för erosion och tillförsel av sediment till fåran. Genom den döda veden kan sediment motsvarande flera hundra års högvattenflöden lagras i fåran (Tally, 1980). Hur mycket sediment som lagras på grund av död ved beror på vattendragets storlek. I vattendrag med en bredd mindre än sju meter fann Bilby och Ward (1989) att 40 % av vedbitarna var associerade med sedimentation. När vattendragen var bredare än 10 m var ca 20 % av sedimentlagringen associerad med död ved.

Död ved i fåran leder också till att kraftiga toppar i sedimenttransporten dämpas (Montgomery et.al, 2003). Död ved tenderar att jämna ut sedimentflödet vid höga vattenflöden. Det kan också noteras att förutom effekten på transporten av sediment är påverkan likartad avseende transporten av organiskt material. Bilby och Likens (1980) visade i en studie att uttransporten

av fint organiskt material ökade med flera hundra procent när död ved rensades från ett vattendrag. Död ved i vattendraget innebär därför att det organiskt material stannar kvar längre i en delsträcka och bryts ner till mindre partiklar och utgör därmed viktigt tillskott till ekosystemet.

En viktig effekt av död ved i fåran är att flödet i tre dimensioner blir mer varierat på lokal nivå vilket i sin tur påverkar många hydromorfologiska och biologiska processer som också leder till större variation längs vattendraget. En studie från Australien visade på en stor skillnad i bottenförhållanden mellan två, i stort sätt identiska vattendrag. Det rensade vattendraget visade en i stort sätt slät bottenprofil medan det naturliga vattendraget med död ved hade mycket stor variation i bottenprofil. Ökad variation i bottenprofil leder till ökad skjuvspänning och lägre flödes hastigheter. En ökad variation i flödes hastighet tack vara död ved, leder också till att kornstorleksfördelning blir mer varierad längs vattendraget, en faktor som ytterligare gynnar en större biologisk mångfald.

Ovanstående effekt av död ved har mycket stor vikt för den biologiska mångfalden och inte minst för fiskarter och dess reproduktion. Traditionellt sätt har man lagt ut lekgrus i vattendrag för att fiskebeståndet. Om inte de naturliga processerna i form av erosion och deposition beaktas kan nyttan vara kortvarig, till exempel att ytan översedimenteras av finkorniga sediment eller att gruset mobiliseras vid högvattenflöden. Tillförsel av död ved kan skapa samma effekt fast på vattendragets men utifrån naturliga processer. Förutom att skapa goda reproduktionsytor, tillför död ved också möjligheter för juvenila fiskar att få skydd från predatorer samt viloplattor. Naturligtvis ger den döda veden och ökad mängd akvatiska organismer som utgör viktig basföda för fiskarter som lax och öring. I strömsträckor skapar död ved lågflödesområden inte bara vid botten utan längre upp i flödesprofilen vilket kan vara viktigt för migrerande arter.

Påverkan på översvämningsrisk

Det första man får fråga sig är vad egentligen översvämningsrisk innebär. Är det risk för översvämningar som förekommer varje år, fem års mellanrum med hundra års mellanrum eller ännu längre tidsperspektiv. Det är uppenbart att översvämningsrisk betyder olika saker för olika personer. För vissa är det risken för att vattnet stiger över fårans kanter som är viktigast. Ur ekosystem, men även hydromorfologiskt perspektiv, behöver inte översvämningar vara en risk över huvudtaget utan snarare en nödvändighet för att upprätthålla ett funktionellt ekosystem och de nödvändiga processerna i och kring ett vattendrag. Olika synsätt på översvämningsrisk har ökat konflikten mellan naturvårdsintressenas vilja att öka mängden död ved och lokala markägare som vill hålla fria vattenvägar.

EU har under en längre tid arbetat med översvämningsfrågor, framförallt efter de stora översvämningarna i Mellaneuropa för några år sedan. I Översvämningsdirektivet från 2007 har EU definierat översvämningsrisk som sannolikheten för allvarigare översvämning sammantaget med de uppskattade skadorna på människors hälsa, miljön och den ekonomiska aktiviteten till följd av en sådan översvämning. Med andra ord omfattar inte EU:s definition av översvämningsrisk mindre översvämningar längs vattendragen ofta årligen.

När uppstår översvämningar

Översvämningar uppstår oftast vid kraftiga nederbördssituationer när tillskottet av vatten till vattendraget genom ytavrinning och grundvattentillskott överskrider systemets kapacitet att transportera bort vattnet. Denna kapacitet styrs av fårans morfologi och dess friktionsmotstånd. Om vattnet bromsas upp i en delsträcka kommer inflödet att överskrida utflödet vilket leder till att vattennivån börjar stiga. Ju högre friktionsmotstånd i fåran desto mer bromsas vattnet upp.

Friktionsmotståndet är oftast högst i strömsträckorna där botten är täckt av sten och block och lägre i raka, finkorniga, delsträckor. Om vattendraget meandrar kraftigt kan detta också leda till att vattnet bromsas upp. Vegetation i fåran som tidigare nämnt, men även död ved innebär att friktionsmotståndet ökar. Många rensningar i vattendrag har haft syftet att ta bort antingen vegetation eller död ved just för att minska översvämningsrisken, alternativt ta bort översvämningar helt och hållet. Rensningar i vattendrag innebär emellertid ofta ett stort ingrepp i det akvatiska ekosystemet och det blir allt vanliga att återföra död ved till fåran får att återställa ekosystemet. Även i Sverige har det på senare tid blivit aktuellt att återföra död ved till fåran. I detta sammanhang måste man beakta att tillförsel av död ved påverkar friktionsmotståndet och därmed ger ökad översvämningsrisk lokalt.

När nederbörden faller i avrinningsområdet och vattnet börjar strömma till vattendraget stiger flödet. Man kan betrakta detta som att det byggs upp en flödespuls eller en våg som fortplantar sig nedströms. Flödespulsen blir allt större allt eftersom fler biflöden tillför vatten till fåran. Hur stor amplitud och hur långvarig pulsen blir beror naturligtvis på den drivande mekanismen, nederbörden, men också på friktionsmotståndet i fåran. Om fåran växer igen eller om mängden död ved ökar kommer friktionsmotståndet att öka. Detta i sin tur leder till att flödespulsen bromsas, får en lägre amplitud men blir mer långvarig samt anländer till en given punkt med fördröjning. I fåran innebär det att vattendjupet ökar över en längre sträcka.

Om inflödet av vatten till en delsträcka fortsätter att öka snabbare än utflödet kommer vattennivån att stiga till en punkt då den går över sina breddar. Fortsätter vattnet att stiga kommer fårans bredd och tvärsnittsarean i många fall bli större jämfört med när vattnet innesluts av fåran. I de flesta fall har

flodplanets yta betydligt större friktionsmotstånd än i fåran. Detta gör att det totala friktionsmotståndet blir avsevärt större när fåran svämmar över sina breddar och eventuell död ved i fåran får allt mindre betydelse för det fortsatta förloppet. Ur lokal synvinkel kan därför död ved innebära att vattenståndet snabbare når breddflödet, men att när fåran väl svämmat över sina kanter så är det flodplanets friktionsmotstånd och form tillsammans med inflödet som till största del avgöra det fortsatta förloppet.

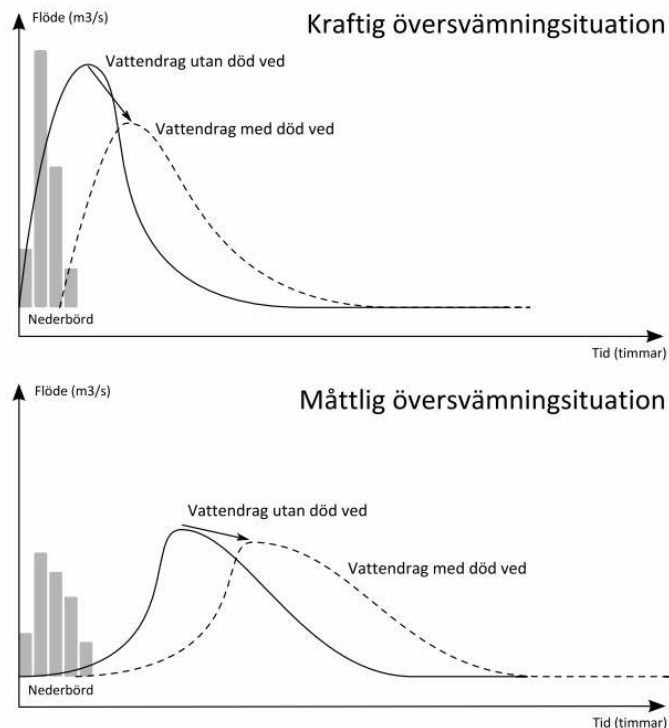


Fig 4. Effekten av död ved på en flödespuls i vattendraget. Vid kraftig översvämningssituation blir tidsfördröjningen kortare och amplituden dämpas när död ved förekommer i vattendraget. Vid mer måttlig översvämningssituation med mer långvarig nederbörd blir minskning i flöde mindre men större förskjutning i tid. Efter Andersson, 2005.

Rensa död ved eller inte?

Kan rensningar av vegetation och död ved i fåran minska översvämningssrisken? Ser man ur lokal synvinkel innebär en rensning av död ved och vegetation att fårans kapacitet att avbörda vatten per tidsenhet ökar. För den lokala markägaren kan detta vara positivt. I de flesta fall kommer man dock fortfarande inte kunna undvika översvämningar. För eller senare kommer det en kraftig flödespuls, till exempel ett 100-års flöde.

I vissa fall finns det stora ekonomiska värden på spel och det kan därför finnas behov av att minimera friktionsmotståndet i den aktuella delsträckan för att minska risken för översvämningar. Man måste emellertid alltid beakta att en rensning av en delsträcka leder oftast till större översvämningssrisk för

nedströms liggande sektioner. Vattnet försvinner inte av sig själv. Om flera delsträckor rensas kommer den negativa effekten ackumulera nedströms såvida det inte finns möjlighet att reglera bort den ökade flödespulsen eller att det förekommer områden där man tillåter vattnet att breda ut sig. Ett bra exempel är Helge å där Kristianstad, nederst i vattensystemet, har sedan lång tid haft problem med översvämningar och där kostsamma skyddsåtgärder har satts in. Om det sker rensningar uppströms Kristianstad i Helge å kommer flödespulsen accentueras och översvämningssproblematiken förvärras i Kristianstad. Det blir en fråga om solidaritet där man måste väga det lokala perspektivet mot perspektivet på avrinningsområdesnivå.

