



DRÄNER I TUNNLAR FÖR VATTEN- OCH FROSTSÄKRING - DEL 2

Kalkylering av mängd och placering av dräner

Peter Wilén

Peter Danielsson

Anders Wägnerud

Dräner i tunnlar för vatten- och frostsäkring – Del 2

Kalkylering av mängd och placering av dräner

Drainage in tunnels for water and frost prevention – Part 2

Calculation of amount and placing
of drains

Peter Wilén, Vattenfall Power Consultant

Peter Danielsson, Vattenfall Power Consultant

Anders Wägnerud, Vattenfall Power Consultant

FÖRORD

Kraven på tätning av tunnlar mot inläckande vatten har kommit att bli allt högre med åren, både för att begränsa sänkning av grundvattennivåer och eventuell inverkan på tunnelns funktion under drift. Normalt tillämpas förinjektering för att minska inläckningen, men även om man lyckas nå en god tätning återstår ofta fukt och dropp som måste tas om hand med hänsyn till tunnelns funktion. Det sker vanligen med dräner i tak och på väggar, som leder vattnet till ett dräneringssystem i tunnelns botten. Om det finns risk för frysning utförs systemet isolerat, vanligen i form av betonginsprutade dräner som ligger an mot bergytan.

Det har visat sig att dränerna inte alltid fungerar som avsett. Det krävs inspektion och reparationer och ibland komplettering med nya dräner. För att få en samlad bild av problemen, som leder till betydande underhållskostnader, har en förstudie genomförts avrapporterad hösten 2006, Hans Hargelius: ”Dräner i tunnlar för vatten- och frostsäkring – inventering baserad på litteratur, intervjuer och fältstudier” (SveBeFo rapport 77). Den utgjorde också grunden för ett fortsatt arbete för att få bättre grepp om problemen, och som kan leda till bättre tekniska lösningar och kalkyler och därmed lägre kostnader.

Föreliggande rapport redovisar det fortsatta arbetet med att finna faktorer som har betydelse för kalkylering och placering av dräner i bergtunnlar. Underlag från åtta tunnlar har studerats och analyserats. Resultatet visar stora svårigheter att ge goda prognoser över mängden erforderliga dräner. Ett problem är att vattenläckage tenderar att ”flytta sig”, vilket innebär att kartering bör ske vid flera tillfällen och under olika årstider. Bästa resultat får man om man väntar så länge som möjligt med att sätta dräner så att besluten kan baseras på observationer under en längre tidsperiod.

För att få en bättre uppfattning om karaktären på skadade dräner pågår även en begränsad fältundersökning med sprickkartering och utborrning av kärnor i några utvalda sektioner i järnvägstunnlar som varit i drift ett antal år. Resultaten kommer att redovisas i en separat rapport.

En referensgrupp har följt arbetet, bestående av Anna Andrén, Banverket, Tommy Ellison, Besab, Anders Fredriksson, Golder Associates, Björn Stille, Skanska Teknik, Lars Österlund, Vägverket Region Stockholm samt undertecknad. Projektet har finansierats inom SveBeFos forskningsprogram med särskilt stöd från Banverket och SBUF.

Stockholm i november 2007

Tomas Franzén

SAMMANFATTNING

Denna rapport är en fortsättning på förstudien, ”Dräner i tunnlar för vatten och frostsäkring” (SveBeFo rapport 77) och redovisar samband och faktorer som har betydelse för kalkylering och placering av dräner i bergtunnlar.

Sammanlagt har underlag från åtta tunnlar studerats och olika faktorer dokumenterats i diagramform (geologiska förhållanden, geohydrologi, inläckage av vatten mm samt placering av dräner.)

Resultaten av analyser på sammanställd data visar att detaljerad information från förundersökningsskedet har begränsad betydelse för placering av dräner. Däremot kan en bra utförd förundersökning ange tunnelavsnitt med risk för inläckage och därmed ev. behov av dräner. Prognos av förväntade zoner, bergkvalitet, injekteringsbehov etc kan ge indikationer om mängden dräner (prognos) som kan komma att krävas.

En viktig faktor för beslut om hur mycket dräner som skall utföras är olägenheten med vatten och is i en tunnel, möjligheterna till underhåll, vad det får kosta samt möjligheterna att senare komplettera med dräner.

Den viktigaste faktorn för att optimera lägen för dräner är givetvis att lokalisera var vatten/is förekommer och ger/kan ge problem. Detta kan som det visat sig vara besvärligt då vattenläckage tenderar att ”flytta sig” i tunnlar, vilket innebär att kartering/inventering av vatten bör ske vid flera tillfällen. Görs detta och under en så lång tidsperiod som möjligt och helst under olika årstider och grundvattensituationer så kan säkerheten i placeringen ökas. Bästa resultat erhålls om man väntar så länge som möjligt med att sätta dräner då beslutet kan baseras på observationer under en längre tidsperiod.

SUMMARY

This report is a continuation of the feasibility study, “Drainage in tunnels – water and frost prevention” (SveBeFo report 77), and shows relations and factors that are significant in calculation and placing of drains in rock tunnels.

Information from in all eight tunnels, has been studied and different factors has been documented in diagrams (geological and geohydrological conditions, water ingress, grouting, amount of drains etc.).

Results from analysis of documented data show that detailed information from prefeasibility and feasibility studies have little significance for the placing of drains in tunnels. Feasibility studies can however, if well performed, point out parts of tunnels with higher risk for water inflow and need of drainage constructions. Estimations of weakness zones, rock quality, need of grouting etc may give indications of the amount of drains needed in a tunnel.

One important factor in the process of deciding the amount of drains that should be calculated is the impact of water inflow and ice occurrence (consequences of) to a tunnel. Other factors are the conditions for and costs of maintenance work, conditions for complementary drainage works etc.

The most important factor in order to optimize the positioning of drains is of course to identify where water and ice exists and can give problems in a tunnel. In many cases water inflow tend to “move with time” in tunnels, which means that mapping of water inflow and ice should be performed several times. If this is done during a long time period (as long as possible) and during different seasons and ground water situations the placing of drains can improve. The best results are gained when waiting as long time as possible to put in the drains in order to base the decision on as many observations as possible.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1	INLEDNING	1
1.1	Bakgrund	1
1.2	Syfte	1
2	ARBETSMETOD OCH UNDERLAGSMATERIAL	3
2.1	Arbetsätt/Metodbeskrivning	3
2.1.1	Förundersökningsskede	3
2.1.2	Byggskede	4
2.1.3	Driftskede	5
2.2	Sammanställning och redovisning	5
2.3	Beskrivning av utvalda tunnlar	6
2.3.1	Glödberget	6
2.3.2	Grödingebanan	7
2.3.3	Hällåsen – Söderhamn	7
2.3.4	Kalldalstunneln, Botniabanan	8
2.3.5	Håbotunneln, Mälarbanan	8
2.3.6	Södra Länken	8
3	RESULTAT	9
3.1	Kalkylering av dräner och placering av dräner	9
3.2	Resultat av några enskilda tunnlar	14
3.2.1	Hällåsentunnelnarna (typ 1)	14
3.2.2	Lidatunneln (typ 1)	14
3.3	Kommentarer, samtliga tunnlar	15
4	GLÖDBERGET, EN ANALYS AV IS- OCH VATTENINVENTERINGAR	18
4.1	Beskrivning av analys 1	18
4.2	Beskrivning av analys 2	19
4.3	Sammanfattning	19
5	SLUTSATSER OCH FÖRSLAG	21
5.1	Kalkylering av dräner	21
5.2	Placering av dräner	22

BILAGOR:

1. Diagram. Redovisning av tunneldata.

1 INLEDNING

1.1 Bakgrund

Fel vid kalkylering (prognos av mängder) och placering av dräner är två identifierade problemområden i samband med vatten och frostsäkring som kan medföra stora ekonomiska konsekvenser för beställare, entreprenör och förvaltare. Målsättningen med denna del av projektet är att minska risken för sådana fel i framtida tunnelprojekt.

Projektets övergripande målsättning är att upprätta en lägesbeskrivning över förekommande vatten- och frostsäkring för tunnlar, dräners funktion och redovisning av problem som är kopplade till dräner i tunnlar.

Projektets första del, (del 1), som utgörs av en förstudie ”Dräner i tunnlar för vatten- och frostsäkring – Inventering baserad på litteratur, intervjuer och fältstudier”, är avslutad och publicerades 2006 som SVEBEFO Rapport 77.

1.2 Syfte

Del 2 syftar till att ta fram underlag som kan ligga till grund för en bedömning av hur mycket dräner som bör tas med vid kostnadskalkylering för ett tunnelprojekt i samband med projekteringen. Arbetet syftar också till att försöka identifiera styrande faktorer som kan bidra till en optimal placering av dräner för ett tunnelprojekt under byggskedet.

I förstudien har ett antal problemområden identifierats. Dessa områden är:

- uppskattning av behovet av dräner
- placering av dräner i en tunnel
- bristfällig dokumentation av vatten och is
- sprickor i sprutbetong på dräner

Inom ramen för dessa problemområden har tre frågeställningar studerats vidare varav två har behandlats i föreliggande projekt:

1. Vilket underlag som erfordras för en förbättrad kalkylering av erforderlig mängd dräner i ett tunnelprojekt. Denna frågeställning gäller vid upphandling av entreprenadarbetena.
2. Identifiera styrande faktorer som kan ligga till grund för att en optimal placering av dräner skall kunna utföras under byggskedet. Placering och utbredning (area) av dräner.

3. Undersöka och uppskatta effekten av sprucken sprutbetong på dräners funktion och livslängd.

Punkt 1 och 2 har genomförts genom en sammanställning av dokumentation från prognostiserade och observerade förhållanden i olika tunnlar och redovisas i föreliggande rapport. Punkt 3 behandlas inte i denna rapport utan rapporteras separat.

2 ARBETSMETOD OCH UNDERLAGSMATERIAL

2.1 Arbetsätt/Metodbeskrivning

I samband med projektering av en ny tunnel bedöms behovet av dräner för vatten- och frostsäkring i tunneln. En sådan bedömning baseras vanligen på tillgängliga geoundersökningar (hydrogeologiska, geologiska och bergtekniska förhållanden) och empiriska erfarenheter av dräner i liknande tunnlar och tunnlar i närområdet. Andra faktorer som har betydelse är tunnelns längd och höjdprofil, geografiska läge (klimatzon), trafikbelastning, beräknad frostinträngning, kostnader för vatten- och frostsäkring samt möjligheten till framtida underhåll.

När det gäller placering av dräner i byggskedet så är det i första hand direkta observationer från förhållanden i den aktuella tunneln som styr detta.

För tunnlar som varit i drift under ett antal år och där problem med frost och is uppstått kan det också finnas en viss dokumentation av detta.

Studien baseras på en sammanställning och analys av dokumentation från olika skeden av ett tunnelprojekt:

- 1) Förundersökningsskede (bergprognos, geohydrologisk utredning, underlag för MKB och projektering etc).
- 2) Byggskede (geologisk kartering, inläckage i salvhål, injekteringsdokumentation, utförda dräner mm)
- 3) Driftskede (problem med inläckage och is, komplettering med dräner mm)

Genom att sammanställa information från tunnlar för de tre skedena (förstudier och projektering, byggskede och driftsskede) har vi försökt att analysera om det är möjligt att förutse omfattning och dräneringsplaceringen bättre redan i projekteringsskedet för kalkylering och i byggskedet för placering av dräner.

2.1.1 Förundersökningsskede

Förstudieskede och projekteringsskede ger information om de geologiska förhållandena och den geohydrologiska situationen för tunneln. Dessa ger ingen detaljinformation för placering av dräner däremot kan det vara väsentligt för att göra en prognos av behovet av dräner samt förhållandena på lite längre sikt. I detta fall har en enklare tektonisk och geohydrologisk studie av respektive tunnel gjorts eftersom arkivmaterial från förundersökningsskeden i flera fall ej har återfunnits.

Ur inläckagesynpunkt har flera olika faktorer betydelse för problematiken med vatten och frost ur driftsynpunkt. Några av dessa är geologiska och geohydrologiska förhållanden, bergspänningssituation mm. Andra viktiga faktorer är tunnelns topografiska läge samt förläggningsdjup.

Ytligt förlagda tunnlar kan sakna grundvatten under torrare tidsperioder, samtidigt kan ytliga sprickor och låga bergspänningar medföra inläckage i samband med nederbörd.

Djupare förlagda tunnlar är vanligen belägna under grundvattenytan och har därmed ett grundvattentryck på sig som innebär en kontinuerlig tillgång på vatten till tunneln.

