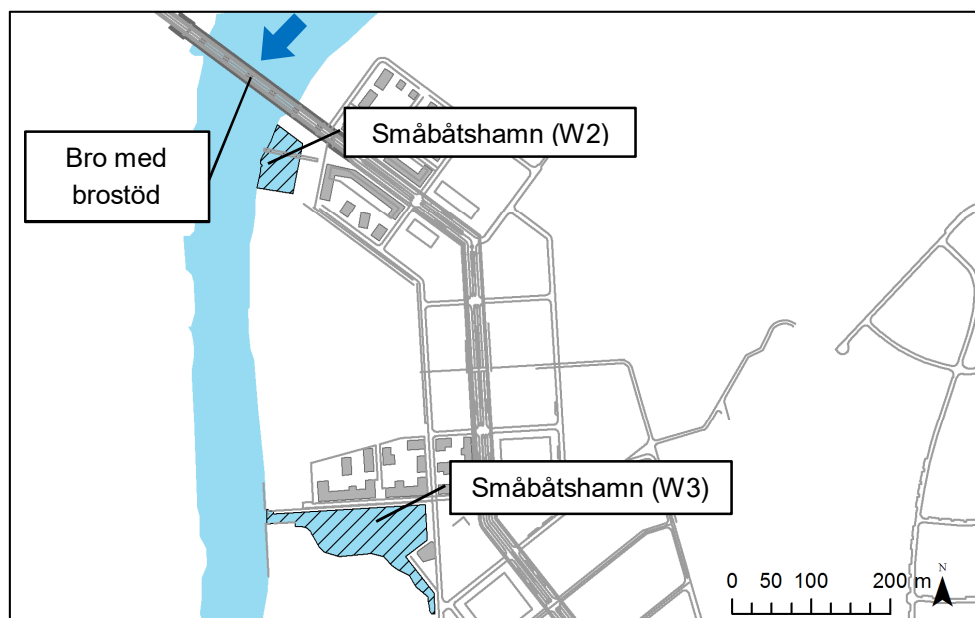


## PM - PÅVERKAN PÅ VATTENSTRÖMNING OCH SEDIMENT FRÅN BRO OCH SMÅBÅTSHAMN

Karlstads kommun planerar att utveckla området kring Klarälvens västra gren vid Kartberget och Jakobsberg. I planerna för området ingår vägbro, gc-broar, badplatser, bryggor och småbåtshamnar i Klarälven vilka lokalt potentiellt påverkar vattenströmningen och i förlängningen även förutsättningarna för sedimentation och erosion.

Detta PM syftar till att beskriva strömningsmönster och förutsättningar för sedimenttransport vid föreslagen utformning av vägbro, kallad Kartbergsbron och småbåtshamn vid östra landfästet samt ca 500m nedströms broläget. Föreslagen broutformning sker med 7 spann, vilket ger 5 st brostöd enligt Figur 1. Brostöden minskar tvärsnittsarean med ca 5 % vid medelvattenföring.



Figur 1. Förslag för Kartbergsbron och småbåtshamnar. Bro visas med vägbana, brostöd och grundläggningsplattor.

Utredningen har gjorts med ett etablerat hydrauliskt modellverktyg som beräknar vattnets strömningshastighet och ytnivåer givet olika vattenföringar. Resultatet redovisas relativt Nollalternativet dvs dagens situation utan brostöd och småbåtshamn.

Principiellt inverkar broar och brostöd i vattendrag genom att begränsa tvärsnittsarean och genom formmotstånd lokalt styra vattenströmmen. För långa brospann med få brostöd i vattnet är dämningseffekten i regel försumbar. I direkt anslutning uppströms brostöd och för en zon nedströms kan strömningen bli turbulent speciellt vid höga vattenhastigheter, vilket korrelerar med höga flöden. I områden med turbulens ökar förutsättningarna för erosion.

Beräkningarna visar var vattenströmningen påverkas av brostöd och småbåtshamn för flöden från medelvattenföring till extrem högvattenföring. Sedimentdynamik är en komplex fråga och erosion och sedimentation sker växelvis vid olika vattenhastighet som i sin tur är nära kopplat till vattenföring. I ett deltaområde som nedre Klarälven är nettoeffekten sedimentation.

## Underlag

- Ekolodning 2009 och 2019 (Karlstads kommun)
- Mitigation of flow distribution and sedimentation problems in the Klarälven using gryones (DHI, 2010)
- Detaljerad översvämningsmodellering av Klarälven från Skåre till Vänern (DHI, 2017)
- Höjddata (Lantmäteriet)
- Ritningsförslag för bro (ritning K1412001\_plan\_200507.dwg, WSP Sverige AB)
- Ritningsförslag för småbåtshamn (ritning Tovatt underlag 180828 -original.dwg, Karlstads kommun)
- Ritningsförslag (Förslag på justeringar vid brofäste-Model.pdf, Karlstads kommun, 2019-11-25)
- Detaljplan för Västra Jakobsberg, Samrådshandling (Karlstads kommun)

## Vattenföring

Flödet i Klarälven delas i Karlstad mellan Västra grenen och Östra grenen. Flödesfördelningen styrs delvis av bottenpografi och sandbankar, vilka skiftar över tid och potentiellt om strukturella åtgärder och muddring används för att upprätthålla och motverka sedimentation och uppgrundning av strömfåran. I denna studie används den principiella fördelning där västra grenen för 50 % av totalflödet, vilket är inom de intervall som presenterats tidigare inom "Detaljerad översvämningsmodellering av Klarälven från Skåre till Vänern" (DHI, 2017)

För att belysa påverkan vid anläggandet av brostöd och småbåtshamn utvärderas vattenföringar av skilda storleksordningar; Medelvattenföring (MQ), Medelhögvattenföring (MHQ) samt högvattenföring med 100 års återkomsttid (Q100).

