

PM Vattennivåberäkningar för högflöden i Balingsholmsån

Datum 2023-11-30

Ramboll Sweden AB
Krukmakargatan 21
Box 17009
10462 Stockholm

Uppdrag Storängen/Kv Aspen
Beställare Huddinge kommun
Från Robert Elfving
Granskad Anton Blomqvist
Till Anja Ullvin/Lotta Berntzon
PM nummer 1

T: +46 (0)10 615 60 00
D: 0767-645469
<https://se.ramboll.com>

Unr 1320043730-006

Ramboll Sweden AB
Org. nummer 556133-0506

1. Syfte

Utredningen omfattar att se över och förfinas MSB:s översvämningskartering (2023) för Balingsholmsån och del av Tyresån (sträckan Trehörningen-Drevviken). Syftet är att fylla kunskapsluckor angående sjön Trehörningens nivåvariation vid höga flöden, och kunna nyttja karteringen för höjdsättningen av åtgärder m.m. i de exploateringar och dagvattenåtgärder som planeras runt sjön. Utredningen har utförts som en del i uppdraget med skyfallsåtgärder för Kv Aspen m fl.

2. Underlag

Utredningen bygger vidare på MSB:s hydrauliska modell över Tyresån vilken inhämtats från MSB.se 2023-07-04. Se även rapport¹

De kompletteringar av modellen som gjorts av Ramboll baseras på följande underlag:

- Topografin för området runt sjön Trehörningen, inhämtad höjddata från SCALGO Live 2023 (baserat på Lantmäteriets höjdmodell)
- Utformningen av befintligt dämme vid Balingsholm, baseras på beskrivning i hydraulisk modell som använts i skyfallsanalys för Storängens programområde²

¹ Översvämningskartering utmed Tyresån, Rapport nr: 3, 2013-05-24, rev. 2021-04-30 (MSB/SWECO Energy AB 2023)

² Skyfallsanalys Programområde Storängen (Ramboll/Huddinge kommun 2022-02-01)

- Utformning av vägtrumma vid Balingsholm, enligt relationshandling³ och dykrapport⁴
- Ritning för vägtrumma vid Hanestorp⁵
- Flödesdata som Ramboll beställt av SMHI, 2023⁶

3. Metod

MSB:s översvämningsskartering bedöms inte ha den detaljnivå som behövs för att kunna beräkna vattennivåer i sjön Trehörningen med tillräcklig precision som behövs med anledning av kommande exploateringar runt sjön.

Med några förfiningar av modellen bedöms precisionen kunna öka till en tillräcklig detaljnivå, och dessa förfiningar har därför genomförts:

- De viktigaste inflödena till modellen som beskrivits med konstanta flöden ersätts med flödeshydrografer, så att den betydande fördröjningsvolym som de stora sjöarna (framför allt Magelungen och Drevviken) bedöms utgöra, kan tillgodoräknas
- Sjömagasin beskrivs mer detaljerat
- Trehörningens dämme beskrivs mer noggrant
- Vägtrummor längs Balingsholmsån som saknats och bedöms kunna påverka flödet, läggs in i modellen

Uppdateringen av skarteringen har skett ned till Drevvikens utlopp, för att säkerställa att bakåtdämningseffekter som ev påverkar Trehörningen är hanterade.

3.1 SMHI:s flödesberäkning

För att ta fram flödeshydrografer för BHF-scenariot, samt flöden med 100 och 200 års återkomsttid har Ramboll beställt flödesuppgifter från SMHI. Som underlag har Ramboll levererat Q-H-kurvor för utloppen från de största sjöarna. Q-H-sambanden baseras på simuleringar som gjorts 2023 i MSB:s befintliga hydrauliska modell, för ett antal olika flödessituationer för att motsvara alla tänkbara vattennivåer inom ett rimligt spann.

SMHI har baserat på detta levererat bl a tillrinning och vattenföring (utloppsfloede) som hydrografer för BHF-flödet ("Metod I-flöde") för:

- Orlången
- Trehörningen
- Magelungen

³ RÖRBRO ÖVER Å. 126-40900-1. Relationshandling, ritn K-21-0-001 (Brogruppen 2022-11-24)

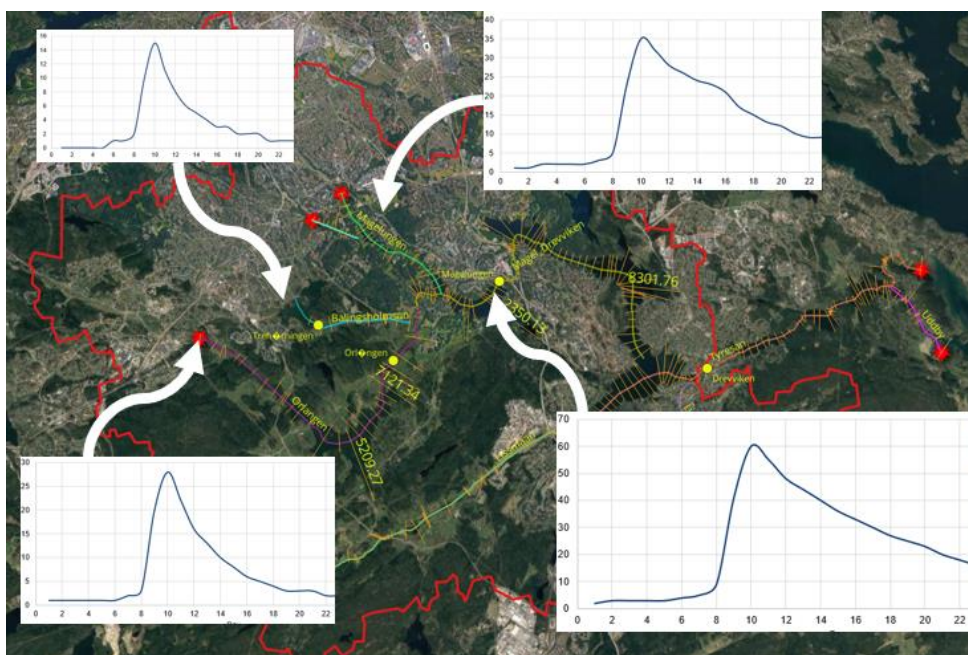
⁴ Huvudinspektion av rörbro 126-40900-1 (Under ytan/Huddinge kommun 2022-10-03)

⁵ Hanestorp. Läggnings av vägtrumma i dike mellan Trehörningen-Ågestasjön. Ritn 12567. Huddinge kommun 1974-03-29) Höjder antas vara i RH00 och har konvererats till RH2000.

⁶ Flödesberäkningar Tyresån, Reynolds E. (SMHI 2023-10-26). Se Bilaga 1.

- Orlången vid det dimensionerande tillfället för Magelungen.
- Trehörningen vid det dimensionerande tillfället för Magelungen
- Drevviken
- Orlången vid det dimensionerande tillfället för Drevviken
- Trehörningen vid det dimensionerande tillfället för Drevviken
- Magelungen vid det dimensionerande tillfället för Drevviken

Figur 1 visar BHF-hydrografer beräknade av SMHI och var de ansluter i modellen.



Figur 1. BHF-hydrografer beräknade av SMHI och var de ansluter i modellen. Hydrograferna visar flöde (m^3/s) över tid (dygn).

Statiska toppflöden (tillrinning och vattenföring) har levererats av SMHI för:

- Orlången, 100 och 200 års återkomsttid
- Trehörningen, 100 och 200 års återkomsttid
- Magelungen, 100 och 200 års återkomsttid
- Drevviken, 100 och 200 års återkomsttid

För detaljerad information hänvisas till SMHI:s rapport (Bilaga 1).

3.2 Klimatanpassat 100- och 200-årsflöde

Utöver flödesberäkningarna för 100- och 200-årsflöde har SMHI levererat en procentuell ökning av angivna flöden för valda klimatscenarier.

De värden som använts avser:

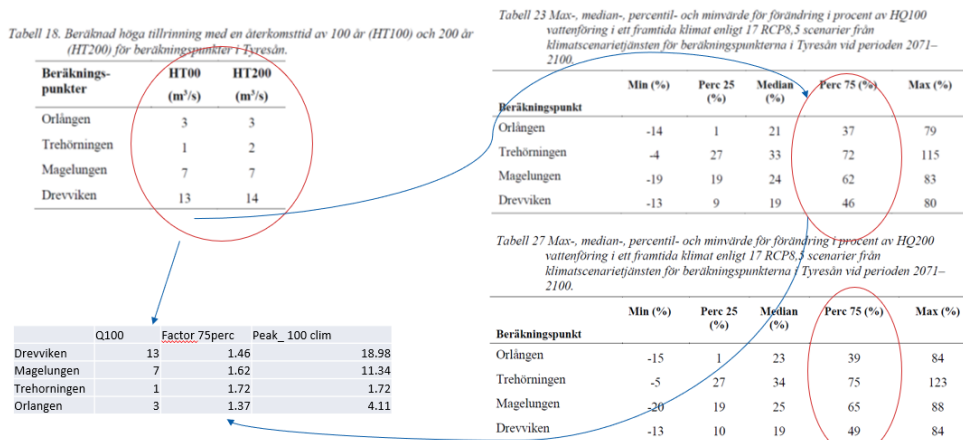
- Förändring i procent av **HQ100** vattenföring i ett framtida klimat enligt 17 RCP8,5 scenarier från klimatscenarietjänsten för beräkningspunkterna i Tyresån vid perioden 2071–2100.
- Förändring i procent av **HQ200** vattenföring i ett framtida klimat enligt 17 RCP8,5 scenarier från klimatscenarietjänsten för beräkningspunkterna i Tyresån vid perioden 2071–2100.

RCP8,5 är det mest pessimistiska scenariot av de som SMHI tagit fram, och innebär att utsläppsutvecklingen fortsätter ungefär som den gjort historiskt.

75:e percentilens värden har använts, vilket ger ett påslag på mellan 37 och 75 % på de beräknade toppflödena, beroende på beräkningspunkt och återkomsttid.

Figur 2 visar hur påslaget applicerats på toppflödena.

Beräkning av 100- och 200-årsflöde med klimatfaktor



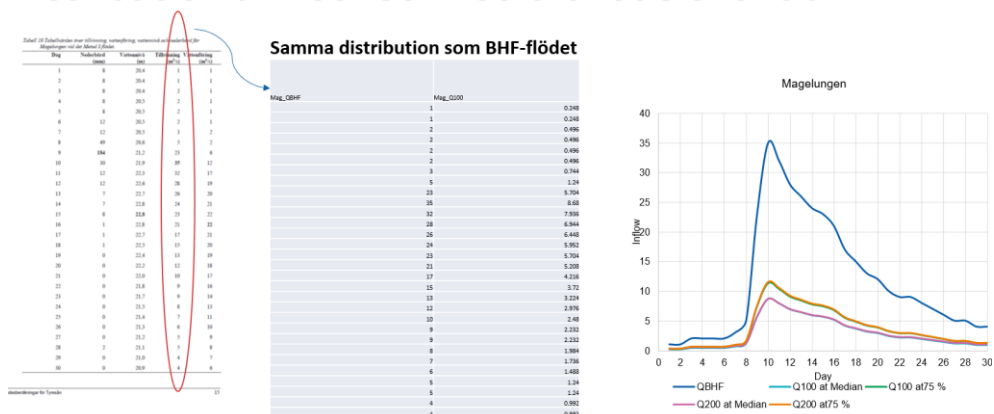
Figur 2. Metod för applicering av klimatfaktor på toppflöden. Tabeller hämtade från SMHI (2023).

3.3 Hydrograf för 100- och 200-årsflöde

Flöden med 100 och 200 års återkomsttid beräknas av SMHI med frekvensanalys, vilket ger ett toppflöde men inte flödets fördelning över tid. Det har därför gjorts en anpassning av BHF-flödets hydrograf så att den "skalas ned" med samma fördelning över tid, men baserat på de lägre toppflöden som 100 och 200 års återkomsttid ger.