För djupt förlagda tunnlar kan spänningssituationen medföra att sprickor är mindre vattenförande eller täta och att inte något kontinuerligt grundvattentryck från markytan till berganläggningen förekommer på delar av tunnelsträckan.

Eftersom dessa faktorer till stor del kan inverka på inläckage och behovet av dräner har vi valt att göra en enklare beskrivning av tunnelarnas läge ur geohydrologisk synvinkel. Det har gjorts genom en kategorisering i tre typer.

1. Ytligt förlagd tunnel genom en bergknalle, litet jordtäckte, begränsad grundvattentillgång och vattentryck. Eventuellt saknas grundvattenyta under perioder utan nederbörd. Inläckage till tunneln kan variera relativt direkt med nederbörd.
2. Tunnel på lite större djup och med kontinuerlig tillgång på grundvatten. Förekomst av jordlager med grundvattenmagasin och zoner som kan transportera vatten mot tunneln.
3. Djupare förlagd tunnel med obegränsad eller stor vattentillgång och mäktiga jordlager. Tunnel som alltid ligger under grundvattenytan.

Generellt sett är kategori 1 t ex en järnvägstunnel som går igenom ett bergparti i landskapet, exempel är några av järnvägstunnelarna på Botniabanan, Mälarbanan och Grödingebanan. Kategori 3 är en väg eller järnvägstunnel i tätort som ligger under mark, och oftast är utförd för att passera under och inte igenom något, en längre sträcka oavsett den lokala topografin. Exempel är Arlandabanans tunnlar från Märstaån och norrut (under terminalerna mm), Lundbytunneln och Götatunneln i Göteborg, Stockholms tunnelbana mm. Kategori två är tunnlar som bäst beskrivs som ett mellanting av dessa ”ytterligheter”.

2.1.2 Byggskede

Vid identifiering av styrande faktorer som kan/bör användas för placering av dräner i byggskedet, har utgångspunkten varit befintligt arkivmaterial. Dokumentation från observerade förhållanden i olika tunnlar från byggskedet har studerats och jämförts med avseende på geologi, grundvattenförhållanden, klimat och byggnadstekniskt utförande.

Den viktigaste dokumentationen i denna studie har varit relationsritningarna från tunnelbyggen. På dessa skall all information från byggskedet vara sammanställd. I de flesta fall är det dock troligt att det direkta beslutsunderlaget för placeringen av dräner är en eller flera förnyade karteringar av vattenläckage. Detta kan ha gjorts flera månader efter den geologiska karteringen vid bergguttaget och det är möjligt att den geologiska karteringen endast delvis är avgörande för dränplaceringen. Denna aspekt, att omfattning och placering av utförda dräner kan vara baserad på mer och annat material (fler vatten-/iskarteringar etc) än det vi haft tillgång till måste därför beaktas.

2.1.3 Driftskede

Av de studerade tunnarna är det bara Glödbergstunneln där vi haft tillgång till material som visar hur mängden dräner ökat i flera steg efter tunnelns idrifttagande. I redovisningen och analyserna i kapitel 3 har alla dräner i tunneln tagits med (således efter alla utförda kompletteringar). Material som redovisar motiven till kompletteringarna och prioriteringar som gjorts när dessa utförts har vi inte haft tillgång till. Vi vet dock att vid olika kompletteringsarbeten har tillgänglig arbetstid och pengar styrts hur mycket och var dräner monterats. Vi t ex inte om de ”värsta” eller ”akuta” partierna åtgärdats först eller om kompletteringen planerats att utföras mer systematiskt i flera etapper av tunneln. Osäkerheter gäller även när under året is/vattenkarteringarna är utförda. Andra osäkerheter är hur åtgärderna budgeterats och prioriterats bland andra underhållsåtgärder för en järnvägssträcka. Hur detta görs och dokumenteras varierar i stor omfattning och det är en orsak till varför det varit svårt att hitta underlag från utförda arbeten.

För Glödborget har en separat analys av utförda kompletteringar utförts. Detta redovisas i kapitel 4. En grafisk redovisning av de kompletterande dränerna visas i bilaga 3.

2.2 Sammanställning och redovisning

Studien har genomförts med hjälp av arkivstudier av dokumentation från ett antal utförda tunnelprojekt. Inga intervjuer eller fältbesiktningar av tunnlar har utförts. Jämfört med ursprunglig planering av projektet har antalet tunnlar utökats från 3-5 till 8 tunnlar. Orsaken är dels att dokumentationen har varit relativt lätt få tag i och att lägga in och det insamlade materialet har varit tillräckligt omfattande utan komplettering med intervjuer eller fältbesök.

En grafisk sammanställning för varje tunnel har gjorts som en längdprofil av tunnelsträckan. Utefter tunnelns längdmätning dokumenteras information om bergförhållanden, vatten, injektering och dränplacering. Detta görs principiellt i tidsordning med ev. prognos och bergförhållanden överst och placering av dräner sist (nederst i diagrammen). På detta sätt erhålls en visuell bild av var olika faktorer sammanfaller längs tunneln och var de inte gör det.

Sammanställning:

1. Grundmaterialet i redovisningen är den geologiska karteringen av tunnlarna. Förekomst av krosszoner, leromvandling ev. kompletterat med bergklassning (exempelvis Q-klassning) och dokumentation av utförd injektering, förekomst av vatten mm har dokumenterats. Digitalt material har lagts in i en databas, i detta fall Excel och redovisas grafiskt med Grapher.
2. Tunnlarna karakteriseras ur hydrogeologisk synpunkt. Detta har i första hand gjorts baserat på rapporter från tidigare skeden, förstudie, förprojektering och har lagts in som separata skikt i databasen. Detta innefattar resultat från geologisk fältkartering, geohydrologisk studie, kärnbörning och vattenförlustmätning, bergprognos mm. Information om planerad injekteringsinsats eller krav på injekteringsinsats är värdefull. I denna studie saknas i de flesta fall förstudier och förprojekterings-rapporter. Karakteriseringen har istället gjorts på ett enklare vis med hjälp av kartdata, topografisk information, geologiska kartor samt tillgängligt ritningsmaterial.
3. Dränernas placering och utbredning har lagts in baserat på material från relationshandlingar eller andra tillgängliga ritningar för tunnlarna.
4. Dokumentation av senare tillkommande kompletteringar av dräner och dokumentation av problem med frost och is. Detta finns enbart sammanställt för Glödsbergstunneln och har därför inte analyserats i projektet.

Sammanställningen av all vår information redovisas i diagram för varje tunnel, se bilaga 1.

2.3 Beskrivning av utvalda tunnlrar

2.3.1 Glödsberget

Järnvägstunnel med en längd av ca 1,7 km (1,35 km bergtunnel) som ligger på sträckan Mellansel – Vännäs och togs i drift 1995. Tunneln är enkelspårig med en area på 63,5 m² och går igenom en höjdrygg med en bergtäckning på ca 30-50 meter. Jordlagren är tunna och består av morän.

Berggrunden består i huvudsak av en frisk och ovittrad grå, medel- till grovkornig granit med små inslag av pegmatit och sedimentär gnejs och låg sprickfrekvens. Bergmassan är storblockig och spricksystemen utgörs av brantstående och horisontella sprickor. Bergklassificeringen visar att bergkvaliteten till största delen är bra till mycket bra.

Tunneln har injekterats med kontinuerlig förinjektering.

2.3.2 Grödingebanan

Järnvägstunnlarna (16 st, totalt ca 13650 m), som togs i drift 1995, byggdes utan kontinuerlig förinjektering. Endast större zoner är injekterade. Fyra tunnelsträckor har valts ut för denna sammanställning. Som frostisolering vid dräner föreskrev Banverket ca 1 meter breda isoleringsmattor som skulle täckas med nät- eller fiberarmerad sprutbetong.

- Kvedestatunneln 8B är 380 m lång och är en dubbelspårstunnel något väster om Hallsfjärden. Berggrunden består av sedimentgnejs med skivor av finkornig kvartsrik gnejs. I gnejsen förekommer skivor och gångar av amfibolit och pegmatit. Förskiffringen är brantstående och går i huvudsak tvärs tunneln. Sprickor förekommer främst längs förskiffringen. Bergtäckningen är 10-20 m.
- Lidatunneln, är en 1780 m lång dubbelspårstunnel under Lida friluftsområde. Berggrunden består huvudsakligen av en rödgrå-grå ådergnejs samt slirig leptitgnejs. Inslag av pegmatit och amfibolit förekommer. Sprickriktningen är utbildad huvudsakligen parallellt med den brant stående förskiffringen och går nästan parallellt med tunneln.
- Tullingskogstunnlarna 2A och 2B är 580 respektive 150 m långa dubbelspårstunnlar som avdelas med ett ”yxhugg” vid gamla läget för Västerhaningevägen (som flyttades i samband med bygget). Berggrunden består huvudsakligen av en rödgrå-grå gnejs med inslag av granit, pegmatit och amfibolit. Horisontella sprickor, bankningsplan i kombination med brantstående sprickor utbildade huvudsakligen parallellt med den brant stående förskiffringen ger ett generellt blockigt berg.

2.3.3 Hällåsen – Söderhamn

1996 byggdes två järnvägstunnlar, totalt 950+810 meter enkelspårstunnel, genom Hällåsen i Söderhamn. Berget domineras av gnejser med sedimentärt ursprung samt förekomst av gnejsgraniter och pegmatitgångar.

Förinjekteringen utfördes huvudsakligen med cement som injekteringsmedel. Närmast alla tunnelmynningar utfördes tre förinjekteringskärmar, ca 50m, vilket innebär att mynningarna är förinjekterade. Övrig förinjektering utfördes baserat på sonderingsborrning, läckagemätning i sonderingshålen och vattenförlustmätning enligt fastställda kriterier. Vid mynningarna injekterades hela tunneltvärsnittet men för resterande sträckor lämnades botten oinjekterad.

Berget visade sig vara svårinjekterat, olika cementbruk provades med ungefär samma resultat – endast små volymer kunde injekteras.

2.3.4 Kalldalstunneln, Botniabanan

Tunneln ingår i Botniabanan som byggs mellan Kramfors och Umeå och beräknas tas i drift 2010. Totalt är det 16 tunnlar med en längd av totalt ca 25 km, hela järnvägssträckan är ca 19 mil. Kalldalstunneln är ca 1100 m lång och ligger ca 1 mil norr om Örnsköldsvik.

Berggrunden består i huvudsak av gnejs förutom i södra delen där de första ca 300 metrarna utgörs av diabas. I gnejsen förekommer inslag av graniter och grönsten.

Tunneln har injekterats med kontinuerlig förinjektering.

2.3.5 Håbotunneln, Mälarbanan

Mälarbanan innehåller 6 stycken järnvägstunnlar på totalt ca 4100 m. Håbotunneln består av två bergtunnelldelar med en kort betongtunnel mellan. Bergtunnlarna är 155 m respektive 215 m långa. Tunneln togs i drift 1997 och större delen utfördes med kontinuerlig förinjektering.

Berggrunden består i huvudsak av en sedimentgnejs med en brant till medelbrant stupning. Små inslag av granit av gnejskaraktär förekommer. Inga större svaghetszoner har konstaterats i berggrunden dock finns indikationer på några mindre svaghetszoner. Berget utgörs till större del av ganska bra till bra berg, $Q > 4$, och är medelblockigt.

Större delen av tunneln har injekterats med kontinuerlig förinjektering. (Det är lite osäkert om hela södra tunneln har förinjekterats.)

Tunneln är vatten och frostisolerad med dräner som har installerats både i byggfasen och i senare skeden. Det finns återkommande problem med isbildning i tunneln vintertid.

2.3.6 Södra Länken

Vägtunnelsystemet som togs i drift 2004 utgörs av totalt 4,5 km tunnlar. I denna studie har material från tre stycken ramper eller delar av dessa ramper använts. Ramperna är 211 (ca 700 meter), 212 (ca 300 meter) och 214 (ca 700 meter).

Berggrunden består i huvudsak av sedimentgnejs med inslag av enstaka pegmatiter grönstensinlagringar. Gnejsen är också delvis migmatitiserad.

Tunnlarna har injekterats med kontinuerlig förinjektering.

3 RESULTAT

Analysen av den sammanställda datamängden i diagrammen har gjorts genom en visuell granskning och utvärdering av diagrammen. Egentligen är problematik med många olika parametrar lämplig att utvärdera med hjälp av någon multivariat analys. Det har dock inte varit möjligt att genomföra detta inom projektets ram. En tillämpning av multivariatanalys på ett framgångsrikt sätt kräver en betydande insats när det gäller tolkning/bearbetning av olika datamängder.

