

PM

UPPDRAG Hydraulisk utredning – ny bro över Göta älv	UPPDRAGSLEDARE Anders Söderström	DATUM 2018-10-05
UPPDRAGSNUMMER 15003843	UPPRÄTTAD AV Lisa Orrheim	

Beräkning av vattenstånd och vattenhastighet i Göta älv, Trollhättan

Samtliga nivåer anges i höjdsystem RH70 som är 13 cm lägre än RH2000. Skälet till att RH70 används är att den hydrauliska modellen är upprättad i detta höjdsystem.

Uppdrag

I Trollhättan planerar Peab Anläggning tillsammans med Trollhättans Stad att bygga en bro, Stridsbergsbron, över Göta älv. Bron kommer att sträcka sig över Göta älv i anslutning till södra Konvaljeön; en smal landstrimma som delar Göta älvs huvudfåra med en slusskanal (farled). Ungefärlig placering av bron visas med röd markering i Figur 1, huvudkanalen går längs högra sidan om Konvaljeön i vattnets strömningsriktning medan slusskanalen går vänster om Konvaljeön.



Figur 1. Översiktsbild av planerad placering av Stridsbergsbron, markerad med röd ellips.

Syftet med uppdraget var att ta fram vattennivåer och vattenhastighet vid Stridsbergsbron som planeras över Göta älv i Trollhättan. Vattennivåer och vattenhastighet används som dimensioneringsunderlag för erosionsskydd mm. samt ingår som basuppgifter på broritning.

Skillnaden i vattennivåer över broläget med och utan bro är viktiga att minimera så att Vattenfalls kraftproduktion vid vattenkraftverket i Vargön inte påverkas.

Vattennivåer och vattenhastighet togs fram för följande tre flödesscenarioer:

- Medelvattenföring (MQ) 550 m³/s
- Hög vattenföring 1200 m³/s
- Klimatanpassat framtida flöde 1350 m³/s

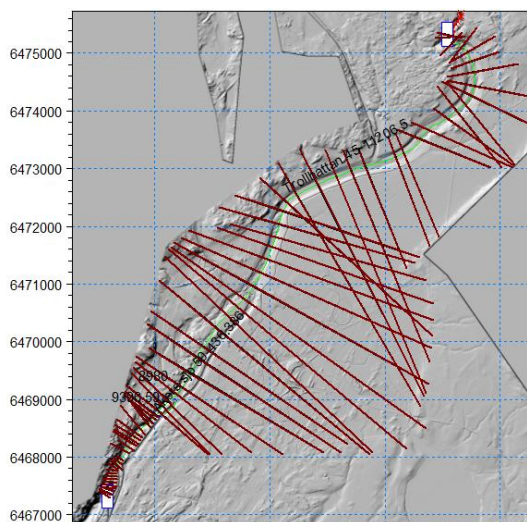
Metodik

Höjdmodell

I uppdraget har en höjdmodell som upprättades vid framtagandet av beredskapsunderlag för Göta älv (Vattenfall, 2008) använts. Höjdmodellen är skapad med hjälp av ArcGIS och sträcker sig längs med Göta älvs huvudflöde från Väneren ned till utlopp i havet och dess närliggande markområden. Höjddata är insamlad genom laserscanning från flygplan och har en punkttäthet på 1-2 punkter per m². Laserskannad höjddata innefattar bara information om höjder ovan den nivå som vattenytan låg på vid tillfället för skanningen. En förutsättning för att erhålla en fullständig höjdmodell är att den även ska beskriva vattendragets batymetri varvid data framtagen med ekolodning användes.

Hydraulisk modell

Likt höjdmodellen har den hydrauliska modell som var framtagen vid Beredskapsprojekt Göta älv (Vattenfall, 2009) använts. Modellen har upprättats i det endimensionella beräkningsprogrammet MIKE11. Då stora delar av sträckan nedströms Stridsbergsbron inte är av vikt för framtagningen av vattennivåer och vattenhastighet vid den planerade broplaceringen har den hydrauliska modellens omfattning skalats ned till att endast omfatta sträckan från utloppet vid Vargöns dammanläggning ner till just uppströms Trollhättans dammanläggning. Den studerade vattendragssträckan beskrivs av 69 st. tvärsektioner, se Figur 2. Det är i dessa tvärsektioner som vattennivå och vattenhastighet beräknas.



Figur 2. Visar den hydrauliska modellens utsträckning och terrängmodell. Grön linje är stomlinjen (vattendraget) och de röda linjerna visar tvärsektionerna.

Norr om Konvaljeön, där vattendraget delar sig, har en gren från stomlinjen justerats i modellen genom att en gren i den vänstra farleden kopplats ihop med huvudfåran nedströms Konvaljeön, se Figur 3. Detta var inte utfört i den ursprungliga modellen och gjordes för att få en mer detaljerad beskrivning av hydrauliken i området. Med den ursprungliga modellen har man inte simulerat något flöde i den vänstra slusskanalen då vattenföringen kontrolleras av slussar längre ned i kanalen.