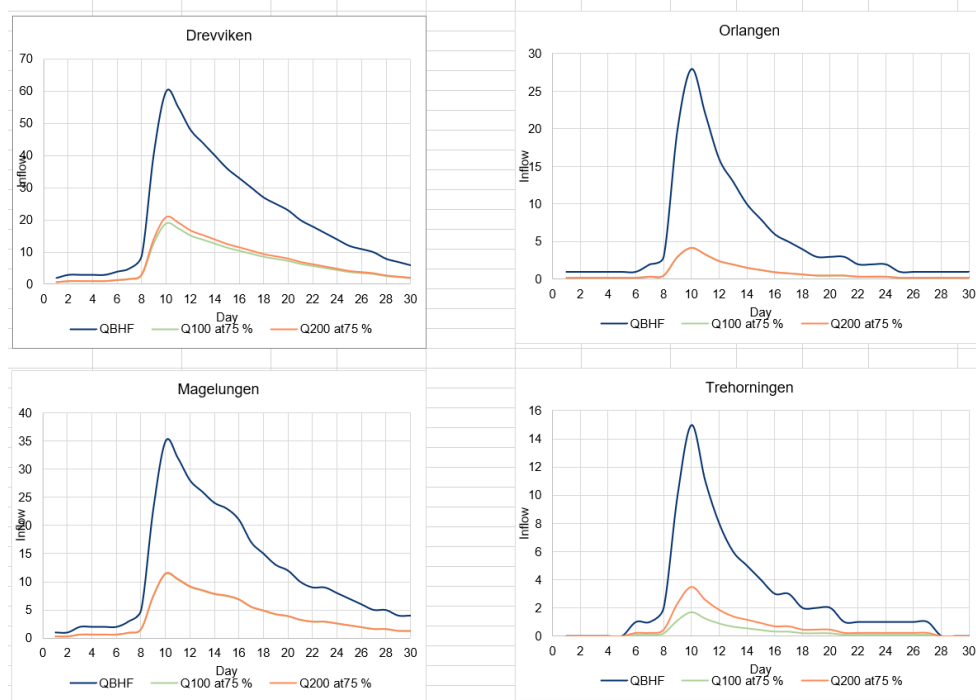
Figur 3 visar principen för nedskalning.

Distribution av 100- och 200-årsflöde över tid



Figur 3. Princip för framtagande av hydrograf för 100- och 200-årsflöde, baserat på BHF-hydrografen. Tabell hämtade från SMHI (2023).

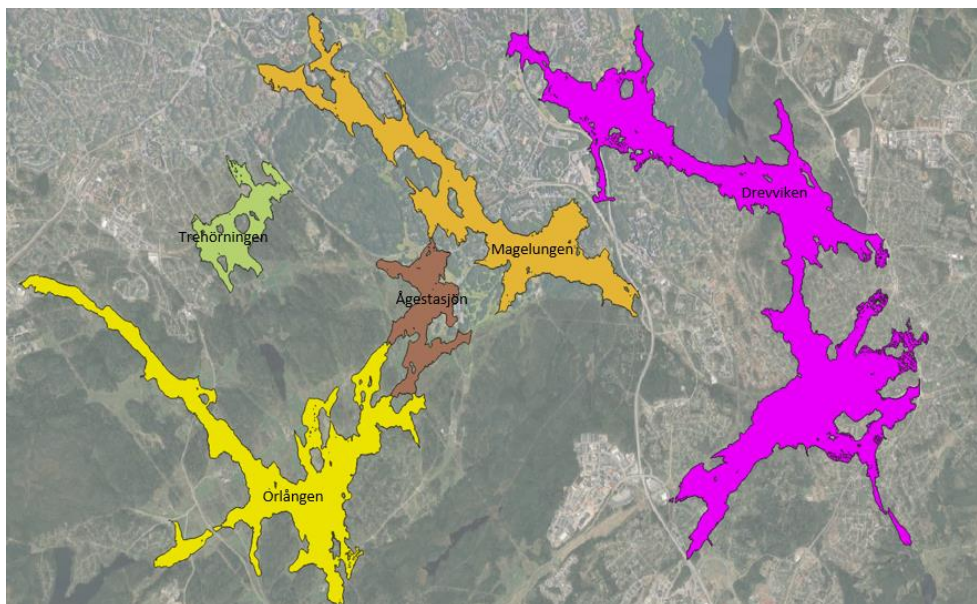
Figur 4 visar resultaten av nedskalningen för de fyra beräkningspunkterna.



Figur 4. Resultande hydrograf för 100- och 200-årsflöde, samt ursprunglig BHF-hydrograf. Skillnaden mellan Q100 och Q200 för Orlången och Magelungen är svår att urskilja, kurvorna ligger på varandra pga. att flödesvärden är mycket lika.

3.4 Sjömagasinering

Area/nivå har tagits fram för respektive sjö med hjälp av Scalgo Live och baseras på Lantmäteriets höjdmodell. Till följd av detta har lägsta nivå som area beräknats för varit bunden till den lägsta nivån i höjdmodellen. Det är dock inte troligt att denna nivå motsvarar sjöarnas lägsta nivå. Vi bedömer dock att ytor för nivåer lägre än de som beräknas kan antas vara ungefär lika stor som minsta beräknade area.



Figur 5. Översikt över sjöar för vilken magasinering beräknats.

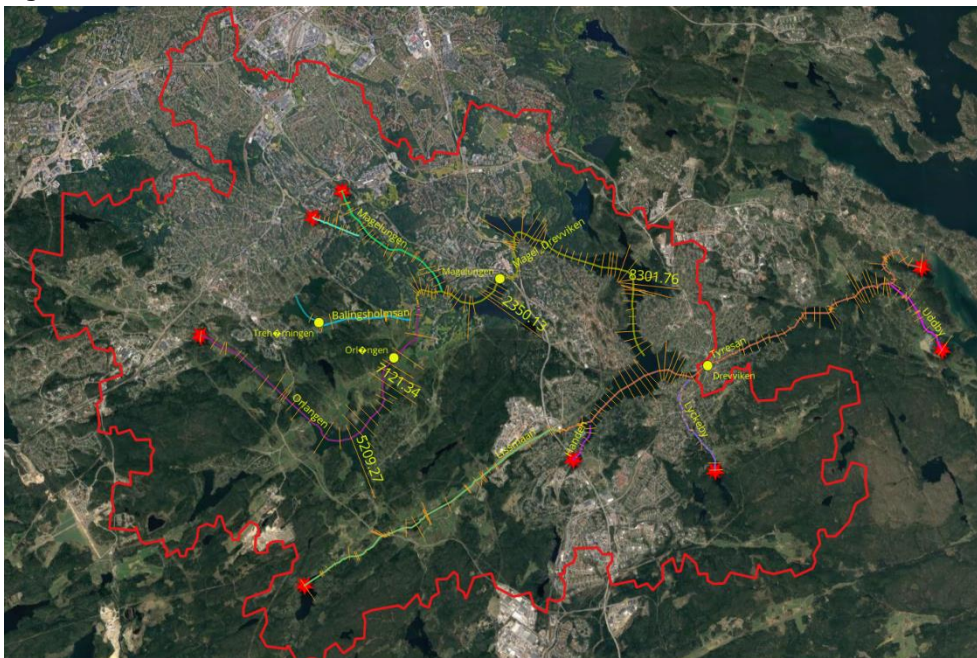
Den beräknade arean per sjö har begränsats så att enbart ytan inom vad som skulle "kunna definieras som själva sjöområdet" har tagits med, och har baserats på respektive sjös utlopp. Detta har gjorts för att inte dubbelräkna area/volym för de olika sjöarna. Skulle samtliga sjöar exempelvis ha en vattennivå på +22,5 m skulle en stående vattenyta bildas vilket gör att sjöarna blir sammankopplade.

För Trehörningen räknar vi inte med området väster om "invallningen" vilket gör att vi ligger på säkra sidan vad gäller sjöns lagringskapacitet. Det är i dagsläget okänt hur tät vallen är, och huruvida vattennivån på insidan av vallen ställer in sig på samma nivå som i sjön.

Tabeller som visar magasinering för resp. sjö vid olika vattennivåer, redovisas i Bilaga 2 till SMHI:s rapport (Bilaga 1).

4. Beräkningspunkter och belastningspunkter

En översiktssbild över randvillkor (inflöden och vattennivåer) i modellen visas i Figur 6.



Figur 6. Översikt över randvillkor. Stjärnor avser punktinflöden och gula punkter fördelade flöden. Området inom röd linje avser det som studeras i denna utredning. Sista sträckan av Tyresån mot havet ingår i MSB:s modell men har ej studerats.

Figur 7 visar modellens tabell med inflöden. Inflöden anges som:

- Open: Vid modellens början och slut. Kan även anges som en vattennivå.
- Point Source: Punktinflöde
- Distributed Source: Fördelat längs en vattendragssträcka

Större inflöden har uppdaterats till tidsserier, medan några mindre konstantflöden ligger kvar enligt MSB:s modell, dessa bedöms ha försumbar påverkan på vattennivån i Trehörningen/Balingsholmsån.

Distribuerade inflöden för Balingsholmsån och Lyckeby har lagts till av Ramboll.

	Boundary Description	Boundary Type	Branch Name	Chainage	Chainage	Gate ID	Boundary ID
1	Distributed Source	Inflow	Balingsholmsa	645.29	2806.85		Inloppet av Agestasjon
2	Distributed Source	Inflow	Krappladiket	3.01	1296.28		Krappladiket
3	Distributed Source	Inflow	Lissmaan	2.09	8199.77		Utloppet av Lissmasjon
4	Distributed Source	Inflow	Lyckeby	12.93	2943.37		
5	Distributed Source	Inflow	Magel_Drevvik	18.92	2926		Norra Drevviken
6	Distributed Source	Inflow	Magel_Drevvik	3005.24	10170.25		Gudoa utlopp Magelungen
7	Distributed Source	Inflow	Magelungen	2.49	1341.4192		Inloppet i Magelungen
8	Distributed Source	Inflow	Magelungen	1410.2281	3799.94		
9	Distributed Source	Inflow	Orlangen	3.15	7668.61		Utloppet av Orlangen
10	Distributed Source	Inflow	Orlangen	8066.28	99550.34		Norra Magelungen
11	Distributed Source	Inflow	Tyresan	0	4438		Gudoa utlopp Drevviken
12	Distributed Source	Inflow	Tyresan	4443	7033		Utloppet av Langsjon
13	Distributed Source	Inflow	Tyresan	7038	8733		Inloppet av Albysjon
14	Distributed Source	Inflow	Tyresan	8738	10448		Utloppet av Albysjon
15	Distributed Source	Inflow	Tyresan	10453	12613		Mynnar i Havet (Alby)
16	Distributed Source	Inflow	Uddby	0	2332		Mynnar i Havet (Uddby)
17	Open	Inflow	Handen	634.809	0		Handen_Inflow_US
18	Open	Inflow	Krappladiket	0	0		Krappladiket_Inflow_US
19	Open	Inflow	Lissmaan	0	0		Lissmaan_Inflow_US
20	Open	Inflow	Lyckeby	0	0		Lyckeby_Inflow_US
21	Open	Inflow	Magelungen	0	0		Magelungen_Inflow_US
22	Open	Inflow	Orlangen	0	0		Orlangen_Inflow_US
23	Open	Inflow	Trehonigen	0	0		Trehonigen_Lake_Inflow
24	Open	Water Level	Tyresan	12614.9321	0		Havsniva
25	Open	Water Level	Uddby	2333.135	0		Havsniva
26	Point Source	Inflow	Lissmaan	4010	0		Mynnar i Lissmaan
27	Point Source	Inflow	Magel_Drevvik	4975	0		Mynnar i Drevviken (Flaten)
28	Point Source	Inflow	Orlangen	4445	0		Mynnar i Orlangen

Figur 7. Randvillkor i modellen.