3.1 Kalkylering av dräner och placering av dräner

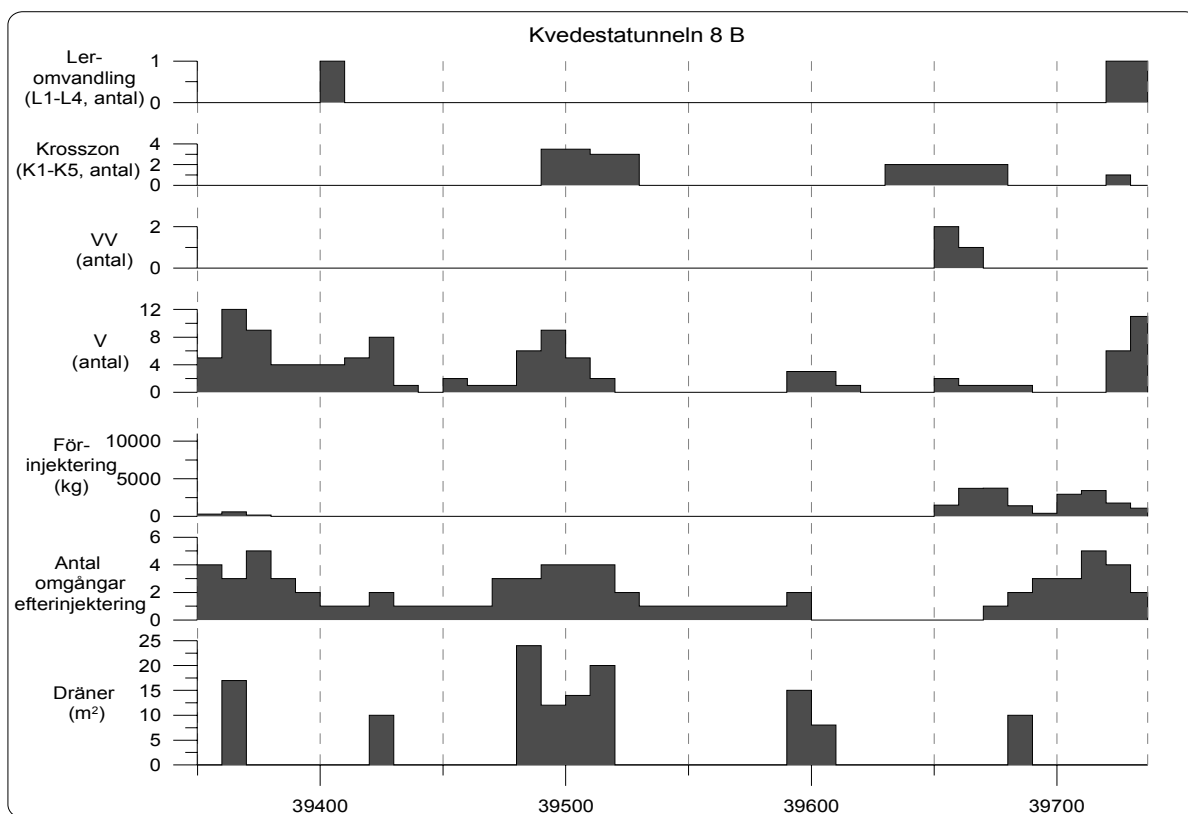
Sammanlagt har resultaten för åtta tunnlar sammanställts. Dokumentationen som har studerats avser krosszoner, vatten, förinjektering och dräner. Eftersom det förekommer en variation både i utförda arbeten och dokumentation har vi under arbetets gång gjort vissa förenklingar.

Vi har inte använt förekomst av lerslag från karteringarna då det saknas direkt koppling till förekomst av vatten och dräner.

När det gäller injektering har vi huvudsakligen studerat förinjektering och i de fall kontinuerlig förinjektering gjorts inte studerat ev. efterinjektering. Beslutsunderlagen för att utföra efterinjektering och både ambition och utförande av efterinjektering varierar i stor utsträckning. I många fall rapporteras begränsad effekt av utförda efterinjekteringar. Undantag gäller tunnarna på Grödingebanan eftersom de enbart förinjekterats på några kortare sträckor.

Den grafiska redovisningen för respektive tunnel är redovisad i bilaga 1. Där redovisas en sammanställning av relationshandlingen för byggskedet. För Glödbergstunneln redovisas den totala mängden som utförts, i byggskedet samt vid två utförda kompletteringar. De olika kompletteringskedena redovisas separat i bilaga 3.

Som exempel på redovisning visas dokumenterade data för Kvedestatunneln i figur 1, nedan. Den horisontella axeln utgör tunnelns längdmätning och data med olika y-axlar visar förekomst av insamlade parametrar längs med tunneln.



Figur 1 Diagram, redovisning av insamlad data för Kvedesta 8B

En utvärdering av den grafiska redovisningen har därefter genomförts. Resultatet av den har sammanställts i tabellform. Grödingebanan och Hällåsentunnlarna redovisas i tabell 1 och övriga tunnlar i tabell 2. Tunnlarna i tabell 1 har inte förinjekterats kontinuerligt vilket tunnlar i tabell 2 har (liten osäkerhet när det gäller Håbo södra).

Vi har valt att även redovisa sträckor där inga dräner (0 i raden för dräner) monterats men indikationer på vatten förekommer.

Resultaten har tolkats utifrån diagrammen i bilaga 1 och siffrorna i tabellen redovisar hur många förekomster av grupper av indikatorer som föreligger för olika tunnelavsnitt.

För exempelvis tunneln Kvedesta 8B (tunneln har bedömts tillhöra typ 1 (ytligt förlagd tunnel)) kan exempelvis följande utläsas:

Kolumn 1: Det finns ett mer eller mindre avgränsat tunnelavsnitt där dräner monterats och krosszon och vatten karterats och där för- och efterinjektering utförts.

Kolumn 2: Det finns tre tunnelavsnitt där vatten karterats, efterinjektering utförts och dräner monterats. (ingen förinjektering och inga krosszoner förekommer på dessa tre delsträckor)

Kolumn 3: Det finns ett tunnelavsnitt med krosszon, förekomst av vatten, där efterinjektering utförts och dräner monterats.

Kolumn 4: Det finns ett tunnelavsnitt med förekomst av krosszon, vatten, där förinjektering och efterinjektering utförts men inga dräner monterats.

Kolumn 5: Det finns ett tunnelavsnitt där förinjektering och efterinjektering utförts men inga dräner monterats.

Kolumn 6: Det förekommer en krosszon där inga dräner monterats.

Tabell 1 Tunnlrar som inte är kontinuerligt förinjekterade

	Kvedesta 8B	Lida	Tullingskog 2A	Tullingskog 2B	Hällåsen Södra	Hällåsen Norra
Tunneltyp	1	1	1	1	2	2
Längd (m)	380	1780	580	150	950	810
Krosszon	1 1 1 1	1 1 3	2 1 2	2 1	4 7 1	5 5
Vatten	1 3 1 1	1 2 5 1 3	2 5 1 2	2 1 1 1	4 7 3	5 5 3 6
Förinjekt.	1 1 1	1 2 1	2		4 1	5 3 2
Efterinjekt.	1 3 1 1 1	1	2 5	2 1 1		
Dräner	1 3 1 0 0 0	1 2 5 0 0	2 5 1 0	2 1 1 0 0	4 7 3 1	5 5 3 6 2

Tabell 2 Tunnlrar som är kontinuerligt förinjekterade

	Glödberget	Kalldalstunneln	S. Länken 211	S. Länken 212	S. Länken 214	Håbo Norra	Håbo Södra
Tunneltyp	2	2	2	2	2	1	1
Längd (m)	1350	1100	680	305	700	215	155
Krosszon	3	4 1	2 2	4	3 1	2 1	2 2
Vatten	3 6 1 2	4 2 1 1	2 7 2	4 6	3 7 1 1	2 1 1	1 2 2
Förinjekt.	3 6 2	4 2	2 7 2	4 6	3 7 1 1		
Efterinjekt.							
Dräner	3 6 1 0	4 2 1 1	2 7 0	4 6	3 7 0 0	2 0 0	1 2 0

Det framgår av tabellen att det finns entydiga samband mellan geologiska förhållanden, (krosszoner, sprickor), vattenförekomst och behov av dräner. Samtidigt sätts mycket dräner på sträckor där krosszoner inte förekommer. Ett annat resultat är att förinjektering inte uppenbart påverkar behovet av dräner. Däremot är det möjligt att det erfordrats mer dräner om injektering inte utförts.

Den enda tunneln där vi med säkerhet vet att dräner, som vi redovisar, är uppsatta vid flera tillfällen efter drifttagning är Glödberget. Vi saknar information om detta för flertalet tunnlrar. Besiktning och förslag på kompletteringar finns för Hällåsen och Håbo och planeras även för Grödingebanans tunnlrar.

För att åskådliggöra hur varierande tunnlar är har en sammanställning gjorts i figur 2. Där visas en sammanställning av de analyserade parametrarna, redovisat per meter bergtunnel. Det är totalt antal observationer av vatten (v,vv,vvv)*, antal krosszoner, injekterad volym samt dränytta. För några tunnlar saknas vissa sifferuppgifter. Underlaget för ytan dräner utgörs av vår sammanställning baserad på karteringsritningar från byggskedet och detta överensstämmer kanske inte med den mängd dräner som idag finns i tunnlar.

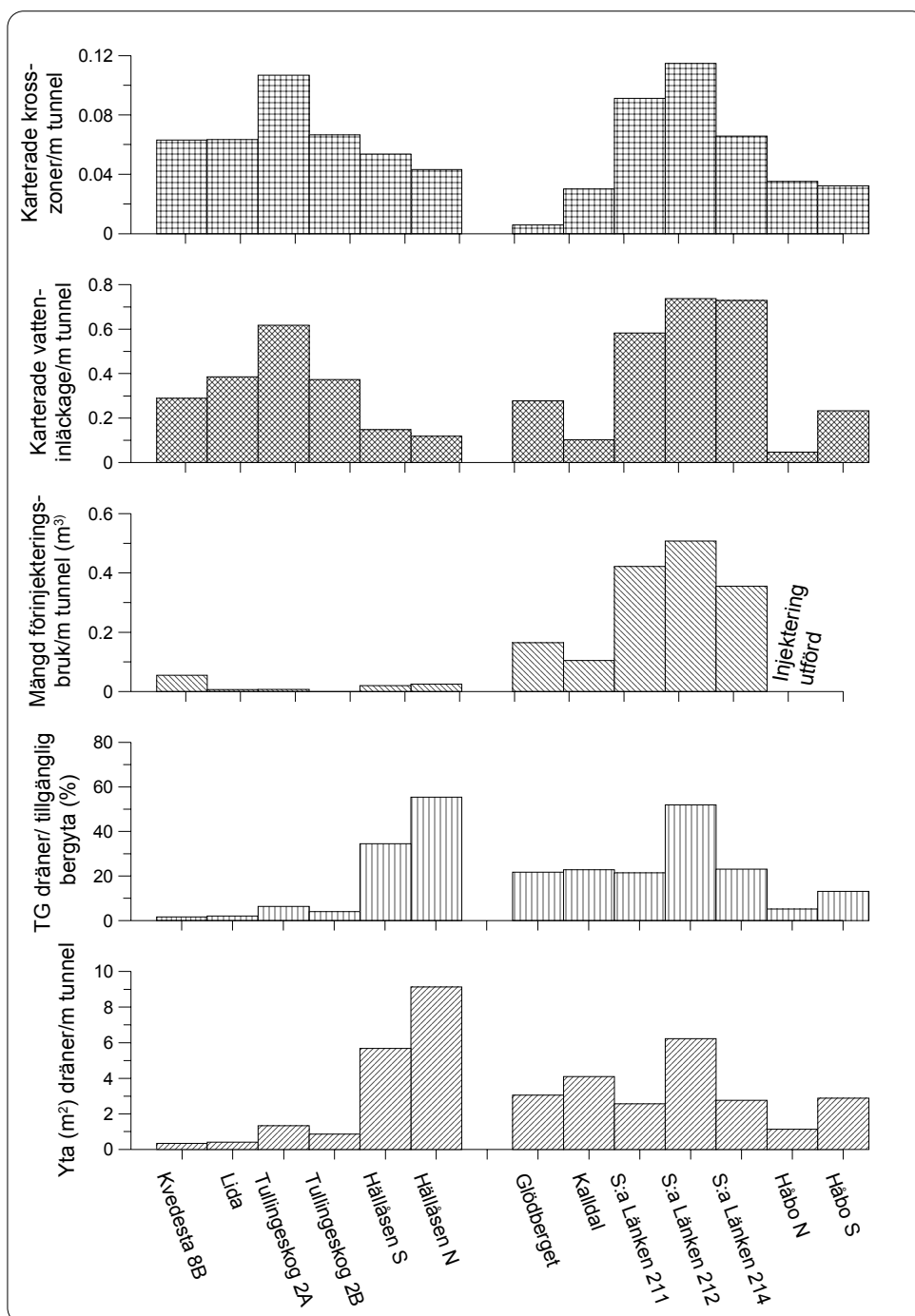
Av tabellen framgår tydligt några skillnader mellan tunnlar. I Södra länkens ramper har det dokumenterats betydligt mer, både förekomst av vatten, utförd injektering och krosszoner än i övriga tunnlar. Samtidigt är relativt mycket dräner satta speciellt på ramp 212. Orsaken till detta är sannolikt att kraven på Södra länken har varit betydligt större än på övriga tunnlar under hela processen (projektering, byggande och drifttagning). Några av Grödingebanans tunnlar har relativt små dränareor (jämfört med vattenförekomst och antal krosszoner). Hällåsen har betydande områden med dräner jämfört med karterad vattenförekomst.