På samma sätt måste man väga för- och nackdelar när man avser att öka mängden död ved. På avrinningsområdesnivå får man minskad översvämningssrisk men för en enskild markägare kan det innebära att höga vattenstånd, dock inte alltid översvämning, kommer vara längre i tid. Frågan om man ska rensa eller öka mängden död ved måste därför alltid beaktas för den aktuella delsträckan, konsekvenser för nedströms liggande delsträckor och på avrinningsområdesnivå. Summan av positiva och negativa effekter på dessa nivåer måste avgöra om man ska rensa eller öka mängden död ved.



Fig 5. Mindre vattendrag i finkorniga sediment som har översvämmat flodplanet. I vanliga fall är fårans bredd ca 5 meter med vid detta tillfälle översteg den 30 meter. Denna typ av översvämningar förekommer i stort sätt varje år och är en naturlig del av vattendraget som system.



Fig 6. Död ved i en mindre bäck. Notera vattendragets trapp stegformade profil tack vara stamveden. Detta leder till en variation i ekosystemen men också att vattnet bromsas upp. Dessa små vedbitar har tillsammans en stor betydelse för att minska översvämningsrisken nedströms i avrinningsområdet. Många bäckar små...

Översvämningsdirektivet och död ved

Även översvämningsdirektivet har tagit upp frågan om åtgärder för att minska översvämningsrisken. Direktivet lyfter speciellt frågan att åtgärder, till exempel rensning av fåran måste sättas in i ett större perspektiv:

”Det är möjligt och önskvärt att minska risken för skador på människors hälsa, miljö och infrastrukturer i samband med översvämnningar, men för att åtgärderna för att minska risken för översvämningskadorna skall vara effektiva måste de samordnas i hela avrinningsområdet”

Detta synsätt bör gälla för såväl rensning av död ved som att öka mängden död ved. I en skrift från Kommission kring bästa teknik och åtgärder för att minska översvämningsrisken (EU kommissionen, 2003) konstaterar man följande (egen översättning):

”Varje kubikmeter vatten som inte omedelbart dräneras bort från en delsträcka till en annan är en vinst för vattenregimen och tar också bort en del av bördan från översvämnningar.”

Med detta i åtanke bör ökad mängd död ved ligga i linje med Kommissionens inriktning. Dessutom konstaterar Kommissionen att:

”Lagringsförmågan i vegetationen, jorden och våtmarker har en betydande effekt för att minska mindre och medelstora översvämnningar. Varje enskilt lagringsmedium har förmågan att lagra en viss mängd vatten under en specifik period. En stor naturlig lagringsförmåga leder till långsamt tilltagande vattenstånd och i jämförelse, mindre översvämnningar. Att bibehålla vatten i naturliga former bör ha prioritet

framför åtgärder som leder till snabb avrinning. I vissa fall, med kraftig och långvarig nederbörd, är lagringsförmågan av mindre betydelse för att reducera flöden, men är fortfarande viktiga för att reducera sedimenttransporten.”

Denna skrivning tyder på att Kommissionen har insett värdet av att bromsa upp flödet i avrinningsområdet snarare än att leda bort det snabbare genom rensningar. Sista meningen är intressant eftersom ett viktigt bidrag från död ved i fåran är att även hålla tillbaka sedimenttransporten. Detta är naturligtvis mest värdefullt i finkorniga vattendrag med stor sedimenttransport. Det är inte ovanligt att rensningsföretag som omfattar muddring av sediment saknar analys av alternativa metoder för att lösa det aktuella problemet. Om det finns ett regelbundet behov av att muddra sediment för att bibehålla förmågan att leda bort vatten i en delsträcka, kan det vara bättre att analysera möjligheten att behålla mer sediment uppströms delsträckan, till exempel genom ökad mängd död ved i fåran. Muddring där man regelbundet tar bort sediment från fåran kan mycket väl leda till underskott på sediment i nedströms liggande delsträckor. Solidaritetsprincipen är i detta fall samma som för vatten.

Slutligen konstaterar Kommissionen att åtgärderna för att uppnå god ekologisk status inom Ramdirektivet för vatten (direktiv 2000/60/EG) kommer att bidra till att mildra effekterna av översvämningar. I bedömningsgrunder för hydromorfologi (Naturvårdsverket, 2007) är en parameter för bestämning av hydromorfologisk kvalitetsfaktor, mängden död ved. I åtgärdsprogram och förvaltningsplaner kan det därför vara aktuellt att öka mängden död ved.

Analys av träd och död ved i Helge å

Syfte

Syftet med mätningarna var att analysera hur flödet ser ut runt nedfallna träd i fåran samt mäta och beräkna de krafter som ligger på trädet samt den dämmande effekten trädet har på vattenståndet. Mätningarna genomfördes vid lågvattenföring då påverkan av trädstammarna är som störst på tvärsektionen, samt vid ett högvattenflöde.

Syftet med mätningarna var också att samla information så en beräkningsmodell kunde upprättas där olika parametrar, t.ex. vattendjup, flödeshastighet, trädstorlek m.m. kunde varieras för att bättre förstå effekten på flödet i Helge å vid olika situationer med olika mängd död ved.

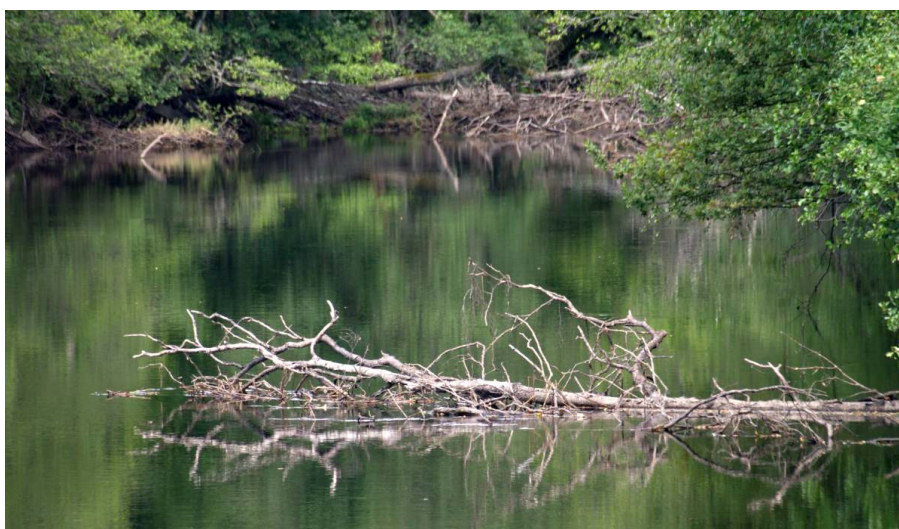


Fig 7. Typiskt träd i den undersökta delsträckan i Helge å. I bakgrunden syns ett större träd som har ansamlat en del grenar och mindre död ved.

Plats

Mätningarna genomfördes nedströms bron vid Byvärma. Delsträckan utgör Möckelns enda utlopp och det är därför viktigt att avbördningen inte minskar. Delsträckan hyser stora naturvärden både på land och i vattnet. En stor del av norra stranden utgörs av Byvärma naturreservat. Reservatet hyser en av den mycket sällsynta halvknäpparen *Xylophilus corticalis*.



Fig 8. Undersökningsområdet läge vid sjön Möckeln i Kronobergs län.

Delsträckan kantas av större alträd och björkar. Ett stort antal träd har grenar hängande över fåran och det finns ett flertal träd som är på väg att falla ut i fåran. Idag finns det ett tiotal träd liggande i fåran varav några sträcker sig över hela fårans bredd. Tidigare undersökningar i området (Nolbrant & Kling, 2007) visar på att fårans har relativt lite död ved i botten, förmodligen genom att nedfallna träd har kontinuerligt rensats bort.

Delsträckan har en bredd som varierar från ca 52 meter vids stenalvsbron för att sjunka till mellan 18 till 20 meter i två tredjedelar av delsträckan. Vattendjupet var vid undersökningstillfället 0,67 m närmast bron för att öka till ca 2 till 3 meter längre nedströms. Detta motsvarar tillståndet vid lågvattenföring. Vid högvattenföring ökar vattenståndet närmast bron till ca 2 meter. Bottenmaterialet består av stenigt grus i de översta 200 meter för att sedan övergå till block och sten längre nedströms. Några kortare delsträckor med sandigt grus förekommer men block och sten i botten dominerar.

Flödes hastighet var vid undersökningstillfället ca 0,28 m/s vid bron men avtog till under 0,1 m/s längre nedströms. Vattenytans lutning mättes till 2 cm/100 m nedströms bron med hjälp av avvägningsinstrument. Flödet saknar sekundär cirkulation genom att allt flöde ska passera igenom åtta stycken brovalv i den gamla stenalvsbron vid Möckelns utlopp. Längre nedströms ökar turbulensen genom att botten är täckt av block och sten.

Uppströms stenalvsbron finns en SMHI station som registrerar vattenstånd i Möckeln. En avbördningskurva finns för stationen. Data är tillgänglig sedan 1920-talet.

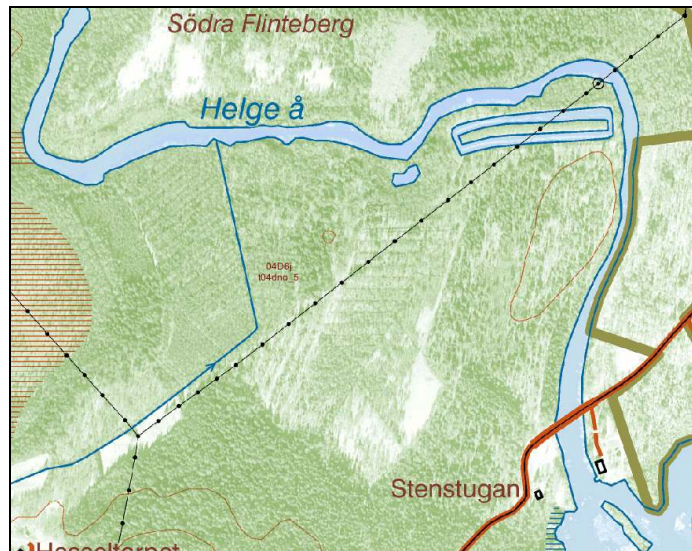


Fig 9. Karta över delsträckan där död ved ha analyserats. . © Karta, Lantmäteriet, dnr 106-2004/188

Metod

Mätningar av flödet genomfördes nedströms bron vid Byvärma, Helge å. Flödet mättes med en flygel (MPV Flowmeter), 2 m uppströms trädet, ca 10 cm uppströms trädet, 10 cm nedströms trädet. Flödet mättes på sex djup från botten till ytan på varje mätpunkt. Kompletterande mätningar genomfördes vid sidan av trädkronan. Från mätningarna beräknades rähetslängden, skjuvspänning, påverkan på vattenlutning m.m enligt tidigare beskrivna ekvationer.

