



Ljusnan-Voxnans Vattenvårdsförbund



# Undersökning av hydrologiska och hydromorfologiska förhållanden i Norr-Veman

Tony Persson och Daniel Rickström

2017-10-22

## Sammanfattning

Norr-Veman är i det närmaste opåverkad av reglering på grund av avsaknaden av större magasin eller sjöar. Vattendragets hydromorfologi och flödesregim är dock kraftigt påverkade av de åtgärder som utförts för att underlätta för flottningen och en betydande del av vattendraget är rätat och rensat. Ingen del av vattendraget är restaurerat. I Vemdalens by har återkommande översvämningar, främst vid perioden för isläggningen, vissa år blivit så kraftiga att de orsakat skador på närliggande fastigheter. Översvämningarna kan kopplas till kravisbildning i vattendraget och bottenis som bildar isdammar har observerats i Norr-Veman i Vemdalens by. Bildning av kravis och bottenis beror på flera olika faktorer där, förutom väderförhållandena och vattentemperaturen, de viktigaste är avståndet till ett uppströms belägen sjö, vattenhastigheten, vattendjupet och bottenstrukturen. Norr-Veman har inga större sjöar vilket betyder att den värmelagrande förmågan hos en sjö inte påverkar vattentemperaturen för någon delsträcka under i princip hela dess hela sträckning. Den modifierade hydromorfologin har gjort att vattendraget är mycket grundare än vad det en gång var vilket gör att den vattenyta som exponeras mot atmosfären är större för varje delsträcka än vad den hade varit om vattendraget hade varit opåverkat. På grund av rensningen och rätningen så har Norr-Veman större vattenhastigheter och mindre vattendjup än för motsvarande naturliga förhållanden med en mer varierad hydromorfologi. Vattenhastigheten är en kritisk parameter när det gäller bildning av kravis och en ny studie för norrländska förhållanden visar att för vattenhastigheter från 0,3 m/s och högre så kan krav- och bottenis bildas i vattendrag som är jämförbara med Norr-Veman. För att undersöka vattenhastigheterna så sattes en enkel hydraulisk modell upp för en sträcka på knappt 2 km genom Vemdalens by. Syftet var att identifiera delsträckor som kan undersökas vidare för kravisbildningshämmande åtgärder. Modellundersökningen visar att vattenhastigheterna vida överskrider 0,3 m/s vid den vattenföring som normalt råder vid tiden för isläggningen. Detta resultat gör att hela den modellerade sträckan sannolikt har vattenhastigheter som gynnar krav- och bottenisbildning. För att belysa påverkan av rensningen på vattenhastigheter och vattendjup så modellerades en enkel åtgärd som motsvarar utläggning av stora block och stenar. Vid en fördubbling av bottenråheten så minskade vattenhastigheterna med 35 % samtidigt som vattendjupet ökade med 50 %.

Det vattenuttag från Norr-Veman som sker för snötillverkning påverkar vattendraget genom att både vattenhastigheten och djupet minskar nedströms uttagpunkten. Uttaget av vatten kan vara betydande då periodvis nästan hälften av allt vatten som rinner i Norr-Veman pumpas upp och används för snötillverkning. Påverkan kan variera beroende på aktuell vattenföring, väderförhållanden och på om ett istäcke har hunnit utvecklas. Det går inte att fastställa om vattenuttaget har någon signifikant påverkan på krav- och bottenisbildning längre nedströms i Norr-Veman utan ytterligare undersökningar.

Restaureringsåtgärder är det alternativ som i första hand bör komma ifråga för att sänka vattenhastigheten och öka djupet för de delsträckor som är utsatta för isbildning. För att bedöma vilka delar av Norr-Veman som bör prioriteras för åtgärder som hämmar krav- och bottenisbildande förhållanden så bör mätningar och fortsatta modellundersökningar utföras. Ett förslag som innefattar hydraulisk modellering, detaljerad kartering och mätning av vattenföring, vattennivå och vattentemperatur presenteras.

## Innehåll

Inledning.....	2
Syfte och utförande.....	2
Översvämningar orsakade av kravisbildning.....	2
Översvämningar i Norr-Veman.....	3
Åtgärder.....	5
Norr-Vemans avrinningsområde.....	5
Områdesbeskrivning.....	5
Miljökvalitetsnorm.....	6
Hydrologi.....	6
Vattenföring.....	6
Påverkanskällor.....	7
Magasinering i ytvattenmagasin.....	7
Uttag av vatten.....	7
Avledning av vatten.....	8
Påverkan på miljökvalitetsnormen.....	8
Hydromorfologi.....	9
Undersökning av hydromorfologiska förhållanden i Norr-Veman.....	9
En enkel hydraulisk modell för att beräkna vattenhastighet och djup.....	9
Hydraulisk modellering av Norr-Veman i Vemdalens by.....	10
Resultat hydraulisk modellering av Norr-Veman i Vemdalens by.....	12
Diskussion.....	12
Förslag på ytterligare undersökningar.....	13
Referenser.....	14

Omslagsbild: Erosionsskydd vid strandbank, bron vid Håvägen, Vemdalens by, 20160511

## Inledning

Veman är 70 km lång och rinner upp i norra Härjedalen och mynnar i Svegssjön. För vissa delsträckor av vattendraget så är kravisbildning som orsakar bottenis och höjda vattennivåer med översvämningar som följd ett återkommande problem. Mest påtagligt är problemet i Norr-Veman vid Vemdalens by där de återkommande översvämningarna under senhösten och tidiga vintern vissa år blir så kraftiga att de orsakar skador på fastigheter. Översvämningar på grund av bottenisbildning är starkt kopplat till vattendragets hydrologi och de hydromorfologiska förhållandena för de delsträckor där översvämningarna uppstår. Ljusnan-Voxnans vattenvårdsförbund (LVVF) har av Härjedalens kommun tillfrågats om att inge ett förslag för hur undersökningar syftande till att utvärdera åtgärder för att minska översvämningensrisken i Norr-Veman bör utföras.

