

Hållbar vattenförsörjning med konstgjord grundvatteninfiltration

Online 29 November 2023

Program

Introduktion: Klustergruppen om Grundvatten - **Alice Jaraiseh**, Stockholm International Water Institute

Presentationer:

- Konstgjord grundvattenbildning och infiltrationsförsök vid Uppsala Vatten – **Eric Beal**, Uppsala Vatten
- Spårämnesförsök och infiltrationsförsök i Umeälvsåsen – en metodjämförelse – **Oskar Sjöberg**, Ramboll
- Bergkross som alternativ till natursand – **Britt-Marie Pott & Kristofer Hägg**, Sydsvatten

Kort paus

- Övervakning av infiltrationsdammar med geoelektrisk tomografi – **Torleif Dahlin**, LTH
- Erfarenheter från 10-års undersökningar av Uppsalas konstgjorda infiltration – **Philip McCleaf**, Uppsala Vatten
- Konstgjord grundvattenbildning för ökad leveranssäkerhet i Botswana – **Andreas Lindhe**, Chalmers

Diskussion och publikfrågor

Moderator: Alice Jaraiseh, SIWI

Ställ frågor i Q&A-funktionen!



Chat



Q&A



People



Raise



React



Alice Jaraiseh,
Programme Manager,
Stockholm International
Water Institute



Eric Beal,
Utredningsingenjör,
Uppsala Vatten



Oskar Sjöberg,
Hydrogeolog, Ramboll



Britt-Marie Pott,
Processingenjör,
Sydvatten



Kristofer Hägg,
Forskningsledare,
Sydvatten



Torleif Dahlin, Professor,
Lunds tekniska högskola



Philip McCleaf,
Gruppchef, Uppsala
Vatten



Andreas Lindhe,
Senior Forskare,
Chalmers

SIWI Swedish Water House

- Fristående platform verksam sedan 2003
- Del av Stockholm International Water Institute
- Skapar mötesplatser för dialog, samarbete och kunskapsutbyte
- Överbrygger klyftan mellan vetenskap, beslutsfattande och implementering

Anmäl dig till nyhetsbrevet med QR-koden:



Groundwater

The groundwater multi-stakeholder group focuses on how to make the invisible more visible, which is crucial for sustainable water provision and for resilient ecosystems in facing climate change adaptation and mitigation.



In March 2022, on World Water Day, Swedish Water House established a multi-stakeholder group on Groundwater, aimed at fostering dialogue and sharing of knowledge among actors from various sectors of society. Swedish Water House, under Stockholm International Water Institute (SIWI), has facilitated approximately 20 such collaborations since 2003, many of which have served as an incubator for larger, international initiatives.

Klustergruppen om grundvatten

- Lanserades Världsvattendagen 2022
- Synliggöra grundvatten
- Syfte: Höja medvetenheten och kunskapen kring grundvatten
- Medlemmar: Myndigheter, kommuner, privat sektor, akademien, intressegrupper

Tidigare seminarier

- [Världsvattendagen 2022 - Gör det osynliga synligt: Vårt livsviktiga grundvatten](#)
- [Enskilt vatten: Utmaningar och möjligheter med egen brunn](#)
- [Vad vet vi idag om grundvattenbildning i Sverige?](#)
- [Kvalitet och mineralinnehåll i grundvatten](#)
- [Mapping and protection of groundwater – Experiences and ways ahead](#)

Uppsala Vatten

KONSTGJORD GRUNDVATTENBILDNING I UPPSALAS KOMMUNALA VATTENFÖRSÖRJNING

ERIC BEAL



217 000

personer får dagligen
sitt vatten från oss.

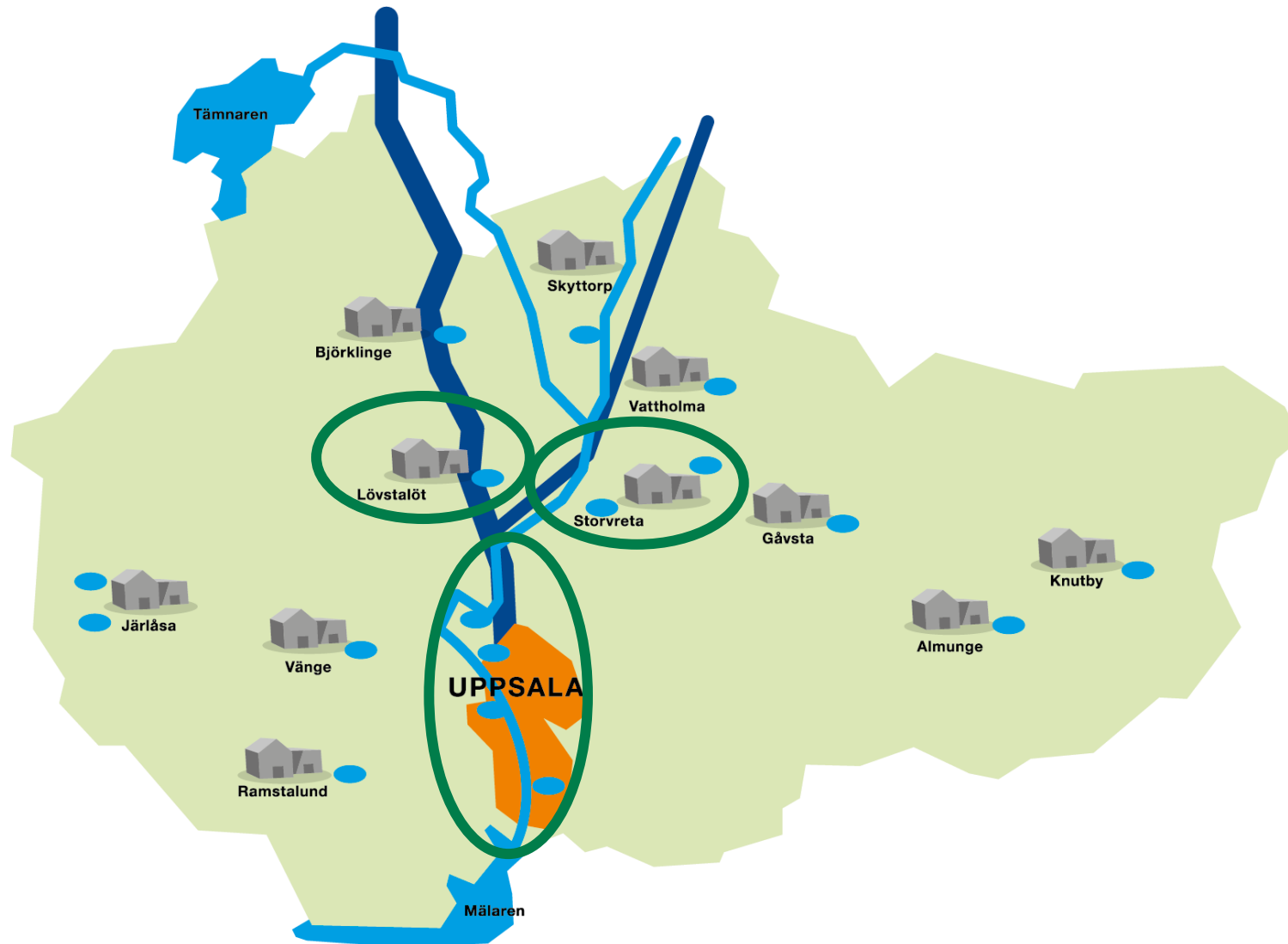
132

liter vatten per
person och dygn är
förbrukningen i
Uppsala kommun.

Ca 19

miljoner kubikmeter
vatten producerades i
Uppsala kommun
under 2022.

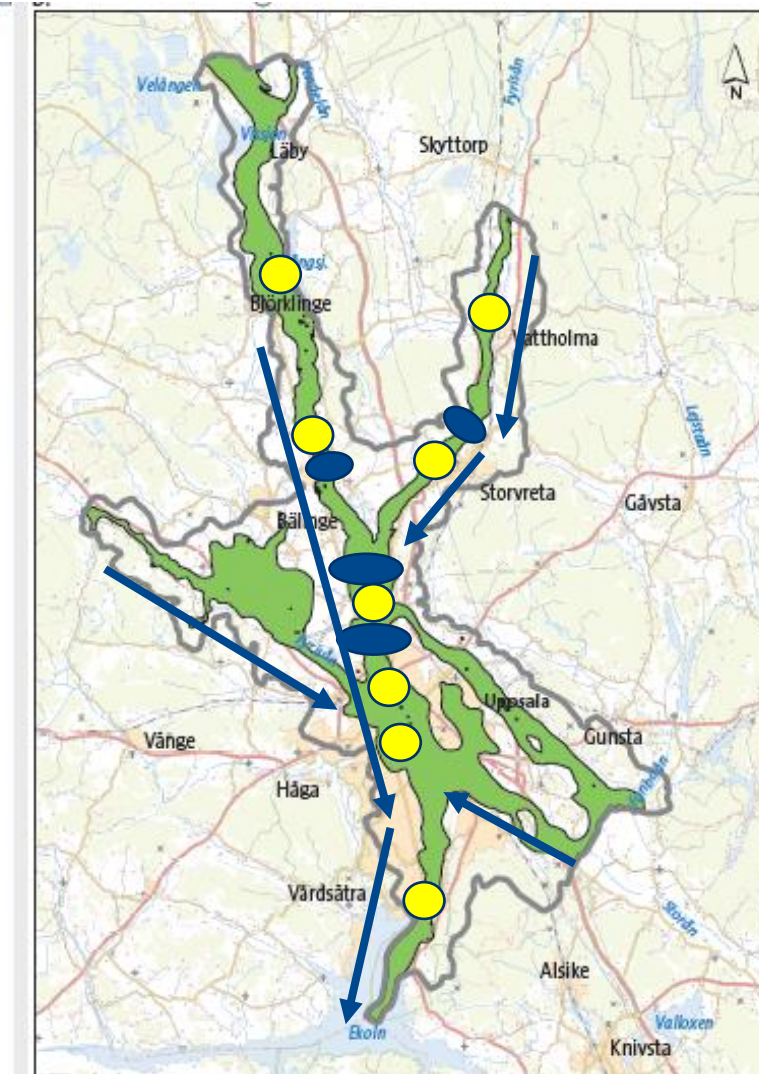
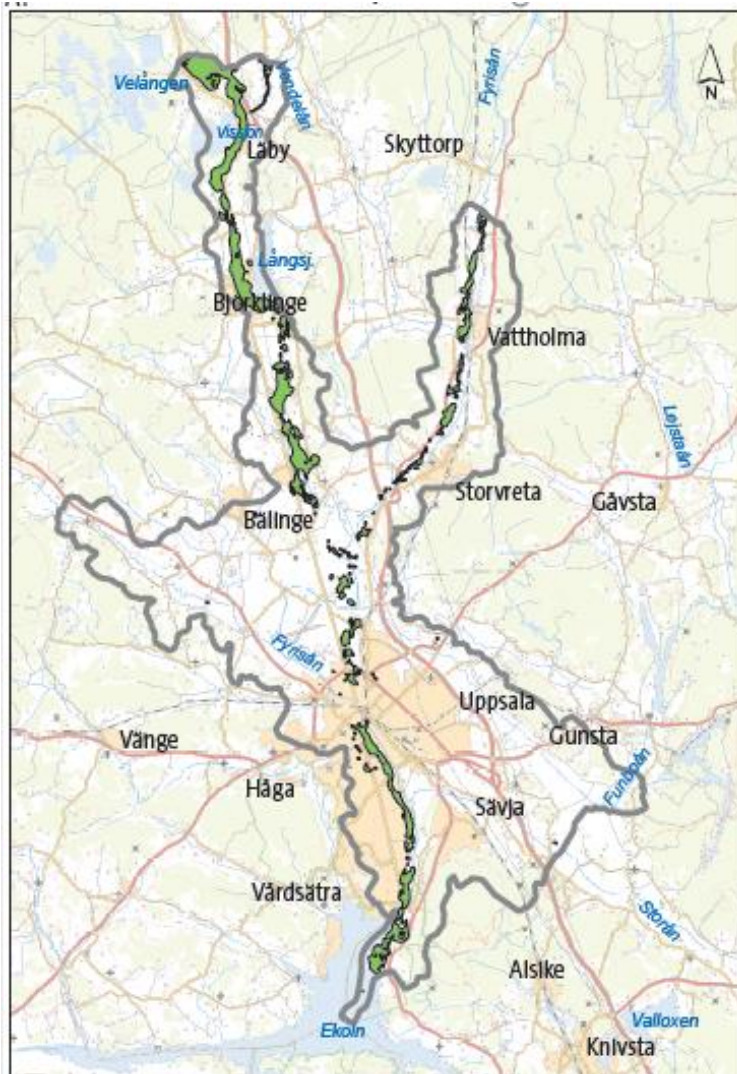
Kommunala dricksvattentäkter



Vattentäkter förstärks med konstgjord infiltration för tre samhällen:

- Lövstalöt-Bälinge
- Storvreta
- Uppsala Stad

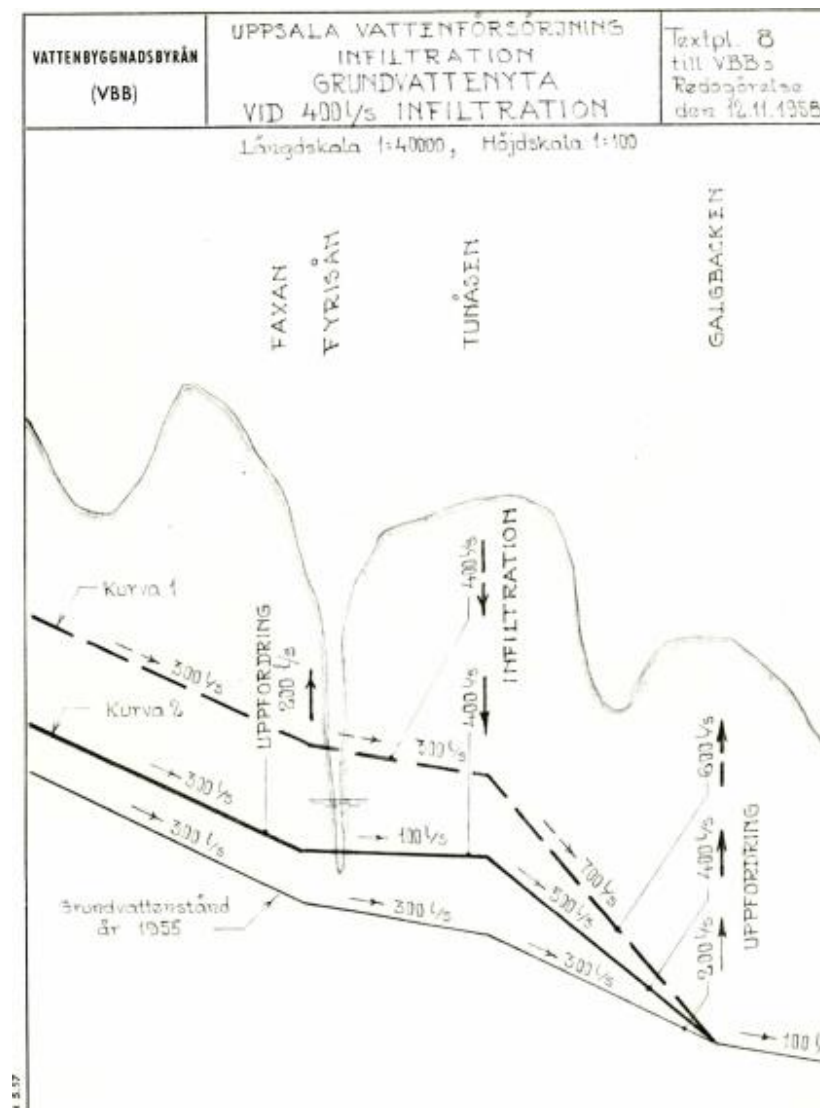
Dricksvattentäkter i Uppsala-/Vattholmaåsen



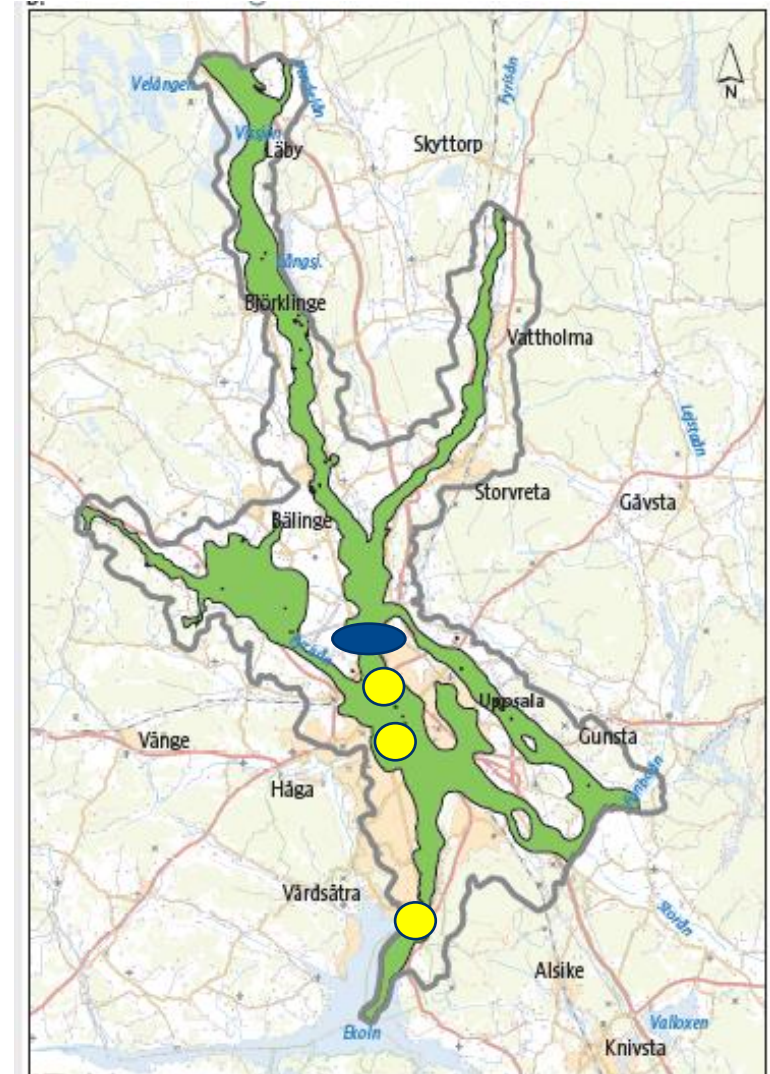
- Vattentäkter
- Infiltrations anläggning
- ➔ Grundvattnets strömningsriktning

Första infiltrationsanläggning vid Tunåsen

- 300 l/s naturlig grundvattenbildning överskreds
- Infiltration av vatten från Fyrisån för att öka vattentillgången till stadens huvudvattentäkt
- Infiltrationsförsök utförs vid Tunåsen och därefter tillstånd för anläggningen och grundvatten uttag



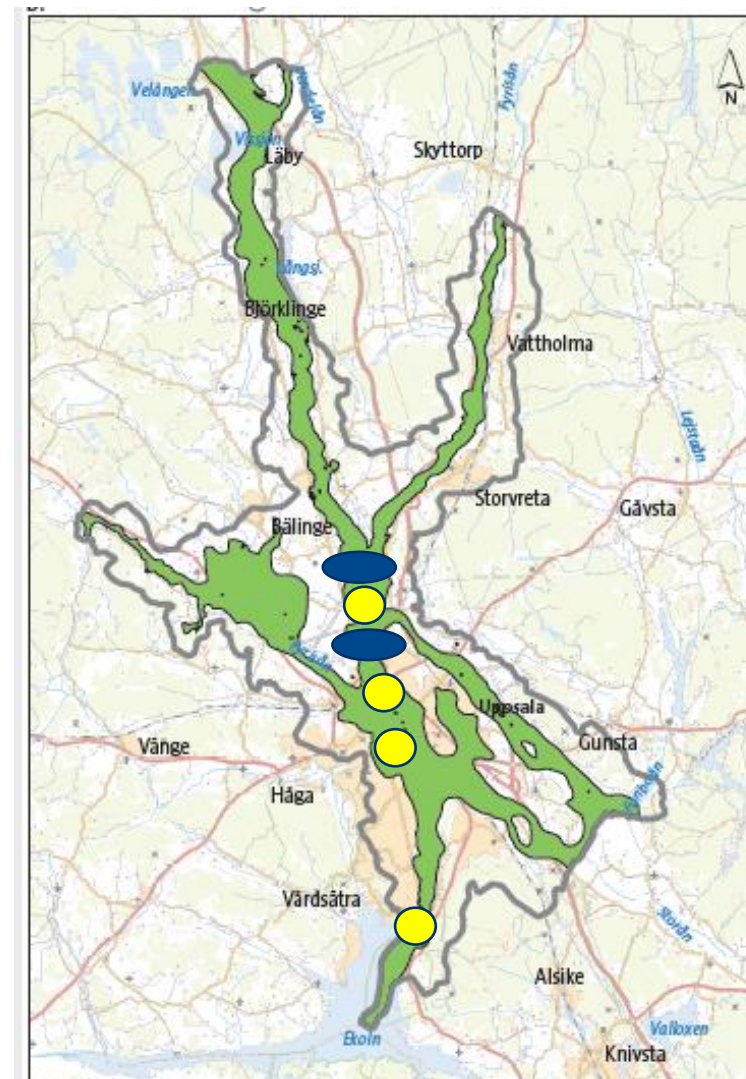
Första infiltrationsanläggning vid Tunåsen



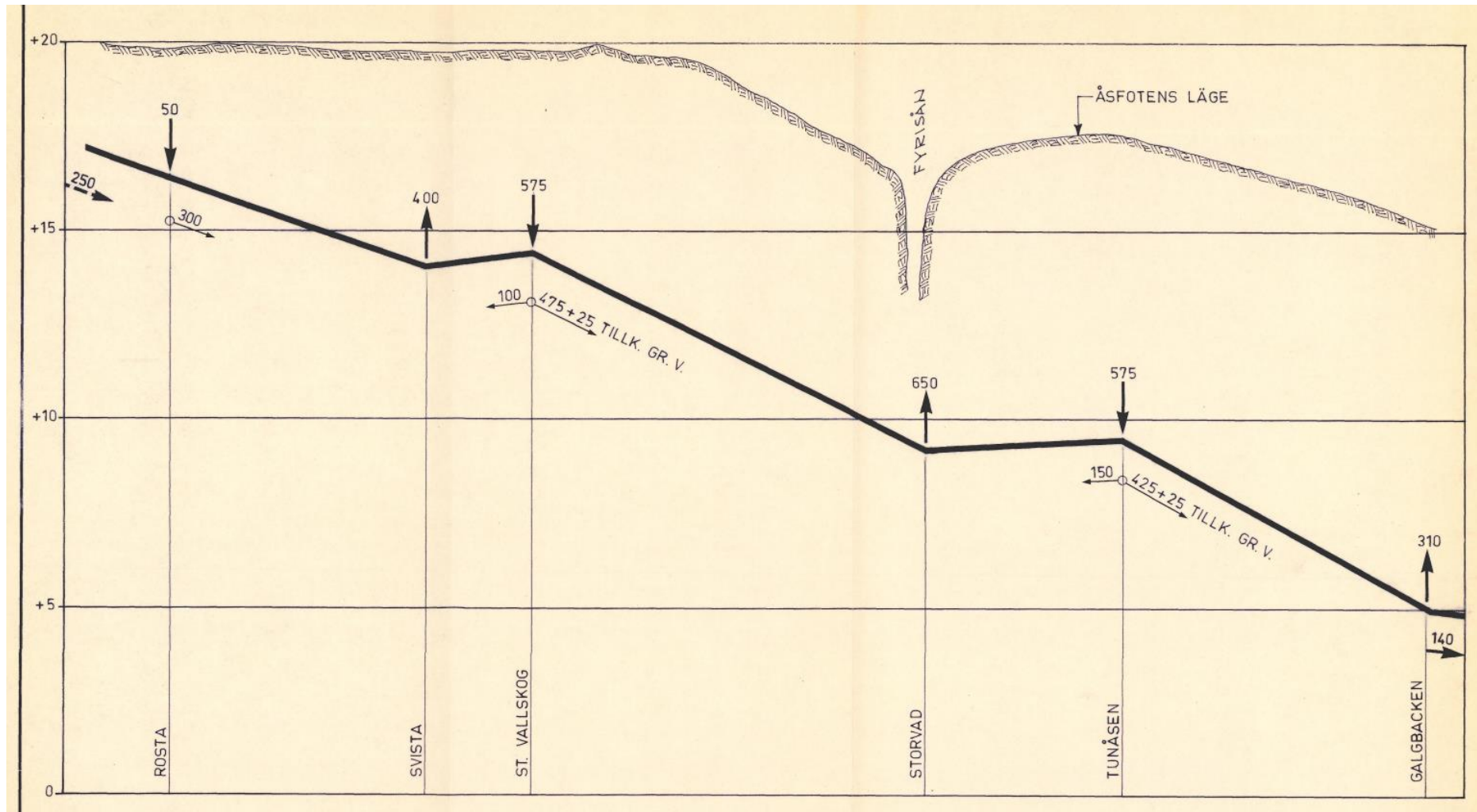
Vidare utbyggnation: 1970-1980

Ökad vattenbehov och framtidsprognos kräver utökad råvattentillgång. Detta ska lösas med:

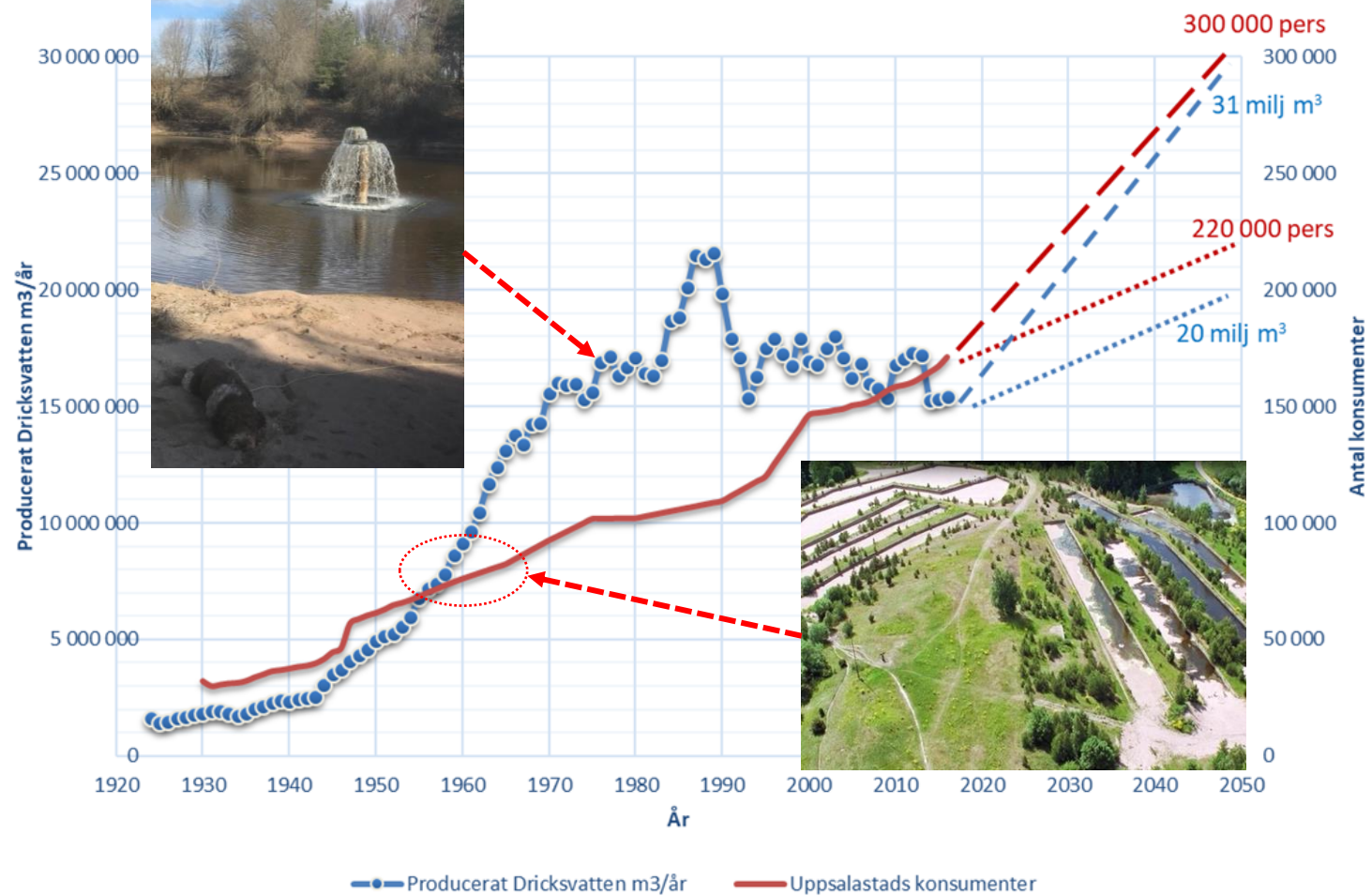
- En ny vattentäkt (Storvad) etableras norr om befintlig infiltrationsanläggning vid Tunåsen
- En ny infiltrationsanläggning vid Vallskog
- *Nya brunnsområden norr om Vallskog planeras (Svista och Fullerö)*
- *Ny infiltrationsanläggning vid Rosta norr om Svista*



Vidare utbyggnation: 1970-1980



Uppsalastad producerat dricksvatten m³/år och antal konsumenter 1924-2017



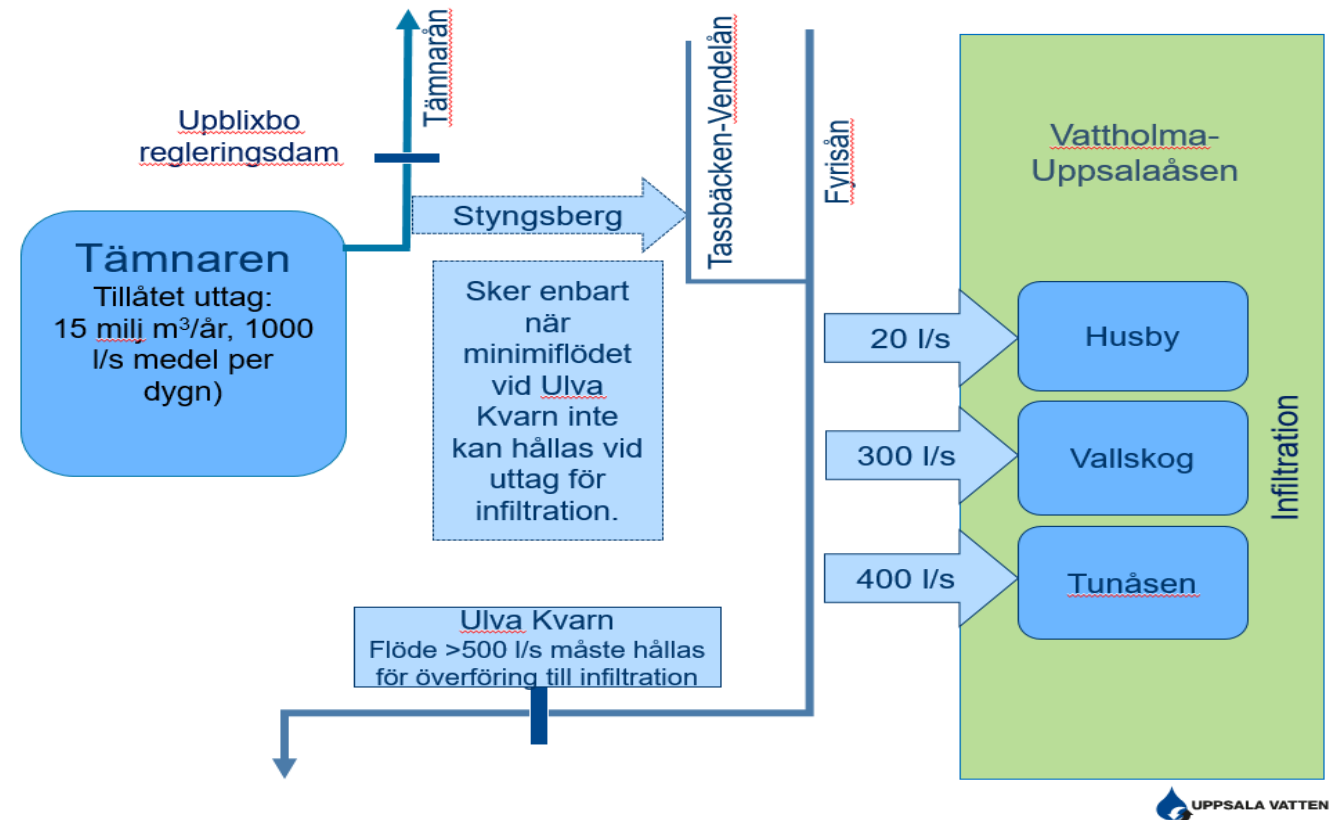
Ytvatten till infiltration

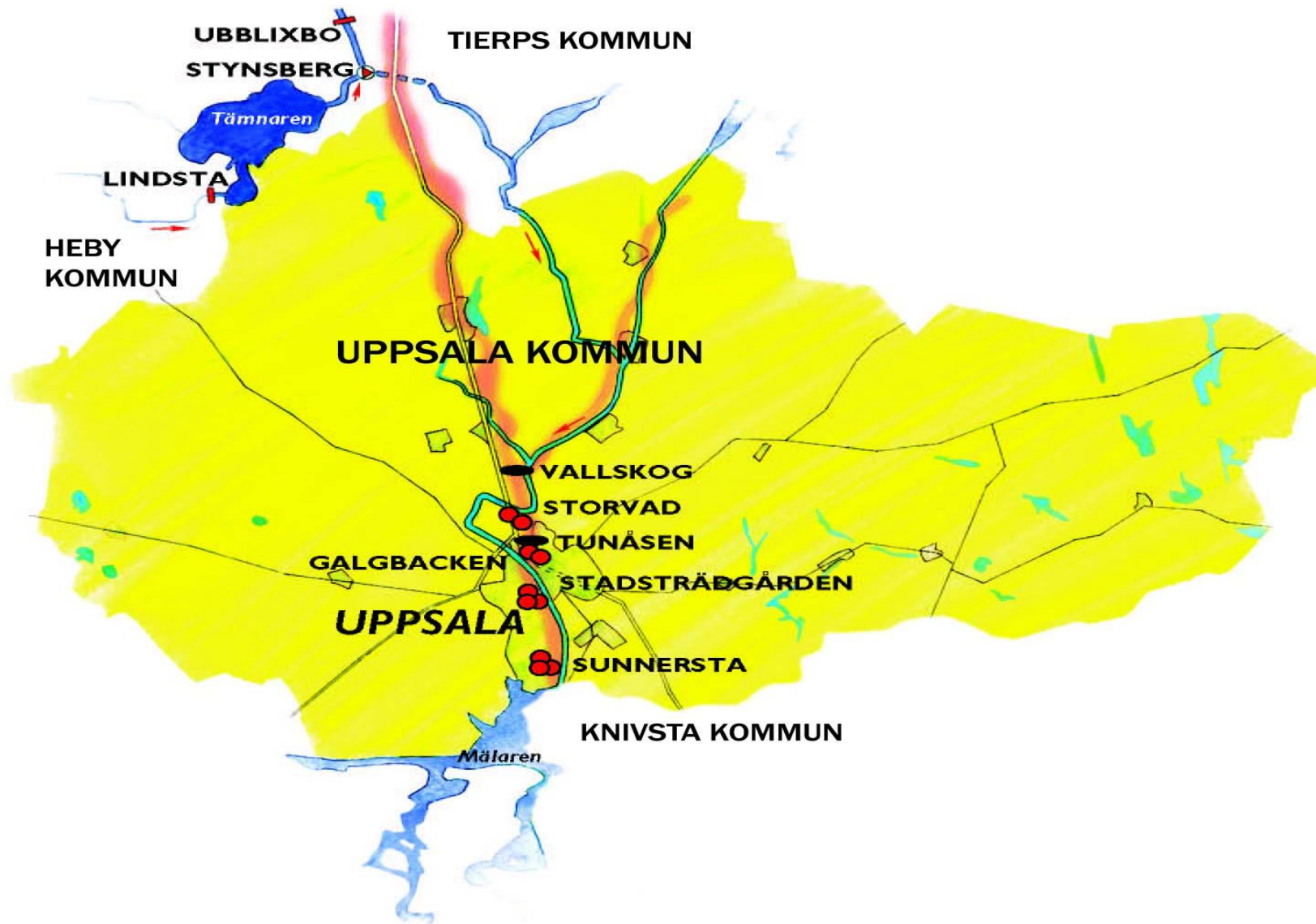
- Infiltrationsvatten tas från Fyrisån
- Vid låga flöden (sommartid) förstärks vattenföringen med överföring från sjön Tämnnaren

Förbehandling:

Tunåsen: snabbfilter

Vallskog: mikrosil





Vattenkvalitet och förbehandling

- Infiltrationsbassängerna består av långsamfilter byggda på isälvsmaterial.
- Rening av infiltrationsvatten (förbehandling) görs vid anläggningarna Vallskog (mikrosil) och Tunåsen (snabbfilter) i Uppsala stad.
- Dagens förbehandling avser att reducera suspenderat material i infiltrationsvatten för att förebygga igensättning av infiltrationsbassängerna.
- Vattenkvalitet i Fyrisån är inte optimal utifrån DOC-halt (15-20 mg/l). Avskiljning av DOC sker i infiltrationsbassängerna och i åsen, men över tid har halterna stigit i brunnarna nedströms (>6 mg/l)
- Andra föroreningar i infiltrationsvatten kan förekomma (PFAS, bekämpningsmedel) och uppmärksammas mer på senare tid.
- Nya förbehandlingssteg behövs i framtiden för att förbättra vattenkvalitet.
- Ny källa för infiltrationsvatten kan behövas utifrån kvantitet och kvalitet.

Drift-hur mycket ska infiltreras?