Flödesmätningar kring träd i fåran

Träd 1

Det aktuella trädet, en björk, ligger vattnet ca 50 meter nedströms bron. Trädet föll i vattnet någon gång under slutet av hösten 2007. Trädet längd är 12,5 meter varav 4 meter utgör kronan. Trädets stamdiameter är 0,17 m mitt på trädstammen. Trädet ligger vinkelrät mot flödesriktningen. Fårans bredd vid platsen är 33 meter och vattendjupet var vid undersökningstillfället 0,65 till 0,67 meter. Fårans tvärsnittsarea beräknas till 21,5 m².

Vid undersökningar april 2008 låg trädstammen över vattenytan till stor del. Endast del av kronan låg över vattnet. Kronan hade vid detta tillfälle tämligen mycket små grenar. Vid besöket juli 2008 hade trädstammen sjunkit ned i vattnet och låg till stor del under vattenytan. Vid återbesöket 6 november hade trädet ytterligare sjunkit till ca 23 cm under vattenytan.

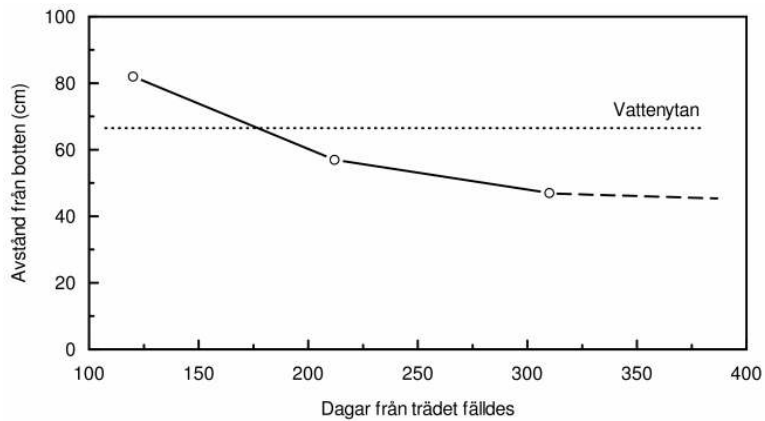


Fig 10. Ungefärlig förändring av träd 1 läge över botten sedan trädet föll i Helge å 2007. Vattenytan representerar nivån 31 juli 2008.

Flödesmätningarna två meter uppströms trädstammen visar på en nästan perfekt exponentiell kurva. Från kurvan beräknas friktionsmotståndet, τ_0 till 1,37 N/m² och råhetslängden, z_0 motsvarande 0,0195 m. Flödesmätningar 10 cm uppströms trädet visar på en lägre flödes hastighet vid ytan ned till ca

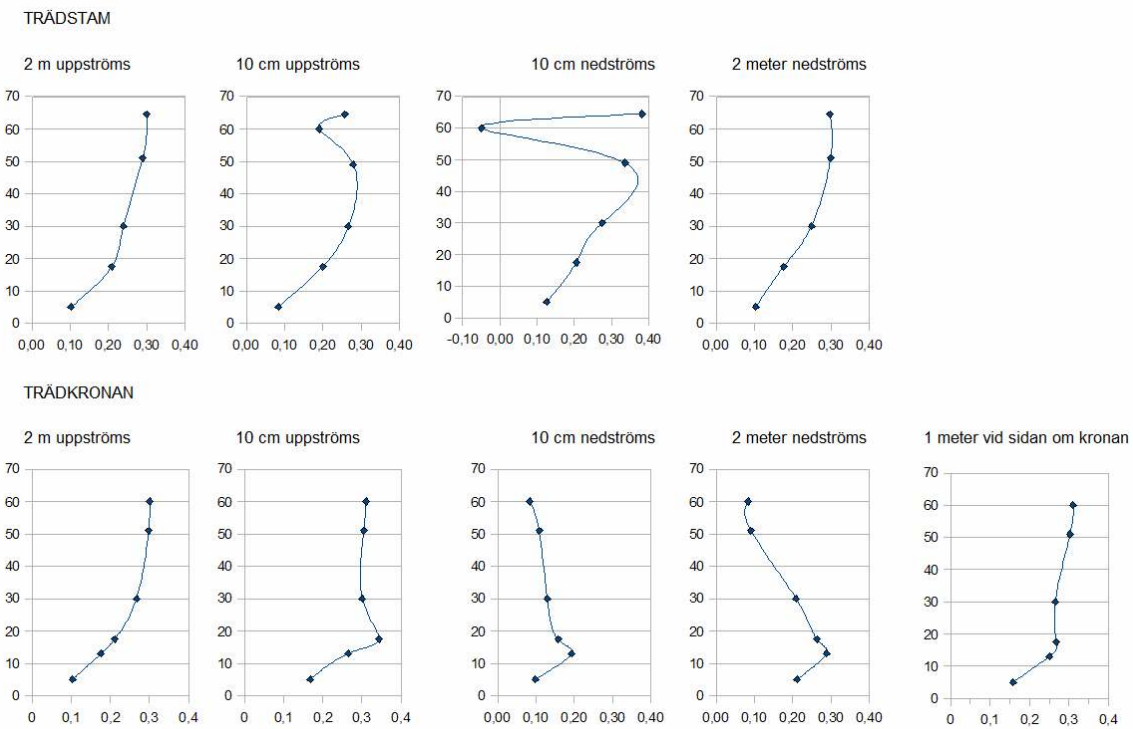


Fig 11. Flödesmätningar vid träd 1. Beteckningen Trädstam anger mätningar mitt på trädets längd medan Trädkronan utgör mätningar uppströms och nedströms kronans mitt. Diagrammet längst till höger anger mätning vid sidan om kronan.

50 cm, för att därefter uppvisar en ökning av flödes hastigheten. Integrerar vi arean under kurvan över djupet kan vi se att uppbromsningen till stor del kompenseras av en acceleration av flödet under trädstammen. Inbromsningen motsvarar i medel $-0,03$ m/s i den aktuella profilen.

Flödesprofilen 10 cm nedströms trädets visar på ett tydligt återflöde bakom trädstammen men negativt flöde. Även här kompenseras detta av en tydlig hastighetsökning under trädstammen. Från figuren kan vi se att maximum ligger högre upp än uppströms trädstammen. Även i detta fall blir den integrerade profilen i stort sätt noll jämfört med referensen två meter uppströms trädstammen.

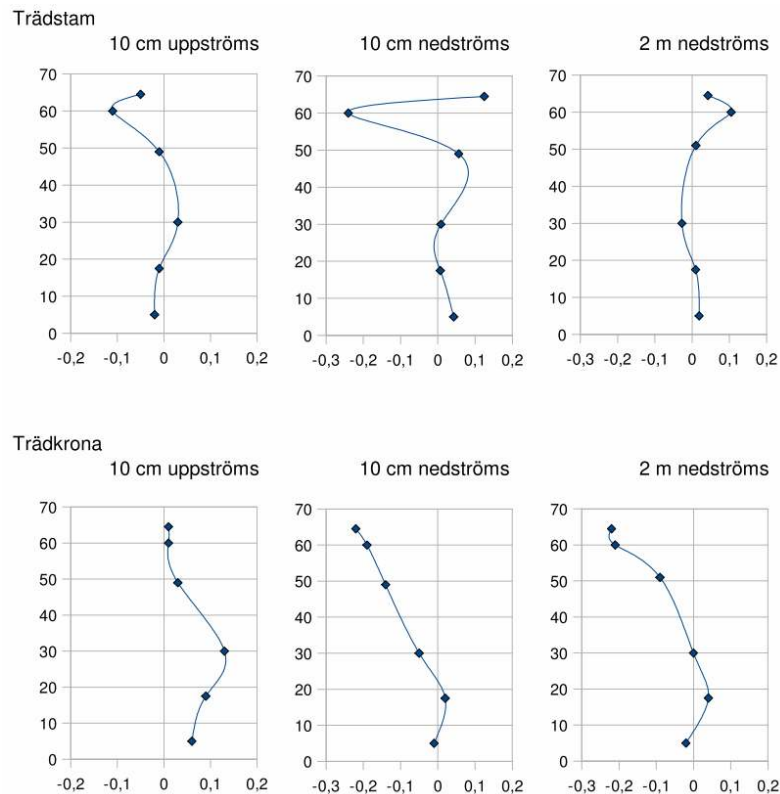


Fig 12. Mätningarna vid träd 1 omräknat som differens från referensprofil två meter uppströms trädets. X-axeln motsvarar minskning eller ökning relativt referensprofilen i m/s.

Mätningen två meter nedströms trädstammen gav i stort sätt identiskt flödesprofil som referensen två meter uppströms trädets. Förutom det allra översta skiktet som har högre flödes hastighet. Detta tyder på att effekten av denna trädstam på flödet är mycket liten vid denna punkt. Punktmätningar mellan trädstammen och två meter nedströms tyder på att inbromsningen av flödet begränsar sig till ca 70 cm nedströms trädstammen.

Motsvarande mätningar mitt på kronan gav lite annat resultat. Flödesprofilen två meter uppströms kronan är identisk motsvarande uppström stammen. 10 cm uppströms kronan är flödesprofilen förändrad. Framförallt sker

det en acceleration i mittendelen av profilen. Mätningarna vid 10 cm nedströms trädkronan visar på en linjär inbromsning av flödet ned till 20 cm över botten. Även profilen från två meter nedströms trädkronan sker det en inbromsning ned till 30 cm från botten. Den nedersta delen visar på en hastighetsökning. Mätningar ytterligare nedströms visade på profil som blir allt mer lik referensprofilen uppströms trädkronan. Flödesprofilen åtta meter nedströms trädkronan visar på en i stort sätt identisk flödesprofil som referensprofilen uppströms kronan. Mätningar vid sidan av trädkronan visar på en likartad flödesprofil som referensen men med ökad flödeshastighet i de nedersta 20 cm av flödesprofilen.