## Beräkningsförutsättningar

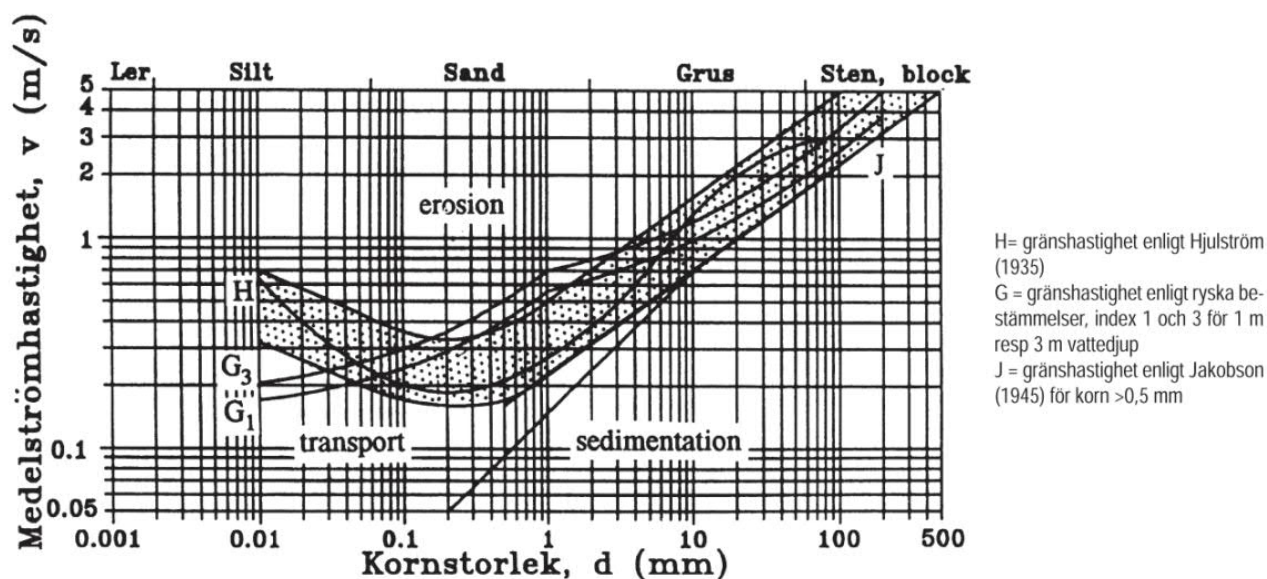
Strömningen har beräknats med HEC-RAS 5 vilket är ett etablerat verktyg för beräkning av 2-dimensionell strömning i vattendrag. Modellens beräkningsnät har förfinats kring brostöden och hamnar för att ge förutsättningar att beskriva lokala strömningssmönster och tillgodogöra sig den lokala ekolodningen. Strandlinje och älvbankar framgår av detaljerade höjddata från Lantmäteriet baserad på laserskanning. För att förenkla jämförelser med annat underlag har samma flöden och nivåer i Väterns förutsatts som vid översvämningskartering och tidigare utredningar.

## Beräkningsscenarioer

Två typer av förändringar i älven har utvärderats gentemot nuvarande situation, sk Nollalternativet. Dels effekten av brostöd och dels effekten av småbåtshamnar. Brostöden är Y-formade med ett tvärsnitt som en romb.

## Sedimentation och erosion

WSP har i detta skede bedömt påverkan på sedimentation och erosion baserat på vattenhastighet. Enligt DHI (2010) är sediment i Klarälven välsorterade med kornstorlekar i intervallet 0,4–0,6 mm. En representativ kornstorlek för området är  $D_{50} = 0,5$  mm. Erosion och sedimentation har bedömts med hjälp av sk. Hjulströmdiagram, se Figur 2. För sand av nämnd kornstorlek sker erosion vid vattenhastighet över 0,5 m/s och för att sedimentation vid vattenhastighet lägre än 0,1 m/s.



Figur 2. Samband mellan kornstorlek och sedimentation och erosion (Bygg, 1972)

## Resultat

I allt väsentligt är den beräknade effekten av föreslagna småbåtshamnar lokal kring anslutningen till älven och påverkas inte av föreslagna brostöd eller vice versa. Det finns således inte någon anledning att redovisa dessa beräkningar separat utan effekten av enbart brostöden kan utläsas i presentationen nedan genom att bortse ifrån de stycken som rör småbåtshamnarna.

Generellt gäller att brostödet längst österut är högt placerat och inte påverkar strömningen. Älven och strömningen kröker inom närområdet för bron medan brostöden har samman vinkel. Detta leder till att de västra brostöden har en något ogynnsammare vinkel mot strömmen än de östra.

För MQ visar beräkningarna på lägre vattenhastighet än vad som bedöms krävs för att erodera bottenmaterialet (0,5 m/s) i hela närområdet för broläget. För flöden upp till medelvattenföring kan således sedimenttransport och sedimentation väntas vara den dominerande processerna. För detta scenario är det relevant att identifiera områden där vattenhastigheten sänks till följd av föreslagna konstruktioner och därmed ökar förutsättningen för sedimentation.