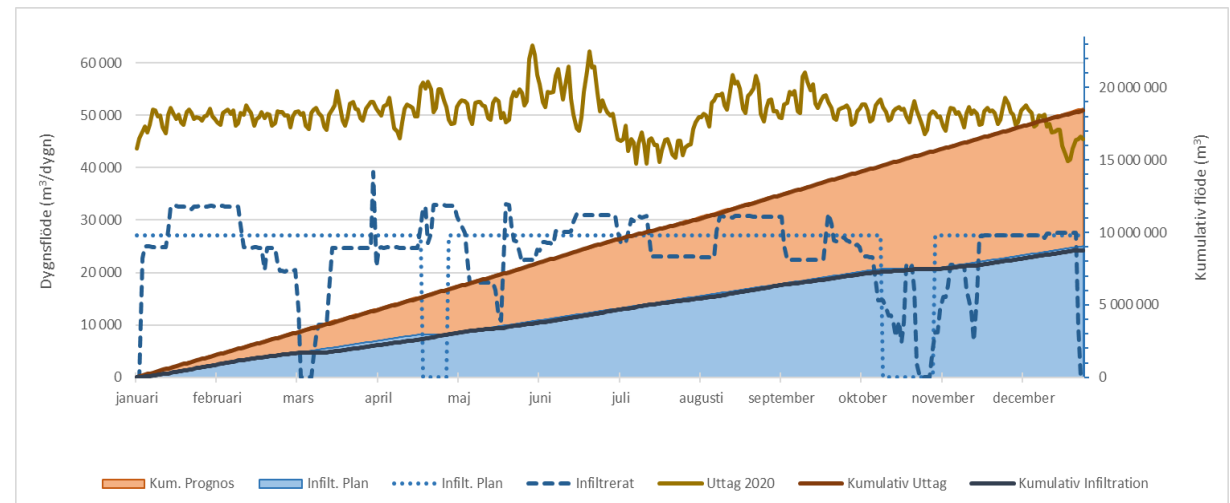
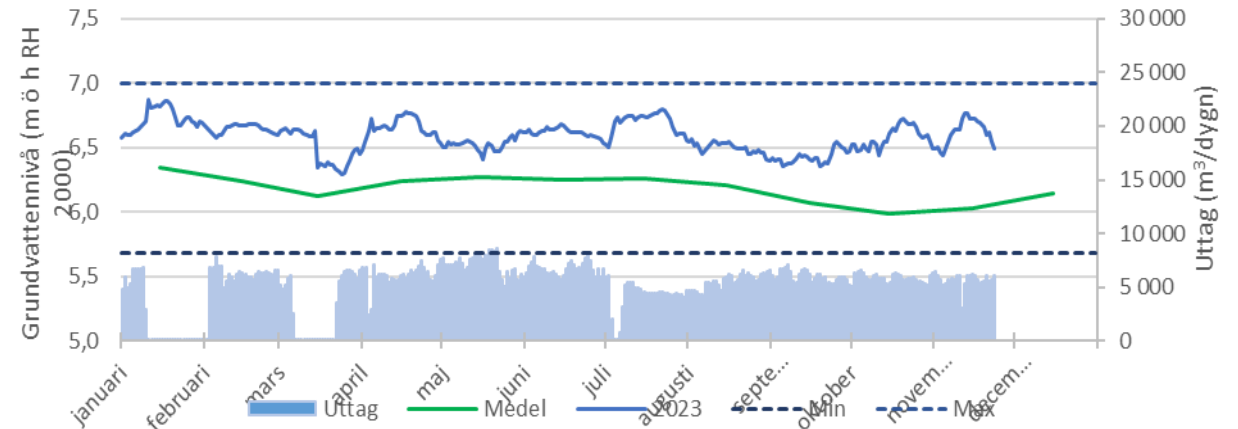
Grundvattennivåer regleras inom nivå-intervaller för att förhindra eventuella skador som sättningar

Att styra utifrån vattenbalans: Hur mycket behöver vi infiltrera på ett år?

- Hur mycket vatten behöver vi ta från vattentäkterna?
- Vad är den naturliga grundvattenbildningen?

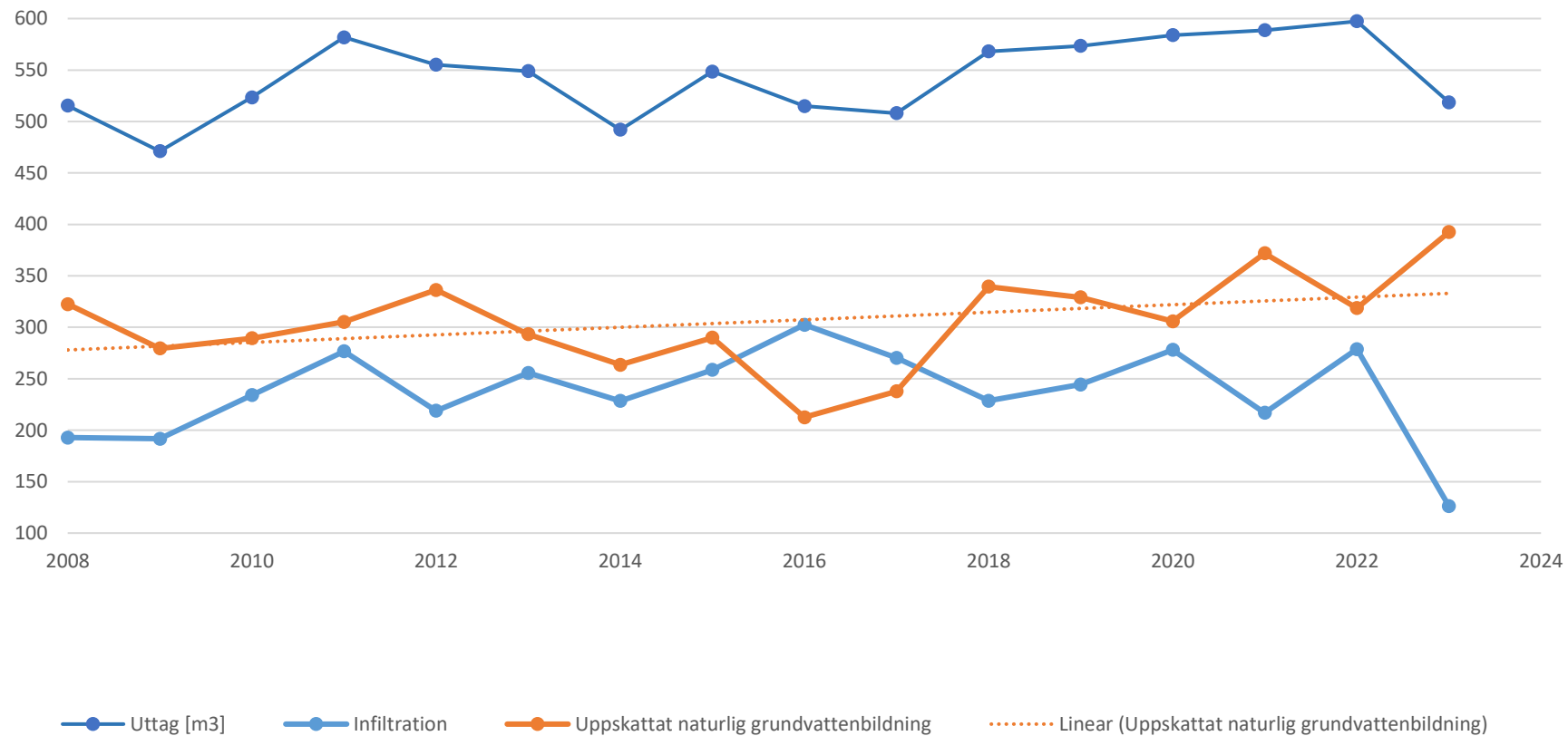
Störningar uppstår på grund av underhåll, höga vattennivåer och vattenkvalitet i vattendrag (grumlighet)

Finns det andra sätt att optimera?



Vad är den naturliga grundvattenbildningen?

Uttag, infiltration och grundvattenbildning för Uppsala stads vattentäkter



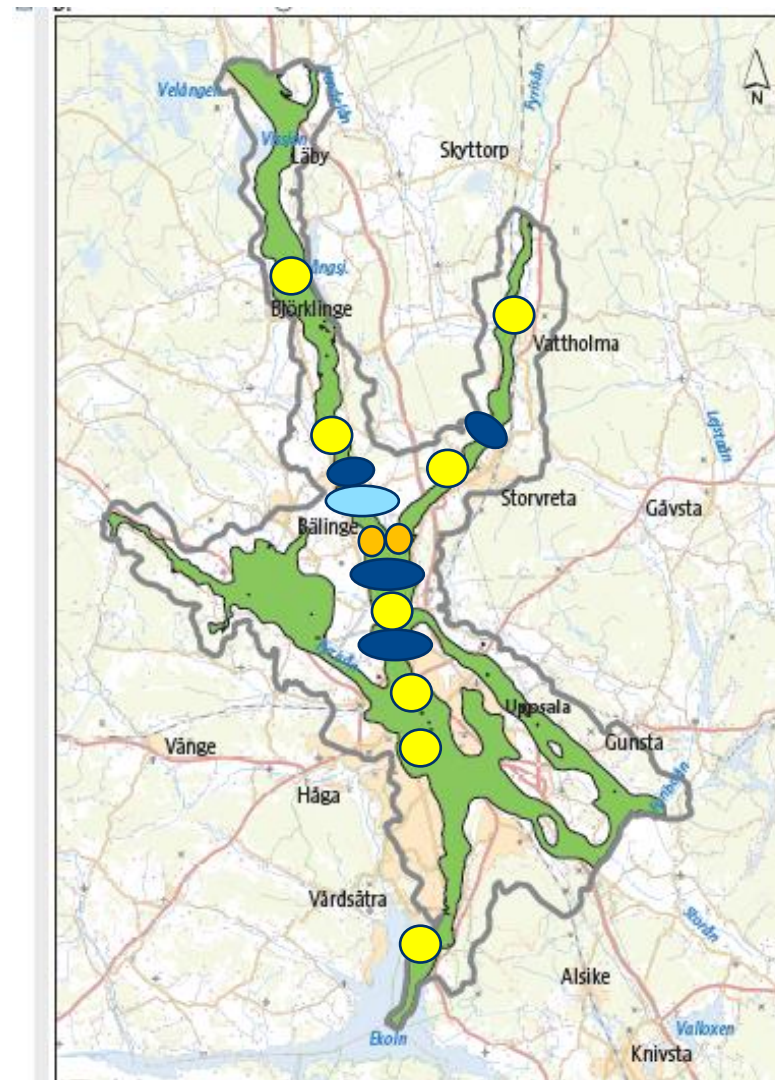
Vattenkvalitet och förbehandling

- Infiltrationsbassängerna består av långsamfilter byggda på isälvsmaterial.
- Rening av infiltrationsvatten (förbehandling) görs vid anläggningarna Vallskog (mikrosil) och Tunåsen (snabbfilter) i Uppsala stad.
- Dagens förbehandling avser att reducera suspenderat material i infiltrationsvatten för att förebygga igensättning av infiltrationsbassängerna.
- Vattenkvalitet i Fyrisån är inte optimal utifrån DOC-halt (15-20 mg/l). Avskiljning av DOC sker i infiltrationsbassängerna och i åsen, men över tid har halterna stigit i brunnarna nedströms (>6 mg/l)
- Andra föroreningar i infiltrationsvatten kan förekomma (PFAS, bekämpningsmedel) och uppmärksammas mer på senare tid.
- Nya förbehandlingssteg behövs i framtiden för att förbättra vattenkvalitet.
- Ny källa för infiltrationsvatten kan behövas utifrån kvantitet och kvalitet.

Ny infiltration och nya vattentäkter

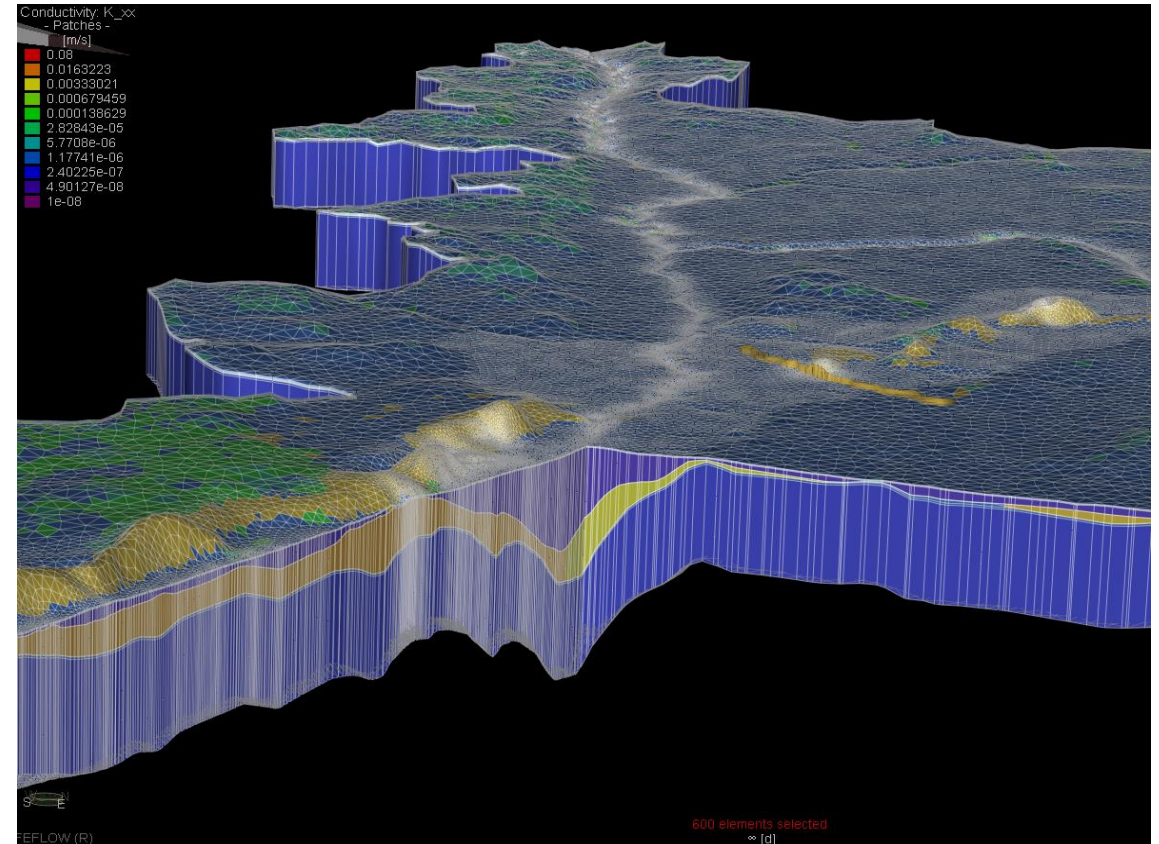
För att bygga ut kapacitet i systemet behövs nya infiltrationsområden och nya brunnsområden.

- Ny brunnsområde
- Befintlig brunnsområde
- Ny infiltration
- Befintlig infiltration

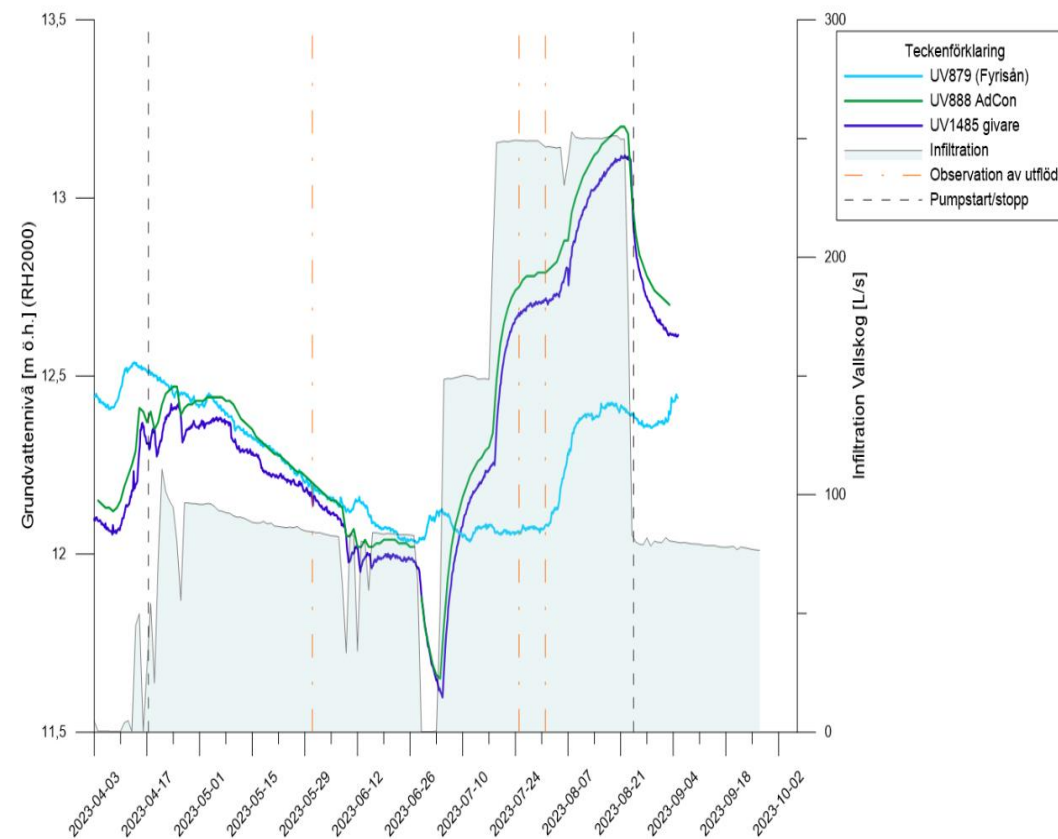


Funktionsanalysåsen

- En FEFLOW-modell för hela Uppsala-Vattholmaåsens tillrinningsområde
- Nya infiltrationsområden och brunnsområden kan simuleras i olika framtidsscenarioer
- Lämpliga områden identifieras för undersökning



Infiltrationsförsök och provpumpningar



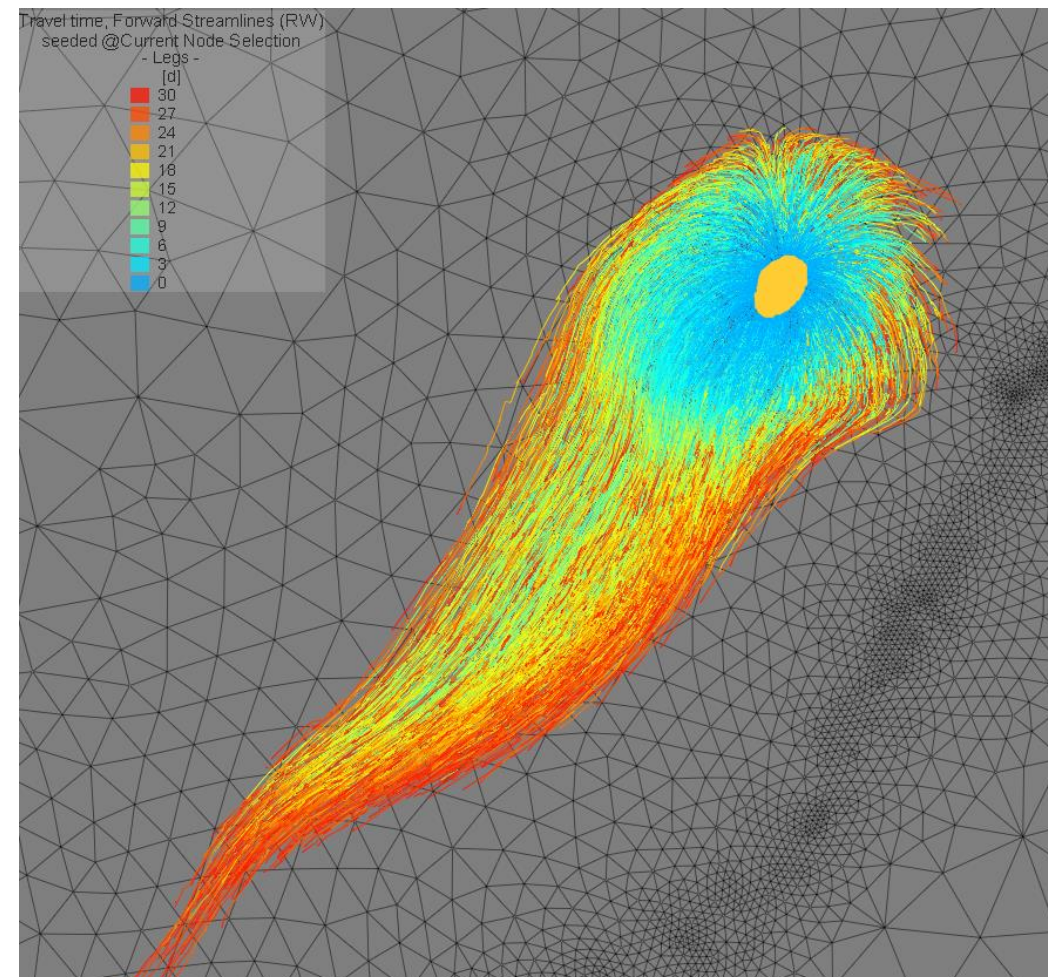
Påverkan på grundvatten

Kvantitet

- lokalt mer grundvatten (högre nivå)
- Kan påverka jordbruksmark, brunnar, byggnader.
- Kan även gå förlorad via dräneringar eller källor/kontakt med ytvatten.

Kvalitet

- Ytvattenpåverkat grundvatten närmare infiltrationsanläggningen (temperatur, DOC, grumlighet, mm)
- Uppehållstid till råvattenbrunnarna har betydelse för avskiljning av t ex DOC
- Utspädning: vad är andelen infiltrerat vatten i brunnarna?
- Förbättrad kvalitet i råvattnet ur avseende vissa kriterier (t ex U, hårdhet)



Påverkan på grundvatten

Isälvsavlagringar har använts under lång tid som naturresurser (grustäkter)

Ofta har det varit verksamheter som asfaltstillverkning

Före detta grustäkter fylldes ofta igen

Risk för föroreningar är betydlig



Aktuella frågeställningar för infiltration i Uppsala

Drift

- Hur kan vi optimera driften av bassängerna avseende rensning?
- Finns det bra alternativ till natursand?
- När ska vi infiltrera vatten under året?

Tillgång till infiltrationsvatten

- Hur länge kommer vattentillgången i Fyrisån/Tämnaren räcka?
- Vad finns för alternativa källor för infiltrationsvatten?

Vattenkvalitet

- Vad kan finnas i vattnet nu som vi inte vet om?
- Vad kan förväntas av vattenkvalitén i framtiden?
- Hur kan infiltrationsanläggningarna skyddas avseende föroreningar i ytvatten?
- Till vilken grad ska infiltrationsvatten renas? (råvattenkvalitet/miljökvalitetsnormer)
- Hur kommer grundvattenkvalitén ändras om ett annat vatten infiltreras? (Dalälven/Ekoln)

Anläggningens livslängd

- Vad är livslängden på en infiltrationsbassäng?
- När kommer den sättas igen för gott?

Tack så mycket!

SPÅRÄMNESFÖRSÖK OCH INFILTRATIONSFÖRSÖK I UMEÄLVSÅSEN - en metodjämförelse

SIWI Swedish Water House & Uppsala Vatten
Seminarium: Konstgjord grundvatteninfiltration
Oskar Sjöberg, Hydrogeolog på **RAMBOLL**

2023-11-29



Undersökningar av Umeälvsåsen 2018-2023

Möjlig ny vattenförsörjning för Umeå

30



Vad händer när vi infiltrerar vatten i åsen?

31

- Infiltrationskapacitet
- Strömningshastighet (uppehållstid)
- Strömningsvägar och återvinning
- Hur påverkas järn- och manganhalter

- Hur påverkar detta konfigureringen av infiltrations- och uttagsområden (placering, avstånd osv.)?
- Modellparametrar till grundvattenmodell

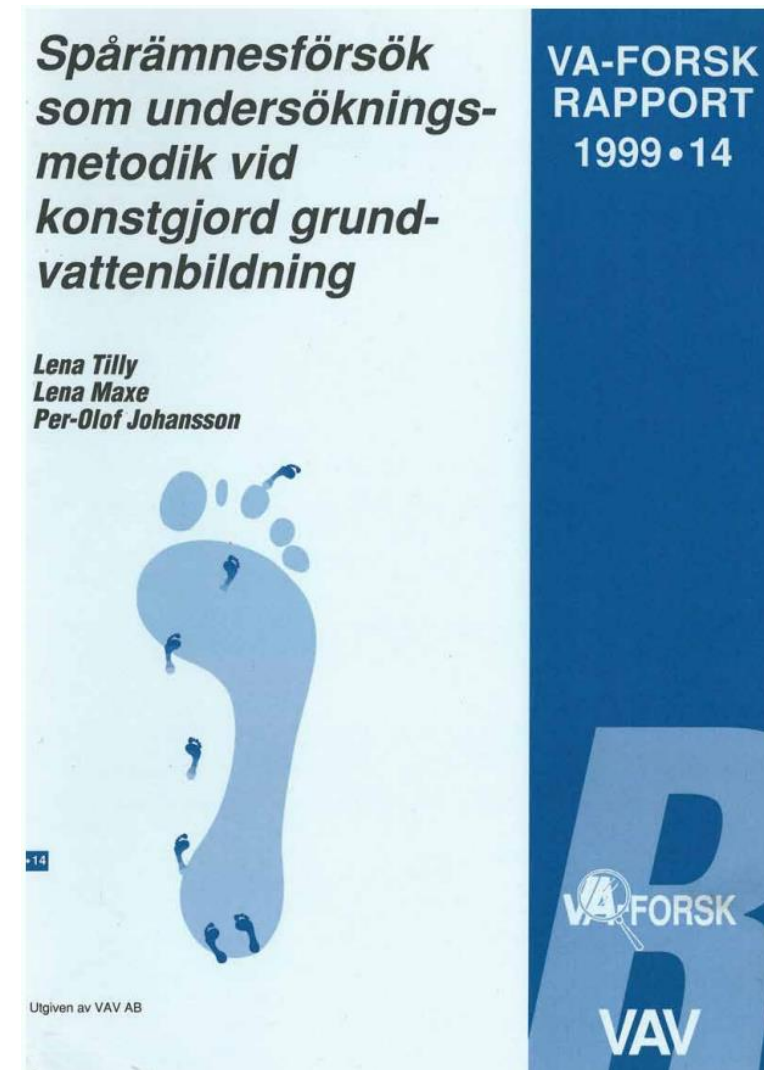


Spårämnesförsök

- Återinfiltration grundvatten
- Klorid från vägsalt

- Område med god kapacitet och infiltrationsförutsättningar

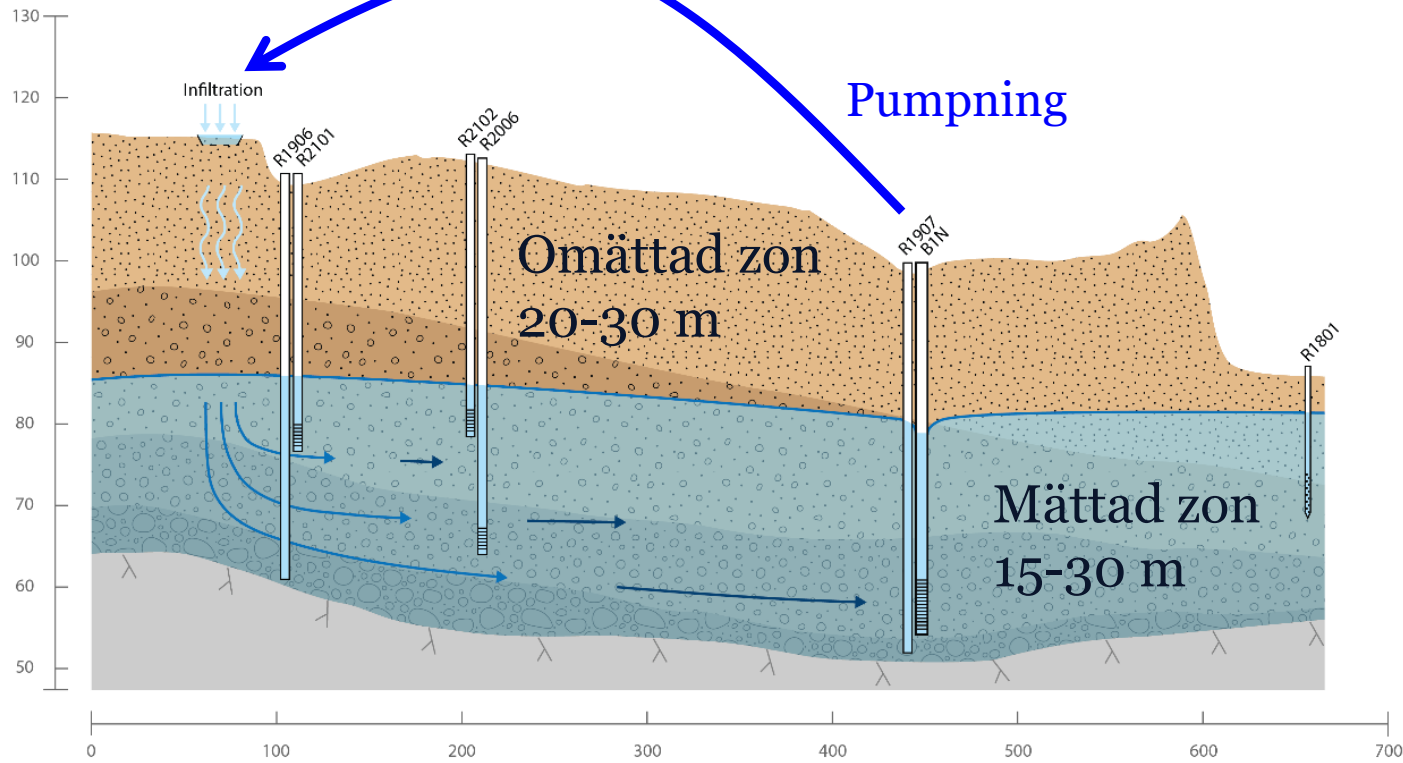
- 1 misslyckat försök hösten 2021
- 2 lyckade försök våren 2022



Spårämnesförsök

Infiltration

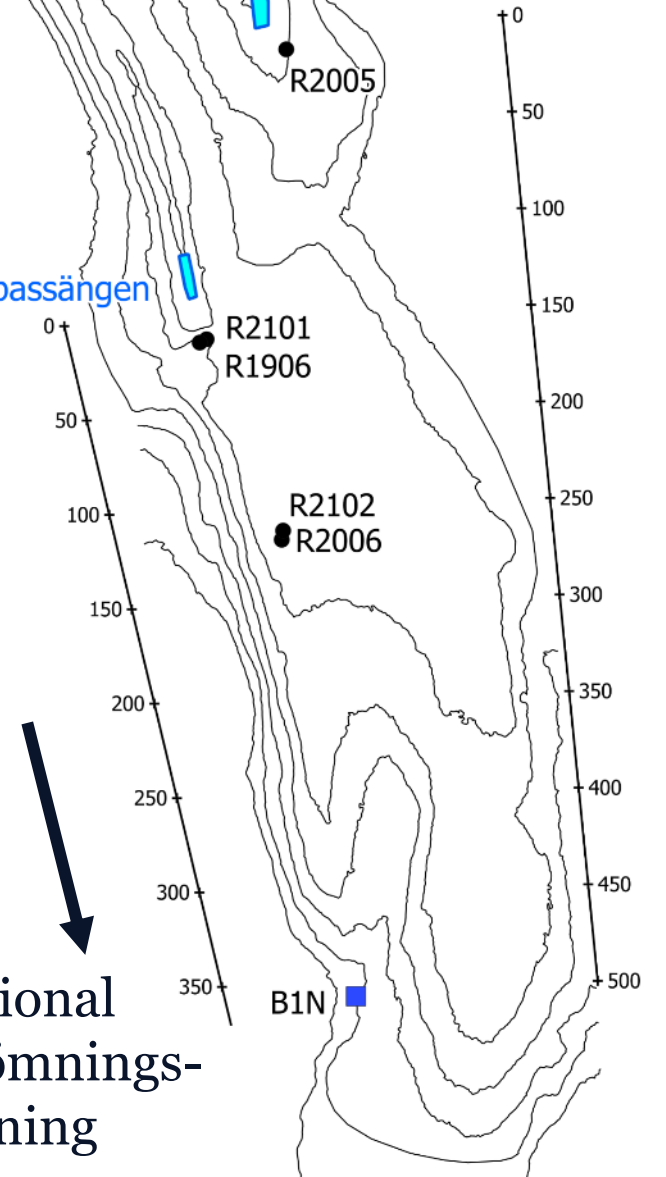
Pumpning



Östra infiltrationsbassängen

Västra infiltrationsbassängen

Regional Strömningsriktning







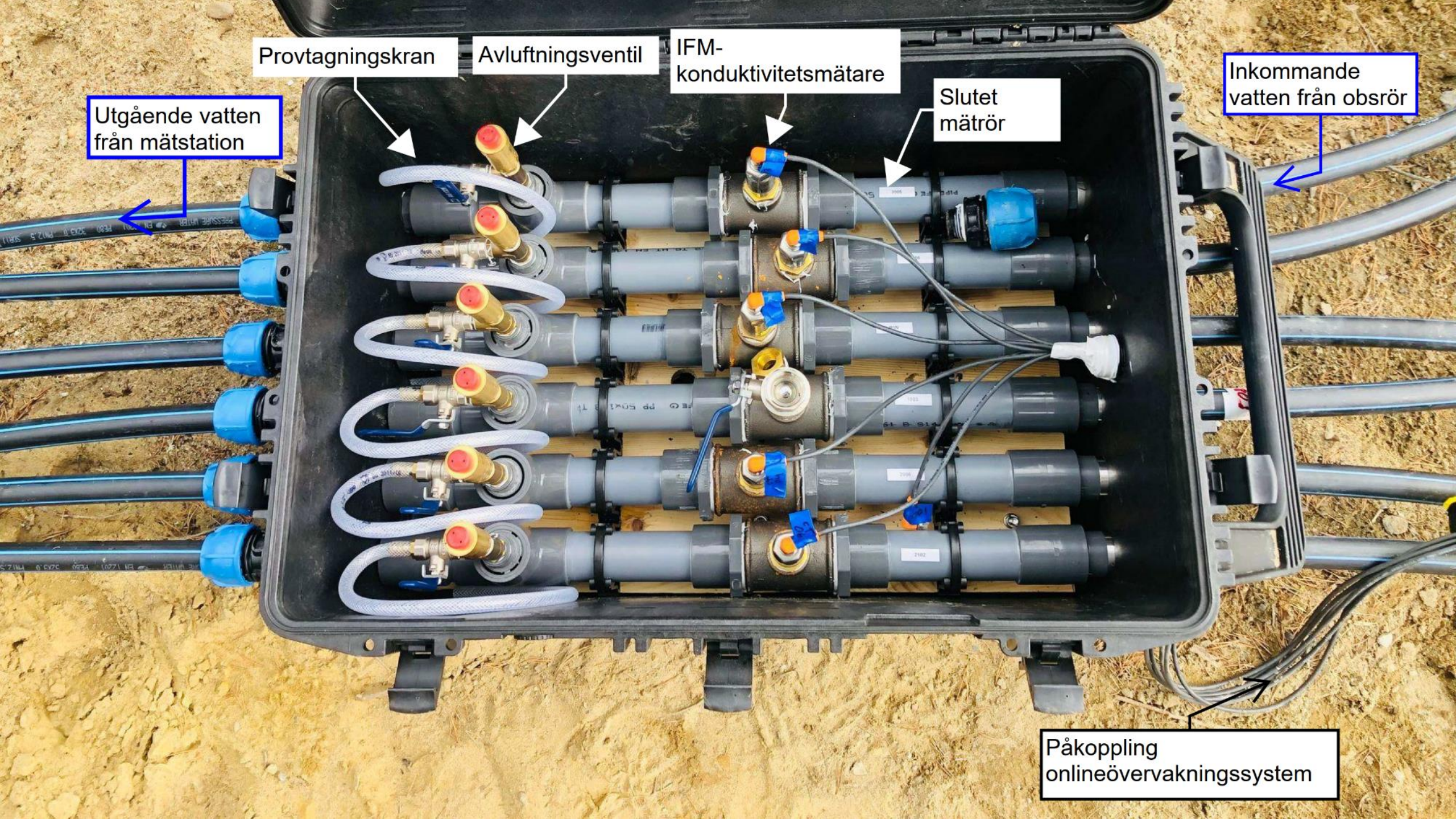


**35 l/s (30 m/d)
10 dygn
10,8 ton CaCl₂**



R 1906





Provtagningskran

Avluftningsventil

IFM-konduktivitetmätare

Slutet mätrör

Inkommande vatten från obsrör

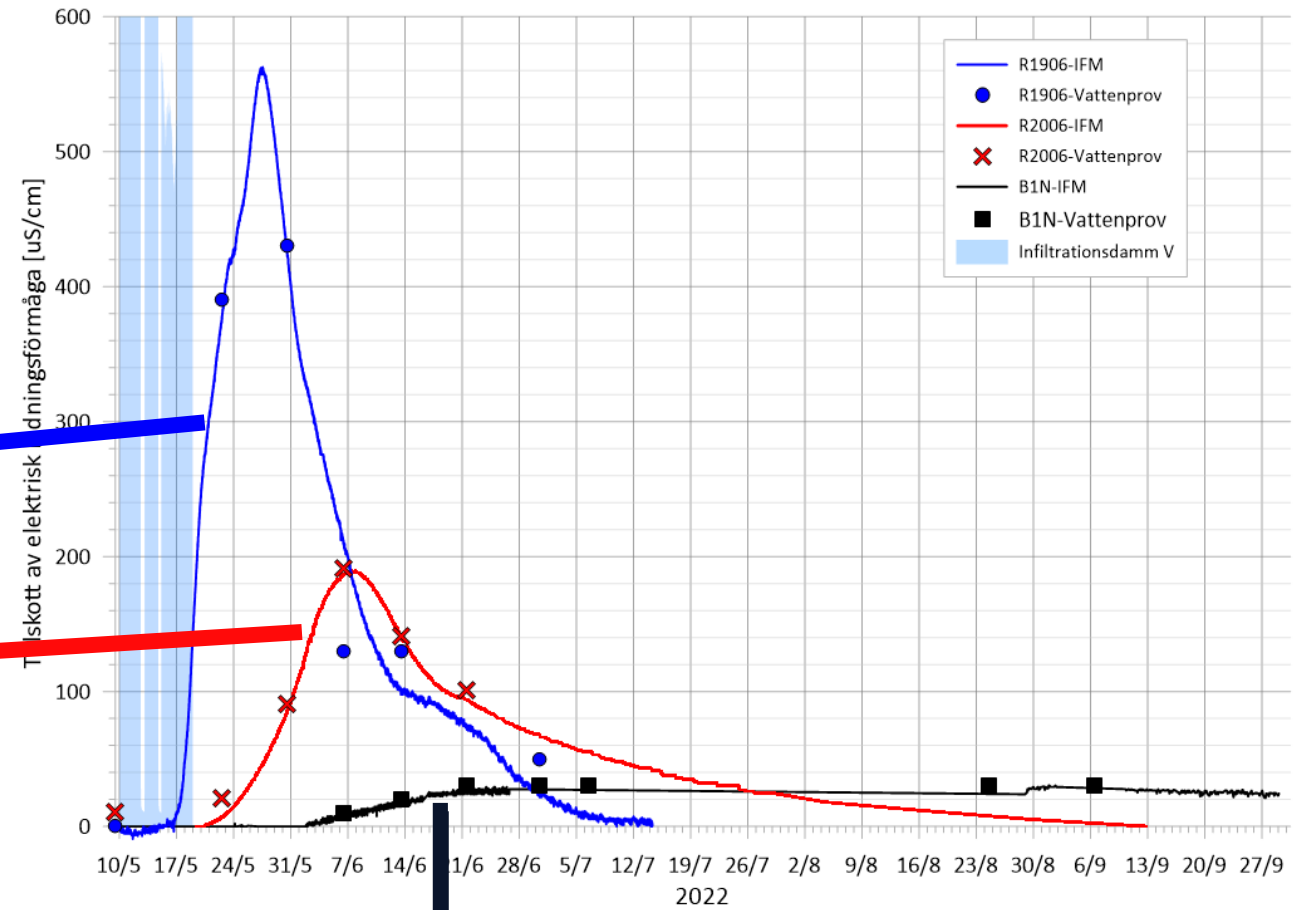
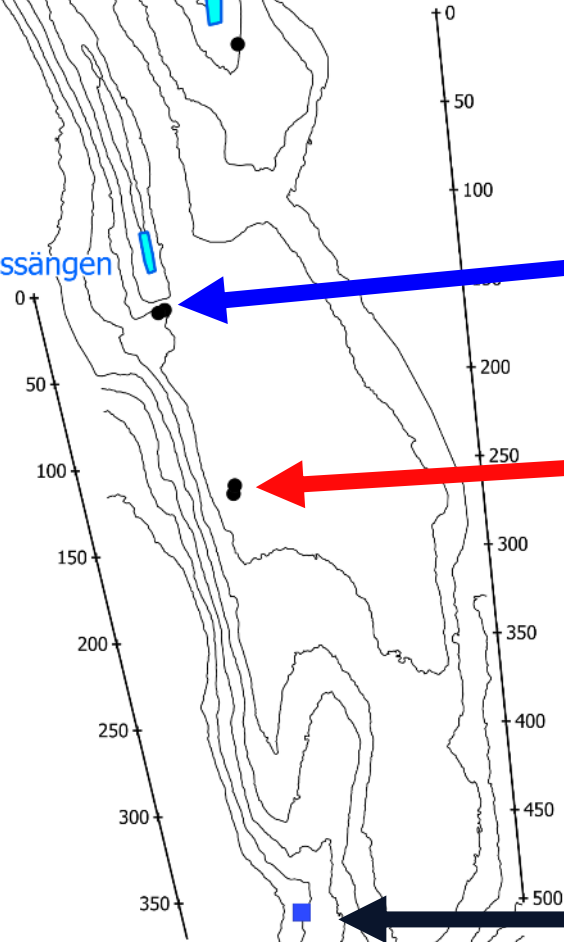
Utgående vatten från mätstation