Fig 13. Träd 2, en björk som fallit ut i fårans med ca 70 graders vinkel mot strömriktningen (080731). Vid besök 081109 hade trädet låg trädet ca 35 cm under vattenytan.

Träd 2

Träd 2 är beläget ca 120 m nedströms stenalvsbron och även detta träd utgörs av en björk. Trädet är 14,6 meter lång varav kronan är 8 meter. Stamdiametern mitt på trädet motsvarade 23 cm. Trädet ligger i ca 70 graders vinkel mot flödesriktningen. Jämfört med träd 1 ligger trädstammen djupare under vattenytan, ca 70 cm från botten eller 30 cm under vattenytan. Från kurvan beräknas friktionsmotståndet och rähetslängden till i stort sätt samma som för träd 1. Skillnaden är att vattendjupet är något större på denna plats men fårans bredd är något smalare. Tvärsektionens area blir därför ungefär samma.

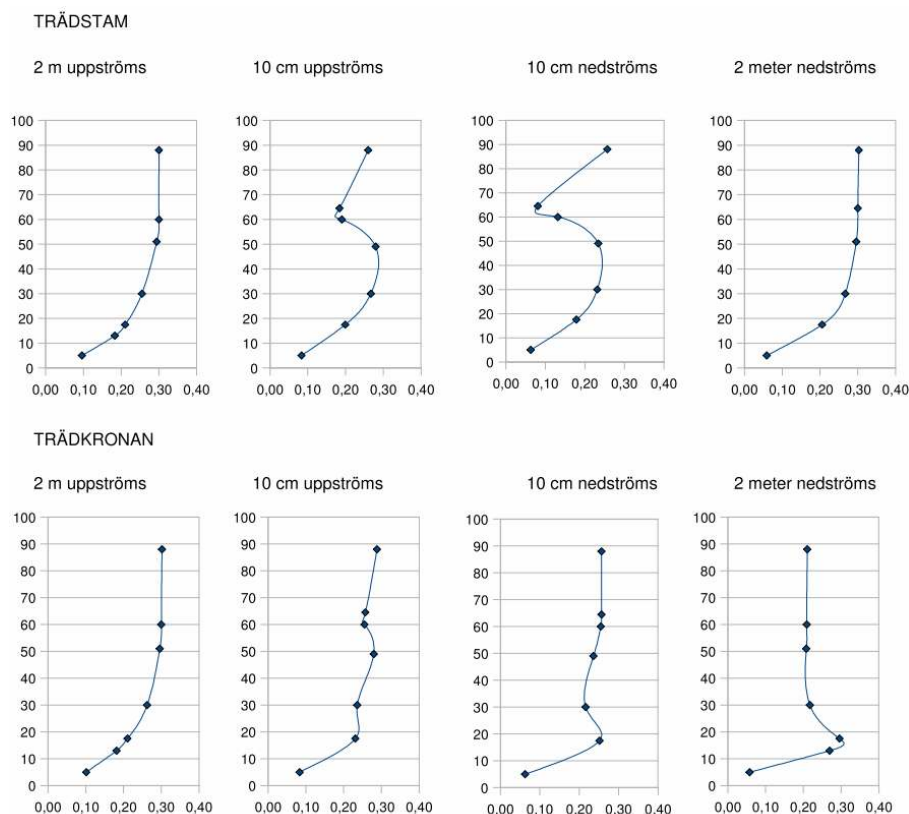


Fig 14. Flödesmätningar vid träd 2. Beteckningen Trädstam anger mätningar mitt på trädets längd medan Trädkronan utgör mätningar uppströms och nedströms kronans mitt. Diagrammet längst till höger anger mätning vid sidan om kronan.

Vattendjupet är något större än träd 1, kring 97 cm. Kronan är också tätare än träd 1. Fårans bredd är 31 meter. Sedimenten är likartad som vid träd 1, med andra ord stenig grus men med inslag av större stenar kring ett par decimeter.

Mätningarna vid träd 2 visar på en likartad påverkan på flödet som träd 1. Profilen 2 meter uppströms trädet visar inte på någon som helst uppbyggning vara sig framför kronan eller trädstammen. Mätningen 10 cm framför trädstammen visar på en tydlig uppbyggning mitt framför trädstammen och en svag ökning av flödes hastigheten under trädet. Trädstammens effekt är också tydligt 10 cm nedströms trädstammen där flödet bakom stammen är nära noll. Accelerationen under trädstammen är tydligt vid denna punkt. Två meter nedströms trädet är flödesprofilen lik referensprofilen uppströms trädet. Möjligen kan man ana ett ökat inslag av turbulens vilket kan bero på att turbulens som bildats bakom kronan har spridit sig något mot denna mätpunkt.

Mätningar vid kronan på träd 2 ger även den en likartad bild av flödet som träd 1. Framförallt visar profilerna 10 cm och 2 meter nedströms på en kraft turbulens som jämnar ut flödes hastigheten ned mot botten. Under trädet

kommer dock en ström med högre hastighet som sakta stiger mot utan. Turbulensen tycks förekomma ca 15 meter nedströms trädet.

Utvecklingen från stående träd till död ved i vattendraget

Många av de träd som ligger i Helge å idag har börjat med att luta ut mot fåran och det kommer att falla i fler träd i fåran. Ett rimligt medeltal är att det faller i fem till sex träd per år. Detta gäller framförallt in den delsträckan som kantas av Byvärma Naturreservat. November 2008 låg det ca femton träd i fåran, vilket ger i snitt ett träd per 80 meter.

Utveckling från stående träd till död ved börjar med att trädet lutar ut över fåran. Orsaken beror i vissa fall på erosion i fåran, men många fall är rot-systemet tämligen ytligt och svagt utvecklat, vilket gör att kraftig vind lätt kan få trädet att luta ut över fåran eller falla helt. En annan faktor är att träden naturligt böjer sig ut över fåran för att få mer ljus till bladverket. Detta skapar lutande, böjda träd. Om det förekommer långvarig hög grundvattenyta, som t ex 2007, kan rotsystemet dö eller minska i omfattning vilket leder till minskad hållfasthet och ökad risk för att trädet faller vid hög vind.

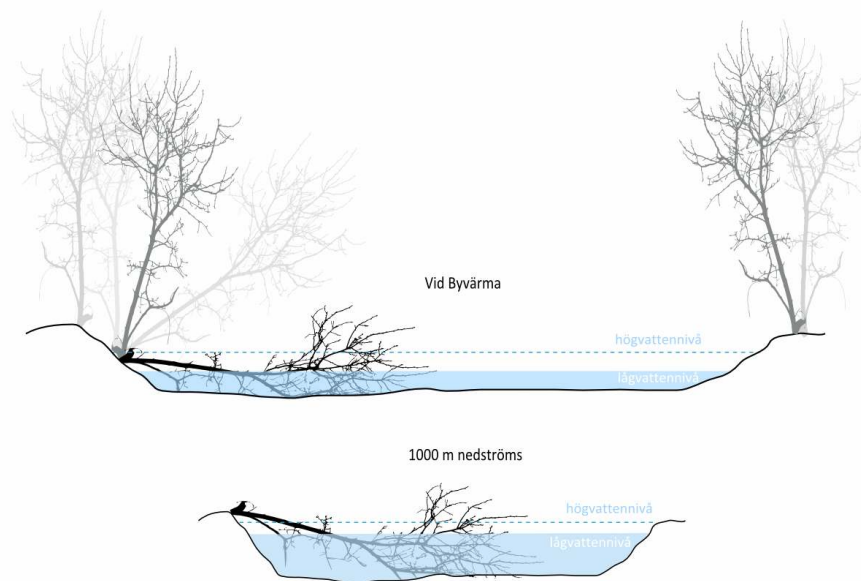


Fig 15. Tvärsnitt i Helge å med skalenliga träd i fåran. Trots att träden ger ett visuellt intryck av att blockera en stor del av fåran motsvarar blockeringseffekten i de flesta fall mellan 5-10 % av fårans tvärsnittsarea. Med tiden kommer också allt fler grenar brytas av vilket reducerar trädets blockeringseffekt till någon procent av tvärsnittsarean.

När trädet har fallit i vattnet, vilket oftast tycks ske under hösten, kommer det ge olika effekt på strömningen om det förekommer bladverk eller inte. Om trädet faller i under den lövade perioden kommer blockeringseffekten initialt bli mycket större än om ett bart träd faller i fåran. Även om trädet

har löv, kommer löven kommer dock inom några veckor vara helt borta. Bladens inbromsande påverkan på flödet får därför ses som en mycket temporär effekt. I detta läge ligger trädstammen till stor del över vattenytan, uppbyggen av grenar och flytkraften.

Relativt snart kommer mindre grenar att brytas av vilket reducerar blockeringseffekten. Flödet runt kronan och trädstammen tillsammans att stamveden blir allt mer vattenmättad vilket leder till att trädets flytkraft och bärighet minskar. Trädstammen kommer därmed till största del ligga under vattenytan även om rotmassan fortfarande är på land. Detta leder till att blockeringseffekten med tiden förskjuts från kronan till trädstammen. Från att trädet faller i fåran, till att trädstammen ligger under vattenytan verkar det ta cirka sex månader.

Efter drygt ett år har majoriteten av grenarna brutits av och endast de största grenarna är kvar tillsammans med trädstammen. För att även stamveden ska brytas sönder tar det förmodligen decennier om trädstammen ligger helt under vattnet.

Strömningen runt träd i vattnet

Mätningarna runt träden visar både på en hastighetsökning men också minskning av flödes hastigheten när vattnet strömmar runt trädet. Mätningarna runt trädstammen visar att vattnet strömmar runt stammen likt en cylinder vilket gör att dämningseffekten blir tämligen liten. Förmodligen förstärks effekten av att barken är något skrovlig så att ett turbulent skikt bildas närmast barken vilket i sin tur minskar trädstammens friktionsmotstånd. Flödesmätningarna tyder på att flödet accelererar under trädstammen. Efter vattnet har passerat trädstammen bildas en zon med högre hastighet som täcker allt mer av hela flödesprofilen. Efter två meter har i stort sätt hela flödesprofilen återhämtas sig, förutom vid ytan där flödet fortfarande är högre en referensprofil. Lågflödesområdet bakom trädstammar i vattnet kan utgöra viktiga viloplats för fisk, speciellt om botten är flat eller om vattendraget har rensats från block.