## Syfte och utförande

Denna rapport syftar till att identifiera påverkan och analysera effekten av de påverkanskällor som kan ha en koppling till en ökad översvämningensrisk jämfört med naturliga förhållanden i Norr-Veman. Detta undersöks genom:

- 1) analys av antropogen påverkan på Norr-Vemans hydrologi med avseende på flödesamplitud och flödesdynamik (exv. reglering, vattenuttag eller vattenavledning).
- 2) analys av de hydromorfologiska förhållandena i Norr-Veman med avseende på om modifieringar av dessa påverkar flödesregimen på ett sådant sätt att det gynnar isbildning som kan orsaka översvämningar.

Analysen ligger till grund för de förslag på ytterligare undersökningar som presenteras.

## Översvämningar orsakade av kravisbildning

Översvämningar kopplade till kravisbildning innebär att iskristaller bildas i underkyllt och turbulent vatten och växer till, flockas och bildar en issörja som kan byggas upp till is på botten och runt stenar. Denna bottenis som byggs på allteftersom hindrar ett fritt vattenflöde och kan orsaka dämning och på vissa platser översvämningar. När och var krav- och bottenis bildas beror ofta på flera samverkande faktorer och bland de viktigaste är väderförhållandena och turbulensen i vattendraget, där den senare i en naturlig vattendragsfåra främst är starkt kopplad till vattenhastigheten. Vattendragets morfologi, exempelvis vilket bottensubstrat som förekommer och hur detta är distribuerat är också en viktig komponent som kan påverka kravisbildning. Ett brett och grunt vattendrag har en större ytarea som exponeras mot atmosfären och kyls ner snabbare vid minusgrader än ett motsvarande djupt och smalt vattendrag. Ett ökat djup innebär också att det underkylda ytvattnet med iskristaller inte lika lätt blandas om och transporteras till botten där det kan frysa till is på stenar och annat bottensubstrat och bilda bottenis. Vattenföringen, och särskilt vattenhastigheten, är avgörande parametrar för kravisbildning och i en ny studie av Lind m.fl. (2016) så undersöktes 25 biflöden till Umeälven och Vindelälven och resultaten visar att höga flöden i kombination med vattenhastigheter så låga som 0,3 m/s gav upphov till förhållanden som gynnade bildning av kravis och bottenis. Studier gällande större vattendrag har visat på kritiska hastigheter för bottenisbildning som ligger i spannet 0,7-0,9 m/s. Det finns också många andra faktorer som påverkar kravisbildningen i ett vattendrag och en mycket viktig faktor är delsträckans avstånd från ett sjöutlopp. För en delsträcka som är belägen nära ett sjöutlopp så är risken för kravisbildning mycket mindre än för en delsträcka som är belägen längre nedströms eftersom vattnet inte hunnit avge lika mycket värme till atmosfären.



**Figur 1** Norr-Veman vid Vemdalens by.

### Översvämingar i Norr-Veman

I Norr-Veman i Vemdalens by (Figur 1) så observeras ofta bottenis vid perioden för isläggningen under senhösten och tidiga vintern (Figur 2). Isdammar bildas då som vissa år har gett upphov till så höga vattennivåer att vattendraget svämmat över och orsakat problem med avlopp och skador på trossbottnar i fastigheter i närområdet, bland annat under vintern 2012/2013. Problemen är mest påtagliga under perioden för isläggningen i november och december då vattenföringen fortfarande är hög och vissa år så har vattendraget behövt rensas från is med grävmaskin. Bottenis kan också bidra till ökade problem med översvämmingar under snösmältningen.



**Figur 2** Norr-Veman ca 180 m uppströms bron vid Håvägen, november 2016. Den övre bilden är tagen 6 november och den nedre bilden är tagen 2 dygn senare, den 8 november. Vattenföringen minskade med 14 % mellan fototillfällena men vattenståndet ökade signifikant på grund av isdämning.

## Åtgärder

Ett sätt att minska risken för att kravis skall bildas är att sänka vattenhastigheten i de delar av vattendraget där översvämningssproblem uppstår. Reglering av hastigheten kan antingen göras genom att påverka flödet eller genom fysiska åtgärder i själva fåran. Vid en reglerad flödesminskning (magasinering av vatten) så sänker man inte bara vattenhastigheten i en given naturlig sektion utan också vattendjupet vilket, särskilt vid lägre flöden, kan öka benägenheten för avkylning vilket kan gynna kravisbildning, särskilt då inget isolerande is- och snötäcke har hunnit bildas. Fysiska åtgärder för att sänka hastigheten för ett givet flöde kan vara att placera ut block och sten vilket innebär att djupet ökar vilket innebär att båda faktorerna samverkar för att hämma kravisbildning. Det är dock mycket viktigt att vattenhastigheten sänks tillräckligt mycket eftersom studier visar att isdammar förekom oftare i vattendrag med stora hindrande objekt som block och död ved samtidigt som vattenhastigheten och turbulensen var hög än om vattendraget hade haft mindre varierade hydromorfologiska förhållanden.

## Norr-Vemans avrinningsområde

### Områdesbeskrivning

Norr-Vemans avrinningsområde uppströms sammanflödet med Sör-Veman strax söder om Vemdalens by är 206 km<sup>2</sup> (Figur 3). Andelen sjöar och vattendrag i avrinningsområdet är mycket liten, endast 0,16 % av ytarealen. Markanvändningen domineras av två marktyper, skogsmark med hela 69 % av området och mosse med 27 %. Morän är den dominerande jordarten med 55 % av området men även torvmarken täcker stora arealer, 35 %. Det finns också ett inslag av isälvsavlagringar i avrinningsområdet och detta uppgår till 4 %.



Figur 3 Norr-Veman.