För MHQ och Q100 visar beräkningarna att nära broläget är vattenhastigheten generellt mycket större än gränsen för sedimentation av bottenmaterialet (0,1 m/s). För dessa scenarier bör sedimenttransport och erosion vara de dominerande processerna och att förändringar i dessa är av vikt att belysa. Detta görs dels genom att illustrera förändringen i bottenskjuvspänning vilket i huvudsak följer skillnaden i vattenhastighet, dels genom att bedöma områden med risk för kraftig turbulens.

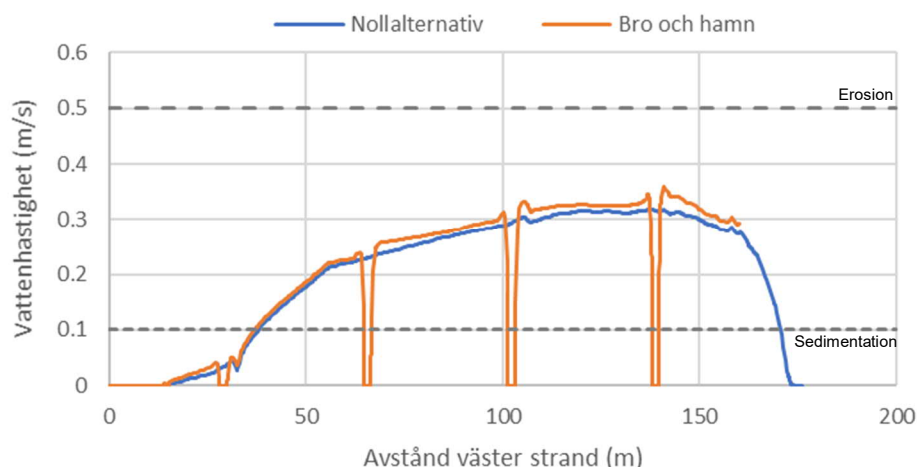
## Vattennivå

Beräknad förändrad vattennivå uppströms bron relativt Nollalternativet är vid MQ och MHQ med marginal under 0,01 m. Beräknad förändrad vattennivå bron relativt Nollalternativet vid Q100 är ca 0,01 m. För att säkerställa funktionen i befintliga och planerade skyddsvallar bör marken kring hamn W2 och hamn W3 höjdsättas i enlighet med skyddsåtgärder dess anslutning till dessa.

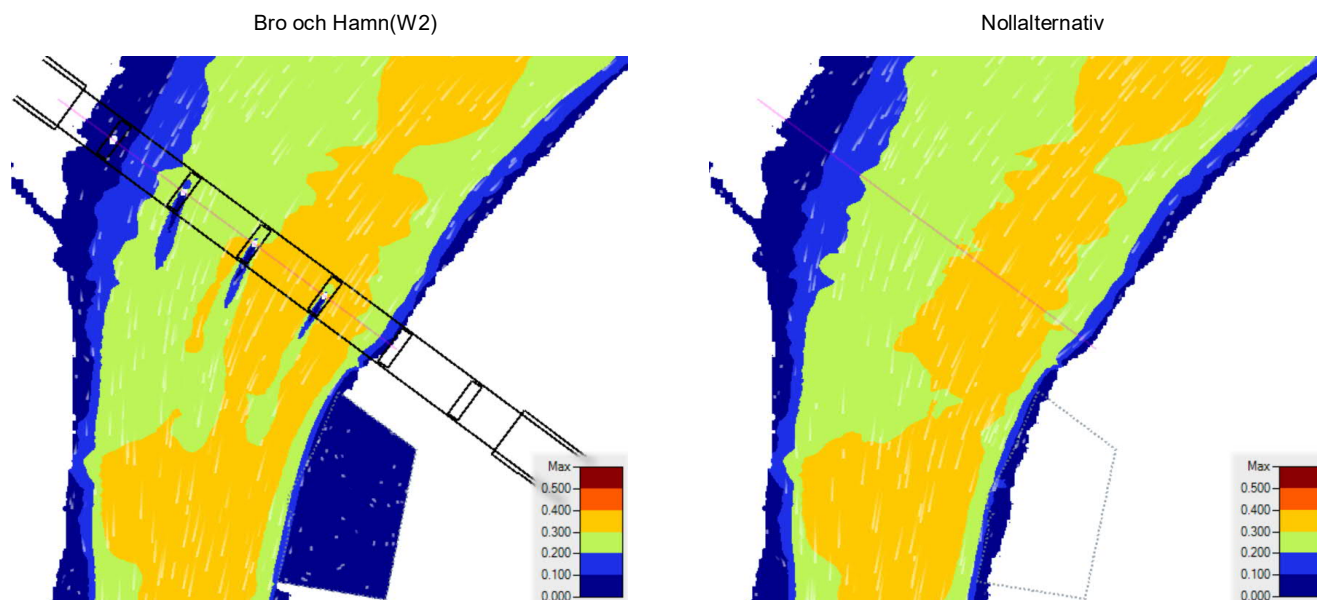
## Sedimentation

Förändring i sedimentation bedöms kunna öka för områden där beräknad vattenhastigheten minskar jämfört med Nollalternativet, i första hand en zon nedströms bropelare. I Figur 3 visas vattenhastighet vid MQ i tvärsnitt mellan landfästen vid broläge.