Detta visar att det är mycket varierande förhållanden i olika tunnlar som beror på olika geologiska och geohydrologiska förhållanden. Samtidigt finns det andra faktorer som också har stor betydelse, tex ambitionsnivån när det gäller förinjekteringsarbeten (täthetskrav/inläckagekrav) och även hur mycket dränering som monteras i byggskedet.

En fråga som inte kan studeras på underlagsmaterialet är inverkan av injektering av sulan i tunnlar. I en del tunnlar utanför tätort där kraven på hur mycket inläckage som tillåts inte är så hårda har förinjekteringen gjorts i tak och väggar men inte i sulan. Tanken är att det leder till ett något lägre grundvattentryck på tunneln och mindre behov av dräner, samtidigt som det totala inläckaget kan bli högre. Detta fungerar teoretiskt och bör ha betydelse främst för ytligt förlagda tunnlar, (typ 1 och typ 2).

I vilken omfattning det varit aktuellt att försöka använda efterinjektering mot dropp har vi inte någon information om.

* v förekomst av fukt
vv förekomst av dropp
vvv förekomst av rinnande vatten



Figur 2 En sammanställning av de analyserade parametrarna för samtliga tunnlar, redovisat per meter bergtunnel. (För Håbotunneln saknas volymuppgifter på injektering) TG=täckningsgrad

3.2 Resultat av några enskilda tunnlar

I detta kapitel redovisas kort resultat och analyser för tre av de tunnlar som ingått i studien (Lida och Hällåsen norra och södra). De tunnlar som beskrivs här är de tunnlar som är lite längre och där det finns ett material som tillåter en analys. I bilaga 1 redovisas diagram som redovisar de parametrar som analyserats.

3.2.1 Hällåsentunnlarna (typ 1)

I dessa tunnlar har dräner monterats på i stort sett hela sträckan, men inte hela ytan. Dräner som satts har i huvudsak bredden 2,7 meter men även 1,5 meters dräner förekommer. I diagrammet (bilaga 1) redovisas ytan drän per 10 meters sektion (totala ytan vägg och tak är ca 160 m²/10 meter) och förutom på några sträckor i södra delen av södra tunneln så förekommer dräner på i stort sett hela sträckan men i olika omfattning.

Förinjektering utfördes enbart i tunnelmynningar samt på ytterligare några korta avsnitt där vissa fastställda kriterier uppfylldes (se kap.2.3.3). Totalt sett så är alltså enbart en begränsad del av tunnlarne förinjekterade.

Berget bedömdes vara till stora delar vara i huvudsak tätt under byggtiden men successivt ökade läckagen och har sedan byggtiden legat ca tre gånger över prognostiserat inläckage.

I ett PM Tätning och injektering från projekteringskedet finns uppgifter om ett antal zoner med sämre berg, lägen för dessa zoner är baserade på undersökningar från ytan. Dessa zoner överensstämmer i de flesta fall med partier där mängden dräner ökar i förhållande till omgivningen. Det förekommer dock också ett antal partier där ytan dräner ökar men prognosen inte anger att sämre berg skall förekomma.

Sammanfattningsvis föreligger det alltså ingen uppenbar koppling mellan områden som förinjekterats (korta avsnitt) och ytan dräner som monterats i tunneln då dräner förekommer i större delen av tunneln.

3.2.2 Lidatunneln (typ 1)

I Lidatunneln är uppsatta dräner ca 1 meter breda, dvs de är satta över explicita läckagepunkter/sträckor. Dräner har (enligt vårt material) enbart monterats i ena änden av tunneln på en sträcka av ca 600 meter (av totalt 1780 m). På denna sträcka förekommer dräner oregelbundet med två tydliga avsnitt med ökad koncentration. I dessa avsnitt har förinjektering också utförts men vatten förekommer trots detta i ökad omfattning i dessa avsnitt. Ingen kontinuerlig förinjektering utfördes i denna tunnel men efterinjektering har utförts i större delar av tunneln och i dessa ovan nämnda avsnitt har också antalet ”efterinjekteringsomgångar” varit högre än i omgivande delar.

I rapport avseende ”Erfarenheter och utvärdering av projektering och byggande” (Bergab) har en kortfattad sammanfattning av bergförhållandena utifrån framtagna prognos gjorts. I denna framgår följande:

- Att ett ökat förstärknings- och tättningsbehov föreligger i anslutning till 13 stycken svaghetszoner i berget (utan närmare angivande av dessa zoners omfattning). Behovet anges som ”relativt måttligt” för dessa avsnitt. Det redovisas också ett avsnitt (km 24+274 – 24+400) där behovet anges om ”relativt stort”.

Utfallet visade sedan att 3 av dessa (totalt 13) zoner påträffades ungefär i prognosticerade lägen samt 4 ytterligare övertvänder zoner påträffades i tunneln. Vattenförekomster förekommer enligt denna rapport ofta i sprickor utanför egentliga svaghetszoner.

Avsnittet där behovet av åtgärder bedömdes vara störst (enligt ovan) var i ett av de avsnitt där mängden dräner har ökat. Frekvensen dräner är högre mellan km 24+230-300 dvs på en del av detta område och där vattenkarteringen visar att vatten förekommer mer frekvent.

Utifrån karteringen av tunneln kan ytterligare två längre avsnitt definieras där berget karterats som zon i både väggar och tak. Detta kan indikera att större zoner korsar tunneln. Dessa partier beskrivs nedan:

Km 24+900-25+100 I detta avsnitt har både för- och efterinjektering utförts, vattenläckage har karterats (från fukt till svagt rinnande) men inga dräner har monterats. Detta kan eventuellt bero på att efterinjekteringen lyckats eller läckaget minskat (genom självtätning) innan lägen och omfattning för dräner beslutades.

Km 25+425-25+488 Detta avsnitt är i delen närmast den mynning där inga dräner satts. Här har ingen förinjektering utförts utan bara viss efterinjektering, vatten förekommer i någon liten omfattning. Inga dräner har monterats på denna sträcka.

Sammanfattningsvis kan konstateras att i de partier där dräner monterats har vattenindikationerna varit relativt många. Dock finns det avsnitt där vatten förekommer i nästan samma omfattning men där inga dräner har monterats. Förinjektering har utförts i tre avsnitt av tunneln varav två av dessa senare fått dräner men i det tredje så har det inte monterats några.

Det förekommer avsnitt som har karterats som zon (väggar och tak) och vatten förekommit och där dräner monterats och där dräner inte monterats. Orsakerna till detta kan vi inte förklara utifrån vårt material men kan givetvis bero på att injekteringen (för- och/eller efterinjektering) lyckats eller att läckaget minskat av andra orsaker.

3.3 Kommentarer, samtliga tunnlar

Sammanställning, underlag för enklare kalkylering – kostnad för att sätta dräner i olika skeden har inte studerats i detalj. Det är många faktorer som avgör besluten av hur

omfattande arbeten med dräner som utförs direkt i byggskedet i olika projekt. Några exempel på faktorer är:

Projektets, entreprenadens budget – dräner sätts sent i ett byggskede och man kan anta att omfattningen av dräner delvis kan bero på projektets totala budgetsituation. Detta är till stor del en projektbudget och projektadministrativ fråga. Hur stor kostnad kan tas i byggskedet och vilka kostnader skjuts över på drift av anläggningen?

Svårigheter och kostnader att komplettera med dräner senare varierar för olika tunnlar. För järnvägstunnlar bedöms det vara relativt komplicerat och dyrt, tågstopp, nattarbeten mm. För vägtunnlar beror det förmodligen till stor del på hur hög trafiklasten är. I storstadsområden blir det sannolikt också vanligen nattarbete och höga kostnader för utförande av kompletterande dräner.

Olägenheten med dropp varierar också för olika tunnlar. För vägtunnlar är det väsentligt att helt ta bort dropp från tak, för järnväg däremot kan kanske ett visst dropp accepteras. För svallis är situationen mer likartad för väg och järnväg. Järnvägen bör dock kunna acceptera mer svallis – så länge den inte inkräktar på det minsta tillåtna fria rummet*. För vägtunnlar innebär svallis direkt risk för svår halka och är knappast acceptabelt över huvud taget.

I tunneln karterade krosszoner verkar inte ha någon avgörande betydelse för behov av dräner. Dräner har genomgående satts på betydligt fler avsnitt än där krosszoner karterats. Det förekommer även flera avsnitt med karterade krosszoner där dräner inte monterats. Detta kan indikera att de partier som karterats som krosszon inte alltid är några vattenförande zoner utan kanske bara är lokala partier med mer uppsprucket berg.

Läckagemönster förändras med tiden (ingen nyhet) och det finns alltså områden där vatten karterats men inga dräner placerats. Det är inte osannolikt att dränerna i vår undersökning inte placerats utifrån den vattenkartering som redovisas på de karteringsritningar vi har utan på nya karteringar/inventeringar i samband med eller inför dränsättning eller i bästa fall på flera noteringar under längre tidsperioder vilket i viss mån kan påverka resultaten i rapporten.

Det finns områden i tunnlar där förinjektering är utförd och vatten förekommer men ändå har inga dräner monterats. Orsakerna till detta kan vara flera, exempelvis att eventuell efterinjektering har lyckats, läckagen har upphört innan dräner skall monteras, eventuella läckage inte innebär några problem utan är acceptabla eller att vatten/is förekommer men dräner har av någon anledning ännu inte monterats.

Komplettering av dräner pga problem med främst svallis är aktuellt för flera av de tunnlar som ingår i studien. Kompletterande inventeringar har gjorts i några fall men resultaten har inte använts direkt i databasen i nuläget.

* Med ”fria rummet” menas det utrymme utmed spåret där fasta föremål inte får förekomma.

Exempel på goda resultat från förinjektering finns från olika bergtunnlar som utförts i tätortsmiljö som inte ingår i denna undersökning. Det gäller bland annat Södra länken, Lundbytunneln, och Götatunneln. Dessa har utförts med krav på mycket små inläckage ur miljösynpunkt. Injekteringen har utförts med små spetsavstånd, injektering i flera omgångar och kontrollhål. Observera att trots detta förekommer återkommande problem med vatten och is även i några av dessa tunnlar.

En faktor som inte diskuterats närmare är att lokala klimatförhållanden kan innebära att problem med istappar och dropp även kan förekomma i helt täta tunnlar beroende på kondens. Fuktig luft kondenserar mot den kalla tunnelväggen och även frysa till is.

4 GLÖDBERGET, EN ANALYS AV IS- OCH VATTENINVENTERINGAR

I juni 2005 gjordes ett försök till analys av utförda vatten och isinventeringar från Glödbergstunneln för två olika perioder. Dessa perioder var november 1995- april 2003 (analys 1) samt november 2004-maj 2005 (analys 2). Under den första perioden är tillgängliga inventeringar utförda av olika personer och ojämnt fördelat över tidsperioden. Under den andra perioden har fyra stycken inventeringar utförts från november 2004 till maj 2005 av samma person med samma ambitionsnivå.

Utöver inventeringsprotokollen inhämtades data för nederbörd, temperatur och grundvattensituationen i området från SMHI och SGU för perioden 1994-2005. Värden hämtades från mätstationer så nära Nyåker som möjligt.