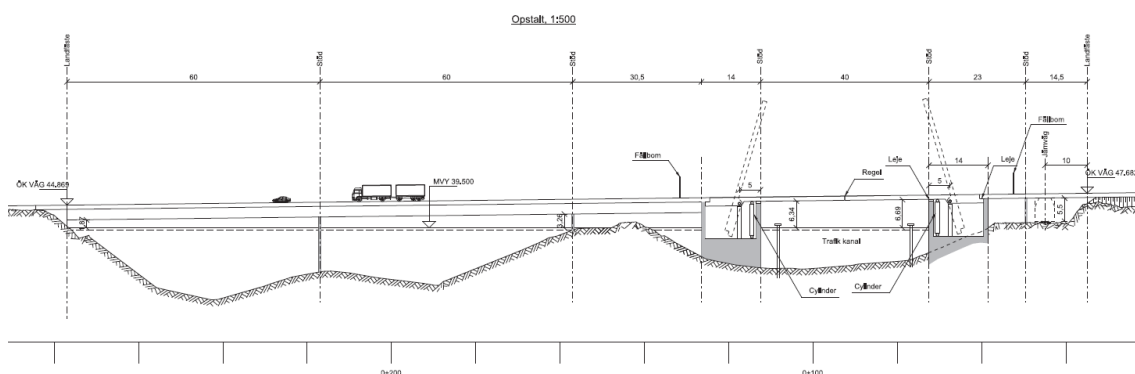
Figur 3. Vattendraget (grön linje) delar sig vid Konvaljeön för att sedan rinna tillbaka i huvudfåran. Blå pil visar vattnets strömningsriktning.

Brostöd

Fem olika brostrukturer simulerades för att undersöka brostödens påverkan på vattennivå samt vattenhastighet. Nedan följer en beskrivning om hur de fem olika broarna lades in i Mike11-modellen.

Bro alternativ 1

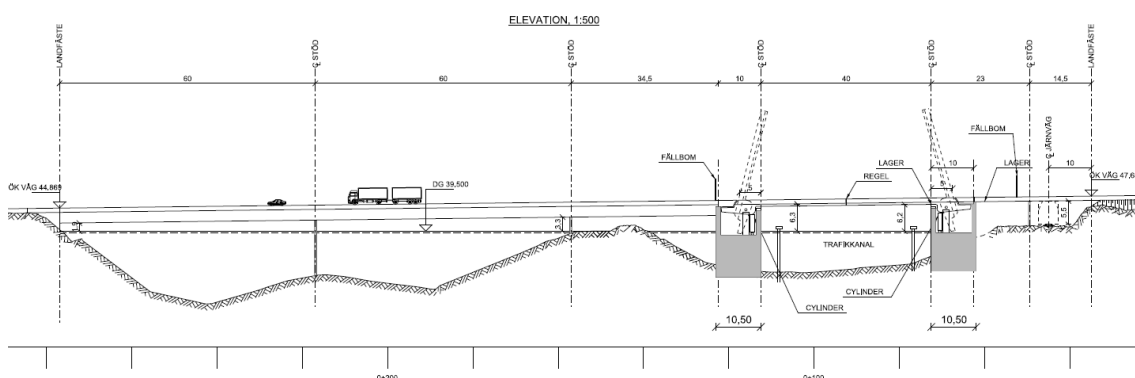
Två strukturer som skulle motsvara arealen av brostöd i huvudfåran samt slusskanalen adderades i modellen. Brostöden i huvudfåran bestämdes ha en bredd på 1,5 m vardera, varav en placerades på en bottenivå +25,5 m (+25,63 m i RH2000) där det finns en platå, och den andra placerades på en bottenivå +38,9 m (+39,03 m i RH2000). Strukturen i slusskanalen motsvarar brokonstruktioner (för öppningsbar bro) med en bredd om vardera 14 m (28 m sammanlagd bredd) och placerades på nivå +30,3 m (+30,43 m i RH2000) samt +33,9 m (+34,03 m i RH2000). Figur 4 visar ritning till broalternativ 1.



Figur 4. Ritning broalternativ 1.

Bro alternativ 2

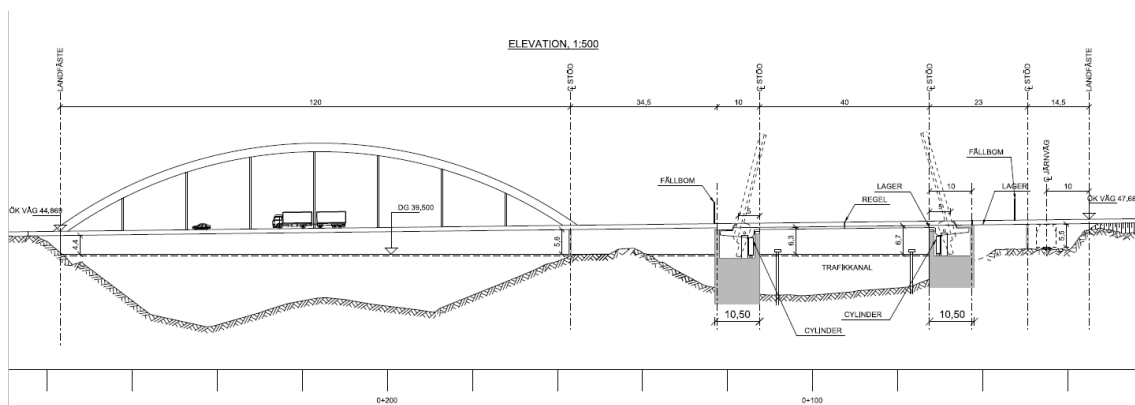
Vid broalternativ 2 adderas återigen två strukturer som skulle motsvara arealen av brostöd i huvudfåran samt slusskanalen i modellen. Brostrukturen som lades i huvudfåran var densamma som i broalternativ 1. Strukturen i slusskanalen motsvarar brokonstruktioner (för öppningsbar bro) med en bredd om vardera 10,5 m (21 m sammanlagd bredd) och placerades på nivå +30,18 m (+30,31 m i RH2000) samt +35,07 m (+35,2 m i RH2000). Figur 5 visar ritning till broalternativ 2.



Figur 5. Ritning broalternativ 2.