Påkoppling onlineövervakningssystem

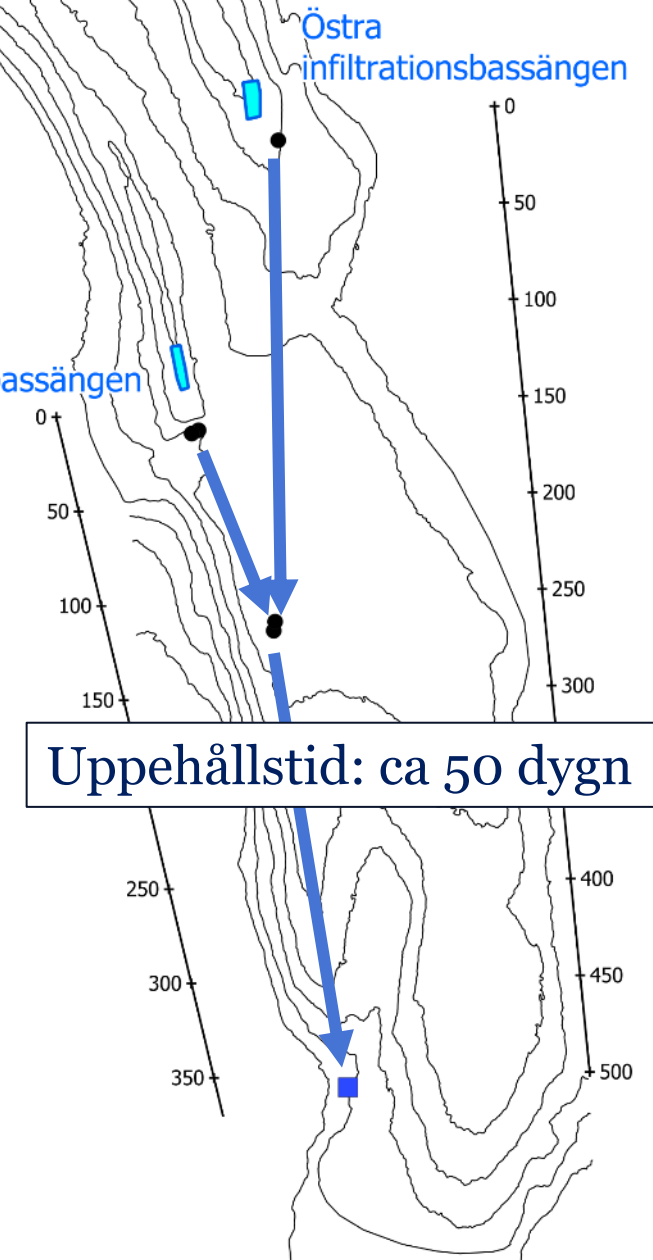
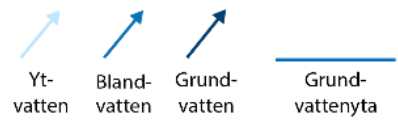
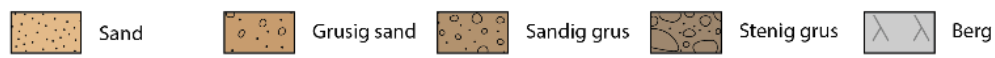
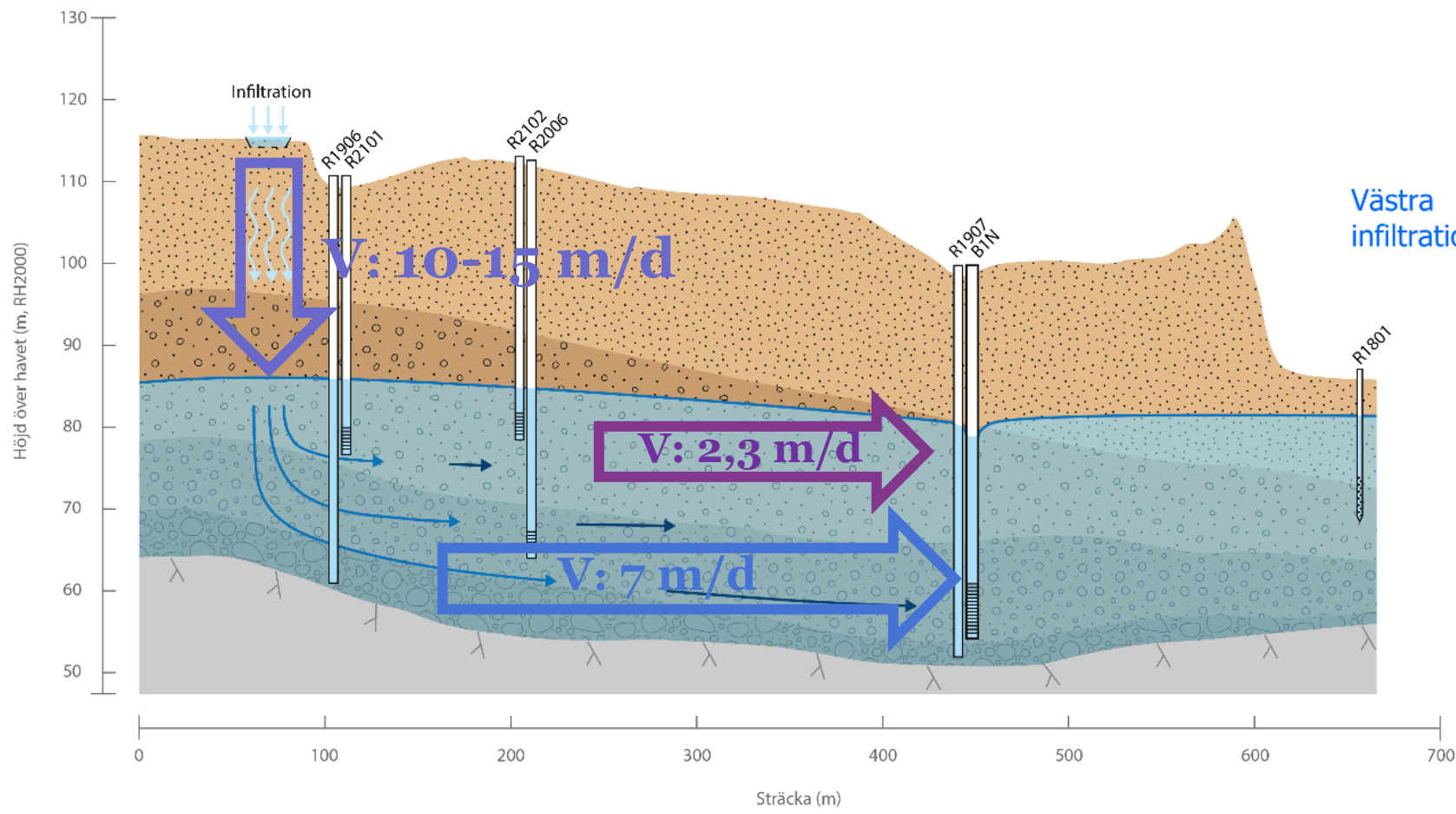
Spårämnesförsök västra dammen - 2022

Östra infiltrationsbassängen

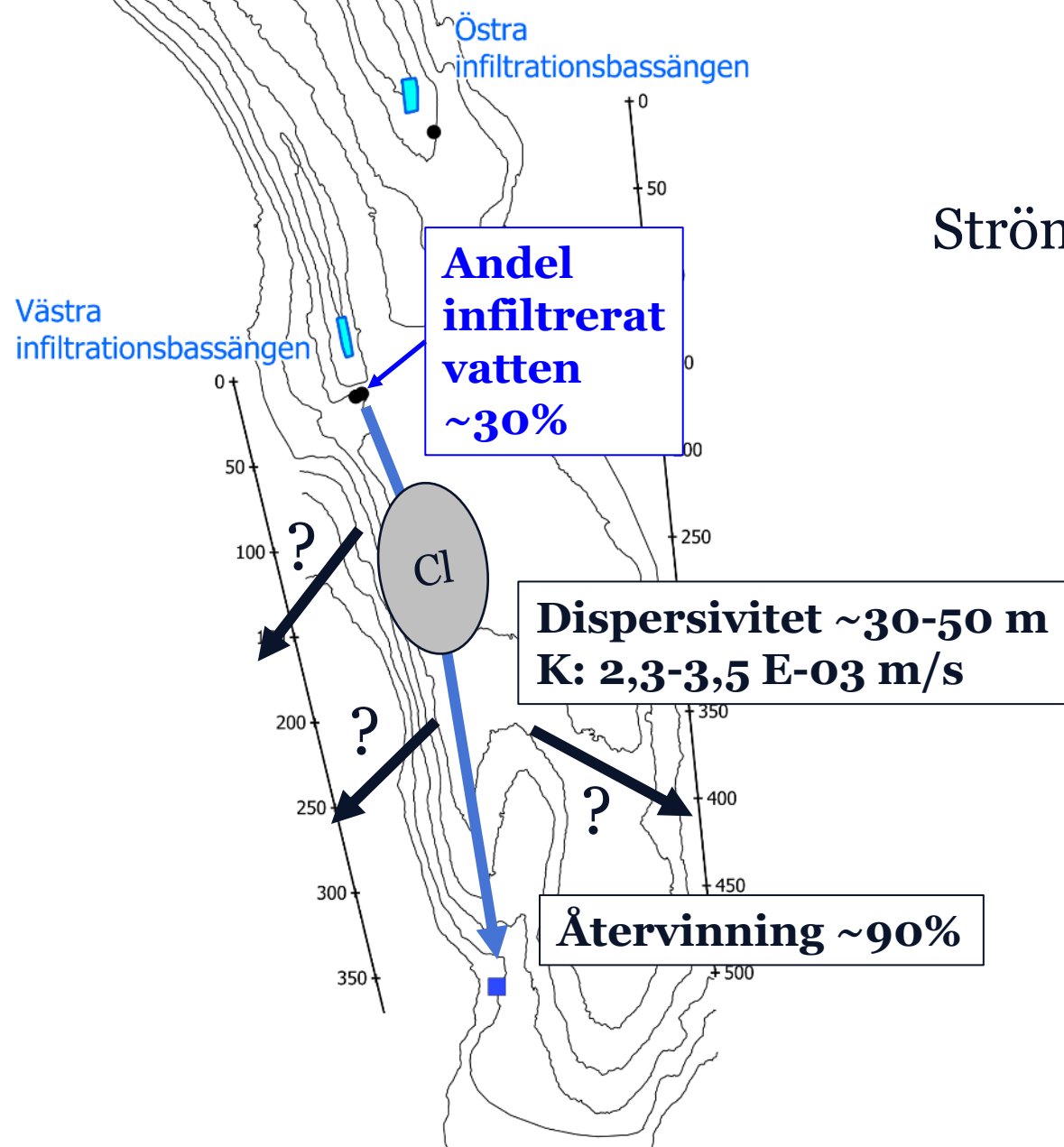
Västra infiltrationsbassängen



Strömningshastigheter



Strömningsvägar

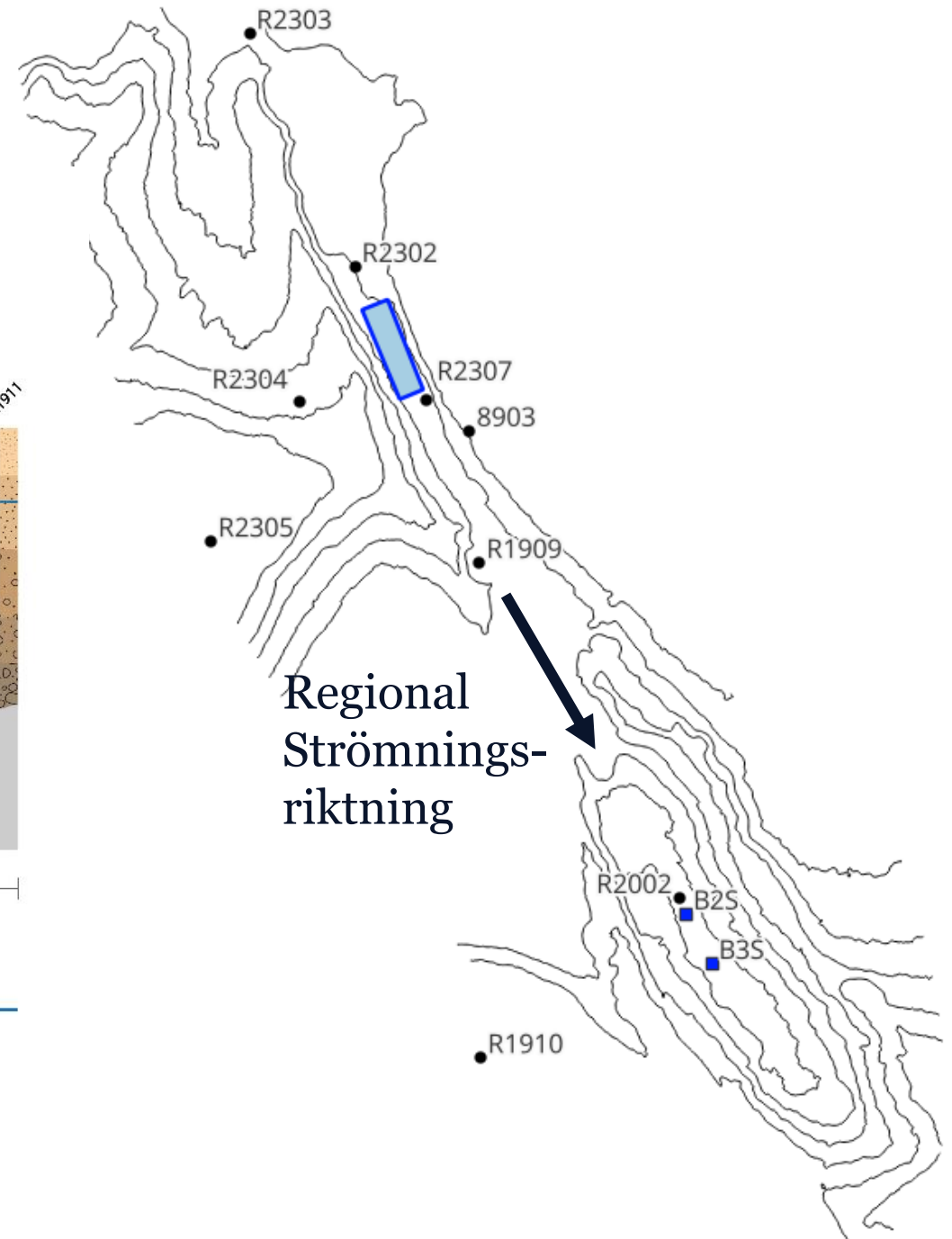
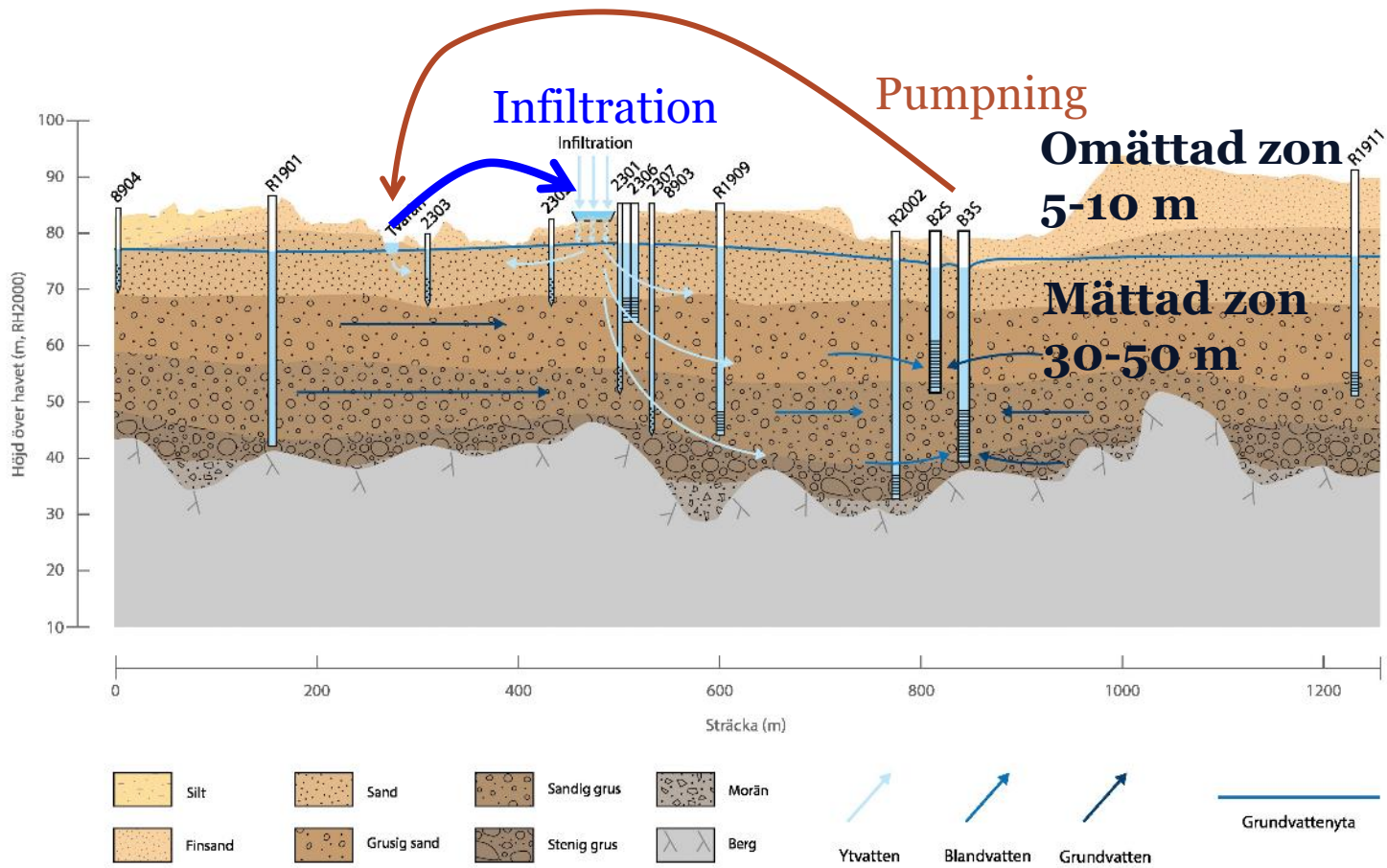


Infiltrationsförsök

- Infiltration ytvatten från å
- Uppföljning temperatur, isotoper och vattenkvalitetsparametrar
- ca 4 km söderut. Område med hög kapacitet men kvalitetsmässigt sämre förutsättningar
- Hur påverkas järn- och manganhalter?



Infiltrationsförsök







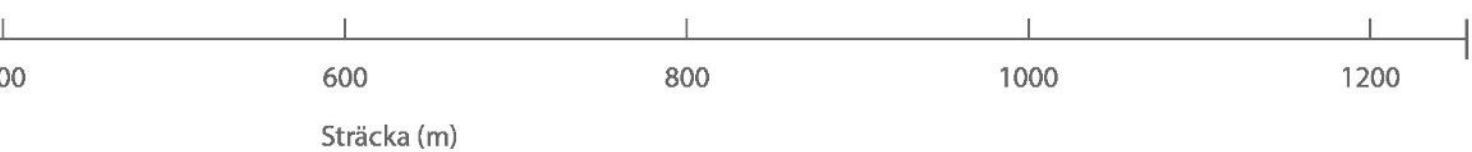
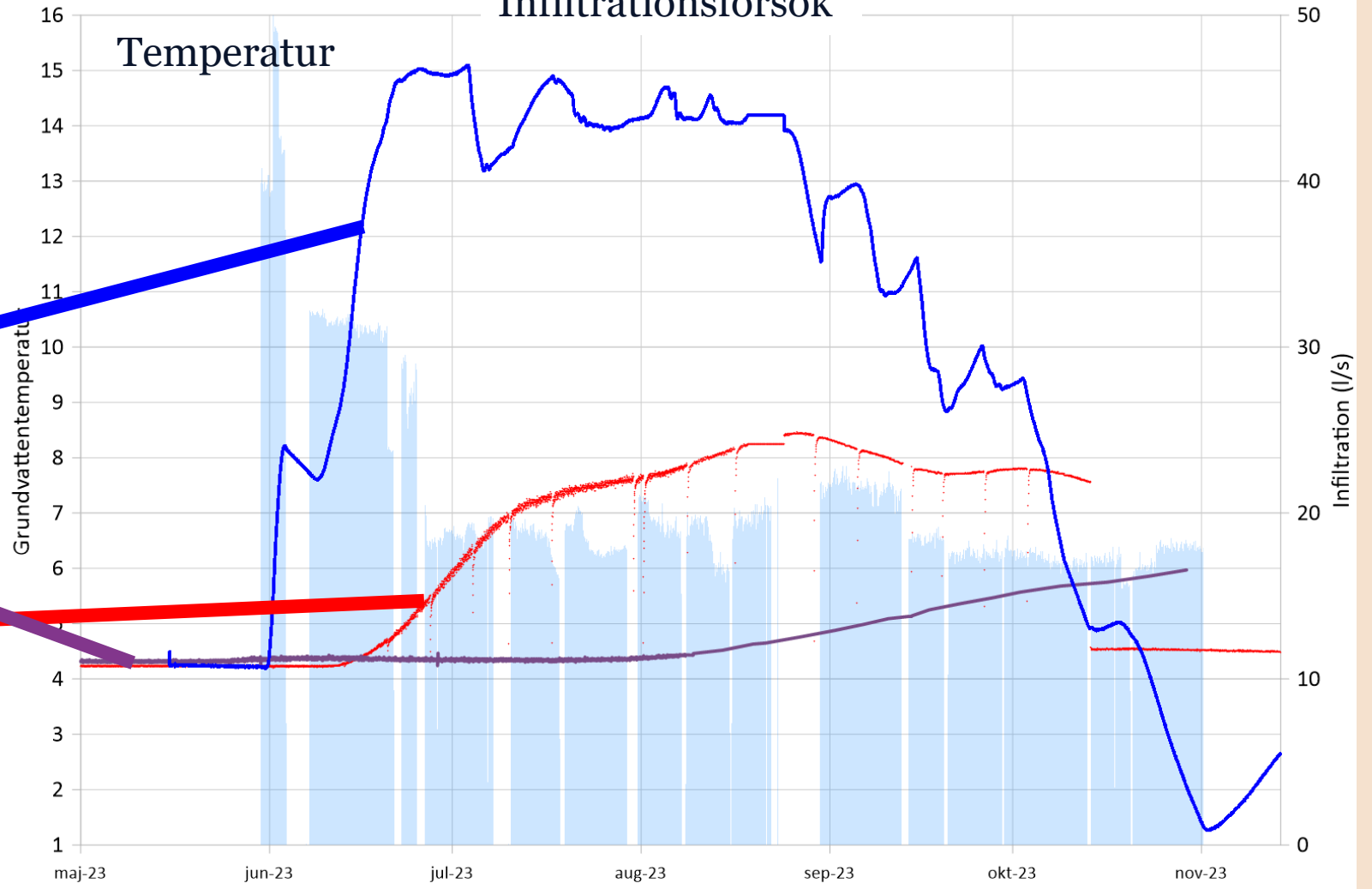
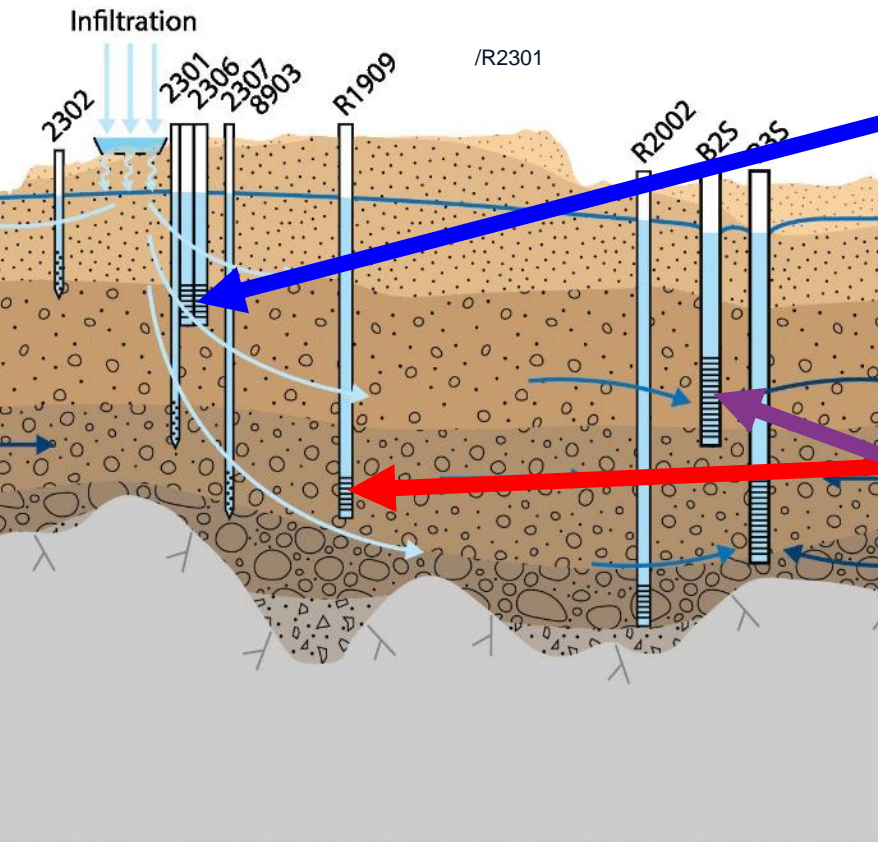
**40 l/s
17 m/dygn**



**19 l/s
8 m/dygn**



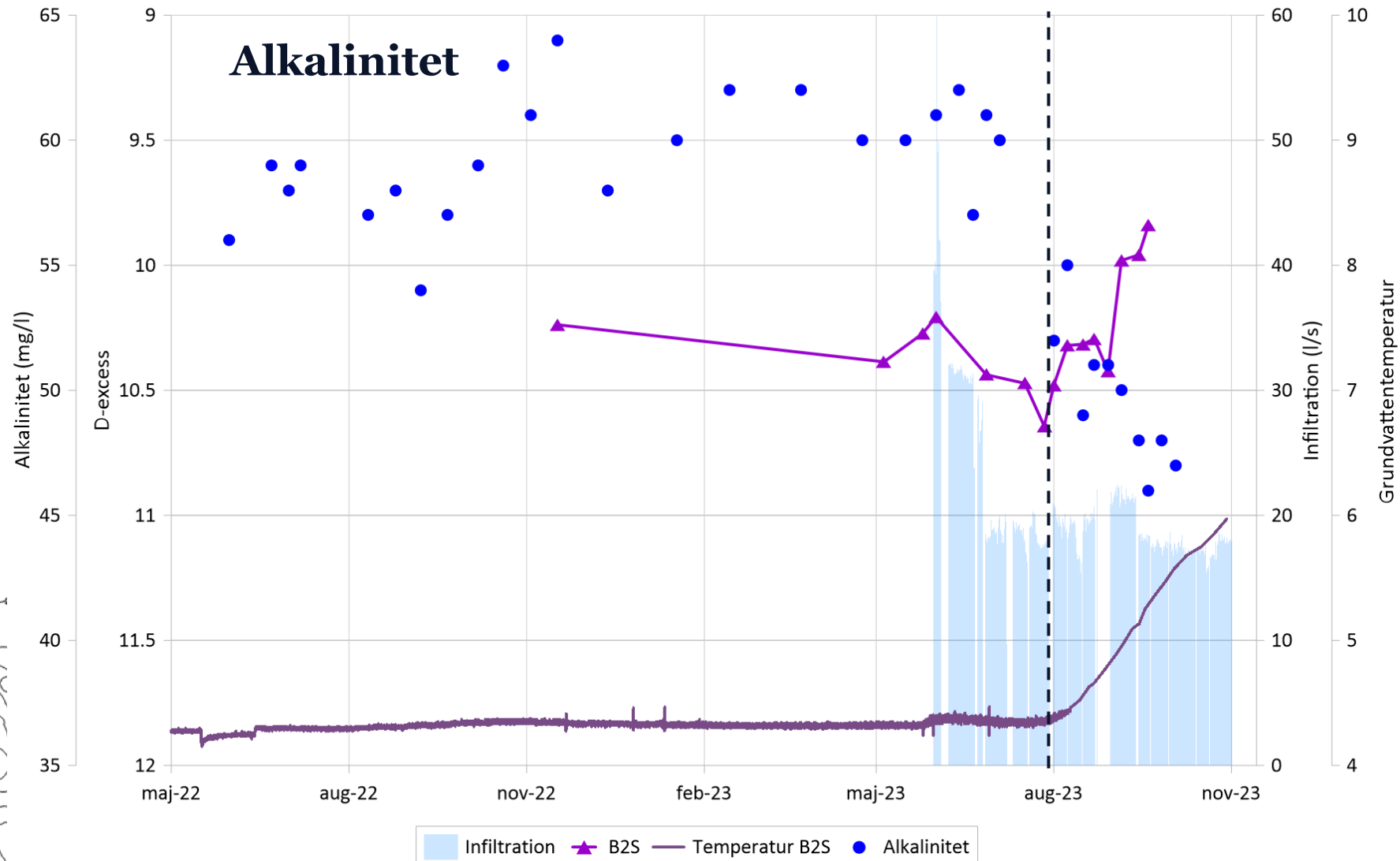
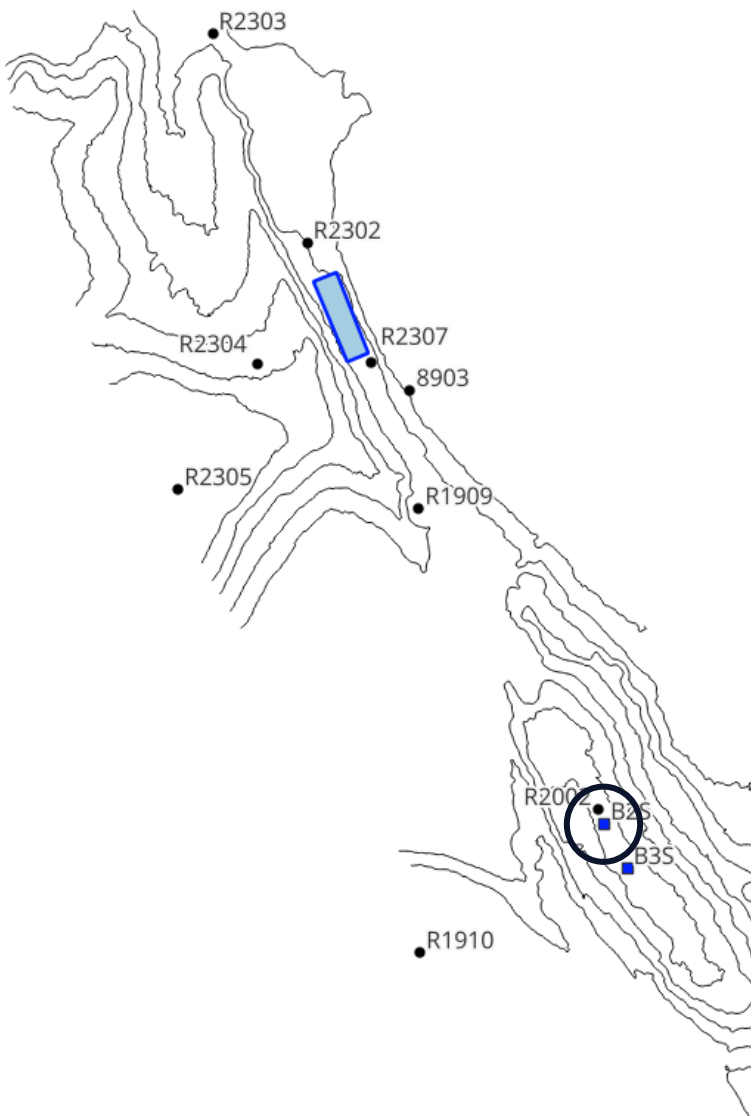
Infiltrationsförsök