## Miljökvalitetsnorm

Norr-Veman på sträckan uppströms sammanflödet med Sör-Veman och vidare till en punkt uppströms där Norr Veman delar upp sig i Grönkällsbäcken och Kölån är klassad att ha måttlig ekologisk status i VattenInformationsSystem i Sverige (VISS). Statusklassningen är måttlig för ett flertal olika kvalitetsfaktorer och parametrar och det noteras ofta att tillförlitligheten i bedömningarna är låg och för flera parametrar har expertbedömning använts för klassificeringen.

Med avseende på kvalitetsfaktorn Hydrologisk regim i vattendrag så är denna också klassad till måttlig, även fast tre av de fyra parametrar som använts för klassificeringen för kvalitetsfaktorn har en klassificering som är lägst god. Klassningen är utförd både genom användande av mätvärden och som expertbedömning och orsaken till att klassificeringen av Hydrologisk regim är måttlig anges bland annat till begränsningar i underlagsdata: "Bedömningen är baserad på effekten av rätning och rensning av vattendrag på den specifika flödesenergin. Andel rensande eller rätade sträckor enligt biotopkartering, andel allmänna flottleder och andel restaurerad sträcka sammanvägdes per vattenförekomst. 38 % av vattenförekomstens längd är rensad, rätad eller har varit flottled. 0 % av vattenförekomstens längd är restaurerad. 100 % av vattenförekomstens längd är biotopkarterad." (VISS Norr-Veman SE693125-140148, 2017-09-19).

Med avseende på kvalitetsfaktorn Hydromorfologiskt tillstånd så är denna också klassad till måttlig främst beroende på de rensningar och rätningar som utförts under flottningsperioden (omfattningen redovisad i föregående stycke).

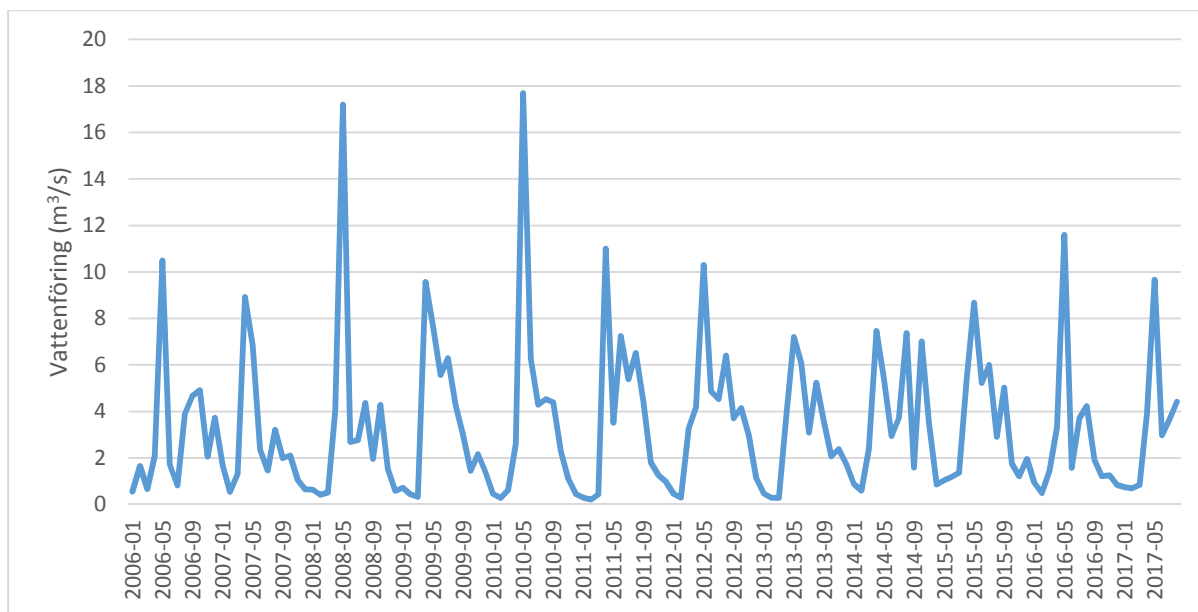
En påverkanskälla i Norr-Veman som kopplar till hydrologin i vattendraget och som anges som betydande är att det sker ett vattenuttag för snötillverkning. Detta uttag anges också vara en orsak till att god status inte uppnåtts till år 2015.

## Hydrologi

### Vattenföring

Det finns inga mätstationer för vattenföringen i varken Veman eller Norr-Veman så enbart modellerad vattenföring med SMHIs modell S-HYPE finns publikt tillgänglig. Modellerad vattenföring med en tidupplösning på ett dygn publiceras på nätet via SMHIs tjänst Vattenwebb. Medelvattenföringen (MQ) enligt Vattenwebb är 3,11 m<sup>3</sup>/s (data nedladdade 2017-09-18) och medelhögvattenföringen (MHQ) är 27,6 m<sup>3</sup>/s, d.v.s. MHQ är ca 9 gånger så stor som MQ. Medellågvattenföringen (MLQ) är ca 12 gånger lägre än MQ och har beräknats till 0,27 m<sup>3</sup>/s. Den högsta högvattenföringen i vattendraget med en återkomsttid på 50 år (HQ50) har beräknats till 49,6 m<sup>3</sup>/s. Vattenföringen i vattendraget karaktäriseras av en kraftig årstidsvariation med en uttalad vårflod och den högsta månadsmedelvattenföringen infaller normalt i maj månad. Efter vårfloden, när växtsäsongen sätter i gång och avdunstningen ökar, så avtar vattenföringen kraftigt och uppvisar ett återkommande lokalt minimum i juni. Efter höstregnen och med vinterns ankomst då nederbörden lagras i form av snö utan att ge upphov till någon avrinning så avtar vattenföringen stadigt från november fram till februari då minimivattenföringen normalt observeras. Under mars och april stiger temperaturerna och snösmältningen påbörjas i de mer låglänta delarna av avrinningsområdet vilket åter ger en ökad vattenföring som blir allt kraftigare när snösmältningen i fjällen startar och ger ett snabbt tillskott av smältvatten och en kraftig vårflod (Figur 4).