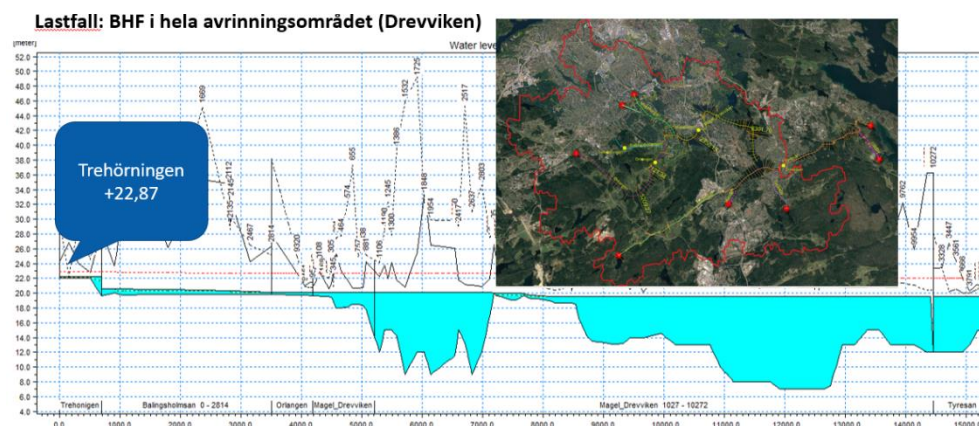
5. Beräkningsfall och resultat

När ett större avrinningsområde betraktas, anses det som mindre sannolikt att maximala flöden uppstår överallt i systemet samtidigt, och beräknade flöden för varje inflödespunkt är därför mindre än om denna inflödespunkt skulle betraktas som en lokal händelse. Därför har en kombination av scenarier studerats, de viktigaste utgörs av:

- a) Maximalt flöde i Trehörningens avrinningsområde men måttligt flöde nedströms
- b) Maximalt flöde i Magelungens avrinningsområde

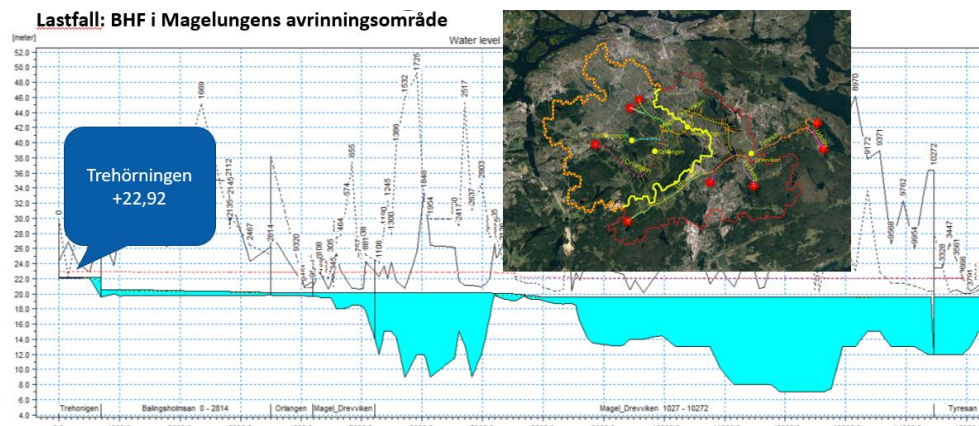
(b) har studerats för att säkerställa att detta scenario inte ger bakåtdämningseffekter som ger en högre vattennivå i Trehörningen än (a)

Följande avsnitt visar hur BHF-nivån i Trehörningen påverkas av hur stort avrinningsområde som betraktas. Figur 8 visar vattennivån vid BHF-flöde i hela Drevvikens avrinningsområde.



Figur 8. Vattendragsprofil på sträckan Trehörningen-Drevviken med maximal beräknad vattennivå (röd linje). Scenario med BHF-flöde i hela Drevvikens avrinningsområde.

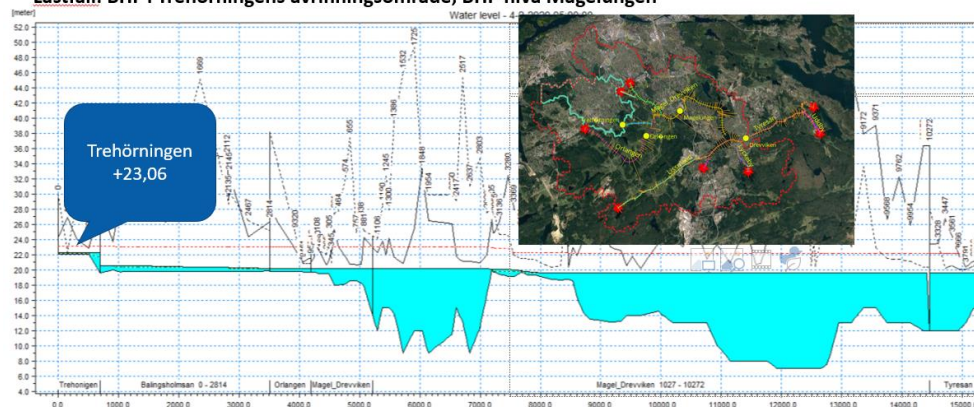
Figur 9 visar vattennivån vid BHF-flöde i Magelungens avrinningsområde.



Figur 9. Vattendragsprofil på sträckan Trehörningen-Drevviken med maximal beräknad vattennivå (röd linje). Scenario med BHF-flöde i Magelungens avrinningsområde.

Figur 10 visar vattennivån vid BHF-flöde i Trehörningens avrinningsområde, samt BHF för Magelungens avrinningsområde nedströms.

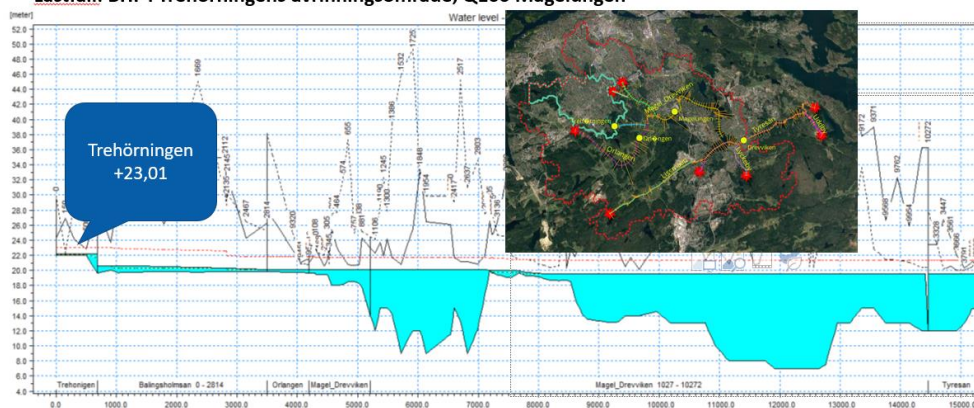
Lastfall: BHF i Trehörningens avrinningsområde, BHF-nivå Magelungen



Figur 10. Vattendragsprofil på sträckan Trehörningen-Drevviken med maximal beräknad vattennivå (röd linje). Scenario med BHF-flöde i Trehörningens avrinningsområde.

Ovanstående jämförelse visar att lokalt BHF vid Trehörningen (Figur 10) ger den högsta nivån. Detta scenario ska dock ses som mer extremt än vad som är tillämpligt, då det får ses som osannolikt att BHF i Magelungen kan uppstå samtidigt som ett lokalt BHF-flöde i Trehörningen. I samråd mellan Ramboll, Sweco och SMHI har kombinationen BHF i Trehörningen + normalflöde nedströms föreslagits som ett mer rimligt dimensionerande scenario. Då normalflöde inte finns beräknat har Ramboll istället valt att använda klimatanpassat 100-årsflöde nedströms vilket ger en vattennivå som ligger på säkra sidan. Figur 11 visar vattennivån vid BHF-flöde i Trehörningens avrinningsområde, samt BHF för Magelungens avrinningsområde nedströms.

Lastfall: BHF i Trehörningens avrinningsområde, Q100 Magelungen



Figur 11. Vattendragsprofil på sträckan Trehörningen-Drevviken med maximal beräknad vattennivå (röd linje). Scenario med BHF-flöde i Trehörningens avrinningsområde men 100-årsflöde nedströms.

De scenarier som bedöms som relevanta är sammanställda i Tabell 1. Tabellen anger även resultat i form av vattennivå för Trehörningen. De scenarier som anses vara dimensionerande för Trehörningen är markerade med fetstil. 100- och 200-årsflöden är klimatanpassade enligt avsnitt 3.2.

Tabell 1. Beräkningsfall och resultat. Dimensionerande scenarier anges med fetstil.

Inflöde Trehörningen	Inflöde övriga	Resultat Vattennivå Trehörningen (m RH2000)
BHF Trehörningen	BHF Magelungen	+23,06
BHF Magelungen	BHF Magelungen	+22,92
BHF Drevviken	BHF Drevviken	+22,87
BHF Trehörningen	Q100 övriga	+23,01
Q100 Trehörningen	Q100 övriga förutom Orlången BHF	+22,33
Q200 Trehörningen	Q100 övriga	+22,49
Q100 Trehörningen	Q100 övriga	+22,33

6. Rekommendationer

Beräknade nivåer kan anses ersätta MSB:s tidigare beräknade nivåer för sjön Trehörningen. Detaljplanerna kan därför använda nivåerna som anges i detta PM som en förutsättning i arbetet med att fastställa planbestämmelser.

Aktuella detaljplaner inom Storången bedöms med dessa beräknade nivåer kunna hantera ett BHF-scenario med endast mindre justeringar av planbestämmelserna. Ett översvämningsskydd (invallning) mot Trehörningen bedöms inte vara nödvändigt att anlägga.

Pågående och kommande projekt inom kommunen t ex vid Orlången, Magelungen och på andra platser längs Tyresåsystemet, kan med fördel använda de modell- och resultatfiler som tagits fram, även om detta PM fokuserar på vattennivåer för Trehörningen.

Uppdateringen av modellen kan i ett senare steg ske ända fram till Östersjön ifall MSB är intresserade (men behövs inte för Trehörningens del). Eventuellt kan även Stockholms stad och Tyresö kommun vara intresserade av detta.

7. Resultatfiler

Ramboll förvaltar f.n. modell- och resultatfiler.

8. Bilagor

Bilaga 1. Flödesberäkningar Tyresån (SMHI)



Författare:

Eduardo Reynolds

Granskningsdatum: 2023-10-26

Uppdragsgivare:

Ramböll Sverige AB

Granskad av: Jonas German

Rapport nr: 2023/54

Dnr: 2023/1421/9.5

Version: 2

Flödesberäkningar Tyresån

Eduardo Reynolds

Uppdragstagare SMHI 601 76 Norrköping	Kontaktperson Eduardo Reynolds Eduardo.Reynolds@smhi.se
Uppdragsgivare Ramböll Sverige AB	Kontaktperson Robert Elfving robert.elfving@ramboll.se
Klassificering Allmän	

Innehållsförteckning

INNEHÅLLSFÖRTECKNING	1
BAKGRUND	2
ANTAGANDEN OCH AVGRÄNSNINGAR	2
METODIK FÖR BERÄKNING AV METOD I-FLÖDEN	2
HBV-modellen	2
HQ100 OCH HQ200	4
KLIMATBERÄKNINGAR	4
Avbödningskurvor och magasinskurvor	6
Beräkningsperioder	6
RESULTAT FÖR BERÄKNING AV BHF FLÖDEN	7
Saxbro– Kalibrering HBV-modellen	7
Startvattenstånd – Metod I-Flöde	9
Orlången - Metod I-Flöde	9
Trehörningen - Metod I-Flöde	12
Magelungen - Metod I-Flöde	14
Drevviken - Metod I-Flöde	18
HQ100 och HQ200	23
Klimatanpassat HQ100 och HQ200 resultat	24
REFERENSER	28
BILAGA 1	29
Tabeller om avbödningskurvor.....	29
BILAGA 2	33
Tabeller om magasinskurvor.....	33

Bakgrund

Ramböll Sverige AB efterfrågar beräkning av tre flödesuppgifter i Tyresån: 100-årsflöde (HQ100), 200-årsflöde (HQ200) och Metod I-flödet. Samtliga flödesberäkningar utom Metod I-flödet ska vara klimatanpassade för att representera ett förväntat flöde vid år 2100. Beräknat flöde ska användas som översvänningskarteringsunderlag hos Ramböll. Den följande rapporten visar resultatet för flödesberäkningarna för fyra beräkningspunkter i Tyresån: Orlången, Trehörningen, Magelungen och Drevviken.

Antaganden och avgränsningar

Följande har antagits eller avgränsats i denna analys:

- Vattenföringsdata finns inte tillgängligt i Tyresån. Kalibreringen är baserad på SMHI:s vattenföringsstation, Saxbro belägen sydöst om Södertälje som har liknande hydrologiska förhållanden. Hela Tyresån har givits samma parameteruppsättning som erhöles från kalibreringen av Saxbro.
- Ingen hänsyn har tagits till osäkerhet i frekvensanalys metodiken (dvs valet av tidsperiod och valet av frekvensfördelning).

Metodik för beräkning av Metod I-flöden

Beräkningarna har gjorts utifrån Svensk Energi, Svenska kraftnät och SveMins (2022) riktlinjer för bestämning av Metod I-flödet.

Ett Klass I-flöde och/eller vattenstånd har ingen exakt återkomsttid. I rapporten ”*Follow-up of the Swedish guidelines for the determination of design floods for dams*” (Bergström m.fl., 2008) har en jämförelse gjorts mellan genomförda Klass I-beräkningar och 10 000-årsflödet beräknat från frekvensanalys. Denna jämförelse visar att den genomsnittliga kvoten mellan 10 000-årsflödet och Klass I-flödet för oreglerade och måttligt reglerade vattendrag är 0.74. Slutsatsen som dras är att det verkar rimligt att anta att återkomsttiden för ett Klass I-flöde i genomsnitt är längre än 10 000 år.

Beräkningarna görs med tidsupplösningen dygn, vilket betyder att de redovisade flödena avser dygnsmedelvärden och att det under dygnet kommer förekomma högre flöden.