Vid småbåtshamnens (W2) inlopp finns viss förutsättning för sedimentation då det finns en hastighetsgradient, se Figur 4. Dock är strömriktningen vid hamnens uppströms ände vinklad ut från hamnen. Vidare är vattenhastigheten förbi hamnens inlopp även vid MQ relativt mycket högre än det angivna typiska värdet för sedimentation.

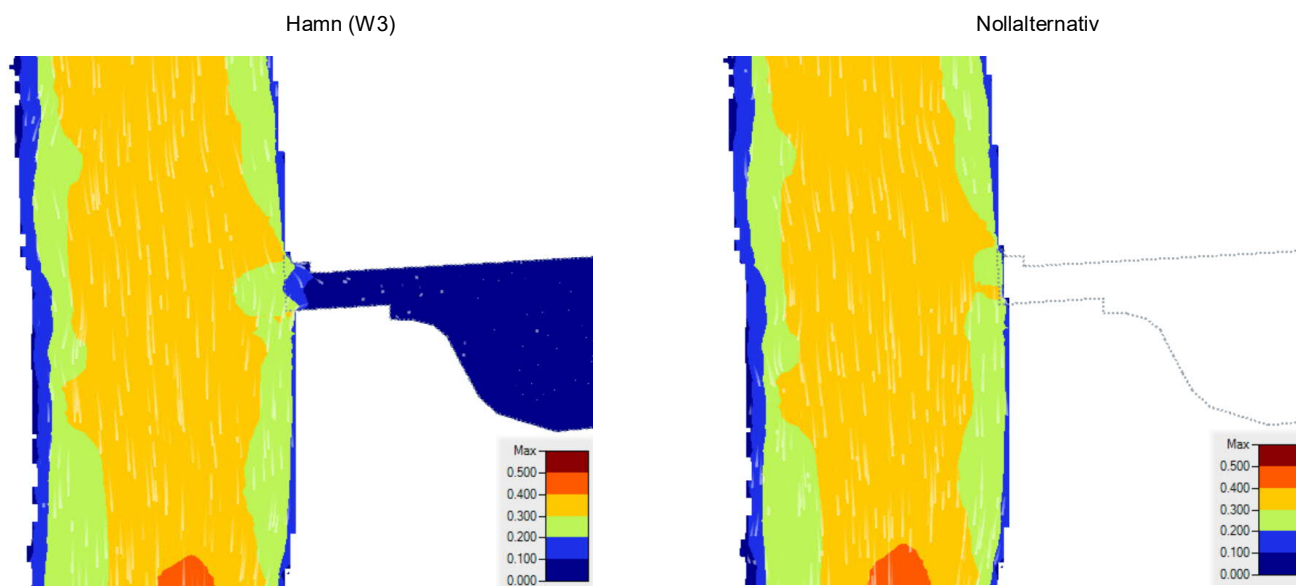


Figur 3. Vattenhastighet vid MQ i tvärsnitt mellan landfästen vid broläge och gränshastighet för erosion (0,5 m/s) och sedimentation (0,1 m/s). Notera att tvärsnittet för broalternativ skär brostöden dvs där vattenhastighet saknas.



Figur 4. Vattenhastighet för exploatering med bro och småbåtshamn W2 (vänster) jämfört med Nollalternativet (höger).

Vid småbåtshamnens (W3) inlopp finns viss förutsättning för sedimentation då det finns en hastighetsgradient vilken suspenderat sediment skulle kunna avsättas. Det smala inloppet medför ringa inverkan på strömriktningen som i stort sker förbi hamnens inlopp. Vidare är vattenhastigheten förbi hamnens inlopp även vid MQ högre än det angivna typiska värdet för sedimentation.

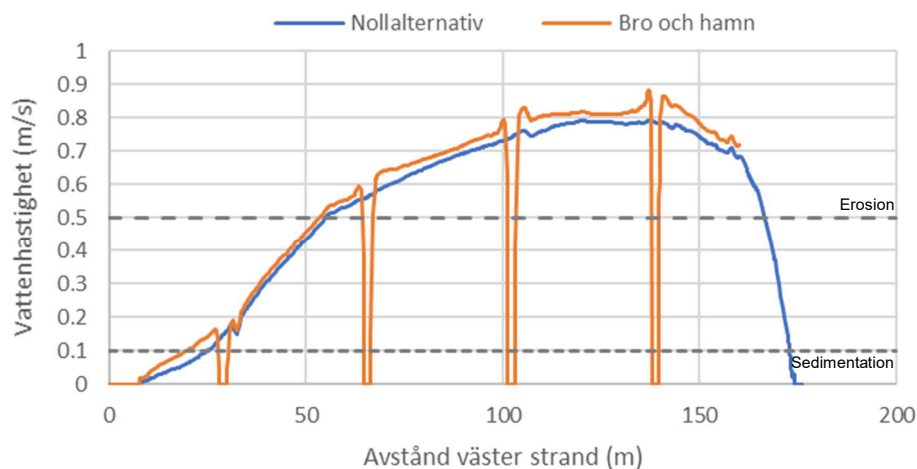


Figur 5. Vattenhastighet för exploatering med småbåtshamn W3 (vänster) jämfört med Nollalternativet (höger)