Bro alternativ 3

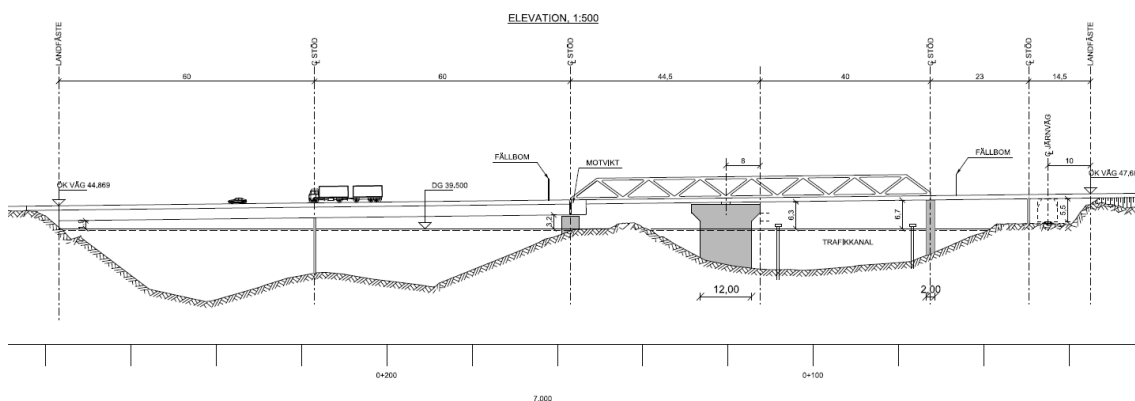
För det tredje broalternativet placeras en bågbro i huvudkanalen varvid inga brostöd placeras i vattendraget. I slusskanalen hade brostöden samma struktur som de för broalternativ 2, beskriva ovan. Figur 6 visar ritning till broalternativ 3.



Figur 6. Ritning broalternativ 3.

Bro alternativ 4

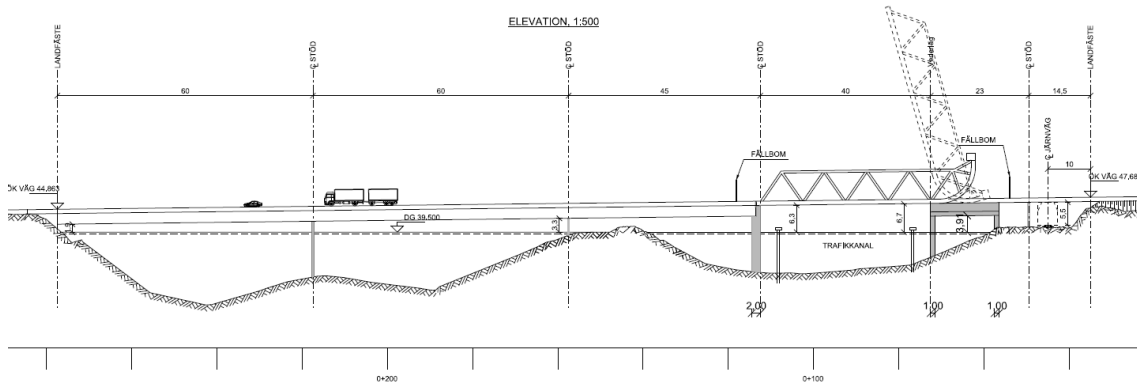
Två brostöd lades in i huvudfåran, varav en bestämdes ha en bredd på 1,5 m och placerades på en bottenivå +25,5 m (+25,63 m i RH2000) där det finns en platta. Det andra brostödet placerades vid Konvaljeöns strandkant på bottenivå +39,13 m (+39,26 m i RH2000). Brostödet bredd från strandkanten ut i vattendraget var 2,1 m (3,6 m sammanlagd bredd). Strukturen i slusskanalen motsvarar brokonstruktioner (för öppningsbar bro) med en bredd på 12 m och 2 m (14 m sammanlagd bredd) och placerades på nivå +30,59 m (+30,72 m i RH2000) respektive +33,1 m (+33,23 m i RH2000). Figur 7 visar ritning till broalternativ 4.



Figur 7. Ritning broalternativ 4.