Trädskronan är annorlunda jämfört med trädstammen. Dels är kronan permeabel, med andra ord att en betydande mängd vatten strömmar rakt igenom kronan, dels är formen inte så väl definierad som trädstammen. Mätningarna visar emellertid att flödet delvis liknar trädstammen. När vattnet strömmar in i kronan bildas omfattande turbulens nedströms trädet. Denna turbulenta zon är droppformad och ca 8-10 meter lång vid det aktuella flödet. En del av vattnet som inte strömmar in i kronan, kommer att öka i hastighet och strömma runt det turbulenta området. Resultatet blir att vattnet strömmar runt kronan som om den vore en droppliknande form. Bildandet av turbulens kan ses som positivt eftersom det leder till att det inte bildas bakvatten i samma omfattning, vilket i sin tur minskar dragkraften nedströms. Lågflödesområdet kan vara positivt för biologisk mångfald och fisk

eftersom delsträckan saknar helt viloplatsen i form av stenar på botten. Trädstammarna kommer också att skapa helt olika miljöer för akvatisk insektfauna beroende på om det är uppströms eller nedströmssidan av trädstammen.

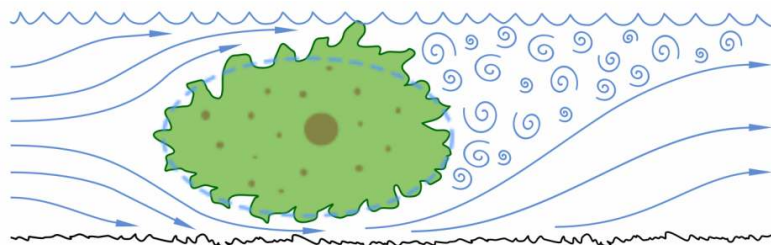


Fig 16. Strömningen runt en trädkrona sett från sidan. Strömningsbilden är tolkad från flödesmätningarna i Helge å. Bildens längdskala är kraftigt komprimerad.

Mätningarna visar också på att flödet ökar mellan trädkronan och botten. Troligen trycks vattnet ner under kronan och där det accelererar. Bakom kronan stiger denna ström upp mot ytan för att ca åtta meter nedströms, nå en flödesprofil likt referensen.

På den undersökta platsen är botten täckt med sten och grus, men om botten istället hade utgjort sand, hade strömmen under kronan lett till erosion. Trädstammen hade på längre sikt förankrat sig själv i botten genom erosionen under trädet. Mätningar av djup under kronan visade i detta fall på en jämn botten vilket tyder på att erosion dämpas av det översta gruslagret.

En del av vatten kommer också att strömma runt kronan. Flödesprofilen som ligger en meter utanför kronans spets visar på en tydlig hastighetsökning när botten. Denna effekt var helt borta två meter ut från kronans spets. För beräkningar av dämningseffekt kan resultaten vara viktiga. Om träd-kronan approximeras som en flat ellipsformad yta för att ange en motståndskoefficient är det risk att man överskattar dämningseffekten. I detta fall är det mer lämpligt att nyttja en droppformad kropp. Enligt White (1986) kan motståndskoefficienten reduceras till 0,1 istället för 0,3 för en cylinder. Om det lägre värdet nyttjas enligt beräkningarna i ekvation 1.17 kommer dämningseffekten för kronan att reduceras. Till detta kommer att kronan släpper igenom mer än två tredjedelar av flödet.

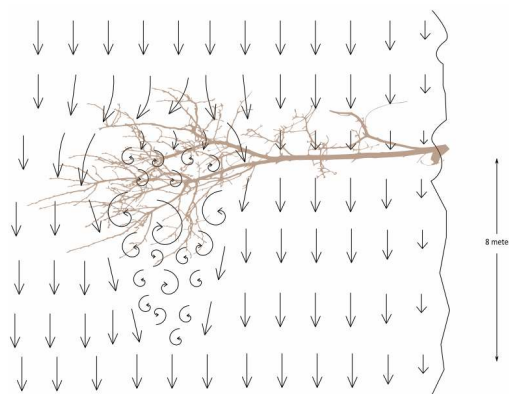


Fig 17. Strömningen runt träd 1 i vattnet. Pilarnas längd anger flödes hastigheten

Analys av ökad mängd död ved i Helge å

Metod

Den ursprungliga tanken var att analysera effekten av död ved med en en-dimensionell modell, HEC-Ras alternativt en 2,5 dimensionell modell, CCHE2D. Tyvärr saknar båda modellerna beräkningsrutiner för att inkludera effekten av död ved i fåran, förutom att justera friktionsfaktorn, Mannings tal. Någon annan modell med denna möjlighet har inte påträffats. HEC-Ras hyser möjligheter att inkludera olika installationer i fåran, t ex bryggor, vilket skulle kunna nyttjas för att simulera död ved. Problemet är att trädstammens runda form inte skulle simuleras vilket leder till att blockeringseffekten kraftigt överskattas. Det går inte heller simulera andra vinklar på trädet än vinkelrät mot flödet. Avseende CCHE2D pågår ett arbete att inkludera vegetation i fåran som skulle kunna nyttjas för att beräkna strömningen runt död ved och framförallt trädkronan i 2 dimensioner (Wu, 2008, pers. komm.). Naturligtvis är det optimala att simulera strömningen i en tredimensionell modell med detta kräver avsevärt större mängd indata och dessutom ökar risken för fel i modellen.

För att analysera effekten av död ved i Helge å och för att studera sambanden mellan olika parametrar som berör död ved sammanställdes en beräkningsmodell utifrån de tidigare beskrivna ekvationerna. Som ingångsvärden nyttjades inmätta tvärsektioner i Helge å mellan Byvärma och Tornasjön. Tvärsektionerna har tidigare uppmätts med ekolod och avvägningssinstrument men kompletterades med ytterligare mätningar under 2008. Sedimenten i fåran har uppskattats från provtagningar augusti 2008. Flödes hastigheterna vid ytan mättes med hjälp att låta en gummibåt flyta med i samma hastighet som flödet och registrera förflyttningen med GPS (en mätning per sekund). Detta genomfördes vid ett lågvattenflöde 2008 och vid ett högvattenflöde 2007. Som komplement nyttjades också flödesmätningar med en flygel (MJP Flowmeter). Förekomst av träd i fåran har tidigare registrerats i samband med inventering av den aktuella delsträckan 2007 samt juli och november 2008.

Påverkan från stenvalvsbron till Tornasjön

Effekten av död ved kommer att variera nedströms stenvalvsbron på grund av en rad olika faktorer till exempel att fårans form ändras. Från en bredd på 52 meter sjunker den till ca 18 meter drygt 1000 meter nedströms bron. Även djupet ökar nedströms vilket ändrar fårans tvärsnittsarea och den hydrau-

liska radien. Utöver detta förändras kornstorleken så att botten går från stenigt grus till stenig-blockig botten. Dessutom sjunker flödes hastigheten vid lågvattenföring nedströms från 0,28 m/s till under 0,1 m/s längre nedströms. Denna förändring kommer att ge olika förutsättningar för påverkan av död ved i fåran.

I beräkningarna antogs att det ligger ett träd med längden 14 meter och diameter 20 cm var 80 meter längd hela delsträckan. Detta är något högre dagens genomsnitt.

Lågvattenflöde

Beräkningarna visar att botten friktionsmotstånd tillsammans med fårans form har allra störst betydelse för utflödet av vatten från Möckeln vid lågvattenföring. Från stenvalsbron sjunker flödes hastigheten relativt snabbt till under 0,1 m/s. Samtidigt sjunker också fårans bredd från 33 meter till 16 meter ca 500 meter nedströms bron för att sedan öka till mellan 18 till 20 meter. Detta betyder att den våta perimetern förändras och därmed inflytandet från friktionsmotståndet från botten och sidor. Även sedimenten i botten förändras. Vid stenvalsbron och ca hundra meter nedströms är botten grusig med en yta täckt av grus och småsten. D_{90} uppskattas till ca 20 mm vilket överensstämmer väl med mätningarna av skjuvspänningen genom flödesmätningar. Längre nedströms blir fåran allt mer stenig och D_{90} uppskattas till 150 mm.

Lågvattenflöde

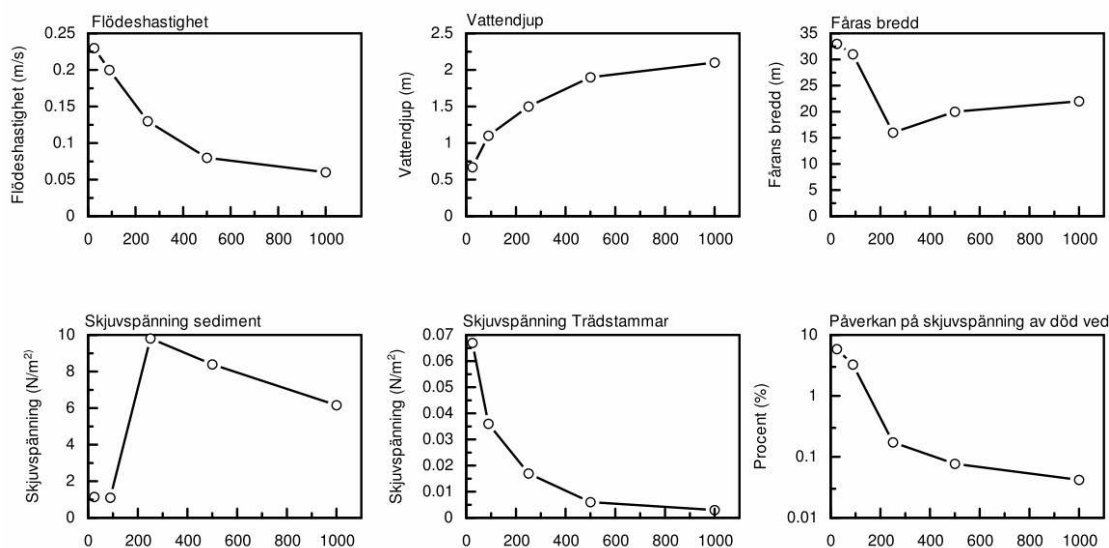


Fig 18. Beräknad effekt av trädstammar i fåran vid lågvattenföring mellan Byvärma och Tornasjön

Beräkningarna visar att skjuvspänningen sjunker nedströms från bron men för att sedan snabbt öka när botten blir mer stenig. Genom att fårans tvärsnittsarea ökar nedströms kommer friktionsmotståndet från död ved att minska men inte lika långt som den första delsträckan närmast bron.