2 mån efter teststart

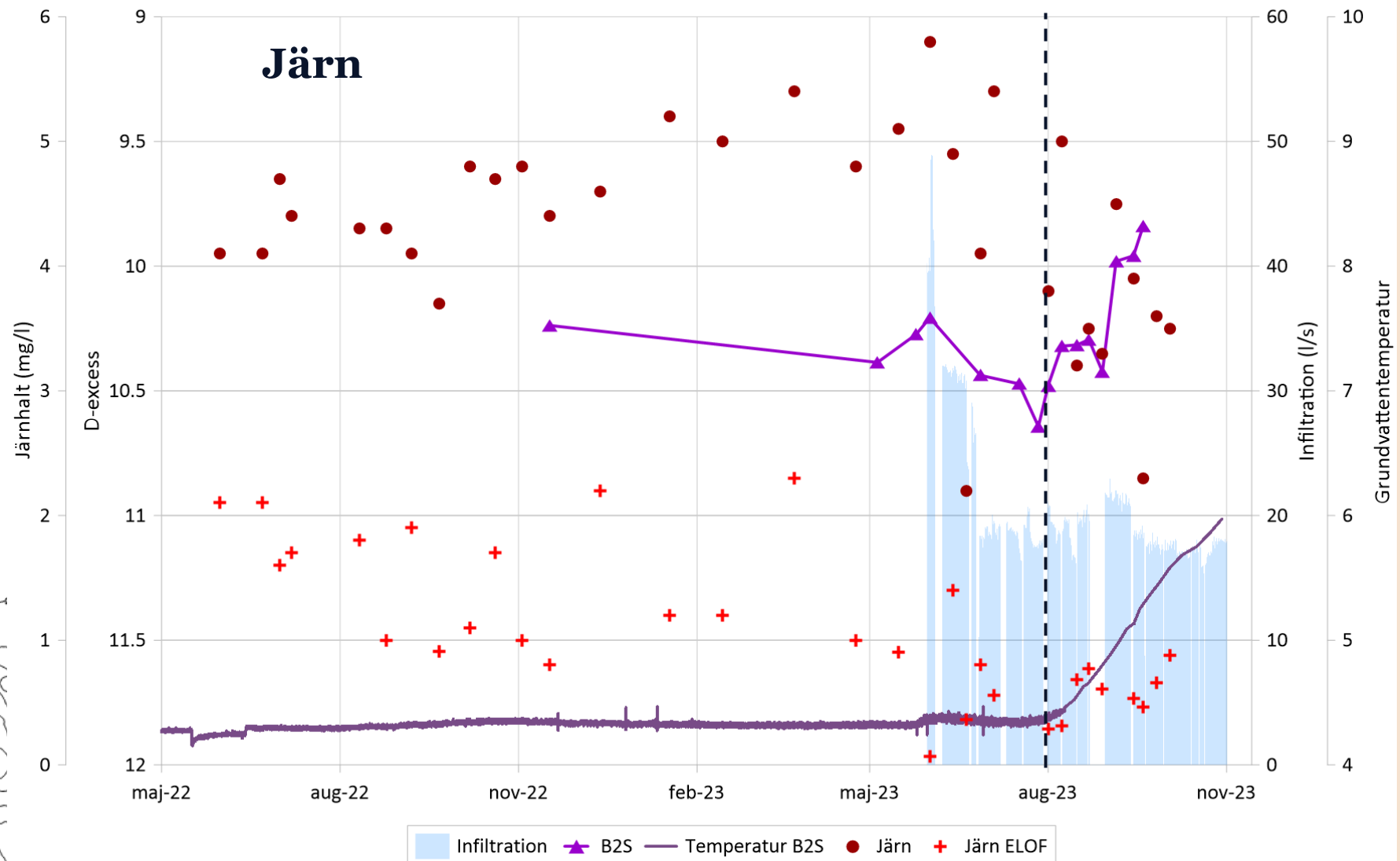
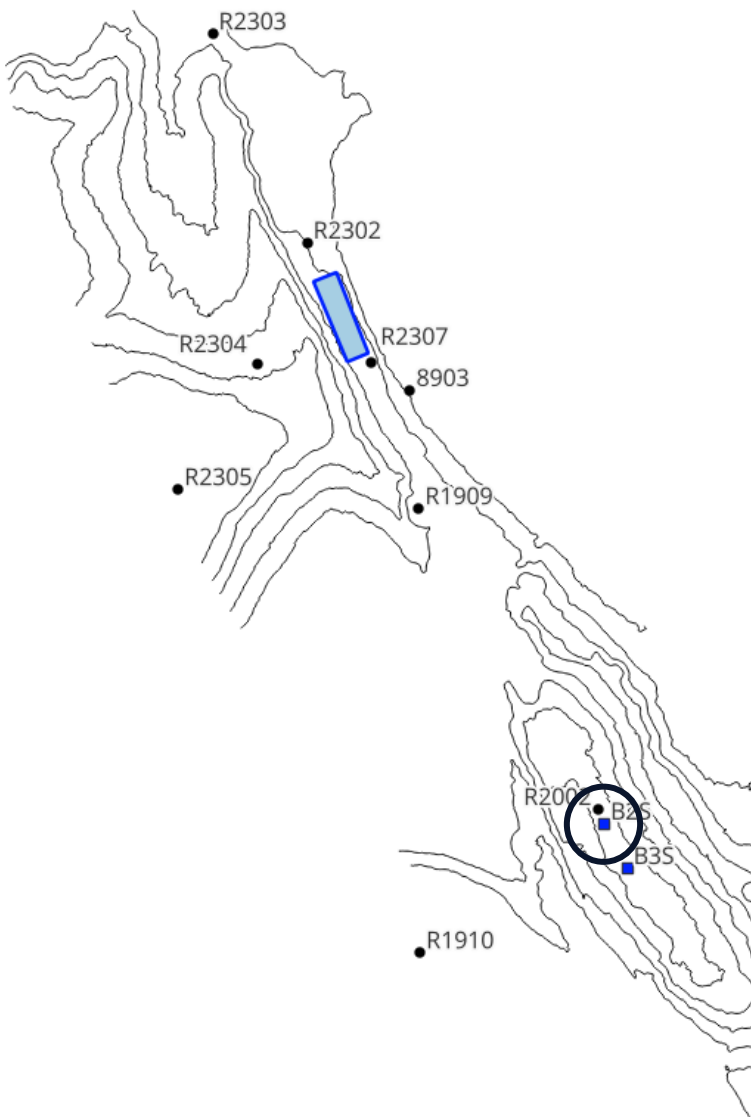
Infiltrationsförsök

Alkalinitet



2 mån efter teststart

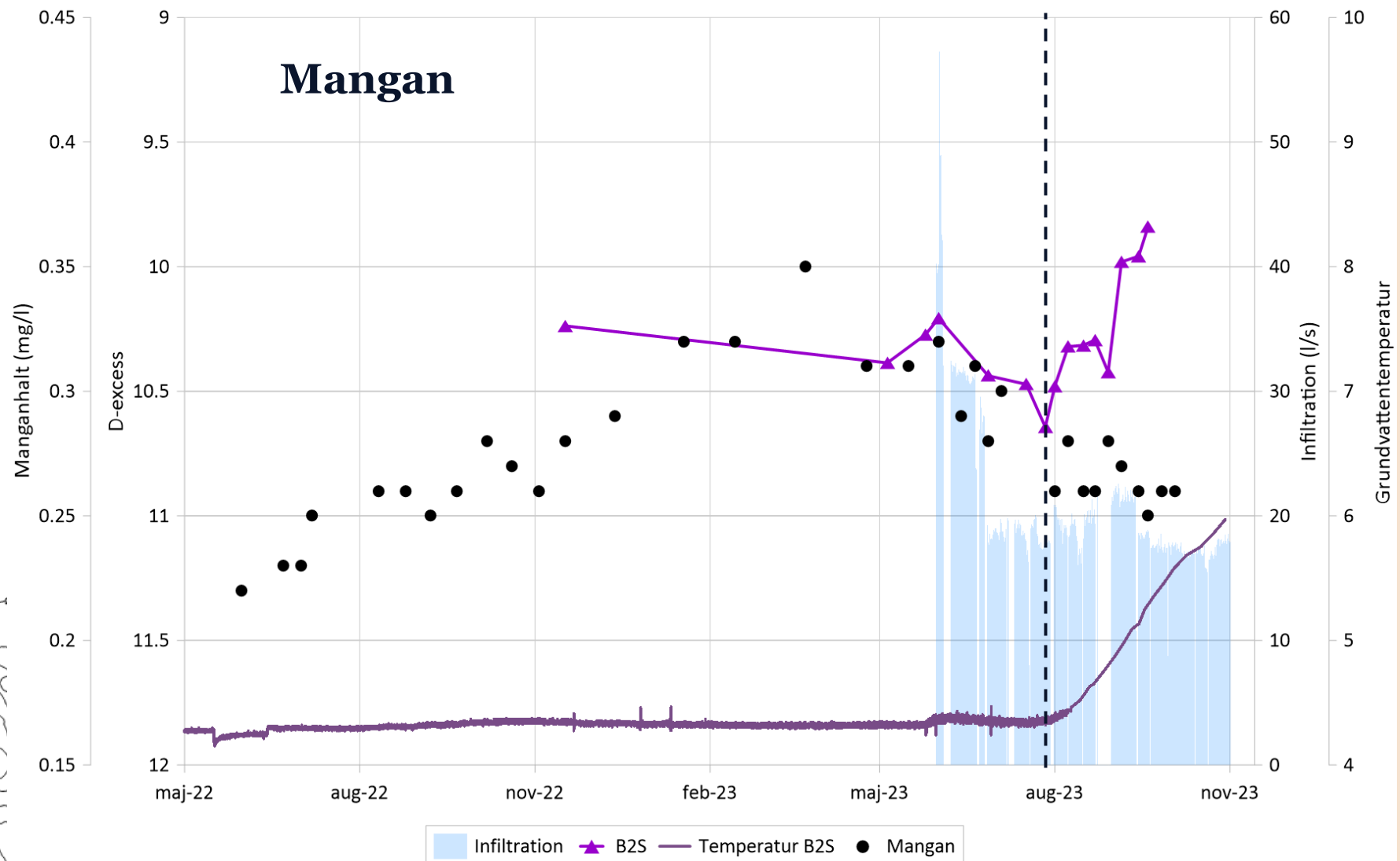
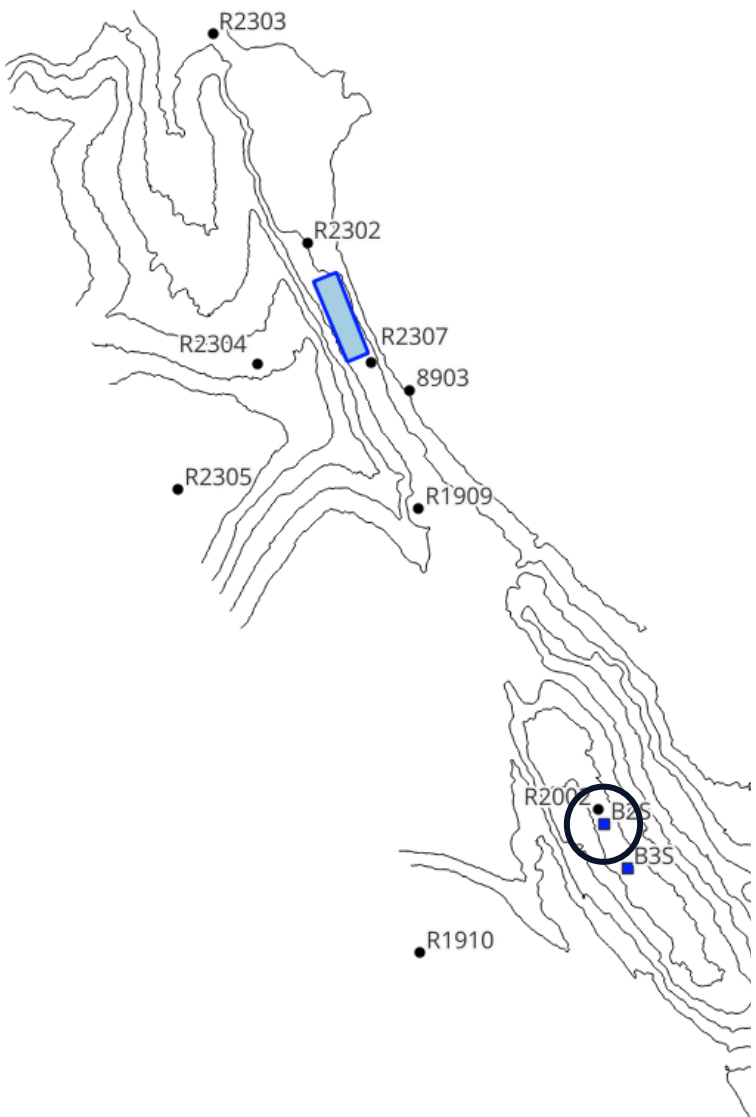
Infiltrationsförsök



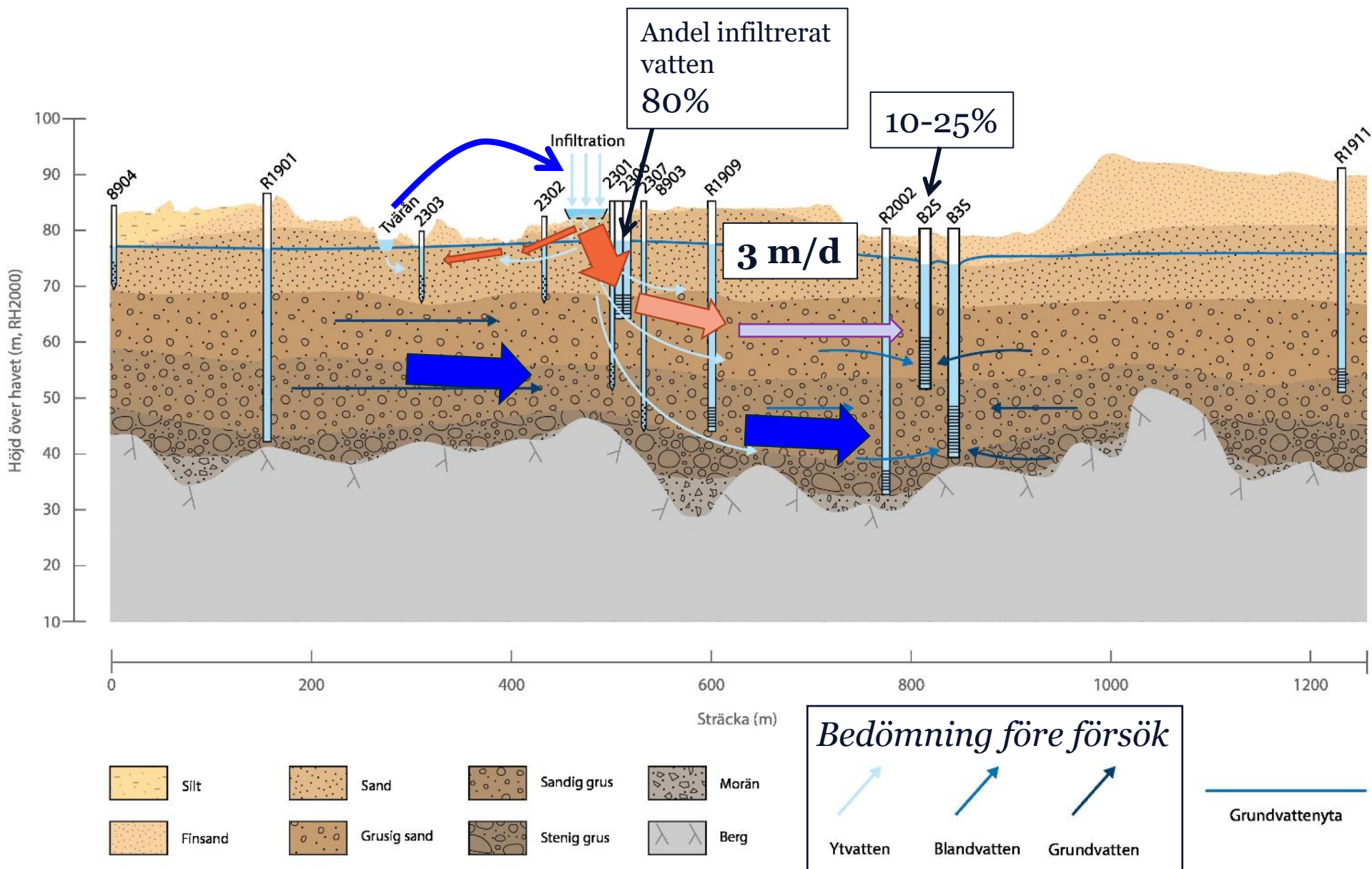
2 mån efter teststart

Infiltrationsförsök

Mangan



Infiltrationsförsök



Område 1 - spårämnesförsök

- Ingen begränsning i infiltrationskapacitet
- Litet utläckage under försöken
- Avstånd bassäng-uttag ca 250-300 m
- Parametrar till grundvattenmodell

Område 2 – inf.försök

- Ev. begränsning i infiltrationskapacitet
- Kort avstånd mellan bassäng och uttag, vill inte ha för långa uppehållstider
- I kombination med grunda produktionsbrunnar kan järn- och manganhalterna i råvatten minskas
- Undersökningar med högre flöde krävs, sprinklers?



Spårämnesförsök

- + Bra data, kontinuerlig mätning
- + Info om uppehållstider, återvinning och modellparametrar
- Krävdes mycket salt som måste doseras i rätt mängd
- Krävs omsättning i observationsbrunnar

Infiltrationsförsök

- + Endast infiltrationsvatten krävs
- + Info om effekt av infiltration på vattenkvalitetsparametrar
- Svårtolkade data, isotoper endast vid vattenprovtagning
- Stor säsongsvariation i isotoper- och temperatur



Tack!



Bergkross som alternativ till natursand



Kristofer Hägg
Forskningsledare

Britt-Marie Pott
Processingenjör

Interreg
North Sea



Co-funded by
the European Union

Blue Transition

 **SYDVATTEN**

Frågeställningar

- Kornstorleksfördelning?
- Mineralsammansättning?
- Mekanisk och kemisk vittring över tid?
- Föroreningar?

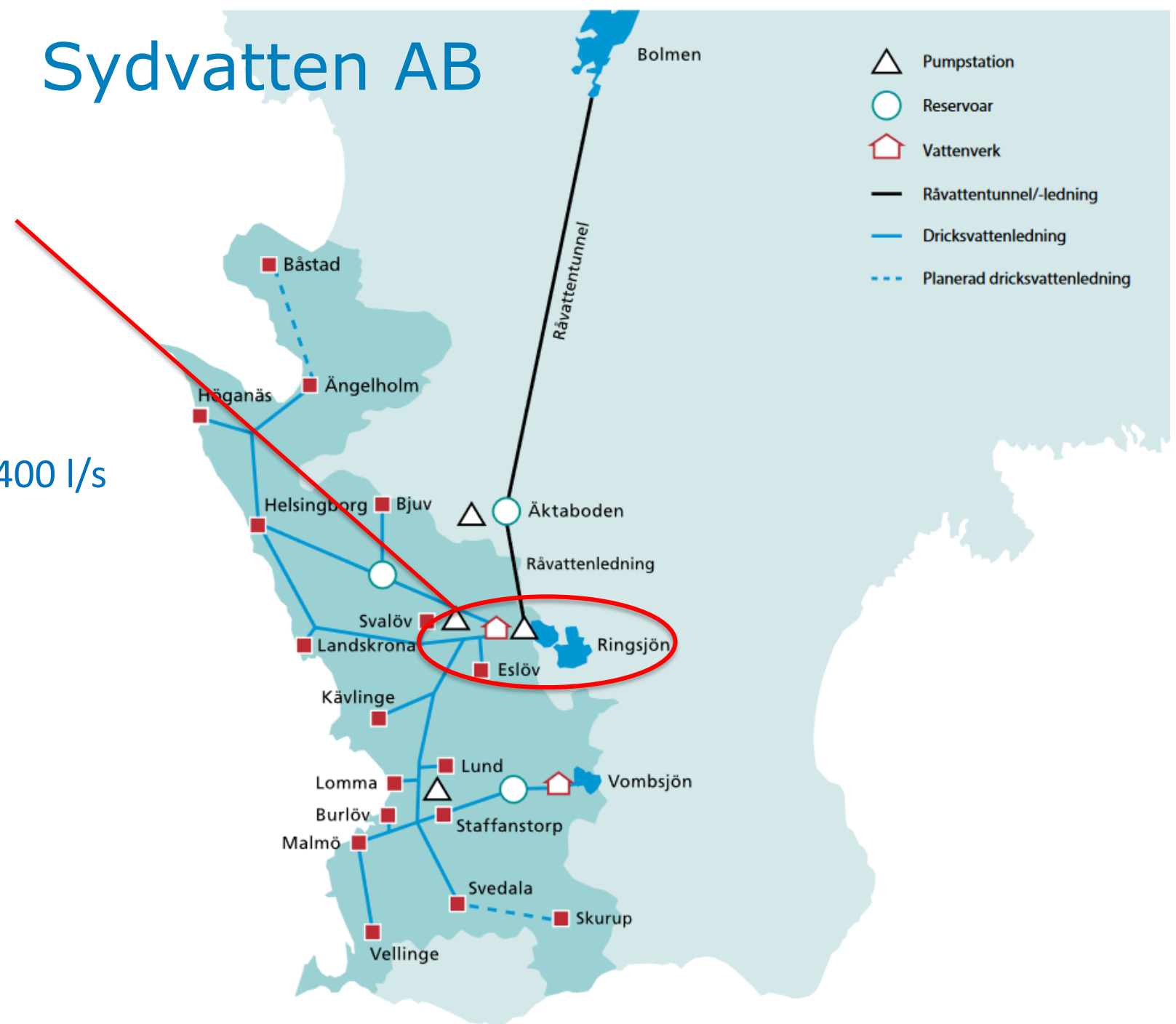
Studiens innehåll

- Kunskapssammanställning
- Möten och intervjuer
- Provinsamling
 - Siktanalyser
 - Petrografiska analyser
 - Metallanalyser
- Framtida pilotförsök

Sydvatten AB



- Kemisk fällning
- Kapacitet: 2 400 l/s
- Medel produktion: 1 400 l/s



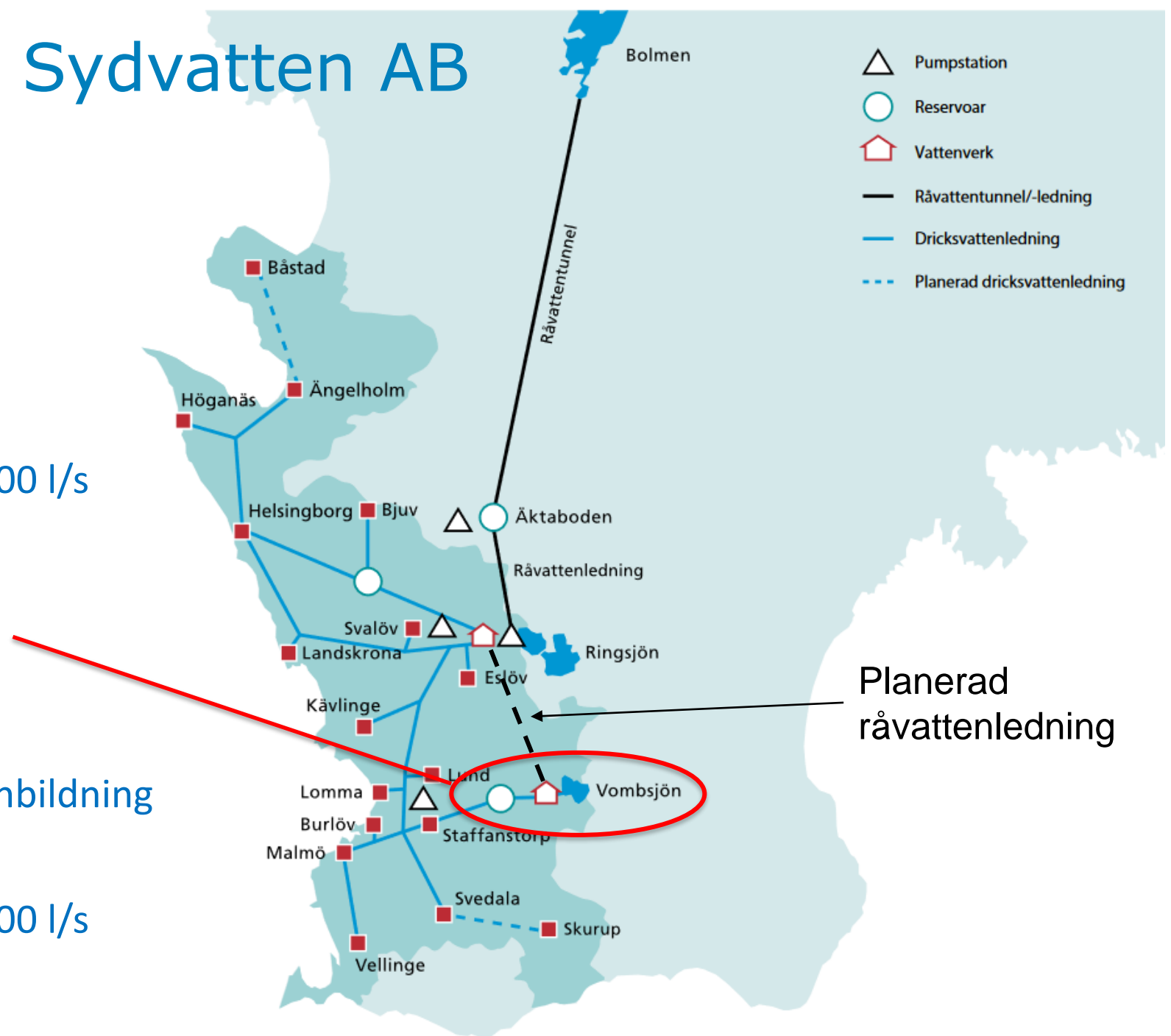
Sydvatten AB



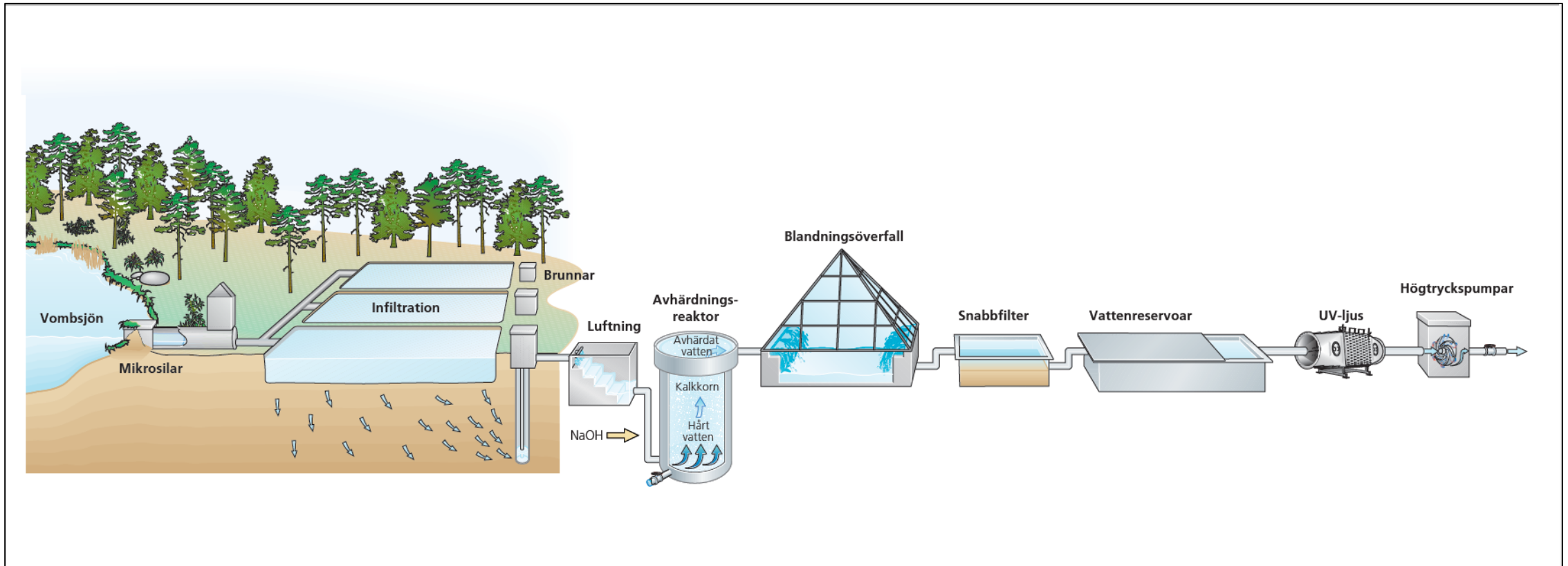
- Kemisk fällning
- Kapacitet: 2 400 l/s
- Medel produktion: 1 400 l/s



- Konstgjord grundvattenbildning
- Kapacitet: 1 500 l/s
- Medel produktion: 1 100 l/s

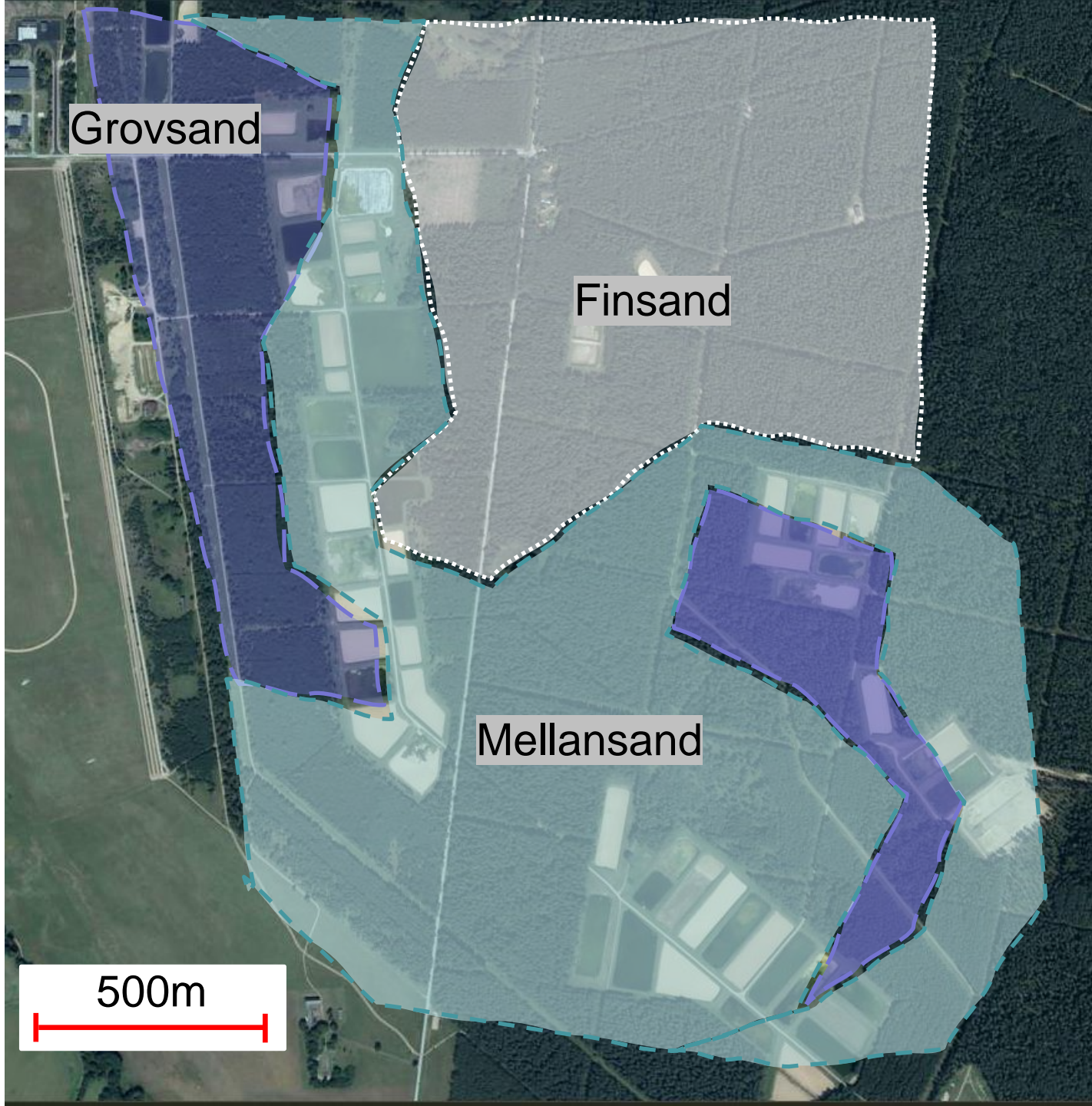


Vombverket



Renovering av dammar och sandbehov





Grovsand

Finsand

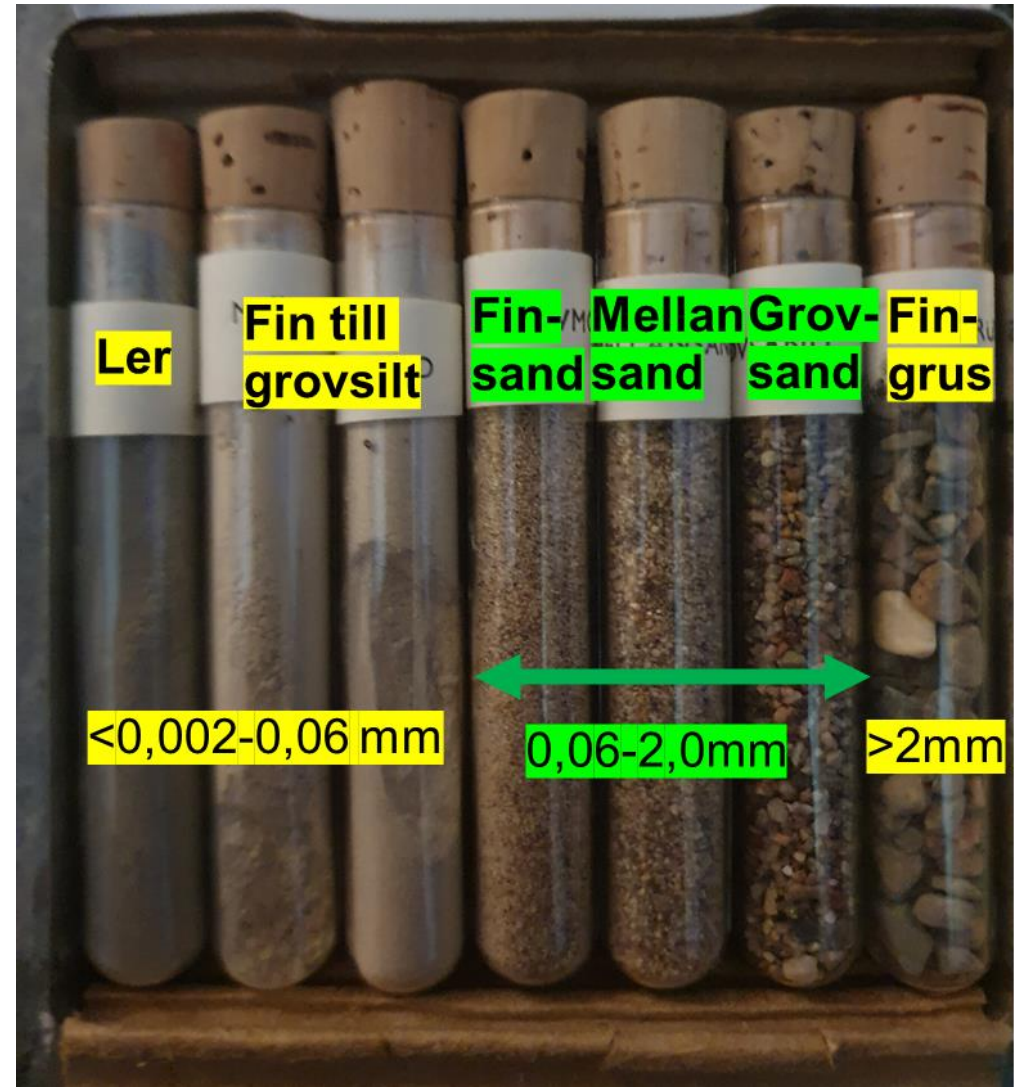
Mellansand

500m

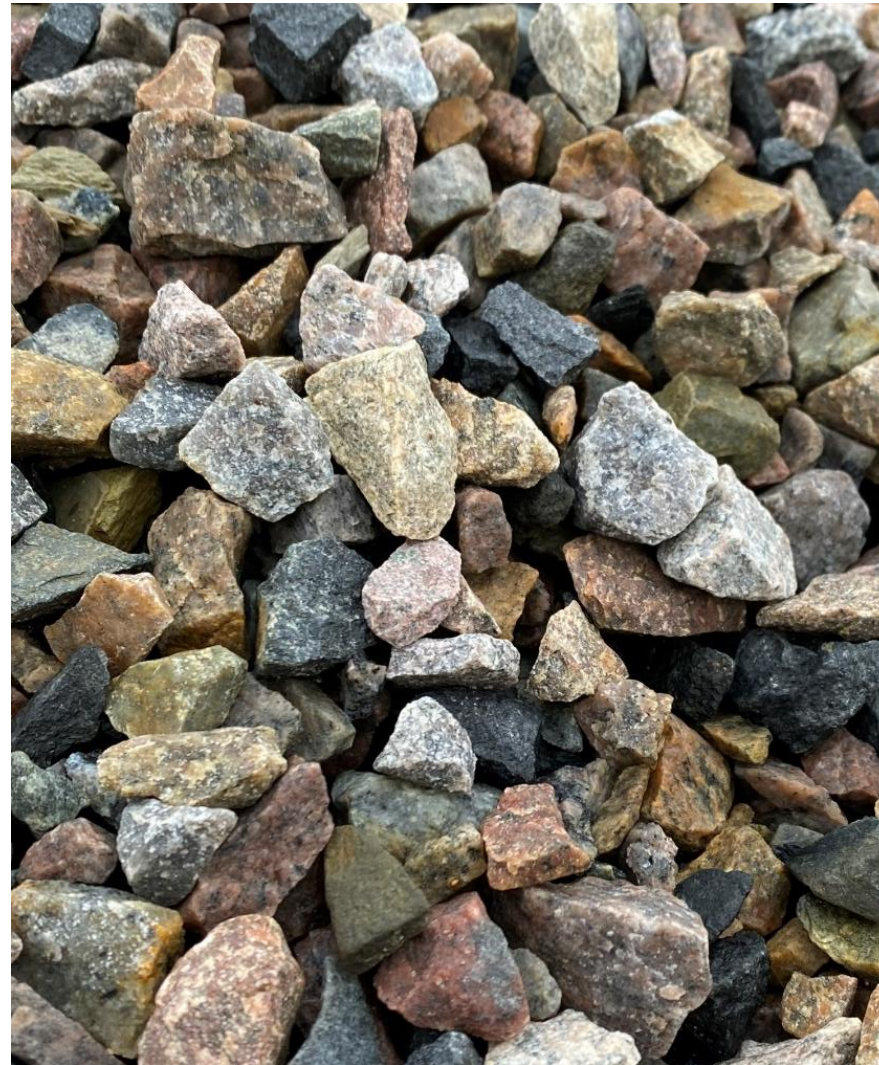
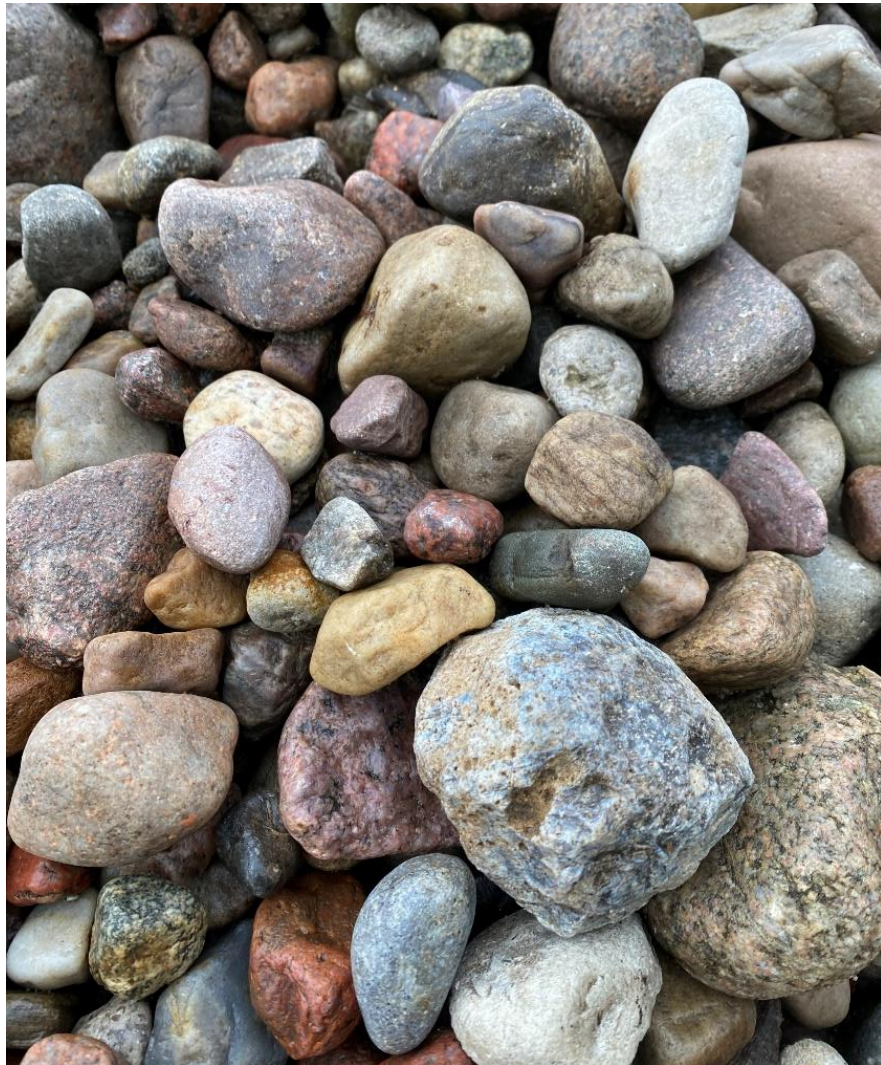
Sandkvalitet för Vombfältet

Förutsättningar:

- Fritt från finpartiklar
 - Tvättad sand
- Rätt mineralsammansättning
 - Kvartsdominerat
 - Glimmerfritt
- Fritt från oönskade ämnen
- Storleksfördelning:
 - 0,063-2mm
 - Skydda fältet
 - Rätt genomsläplighet
- Praktiskt genomförbart



Natursand vs Bergkross



Potential för bergkross?