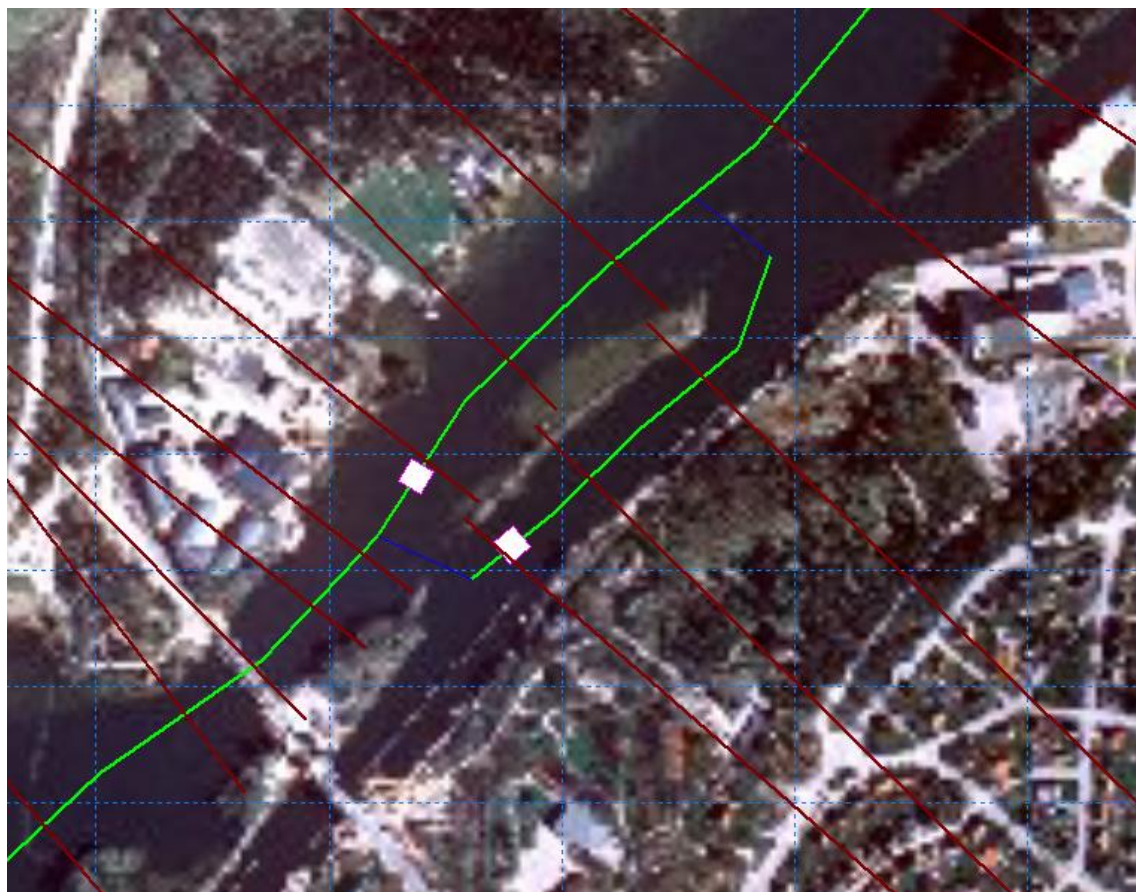
Bro alternativ 5

I huvudkanalen placeras två brostöd som har samma struktur som de beskriva i broalternativ 1 och 2. I slusskanalen placerades en struktur som motsvarar brokonstruktioner (för öppningsbar bro) med en bredd på 2 m och 1 m (3 m sammanlagd bredd) och placerades på nivå +30,59 m (+30,72 m i RH2000) respektive +33,1 m (+33,23 m i RH2000). Figur 8 visar ritning till broalternativ 5.



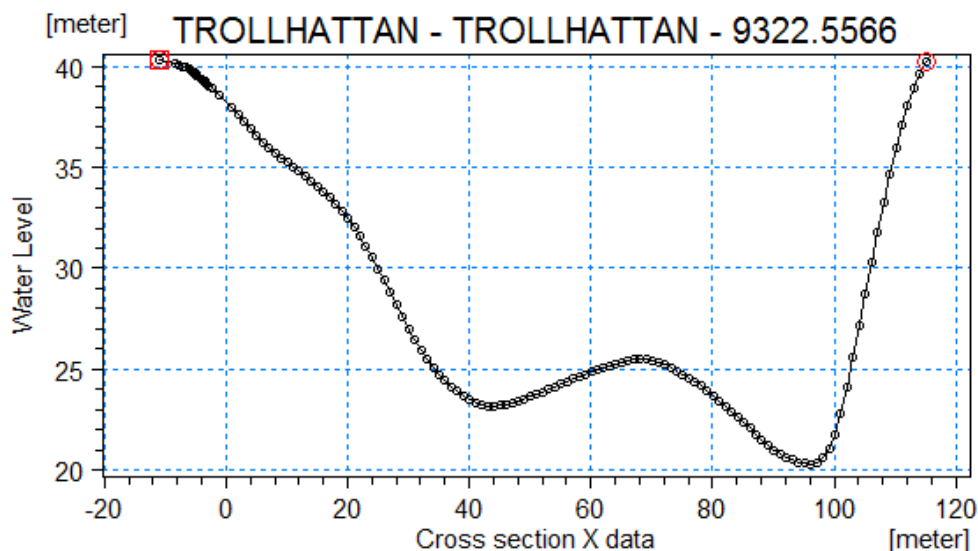
Figur 8. Ritning broalternativ 5.

Placering av strukturerna gjordes 10 m nedströms den sista tvärsektionen i huvudfåran på Konvaljeöns södra udde samt motsvarande läge i slusskanalen, se Figur 9.