Skjuvspänningen som uppstår från död ved sjunker snabbt nedströms och är direkt relaterad till tvärsnittsarean och flödes hastigheten. Störst påverkan har död ved de första 100 meter söder om bron där död ved står för ca 7 % av den totala skjuvspänningen. Vid det aktuella tillfället ($7,8 \text{ m}^3/\text{s}$) skulle detta innebära ett minskat utflöde med ca 230 l/s. Längre nedströms, ca 150 meter från stenvalvsbron har trädstammar i vattnet mycket liten effekt på strömningen, ca 10-20 liter/sekund. Detta beror på att tvärsnittens yta och form samt att skjuvspänningen från botten och sidor är så pass mycket större. Dessutom sjunker flödes hastigheten nedströms vilket ytterligare minskar den bromsande effekten av död ved.

Om beräkningarna ska sammanfattas betyder det att död ved har en relativt liten effekt på flödet vid lågvattenföring förutom de översta 100 meter nedströms bron. Den största effekten på utflödet är utan tvekan sedimenten i botten och fårans kanter samt den minskade tvärsnittet nedströms.

Även om fåran breddades i samband sjösänkningen fick man en fåra med relativt högt friktionsmotstånd genom sten och block i botten. Dessutom finns en smalare sektion, ca 16 meter bred, 250 meter nedströms bron som i sig är begränsande.

Högvattenflöde

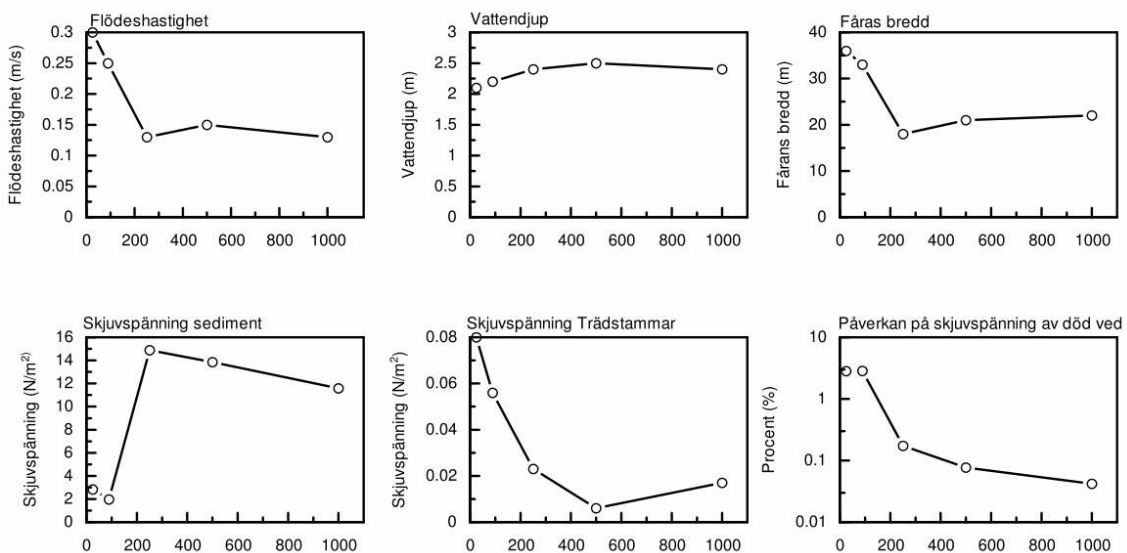


Fig 19. Beräknad effekt av trädstammar i fåran vid lågvattenföring mellan Byvärma och Tornasjön.

Högvattenflöde

Vid högvattenflöde ökar vattenståndet mycket kraftigare närmast stenvalvsbron jämfört med nedströms närmare Tornasjön. Omedelbart nedströms var vattendjupet 2,2 meter jämfört med 0,67 meter vid lågvattenföring. Detta kan jämföras med vattenståndskillnaden vid sista kurvan innan Tornasjön som motsvarar ca 30-40 cm mellan hög och lågvattenföring. Vid det aktuella flödet kring 21 m³/s betyder det att lutningen har ökat från 2 till 5 cm/100 meter.

Om vi jämför med diagrammet för skjuvspänning från botten och sidor kan vi se att denna ökar kraftigt när fåran blir smalare och med grövre sediment ca 150 meter nedströms bron. Det tyder på att fårans form och friktionsmotstånd tillsammans med stenvalvsbrons inverkan på tvärsektionen den största påverkan på utflödet från Möckeln.

Om vi studerar effekten av trädstammar vid högvattenflöde så sjunker påverkan jämfört med lågvattenflöde. Orsaken är att fårans tvärsnittsarea ökar, vilket kompensera mer än väl den ökade bromseffekten på grund av ökad flödes hastighet. Minskning i blockeringseffekt har med andra ord större betydelse i detta fall. Även när det gäller högvattenflöde så minskar den relativa effekten av död ved kraftigt nedströms ca 100 meter från stenvalvsbron. Påverkan motsvarar ett flöde på 0,3 m³/s vid ett flöde motsvarande 22 m³/s. Om vi översätter detta med hjälp av avbördningskurvan för Möckeln till vattenståndet i sjön skulle detta innebära att död ved ökar vattenståndet i Möckeln med ca 1 cm vid detta flöde.

Trädets storlek

Trädets storlek har en betydelse för att påverka vattenytans lutning och flödet. För att analysera effekten genomfördes beräkningar med olika storlekar på stammen och längden på trädet. Tvärsektionen 25 meter nedströms stenvalvsbron nyttjades för beräkningarna eftersom denna utifrån resultaten är känsligast för död ved. Tillståndet beräknades vid lågvattenföring då påverkan av död ved är som störst. Skjuvspänningen från sedimenten var 1,39 N/m³.

Trädstorlek	Längd m	Diameter cm	Skjuvspänning	Påverkan på lutningen, S (%)
Litet träd	7	10 cm	0,036	2,3 %
Mellanstort träd	14	20 cm	0,089	5,5 %

Stort träd	17	35 cm	0,227	13 %
------------	----	-------	-------	------

Tabell 1 Effekten av död ved på skjuvspänningen mellan botten och vattnet samt påverkan på vattenytans lutning.

Beräkningarna visar en effekten av träd i fåran som ökar näst intill exponentiellt med ökad trädstorlek. Resultatet visar att riktigt stora träd som faller i fåran vid bron vid Byvärma kan ha visst betydelse på utflödet av vatten vid lågvattenföring. Om samma beräkning görs vid högvattenflöde minskar effekten av det största trädet från 13,0 % vid lågvattenföring till 3,8 % vid högvattenföring. Vid en vattenföring kring 21,5 m³/s motsvarar detta 0,4 m³/s. Om vi gör samma beräkning fast för ett flöde som motsvarar det maximala flödet kring 36 m³/s (ett vattendjup motsvarande 2,5 meter) skulle det innebära ett minskat utflöde motsvarande 0,6 m³/s. Även om träden togs bort skulle det ha en liten inverkan på vattenståndet i Möckeln genom att avbördningskurvans lutning är lägre vid höga flöden.

Avstånd mellan trädstammar i fåran

Avståndet mellan varje träd har betydelse för effekten av död ved på flödet. I beräkningen nyttjades ett mellanstort träd enligt tabell 1 samt tvärsektionen 25 m nedströms bron, men där avståndet mellan träden varierades. De olika scenarierna jämfördes genom att beräkna påverkan på lutningen. Eftersom lutningen är direkt korrelerad med flödet är det också information om flödet genom Helge å.

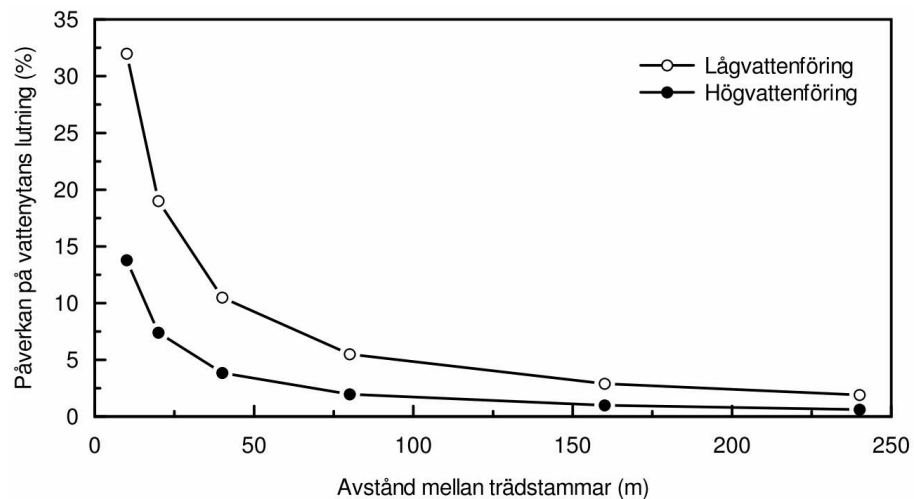


Fig 20. Effekten av träd i vattnet vid låg- respektive högvattenföring då avståndet mellan träden varierar

Resultatet visar tydligt på att effekten av träd i fåran ökar exponentiellt med minskat avstånd, och därmed fler träd i fåran. För tillfällena med lågvattenföring börjar ökningen redan vid 75 meter mellan träden vilket motsvarar ca

24 träd i hela delsträckan. Samma analys för högvattentillfällena visar på att det krävs kortare avstånd mellan träden för att det ska få en betydande påverkan. Ett rimligt värde för att det ska påverka högvattenflödena är ca 25 meter mellan trädstammarna eller 70 träd i hela delsträckan. Eftersom beräkningen är gjord för den översta tvärsektionen kan vi konstatera att det inte bör ligga mer än 4-5 träd i den översta delen av delsträckan. Påverkan vid denna punkt är ca 5 % vilket innebär att vattenståndet ökar med ca 4.4 cm vid bron. Utflödet vid Möckeln skulle minska med ca 0,85 m³/s på grund av död ved.