- Bättre tillgång bergkross?
- Mer ekonomiskt?
- Hydrauliska egenskaper
 - Packningsgraden
 - Minskad genomsläpplighet
 - Ökning av fritt glimmer
- Mineralsammansättning
 - Kvartsdominerat
 - Svårt att hitta glimmerfria material
 - Stor variation
- Varierande reningsresultat

Stenmjöl

- Biprodukt
- Rätt kornstorleksfördelning (0-4mm)
- Men väldigt mycket finmaterial
- Måste tvättas i flera omgångar
- Upp till 30% behöver tvättas bort



Metallföroreningar

Jämfört med riktvärden för Vombfältet

- Alla hade för höga halter av:
 - Järn och kalium
- Alla hade för högt av minst en av följande:
 - Bly
 - Fosfor
 - Kadmium
 - Kobolt
 - Koppar
 - Krom
 - Strontium
 - Vanadin
 - Zink



Kvarstående frågetecken

- Tillgång och kostnad över tid
- Hydrauliska egenskaper (mer eller mindre)
- Utlakning
- Biofilmetablering
- Varierande reningsresultat
 - Organiskt material
 - Mikroorganismer
- Vittringen och igensättning över tid
- Föroreningar

Kolonnförsök och en större insamling prov



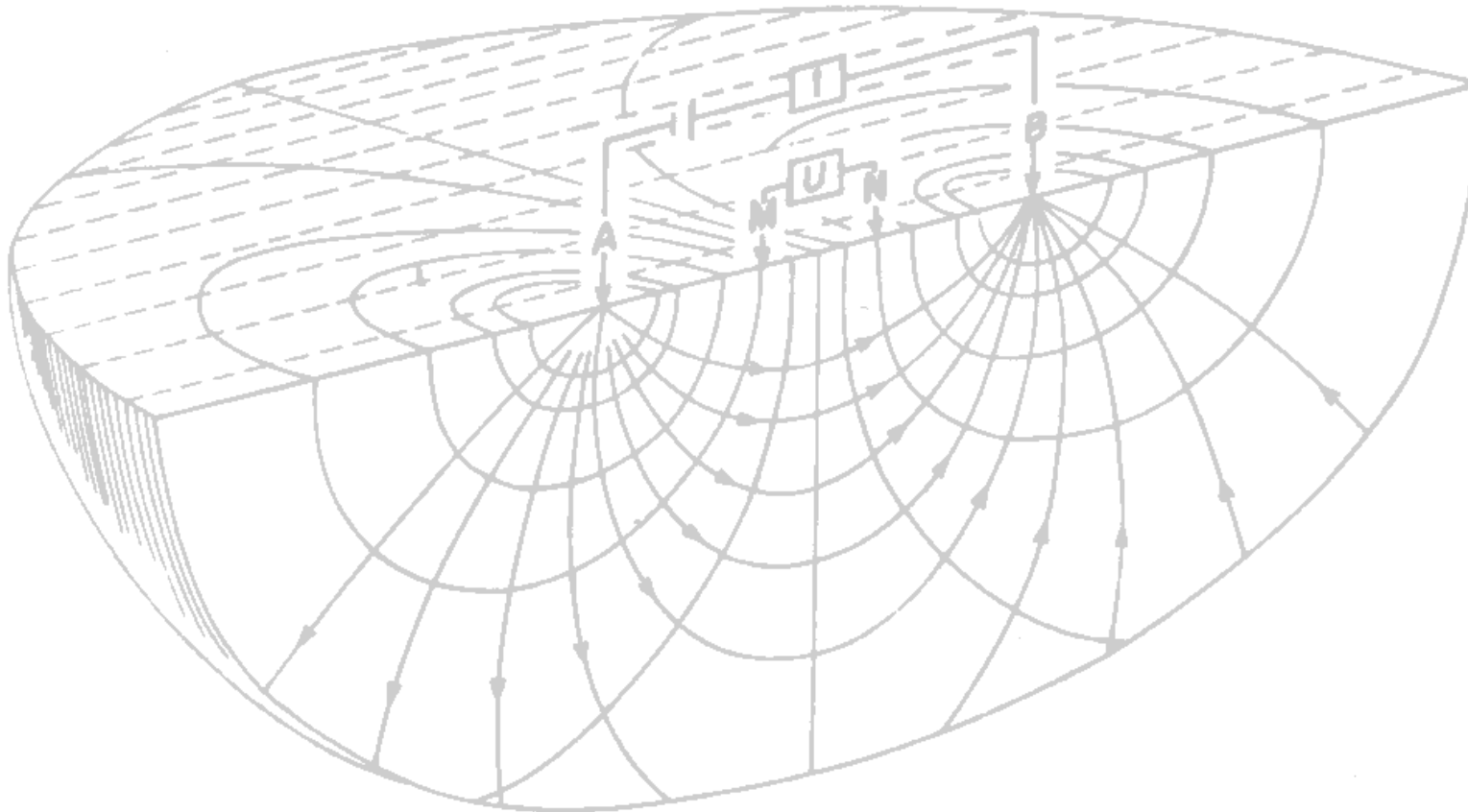
Tack!



Övervakning av infiltrationsdammar med geoelektrisk tomografi



LUND
UNIVERSITY



Interreg
North Sea



Co-funded by
the European Union

Torleif Dahlin, Professor

Teknisk geologi, LTH/Lunds universitet



Blue Transition

Upplägg

- Syfte
- Metodbeskrivning
- Exempel på olika tillämpningar
- Planerade installationer vid Vombverket
- Summering



Syfte



LUND
UNIVERSITY

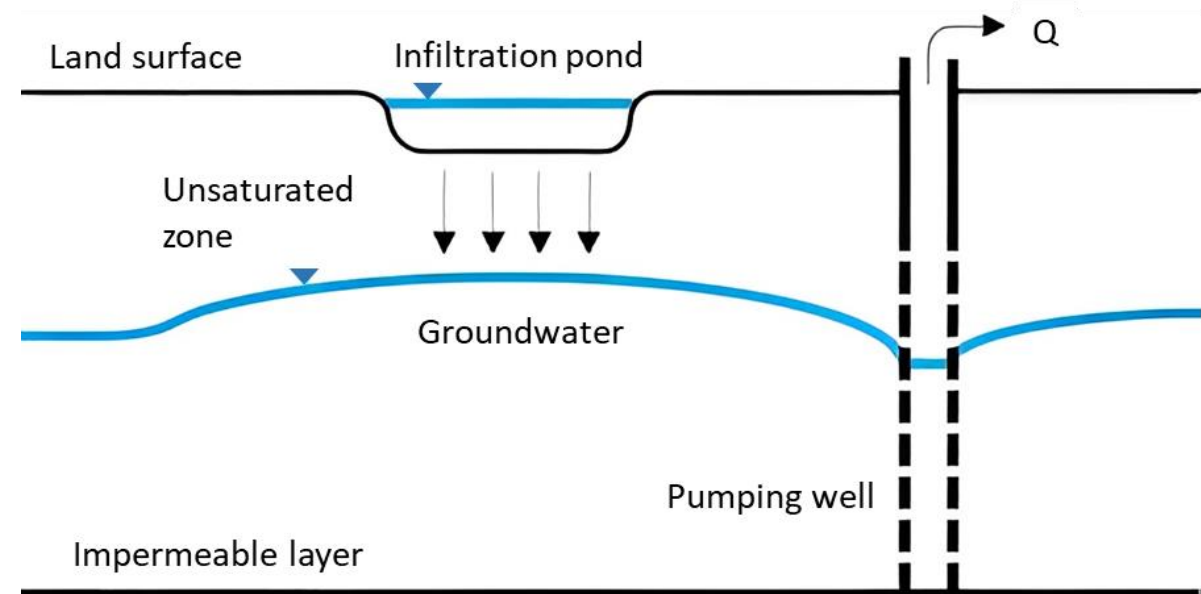
Önskvärt:

- Tillräckligt lång upphållstid i omättade zonen
- Jämnt fördelad infiltration och transport
- Minst 1 m omättad zon under infiltrationsdamm

Hur fungerar det i verkligheten?

Syfte att skapa bättre förståelse av:

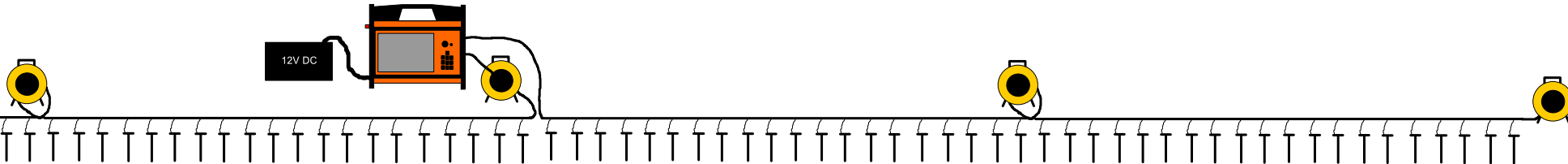
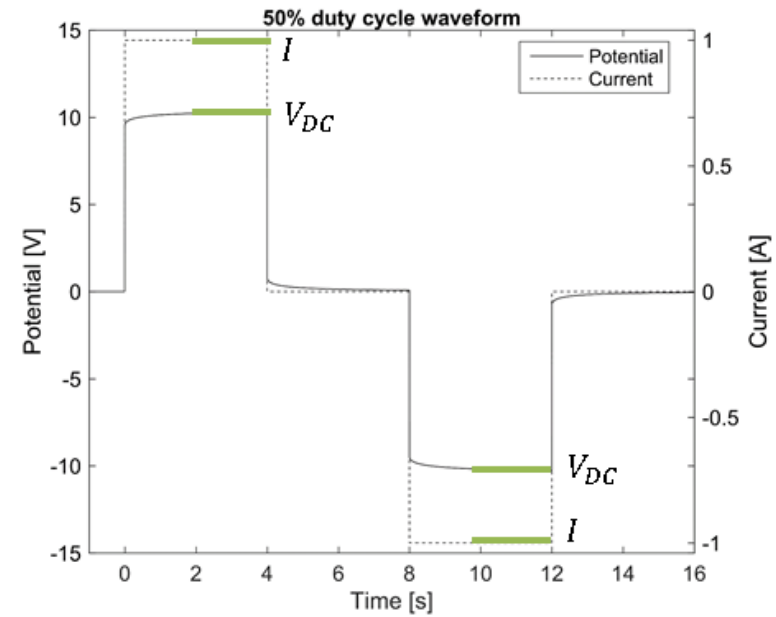
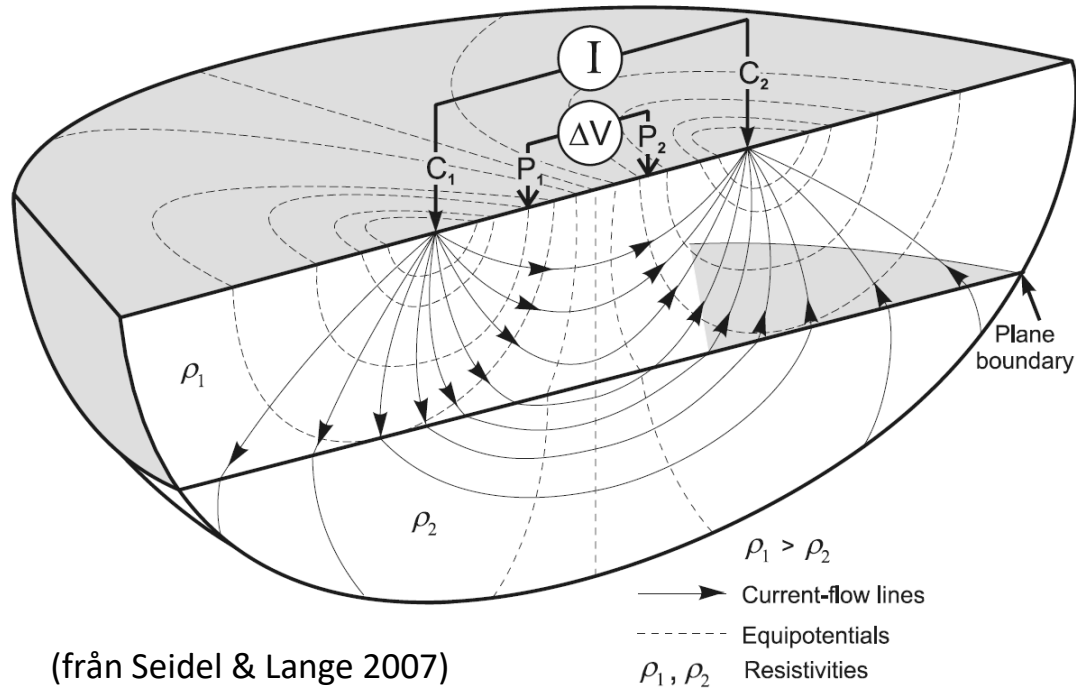
- Fördelning av infiltration, transport och innehåll av vatten i tid och rum
- Igensättning och bakterietillväxt?



Modified from: <https://inowas.com/mar/>

Resistivitet = specifikt elektriskt motstånd

Kartläggning av elektriska egenskaper i 1D, 2D, 3D eller 4D



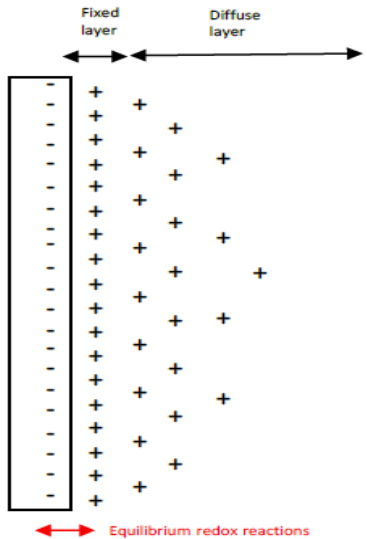
DCIP - DC resistivity and time-domain IP tomography



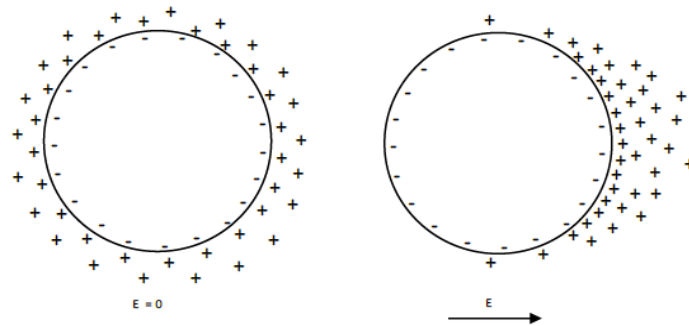
LUND
UNIVERSITY

Inducerad Polarisation (IP) = uppladdning pga förflyttning av laddningar / joner

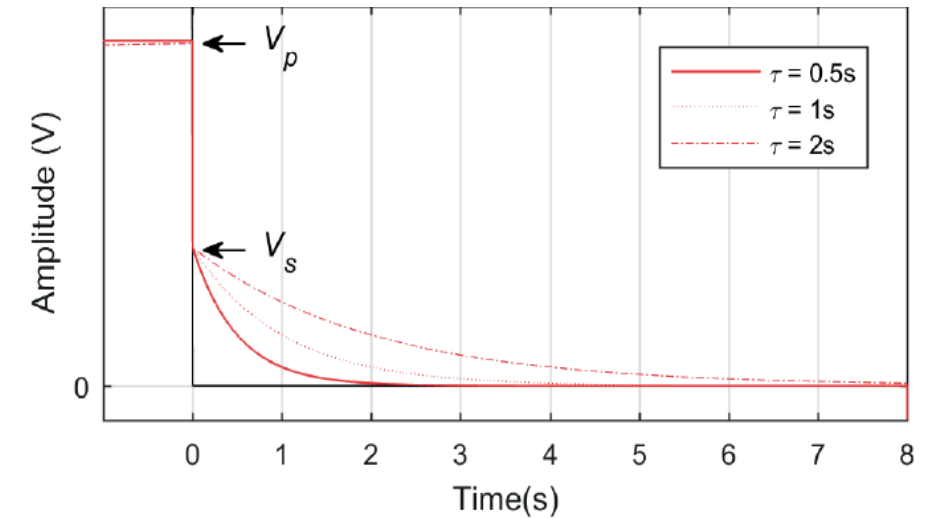
Electrical Double Layer (EDL) på mineralytor i vatten



Joner i EDL förskjuts när de utsätts för ett elektriskt fält

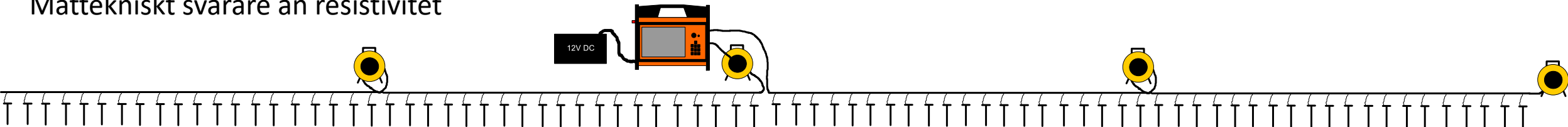


EDL, inre geometri, vätskeegenskaper, etc. leder till olika IP-avklingningar



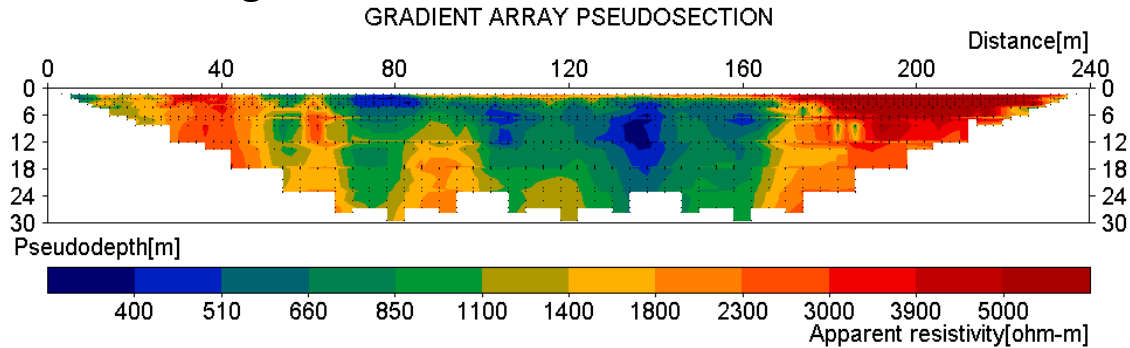
SIP (Spectral Induced Polarisation) = data mätta över ett brett frekvens- eller tidsintervall
Kan användas för beräkning av hydraulisk permeabilitet

Mättekniskt svårare än resistivitet

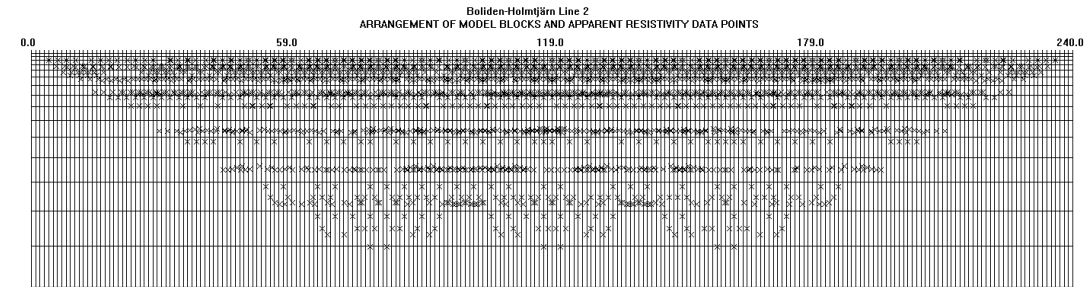


Databearbetning och -tolkning (2D)

Pseudosektion = uppmätta data efter ev. signalbehandling och filtrering



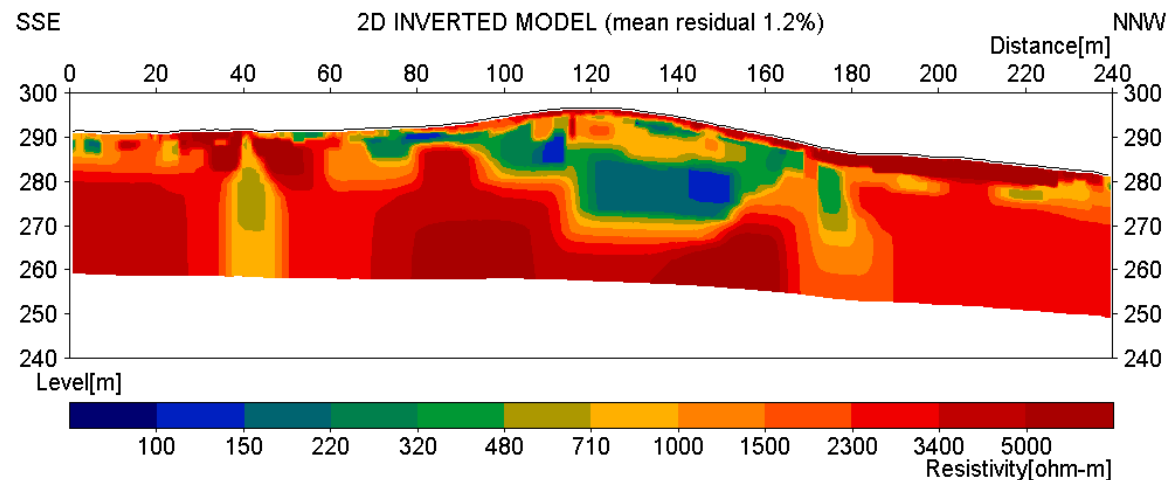
Inversion (invers numerisk modelltolkning) = iterativ anpassning av FEM-modell så att modellsvar och mätdata matchar varandra



□ Model block
× Data point
Number of model blocks 3600
Number of data points 2345
Number of model layers is 15
Unit electrode spacing 1.00 m.
Minimum pseudodepth is 1.07. Maximum pseudodepth is 29.7.
Number of electrodes is 241.



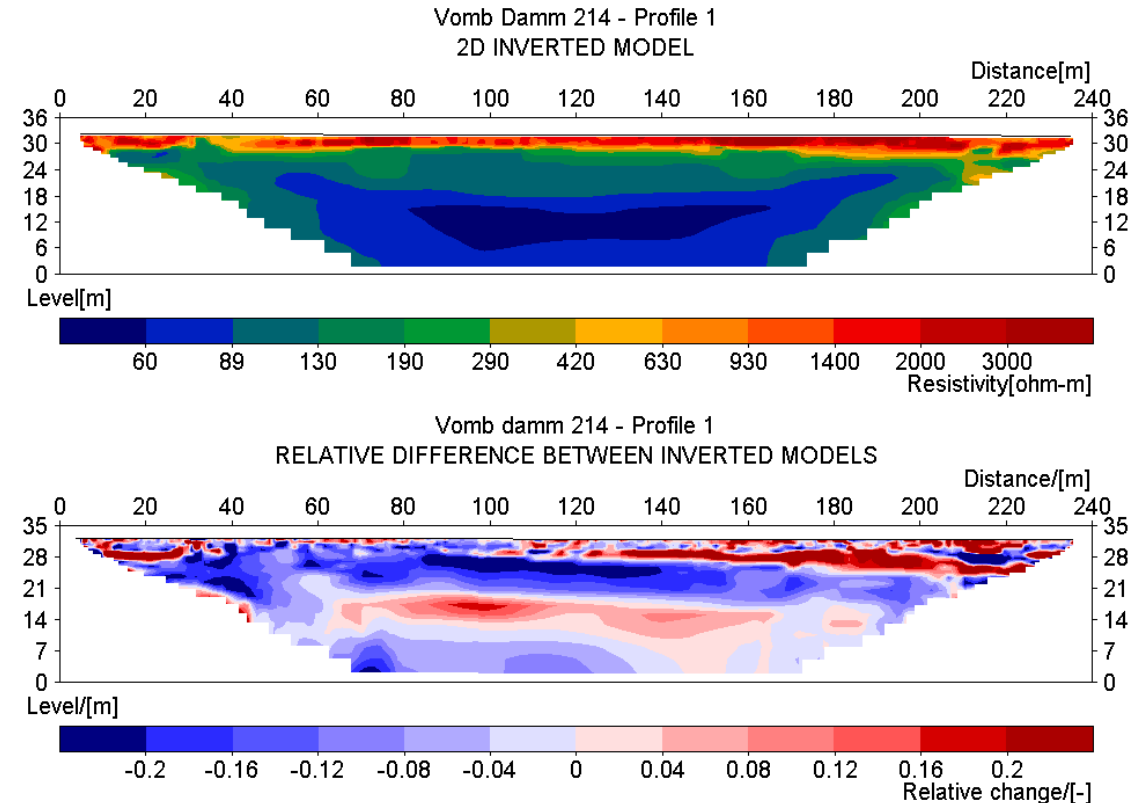
Modellsektion = tolkad modell av resistiviteten i vertikalt tvärsnitt genom marken



Samma inversionsprogramvara kan användas till DCIP (mer eller mindre avancerat beroende på program)

ERT längs dammvall före och efter att vattenfylling påbörjats

- Mätning 2011-04-19 och 2011-05-18
- Ca 10 cm vattendjup i halva dammen
- Grundvattennivå 28,3 m
- Sänkning av resistivitet under gr.v.y. orsakad av varmare infiltrationsvatten? Ökning ovan den p.g.a. uttorkning?



Utfört inom ramen för kandidatarbete:

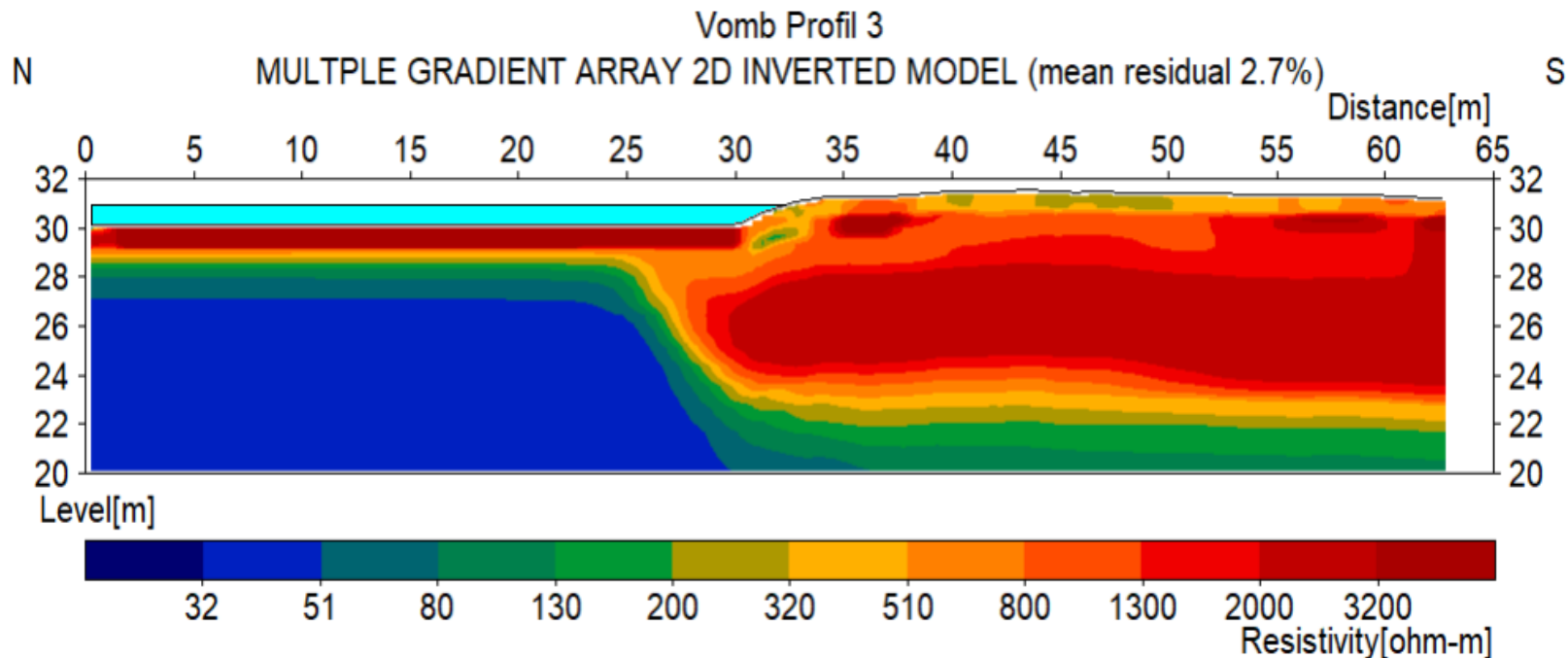
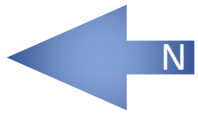
Löfgren A. (2011) *Undersökning av geofysiska metoders användbarhet vid kontroll av den omättade zonen i en infiltrationsdamm vid Vombverket*. Examensarbete 15 hp, Nr. 284, Geologiska inst., Lunds universitet, 33 p.

Resistivetsmätning över dammvall och i vattenfylld damm

Lägre resistivitet på ytligare nivå under infiltrationsdammen visar förhöjd grundvattennivå där



LUND
UNIVERSITY



OBS: Troligt fel i vattendjup eller vattenresistivitet i inversionsmodellen => orimligt (?) hög resistivitet i översta sandskiktet under dammen

Test med studenter på kursen Fältundersökningsmetodik i samarbete med Sydsvatten.

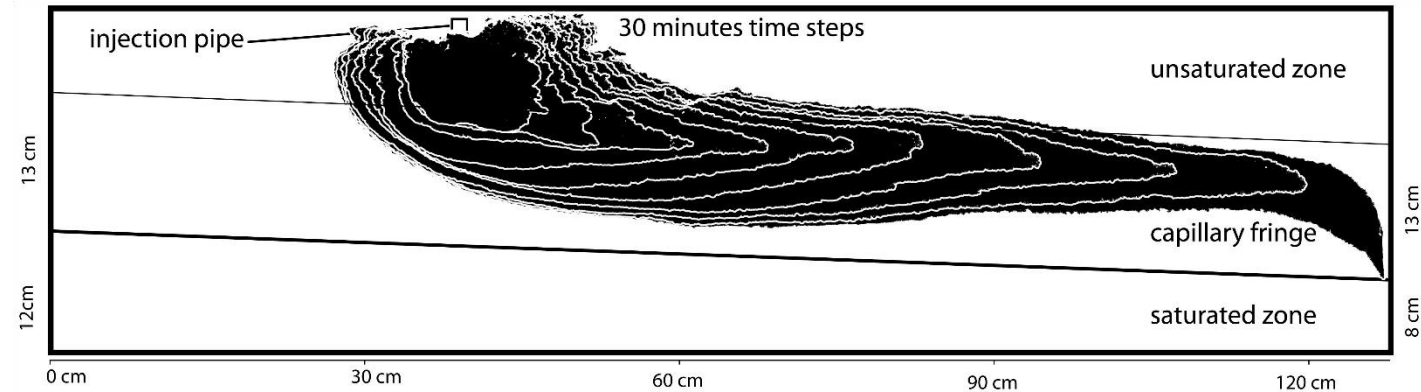
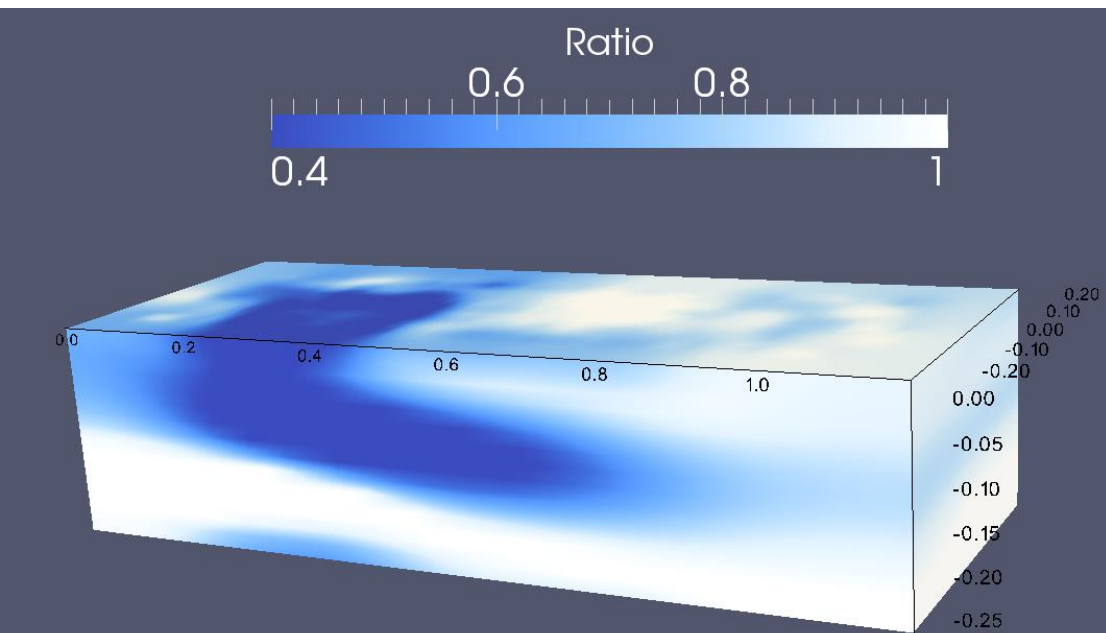
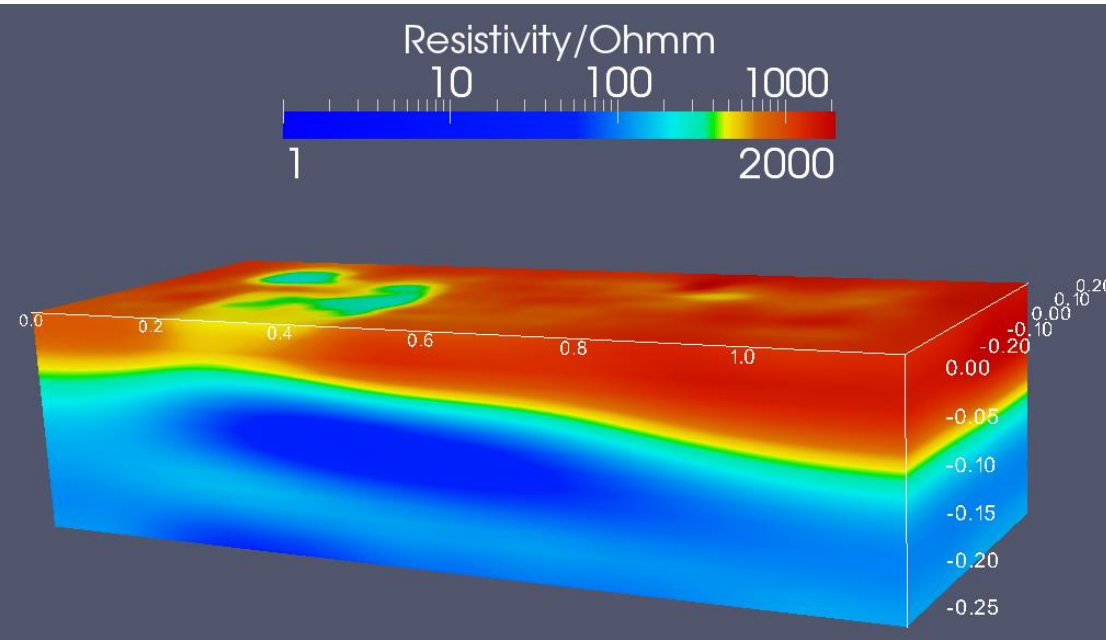
Preliminära resultat.