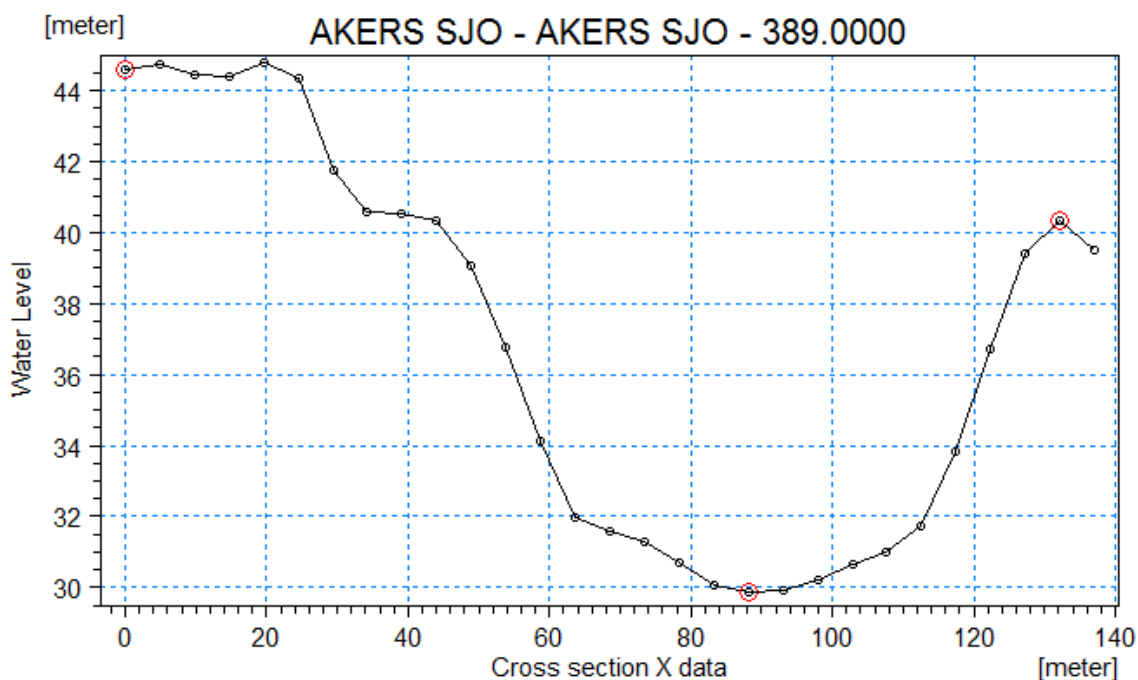


Figur 9. Brostöden lades in som en flödesbegränsande struktur i modellen. Brostrukturens längdkoordinat i resp. beräkningsgren visas i bilden som en vit kvadrat med rosa konturer.

En tvärsektion i huvudfåran vid brons placering visas i Figur 10 och motsvarande tvärsektion i slusskanalen visas i Figur 11. Brostöden lades in som en flödesbegränsande struktur i modellen.



Figur 10. Tvärsektion i huvudfåran vid placering av brostöden. Sektionen är plottad uppströms ifrån, så att man tittar i flödesriktningen.



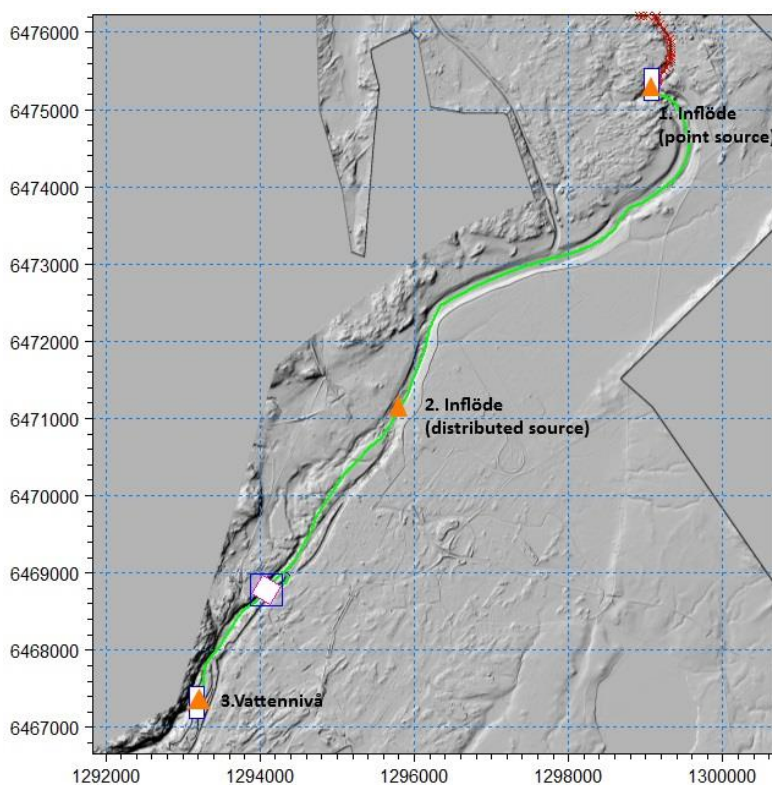
Figur 11. Tvärsektion i slusskanalen vid placering av brostöden. Sektionen är plottad uppströms ifrån, så att man tittar i flödesriktningen.

Randvillkor

Uppströms randvillkor utgjordes av vattenföringen från Vargöns dammanläggning och nedströms randvillkor utgjordes av dämningens gräns (DG) i Trollhättans dammanläggning. Ytterligare ett randvillkor användes i den hydrauliska modellen där ett fördelat inflöde lades in längs hela den modellerade sträckan för att motsvara inflöden från anknyttande vattendrag (Tabell 1 och Figur 12).

Tabell 1. Beskrivning av randvillkoren som använts i den hydrauliska modellen.

Randvillkor	Beskrivning
1	Vattenföring, Utlopp Vargöns dammanläggning (m^3/s)
2	Fördelat inflöde längs hela den modellerade sträckan (m^3/s)
3	Vattennivå vid dämningens gräns (RH70)



Figur 12. Beskrivning av randvillkoren som används i den hydrauliska modellen.

Beräkningar

Kalibrering

Den hydrauliska modellen är kalibrerad mot de vattennivåer som ligger nära de vattenstånd som uppmättes i samband med högflöden i älvarna under vintern år 2000-2001 (Vattenfall, 2009). Noggrannheten är inte angiven vid Trollhättan utan anges som "Beräknade nivåer avviker mindre än 0,1 m från uppmätta nivåer vid Lilla Edets kraftverk".

Flödesscenarier

Tre olika flödesscenarier simulerades, medelvattenföring (MQ), hög vattenföring, samt klimatanpassat flödesscenario, se Tabell 2. Medelvattenföringen har antagits motsvara ett medeltal av produktionstappningar och antas vara konstanta. Hög vattenföring motsvarar högsta tänkbara flöde enligt vattendom. Här har flödessituationen vid åren 2000/2001 varit förebild då länsstyrelsen beordrade Vattenfall att tappa ca. 1200 m³/s förbi Vargön. Distribuerad tillrinning nedströms Vargön motsvarar medelhögvattenföring. Det klimatanpassade framtida flödet är hämtat från de projekt flera myndigheter bedriver kring klimatanpassningen av Göta älv.