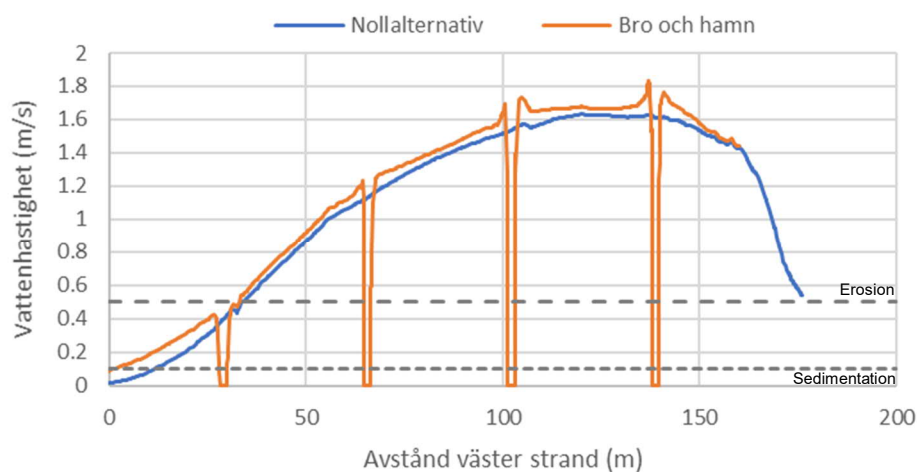
## Erosion

Vattenhastigheten beräknas öka för områden mellan brostöd vilket illustreras för MHQ och Q100. I Figur 6 och Figur 7 visas vattenhastighet i ett tvärsnitt under bron, från landfäste till landfäste. Vattenhastighet i tvärsnittet ökar mellan bropelarna med i storleksordningen <5 %. Något högre i direkt anslutning till brostöd.

Området där vattenhastigheten högre än 0,5 m/s indikerar erosionsrisk vid MHQ och Q100 visas i Figur 8 och Figur 9. I bilderna visas områden med erosionsrisk för exploateringsalternativet bro och småbåtshamn (W2) i orange färg. För Nollalternativet motsvarande genom att svart linje anges områdesgränsen vid detta scenario. Resultaten visar en likartad bild som tvärsnittet Figur 6 och Figur 7 dvs att merparten av området även för Nollalternativet har vattenhastighet över 0,5 m/s och att det är få områden som skiftas från att ligga inom/utom detta tröskelvärde. För området kring småbåtshamnens mynning sker generellt en sänkning av vattenhastigheten jämfört med Nollalternativet. Detta torde bero på att både att strömningen styrs från stranden av bryggan samt att vattendjupet ökar då en delar av nuvarande strand grävs ut för att ge plats åt hamnen.

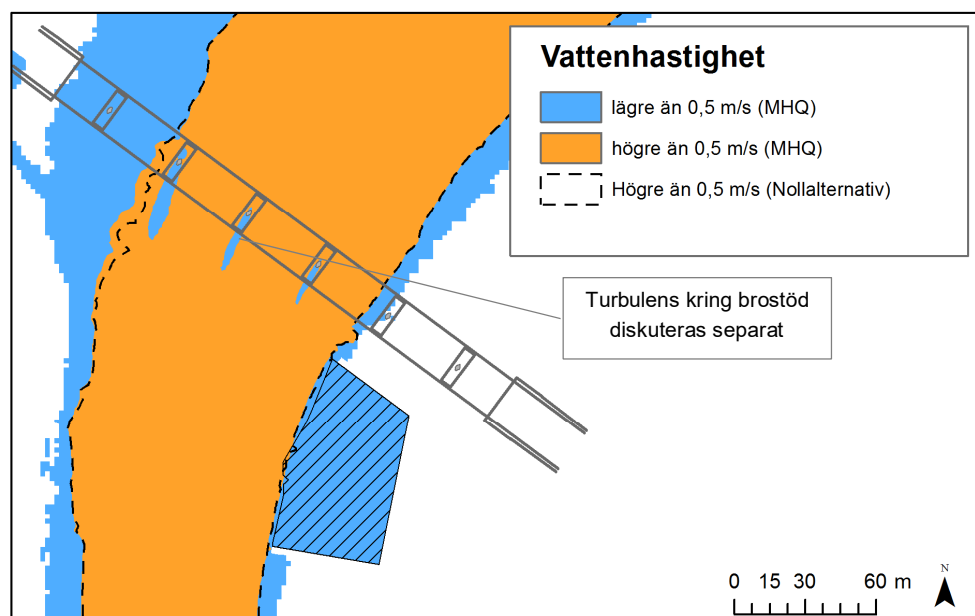


Figur 6. Vattenhastighet vid MHQ i tvärsnitt mellan landfästen vid brolägg och gränshastighet för erosion (0,5 m/s) och sedimentation (0,1 m/s). Notera att tvärsnittet för broalternativ skär brostöden dvs där vattenhastighet saknas.