- Nederbörd: Torrböle ca 1,5 mil ostsydost om Nyåker
- Temperatur: Hemling ca 4,5 mil västsydväst från Nyåker.
- Grundvatten: Vindelns ca 5 mil norr om Nyåker samt kartor som redovisar grundvattensituationen generellt för hela landet per månad. Det är dessa kartor som utnyttjats för analyserna då osäkerheten i representativiteten av nivåerna från grundvattenröret i Vindelns är osäker.

Vid arbetet uppkom ett antal frågeställningar avseende inventeringarna och innehållet i dessa och därmed också hur de skall värderas, nedan listas några av dessa upp:

- Syftet med och ambitionsnivå för de olika inventeringarna:
- Redovisning och noggrannhet i lägesbeskrivning av förekomster.
- Temperatur vid inventeringstillfället.
- Utförd isknackning, dvs hur ligger inventeringarna i tiden i förhållanden till isknackning som utförts i tunneln. Detta påverkar givetvis resultatet och mängden isförekomster.

4.1 Beskrivning av analys 1

För att begränsa arbetet så valdes ett 280 meter långt avsnitt av tunneln ut med start i södra tunnelmynningen (km 816/220 – 816/500 m). I detta parti fanns i november 1995 ett område på högra sidan med två dräner, därefter har det skett kompletteringar i två omgångar. Analysen gjordes för att se om det finns några enkla samband mellan noterade is- och vattenförekomster, dräners lägen och omfattning i tunneln samt klimat och grundvattenförhållanden i området.

Vid analysen framkom inga tydliga samband mellan klimat, grundvattenförhållanden och mängden noteringar av is/vatten.

4.2 Beskrivning av analys 2

Under denna period fyra stycken inventeringar utförts, dessa har alltså utförts av samma person med samma underlagsmaterial och ambitionsnivå. Dessa faktorer gjorde att vi valde att göra en separat studie av denna period. Vid denna analys gjordes även en uppdelning av sträckan i två delar:

- Från mynningen km 816/220, ca 130 meter in i tunneln till km 816/350
- Från km 816/350 och ytterligare ca 150 meter in i tunneln till km 816/500

Resultaten visar att det under hela den analyserade perioden varit normala grundvattennivåer i området. I den yttre delen är få noteringar under höst och vinter då medeltemperaturen varit under noll grader oavsett nederbördsmängder, troligen då dessa varit i form av snö och marken varit tjälad. I maj då medeltemperaturen varit över noll grader under en längre period (april och maj) och då det fallit en del nederbörd så ökar antalet noteringar något.

I den inre delen har det vid två av tillfällena varit mycket noteringar dels i maj 05 och dels i januari 05. Orsakerna till detta är troligen olika för de båda tillfällena i maj är det troligen orsakat av våren, temperaturökning och upptining av bergmassan och is i sprickor samt snösmältning.

När det gäller januariperioden så föll det en hel del nederbörd under denna månad men detta borde ju inte påverka grundvatten och inläckage i tunneln då medeltemperaturen varit under noll grader i flera månader och marken tjälad och snötäckt. Detta innebär att det rimligen borde ha varit färre noteringar om man enbart ser till dessa parametrar. Det som kan ha påverkat antalet noteringar är att temperaturen vid karteringstillfället var runt noll grader och att detta lett till att vatten som frusit i sprickor tinat i de yttligaste delarna och börjat droppa. När sedan temperaturen fallit igen så upphör läckaget när temperaturen sjunker. Vid senare karteringar har dock inga istappar noterats i dessa droplägen vilket kan ha olika orsaker:

- Att vattentillrinningen från sprickan upphör när temperaturen sjunker och att det inte kommer vatten som kan bilda istappar.
- Att istappar som bildats har knackats bort när de upptäckts, och alltså inte finns kvar vid nästa karteringstillfälle.

4.3 Sammanfattning

Utifrån dessa analyser visar det sig att det inte verkar föreligga några enkla samband mellan karteringar/inventeringar, klimat och grundvattenförhållanden. Det visar sig också att det inte bara handlar om att kartera/inventera utan också att det finns en

konsekvens i detta både i bedömningar och lägesredovisningar samt att även andra aktiviteter i tunneln som kan påverka resultaten dokumenteras (isknackning mm).
Bedömningsgrunder.

Temperaturen vid inventeringstillfället verkar ha en betydelse för droppläckage och bör därför noteras både i och utanför tunneln. Det kan förekomma droppläckage vid tillfällena då medeltemperaturen för aktuell månad är minus.

5 SLUTSATSER OCH FÖRSLAG

Med utgångspunkt från de frågor som ställdes i kapitel 1.2 Syfte, förs nedan ett resonemang om dels kalkylering av mängder i projekteringskedet dels styrande faktorer för placering av dräner i byggskedet.

5.1 Kalkylering av dräner

Detaljerad information från förundersökningsskedet har begränsad betydelse för en bedömning av placering av dräner. En bra utförd förundersökning kan ange tunnelavsnitt med behov av dräner. Därmed är detta material direkt användbart för en översiktlig bedömning av omfattningen av dräner och kan användas som underlag vid upphandling av entreprenadarbetena. Prognos av förväntade zoner, bergkvalitet, injekteringsbehov etc kan ge indikationer om mängden dräner som kan komma att krävas.

Mängden dräner kan dock inte enbart baseras på prognosticerade zoner med nedsatt bergkvalitet då det ofta visat sig att vatten inte enbart förekommer i dessa avsnitt utan även ofta förekommer i sprickor utanför zoner. Detta är troligen orsakat av att dessa sprickor försörjs med vatten från de mer vattenförande zonerna. Mängden tillgängligt vatten i akvifären/erna i jordlager och berggrund kan också indikera behovet av dräner. En ytligt belägen tunnel som under nederbördsfattiga delar av året kan förefalla torr och behovet av dräner kan då underskattas. Samma sak kan även i vissa fall gälla vintertid för ytliga tunnlar om hela bergmassan är frusen. För djupare belägna tunnlar där grundvatten alltid förekommer bör variationen under året var betydligt mindre. Observera att både tillgången på vatten och infrysningen av berget har betydelse för de variationer som kan uppträda under året.

Ambitionsnivån när det gäller tätning, för- och efterinjekteringen, har också betydelse för behovet av dräner i en tunnel. Utförs en ambitiös förinjektering kan troligen mängden dräner minskas.

Andra parametrar som har betydelse är klimat och frostinträngningen. Vanligen beräknas frostinträngningen in i tunneln och någon typ av inklädnad projekteras för tunneldelar närmast mynningarna.

Ytterligare en metod som bör tas hänsyn till vid kalkyleringen är en livscykelanalys (LCC-analys) för dräner som tar hänsyn till även behov av framtida underhåll etc. Detta ger ett direkt underlag som måste beaktas vid upphandling och andra beslut i ett projekt. Det finns flera val i byggskedet som påverkar det framtida underhållet för en anläggning.

En prognostisering/kalkylering av dräner kan förslagsvis baseras på följande underlag:

- 1) Geologisk prognos, förekomst av zoner, typ av tunnel mm.
- 2) Erfarenheter från andra tunnlar i regionen med jämförbara förhållanden (geologi, topografi mm)
- 3) Livscykelanalys, jämför investeringskostnaden i byggskedet med underhållskostnader för andra motsvarande tunnlar, (erfarenhetsåterföring)
- 4) Värdera tunnelns topografiska läge ur vatten- och frostsynpunkt, gör en sammanvägning av punkterna 1,2 och 3.

I detta projekt har vi saknat projekteringsunderlagen för de flesta tunnlar och vet inte hur man prognosticerat behovet av dräner i förfrågningsunderlagen. Efter flera års drifttagande av tunnlar har det visat sig att kompletteringar ofta erfordras. I många tunnlar utförs dränering i mellan 30 och 60 % av tunnelsträckan. Detta är betydligt mer än vad som normalt finns med i upphandlingsskedet. Orsakerna till att behovet av dränering underskattas är flera.

- Av kostnadsskäl önskar man minimera antalet dräner/arean
- Behovet baseras enbart på förstudiens redovisade krosszoner eller tunnelsträckor med bedömd större vattenförekomst

En viktig och mer övergripande parameter är egentligen vad projektet har för utgångspunkt när det gäller vatten och frostisolering. Vanligen behandlas dräner som något kostnadskrävande som helst ska undvikas eller minimeras i ett projekt. Resultatet blir till slut att betydligt mer dräner kommer att utföras än planerat och därmed framstår det som en fördyring eller ett misslyckande. Om istället en mer realistisk bedömning var utgångspunkt för behovet av dräner skulle man istället kunna se besparingsmöjligheter och realistiska möjligheter att kunna minska ytan med dräner. Baserat på olika underlag enligt ovan samt erfarenheter från andra tunnlar under likartade förhållanden kanske en täckningsgrad med dräner i förfrågningsunderlaget skulle vara 50-70%.

I denna studie saknades underlag i form av förstudier och förprojektering i flera projekt. Det har därför varit svårt att direkt visa på tydliga samband. Det vore därför intressant med en kompletterande studie, där ett antal tunnlar som byggs/byggt under senare år väljs ut. För dessa tunnlar skall olika möjligheter att kalkylera mängden dräner studeras och resultaten i form av jämförelser med verkligt utfall redovisas.

5.2 Placering av dräner

För placering av dräner i byggskedet finns ett större beslutsunderlag. I nuläget antar vi att dränerna placeras ut där vatten som måste dräneras bort förekommer i tunneln. Dessutom görs eventuellt frostisolering närmast tunnelmynningarna baserat på beräknad frostinträngning.

Förstudie- och projekteringsskedet ger en generell information om de geohydrologiska förhållandena och detta bör jämföras med den aktuella situationen under byggskedet. Stämmer tidigare beskrivning eller inte, vad är orsaken till detta, klimatfaktorer, andra geologiska förhållanden än prognosticerade etc. Detta bör studeras när beslut om placering av dränering fattas, jämföra aktuell situation med en normalsituation eller vad som kan förekomma under en årscykel. T ex kan det vid ett tunnelbygge (typ 1) under en period med liten nederbörd innebära att behovet av dräner underskattas.

Den viktigaste faktorn för att optimera lägen för dräner är givetvis att lokalisera var vatten/is förekommer och ger/kan ge problem. Detta kan som det visat sig vara besvärligt då vattenläckage tenderar att ”flytta sig” i tunnlar, vilket innebär att kartering/inventering av vatten bör ske vid flera tillfällen. Görs detta och under en så lång tidsperiod som möjligt och helst under olika årstider och grundvattensituationer så kan säkerheten i placeringen ökas. Detta kan vara svårt att åstadkomma i ett byggskede men är önskvärt. Det ställs givetvis också krav på hur inventeringarna utförs och redovisas (jämförbarhet både avseende lägen och omfattning). Först efter analys av detta material bör beslut tas om var dräner skall monteras. Bredden på dräner bör också diskuteras och erfarenheter visar att för smala dräner bör undvikas eftersom dels funktionen av isoleringen är beroende av bredden och dels för att risken att missa läckagen ökar speciellt om dräner monteras under en period då vatten kanske inte förekommer i tunneln.

Ett bättre beslutsunderlag för placering av dräner kan erhållas om flera faktorer beaktas. Vi föreslår följande metodik:

- 1) Nuläget i tunneln – aktuella observationer av vattenförekomst, från flera tillfällen.
- 2) Ta fram den geologiska prognosen från projekteringsskedet. Markera delsträckor där risk för vattenförekomst föreligger.
- 3) Jämför 1 och 2 med den geologiska karteringen från byggskedet. Sammanställ allt material på en ritning.
- 4) Klimatfaktorer. Sammanställ och utvärdera klimatsituationen från både projekteringsskedet och byggskedet, (Sommar, vinter, temperatur, nederbörd etc).
- 5) Värdera tunnelns topografiska läge ur vatten- och frostsynpunkt, (typ 1,2 eller 3).

Hur mycket dräner skall sättas och hur breda dräner skall sättas? Punkt 1 och 3 ger underlag för minimum som bör placeras ut. Punkt 2 och 4 ger underlag för både ytterligare lägen där dräner kan övervägas eller där bredare (större) areor bör utföras direkt.

En viktig erfarenhet är att vattnet i många fall söker sig nya vägar och läckage uppstår med tiden bredvid och mellan dräner. En slutsats kan vara att bredare dräner bör monteras eller att större sammanhållna ytor utförs. Punkterna 2, 4 och 5 kan bidra med underlag för avgränsning av dräneringsområdena.