Tabell 2. Vattenflöden (m³/s) som användes som randvillkor i den hydrauliska modellen.

Beskrivning	Vattenflöden (m ³ /s)		
	MQ*	Hög vattenföring*	Klimatanpassat**
Avbördning vid Vargön dammanläggning	550	1200	1350
Distribuerat tillrinning	10	60	60
Vattenyta, Trollhättan dammanläggning Olidan	39,67	39,67	39,67

* Flöden hämtade från driftdata på vattenföring och vattennivåer (RH70) från Vattenfalls dammanläggningar Vargön och Olidan

**Preliminär siffra på framtida maximal vattenföring i Göta älv.

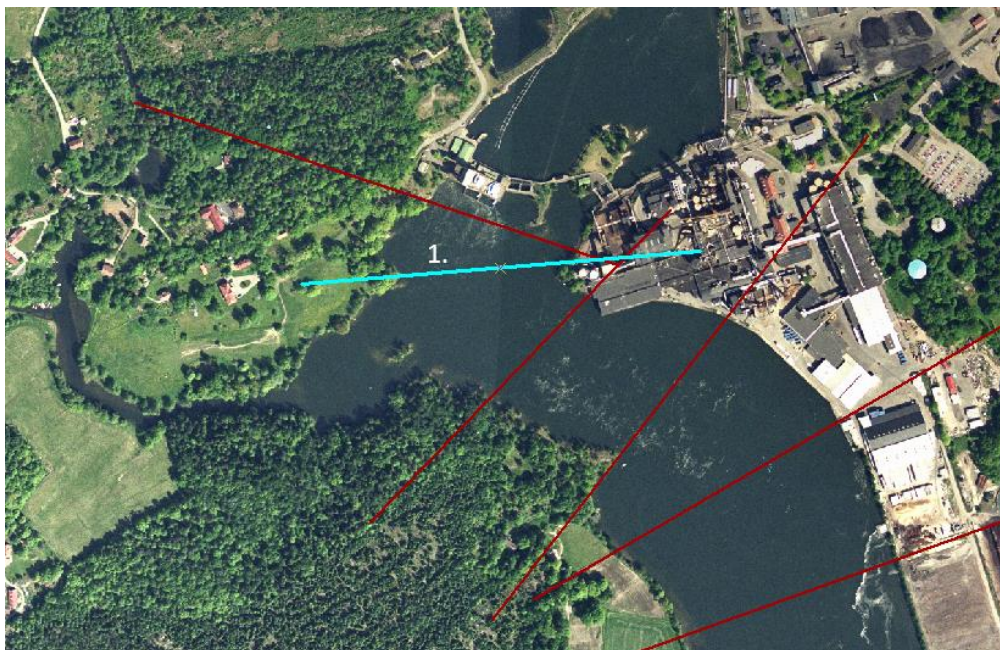
Resultat

Resultaten från modellsimuleringarna är beräknade vattennivåer och vattenhastighet i specifika beräkningspunkter längs hela vattendraget, varav resultat för sex punkter har valts ut för observation. Dessa befinner sig i tvärsektionerna placerade just nedströms Vargön dammanläggning, uppströms Konvaljeön, 10 m uppströms och 90 m nedströms bron i huvudfåran samt 10 m uppströms och 10 m nedströms bron i slusskanalen, se Figur 13 och Figur 14. De beräknade förändringarna i vattennivåerna och vattenhastigheterna för de tre olika flödesscenerierna är presenterade i Tabell 3, Tabell 5 och Tabell 7.

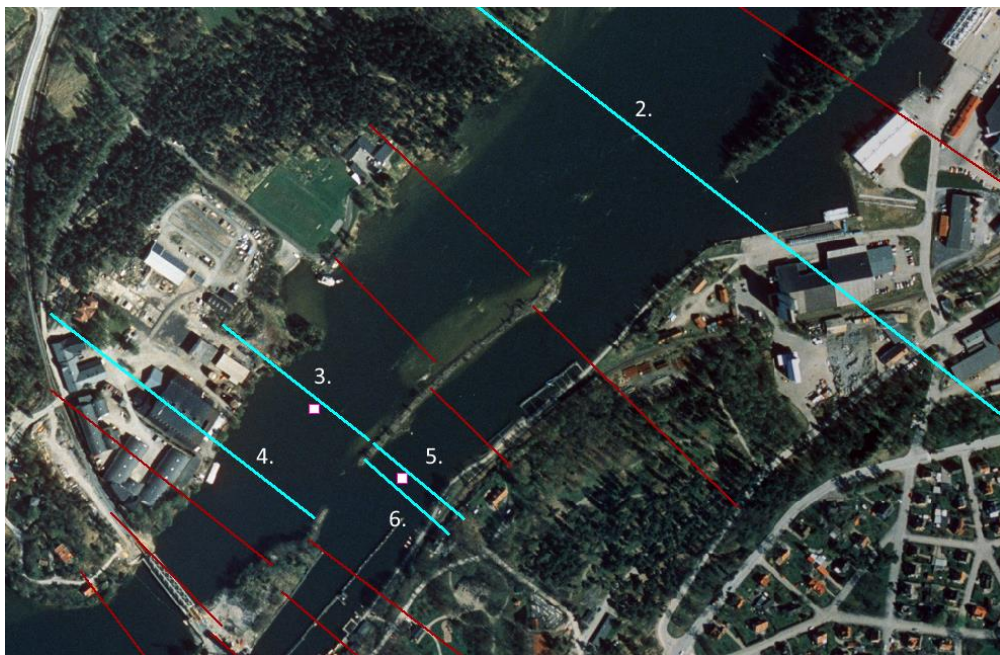
Sist redovisas hur vattenflödets storlek påverkas i huvudkanalen respektive slusskanalen vid brons placering, se Tabell 4, Tabell 6 samt Tabell 8.