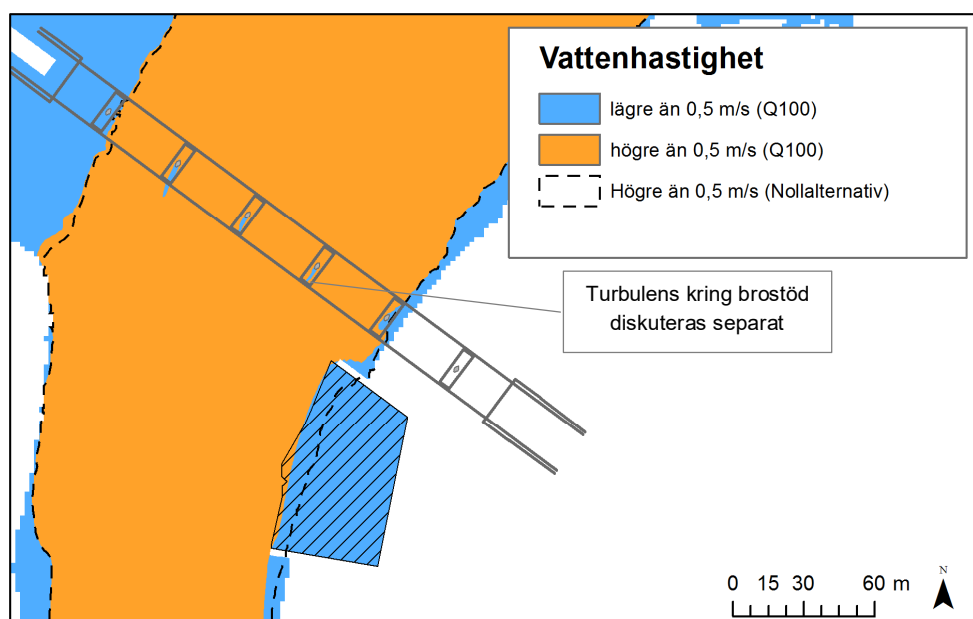


Figur 7. Vattenhastighet vid Q100 i tvärsnitt mellan landfästen vid brolägg och gränshastighet för erosion (0,5 m/s) och sedimentation (0,1 m/s). Notera att tvärsnittet för broalternativ skär brostöden dvs där vattenhastighet saknas.



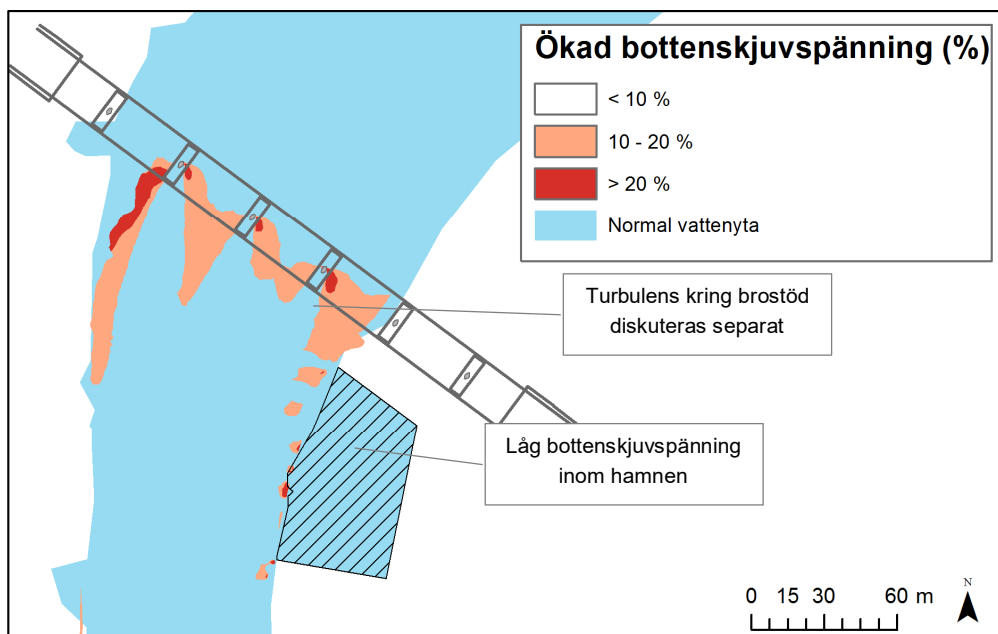


Figur 8. Område där vattenhastighet vid MHQ som överstiger 0,5 m/s för Nollalternativ och Exploateringsalternativ med bro och småbåtshamn.