Ytterligare en viktig faktor är olägenheten med vatten och is i en tunnel, möjligheterna till underhåll och vad det får kosta samt möjligheterna att senare komplettera med dräner (möjligheter till och kostnader för avstängning av tunneln för dessa arbeten).

Bästa resultat erhålls om man väntar så länge som möjligt med att sätta dräner då beslutet kan baseras på observationer under en längre tidsperiod.

Referenser:

Hargelius Hans, 2006: Dräner i tunnlar för vatten och frostsäkring – inventering baserad på litteratur, intervjuer och fältstudier. SveBeFo Rapport 77.

Hällåsentunnlarna, Geologisk sammanställning: Ljusne-Söderhamn km 189+900-km 191+163. VBB Anläggning, 1996.

Banverket, Grödingebanan: Etapp Malmsjö – Gerstaberg, Kvedestatunnlarna 8A och 8B. Erfarenheter och utvärdering av projektering och byggande. Bergab 1995.

Banverket, Grödingebanan: Etapp Flemmingsberg –Malmsjö. Lidatunneln 3. Erfarenheter och utvärdering av projektering och byggande. Bergab 1995.

Banverket, Grödingebanan: Etapp Flemmingsberg –Malmsjö. Tullingeskogstunnlarna 2A och 2B. Erfarenheter och utvärdering av projektering och byggande. Bergab 1995.

Andrén A, 2006: Redovisning av besiktning av vatten- och isproblem i några av Banverkets tunnlar. Banverket.

Sammanställning av material från undersökta tunnlar i diagramform.

I denna bilaga redovisas diagram för de olika tunnarna som ingått i undersökningen. Underlaget till diagrammen har utgjorts av ritningsmaterial och rapporter vi fått fram från Banverkets arkiv och till viss del från olika konsulter som varit inblandade i de olika tunnelprojekten.

De parametrar som redovisas i diagrammen varierar något mellan de olika tunnarna men består i huvudsak av:

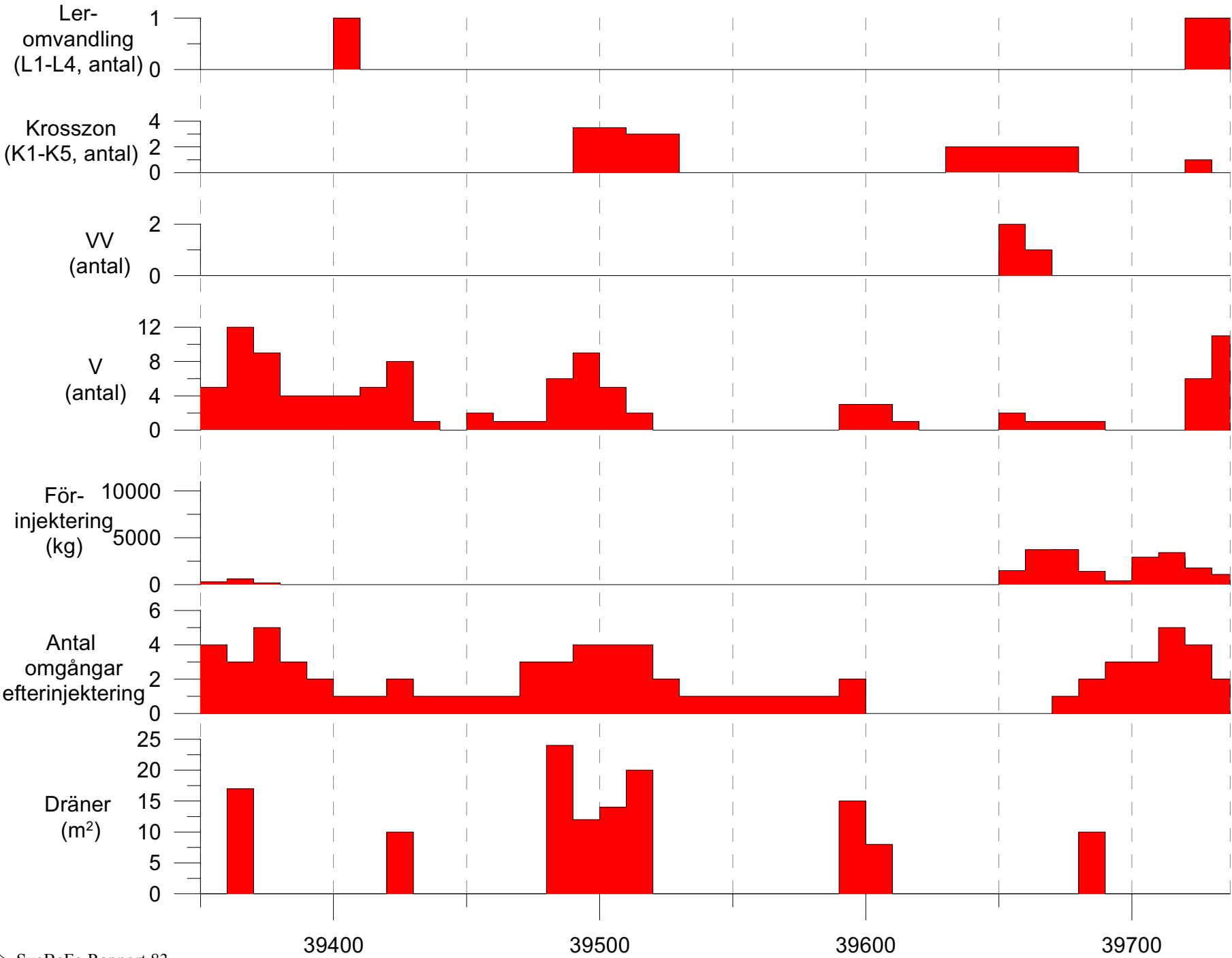
- Geologisk/geohydrologisk information från tunnelkarteringar
- Injekteringsdata
- Mängd dräner som monterats, den mängd vi utnyttjat är den som redovisats på de ritningar vi haft tillgång till. Detta redovisar alltså den mängd som fanns vid tillfället då ritningarna upprättades vilket kanske inte alltid är den slutliga mängd som monterades innan tunneln togs i drift eller den mängd som nu är monterad.

Innehållet i de olika diagrammen varierar då den information vi haft från olika tunnlar varierat i både form och innehåll. I huvudsak har informationen fördelats på 10-meters sektioner i tunnarna.

Här nedan görs en kort beskrivning av de olika parametrar som kan förekomma i diagrammen:

- Leromvandlig, antal zoner/partier där leromvandling (L1-L5) karterats.
- Krosszoner, antal zoner/partier som karterats som krosszon.
- Vatten
 - Antal, från kartering av noteringar av vattenförekomster (v, vv, vvv).
 - Inläckagemätningar från 5 hål i stuff (enbart Glödbberget)
- Q-värde
- Injektering
 - Förinjektering, mängder eller volymer bruk som förbrukats.
 - Efterinjektering, antal omgångar efterinjektering som utförts.
- Dräner, yta dräner som redovisats på ritningarna.