**Figur 4** Månadsmedelvattenföringen i Norr-Veman åren 2006-2017. SMHI delavrinningsområde 17754.

### Påverkanskällor

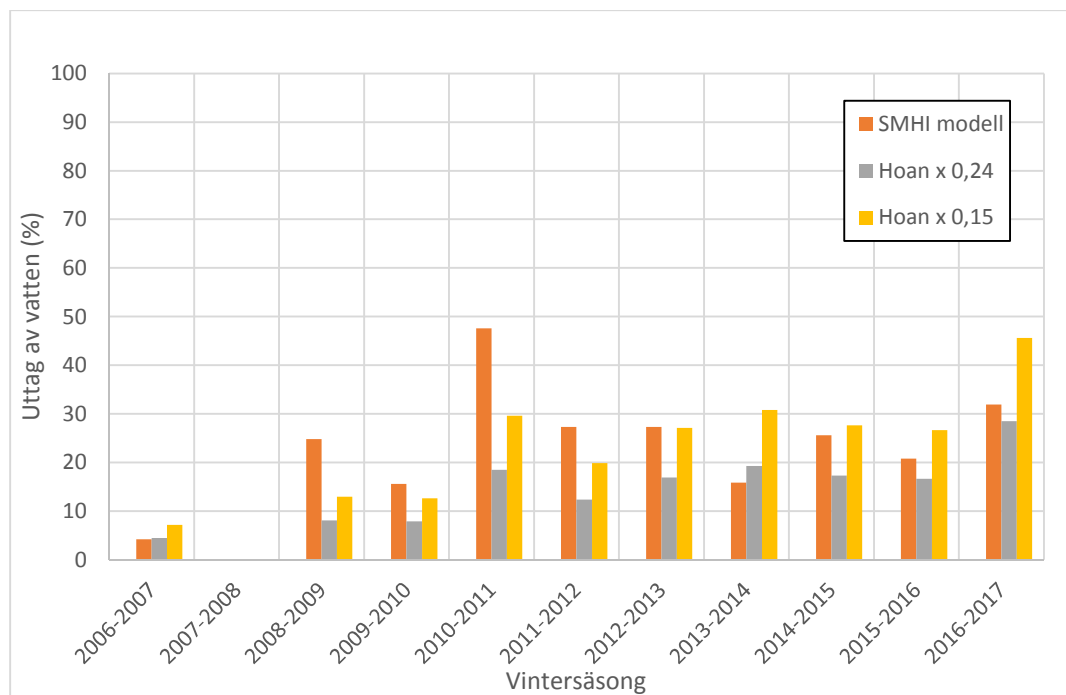
De möjliga påverkanskällor som kan ha en modifierande inverkan på hydrologin i Norr-Veman med avseende på flödesamplituden, d.v.s. storleken på flödena, och flödesdynamiken, d.v.s. hur flödena varierar under året, är magasinering i ytvattenmagasin samt uttag och/eller avledning av vatten för olika ändamål.

#### Magasinering i ytvattenmagasin

Enligt Sjö- och dammregistret i Vattenwebb så finns det fyra dammanläggningar i Norr-Veman varav tre är belägna i biflödet Brynnbäcken och ett i utloppet av en mindre damm, Grönkällsdammen, långt uppströms i vattendragssystemet. Dammanläggningarna saknar betydelse för regleringen av vattendraget och regleringsgraden uppges till 0 % och regleringsvolymen till 0 m<sup>3</sup>. Man kan alltså anta att ingen påverkan på flödesamplituden eller flödesdynamiken kan kopplas till magasinering av vatten i dammanläggningar i eller i anslutning till Norr-Veman.

#### Uttag av vatten

Det enda större kända och pågående uttaget av vatten från Norr-Veman till en verksamhet görs för snöproduktion vid skidanläggningarna i Vemdalskalet. Ingen permanent station för mätning av vattenföringen finns i Veman (och då inte heller i Norr-Veman) och uttaget av vatten för snöstillverkningen baseras därför på den vattenföring som mäts vid SMHIs station i Hoan, belägen i ett angränsande avrinningsområde ca 50 km O-SO om uttagspunkten. Vattenföringen i Norr-Veman vid uttagspunkten beräknas genom att uppmätt vattenföring vid Saras fors i Hoan multipliceras med en korrelationsfaktor. I dagsläget har denna bestämts till 0,15, men önskemål från verksamhetsutövaren finns om att öka denna till 0,24. För att belysa effekten av en ändrad korrelationsfaktor så har den maximala påverkan på vintervattenföringen vid uttagspunkten för de senaste 11 vintersäsongerna beräknats. Snöstillverkningen pågår under en "normalsäsong" från den 3 november till den 13 januari, d.v.s. under 72 dygn, varav uttag av vatten för snöproduktion i medeltal sker under 27 dygn.



**Figur 5** Den maximala andelen vatten som säsongvis tas från Norr-Veman för snötillverkning.

Maxuttaget för beräkningen med den konservativa korrelationsfaktorn 0,15 ligger på mellan 7 och 46 % av vattenföringen i Norr-Veman (Figur 5). Med korrelationsfaktorn 0,24, som ger en högre beräknad vattenföring, så minskar maxuttaget till mellan 4 och 29 %. Säsongen 2016/2017 uppvisar ett signifikant större procentuellt uttag än de tidigare säsongerna. SMHIs modellerade vattenföring i Norr-Veman justerat till uttagspunkten med ett avrinningsområde på 158 km<sup>2</sup> uppvisar stora skillnader jämfört med vattenföringen som beräknats med korrelationsfaktorerna. Maxuttaget av vatten ligger då på mellan 4 och 48 % av vattenföringen i Norr-Veman. Det dataunderlag som tillhandahållits har krävt att en del antaganden har behövt göras för beräkningarna. Eftersom enbart uppgifter på uttagna totalvolymerna finns tillgängliga för säsongerna 2006/2007 till 2012/2013 så har den period för vilken pumpning har utförts samt antal dagar med drift antagits vara ett genomsnitt för säsongerna 2013/2014 till 2016/2017. Detta antagande ger ytterligare osäkerheter i beräkningen av den maximala påverkan som vattenuttaget har på vattenföringen. För att kunna göra en säkrare beräkning så behövs data med dygnsupplösning.