Slutsatsen från beräkningarna är att död ved har störst betydelse vid lågvattenföring och minskar allt mer med ökat flöde. Resultaten tyder på att man inte kan förenkla rekommendationer till ett visst antal träd per hundra meter utan man måste uppskatta fårans morfologi för att ge en mer korrekt bild hur mycket död ved man kan öka innan man får problem genom höjd vattennivå, minskad flödes hastighet, ökad översvämningrisk m.m.

Skjuvspänning från botten jämfört med träden

En intressant fråga är hur snabbt skjuvspänningen ökar när vi går från finkorniga sediment till grövre sediment. Det är vanligt att man vill rensa död ved oavsett om fåran är finkornig eller stenig, med andra ord utan att beakta fårans friktionsmotstånd i sig. Analysen genomfördes genom att ändra kornstorleken i den översta tvärsektionen 25 meter nedströms stenvalvsbron vid Byvärma. I beräkningarna antogs att 14 meter långa trädstammar låg i fåran var 50:e meter.

Beräkningarna visar att effekten av död ved i fåran blir allt mer betydelsefull ju finkornigare sediment som förekommer i fåran. I vattendrag med grova sediment kommer inte död ved ge en signifikant betydelse på flödet förrän fåran innehåller stora mängder.

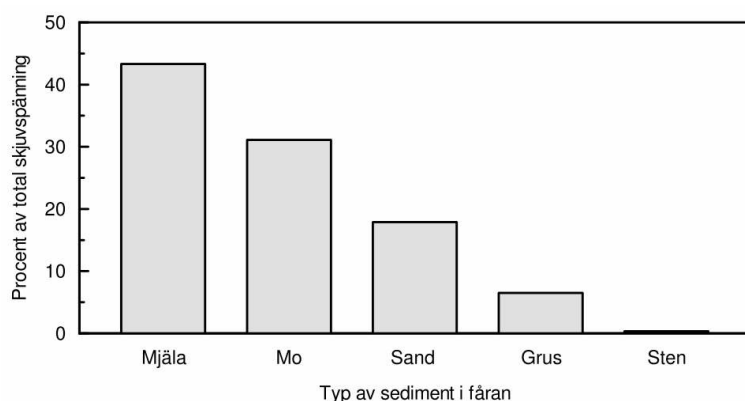


Fig 21. Effekten på den totala skjuvspänningen i fåran av död ved vid olika kornstorlekar i botten och sidor. Beräkningen gäller enbart för tvärsektionen 25 m nedströms stenvalvsbron vid Byvärma men ger en uppfattning om kornstorlekens effekt relativt död ved. Effekten har beräknats för den största storleken inom den aktuella jordarten.

Man ska vara försiktig med att extrapolera resultatet till andra vattendrag med finkornigare sediment och säga att effekten av död ved är stor i denna typ av system. I vattendrag med finkornigare sediment är fåran oftast mer U-formad samt att vattendragets lutning och flödes hastighet oftast är lägre än blockrika vattendrag. Dessa faktorer kommer att påverka effekten av död ved. Man måste också beakta att effekten av död ved är olika beroende på om man analyserar effekten vid låg- till medelvattenföring eller om man avser att analysera översvämningsrisken.

För att realistiskt kunna jämföra en delsträcka i ett strömparti med en lugnflytande delsträcka gjordes två nya beräkningar. Den första delsträckan motsvarar en strömsträcka i riffle-pool systemet nedströms Gustavsfors. Flödes hastigheten i denna delsträcka är ca 0,7 m/s och kornstorleken, D_{90} kring 200 mm. Fårans bredd är 41 meter och vattendjupet 1 meter. Den andra delsträckan motsvarar Helge å söder om Oshult där sediment är mjöla. Fårans bredd i denna delsträcka är kring 18 meter och vattendjupet 2,6 meter. Flödes hastigheten sattes till 1 m/s vid den grövre tvärsnittet 0,24 m/s vid Oshult. Båda fallen representerar flödessituationen augusti 2007 då vattenflödet var kring 21 m³/s.

Resultatet visar att delsträckan nedströms Oshult är relativt känslig för död ved i fåran. I det aktuella fallet skulle skjuvspänningen från död ved motsvara 27 % av den totala skjuvspänningen under förutsättningen att det inte finns något annat i fåran som tillför friktionsmotstånd. I denna delsträcka är emellertid bottenpografien tämligen varierad vilket kan tyda på att påverkan från död ved på skjuvspänningen är mindre än 27 %. Resultatet kan emellertid peka på att som försiktighetsmått bör det inte finnas mer än ett träd i fåran per 200 meter i denna delsträcka om man vill minimera översvämningsrisken. Ett alternativ är dock att dra in träden mindre än 30 grader vinkel vilket gör att man kan öka mängden död ved radikalt. Man ska också beakta att området runt fåran utgörs ett flack flodplan som regelbundet svämmas över.

I fallet med strömsträckan söder om Gustavsfors är fårans friktionsmotstånd mycket hög, ca 190 N/m² på grund av det grova botten substratet. Även med ett träd var 20 meter kommer man inte upp till mer än någon procent av det totala friktionsmotståndet från fårans botten och sidor. Trots trädstammarna ger en viss dämningseffekt är fårans lutning så pass stor att det ger en begränsad effekt uppströms. I denna delsträcka kan man öka mängden död ved betydligt utan att det skulle uppstå ökad översvämningsrisk.

Slutsatsen som kan dras från dessa beräkningar är att man måste vara försiktigare med att öka mängden död ved i finkorniga, flacka, vattendrag än i steniga strömsträckorna. Detta kan tyda på att de värden som anges i bedömningsgrunder för hydromorfologi behöver justeras beroende på om det är finkorniga lugnflytande delsträckor eller om det är strömsträckor.

Beräkningarna kan också tyda på att åtgärder för att minska översvämningensrisk genom att hålla mer vatten i systemet bör fokuseras i de övre delarna av avrinningsområdena där sedimenten oftast är grövre. I dessa delsträckor kan fåran hålla mycket död ved innan det ger en effekt. Längre ner i avrinningsområdet bör man lägga mer analys för att avgöra hur mycket död ved fåran kan hysa innan det skapas olägenheter.

Resultaten tyder också på att rensningar av död ved bör analyseras bättre innan startar åtgärden. I vissa fall är rensningar av död ved meningslösa eftersom de har sådan liten effekt på den totala skjuvspänningen i fåran. Skadan som uppstår av rensningar är i många fall omfattande.

Trädets vinkel mot flödesriktningen

Hur träden ligger ut i fåran har betydelse för blockeringseffekten men också för att samla upp annat organiskt material som kommer flytande. Blockeringseffekten påverkas till stor del av vinkeln i förhållande till flödesriktningen. För att undersöka denna effekt av trädets vinkel analyserades i tvärsektionen ca 25 meter nedströms om bron vid Byvärma. I beräkningsmodellen antogs ett träd var 80 meter med diameter 20 cm och längden 14 meter. I beräkningen antogs en situation med lågvattenflöde.

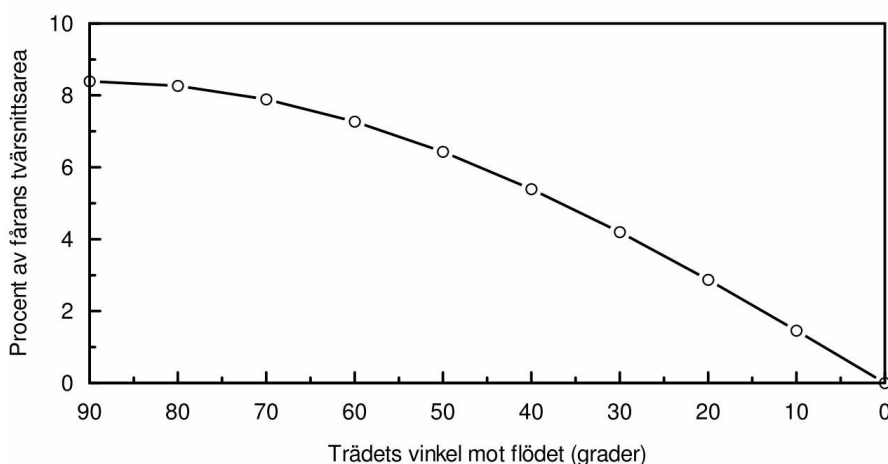


Fig 22. Den blockerande effekten av trädstammar i fåran vid minskad vinkel med flödet. 90 grader motsvarar ett träd som ligger vinkelrätt mot flödesriktningen och noll grader är ett träd som ligger parallellt med flödet.

Analysen visar att under 60 graders vinkel minskar blockeringseffekten näst intill linjärt och vid 30 graders vinkel har effekten halverats. Resultatet tyder på att man kan reducera effekten på flödet betydligt genom att helt enkelt dra in träden längs fårans kant. Den positiva effekten blir större ju större trädet är i förhållande till fårans tvärsnittsarea. Genom att lägga in träden längs fårans kan skapas effektiva erosionskydd, fåran kommer på sikt att få

mer död ved och trädstammarna utgör fortfarande en viktig funktion både för fisk och för fågel. Till exempel noterade Nolbrant (2008, pers. komm.) en koppling mellan kungsfiskare och förekomst av träd i fåran i Helge å norr om Agunnaryd.

Förslag till åtgärdsprogram för död ved i Helge å

Allmänt för länet

Död ved är sannolikt en bristvara i hela länet. Det kan därför finnas ett behov av en generell strategi för hela Kronobergs län

Som tidigare visat i denna undersökning, är påverkan från död ved störst i finkorniga delsträckor och minst i steniga blockiga delsträckor. Om vi ser närmare på Kronobergs län finns många finkorniga vattendrag i den syd-småländska slätten och mer grövre vattendrag upp mot småländska höglandet och i den brantare övergången till skånes slättlandskap. En generell ökning av död ved i dessa områden skulle ge begränsad lokal negativ effekt men positiv verkan för biologisk mångfald men framförallt för att minska översvämningsrisken i de nedre delarna av de huvudavrinningsområden som finns inom länet. Inom finkorniga delsträckor till exempel kring Möckeln och Åsnen bör död ved öka mer försiktigt. På dessa platser bör äldre kartmaterial tillsammans med beräkningar få avgöra om fåran ska hysa större mängd död ved

Helge å

Byvärma till Tornasjön

Delsträckan har analyserats i rapportens första del. För sträckan Möckeln till ca 100 meter nedströms stenvalvsbron bör antalet träd inte överstiga åtta träd om träden ligger vinkelrät ut från fårans kant. Från denna punkt och nedströms till sista kurvan ut mot Tornasjön kan mängden trädstammar öka till ca ett träd var 50 meter, totalt ca 35 träd. Om träden förs in mot fårans kant kan man dock öka antalet träd. Träd som ligger mer än halva fårans längd tenderar att vara stabila och kan hindra framkomligheten. Dessa bör antingen föras in mot fårans kant eller kapas av ca halva trädets längd.