Injektering av spårämne i den omättade zonen



LUND
UNIVERSITY

All spårämnestransport skedde i den kapillära zonen

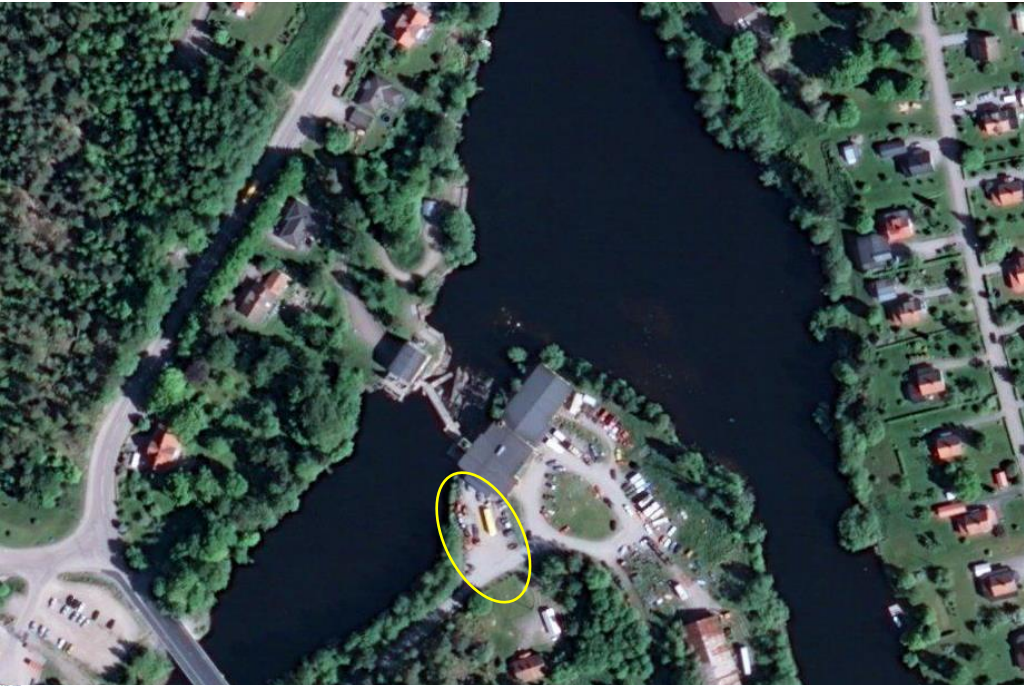


Persson M., Dahlin T. & Günther T. (2015) Observing solute transport in the capillary fringe using image analysis and electrical resistivity tomography in laboratory experiments, *Vadose Zone Journal*, 14(5), 1-11.

Kroppstafors Embankment Dam Leakage Detection



LUND
UNIVERSITY



Problems with water leakage and subsidence

Short term monitoring approach:

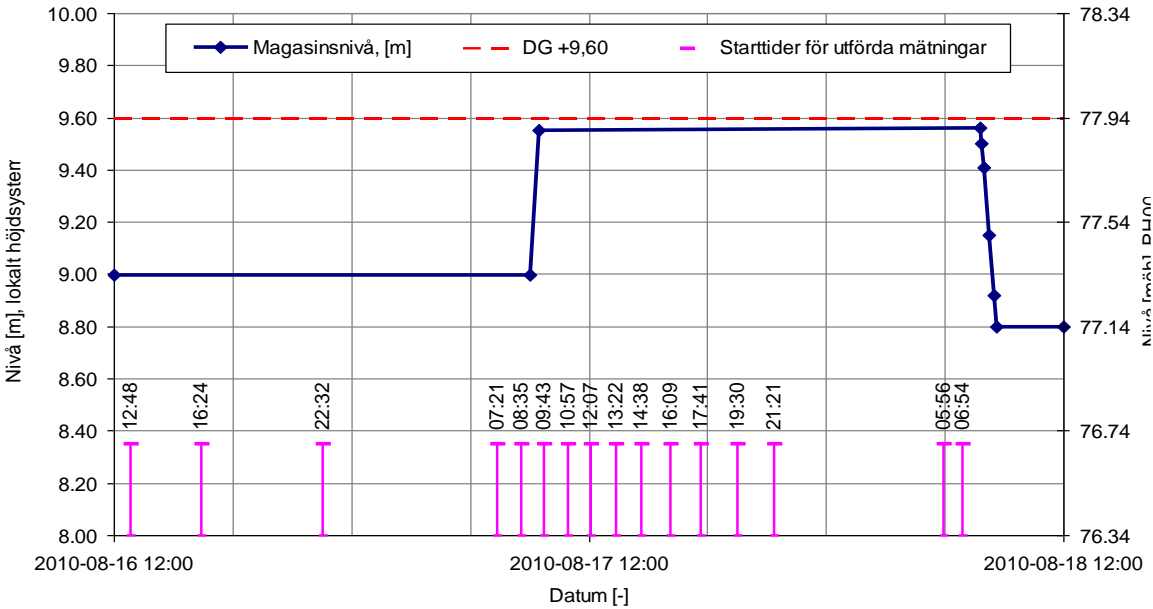
- Drilling through pavement
- Bentonite + water in holes for electrode contact
- Measurements before, during and after raising reservoir level



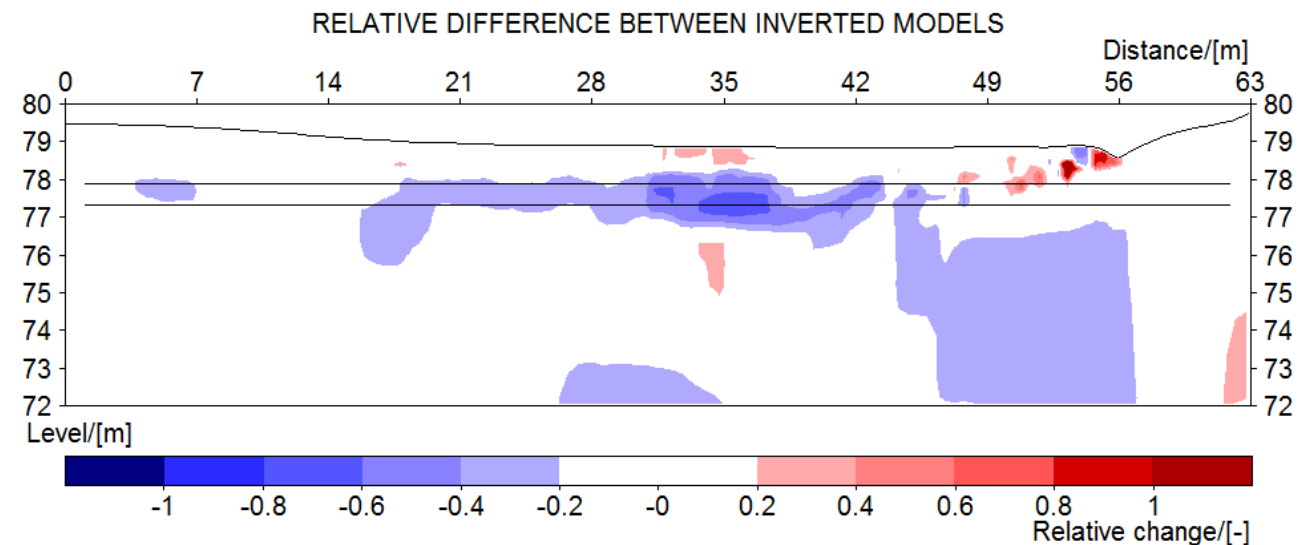
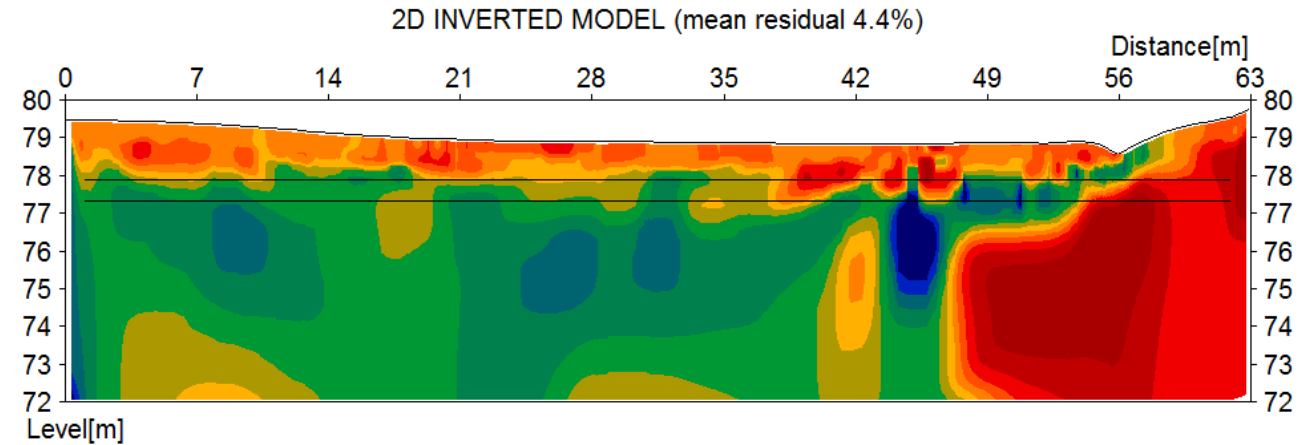
Embankment Dam - Timing vs. Reservoir Level



LUND UNIVERSITY



Zoner med lägre resistivitet efter höjning av magasinet visar läckagevägarna

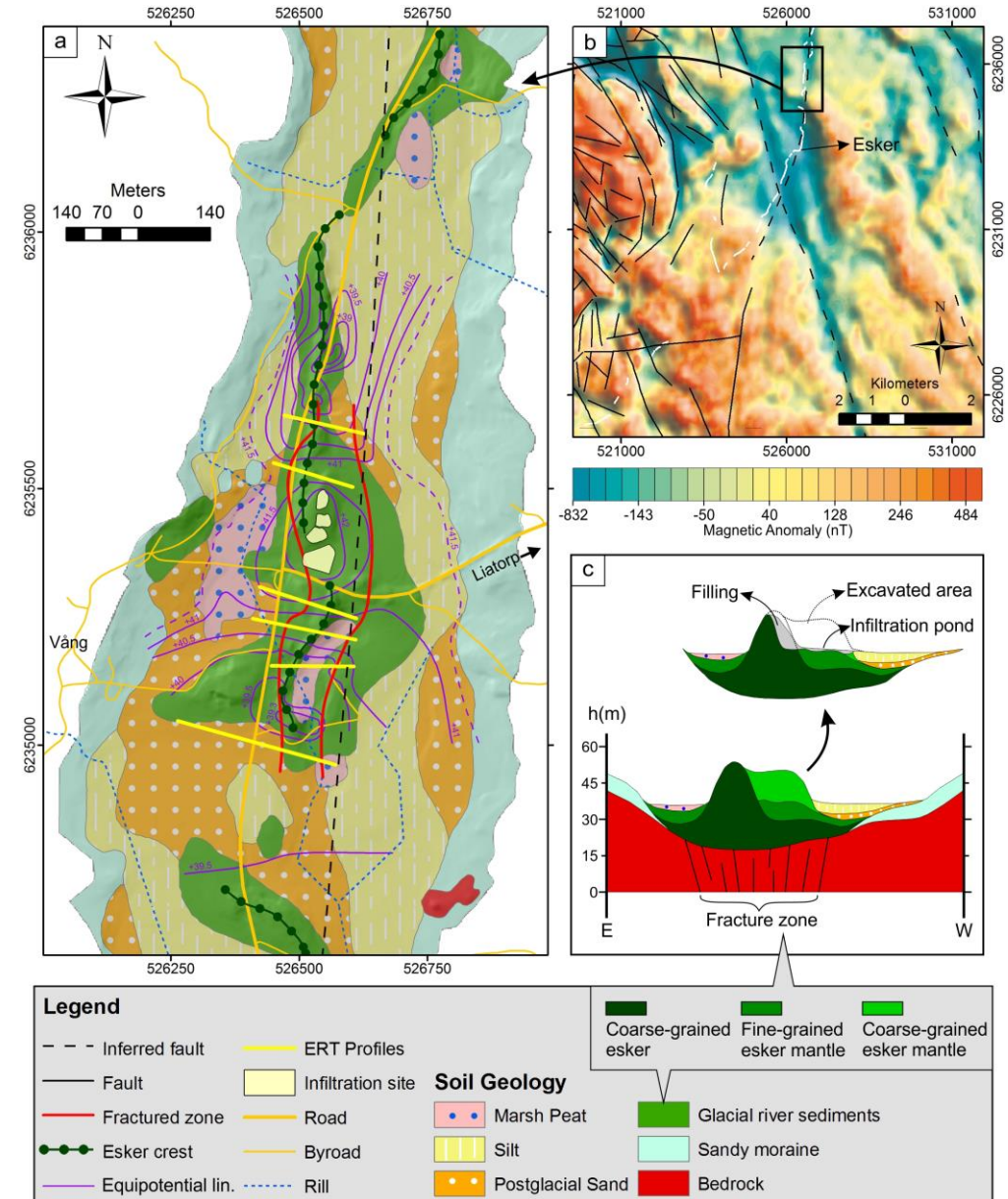


Spårämnesförsök i Johannishusåsen



LUND
UNIVERSITY

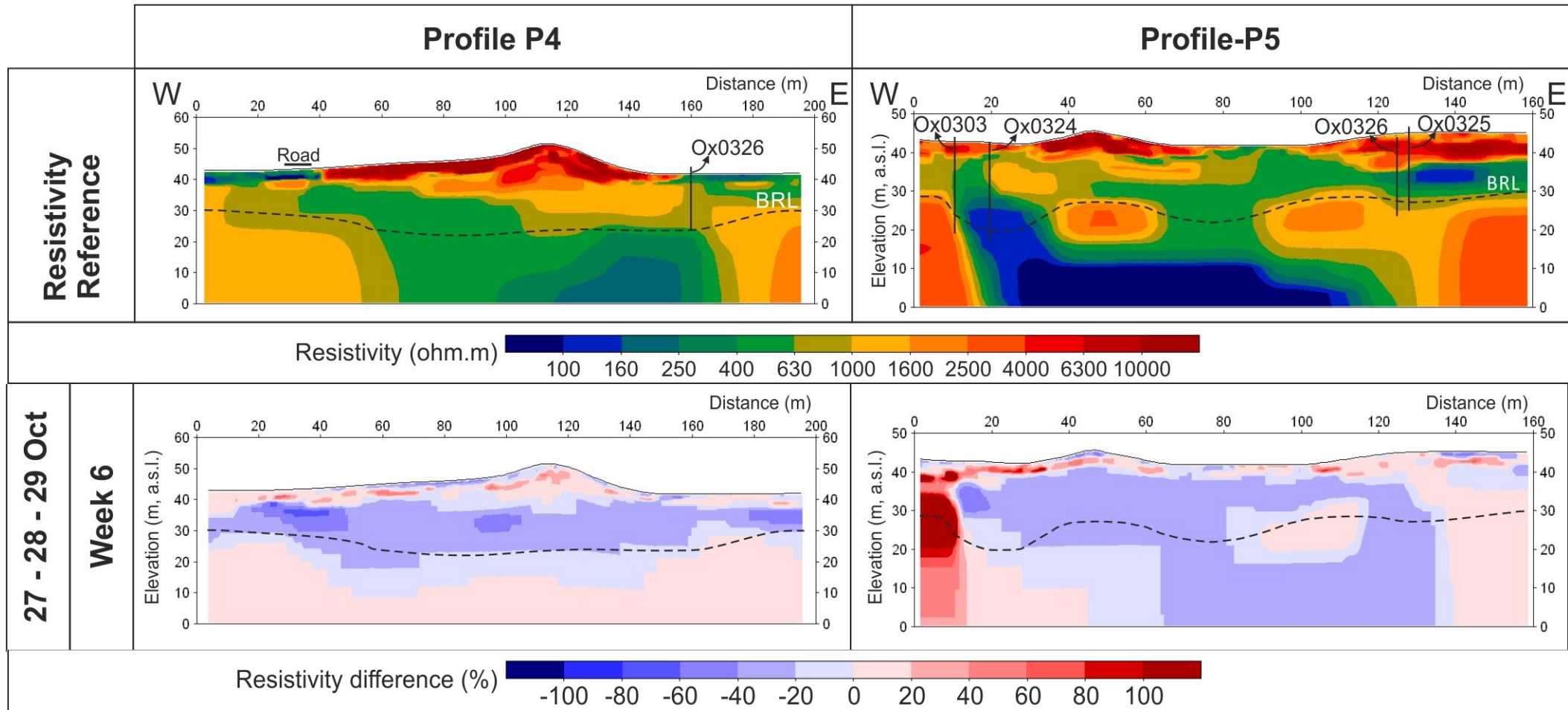
- Syfte att skapa bättre förståelse för vart vatten från infiltrations-dammarna tar vägen
- Provtagning i brunnar vid spårämnesförsök med salt missade det mesta av saltet
- Nytt försök med 15 ton NaCl under 6 dagar
- Spårämne plus upprepad ERT längs 6 linjer



Spårämnesförsök i Johannishusåsen



LUND
UNIVERSITY



Zoner med sänkt resistivitet indicerar flödesvägar för spårämne (undre halvan av sektionerna ska inte övertolkas p.g.a. dålig upplösning och 3D-effekter)

Planerade installationer Damm 11, Vombverket

- Fast installerat mätsystem för geoelektrisk tomografi (DCIP = kombinerad resistivitet – spektral inducerad polarisation)
- Mätning med kompletterande metoder
- Inversmodellering och analys
- Syfte att skapa bättre förståelse för:
 - fördelning av infiltrerat vatten i tid och rum
 - biologiska processer?

Renovering av Damm 11



Foto: Kristofer Hägg

Planerade installationer Damm 11, Vombverket



LUND
UNIVERSITY



- Line WE
128 (+32?) electrodes
c/c 1.0 m
Active length 127 m (+32 m?)
Lead-in 10 m
- Line SN
128 electrodes
c/c 1.0 m
Active length 127 m
Lead-in 70 m
- Line SN downstream
128 electrodes
c/c 1.0 m
Active length 127 m
Lead-in 10 m?



Interreg
North Sea



Co-funded by
the European Union

Blue Transition

Planerade installationer Damm 11, Vombverket



LUND
UNIVERSITY

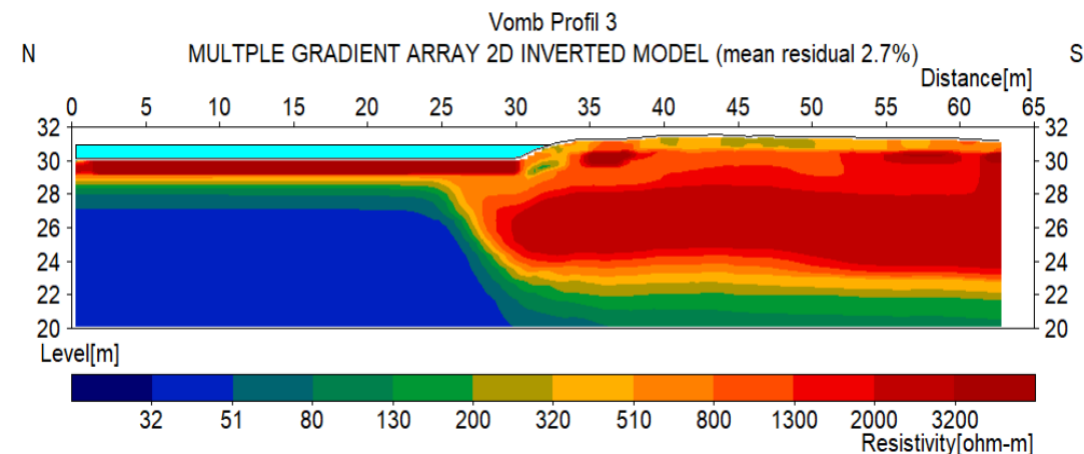


- Mätssystem för DCIP :
 - Mätinstrument (64 elektroder, 8 mätkanaler)
 - Reläväxel (64 => 512 elektroder)
 - Åskskydd
 - Industri-PC
 - Nätverksrouter
 - Automatiserad daglig mätning
 - Automatiserad dataöverföring till server
- Grundvattennivåer – tryckgivare
- Temperaturmätning - DTS (distributed temperature sensing och Pt1000)
- Vattenhaltsmätning - TDR (time-domain reflectometry)
- Provtagning och analyser



Summering

- Övervakning med ERT => information om förändringar i vatteninnehåll och – temperatur i 2D/3D
- DCIP => beräkning av hydraulisk permeabilitet i 2D / 3D (mättad zon)
- Övervakning med DCIP => information kopplad till bakterietillväxt och igensättning av sandfilter i 2D / 3D?
- Information från kompletterande metoder nödvändig för korrekt tolkning
- ERT/DCIP kan anvisa var kompletterande metoder ger mest representativ information



Erfarenheter från 10-års undersökningar av Uppsalas konstgjorda infiltration



Vallskog infiltrationsbassänger

Philip McCleaf, Gruppchef Process och utveckling, Uppsala Vatten och Avfall

29 november 2023

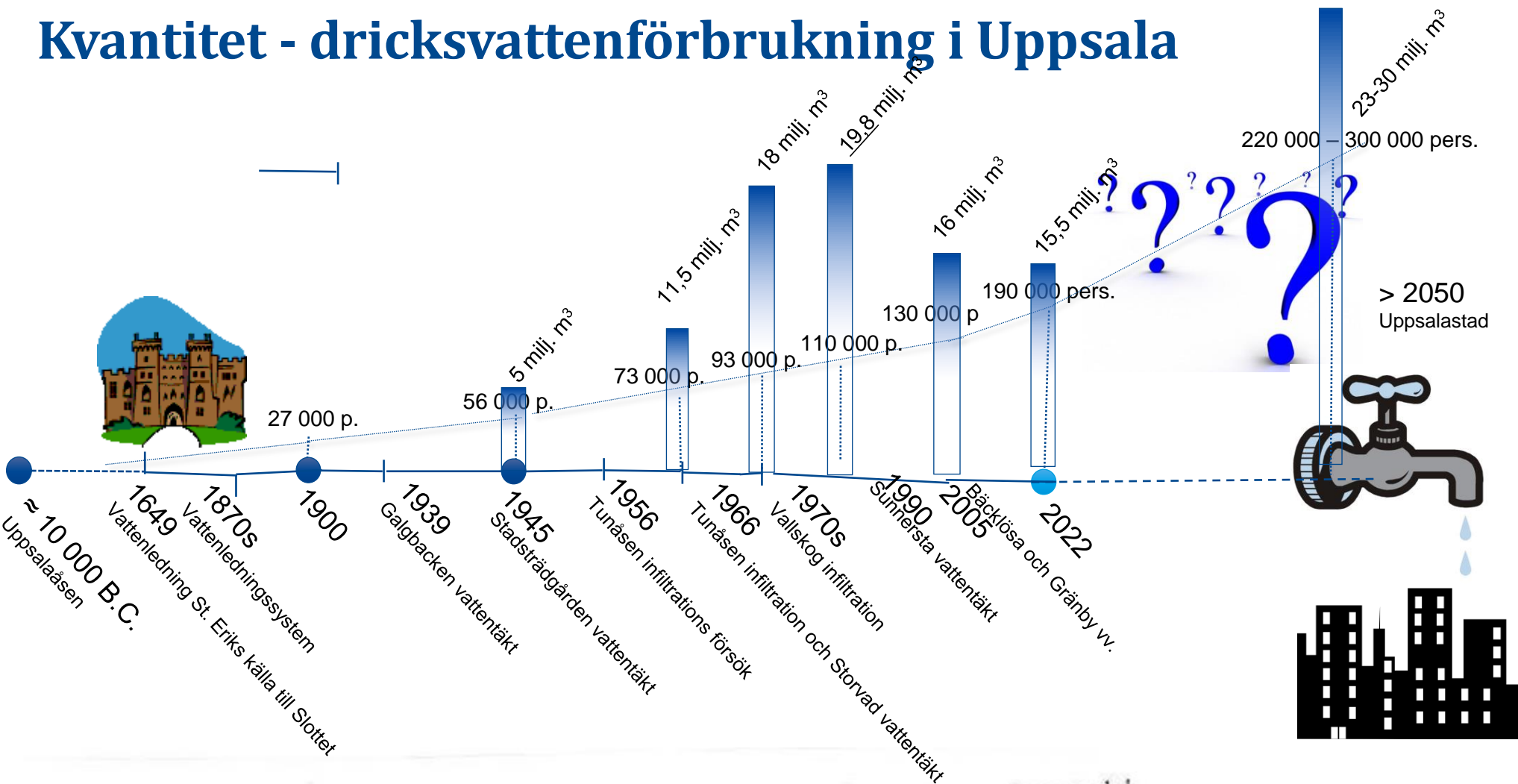
Seminarium: Konstgjord grundvatteninfiltration

Dagens presentation

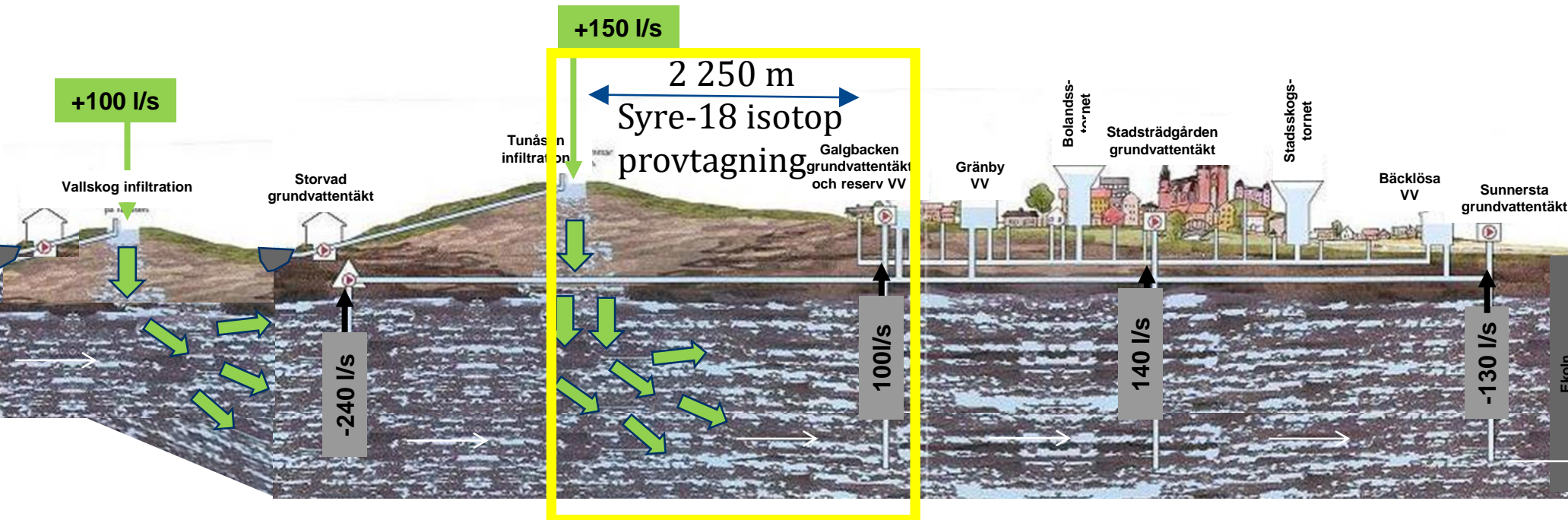
- Uppsalas konstgjordinfiltration
- Isotop som verktyg
- Vattenkvalitet
- DOC



Kvantitet - dricksvattenförbrukning i Uppsala

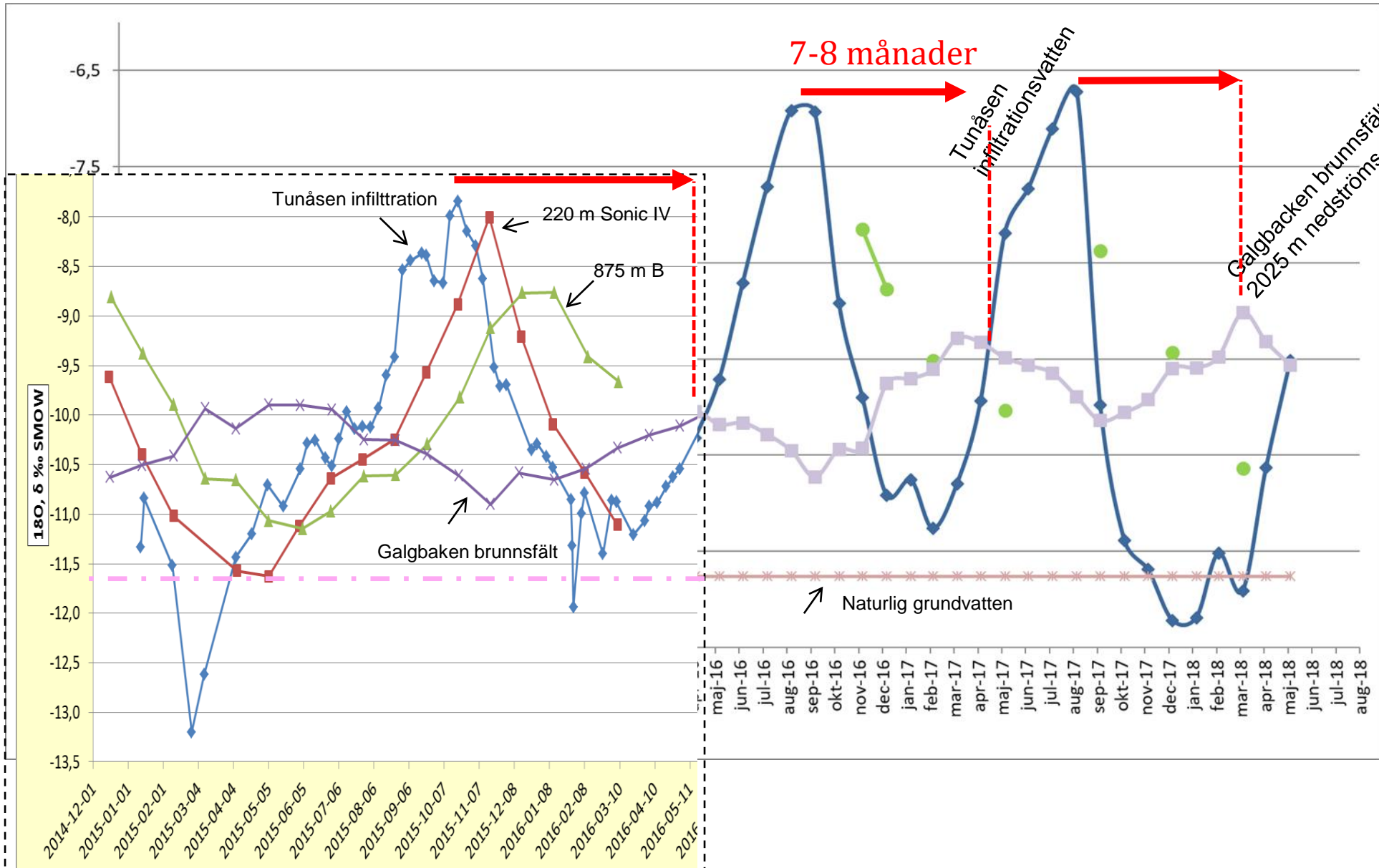


Bakgrund - vattenförsörjning i Uppsalaåsen

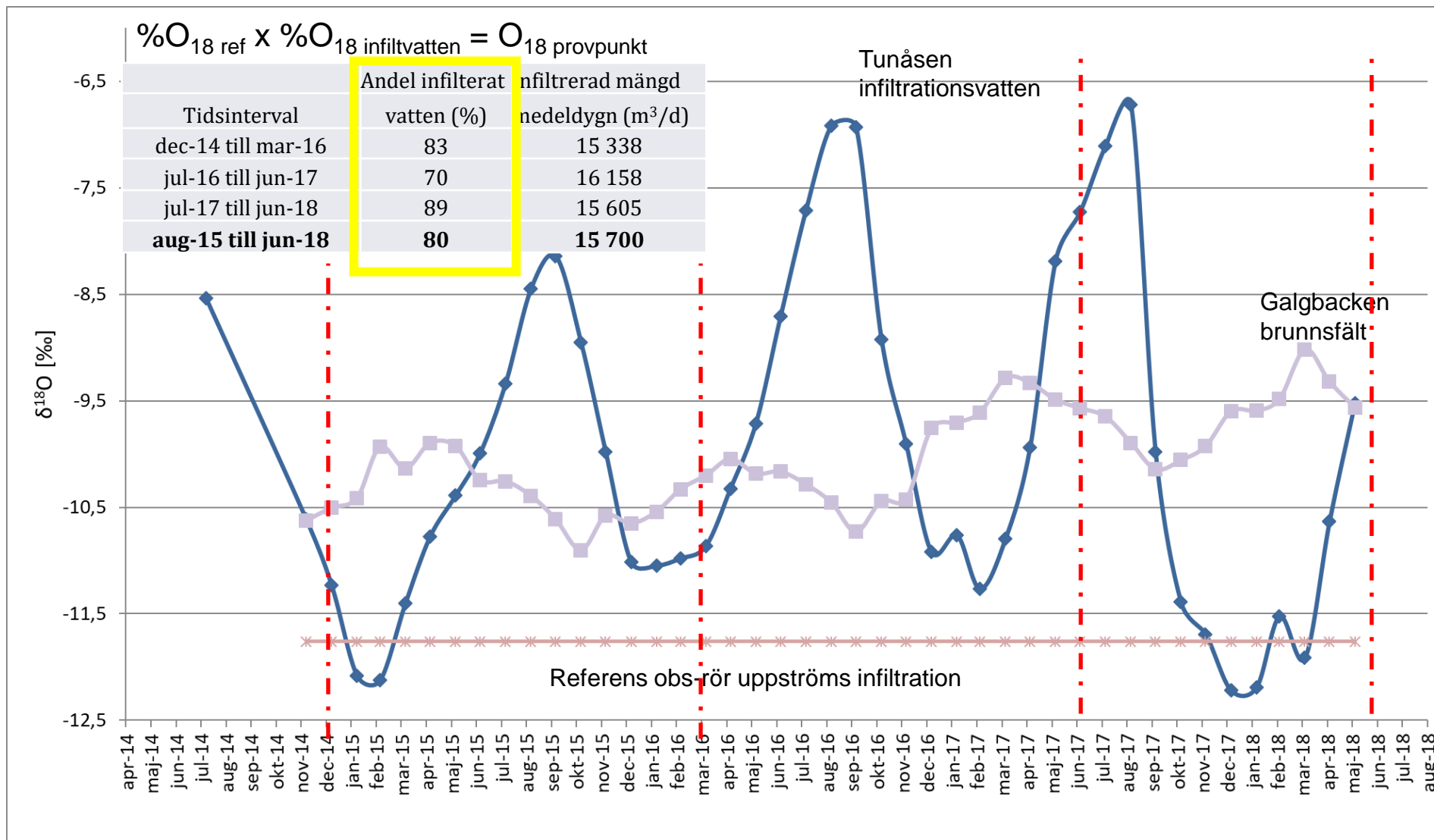


- Idag infiltreras 8,5 milj. m³/år (medelvärde 2008-2015)
- Vattenkvalitet frågor – DOC, PFAS, hårdhet, brom

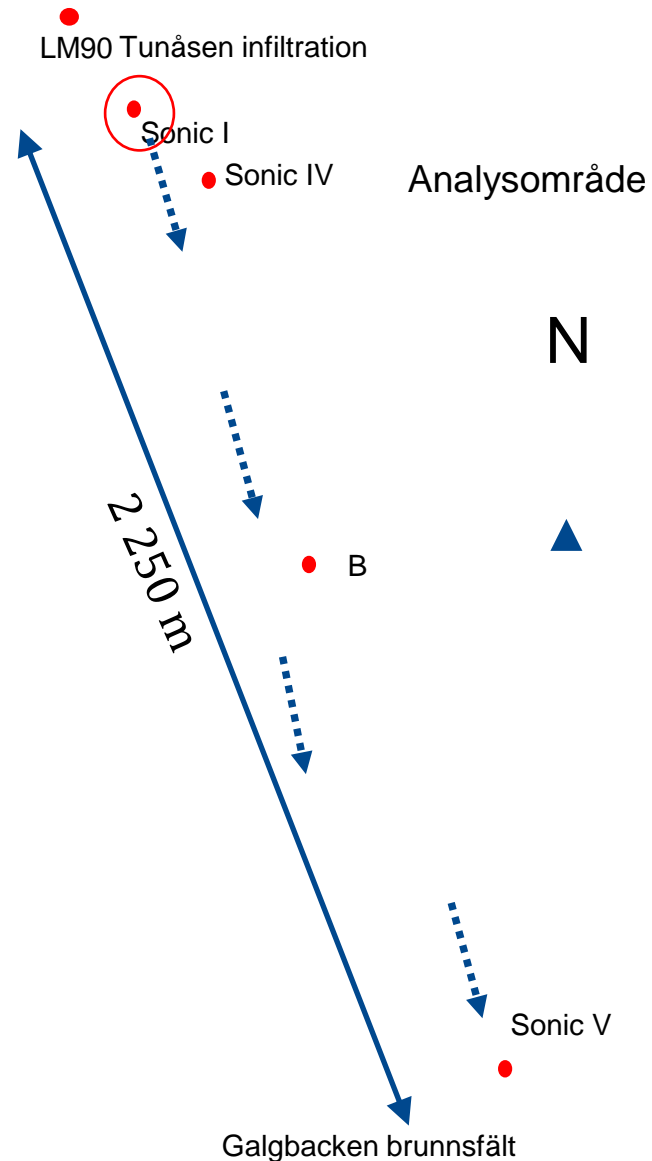
Tidsserier från fortsatt delta 0-18 isotop provtagning