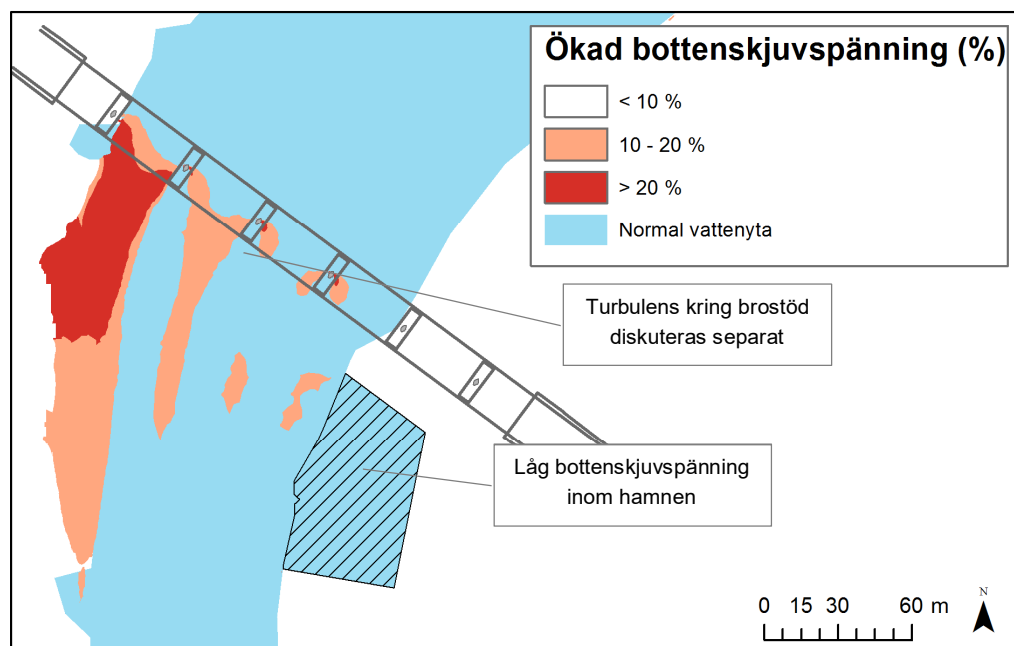


Figur 9. Område där vattenhastighet vid Q100 som överstiger 0,5 m/s för Nollalternativ och Exploateringsalternativ med bro och småbåtshamn.

Inom det området som genom vattenhastigheten ( $> 0,5$  m/s) identifierats som potentiellt utsatt för erosion vid MHQ och Q100 visas ökningen i bottenkjuvspänning relativt Nollalternativet i Figur 10 och Figur 11. I närheten av broläget är ökningen 10 - 20%. I anslutning till brostöden är ökningen i bottenkjuvspänningen större. Där väntas dessa krafter i första hand verka på brostöden, grundläggning med erosionsskydd snarare än naturlig botten. Längs västra stranden inom ca 100m nedströms bron kan bottenkjuvspänningen öka, speciellt vid flöden över MHQ. Detta kan förklaras av att bron begränsar strömningen till broöppningen (jämfört med Nollalternativet) vid extrema flöden. Strandbrinken kan med fördel skyddas med erosionsskydd.



Figur 10. Ökad bottenskjuvspänning relativt Nollalternativet till följd av ökad vattenhastighet för områden med vattenhastighet högre än 0,5 m/s vid MHQ

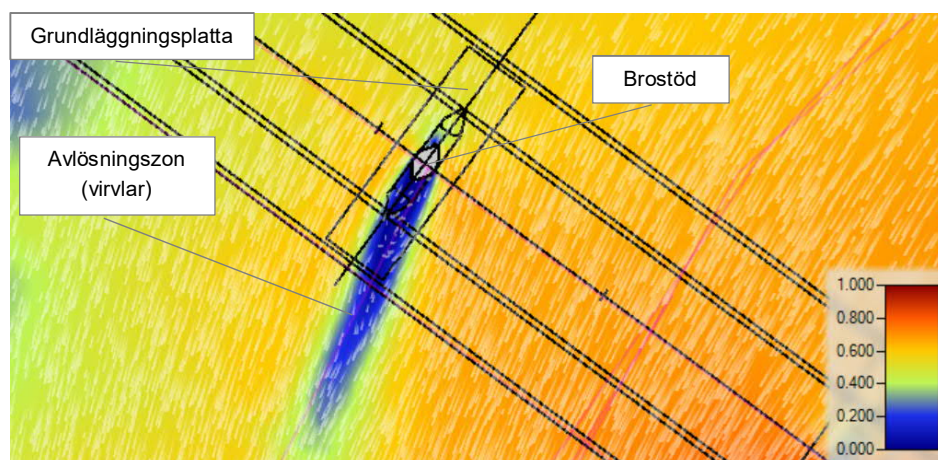


Figur 11. Ökad bottenskjuvspänning relativt Nollalternativet till följd av ökad vattenhastighet för områden med vattenhastighet högre än 0,5 m/s vid Q100.

Erosion bedöms kunna öka för området nedströms bropelare om kraftig turbulens utvecklas. Den hydrauliska modellen beräknar inte turbulensen explicit, men identifierar en zon där det är troligt med turbulens och



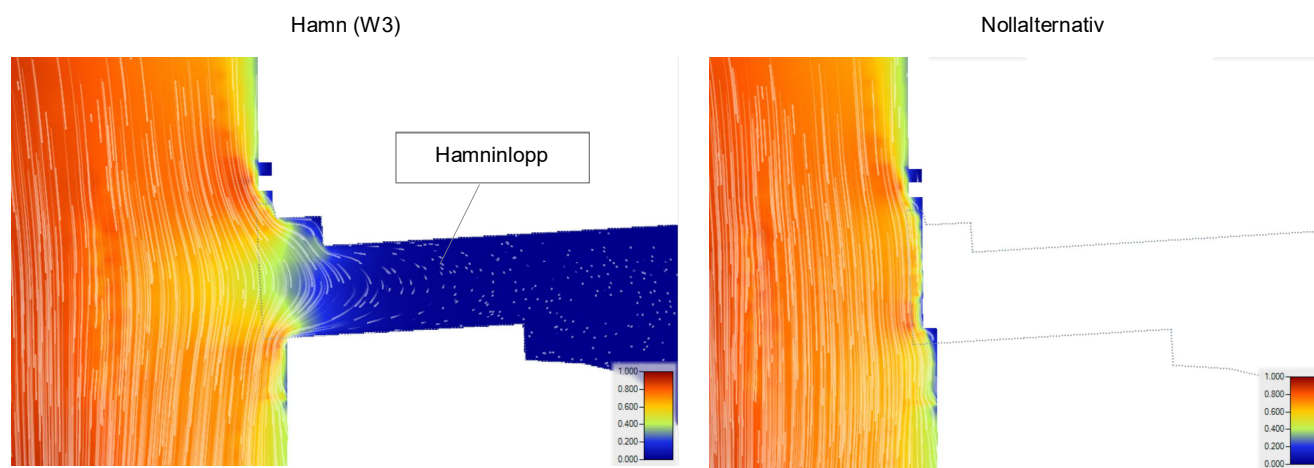
virvelavlösning, se Figur 12. Zonen sträcker sig från brostödet och åtminstone 20 m nedströms. Turbulensen kan medföra erosionskrafter som är större än vad som anges av vattenhastigheten.