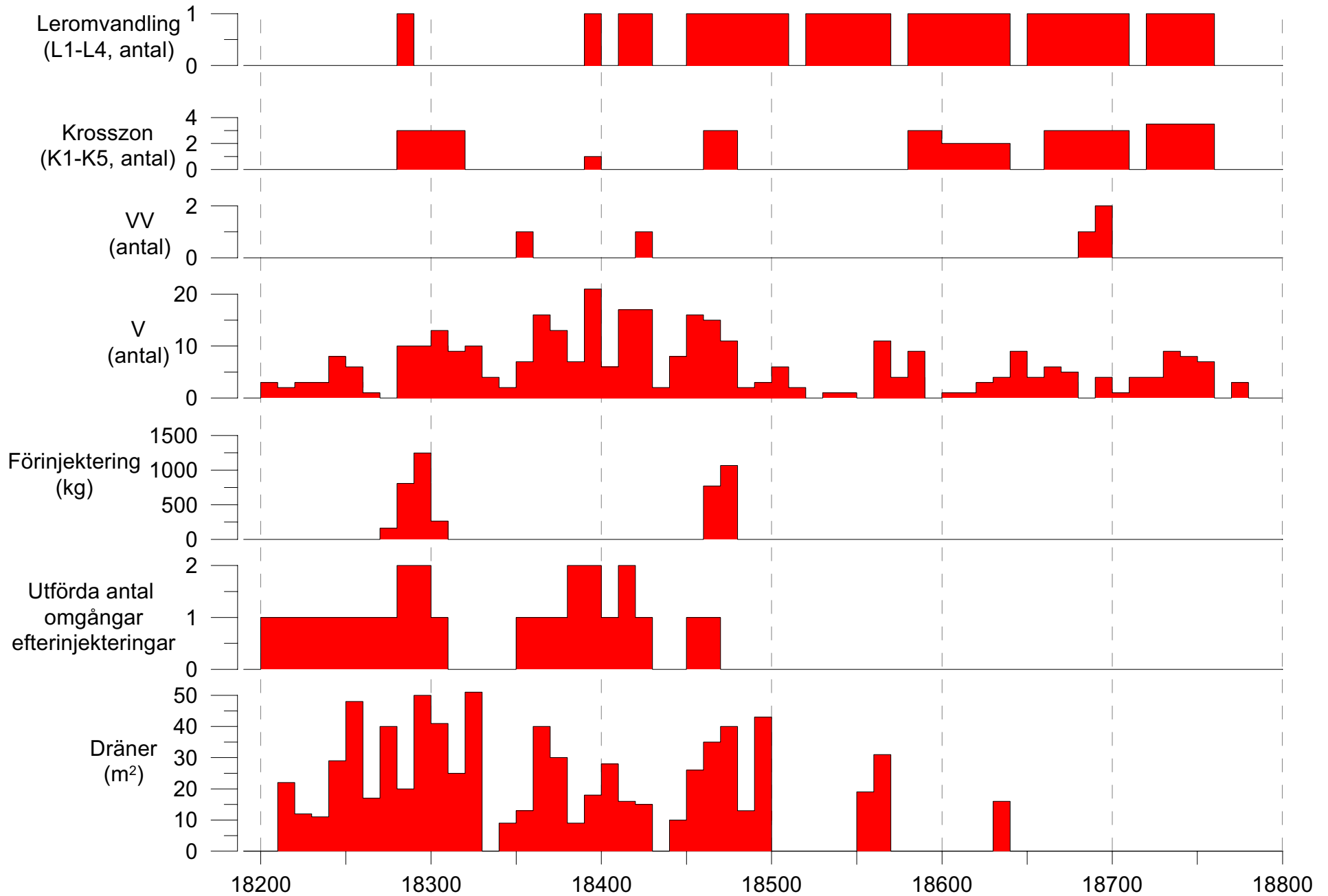
Kvedestatunneln 8 B



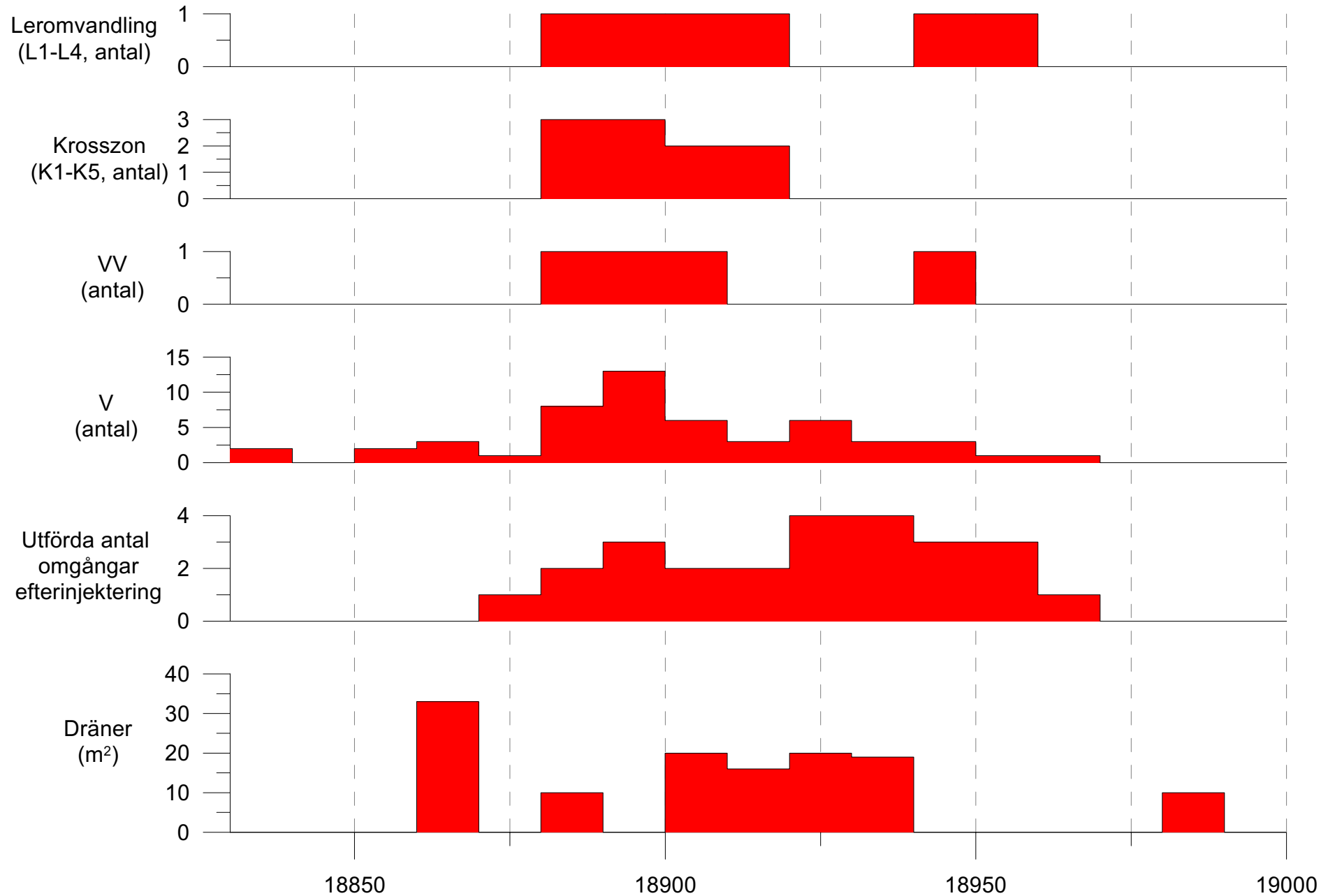
Lidatunneln



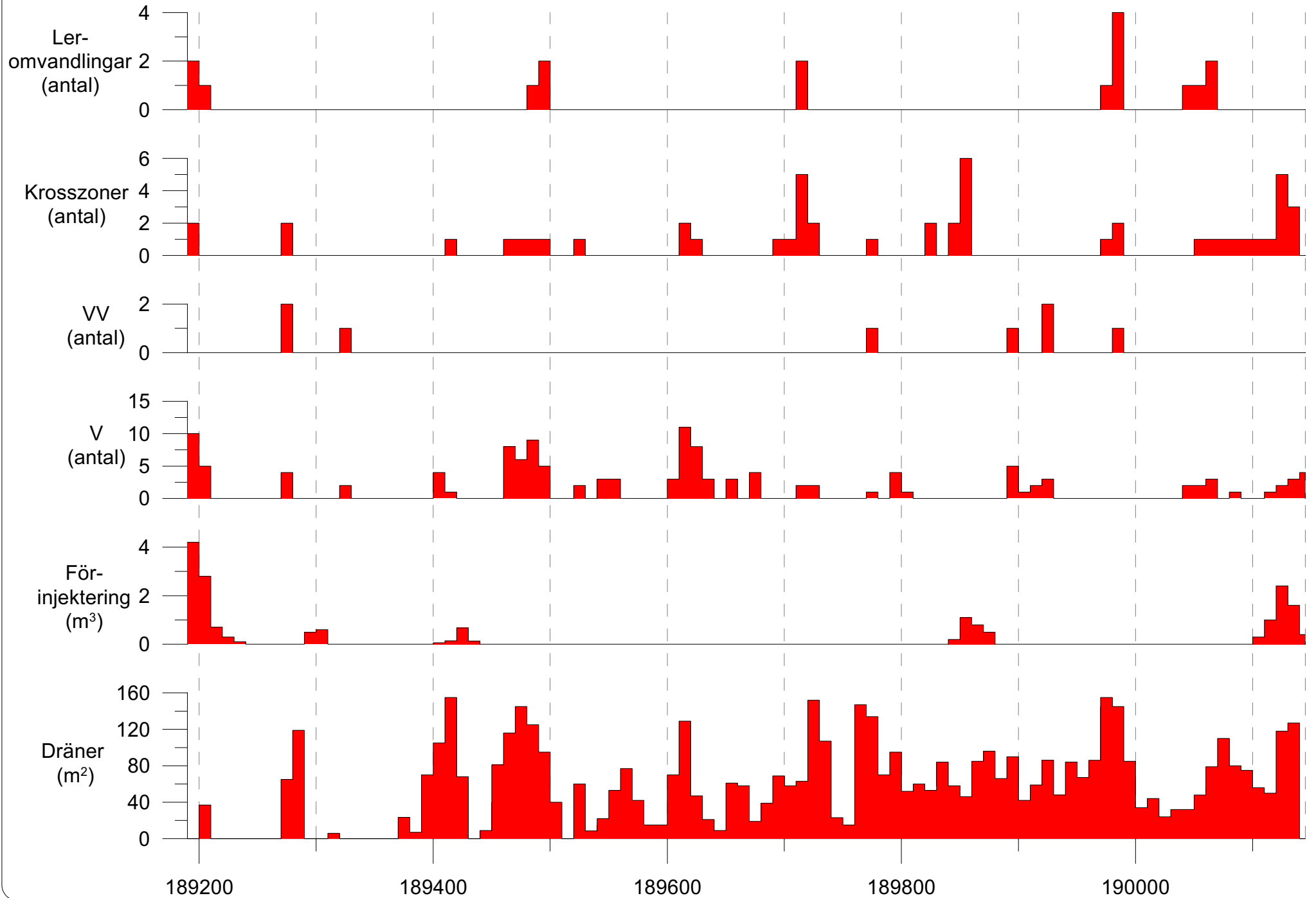
Tullingskog tunnel 2A



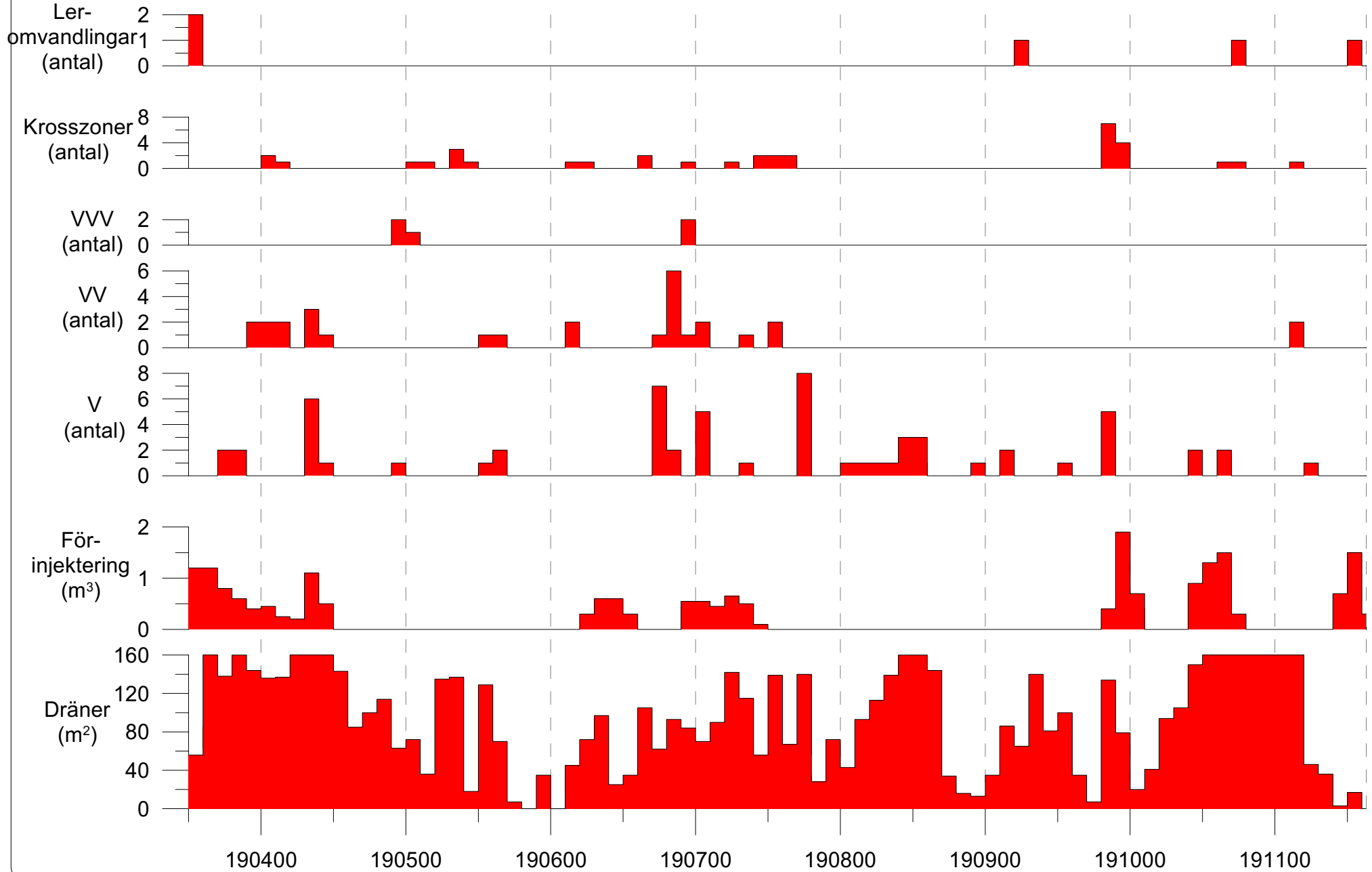
Tullingskog tunnel 2B