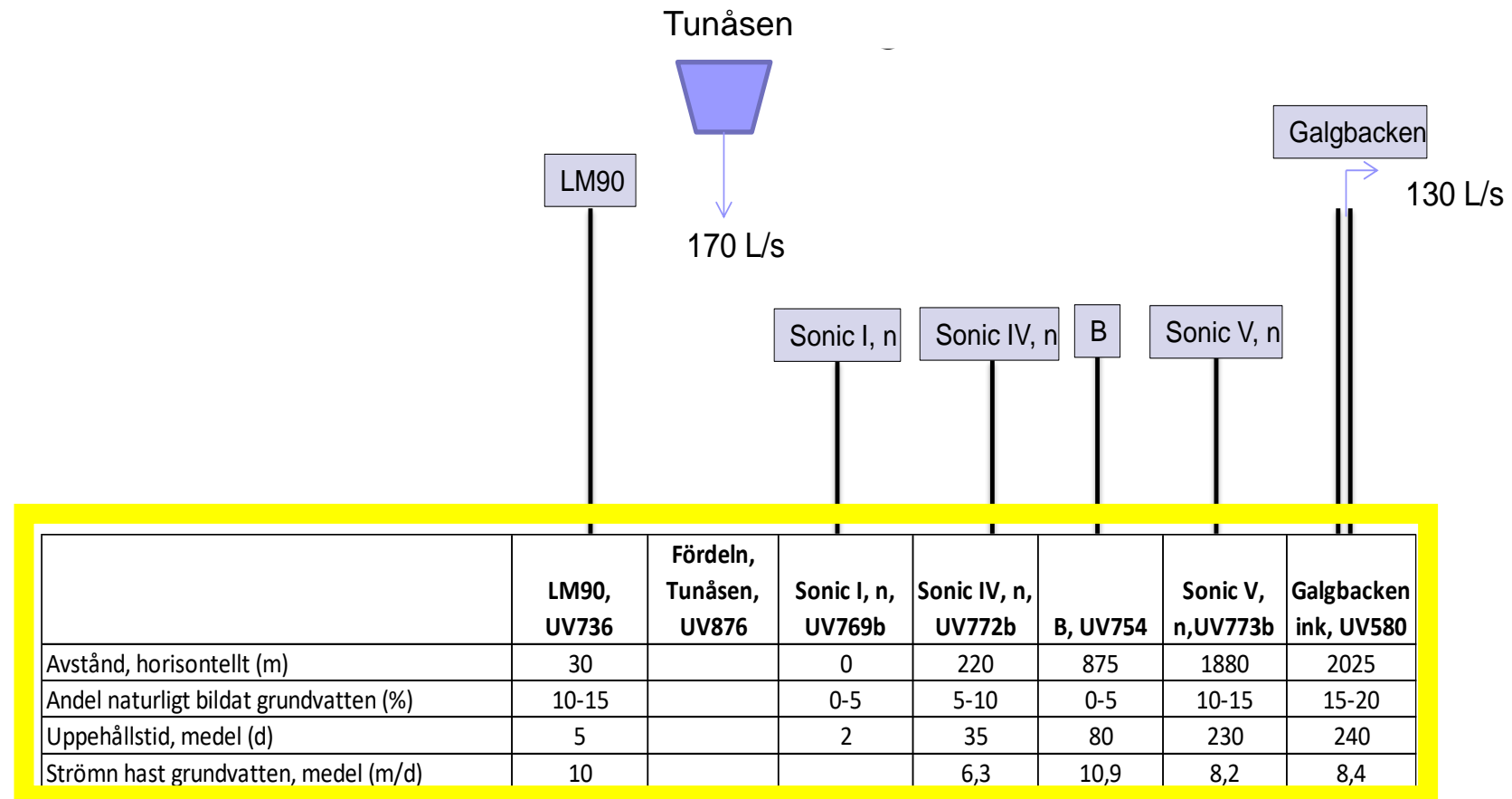
Andel av infiltrerat vatten varierar vid Galgbackens brunnfält



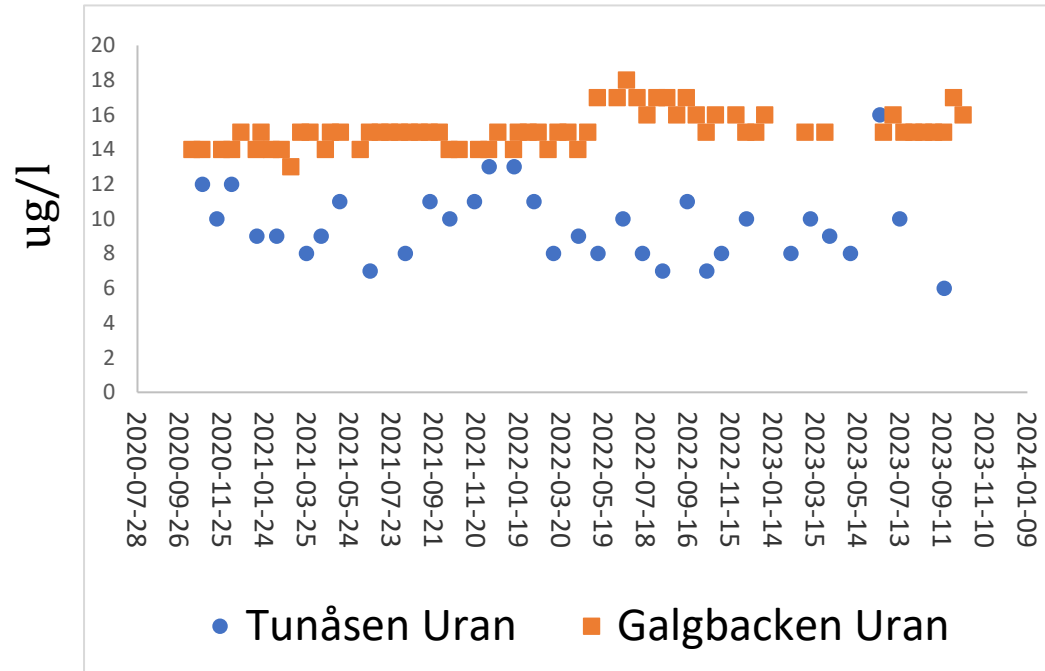
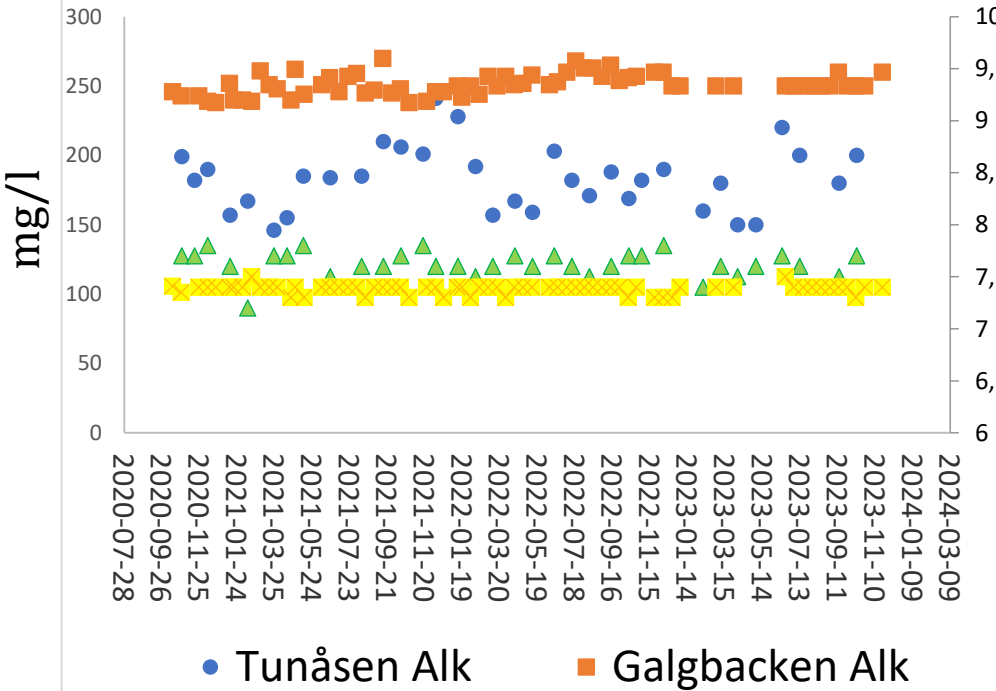
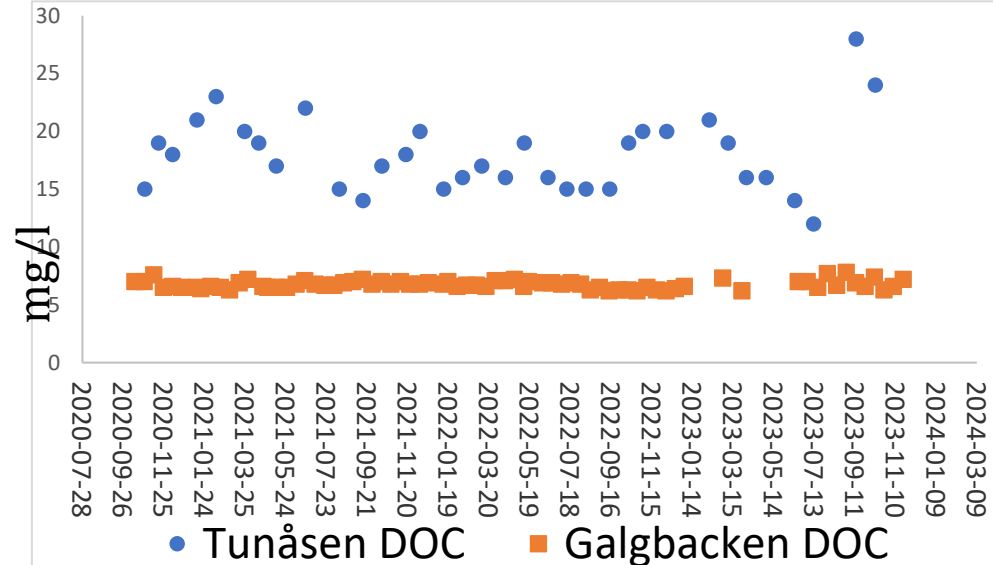
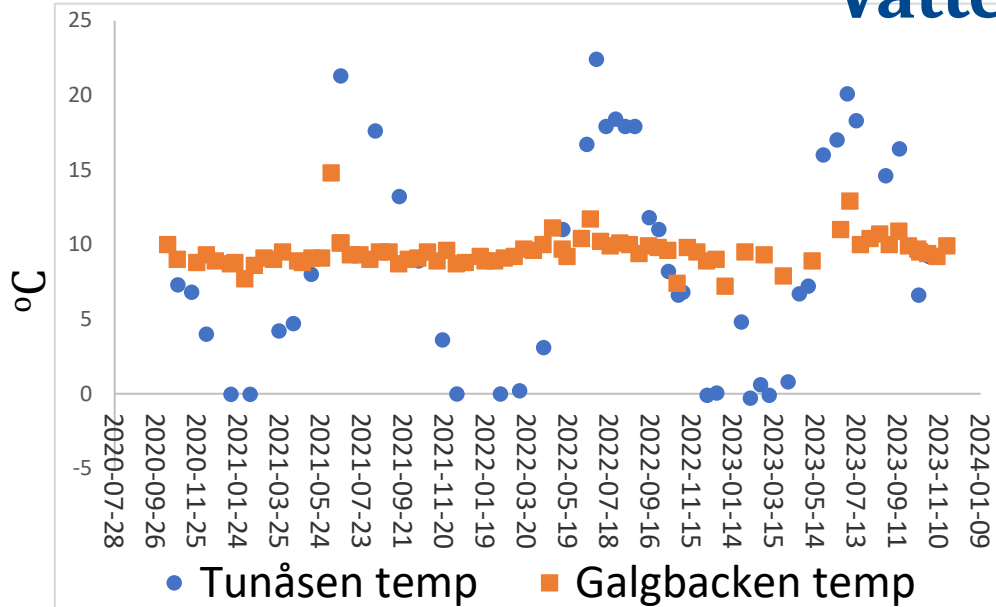
Uppskattning av utspädningsförhållanden och uppehållstider – Tunåsen-Galgbacken



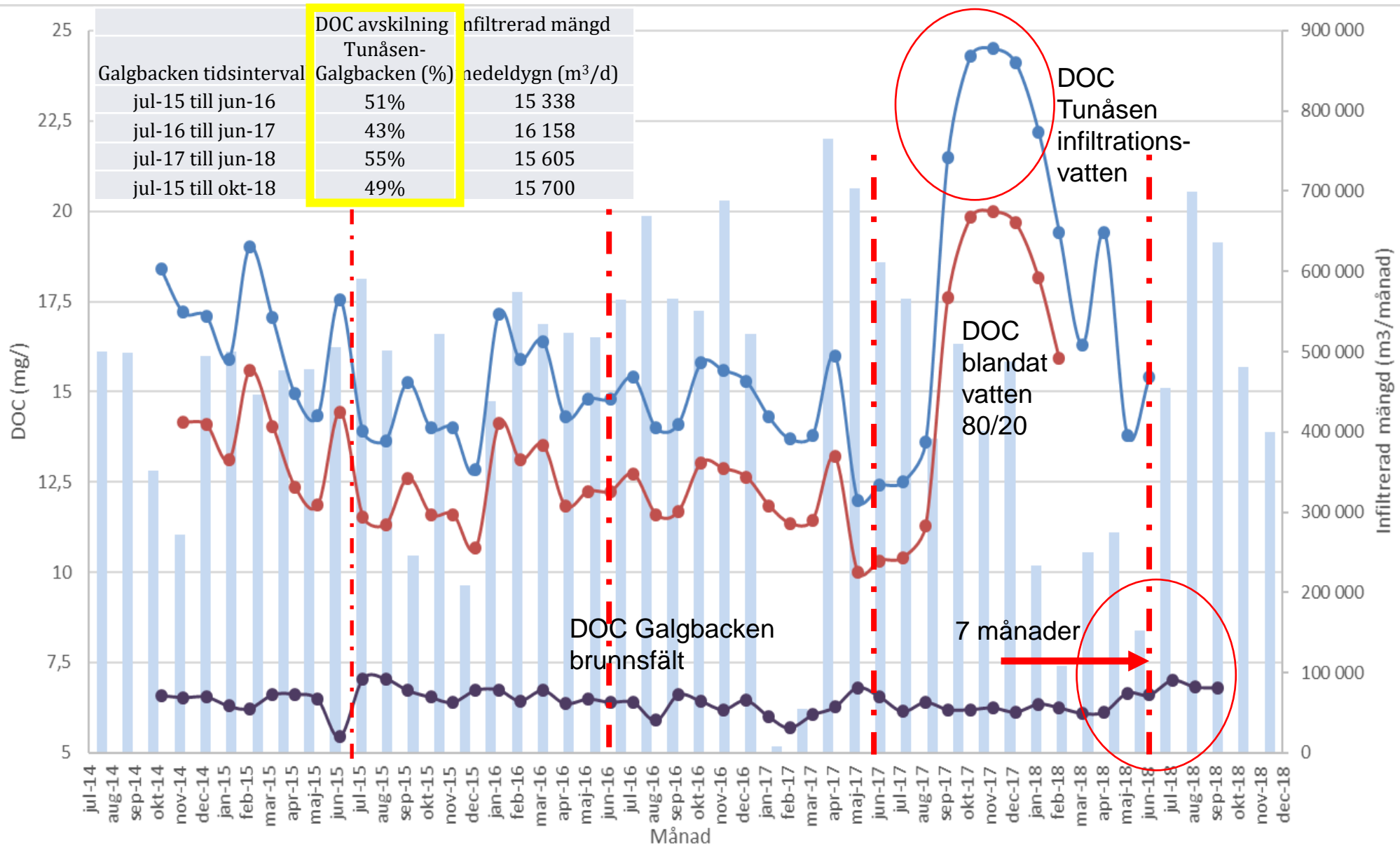
Data från dec -14 till jun-16



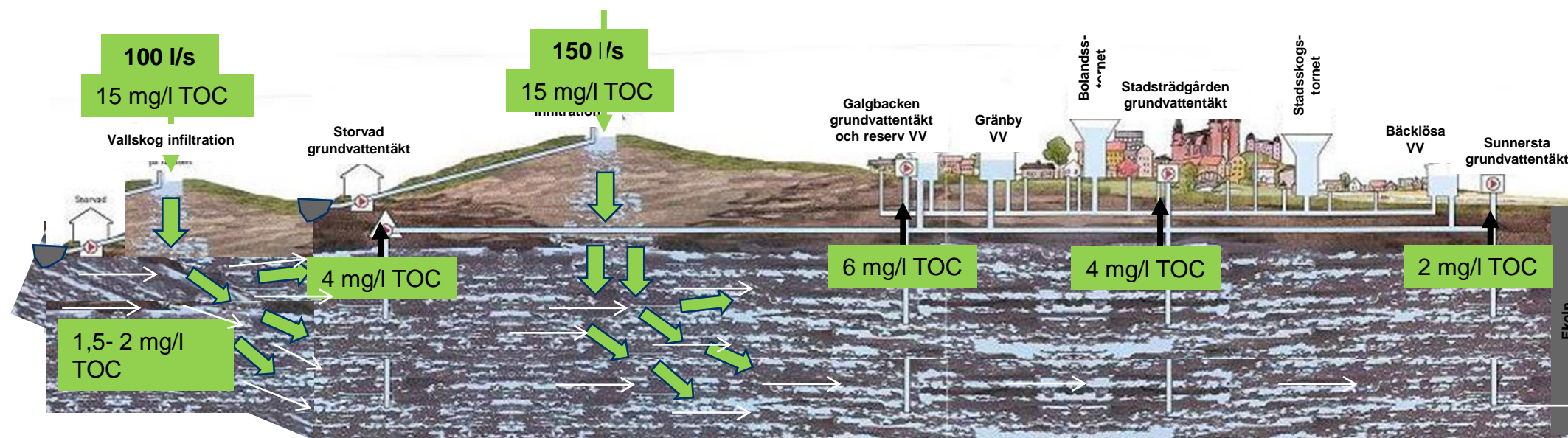
Vattenkvalitet



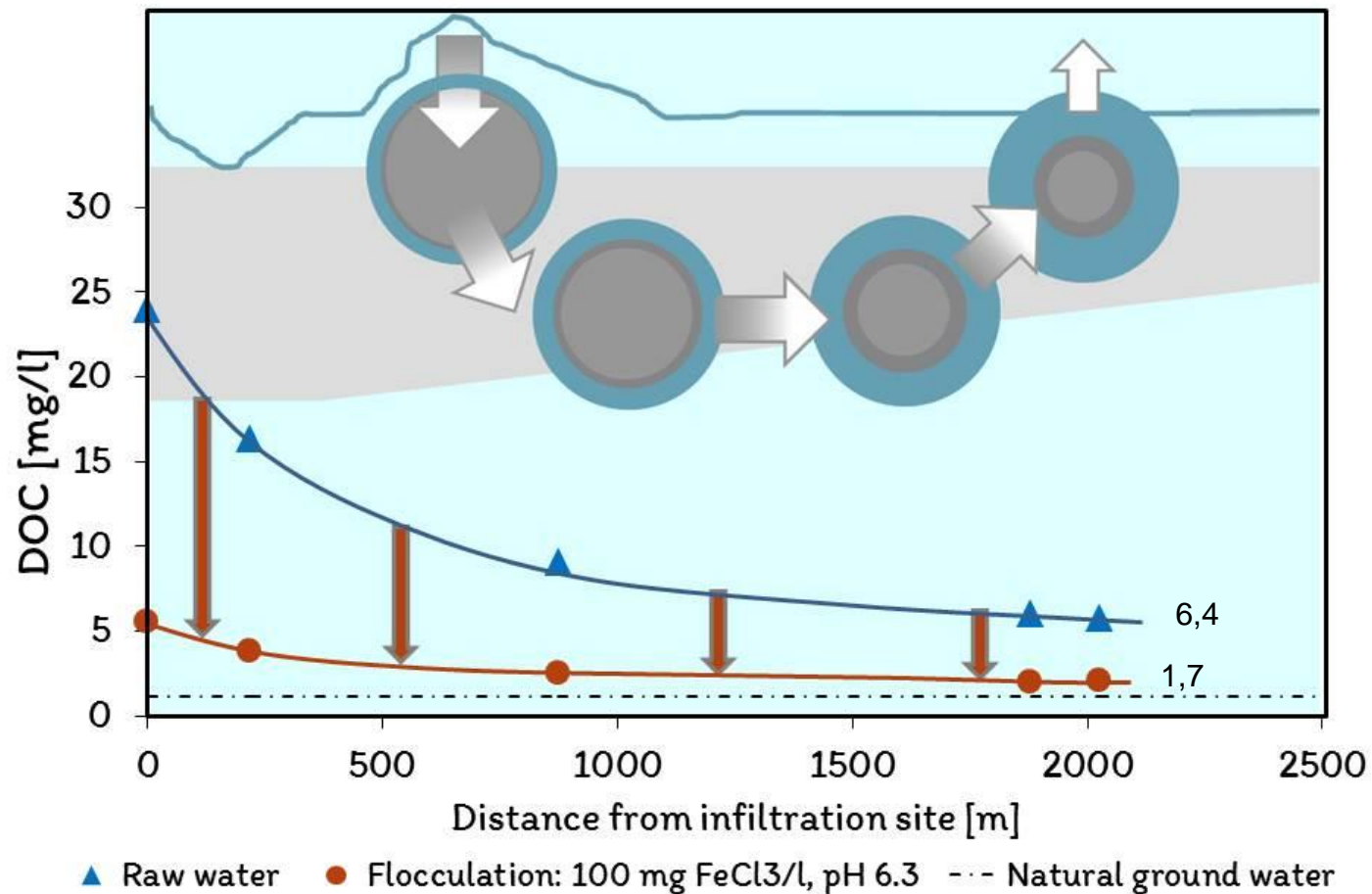
DOC avskiljning



DOC och vattenförsörjning i Uppsalaåsen

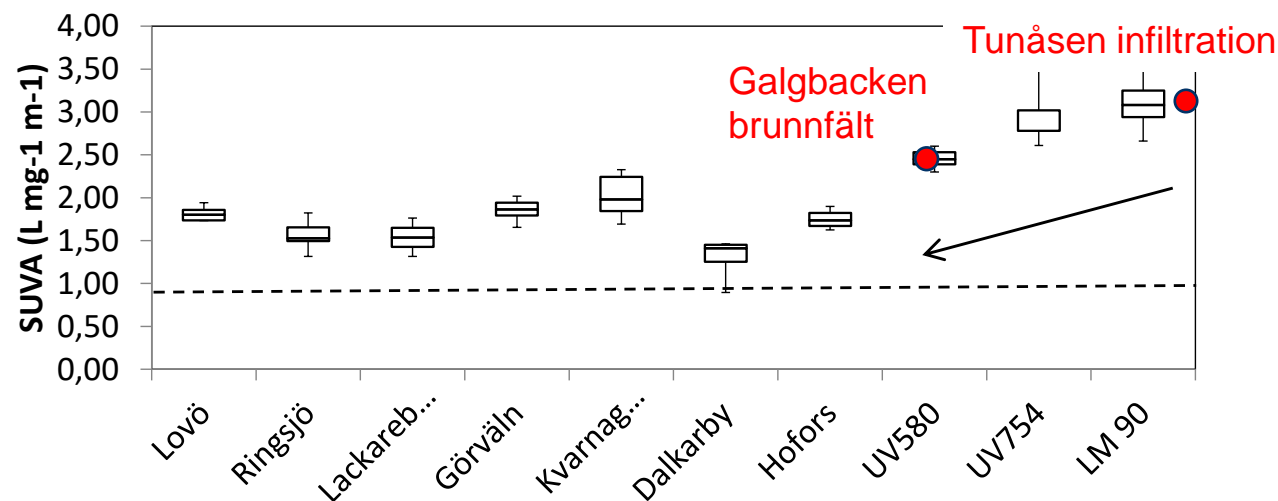


Åsen avskiljer DOC men inte lika bra som fällning



Avskiljning av DOC och husmussubstanser

Parameter	Tunåsen infiltration	80/20 mix infiltration och grundvatten	Galgbacken brunnfält	Skillnad (%) (80/20 mix-Galgbacken)
DOC (mg/l)	15,6	12,9	6,4	- 50%
UV abs. 254 nm (cm)	0,51	0,37	0,15	- 60%
SUVA (l / mg-m)	3,2	2,9	2,3	-20%



Figur 7-38. Jämförelse mellan SUVA-värden från fälda vatten i utvalda vattenverk i Sverige och längs Tunåsen (från UV736, UV754 till UV580, se figur 5-35 för punkternas lokalisering).

Tack!



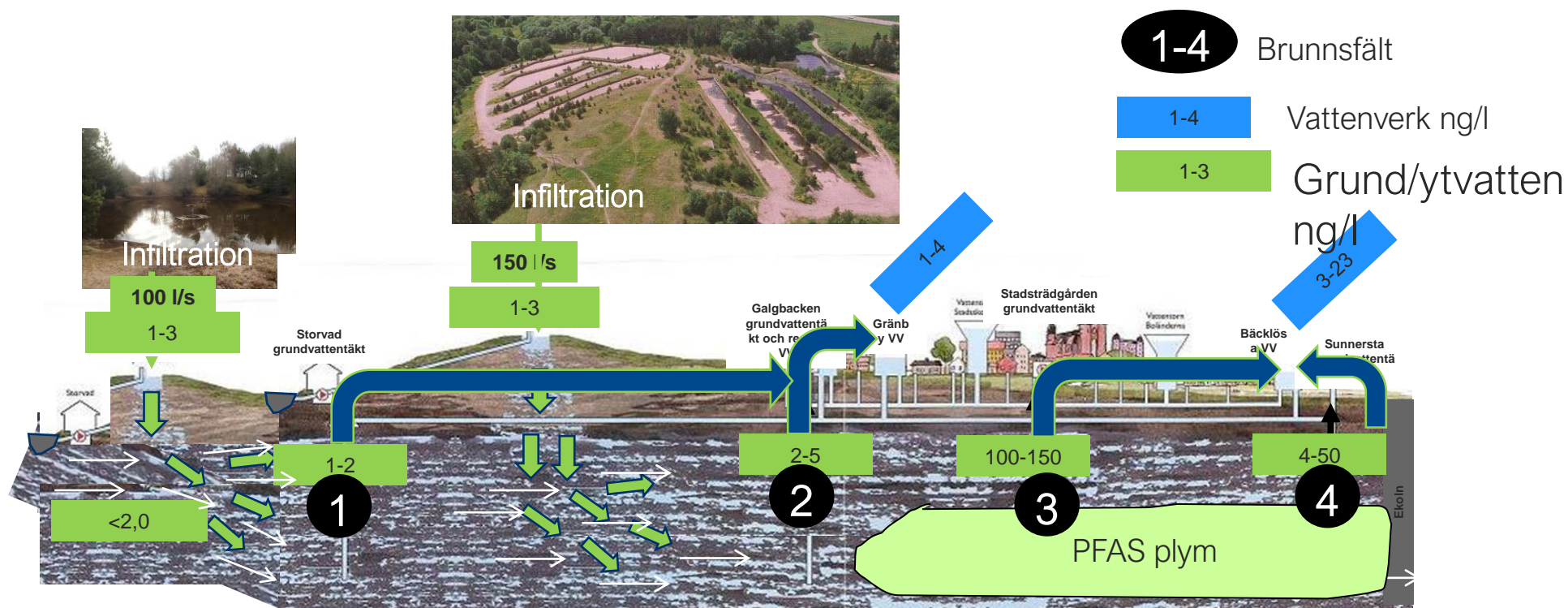
- Emma Lindbjer och Eric Beal, Uppsala Vatten
- Stephan Köhler, Norconsult, Uppsala
- P.O. Johansson, Artesia Grundvattenkonsultant AB
- Dan Berggren Kleja, Professor at the Department of Soil and Environment; SLU Uppsala
- Angelica Hummel
- Duncan McConnachie, Team Manager, GIS Analysis at WSP Sverige
- Harald Cederlund, Forskare vid Institutionen för molekylära vetenskaper, SLU Uppsala
- Sara Hallin, Professor vid Institutionen för skoglig mykologi och växtpatologi, SLU Uppsala
- SLU studenter - Valerie Hubalek (postdoc), Oskar Johansson, Tove Dahlström, Emil Vikberg
- Olof Stenberg –examsarbetare SLU och UU



UPPSALA VATTEN

För mer information besök uppsalavatten.se

Uppsalaåsen och vattenförsörjning – PFAS4



- Infiltration i drift sedan 1968 , infiltreras 6-8 milj. m³/år
- 2 st. forskningsprojekt på gång *MARPFAS* och *SIDWater* för att ta reda på PFAS förekomst och transport i Åsen

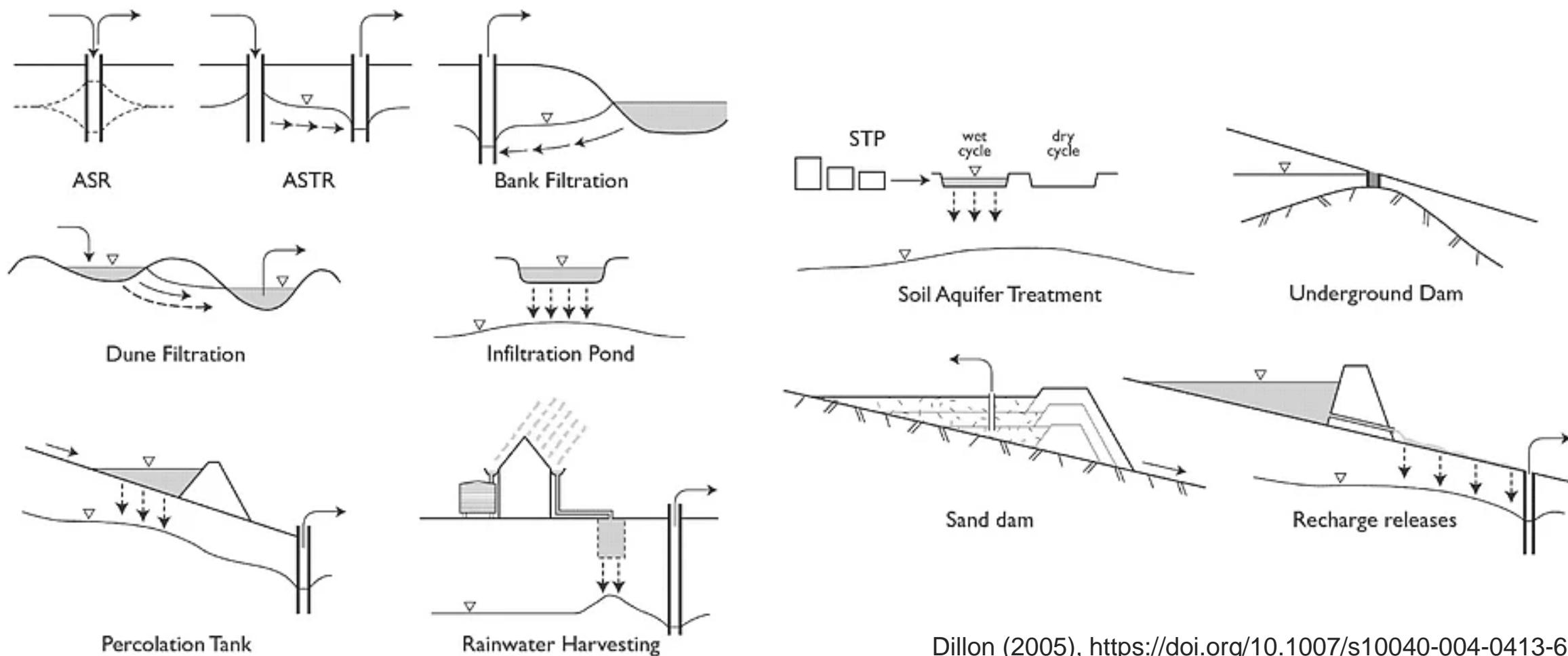
Konstgjord grundvattenbildning för ökad leveranssäkerhet i Botswana

Seminarium: Konstgjord grundvatteninfiltration

2023-11-29

Andreas Lindhe (andreas.lindhe@chalmers.se)
Chalmers tekniska högskola

Internationellt: olika syften och tekniker Managed Aquifer Recharge (MAR)



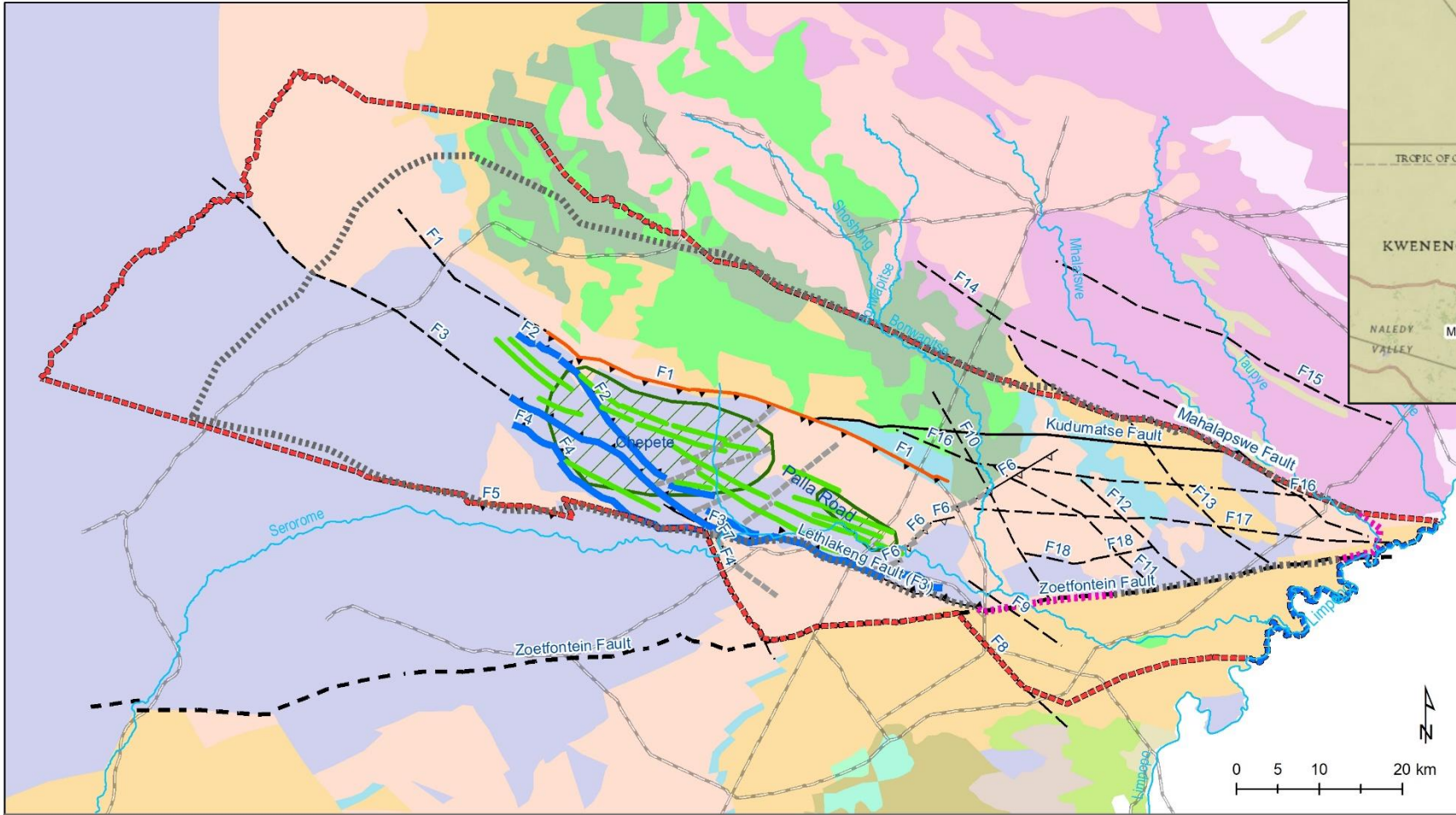
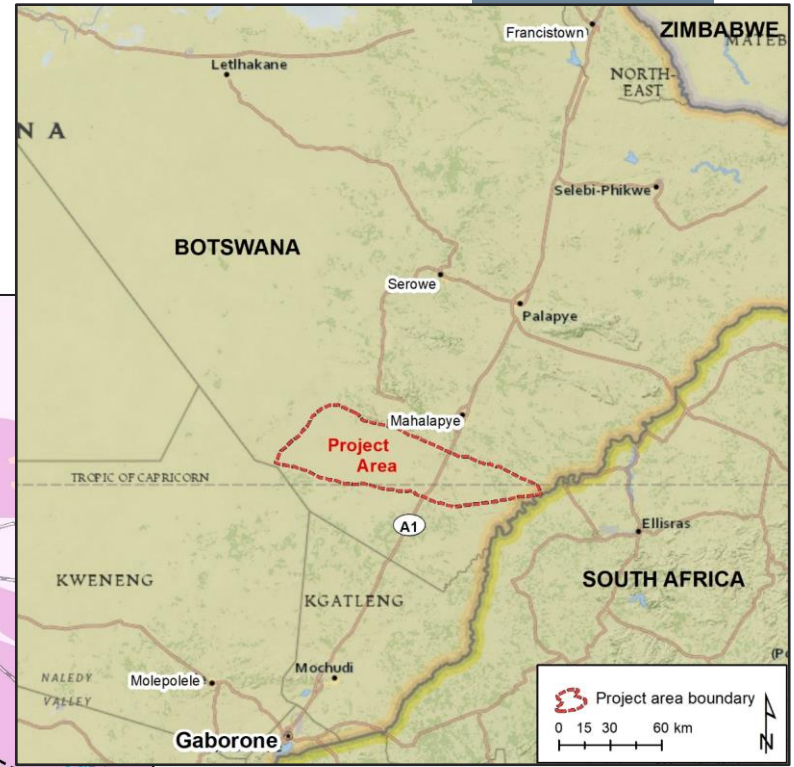


Bakgrund till projektet i Botswana

- Vattenstress och ökat vattenbehov:
 - 108 Mm³/år (2020)
 - 162 Mm³/år (2040)
- Syfte: bedöma vilken potential storskalig MAR har att förbättra leveranssäkerheten (dricksvatten) i östra Botswana
- Vatten till MAR: renat ytvatten från dammar
- Specifika mål:
 - Modellera leveranssäkerheten (water supply security) och visa förväntat underskott över tid
 - Modellera effekten av MAR och identifiera begränsningar
 - Utvärdera hur hållbara olika MAR-scenarier är