HBV-modellen

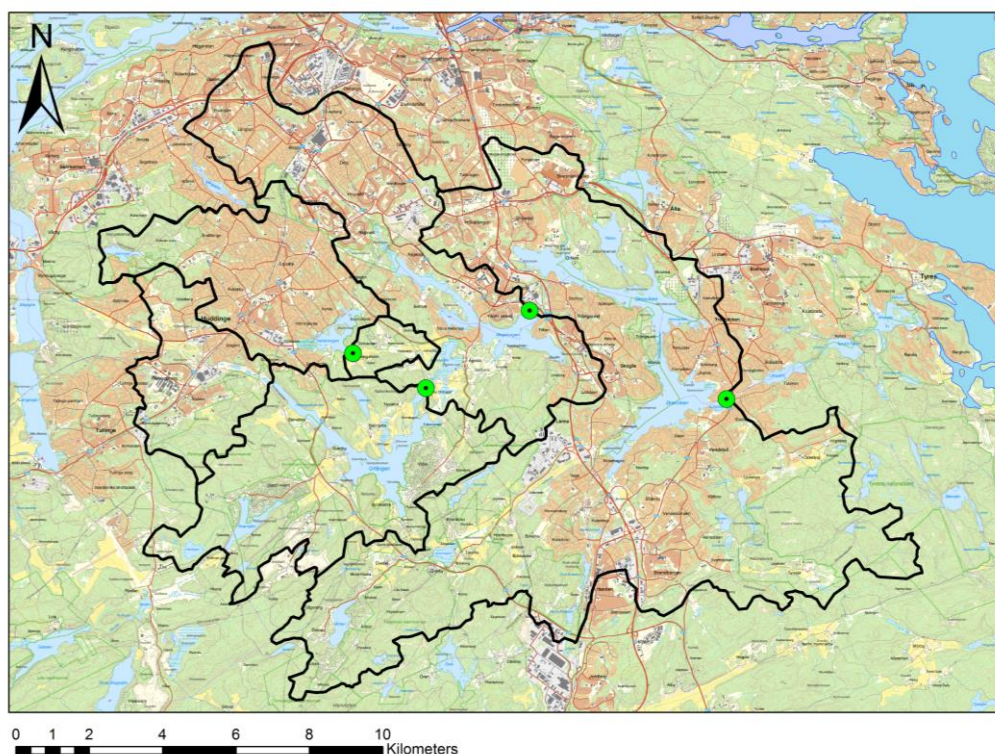
Den hydrologiska avrinningsmodell som används för Metod I-flödet beräkningar i Sverige är normalt HBV-modellen. Den har utvecklats vid SMHI sedan början av 70-talet (Bergström, 1995, Lindström m.fl., 1997). Modellen är begreppsmässig, d.v.s. den bygger på en förenklad fysikalisk beskrivning och kalibreras till specifika vattendrag.

HBV-modellen har en enkel struktur och är i grunden uppbyggd av tre huvudmoduler, en för beräkning av snöns ackumulation och avsmältning, en för beräkning av avdunstning och markfuktighet och en tredje rutin för beräkning av hur flödesförloppet påverkas av yttre faktorer såsom sjöar och dammanläggningar. Modellen är semidistribuerad vilket innebär att

markanvändningen inte är kopplat till en särskilt geografisk plats. Inom ett delavrinningsområde delas avrinningsområdet in i delområden inom vilka höjder och vegetationszoner (skog, öppet landskap, glaciär och sjöar) klassificeras. Den har dessutom speciella funktioner för att hantera sjöar och regleringsrutiner.

I denna studie sattes en HBV-modell upp för Tyresån avrinningsområde (Figur 1). Beräkningspunkternas koordinater samt områdesareorna sammanfattas i Tabell 1.

Geografisk information hämtades för hela modellen från SMHI:s databas SVAR. Indata till modellen utgörs av observerad nederbörd och temperatur som hämtats från SMHI:s databas med areellt fördelad temperatur och nederbörd med data från 1961 (Johansson, 2000, Johansson och Chen 2003 och 2005).



Figur 1 Karta över delområdesindelning i HBV-modellen använd vid flödesberäkningen för Tyresån. Gröna punkter är beräkningspunkter. Svarta områden representerar Tyresån avrinningsområde. Bakgrundskartan är hämtad från Lantmäteriets öppna data.

Tabell 1 Beräkningspunkter i Tyresån

Beräkningspunkt	Area totalt (km ²)	SWEREF 99 TM	
		N	E
Orlången	45	6568169	674772
Trehörningen	21	6569117	672777
Magelungen	108	6570283	677605
Drevviken	209	6567868	682984

För kalibrering av HBV-modellen är det önskvärt att ha tillgång till vattenföringsserier eller tillrinningsserier från det aktuella vattendraget där beräkningar ska genomföras. Vattenföringsdata finns inte tillgängligt för områdena. Därför baserades kalibreringen på en hydrologisk modell med data från en mätstation med liknande hydrologiska förhållanden. SMHI:s vattenföringsstation, Saxbro belägen sydöst om Södertälje användes. De hydrologiska förhållandena vid Saxbro bedömdes motsvara de vid Tyresån.

HQ100 och HQ200

Den etablerade modellen användes för att beräkna höga flöden med en återkomsttid av 100 år och 200 år. Flöden med en viss återkomsttid beräknades med frekvensanalys. Metoden förutsätter att data är oberoende och grundar sig på anpassning av en frekvensfördelningsfunktion till data (årshögsta eller årslägst värden). Gumbelfördelningen valdes i det här uppdraget eftersom den används ofta inom hydrologi för att beräkna extrema flöden.

Klimatberäkningar

Klimatets utveckling i framtiden kan påverka de beräknade flödena och beror på hur atmosfärens innehåll av växthusgaser förändras. För att kunna studera framtidens klimat behövs antaganden om hur utsläppen av växthusgaser kommer att bli. Det finns flera möjliga utvecklingar och vilken av dem som slår in beror på människans förmåga att begränsa utsläppen. RCP-scenarierna, Representative Concentration Pathways (RCP) beskriver resultatet av utsläppen, den så kallade strålningsbalansen i atmosfären, fram till år 2100.

SMHI har genomfört ett stort antal beräkningar, s.k. ensembleberäkningar med flera olika klimatmodeller och framtidsscenarier i olika delar av Sverige. Den sista generationen scenarier "klimatscenarietjänsten" (SMHI, 2022) har använts i detta uppdrag för klimatanpassningen av 100-årsflöde, 200-årsflöde.

I scenariotjänsten används 7 globala klimatmodeller och 11 regionala klimatmodeller och tre RCP-scenarier (dvs RCP 2.6, RCP 4.5 och RCP 8.5). I den meteorologiska ensemblen till scenariotjänsten är 111 det totala antalet klimatscenarier mellan de 3 RCP-scenarier. I scenariotjänstens hydrologiska ensemble används en delmängd av scenarierna i den meteorologiska, 17 klimatscenarier för varje RCP, vilket ger totalt 51 klimatscenarier.

Här har de två scenarierna med $4,5 \text{ W/m}^2$ (RCP 4,5) och $8,5 \text{ W/m}^2$ (RCP 8,5) i strålningsbalans använts. Kortfattat kan sägas att RCP 4,5 innebär att betydande utsläppsminskningar sker medan RCP 8,5 innebär att utsläppsutvecklingen fortsätter ungefär som den gjort historiskt. Tabell 2 beskriver vilka antaganden som ligger till grund för scenarierna. Forskarvärlden har fokuserat på dessa två scenarier, därför finns det mest fullständiga underlaget för dessa i form av regionala klimatberäkningar. Det är skälet till att dessa två scenarier använts i föreliggande rapport. De två scenarierna täcker in en stor variationsbredd vad avser framtidens koncentrationer av växthusgaser i atmosfären.

Tabell 2. Antaganden som ligger till grund för scenarierna RCP4.5 och RCP8.5.

RCP4.5	RCP8.5
<ul style="list-style-type: none"> • Utsläppen av koldioxid ökar något och kulminerar omkring år 2040 • Befolkningsmängd något under 9 miljarder i slutet av seklet • Lågt arealbehov för jordbruksproduktion, bland annat till följd av större skördar och förändrade konsumtionsmönster • Omfattande skogsplanteringsprogram • Låg energiintensitet • Kraftfull klimatpolitik 	<ul style="list-style-type: none"> • Koldioxidutsläppen är tre gånger dagens vid år 2100 och metanutsläppen ökar kraftigt • Jordens befolkning ökar till 12 miljarder vid slutet på seklet vilket leder till ökade anspråk på betes- och odlingsmark för jordbruksproduktion • Teknikutvecklingen mot ökad energieffektivitet fortsätter, men långsamt • Stort beroende av fossila bränslen • Hög energiintensitet • Ingen tillkommande klimatpolitik

För att använda klimatmodellernas utdata till att studera exempelvis hydrologiska effekter, krävs ett gränssnitt mellan klimatmodellen och den hydrologiska modellen. Anledningen är att klimatmodellerna inte kan beskriva det nutida klimatet tillräckligt väl för att ge en trovärdig hydrologisk respons, när utdata från klimatmodellen används direkt som indata till en hydrologisk modell. Efter biasjusteringen kan klimatscenariot användas i en hydrologisk modell för att beräkna framtidens vattenföring. För detta användes i scenariotjänsten metoden MIDAS (Berg m.fl., 2021 och Berg m.fl., 2022). MIDAS använder statistisk bearbetning, där hela klimatscenariot korrigeras mot statistik från referensdata. Metodiken beskriver statistiken enligt anpassningsfunktioner till data och använder ett löpande fönster för varje dag under året.

För att modellera klimatförändringens effekt på hydrologin användes i Scenariotjänsten HYPE-modellen (Lindström et al., 2010). HYPE är en semi-distribuerade konceptuella modell som använder lufttemperatur och nederbördsdata som drivdata (lika som HBV modellen). I beräkningarna av scenariotjänsten har HYPE-modellens uppsättning för Sverige, S-HYPE använts. Många hydrologiska processer i HYPE och HBV är representerade på liknande sätt. Den största skillnaden mellan de två modellerna är hur de representerar snöfallsfördelningen (Reynolds et al., 2021). Beräknat vattenföring fram till 2100 från S-HYPE använts i det här uppdraget för klimatanpassningen av HQ100 och HQ200 (dvs 34 olika scenarier mellan RCP4.5 och RCP8.5).

Förändringen i ett framtida klimat presenteras för två framtidsperioder och jämförs mot en referensperiod. Resultat från olika anläggningar baserat på ovanstående metod visar på intuitiva förändringar för somliga anläggningar och mer komplexa för andra. Exempelvis kan områden där höga flöden idag inträffar under vårens snösmältning uppvisa en tydlig minskning för klimatscenarier som förutspår mycket högre vintertemperaturer där

snömagasin också minskar. För andra områden kan samspelet vara betydligt mer komplicerat mellan temperatur, extrem nederbörd och snömagasin.

Avbördningskurvor och magasinskurvor

För utloppen av sjöarna av intresse finns detaljerade avbördningskurvor för att kunna simulera en flödesdämpning i sjöarna. Dessutom finns magasinskurvor för sjöarna för att representera sjöytareans beroende av vattenståndet. Ramböll Sverige AB tog fram uppgifterna för sjöarna och levererade de till SMHI för att genomföra beräkningarna av efterfrågade flöden. Avbördnings- och magasins- kurvor återfinns i bilaga 1 och 2 respektive.

Beräkningsperioder

Kalibreringar

För kalibreringen av Saxbro användes perioden 2005-10-01 – 2022-10-01 och till validering av modellresultat för oberoende period användes period 1987-10-01 – 2005-10-01.

Metod I-Flöde

Vid beräkningarna av Metod I-flödet användes för alla punkter perioden 1962-10-01–2022-10-01 för beräkning av 30-årssnön och senaste snömaximum, då så lång period som möjligt med tillförlitliga data bör användas. Senaste snömaximum är det senaste datum för perioden 1962–2022 som snötäcket kulminerade. Tidsperioden 2002-04-07–2022-12-31 har använts för beräkningen av Metod I-flödet. Startdatumet är beroende av det senaste snömaximum och kan således variera.

HQ100, HQ200

Perioden 1962-10-01–2022-10-01 användes för beräkningen av HQ100 och HQ200 för alla beräkningpunkter (dvs dem beräknat med hjälp av HBV modellen). För klimatanpassningen av HQ100 och HQ200 har perioder enligt Tabell 3 använts.

Tabell 3 Beräkningsperioder för klimatanpassningen av HQ100 och HQ200.

Beräkning	Referensperiod	Framtidsperiod 1	Framtidsperiod 2
HQ100, HQ200 beräkningar	1971-01-01– 2000-12-31	2041-01-01– 2070-12-31	2071-01-01– 2100-12-31

Resultat för beräkning av BHF flöden

Då modellen ska användas för att simulera ett extremt flödestillfälle, lades fokus vid kalibreringen på att beskriva de högsta flödestoppar så bra som möjligt.