Resultatet visar att flödet minskar i slusskanalen och ökar i huvudfåra i simuleringarna av alla broalternativ. Störst förändring kan ses vid broalternativ 3. Endast scenario vid normalvattenförling ($550 \text{ m}^3/\text{s}$) har presenterats då mönstret är densamma för de andra flödesscenerierna.

Notera att beräkningarna är preliminära då brons utformning inte är klar.



Figur 13. Punkt i tvärsektionen nedströms Vargön dammanläggning för vilka data med vattennivå och vattenhastighet har hämtats från resultaten från simuleringarna.



Figur 14. Punkter i tvärsektioner för vilka data med vattennivå och vattenhastighet har hämtats från resultaten från simuleringarna. Den vit kvadraterna med rosa ytterkanter markerar brostrukturerna.

Tabell 3. Resultat för medelvattenföring (550 m³/s) visar skillnaden i vattennivå samt vattenhastighet mellan simulering av nuvarande förhållanden utan bro och simulering med de fem olika brostrukturerna. Positivt värde innebär att brostrukturen ökar vattennivån eller vattenhastigheten och negativt värde innebär att brostrukturen sänker vattennivån eller vattenhastigheten.

Förändring i vattennivå, VY (m) och vattenhastighet, v (m/s) vid normalvattenföring 550 m ³ /s (höjdsystem RH 70)										
	Bro alt 1		Bro alt 2		Bro alt 3		Bro alt 4		Bro alt 5	
Punkt	dVY	dv	dVY	dv	dVY	dv	dVY	dv	dVY	dv
1 - Ns Vargön	0,006	0	0,006	0	0,003	0	0,006	0	0,005	0
2 - Us huvudfåra-slusskanal	0,006	0	0,006	0	0,003	0	0,006	0	0,005	0
3 - Us broplacering huvudfåra	0,005	0,03	0,005	0,03	0	0,07	0,005	0,03	0,005	0,02
4 - Ns broplacering huvudfåra	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5 - Us broplacering slusskanal	0,008	-0,09	0,007	-0,07	0,003	-0,19	0,007	-0,07	0,006	-0,04
6 - Ns broplacering slusskanal	0	-0,07	0	-0,06	-0,001	-0,17	0	-0,06	0	-0,04

Tabell 4. Resultat för medelvattenföring (550 m³/s) visar vattennivån samt vattenhastigheten i fyra olika punkter med de fem olika broalternativen samt utan bro.

Vattennivå, VY (m) och vattenhastighet, v (m/s) vid normalvattenföring 550 m ³ /s (höjdsystem RH 70)								
	1 - Ns Vargön		2 - Us huvudfåra-slusskanal		3 - Us broplacering huvudfåra		5 - Us broplacering slusskanal	
Scenario	VY	v	VY	v	VY	v	VY	v
Utan bro	39,758	0,269	39,705	0,282	39,699	0,241	39,698	0,393
Bro alt 1	39,764	0,269	39,711	0,281	39,703	0,274	39,698	0,305
Bro alt 2	39,764	0,269	39,710	0,281	39,703	0,268	39,706	0,319
Bro alt 3	39,764	0,270	39,707	0,282	39,698	0,313	39,701	0,202
Bro alt 4	39,764	0,269	39,710	0,281	39,703	0,267	39,705	0,321
Bro alt 5	39,764	0,269	39,710	0,281	39,703	0,257	39,705	0,348

Tabell 5. Resultat för hög vattenföring (1200 m³/s) visar skillnaden i vattennivå samt vattenhastighet mellan simulering av nuvarande förhållanden utan bro och simulering med de fem olika brostrukturerna. Positivt värde innebär att brostrukturen ökar vattennivån eller vattenhastigheten och negativt värde innebär att brostrukturen sänker vattennivån eller vattenhastigheten.

Förändring i vattennivå, VY (m) och vattenhastighet, v (m/s) vid hög vattenföring 1200 m ³ /s (höjdsystem RH 70)										
	Bro alt 1		Bro alt 2		Bro alt 3		Bro alt 4		Bro alt 5	
Punkt	dVY	dv	dVY	dv	dVY	dv	dVY	dv	dVY	dv
1 - Ns Vargön	0,008	0	0,008	0	0,004	0	0,008	0	0,007	0
2 - Us huvudfåra-slusskanal	0,009	0	0,008	0	0,005	0	0,008	0	0,007	0
3 - Us broplacering huvudfåra	0,006	0,04	0,006	0,04	0,000	0,06	0,006	0,03	0,006	0,02
4 - Ns broplacering huvudfåra	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5 - Us broplacering slusskanal	0,014	-0,11	0,013	-0,10	0,013	-0,17	0,013	-0,09	0,011	-0,07
6 - Ns broplacering slusskanal	-0,001	-0,10	-0,001	-0,08	-0,002	-0,15	-0,001	-0,08	-0,001	-0,06

Tabell 6. Resultat för ett högflöde (1200 m³/s) visar vattennivån samt vattenhastigheten i fyra olika punkter med de fem olika broalternativen samt utan bro.