Det vatten som används till snötillverkningen under den tidiga vintersäsongen smälter av under våren och avrinner tillbaka till Norr-Veman och ger ett tillskott till vårfloren. Detta vattentillskott är dock obetydligt jämfört med den medelvattenföring som normalt förekommer under perioden april-maj. För skidsäsongen 2016-2017 så pumpades 301 000 m<sup>3</sup> från Norr-Veman för att användas till snötillverkning. Om man antar att all denna snö smälter och bildar avrinning under april och maj månader 2017 så innebär detta att medelvattenföringen enbart ökar med ca 0,4 % under dessa två månader på grund av tillskottet av smältvatten från snötillverkningen.

#### Avledning av vatten

En del av det vatten som pumpas från Norr-Veman till skidområdet i Hovde kommer att lämna avrinningsområdet under snösmältningen och avrinna till Varggransbäcken och via Röjan till Ljungan. De avrinnande volymerna är dock obetydliga.

#### Påverkan på miljö kvalitetsnormen

Den påverkan som har en direkt effekt på miljö kvalitetsnormen är vattenuttaget för snötillverkningen. Den kvalitetsfaktor som påverkas mest av vattenuttaget är Hydrologisk regim som bedöms för vattendraget av parametrarna specifik flödeseffekt, volymsavvikelse, flödets förändringstakt och vattenståndets förändringstakt. Med de beräkningar som redovisas i föregående

kapitel så kommer parametern specifik flödeseffekt att sannolikt påverkas signifikant under de dagar då vattenuttag sker, men beroende på vattenföringen i vattendraget, hur vattenföringen beräknas och på uttagets storlek så kommer påverkan att variera kraftigt. Det underlagsmaterial som finns tillgängligt är otillräckligt för att beräkna exakta parametervärden som kan användas till en klassificering. På årsbasis för hela vattenförekomsten så kommer inte parametern specifik flödesenergi att påverkas så att klassningen skulle bli lägre än hög eller god status. Det samma gäller parametrarna volymsavvikelse och flödets förändringstakt. Vattenståndets förändringstakt går inte att beräkna med tillgängligt dataunderlag.

## Hydromorfologi

Vattendraget Norr-Vemans hydromorfologi är stark påverkad av flottledsrensningen. Block och sten har flyttats vilket har gjort att vattendraget inte längre fungerar som skydd och fristad för fiskar, bottenfauna och andra vattenlevande organismer. Rensningen och rätningen av vattendraget har också kraftigt påverkat de hydrauliska förhållandena som blivit mindre varierade och flödet i tvärsektionerna har blivit grundare och mer snabbbrinnande. Denna mänskliga omdaning av vattendraget kan ha gett upphov till att risken för översvämningar har ökat.

### Undersökning av hydromorfologiska förhållanden i Norr-Veman

Det finns inget underlagsmaterial som direkt kan användas för att göra en riskbedömning för vilka delsträckor i Norr-Veman som är mest utsatta för krav- och bottenisbildning. Det dataunderlag som finns tillgängligt är i huvudsak en biotopkartering och kartmaterial i form av en digital höjdmodell och ortofoton och detta är inte heller tillräckligt för att fungera för en riskbedömning. Det sistnämnda materialet har dock kunnat nyttjas för att sätta upp en enkel hydraulisk modell av vattendraget. Modellen kan användas för att beräkna vattenhastighet och djup för olika vattenföringar för enskilda delsträckor. Eftersom vattenhastigheten och djupet är mycket viktiga parametrar för krav- och bottenisbildning så kan modellresultaten användas för en översiktlig bedömning av vilka delsträckor som sannolikt är mest utsatta och som bör undersökas vidare för översvämningförebyggande åtgärder. Modellen har också använts för att visa på den potentiella effekten av att utföra åtgärder som minskar vattenhastigheten och ökar djupet för att hämma krav- och bottenisbildningen.

### En enkel hydraulisk modell för att beräkna vattenhastighet och djup

Den modellformulering som har använts i denna studie utgår från Mannings formel där vattenföringen i en öppen kanal eller i ett naturligt vattendrag beräknas som en funktion av vattenhastighet, tvärsnittsarea och bottenlutning enligt:

$$Q = VA = \frac{1}{n} AR^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

där

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

$V$  = vattenhastighet ( $\text{m}/\text{s}$ )

$A$  = tvärsnittsarea ( $\text{m}^2$ )

$n$  = Mannings tal ( $\text{m}^{1/3}/\text{s}$ )

$R = A/P$  = hydraulisk radie ( $\text{m}$ )

$P$  = våta perimetern ( $\text{m}$ )

$S$  = bottenlutning ( $\text{m}/\text{m}$ )

I ekvation (1) så beskriver Mannings tal,  $n$ , vattendragets råhet, d.v.s. hur mycket bottenmaterialets beskaffenhet hindrar flödet. Ett lågt värde på  $n$  beskriver ett vattendrag eller en kanal med väldigt slät botten, exempelvis en gjuten betongkanal och ett högt värde på  $n$  beskriver ett naturligt vattendrag med stora stenar och även bottenväxtlighet. Den våta perimetern,  $P$ , är ett mått på hur lång bottensträckan i en tvärsnitt av vattendraget.