Saxbro– Kalibrering HBV-modellen

Kalibreringen och verifieringen gjordes för total tillrinning för vattenföringsstationen Saxbro. Relativt volymfel, R^2 (Nash Sutcliffe, 1970) och Toppfel år (Peakerry), definieras nedan och redovisas vidare för kalibrerings- och verifieringsperioden i Tabell 4. Modellen överskattar något de högsta vårflodstopparna, men regntopparna underskattas eller går bra. Resultatet bedöms som rimligt bra och exempel med grafer för högsta flödestopparna under kalibreringsperioden redovisas i Figur 2 (flödestoppen motsvarar ett flöde med uppemot 20 års återkomsttid för Saxbro). Exemplet i Figur 3 visar en flödestopp orsakad av främst snö.

Q_c = Modellsimulerad tillrinning

Q_r = Observerad tillrinning

$$\text{Förklarad varians: } R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_c(i) - Q_r(i))^2}{\sum_{i=1}^n (Q_r(i) - \bar{Q}_r)^2}$$

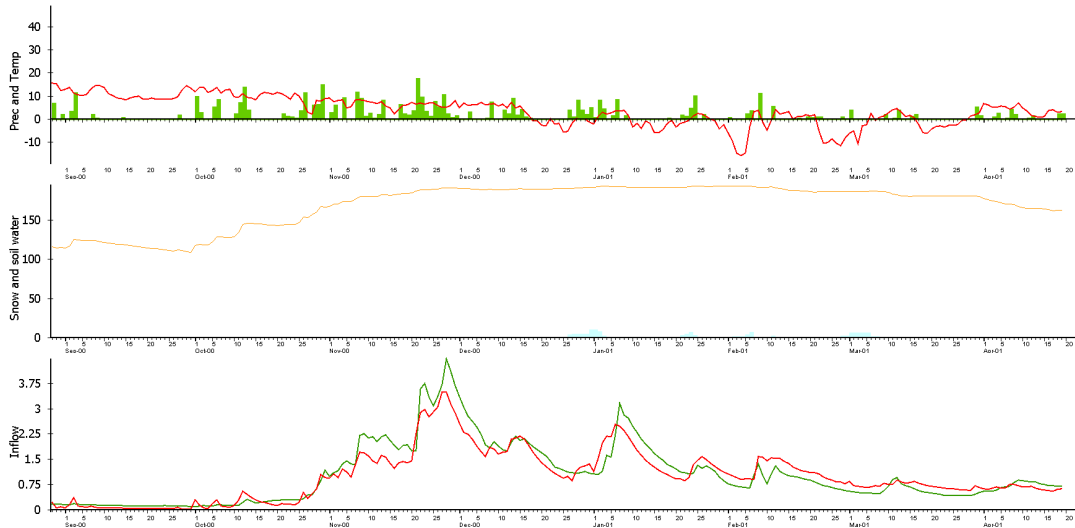
Volymfel: $\text{Accdiff} = \sum Q_c - \sum Q_r$

Relativt volymfel: $\text{Relaccdiff} = \text{Accdiff} / \sum Q_r$

Toppfel år: $\text{Peakerry} = (MHQ_c - MHQ_r) / MHQ_r$

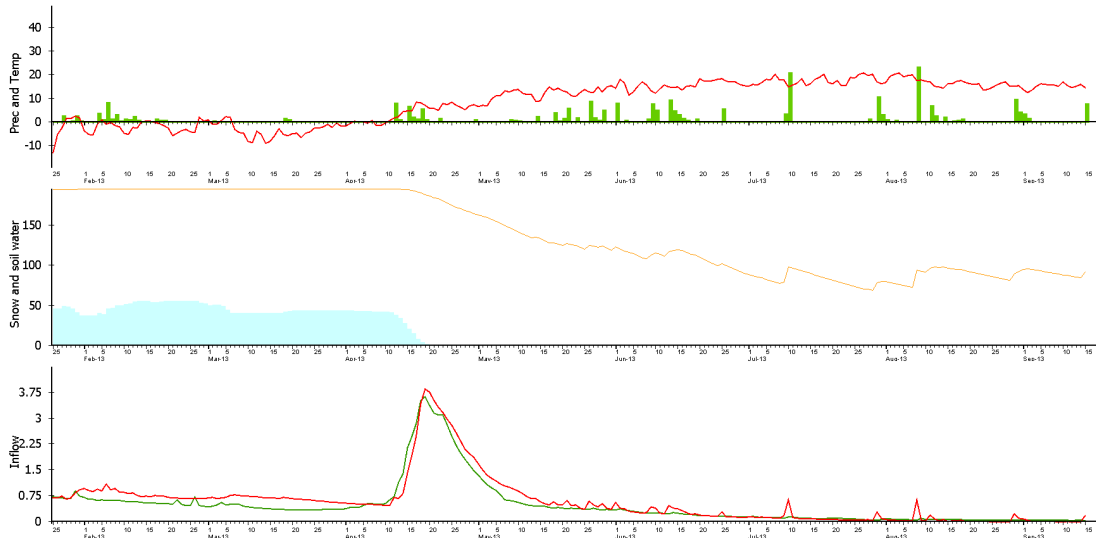
Tabell 4 R^2 -värde och relativt volymfel för kalibrerings- och verifieringsperioden. Värderna avser total vattenföring under respektive period.

Saxbro	R^2	Relativt volymfel (%)	Toppfel år (%)
Kalibrering	0,85	0	3
Verifiering	0,81	-8	-19



Figur 2 Observerad och modellberäknad högsta flödestopp i Saxbro. Överst: nederbörd (staplar) och temperatur (linje), andra: snö (blå staplar), markvatten (orange linje), nedersta: beräknade tillrinning Saxbro (röd linje) och observerad tillrinning/vattenföring (grön linje).

Figur 3 visar hur modellen simulerar snörika år. Toppvärdena för simulerad tillrinning ligger i linje med observationerna.



Figur 3 Observerad och modellberäknad flödestopp i Saxbro under det snörika året 2013. Överst: nederbörd (staplar) och temperatur (linje), andra: snö (blå staplar), nedersta: beräknade tillrinning Saxbro (röd linje) och observerad tillrinning/vattenföring (grön linje).

Startvattenstånd – Metod I-Flöde

Beräkningarna av Metod I-flödet startar det datum som är det senaste datumet på vårvintern för årets maximala snömagasin i det beräknade tillrinningsområdet under de år som simulerats. Starttillstånden karakteriseras av ett snömagasin med återkomsttiden 30 år, marken är helt mättad och vattenytan i varje anläggning är avsänkt.

Enligt riktlinjerna ska beräkningarna startas vid de vattenstånd som råder när magasinerna är avsänkta till nivåer som bedöms rimliga när vårfloden förväntas bli kraftig (SveMin, 2022). För alla sjöarna har ett medelvärde av modellberäknat vattenstånd den 7 april under perioden 1962–2022 använts (starten på beräkningarna av Metod I-flöden).

De Metod I flödet tillfällena inträffar i augusti och är inte lika beroende av startvattenstånd. Inga känslighetsanalyser för startvattenstånd har därför testats.

Orlången - Metod I-Flöde

Snöberäkningen för området gav en 30-årssnö på 98 mm för Orlången avrinningsområde och ett senaste snömaximum som inträffade 6/4.

Metod I-flödet ger följande resultat enligt Tabell 5 och Tabell 6. Beräknat högsta flödet för tillrinningen och vattenståndet blev inte samma tillfälle. Anledningen till detta kunde vara relaterad av avbördningsförhållande och magasinförhållande inlagt i modellen som antagligen ger det lite mer volym men mindre topptillrinning vid tillfället för vattenståndet.

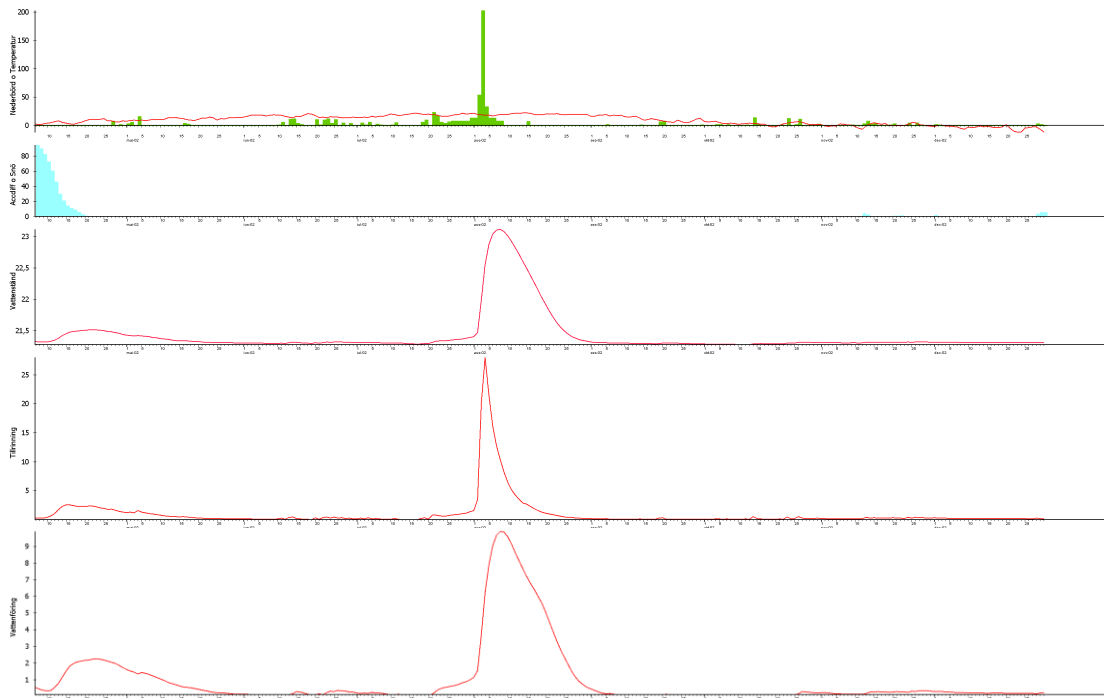
Tabell 5 Resultatet av Metod I-flödet för Orlången

Orlången		Datum
Tillrinning [m ³ /s]	28	2005.08.20
Vattenföring [m ³ /s]	10	2002.08.08
Vattenstånd [m, RH2000]	23,1	2002.08.08

Tabell 6 Tabellvärden över tillrinning, vattenföring, vattennivå och nederbörd för Orlången vid det Metod I-flödet tillfället för vattenståndet.

Dag	Nederbörd (mm)	Vattennivå (m)	Tillrinning (m ³ /s)	Vattenföring (m ³ /s)
1	8	21,4	1	1
2	8	21,4	1	1
3	8	21,4	1	1
4	8	21,4	1	1
5	8	21,4	1	1
6	13	21,4	1	1
7	13	21,4	2	1
8	53	21,5	3	2
9	198	22,0	20	4
10	33	22,6	28	6
11	13	22,9	22	8
12	13	23,0	16	9
13	8	23,1	13	10
14	8	23,1	10	10
15	8	23,1	8	10
16	1	23,0	6	10
17	1	22,9	5	9
18	1	22,8	4	9
19	0	22,7	3	8
20	0	22,6	3	8
21	0	22,5	3	7
22	0	22,4	2	7
23	0	22,3	2	6
24	0	22,2	2	6
25	0	22,0	1	6
26	0	21,9	1	5
27	0	21,8	1	4
28	2	21,7	1	4
29	0	21,6	1	3
30	0	21,6	1	3

I Figur 4 visas utvecklingen av nederbörd och temperatur tillsammans med snö, tillrinning, vattenstånd och vattenföring för Orlången vid det Metod I-flödet tillfället för vattenståndet. Snösmältningen har ingen inverkan på beräkningen av Metod I-flödet.



Figur 4 Metod I-flödet tillfälle för vattenståndet av Orlången. Det första diagrammet visar nederbörd (grön) och temperatur (röd). Det följande diagrammet visar snö (blå). De sista tre diagrammen visar vattenståndet, tillrinningen, och vattenföringen för modellberäknade värden (röd).