Vattennivå, VY (m) och vattenhastighet, v (m/s) vid ett högflöde 1200 m ³ /s (höjdsystem RH 70)								
	1 - Ns Vargön		2 - Us huvudfåra-slusskanal		3 - Us broplacering huvudfåra		5 - Us broplacering slusskanal	
Scenario	VY	v	VY	v	VY	v	VY	v
Utan bro	40,085	0,568	39,844	0,613	39,814	0,531	39,813	0,873
Bro alt 1	40,093	0,568	39,853	0,612	39,820	0,572	39,827	0,762
Bro alt 2	40,093	0,568	39,853	0,612	39,820	0,567	39,826	0,775
Bro alt 3	40,090	0,568	39,849	0,613	39,814	0,594	39,825	0,704
Bro alt 4	40,093	0,568	39,853	0,612	39,820	0,566	39,826	0,778
Bro alt 5	40,092	0,568	39,852	0,612	39,820	0,555	39,823	0,808

Tabell 7. Resultat för klimatanpassat framtidsflöde (1350 m³/s) visar skillnaden i vattennivå samt vattenhastighet mellan simulering av nuvarande förhållanden utan bro och simulering med de fem olika brostrukturena. Positivt värde innebär att brostrukturen ökar vattennivån eller vattenhastigheten och negativt värde innebär att brostrukturen sänker vattennivån eller vattenhastigheten.

Förändring i vattennivå, VY (m) och vattenhastighet, v (m/s) vid klimatanpassat framtida flöde 1350 m ³ /s (höjdsystem RH 70)										
	Bro alt 1		Bro alt 2		Bro alt 3		Bro alt 4		Bro alt 5	
Punkt	dVY	dv	dVY	dv	dVY	dv	dVY	dv	dVY	dv
1 - Ns Vargön	0,008	0	0,008	0	0,005	0	0,008	0	0,007	0
2 - Us huvudfåra-slusskanal	0,010	0	0,009	0	0,005	0	0,009	0	0,008	0
3 - Us broplacering huvudfåra	0,005	0,02	0,005	0,04	0,000	0,06	0,006	0,03	0,005	0,03
4 - Ns broplacering huvudfåra	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5 - Us broplacering slusskanal	0,017	-0,13	0,014	-0,11	0,014	-0,17	0,014	-0,10	0,012	-0,07
6 - Ns broplacering slusskanal	-0,002	-0,12	-0,001	-0,09	-0,002	-0,15	-0,001	-0,09	-0,001	-0,06

Tabell 8. Resultat för ett framtida klimatanpassat flöde (1350 m³/s) visar vattennivån samt vattenhastigheten i fyra olika punkter med de fem olika broalternativen samt utan bro.

Vattennivå, VY (m) och vattenhastighet, v (m/s) vid ett klimatanpassat framtida flöde 1350 m ³ /s (höjdsystem RH 70)									
	1 - Ns Vargön		2 - Us huvudfåra-slusskanal		3 - Us broplacering huvudfåra		5 - Us broplacering slusskanal		
Scenario	VY	v	VY	v	VY	v	VY	v	
Utan bro	40,182	0,633	39,888	0,681	39,851	0,592	39,848	0,975	
Bro alt 1	40,190	0,632	39,898	0,680	39,856	0,616	39,865	0,840	
Bro alt 2	40,190	0,632	39,897	0,680	39,856	0,631	39,863	0,868	
Bro alt 3	40,187	0,633	39,893	0,681	39,851	0,655	39,862	0,807	
Bro alt 4	40,190	0,632	39,897	0,680	39,856	0,626	39,863	0,873	
Bro alt 5	40,189	0,632	39,896	0,680	39,856	0,618	39,860	0,903	

Tabell 9. Resultatet beskriver hur vattenflödet ändras med och utan brostruktur vid 550 m³/s i respektive vattenfåra vid bron placering. Ett positivt värde innebär att vattenflödet ökar i och med addering av brostruktur och vice versa.

Skillnad i vattenflöde (m ³ /s) mellan simulering med brostruktur och utan brostruktur vid 550 m ³ /s (höjdsystem RH 70)					
Plats	Bro alt 1	Bro alt 2	Bro alt 3	Bro alt 4	Bro alt 5
Broplacering huvudkanal	46,60	39,56	103,24	38,66	24,28
Broplacering slusskanalen	-46,67	-39,26	-102,65	-38,43	-23,87

Slutsats och rekommendation

Den preliminära slutsatsen efter de inledande beräkningar som nu utförts är att bron kan ha en dämmande inverkan på vattennivåerna. Det leder till några millimeters minskad fallhöjd vid kraftverket i Vargön.

Trollhättan påverkas inte då dammarna där antas reglera vattennivån på dämningens gräns. Detta görs vanligen med s.k. VNR, vattennivåreglering.

Av de fem olika utformningarna av bron beräknas alternativ 3 ha minst dämmande effekt uppströms. Vid alternativ 3 har man valt en att placera en bågbro i huvudkanalen vilket medför att inget brostöd är placerat i huvudkanalen. Simuleringarna utförda i den här rapporten pekar på att brostödens utformning i huvudfåran ger störst påverkan på strömningen.

Brons utformning bör så långt det är möjligt undvika att ta strömningsarea i anspråk alternativt behöver kompensationsåtgärder i form av bottenschakter utföras för att kraftproduktionen ej ska påverkas.

Förändringen i vattennivå nedströms Vargön i tabellerna ovan kan lämpligen kommuniceras till Vattenfall för att inhämta deras synpunkter på vad uppdämningen ger för påverkan på kraftproduktionen. I övrigt bedöms inte brons dämmande påverkan ge någon praktisk påverkan på älven.

Referenser

Vattenfall, 2008. *Terrängmodellering Göta Älv*. 2008-06-25. Uppdragsnummer 2412100.

Vattenfall, 2009. *Göta älv hydraulisk modell och dammbrottsberäkningar*. 2009-06-15.
Uppdragsnummer 2412100.