Eftersom avbördningen från Möckeln är viktig bör ökad mängd död ved följas genom SMHI:s pegel. Om avbördningskurvan visar på en drift kan det vara aktuellt med kompletterande mätningar och eventuell komplettera med en tryckpegel i Tornasjön för att avgöra orsaken till förändringen.

Kråka kanal

Undersökningsområdet omfattar Kråka kanal med in- och utloppsområden i Tornasjön och Skepphultasjön. Den totala sträckan i Helge å inom under-

sökningsområdet motsvarar 688 meter varav 350 meter utgörs av Kråka kanal. 230 meter av delsträckan utgörs av det delta som har utbildats nedströms. Botten är täckt av sten och grus. Lutningen motsvarar mellan 6 till 10 cm per 100 meter. Fårans hyser ett fåtal träd som ligger i vattnet. I övrigt finns det mycket lite död ved i fåran

Beräkningar visar att Kråka kanal kan utan större påverkan hysa 10-12 träd som ligger nästan vinkelrät ut från fårans kant. Det skulle en höjning av vattenytan med ett par centimeter per hundra meter. Vid en vattenföring kring 11 m/s skulle flödet minska med 0,2 till 0,3 m³/s. Vid högvattenflöden sjunker denna effekt på grund av att vattendjupet ökar till ca 1,3 meter.



Fig 23. Ett av få träd som ligger i Kråka kanal. Sedan bilden togs 2007 har trädet sjunkit betydligt. Notera hur få små grenar som finns kvar på trädet. Förmodligen föll detta trädet i fåran i samband med stormarna 2005. Detta visar hur snabbt kronan minskar sin dämmande effekt.

Skepphultsjön till Bökönsjön

Den första delsträckan från Skepphultsjöns utlopp förbi stenvalvsbron består av en strömsträcka med stenig, blockig fåra. I denna del kan mängden död ved öka betydligt innan det ger en effekt. Eftersom delsträckan används av kanot- och fisketurism är det viktigt att framkomligheten bibehålls. Nedströms strömsträckan och ut mot Bökönsjön saknas död ved helt. Orsaken är att området kring fåran har nyttjats som vall under mycket lång tid. Det har med andra ord inte vuxit träd längs fåran under mycket lång tid.

Analys av delsträckan visar att den är relativt känslig för död ved. Orsaken är att fåran består av finkorniga sediment. Antalet träd bör inte överstiga ett träd per 200 meter. Delsträckan har sannolikt översvämmats regelbundet under tiden det fall och gräsvegetation. Även om området översvämmas kommer det knappast påverka ekonomiska värden.

Bökösjön till Gustavsfors

Delsträckan består av lugnflytande områden i finkorniga jordarter varvat med moränryggar som gör att fårans botten täcks av block och sten. Mycket av delsträckan kantas av våtmarker varför mängden död ved naturligt bör vara låg. Av den anledning föreslås ingen åtgärd i denna delsträcka mer än att låta eventuella träd som faller i fåran vara kvar.

Gustavsfors till Delarymagasinet

Delsträckan hyser ett ovanligt välutvecklat riffle-pool system. Botten är till stor del täckt av block och sten i såväl strömsträckorna som i höljorna. Delsträckan undersöktes 2007 samt i samband med provtagning av bottenfauna 2008. Mycket tyder på att fåran i denna delsträcka hyser väldigt lite död ved. Inte ens höljorna tycks innehålla död ved. Den översta delen kantas av betesmark och vall under lång tid tillbaka och skog har inte börjar växa här förrän de senaste decennierna. Det kan vara en förklaring till den obetydliga mängden död ved. Den nedersta delsträckan från Aspholmen kantas dock av skog, men hyser trots det lite död ved. Beräkningar från en tvärsektion inom riffle-pool systemet tyder på att delsträckan kan öka mängden död ved betydligt innan det ger effekt på flödet. Ett träd i storleken 20 cm stamdiameter var 20 meter bör vara ett riktmärke. I den övre delen mellan Gustavsfors och Aspholmen är skogen relativt ung längs kanterna och det kan dröja 20-30 år eller mer innan mängden död ved ökar. Det kan därför vara aktuellt att manuellt tillföra död ved. Ett förslag är ta nedfallna träd från delsträckan Byvärma-Tornasjön eller andra känsliga delsträckor och tillföra dem till denna delsträcka.



Fig 24. Ett av mycket få träd som ligger i Helge å nedströms Gustavsfors. Även om trädet till stor del ligger ovan vattenytan och därmed ger liten påverkan på strömningen, utgör den ett viktigt plats för födosök för exempelvis kungsfiskare.

Referenser

Abbe, T.B, Brooks, A.P., Montgomery, D.R., 2003: Wood in rehabilitation and Management, American Fisheries Society Symposium, 25 s.

Andersson, B.G., 2005: On the impact of riparian vegetation on catchment scale flooding characteristics, Doktorsavhandling, University of Melbourne.

Arcement, G., Schneider, V., 1989: Guide for selecting Mannings's roughness coefficients for natural channels and floodplains, U.S. Geological Survey Water Supply Paper, vol. 2339, 44 s.

Bilby, R. E., G. E. Likens. 1980: Importance of organic debris dams in the structure and function of stream ecosystems. Ecology 61, s. 1107-1113.

Bilby, R. E. and J. W. Ward. 1989: Changes in characteristics and function of woody debris with increasing size of streams in western Washington. Transactions of the American Fisheries Society 118, s. 368-378.

Braudrick, C., Grant, G. 2001: Transport and deposition of large woody debris in streams: a flume experiment, Geomorphology 41, s. 263-283.

Braudrick, C., Grant, G. 2000: When do logs move in rivers?, Water Resources research, vol. 36, no.2 , s. 571-583.

Chow, V. T. 1959: Open channel hydraulics (New York: McGraw-Hill)

Clifford, N., Richards, K.S., Robert, A., 1992: The influence of microform bed roughness element on flow and sediment transport in gravel bed rivers: Comment on a paper by Marwan A Hassan and Ian Reid, Earth Surf. Processes Landforms, vol 17, s. 529-534.

Commission of the European Communities, 2004: Flood risk management, Flood prevention, protection and mitigation, 11 s.

Degerman, E., Halldén, A., Törnblom, J., 2005: Död ved i vattendrag - Effekten av skogsålder och naturlig skyddszon på mängd död ved, Världsnaturfonden, WWF, 24 s.

Dudley, S. J., J. C. Fischenich, S. R. Abt. 1998: Effect of woody debris entrapment on flow resistance. Journal of the American Water Resources Association 34 s. 1189-1198.

Einstein, H.A., Banks, R.B., 1950: Fluid resistance of composite roughness, Eos. Trans. AGU, 31, s. 603-610.

EU kommissionen, 2003: Best practises on flood prevention, protection and mitigation. 29 s.

- Ishikawa, Y., Studies on Disasters Caused by Debris Flows Carrying Floating Logs Down Mountain. Streams, Doktorsavhandling, Kyoto universitet, Japan. 121 pp.
- Kling, J., 2007: Hydrogeomorfologisk inventering av Ätran mellan Sexdrega och Svenljunga samhälle - Restaurering av Ätran, etapp II, s. 65.
- Manga, M., Kirshner, J., 2000: Stress partitioning in streams by large woody debris, *Water Resources Research*, vil. 36, no.8, s. 2373-2379.
- Marsh, N., Rutherford, I. och Jeris, K. 2001: Predicting pre-disturbance loading and distribution of large woody debris, in I. Rutherford, F. Sheldon, G. Brierley, C. Kenyon (eds), *Third Australian Stream Management Conference, CRC Catchment Hydrology*, Brisbane, s. 391-397.
- Macdonald, A., E. A. Keller. 1987: Stream channel response to the removal of large woody debris, Larry Damm Creek, Northwestern California. Pages 405-406 in *Erosion and Sedimentation in the Pacific Rim*. IAHS Publication No. 165. International Association of Hydrological Sciences, Washington, DC.
- Montgomery, D., Collins, B., Buffington, J., Abbe, T., 2003: Geomorphic effect of wood in rivers, *American Fisheries Society Symposium* 2003, 27 s.
- Naturvårdsverket, Fiskeriverket, 2008: Ekologisk restaurering av vattendrag, ISBN 978-91-620-1270-0, 213 s.
- Naturvårdsverket, 2007: Handbok 2007:4, bilaga C, Bedömningsgrunder för hydromorfologi, ISBN 978-91-620-0150-6, 67 s.
- Rosengren, Stjernquist, I., 2004: Gå på djupet! Om rotdjup och rotproduktion i olika skogstyper, *SUFOR*, 55 p.
- Schuett-Hames, D., A. Pleus, L. Bullchild, S. Hall. 1994: Timber-fish-wildlife ambient monitoring program manual. Timber, Fish and Wildlife TFW-AM9-94-001, Northwest Indian Fisheries Commission, Olympia, WA.
- Rutherford, I., Marsh, N., Price, P., Lovett, S. 2002: Managing woody debris in rivers, *Fact Sheet 7, Land and Water Australia*, Canberra, 16 s.
- Tally, T. 1980: The Effects of Geology and Large Organic Debris on Stream Channel Morphology and Process for Streams Flowing Through Old Growth Redwood Forests in Northwestern California. Doctor of Philosophy. University of California, Santa Barbara, Santa Barbara, CA, 273.
- Thomas, H., 2005: An investigation of the hydraulic impact of floodplain woodland, *Geophysical Research Abstracts*, Vol.7.
- von Leibundgut, G., H. Dafis S., Richard F. 1963: Untersuchungen über das Wurzelwachstum verschiedener Baumarten. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen* 114 (11): 621-646.

Nolbrant, P., 2008: Biodivers Naturvårdskonsult, personlig kommunikation.

White, F.M., 1986: Fluid mechanics, McGraw-Hill Inc.,

Wu, W., 2007: Computational river dynamics, Taylor & Francis Group, London, UK, 509 s.

Wu, W., 2008: National Centre for Computational Hydroscience and Engineering., U.S.A., personlig kommunikation.