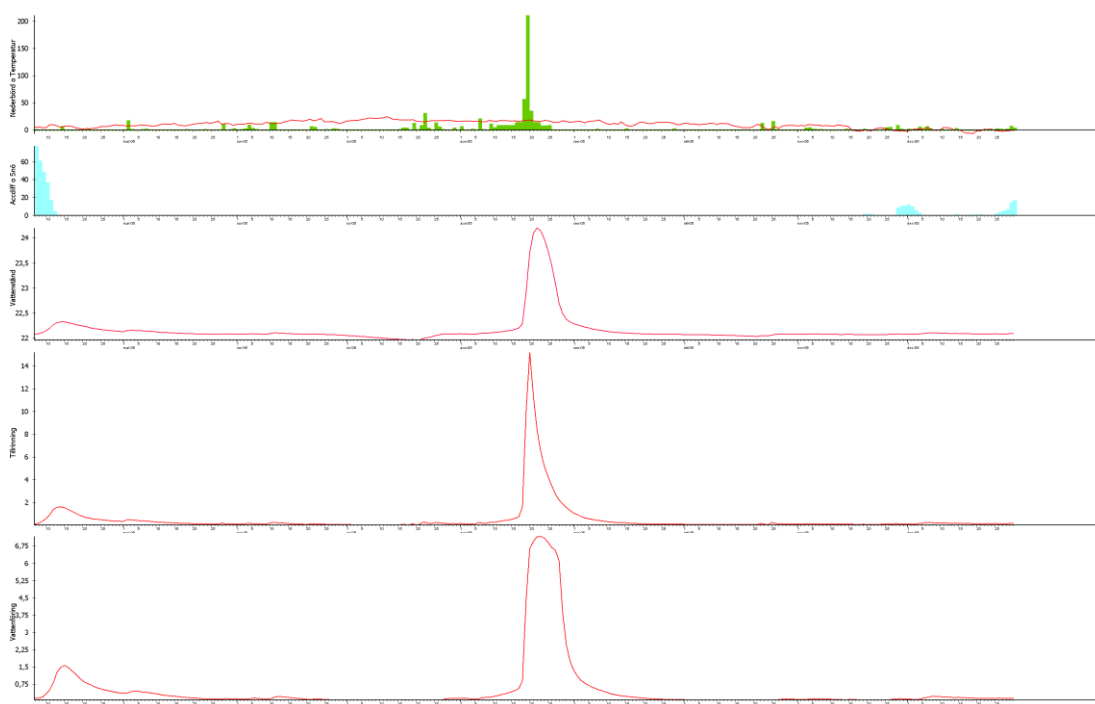
Trehörningen - Metod I-Flöde

Snöberäkningen för området gav en 30-årssnö på 88 mm för Trehörningen avrinningsområde och ett senaste snömaximum som inträffade 6/4. Metod I-flödet ger följande resultat enligt Tabell 7 och Tabell 8.

Tabell 7 Resultatet av Metod I-flödet för Trehörningen

Trehörningen		Datum
Tillrinning [m ³ /s]	15	2005.08.20
Vattenföring [m ³ /s]	7	2005.08.23
Vattenstånd [m, RH2000]	24,2	2005.08.22

I Figur 5 visas utvecklingen av nederbörd och temperatur tillsammans med snö, tillrinning, vattenstånd och vattenföring för Trehörningen. Snösmältningen har ingen inverkan på beräkningen av Metod I-flödet.



Figur 5 Metod I-flödet för Trehörningen. Det första diagrammet visar nederbörd (grön) och temperatur (röd). Det följande diagrammet visar snö (blå). De sista tre diagrammen visar vattenståndet, tillrinningen, och vattenföringen för modellberäknade värden (röd).

Tabell 8 Tabellvärden över tillrinning, vattenföring, vattennivå och nederbörd för Trehörningen vid det Metod I-flödet.

Dag	Nederbörd (mm)	Vattennivå (m)	Tillrinning (m ³ /s)	Vattenföring (m ³ /s)
1	9	22,1	0	0
2	9	22,1	0	0
3	9	22,1	0	0
4	9	22,1	0	0
5	9	22,2	0	0
6	14	22,2	1	0
7	14	22,2	1	1
8	56	22,3	2	1
9	211	22,9	10	4
10	35	23,7	15	7
11	14	24,1	11	7
12	14	24,2	8	7
13	8	24,1	6	7
14	8	24,0	5	7
15	9	23,7	4	7
16	1	23,5	3	7
17	1	23,1	3	7
18	1	22,7	2	6
19	0	22,5	2	4
20	0	22,4	2	2
21	0	22,3	1	2
22	0	22,3	1	1
23	0	22,3	1	1
24	0	22,2	1	1
25	0	22,2	1	1
26	0	22,2	1	1
27	0	22,2	1	1
28	2	22,2	0	1
29	0	22,2	0	1
30	0	22,1	0	0

Magelungen - Metod I-Flöde

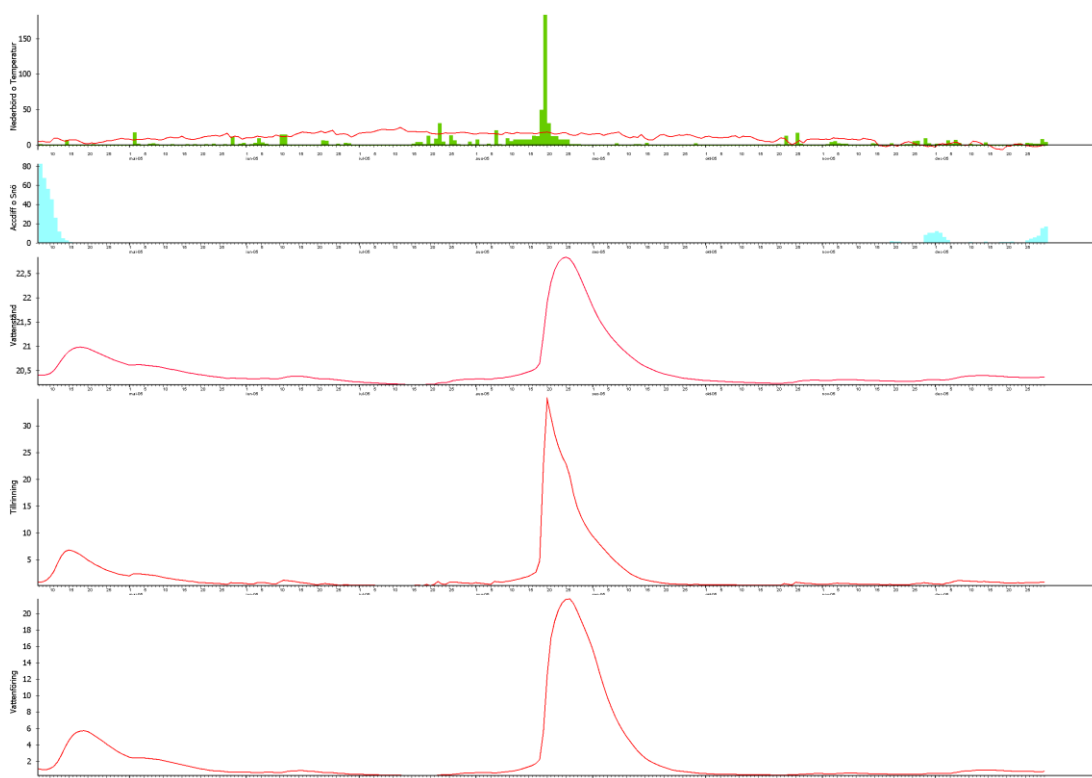
Snöberäkningen för området gav en 30-årssnö på 91 mm för Magelungen avrinningsområde och ett senaste snömaximum som inträffade 6/4.

Metod I-flödet ger följande resultat enligt Tabell 9 och Tabell 10. I Figur 6 visas utvecklingen av nederbörd och temperatur tillsammans med snö, tillrinning, vattenstånd och vattenföring för Magelungen. Snösmältningen har ingen inverkan på beräkningen av Metod I-flödet.

Motsvarande tillrinning, vattenföring och vattennivå för Orlången och Trehörningen vid det Metod I-flödet tillfället för Magelungen visas i Tabell 11 och Tabell 12 respektive.

Tabell 9 Resultatet av Metod I-flödet för Magelungen

Magelungen		Datum
Tillrinning [m ³ /s]	35	2005.08.20
Vattenföring [m ³ /s]	22	2005.08.26
Vattenstånd [m, RH2000]	22,8	2005.08.25



Figur 6 Metod I-flödet för Magelungen. Det första diagrammet visar nederbörd (grön) och temperatur (röd). Det följande diagrammet visar snö (blå). De sista tre diagrammen visar vattenståndet, tillrinningen, och vattenföringen för modellberäknade värden (röd).

Tabell 10 Tabellvärden över tillrinning, vattenföring, vattennivå och nederbörd för Magelungen vid det Metod I-flödet.

Dag	Nederbörd (mm)	Vattennivå (m)	Tillrinning (m ³ /s)	Vattenföring (m ³ /s)
1	8	20,4	1	1
2	8	20,4	1	1
3	8	20,4	2	1
4	8	20,5	2	1
5	8	20,5	2	1
6	12	20,5	2	1
7	12	20,5	3	2
8	49	20,6	5	2
9	184	21,2	23	6
10	30	21,9	35	12
11	12	22,3	32	17
12	12	22,6	28	19
13	7	22,7	26	20
14	7	22,8	24	21
15	8	22,8	23	22
16	1	22,8	21	22
17	1	22,7	17	21
18	1	22,5	15	20
19	0	22,4	13	19
20	0	22,2	12	18
21	0	22,0	10	17
22	0	21,8	9	16
23	0	21,7	9	14
24	0	21,5	8	13
25	0	21,4	7	11
26	0	21,3	6	10
27	0	21,2	5	9
28	2	21,1	5	8
29	0	21,0	4	7
30	0	20,9	4	6

Tabell 11 Tabellvärden över tillrinning, vattenföring och vattennivå för Orången vid det Metod I-flödet för Magelungen.

Dag	Vattennivå (m)	Tillrinning (m ³ /s)	Vattenföring (m ³ /s)
1	21,3	1	0
2	21,3	1	1
3	21,4	1	1
4	21,4	1	1
5	21,4	1	1
6	21,4	1	1
7	21,4	1	1
8	21,4	3	1
9	21,9	18	3
10	22,4	25	6
11	22,7	19	7
12	22,9	15	8
13	22,9	12	9
14	22,9	9	9
15	22,9	8	9
16	22,9	6	9
17	22,8	5	8
18	22,7	4	8
19	22,6	3	8
20	22,5	3	7
21	22,4	2	7
22	22,3	2	6
23	22,2	2	6
24	22,0	1	6
25	21,9	1	5
26	21,8	1	5
27	21,7	1	4
28	21,7	1	3
29	21,6	1	3
30	21,5	1	2

Tabell 12 Tabellvärden över tillrinning, vattenföring och vattennivå för Trehörningen vid det Metod I-flödet för Magelungen.

Dag	Vattennivå (m)	Tillrinning (m ³ /s)	Vattenföring (m ³ /s)
1	22,1	0	0
2	22,1	0	0
3	22,1	0	0
4	22,1	0	0
5	22,1	0	0
6	22,2	1	0
7	22,2	1	0
8	22,2	1	1
9	22,7	7	3
10	23,3	12	6
11	23,5	9	7
12	23,6	7	7
13	23,5	6	7
14	23,3	5	7
15	23,0	4	7
16	22,7	3	6
17	22,5	3	4
18	22,4	2	3
19	22,4	2	2
20	22,3	1	2
21	22,3	1	1
22	22,3	1	1
23	22,3	1	1
24	22,2	1	1
25	22,2	1	1
26	22,2	1	1
27	22,2	0	1
28	22,2	0	1
29	22,2	0	0
30	22,1	0	0

Drevviken - Metod I-Flöde

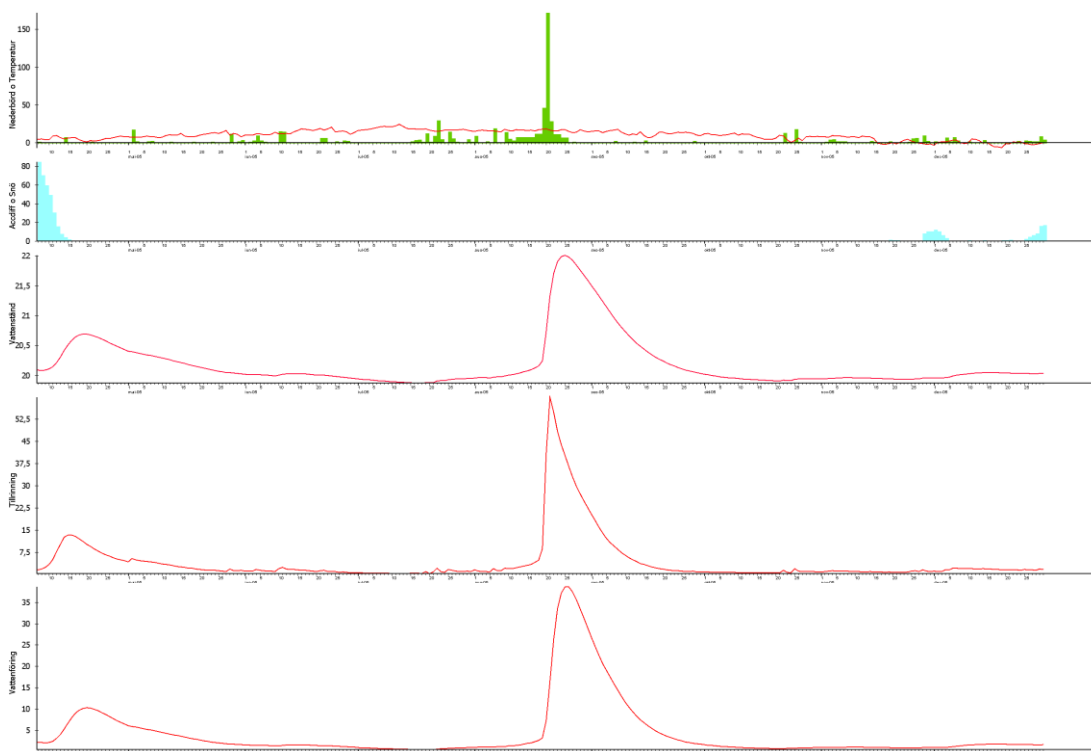
Snöberäkningen för området gav en 30-årssnö på 97 mm för Drevviken avrinningsområde och ett senaste snömaximum som inträffade 6/4.