Projektområde



Area: 5 240 km²

LEGEND

- Dolerite
- Stomberg Basalt Fm
- Beaufort Gp
- Ntane Sandstone Fm
- Ecca Gp
- Palapye Gp



Wellfields

Estimated transmissivity

- High (main conduits, $T > 1000$)
- Intermediate ($T > 300$)
- Low (minimal lateral or transverse flow)
- Partial Barriers

Boundaries 2013 model

- - - General Head
- No Flow


Boundaries 2021 model

- - - No flow
- - - River

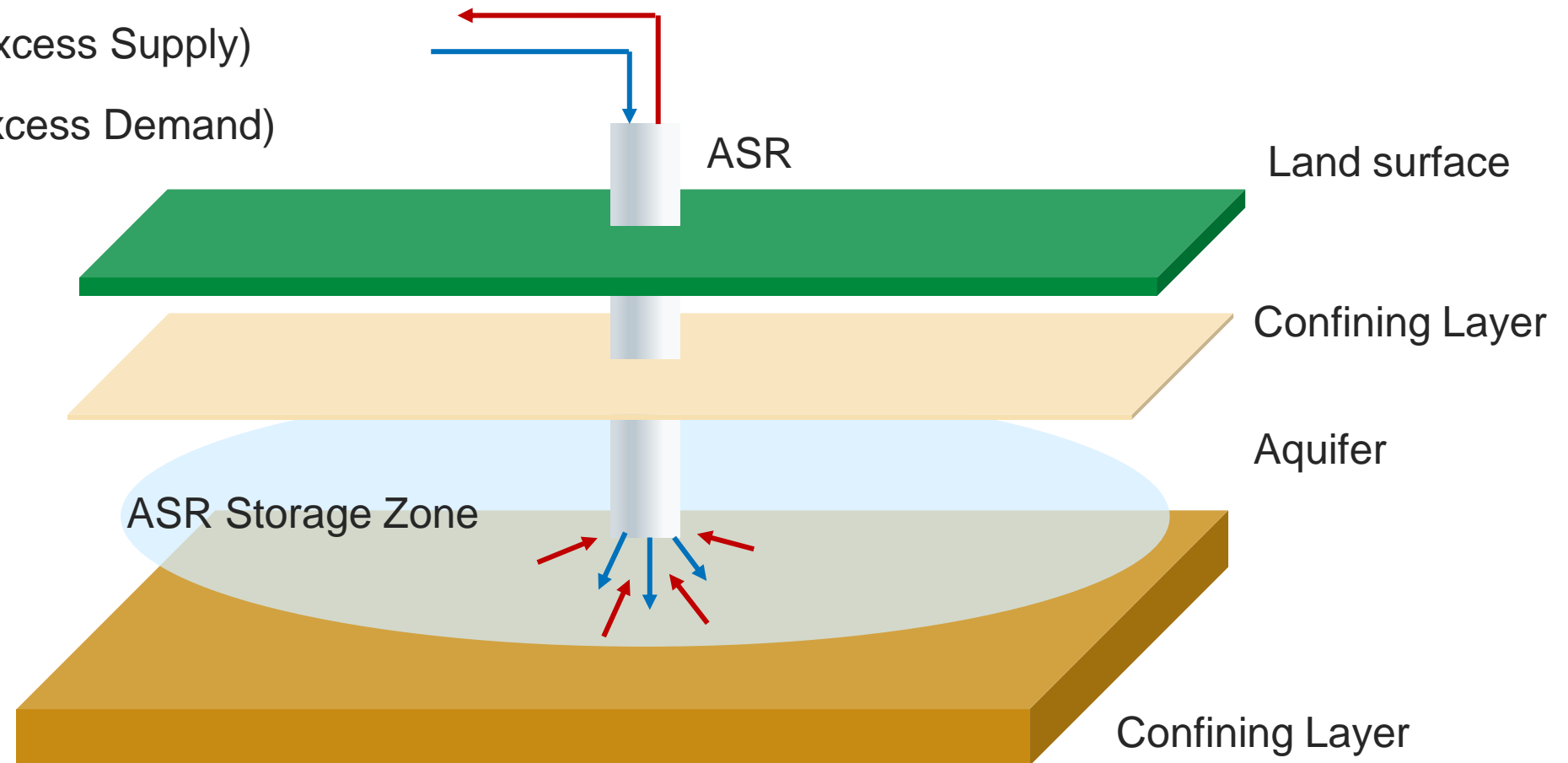
Managed Aquifer Recharge (MAR)

ASR = Aquifer Storage and Recovery

(ASTR = Aquifer Storage Transfer and Recovery)

 Recharge (Excess Supply)

 Recovery (Excess Demand)



Scenarier

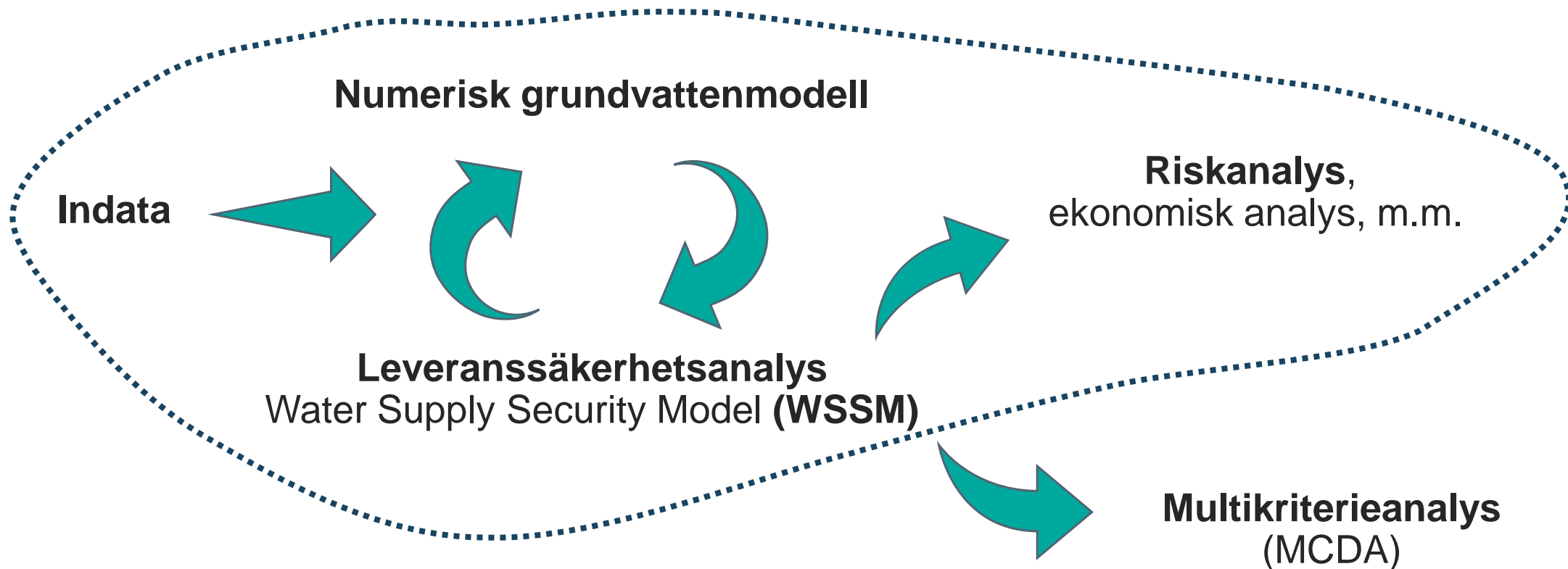
- Referensscenario: **Nuvarande system**, inget uttag för allmän dricksvattenförsörjning, endast privata brunnar
- Scenario 1: **MAR (ASR)**, infiltrations-/uttagskapacitet = **20 000 m³/d**
- Scenario 2: **MAR (ASTR)** infiltrations-/uttagskapacitet = **20 000 m³/d**
- Scenario 3: **MAR (ASR)** infiltrations-/uttagskapacitet = **40 000 m³/d**

ASR = Aquifer Storage and Recovery

ASTR = Aquifer Storage Transfer and Recovery



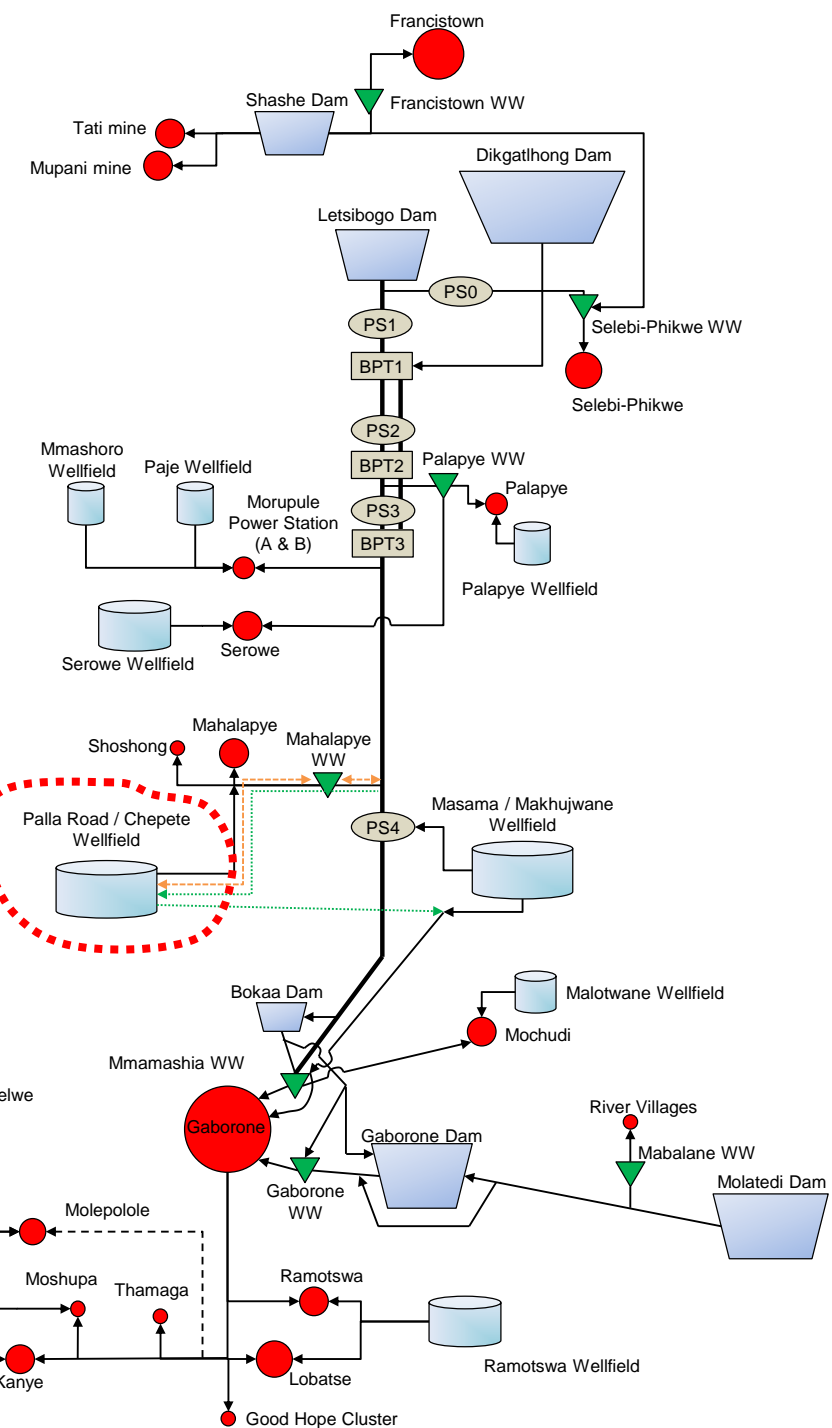
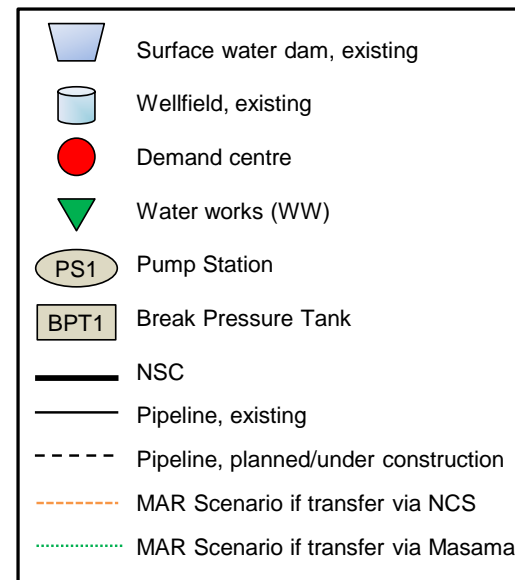
Angreppssätt för modellering och utvärdering av MAR-scenarier



Leveranssäkerhetsanalys

Water Supply Security Model (WSSM)

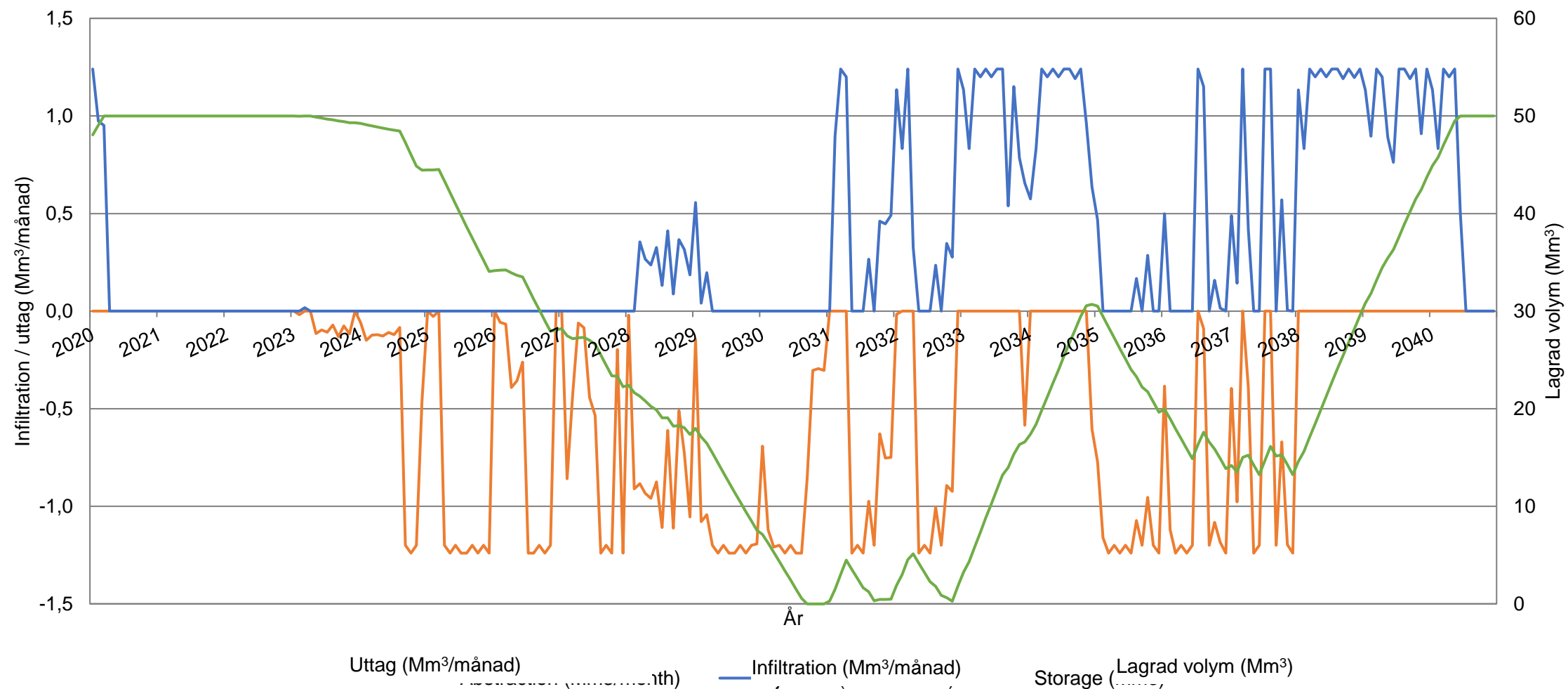
- Modell för leveranssäkerhetsanalys
- Probabilistisk (stokastisk) och dynamisk (tidsberoende) modell
- Modellerad period: Jan 2020 – Dec 2040 (21 år)
- Tidssteg: 1 månad
- Historiska inflöden till dammar (80 år)
- Simulering av framtida inflöden, infiltration och uttag ur brunnsområden, reningskapacitet, försörjning till förbrukningspunkter, vattenbehov, m.m.





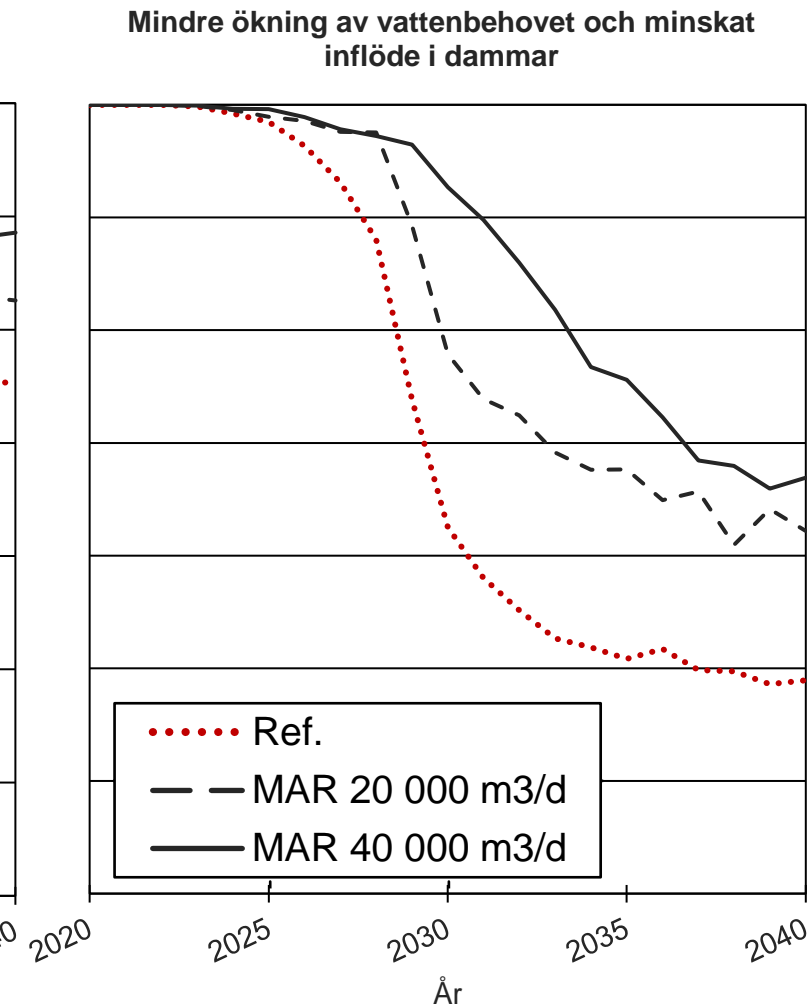
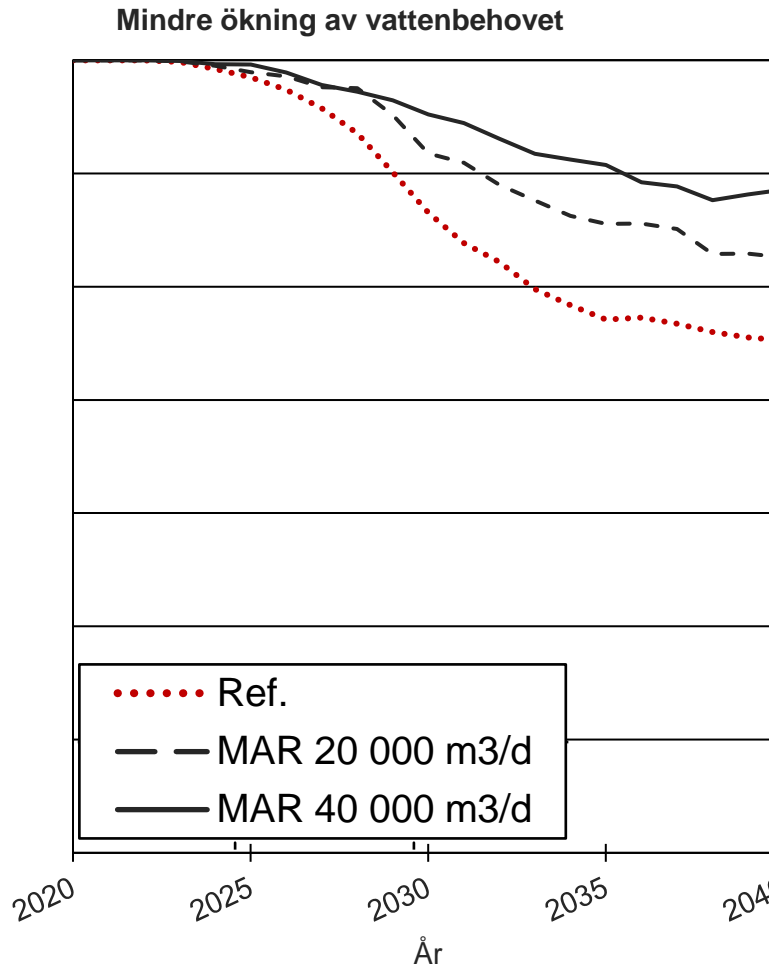
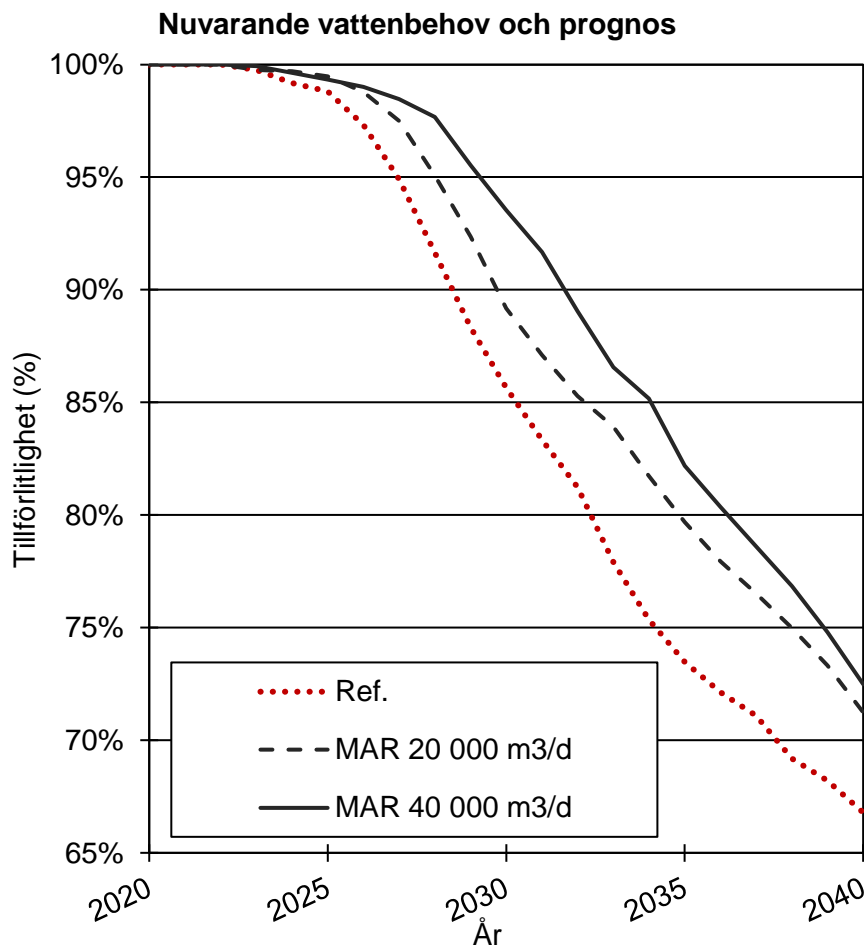
Stokastisk tidsserie (exempel)

Infiltration, uttag & lagrad volym: Palla Road MAR (40 000 m³/d)



Leveranssäkerhet / Tillförlitlighet

(eng. *Volumetric reliability*)



MAR förbättrar leveranssäkerheten i alla scenarier

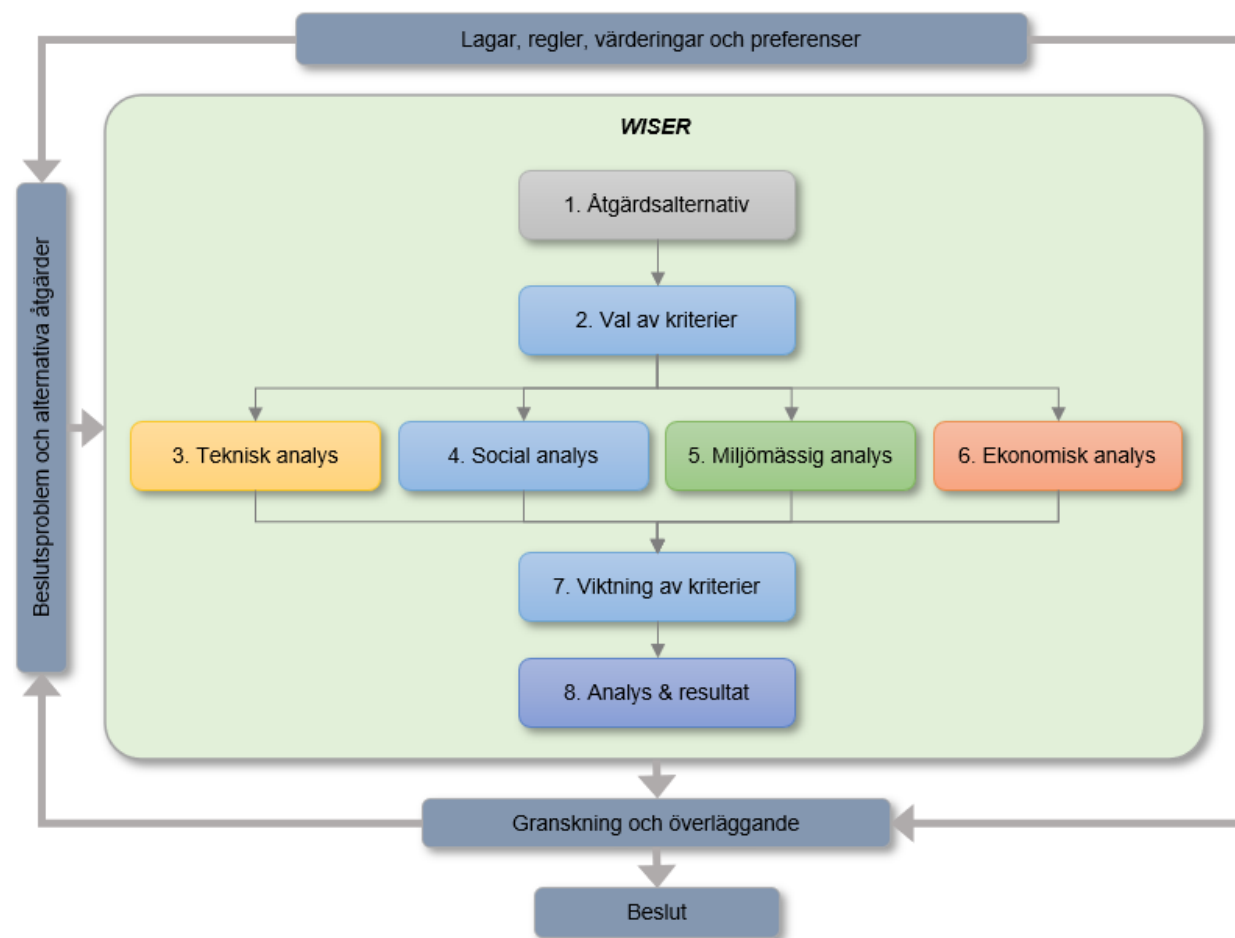


Multikriterieanalys

- Utvärdering av MAR-scenarier jämfört med referensscenariot
- Hållbarhetsperspektiv
- WISER (Water Investments for Sustainability Enhancement and Reliability)



Sjöstrand, K., Lindhe, A., Rosén, L., 2021. WISER – Water Investments for Sustainability Enhancement and Reliability. Swedish Water and Waste Water Association (Svenkt Vatten). Report no 2021-8.

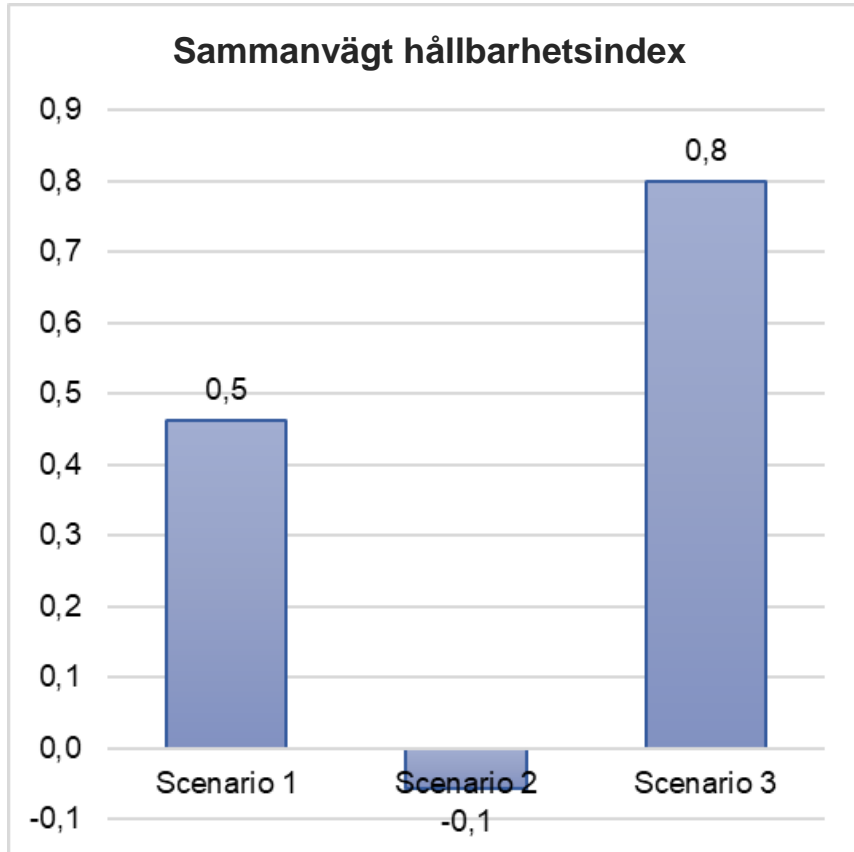


Använda kriterier

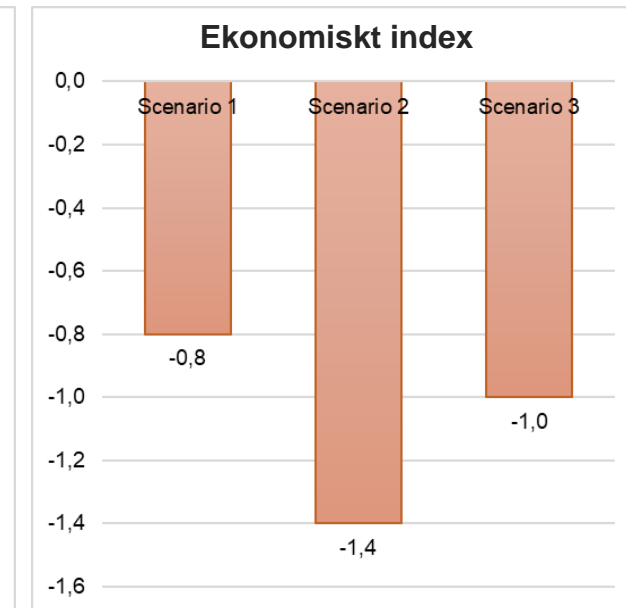
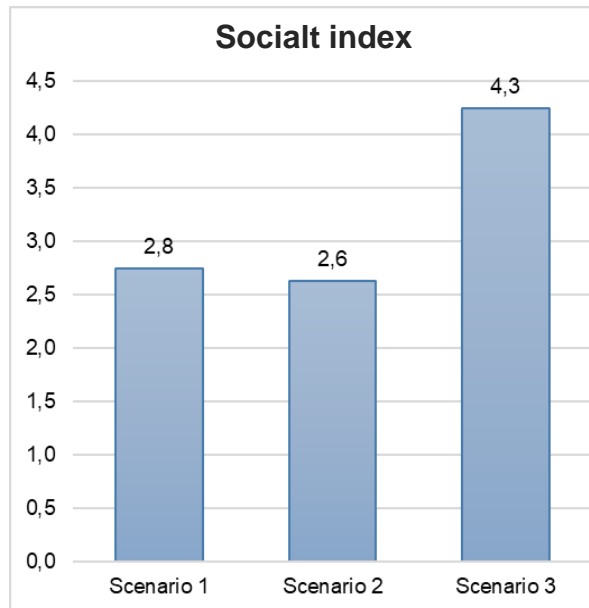
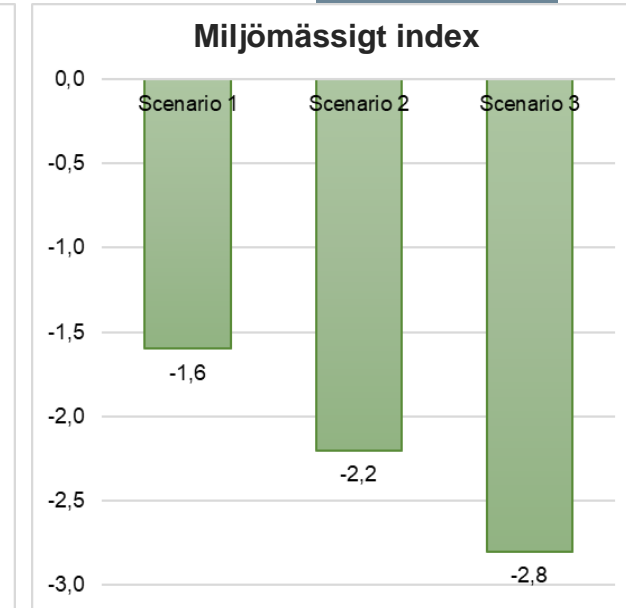
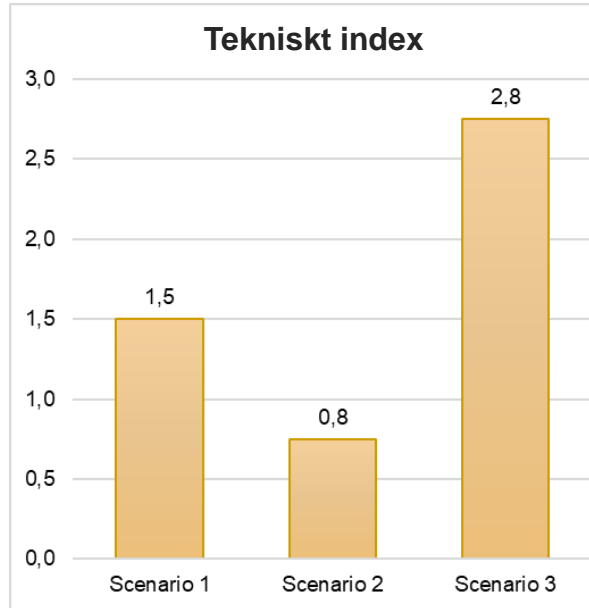


Tekniska	Sociala	Miljömässiga	Ekonomiska
Leveranssäkerhet	Konsumenters förtroende	Vattenresursers kvalitet	Investeringskostnad
Skadegörelse och inbrott	Rättvisa	Vattenresursers kvantitet	Drift- och underhållskostnader
Resiliens	Vattenkvalitetens påverkan på hälsa	Påverkan på akvatiska ekosystem	Effekter på mark- och vattenanvändning
Tekniska risker	Estetisk vattenkvalitet	Påverkan på terrestra ekosystem	Socioekonomiska effekter i regionen
	Störning under byggskedet	Material för konstruktioner	Ekonomiska risker
	Tillgång och deltagande	Kemikalieanvändning	
	Rekreation	Icke-förnybart avfall	
	Hälsorisker (olyckor)	Energianvändning och klimatpåverkan, byggskede	
		Energianvändning och klimatpåverkan, drift	
		Miljömässiga risker	

Resultat



Scenario 3 med ASR och en kapacitet på 40,000 m³/d bedöms som det mest hållbara alternativet.



Scenario 1: ASR MAR 20 000 m³/d
Scenario 2: ASTR MAR 20 000 m³/d
Scenario 3: ASR MAR 40 000 m³/d

Slutsatser

- MAR kan påtagligt förbättra leveranssäkerheten i östra Botswana.
- MAR 40,000 m³/d ASR förbättrar leveranssäkerheten mest och påverkas minst av hot såsom klimatförändringar.
- Alla scenarier förväntas ha positiva sociala effekter (hälsa, rättvisa, estetisk vattenkvalitet, tillgång och deltagande, samt arbetstillfällen).
- Påverkan på akvatiska ekosystem (Limpopo) bedöms bli försumbara.
- MAR i Palla Road ingår nu i Botswanas nationella vattenförsörjningsplan.

Tack!



Andreas Lindhe
andreas.lindhe@chalmers.se

ACKNOWLEDGEMENTS

Feasibility study (2019–2022)

- World Bank
- Lars Rosén, *Chalmers*
- Jonatan Strömgren & Nils Kellgren, *Sweco International*
- Per-Olof Johansson, *Artesia Groundwater Consulting*
- Kai Witthüser, *delta h*
- Ricky Murray
- Personnel at:
 - Botswana Department of Water and Sanitation
 - Botswana Water Utilities Corporation
 - GEOSS, South Africa
 - Wellfield Consulting Services, Botswana

Pre-feasibility study (2012–2014)

- Swedish International Development Cooperation Agency's (Sida)
- The Ministry of Minerals, Energy and Water Resources