Figur 12. Beräknad vattenhastighet (m/s) och strömningsriktning vid brostöd för MHQ som mått på turbulent zon.

Vid MHQ och Q100 bedöms området närmast nedströms brostöden som turbulent. För att skydda brostöden föreslås att grundläggningsplattan skyddas och speciellt anslutningen av dessa kanten till botten. Förslagsvis läggs ett erosionskydd med som täcker ett större område än plattan.

För området i nära inloppet till småbåtshamn W3 visas vattenhastigheter i Figur 13. Då öppningen är relativt smal är storleken på vattenhastigheten med hamninlopp relativt likartad Nollalternativet. Förutsättningarna för erosion strax uppströms och nedströms hamninloppen bedöms inte påverkas nämnvärt. De rådande vattenhastigheterna vid MHQ (och högre vattenföringar såsom Q100) ger att det i älven på denna sträcka primärt sker transport eller erosion, både för exploateringsalternativet och för Nollalternativet.



Figur 13. Vattenhastighet vid MHQ för närområdet till hamn W3.

## Diskussion

Flödesfördelningen mellan Klarälvens Östra och Västra gren skiftar över tid delvis beroende på hur sediment avsätts. De storleksordningar på flöden som utvärderats bedöms i allt väsentligt beskriva typisk vattenföring (MQ), medelhög vattenföring (MHQ) extremvattenföring (100-årsvattenföring). Medelvattenföring MQ beskriver typiska förhållanden och MHQ förekommer något enstaka dygn med några års mellanrum. Q100 är en händelse som är mycket ovanligt, 1% årlig sannolikhet.

Vid hamninloppen bedöms strömningsriktningen vara mer fördelaktig vid W2 än W3. Vid W2 sker strömningen med viss vinkel från öppningen. Om det vid W3 trots allt skulle ske intransport och sedimentation i hamninloppet bör det även i efterhand gå att anlägga en enkel strömriktare för att vinkla strömmen och eventuell virvel i hamnens inlopp gynnsammare.

Vid användandet av hydraulisk modell finns flertalet parametrar som kan kalibreras, exempelvis parametrar som styr turbulens och friktion mot botten. Det har inte funnits underlag eller varit möjligt att göra en kalibrering, men genom att göra både nollalternativet och exploateringsalternativ beräknas på samma sätt minskas effekten av hur dessa parametrar angivits.

Vattenhastighet och härledda storheter såsom bottenskjuvspänning ifrån en modell som inte kalibrerats bör betraktas som uppskattningar sett i absoluta tal. Det principiella mönstret, relativa förändringar och relationen till vattenföringens storlek bedöms vara robust och ge en god överblick om var hur bro och hamn kan påverka strömning och förutsättningar för sedimentation och erosion.

De numeriska beräkningsmodeller för vattenströmning som typiskt sett används för vattendragsstudier tar hänsyn till turbulens (parameteriseras) på ett förenklat sätt, och är en begränsning för både 2D och 3D modeller från de flesta leverantörer och inte isolerat till programvaran som använts i denna utredning.

## Sammanfattning

Effekten på vattenströmningen från brostöd och småbåtshamn har beräknats med en hydraulisk modell med efterföljande tolkning för påverkan på sedimentation och erosion vid både normala och höga vattenföringar.

- **Vattennivå**  
Beräkningar visar att konstruktionen ger vattennivåökningar mindre än 0,01 m vid MQ, MHQ och ca 0.01 m vid Q100. Bedömningen är att inga ytterligare åtgärder eller analyser kopplat till förändring av översvämningsrisk behöver företas.
- **Sedimentation**  
Vid låga och normala vattenföringar (MQ) förekommer sedimentation i närområdet för broläget. Inom mindre områden nedströms brostöden och småbåtshamnen reduceras vattenhastigheten och lokalt ökar förutsättningar för sedimentation något.
- **Erosion**  
Vid höga (MHQ) och extremt höga (HQ100) flöden har merparten av området även för Nollalternativet vattenhastighet över 0,5 m/s vilket indikerar erosionsrisk och denna bild förändras inte nämnvärt vid exploatering med bro och småbåtshamnar. Inom områden med erosionsrisk finns vid västra stranden och vid passager mellan brostöden där bottenskjuvspänningen beräknats öka 10 - 20 %. För områden längs västra stranden är ökningen lokalt större än 20%.

Erosion bedöms kunna öka för området nedströms bropelare om kraftig turbulens utvecklas. Erosionsskydd föreslås som skyddar brostödens grundläggningsplatta och med marginal täcker övergången till naturlig botten.

Östersund 2020-06-01

WSP Sverige AB

Kristoffer Hallberg och Piotr de Bever

Granskad Hanna Portin, 2020-06-01