Metod I-flödet ger följande resultat enligt Tabell 13 och Tabell 14. I Figur 7 visas utvecklingen av nederbörd och temperatur tillsammans med snö, tillrinning, vattenstånd och vattenföring för Drevviken. Snösmältningen har ingen inverkan på beräkningen av Metod I-flödet.

Motsvarande tillrinning, vattenföring och vattennivå för Orlången, Trehörningen och Magelungen vid det Metod I-flödet tillfället för Drevviken visas i Tabeller 15, 16 och 17 respektive.

Tabell 13 Resultatet av Metod I-flödet för Drevviken

Drevviken		Datum
Tillrinning [m ³ /s]	60	2005.08.21
Vattenföring [m ³ /s]	39	2005.08.26
Vattenstånd [m, RH2000]	22,0	2002.08.25



Figur 7 Metod I-flödet för Drevviken. Det första diagrammet visar nederbörd (grön) och temperatur (röd). Det följande diagrammet visar snö (blå). De sista tre diagrammen visar vattenståndet, tillrinningen, och vattenföringen för modellberäknade värden (röd).

Tabell 14 Tabellvärden över tillrinning, vattenföring, vattennivå och nederbörd för Drevviken vid det Metod I-flödet.

Dag	Nederbörd (mm)	Vattennivå (m)	Tillrinning (m ³ /s)	Vattenföring (m ³ /s)
1	7	20,0	2	1
2	7	20,0	3	2
3	7	20,1	3	2
4	7	20,1	3	2
5	7	20,1	3	2
6	12	20,1	4	2
7	12	20,2	5	3
8	46	20,2	9	3
9	172	20,7	41	7
10	28	21,3	60	16
11	11	21,7	55	26
12	11	21,9	48	34
13	7	22,0	44	37
14	7	22,0	40	39
15	1	22,0	36	39
16	1	21,9	33	37
17	1	21,8	30	36
18	0	21,8	27	34
19	0	21,7	25	31
20	0	21,6	23	29
21	0	21,5	20	27
22	0	21,4	18	25
23	0	21,3	16	23
24	0	21,2	14	21
25	0	21,1	12	19
26	0	21,1	11	18
27	2	21,0	10	16
28	0	20,9	8	14
29	0	20,8	7	13
30	0	20,7	6	12

Tabell 15 Tabellvärden över tillrinning, vattenföring och vattennivå för Ormlängen vid det Metod I-flödet för Drevviken.

Dag	Vattennivå (m)	Tillrinning (m ³ /s)	Vattenföring (m ³ /s)
1	21,3	1	1
2	21,3	1	1
3	21,4	1	1
4	21,4	1	1
5	21,4	1	1
6	21,4	1	1
7	21,4	1	1
8	21,4	3	1
9	21,9	16	3
10	22,3	22	6
11	22,6	17	7
12	22,7	14	8
13	22,8	11	8
14	22,8	9	8
15	22,8	7	8
16	22,7	6	8
17	22,6	5	8
18	22,6	4	7
19	22,5	3	7
20	22,4	3	7
21	22,3	2	6
22	22,1	2	6
23	22,0	2	6
24	21,9	1	5
25	21,8	1	5
26	21,7	1	4
27	21,6	1	3
28	21,6	1	3
29	21,5	1	2
30	21,5	1	2

Tabell 16 Tabellvärden över tillrinning, vattenföring och vattennivå för Trehörningen vid det Metod I-flödet för Drevviken.

Dag	Vattennivå (m)	Tillrinning (m ³ /s)	Vattenföring (m ³ /s)
1	22,1	0	0
2	22,1	0	0
3	22,1	0	0
4	22,1	0	0
5	22,1	0	0
6	22,2	1	0
7	22,2	1	0
8	22,2	1	1
9	22,7	7	3
10	23,1	11	6
11	23,3	8	7
12	23,3	7	7
13	23,2	5	7
14	22,9	4	7
15	22,7	3	6
16	22,6	3	4
17	22,5	2	3
18	22,4	2	2
19	22,3	2	2
20	22,3	1	2
21	22,3	1	1
22	22,3	1	1
23	22,2	1	1
24	22,2	1	1
25	22,2	1	1
26	22,2	1	1
27	22,2	0	1
28	22,2	0	1
29	22,1	0	0
30	22,1	0	0

Tabell 17 Tabellvärden över tillrinning, vattenföring och vattennivå för Magelungen vid det Metod I-flödet för Drevviken.

Dag	Vattennivå (m)	Tillrinning (m ³ /s)	Vattenföring (m ³ /s)
1	20,4	1	1
2	20,4	1	1
3	20,5	2	1
4	20,5	2	1
5	20,5	2	1
6	20,5	2	2
7	20,6	3	2
8	20,6	5	2
9	21,2	21	5
10	21,8	32	12
11	22,2	29	16
12	22,4	27	18
13	22,6	25	19
14	22,7	23	20
15	22,7	21	20
16	22,6	17	20
17	22,5	15	20
18	22,3	13	19
19	22,1	12	18
20	22,0	11	17
21	21,8	10	15
22	21,7	9	14
23	21,5	8	12
24	21,4	7	11
25	21,3	6	10
26	21,2	5	9
27	21,1	5	8
28	21,0	4	7
29	20,9	4	6
30	20,9	3	5

HQ100 och HQ200

Den kalibrerade modellen användades för beräkningen av 100-årsflöde och 200-årsflöde för tillrinning och vattenföring för alla beräkningspunkten. Flöden med en viss återkomsttid blev beräknat med frekvensanalys. Gumbel-fördelningen användes här för anpassningen till data. Resultatet av 100-årsflöde och 200-årsflöde för tillrinning och vattenföring för alla beräkningspunkter visar i Tabell 18 och Tabell 19 respektive.

Tabell 18. Beräknad höga tillrinning med en återkomsttid av 100 år (HT100) och 200 år (HT200) för beräkningspunkter i Tyresån.

Beräknings- punkter	HT00 (m³/s)	HT200 (m³/s)
Orlången	3	3
Trehörningen	1	2
Magelungen	7	7
Drevviken	13	14

Tabell 19. Beräknad höga vattenföring med en återkomsttid av 100 år (HQ100) och 200 år (HQ200) för beräkningspunkter i Tyresån.

Beräknings- punkter	HQ100 (m³/s)	HQ200 (m³/s)
Orlången	3	3
Trehörningen	1	2
Magelungen	6	7
Drevviken	11	13

Klimatanpassat HQ100 och HQ200 resultat

Förändringen i ett framtida klimat för 100-årsflöde och 200-årsflöde av vattenföring presenteras för de två framtidsperioderna 2041–2070 respektive 2071–2100 jämfört mot klimatsceniariernas referensperiod 1971–2000. I Tabell 20 och 21 anges den procentuella förändringen för beräkningspunkterna i Tyresån av höga vattenföring med en återkomsttid av 100 år enligt beräkningar med klimatsceniarierna RCP4.5 respektive RCP8.5 för perioden 2041–2070. Medianen för samtliga modeller visar ökade höga flöden hos båda RCP-scenarier: för RCP4.5 mellan 11–19% medan för RCP8.5 mellan 10–31%.

Tabell 20 Max-, median-, percentil- och minvärde för förändring i procent av HQ100 vattenföring i ett framtida klimat enligt 17 RCP4,5 scenarier från klimatsceniarietjänsten för beräkningspunkterna i Tyresån vid perioden 2041–2070.

Beräkningspunkt	Min (%)	Perc 25 (%)	Median (%)	Perc 75 (%)	Max (%)
Orlången	-20	6	11	15	52
Trehörningen	-14	8	19	39	105
Magelungen	-27	3	12	28	65
Drevviken	-22	3	16	20	55

Tabell 21 Max-, median-, percentil- och minvärde för förändring i procent av HQ100 vattenföring i ett framtida klimat enligt 17 RCP8,5 scenarier från klimatsceniarietjänsten för beräkningspunkterna i Tyresån vid perioden 2041–2070.

Beräkningspunkt	Min (%)	Perc 25 (%)	Median (%)	Perc 75 (%)	Max (%)
Orlången	-12	4	10	30	91
Trehörningen	9	24	31	40	95
Magelungen	-11	10	20	39	97
Drevviken	-9	3	13	32	72

I Tabell 22 och 23 anges den procentuella förändringen för beräkningspunkterna i Tyresån av höga vattenföring med en återkomsttid av 100 år enligt beräkningar med klimatscenerierna RCP4.5 respektive RCP8.5 för perioden 2071–2100. Samma som för den första perioden visar medianen för samtliga modeller ökade höga flöden hos båda RCP-scenarier: för RCP4.5 mellan 8–18% medan för RCP8.5 mellan 19–33%.

Tabell 22 Max-, median-, percentil- och minvärde för förändring i procent av HQ100 vattenföring i ett framtida klimat enligt 17 RCP4,5 scenarier från klimatscenerietjänsten för beräkningspunkterna i Tyresån vid perioden 2071–2100.

Beräkningspunkt	Min (%)	Perc 25 (%)	Median (%)	Perc 75 (%)	Max (%)
Orlången	-28	-2	10	24	82
Trehörningen	0	7	18	41	104
Magelungen	-16	3	8	44	95
Drevviken	-25	2	12	35	90

Tabell 23 Max-, median-, percentil- och minvärde för förändring i procent av HQ100 vattenföring i ett framtida klimat enligt 17 RCP8,5 scenarier från klimatscenerietjänsten för beräkningspunkterna i Tyresån vid perioden 2071–2100.

Beräkningspunkt	Min (%)	Perc 25 (%)	Median (%)	Perc 75 (%)	Max (%)
Orlången	-14	1	21	37	79
Trehörningen	-4	27	33	72	115
Magelungen	-19	19	24	62	83
Drevviken	-13	9	19	46	80

I Tabell 24 och 25 anges den procentuella förändringen för beräkningspunkterna i Tyresån av höga vattenföring med en återkomsttid av 200 år enligt beräkningar med klimatscenerierna RCP4.5 respektive RCP8.5 för perioden 2041–2070. Medianen för samtliga modeller visar ökade höga flöden hos båda RCP-scenarier: för RCP4.5 mellan 11–19% medan för RCP8.5 mellan 11–32%.

Tabell 24 Max-, median-, percentil- och minvärde för förändring i procent av HQ200 vattenföring i ett framtida klimat enligt 17 RCP4,5 scenarier från klimatscenerietjänsten för beräkningspunkterna i Tyresån vid perioden 2041–2070.

Beräkningspunkt	Min (%)	Perc 25 (%)	Median (%)	Perc 75 (%)	Max (%)
Orlången	-21	6	11	15	55
Trehörningen	-15	8	19	41	114
Magelungen	-29	3	12	29	70
Drevviken	-23	4	15	21	57

Tabell 25 Max-, median-, percentil- och minvärde för förändring i procent av HQ200 vattenföring i ett framtida klimat enligt 17 RCP8,5 scenarier från klimatscenerietjänsten för beräkningspunkterna i Tyresån vid perioden 2041–2070.

Beräkningspunkt	Min (%)	Perc 25 (%)	Median (%)	Perc 75 (%)	Max (%)
Orlången	-13	3	11	32	97
Trehörningen	8	25	32	42	103
Magelungen	-11	10	20	41	103
Drevviken	-9	3	14	34	76

I Tabell 26 och 27 anges den procentuella förändringen för beräkningspunkterna i Tyresån av höga vattenföring med en återkomsttid av 200 år enligt beräkningar med klimatscenerierna RCP4.5 respektive RCP8.5 för perioden 2071-2100. Samma som för den första perioden visar medianen för samtliga modeller ökade höga flöden hos båda RCP-scenarier: för RCP4.5 mellan 8–19% medan för RCP8.5 mellan 19–34%.