För beräkningarna med (1) så har bottenlutningen,  $S$ , för varje delsträcka tagits fram med hjälp av en digital höjdmodell via kartprogrammet myCarta som tillhandahållits av Härjedalens kommun. Tvärsnittsarean,  $A$ , har för varje tvärsnitt antagits beskrivas enligt:

$$A = \frac{2}{3}BD \quad (2)$$

där

$B$  = vattendragets bredd (m)

$D$  = vattendragets djup (m)

Vattendragets bredd,  $B$ , har uppmätts från ortofoton med hjälp av kartprogrammets mätverktyg. För beräkningen av den våta perimetern,  $P$ , så har vattendragets form antagits vara konstant med en horisontell bottenbredd som är  $1/3$  av den totala bredden i vattenytan, d.v.s. släntlutningen kommer att variera med ett ändrat förhållande mellan bredden,  $B$ , och djupet,  $D$ . Den våta perimetern,  $P$ , beräknas enligt:

$$P = 2\sqrt{\frac{B^2}{3} + D^2} + \frac{1}{3}B \quad (3)$$

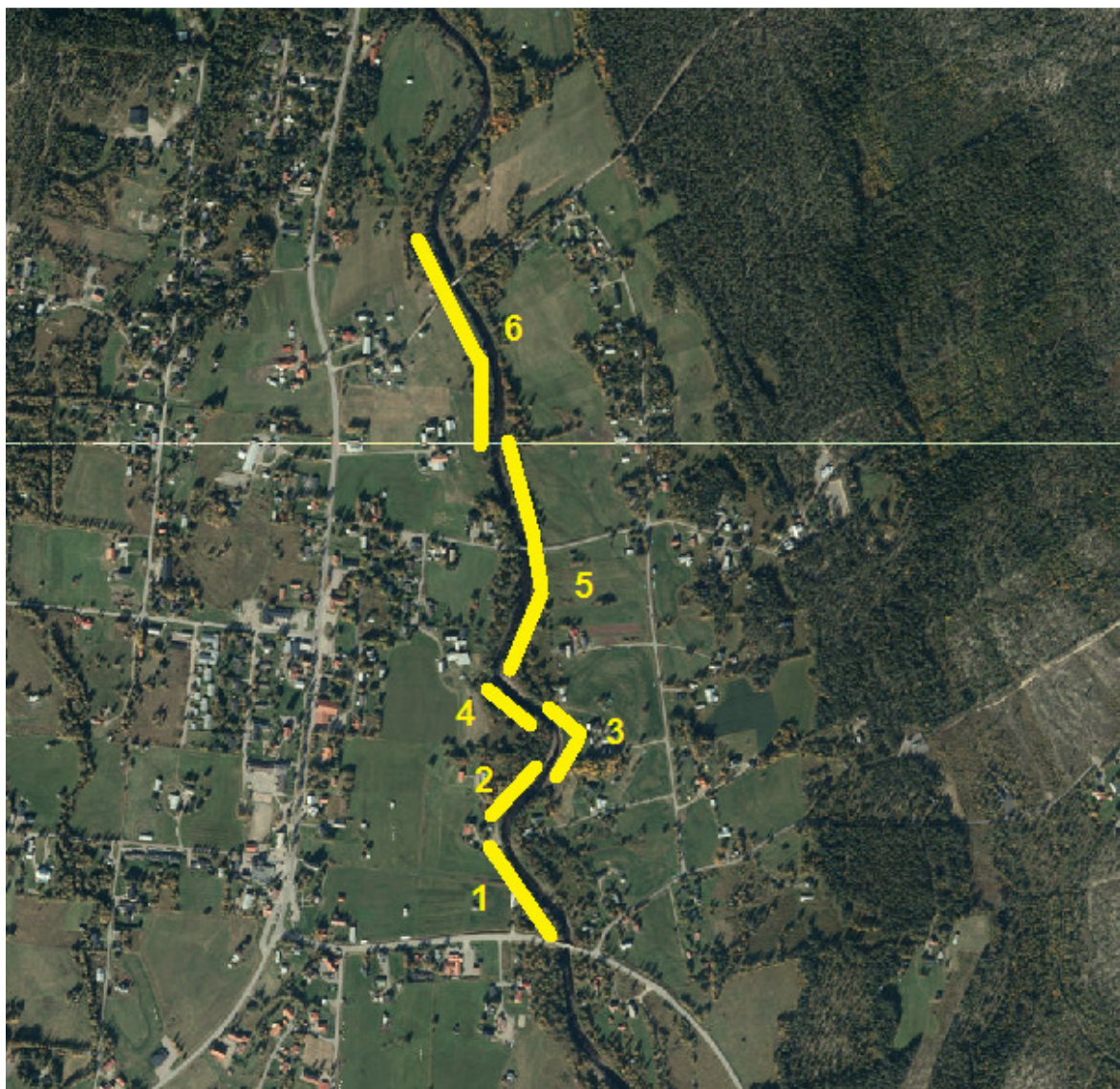
Med dessa antaganden så kan vattenhastigheten,  $V$ , i ekvation (1) beräknas för ett givet Mannings tal,  $n$ , och en given vattenföring,  $Q$ , genom att anpassa vattendjupet,  $D$ .

#### Hydraulisk modellering av Norr-Veman i Vemdalens by

Eftersom de bekräftade problemen med översvämningar som har en observerad koppling till bottenis förekommer i Vemdalens by så har modellberäkningar utförts för sex delsträckor med en total längd av 1856 m med början nedströms vid bron vid Håvågen och till en lokal strax uppströms bron vid Nusgatan (Figur 6). Vattendragets bredd har uppmätts från ortofoton för i genomsnitt var 30:e m (Tabell 1). Medellutningen,  $S$ , för varje delsträcka har beräknats med data från höjdmodellen.

**Tabell 1** Fysiska karaktäristiska för Norr-Veman i Vemdalens by.

Delsträcka	Längd (m)	Lutning (%)	Bredd (m)	Minsta bredd (m)	Största bredd (m)
1	318,8	0,85	11,8	7,0	13,7
2	267,8	0,49	15,2	14,0	16,6
3	242,6	0,58	8,1	6,1	10,6
4	172,1	0,64	12,4	7,3	15,5
5	400,5	1,00	13,6	10,3	19,1
6	453,7	0,97	14,9	7,8	19,1
<i>Tot. el. medel</i>	<i>1855,5</i>	<i>0,75</i>	<i>12,7</i>	<i>8,8</i>	<i>15,8</i>



**Figur 6** Delsträckor uppströms bron vid Håvågen i Vemdalens by som modellerats med en enkel hydraulisk modell.

Medelhastigheten och medeldjupet för varje delsträcka har beräknats för fyra olika scenarion:

- *Bassscenario*: Vattenföringen  $Q = 3,11 \text{ m}^3/\text{s}$ , vilken är densamma som medelvattenföringen (MQ). Mannings tal  $n = 0,04$ . Övriga modellparametrar enligt Tabell 1.
- *Isläggning*: Vattenföringen  $Q = 1,30 \text{ m}^3/\text{s}$ , vilket motsvarar medelvattenföringen för december månad åren 2006-2016. Mannings tal  $n = 0,04$ . Övriga modellparametrar enligt Tabell 1.
- *Isläggning åtgärdsscenario*: Vattenföringen  $Q = 1,30 \text{ m}^3/\text{s}$ , vilken motsvarar medelvattenföringen för december månad åren 2006-2016. Mannings tal  $n = 0,08$ , vilket motsvarar en restaurerad vattendragsträcka med utlagda block och större stenar. Övriga modellparametrar enligt Tabell 1.
- *Vinter åtgärdsscenario*: Vattenföringen  $Q = 0,27 \text{ m}^3/\text{s}$ , vilken motsvarar medellågvattenföringen (MLQ) 1999-2015. Mannings tal  $n = 0,08$ , vilket motsvarar en restaurerad vattendragsträcka med utlagda block och större stenar. Vattendragets bredd har antagits vara hälften av bredden vid medelvattenföringen. Övriga modellparametrar enligt Tabell 1.

## Resultat hydraulisk modellering av Norr-Veman i Vemdalens by

Modellerade vattenhastigheter och vattendjup för de fyra olika modellscenarierna redovisas i Tabell 2. Vattenhastigheterna för de 24 modellerade fallen (4 olika vattenföringar modellerade för 6 delsträckor) varierar mellan 0,24 och 1,00 m/s. I 22 av de modellerade fallen överstiger vattenhastigheten 0,3 m/s. Det största modellerade djupet för en delsträcka är 0,58 m och det minsta djupet 0,18 m. En ökning av Mannings tal med 100 % (d.v.s. en fördubbling av vattendragets råhet från  $n=0,04$  till  $n=0,08$ ) skulle ge en *minskning* av medelvattenhastigheten med 35 % och ge en *ökning* av vattendjupet med knappt 50 % vid den vattenföring som normalt råder vid tiden för isläggning (november/december).

**Tabell 2** Modellerade vattenhastigheter och vattendjup i Norr-Veman i Vemdalens by.

Delstr.	Q = 3,11 m <sup>3</sup> /s, n=0,04		Q = 1,3 m <sup>3</sup> /s, n=0,04		Q = 1,3 m <sup>3</sup> /s, n=0,08		Q = 0,27 m <sup>3</sup> /s, n=0,08	
	Hast. (m/s)	Djup (m)	Hast. (m/s)	Djup (m)	Hast. (m/s)	Djup (m)	Hast. (m/s)	Djup (m)
1	0,97	0,41	0,70	0,25	0,45	0,37	0,32	0,22
2	0,74	0,42	0,53	0,25	0,35	0,38	0,24	0,22
3	1,00	0,58	0,72	0,35	0,46	0,52	0,33	0,31
4	0,88	0,44	0,62	0,26	0,41	0,39	0,29	0,23
5	0,96	0,36	0,69	0,22	0,45	0,33	0,31	0,19
6	0,93	0,35	0,66	0,21	0,43	0,31	0,30	0,18
Medel	0,91	0,43	0,65	0,26	0,43	0,38	0,30	0,23

## Diskussion

Norr-Vemans hydrologi är i det närmaste opåverkad av reglering på grund av avsaknaden av större magasin eller sjöar. Vattendragets hydromorfologi och flödesregim är dock kraftigt påverkade av de åtgärder som utförts för att underlätta för flottningen. Hela 38 % av vattendraget är påverkat av rätningar och rensningar av större block och stenar. Ingen del av vattendraget är restaurerat. I Vemdalens by har återkommande översvämningar, främst vid perioden för isläggningen, vissa år blivit så kraftiga att de orsakat skador på närliggande fastigheter och byggnationer. Dessa kan kopplas till kravisbildning i vattendraget och bottenis som bildar isdammar har observerats i samband med översvämningarna i Vemdalens by. Bildning av kravis och bottenis beror på flera olika faktorer där, förutom väderförhållandena och vattentemperaturen, de viktigaste är avståndet till ett uppströms beläget sjöutlopp, vattenhastigheten, vattendjupet och bottensubstratet. Norr-Veman har inga större sjöar vilket betyder att den värmelagrande förmågan hos en sjö inte påverkar vattentemperaturen för någon delsträcka i vattendraget i närområdet till Vemdalens by. Norr-Veman exponeras alltså kraftigt för värmeavgång från vattnet till atmosfären under i princip hela dess hela sträckning. Den modifierade hydromorfologin har gjort att vattendraget är mycket grundare än vad det en gång var vilket gör att den vattenyta som exponeras mot atmosfären är större för varje delsträcka än vad den hade varit om vattendraget hade varit opåverkat. På grund av rensningen och rätningen så har Norr-Veman större vattenhastigheter och mindre vattendjup än för motsvarande naturliga förhållanden med en mer varierade hydromorfologi. Vattenhastigheten är en kritisk parameter när det gäller bildning av kravis och bottenis. En ny svensk studie (Lind m.fl., 2016) av 25 mindre vattendrag i Vindelälvens och Umeälvens avrinningsområden visar att för vattenhastigheter från 0,3 m/s och högre så kan krav- och bottenis bildas. I studien så mättes ett flertal viktiga parametrar såsom vattentemperatur, vattenhastighet och djup, och även isutbredning observerades vid ett antal tillfällen under två vintersäsonger. Ett sådant dataunderlag finns inte tillgängligt för