Tabell 26 Max-, median-, percentil- och minvärde för förändring i procent av HQ200 vattenföring i ett framtida klimat enligt 17 RCP4,5 scenarier från klimatscenerietjänsten för beräkningspunkterna i Tyresån vid perioden 2071–2100.

Beräkningspunkt	Min (%)	Perc 25 (%)	Median (%)	Perc 75 (%)	Max (%)
Orlången	-29	-3	10	26	86
Trehörningen	-1	7	19	44	110
Magelungen	-17	4	8	46	99
Drevviken	-26	3	13	36	95

Tabell 27 Max-, median-, percentil- och minvärde för förändring i procent av HQ200 vattenföring i ett framtida klimat enligt 17 RCP8,5 scenarier från klimatscenerietjänsten för beräkningspunkterna i Tyresån vid perioden 2071–2100.

Beräkningspunkt	Min (%)	Perc 25 (%)	Median (%)	Perc 75 (%)	Max (%)
Orlången	-15	1	23	39	84
Trehörningen	-5	27	34	75	123
Magelungen	-20	19	25	65	88
Drevviken	-13	10	19	49	84

Referenser

- Berg, P., Bosshard, T., Yang, W., & Zimmermann, K. (2021). MIDAS version 0.1 - framtagande och utvärdering av ett nytt verktyg för biasjustering, KLIMATOLOGI, 63, SMHI.
- Berg, P., Bosshard, T., Yang, W., & Zimmermann, K. (2022). MIDASv0.2.1 – Multi-scale bias Adjustment. *Geoscientific Model Development*, 15(15), 6165-6180, doi: 10.5194/gmd-15-6165-2022
- Bergström, S. (1995) The HBV Model, In, Singh, V,P, (ed.), *Computer Models of Watershed Hydrology*, Water Resources publications, Highlands Ranch, Colorado, pp, 443-476.
- Bergström, S., Hellström, S-S., Lindström, G, och Wern, L, (2008), “Follow-up of the Swedish guidelines for the determination of design floods for dams”, Svenska Kraftnät Report No:2008 BE90.
- Johansson, B. (2000) Areal precipitation and temperature in the Swedish mountains, An evaluation from a hydrological perspective, *Nordic Hydrology*, 31, 207-228.
- Johansson, B, and Chen, D, (2003) The influence of wind and topography on precipitation distribution in Sweden: Statistical analysis and modelling, *International Journal of Climatology*, 23, 1523-1535.
- Johansson, B, and Chen, D, (2005) Estimation of areal precipitation for runoff modelling using wind data: a case study in Sweden, *Climate Research*, 29, 53-61.
- Lindström, G., Johansson, B., Persson, M., Gardelin, M, and Bergström, S, (1997), Development and test of the distributed HBV-96 model, *Journal of Hydrology* 201, 272-288.
- Lindström, G., Pers, C., Rosberg, J., Strömqvist, J. & Arheimer, B. (2010). Development and testing of the HYPE (Hydrological Predictions for the Environment) water quality model for different spatial scales. *Hydrology Research* 41.3–4, 295-319.
- Nash, J,E, och Sutcliffe (1970), River flow forecasting through conceptual models, Part I: A discussion of principles, *Journal of Hydrology*, 10, 282-290.
- Reynolds, E., Gustafsson, D. och Clemenzi, I (2021). Spring Flood Predictions with HBV and HYPE. *Elforsk-rapport 2021:777*. Tillgänglig: <https://energiforsk.se/program/hydrologiskt-utvecklingsarbete/rapporter/spring-flood-predictions-with-hbv-and-hype-2021-777/>
- SMHI (2022) Fördjupad klimatscenariotjänst. <https://www.smhi.se/klimat/framtidens-klimat/fordjupade-klimatscenarioer>
- Svensk Energi, Svenska Kraftnät och SveMin (2022), Riktlinjer för bestämning av dimensionerande flöden för dammanläggningar – Nyutgåva 2022.

BILAGA 1.

Tabeller om avbördningskurvor.

Tabell 1 Avbördningskurva för Orlången.

W (m)	Q (m ³ /s)	W (m)	Q (m ³ /s)
20	0	22,7701	8,1091
21	0	22,8139	8,3117
21,3043	0,1158	22,8662	8,5599
21,3189	0,3142	22,9442	8,9761
21,3492	0,6458	22,985	9,2042
21,3799	0,9688	23,0237	9,4211
21,4106	1,292	23,0877	9,7699
21,441	1,6068	23,1599	10,174
21,4711	1,9057	23,18	10,2878
21,5005	2,1334	23,2302	10,5642
21,5425	2,4339	23,2816	10,8381
21,609	2,8915	23,3793	11,3494
21,7083	3,5246	23,4068	11,4914
21,8	4,073	23,4986	11,9334
21,8539	4,3829	23,5901	12,345
21,9256	4,782	23,6282	12,4968
22,0399	5,3706	23,7004	12,8156
22,0934	5,6058	23,7318	12,9659
22,162	5,8421	23,7425	13,0161
22,2757	6,2422	23,8013	13,2941
22,3222	6,3854	23,8112	13,3406
22,4114	6,6677	23,8296	13,4262
22,4684	6,8616	23,8365	13,4582
22,5766	7,2864	23,8438	13,4917
22,677	7,6977	23,8479	13,5107

Tabell 2 Avbördningskurva för Trehörningen.

W (m)	Q (m ³ /s)	W (m)	Q (m ³ /s)
21	0	23,3011	6,5173
21,0941	0	23,3077	6,5173
22,0712	0,0729	23,3143	6,5176
22,2465	0,8381	23,321	6,5183
22,6377	4,3689	23,3309	6,5215
22,8712	6,1764	23,344	6,5292
22,9854	6,9493	23,3536	6,5344
22,9862	6,9524	23,4686	6,5959
22,9869	6,9553	23,5175	6,6283
22,9876	6,9579	23,6449	6,7243
22,9882	6,9603	23,7187	6,7835
22,9889	6,9625	23,7644	6,8144
22,9896	6,9646	23,7846	6,828
22,9902	6,9665	23,8103	6,8465
22,9908	6,9682	23,8303	6,8615
22,9955	6,9777	23,8528	6,9085
22,9978	6,9793	23,8822	6,9506
23,0046	6,9693	23,9401	7,0039
23,0271	6,8844	23,9558	7,017
23,0501	6,8358	24,0196	7,0628
23,1377	6,6095	25,35	8
23,2383	6,5291		
23,2547	6,5234		
23,2612	6,5216		
23,2679	6,5202		
23,2745	6,519		
23,2811	6,5181		
23,2878	6,5175		
23,2944	6,5172		

Tabell 3 Avbördningskurva för Magelungen.

W (m)	Q (m ³ /s)	W (m)	Q (m ³ /s)
20	0	23,2963	23,2963
20,1076	0,0151	23,3512	23,3512
20,1124	0,0246	23,3841	23,3841
20,1314	0,0601	23,4144	23,4144
20,2903	0,4201	23,4559	23,4559
20,4024	0,9191	23,4844	23,4844
20,6226	2,3985	23,5189	23,5189
20,983	5,7099	23,5399	23,5399
21,2695	8,8424	23,5595	23,5595
21,5177	11,7125	23,5779	23,5779
21,6264	12,945	23,5952	23,5952
21,8205	14,9594	23,6114	23,6114
21,9936	16,2528	23,6337	23,6337
22,254	17,8631	23,6506	23,6506
22,4435	19,0287	23,669	23,669
22,6594	20,4778	23,6853	23,6853
22,7533	21,2218	23,7	23,7
22,8393	21,9197	23,7249	23,7249
22,9168	22,7492	23,7449	23,7449
22,9872	23,4908	23,7597	23,7597
23,0513	24,1783	23,777	23,777
23,1096	24,8296	23,7957	23,7957
23,1627	25,4268	23,8069	23,8069
23,2112	25,9576	23,8144	23,8144
23,2556	26,4402		

Tabell 4 Avbördningskurva för Drevviken.

W (m)	Q (m ³ /s)	W (m)	Q (m ³ /s)
19	0	21,9251	36,6357
19,7	0	21,9586	37,5345
19,7758	0,0229	21,9893	38,3647
19,7905	0,0794	22,0246	39,3167
19,8495	0,3347	22,0497	40,2997
19,9094	0,6566	22,076	41,5146
19,9705	1,0852	22,0981	42,5486
20,0965	2,1543	22,1135	43,2717
20,259	3,9319	22,1304	44,0739
20,4898	7,0308	22,1424	44,6487
20,604	8,8379	22,1559	45,2989
20,7162	10,664	22,168	45,8896
20,8717	13,3503	22,1892	46,9283
21,0194	16,037	22,1985	47,387
21,1587	18,4664	22,2086	47,8916
21,2897	20,5888	22,2194	48,4261
21,3864	22,6959	22,2437	49,6446
21,4736	24,843	22,2581	50,3739
21,5519	26,825	22,2808	51,5219
21,622	28,6383	22,3077	52,9037
21,6847	30,2699	22,3148	53,2743
21,741	31,7419	22,3234	53,718
21,7916	33,0728	22,3377	54,4643
21,8373	34,293	22,3403	54,5986
21,8884	35,656	22,3456	54,8761

BILAGA 2.

Tabeller om magasinskurvor.

Tabell 1 Magasinskurva för Orlången.

W (m)	Area (km ²)
0,0	2,58
21,1	2,58
21,7	2,6117
21,8	2,6888
21,9	2,9404
22,0	3,0918
22,1	3,1842
22,2	3,2452
22,3	3,3605
22,4	3,4348
22,5	3,5817
22,6	3,6437
22,7	3,6884
22,8	3,7507
22,9	3,8127
23,0	3,86
23,1	3,9091
23,2	3,9457
23,3	3,9918
23,4	4,0409
23,5	4,0853
23,6	4,1276
23,7	4,165
23,8	4,2089
23,9	4,2443
24	4,2851

Tabell 2 Magasinskurva för Trehörningen.

W (m)	Area (km²)
0,0	0,6157
22,05	0,6157
22,15	0,6346
22,25	0,6542
22,35	0,71
22,45	0,7407
22,55	0,7698
22,65	0,7928
22,75	0,8123
22,85	0,8316
22,95	0,8662
23,05	0,8893
23,15	0,9023
23,25	0,9167
23,35	0,9313
23,45	0,9428
23,55	0,9561
23,65	0,9653
23,75	0,9762
23,85	0,9881
23,95	0,9965
24,05	1,006
24,5	1,04

Tabell 3 Magasinskurva för Magelungen.

W (m)	Area (km ²)	W (m)	Area (km ²)
0,0	2,1197	23,0	3,2811
20,5	2,1197	23,1	3,3074
20,6	2,1753	23,2	3,3293
20,7	2,3101	23,3	3,3564
20,8	2,4451	23,4	3,3796
20,9	2,5286	23,5	3,4056
21,0	2,5839	23,6	3,4336
21,1	2,6297	23,7	3,4563
21,2	2,6575	23,8	3,4867
21,3	2,7493	23,9	3,5093
21,4	2,8028	24,0	3,5342
21,5	2,8408		
21,6	2,9177		
21,7	2,9491		
21,8	2,9754		
21,9	3,0054		
22,0	3,0309		
22,1	3,0596		
22,2	3,081		
22,3	3,1079		
22,4	3,1276		
22,5	3,1498		
22,6	3,1741		
22,7	3,1937		
22,8	3,217		
22,9	3,257		

Tabell 4 Magasinskurva för Drevviken.

W (m)	Area (km ²)	W (m)	Area (km ²)
0,0	5,4188	22,4	6,9551
19,9	5,4188	22,5	7,0037
20,0	5,5176	22,6	7,073
20,1	5,6715	22,7	7,1167
20,2	5,7576	22,8	7,1779
20,3	5,8155	22,9	7,2256
20,4	5,8701	23,0	7,2927
20,5	5,9268	23,1	7,3556
20,6	5,9733	23,2	7,4412
20,7	6,0261	23,3	7,5069
20,8	6,0708	23,4	7,5581
20,9	6,1615	23,5	7,7935
21,0	6,2147	23,6	7,8723
21,1	6,2696	23,7	7,9267
21,2	6,3136	23,8	8,001
21,3	6,3717	23,9	8,0541
21,4	6,4142	24,0	8,1172
21,5	6,4793		
21,6	6,5305		
21,7	6,5745		
21,8	6,6302		
21,9	6,6759		
22,0	6,7265		
22,1	6,79		
22,2	6,8512		
22,3	6,9115		