Norr-Veman. En enkel hydraulisk modell sattes därför upp för en sträcka på 1856 m genom Vemdalens by i syfte att identifiera delsträckor som kan undersökas vidare för kravisbildningshämmande åtgärder. Modellundersökningen visar att vattenhastigheterna vida överskrider 0,3 m/s vid den vattenföring som normalt råder vid tiden för isläggnen. De modellerade vattenhastigheterna låg på mellan 0,53 och 0,72 m/s. Detta resultat gör att hela den modellerade sträckan sannolikt har vattenhastigheter som gynnar krav- och bottenisbildning. Förhållandena i Norr-Veman med avseende på klimatologi och storlek på de vattendrag som ingick i studien av Lind m.fl. (2016) är jämförbara. För att belysa påverkan av rensningen på vattenhastigheter och vattendjup så modellerades en enkel åtgärd som innebär att råheten ökas med 100 % vilket motsvaras av utläggning av stora block och stenar. Vid en fördubbling av råheten så minskar vattenhastigheten med 35 % och vattendjupet ökar med 50 % under perioden för isläggnen. Medelhastigheten för de modellerade delsträckorna var dock fortfarande större än 0,3 m/s. På grund av det högst begränsade dataunderlaget så finns det givetvis stora osäkerheter i modelleringen särskilt med avseende på bottenråheten som beskrivs av Mannings tal, men även för vattendragets geometri. För den enkla hydrauliska modelleringen så har därför ett konservativt värde för Mannings tal använts, vilket ytterligare stödjer slutsatsen att hela sträckan och förmodligen stora delar av Norr-Veman uppvisar vattenhastigheter som gynnar isbildning. Den biotopkartering som utfördes 2009 uppvisar också liknande förhållanden för flera delsträckor som för den modellerade sträckan. Biotopkarteringen hade inte tillräcklig rumslig upplösning för att kunna användas för att sätta olika råhetsparametrar för de olika delsträckorna som modellerades.

Det vattenuttag som sker för snötillverkningen påverkar vattendraget genom att både vattenhastigheten och djupet minskar nedströms uttagspunkten. Att vattenhastigheten minskar hämmar turbulensen och kravisbildningen, men motverkas av att djupet minskar vilket gör att vattenvolymen minskar för en given delsträcka. Detta ger en effektivare avkyllning då ytan som exponeras för atmosfären relativt volymen ökar. Påverkan kan variera beroende på aktuell vattenföring, väderförhållanden och på om ett is- och snötäcke har hunnit utvecklas. Det går inte med säkerhet att fastställa att vattenuttaget har någon signifikant påverkan på krav- och bottenisbildning längre nedströms i Norr-Veman utan ytterligare undersökningar.

## Förslag på ytterligare undersökningar

Restaureringsåtgärder är det alternativ som i första hand bör komma ifråga för att sänka vattenhastigheten och öka djupet för de delsträckor som är utsatta för isbildning. Utläggning av större block och sten underlättar också för ett isolerande is- och snötäcke att lägga sig tidigt på vintersäsongen vilket hämmar kravisbildningen på grund av att vattentemperaturen blir högre.

För att bedöma vilka delar av Norr-Veman som bör prioriteras för åtgärder som hämmar krav- och bottenisbildande förhållanden så bör mätningar och fortsatta modellundersökningar utföras. Eftersom översvämningarna har en dokumenterad påverkan på fastigheter och byggnationer i Vemdalens by så bör undersökningar av denna del av Norr-Veman prioriteras. Följande mätningar och undersökningar föreslås:

- Upprättande av en station för vattenföringsmätning. Lämplig placering är uppströms den plats där vattenuttaget till snötillverkningen för skidanläggningarna i Vemdalen sker.
- Detaljerad inmätning av Norr-Vemans hydrografi. Detta utförs för ett stort antal tvärsnitt förslagsvis från bron vid Håvägen och uppströms till bron vid väg 315, en sträcka på ca 4 km. Tvärsnitt mäts in och karteras där vattendraget ändrar karaktär (bredd, djup, bottenstruktur). I samband med inmätningen mäts hastighetsfördelningen i respektive tvärsnitt med flygel.

- Mätning av vattenståndet med automatiska nivågivare på 5 platser på sträckan. Lämplig placering är preliminärt kan vara vid alla förekommande broar.
- Mätning av vattentemperaturen vid de sektioner som identifieras som de där vattendraget signifikant ändrar karaktär.
- Observation av utbredningen av bottenis, istäcke och isöverhäng. Detta utförs manuellt (okulärt) ungefär med en frekvens av varannan vecka under vintersäsongen och anpassas så att undersökningar alltid utförs vid väderomslag. Möjligheten att montera upp så kallade time-lapse kameror bör undersökas.
- Upprättande av en detaljerad hydraulisk modell som kan användas för att beräkna och testa åtgärder för olika delsträckor. Modellen sätts upp samtidigt som mätningarna börjar.

Att sätta upp en hydraulisk modell baserad på ett gediget dataunderlag kan också vara värdefullt för att beräkna påverkan på vattendraget och närmiljön som kan kopplas till framtida klimatförändringar, både med avseende på infrastruktur, erosionsrisk och vattendragets ekologi.

## Referenser

Lind, L., Alfredsen, K., Kuglerova, L., Nilsson, C. (2016): Hydrological and thermal controls of ice formation in 25 boreal stream reaches. *Journal of Hydrology*, 540: 797-811

SMHI (2017): Hydrologiska data för delavrinningsområde 17754. Nedladdade från Vattenwebb 2017-09-18.

VattenInformationsSystemiSverige, VISS (2017): Klassificeringar för Norr-Veman SE693125-140148. Nedladdat från VISS 2017-09-19.