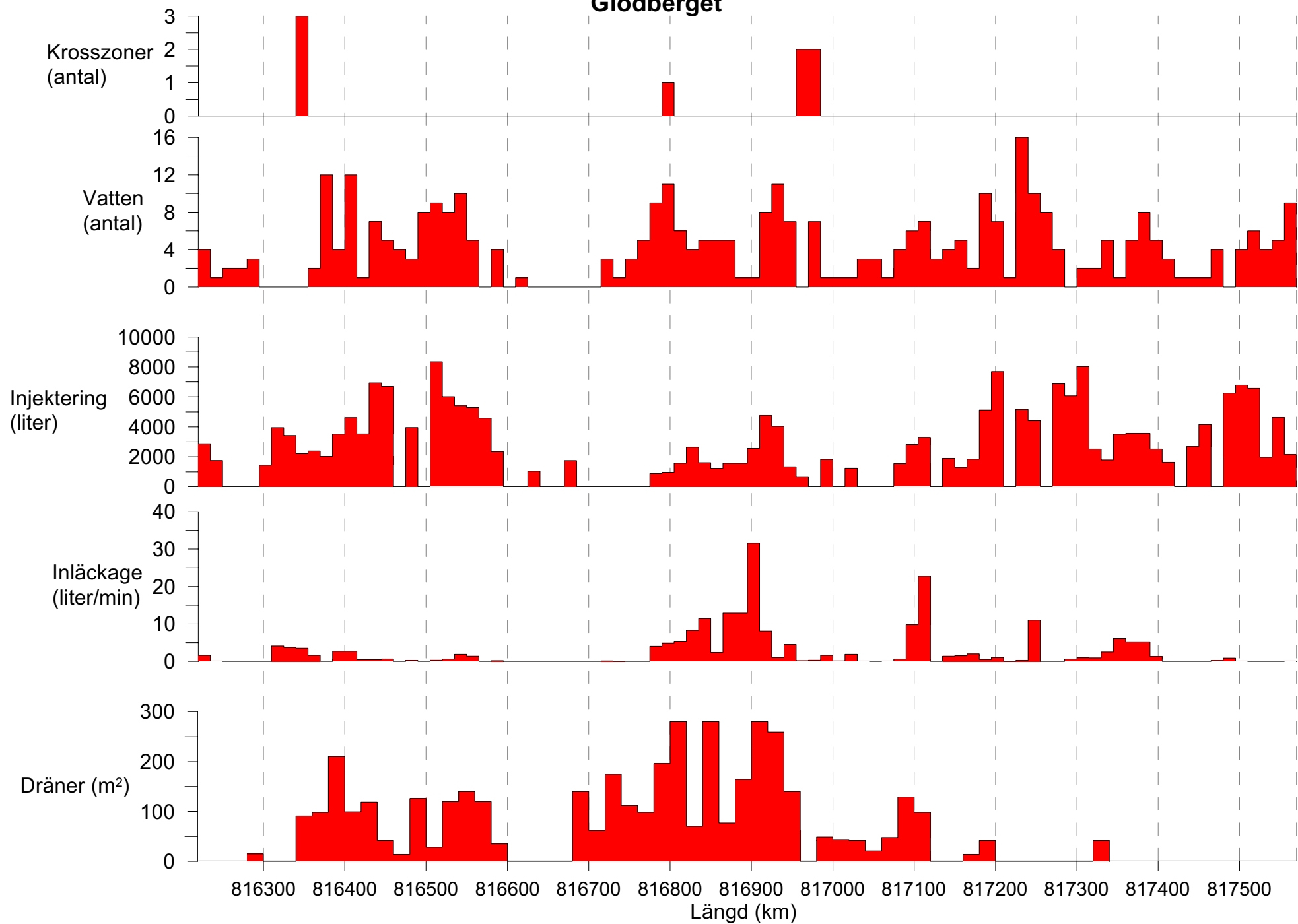
Hällåsen Södra



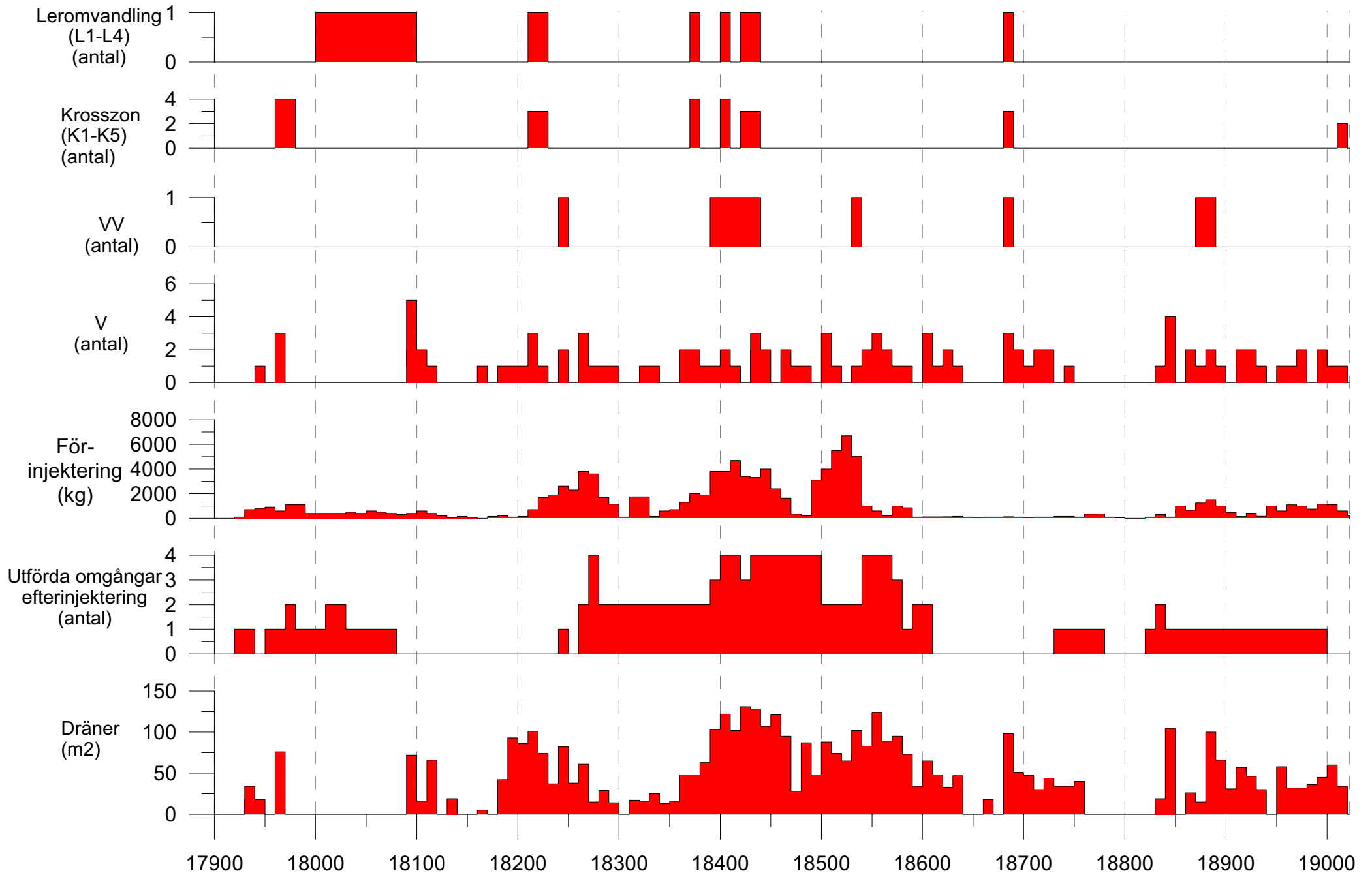
Hällåsen Norra



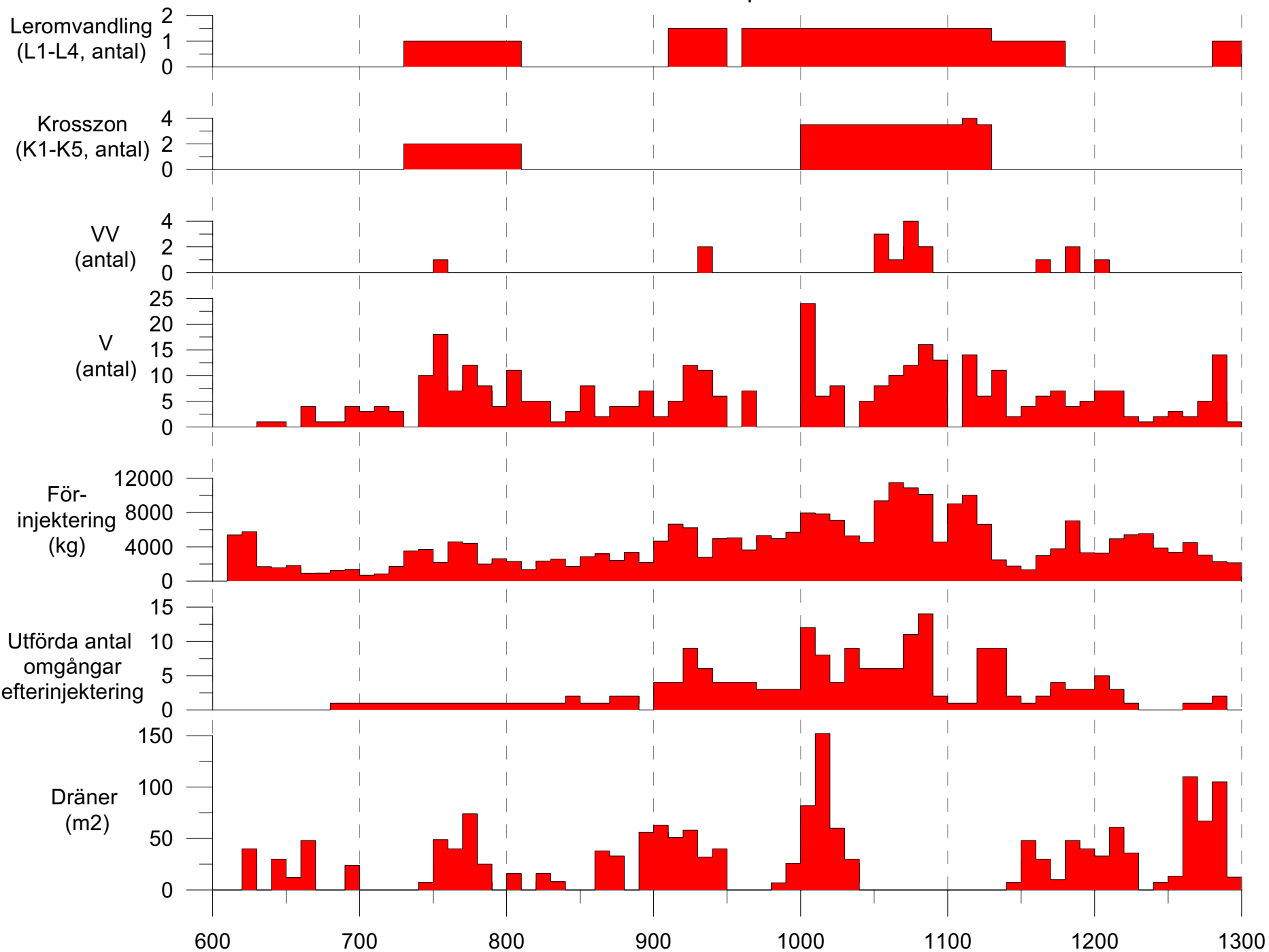
Glödborget



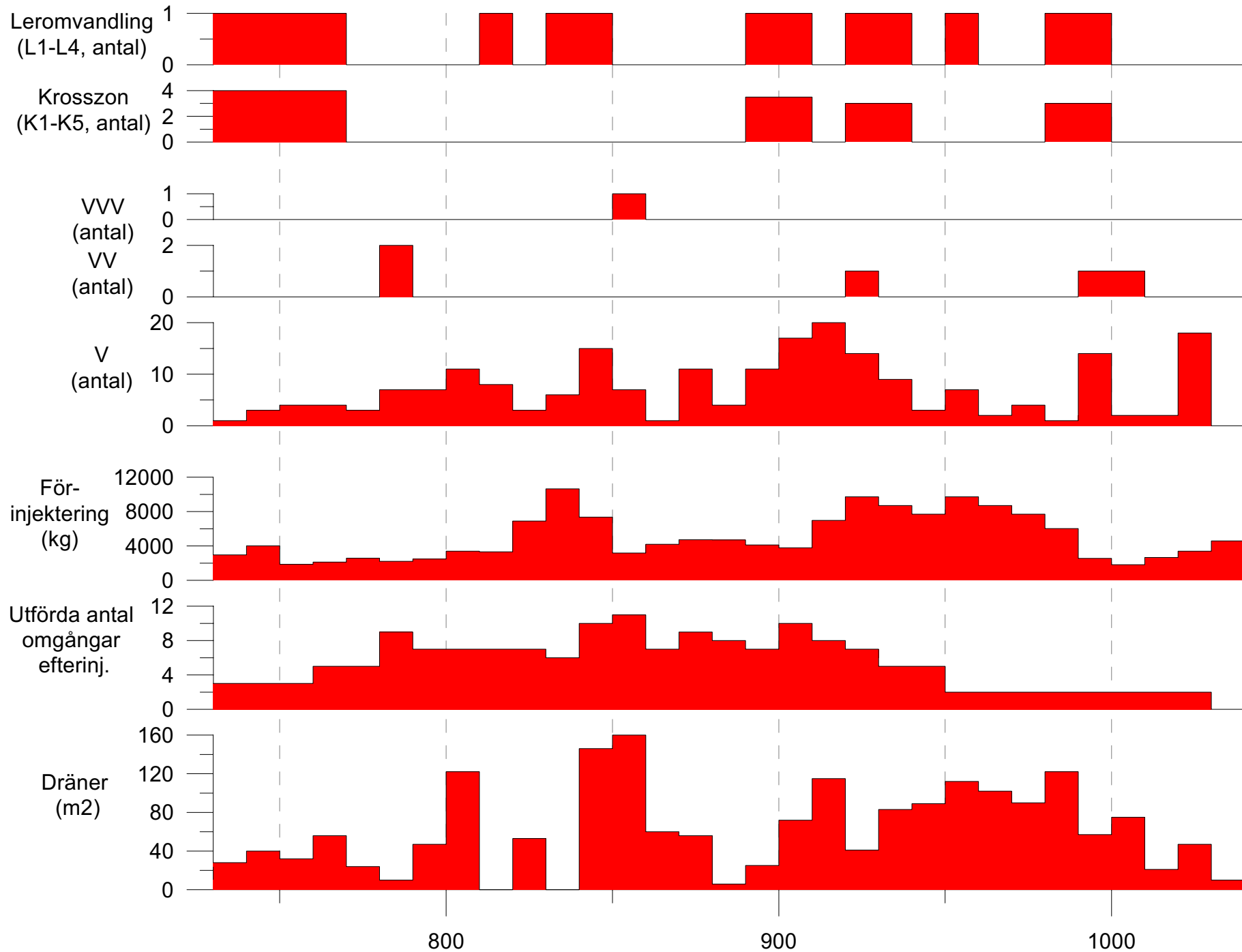
Kalldalstunneln



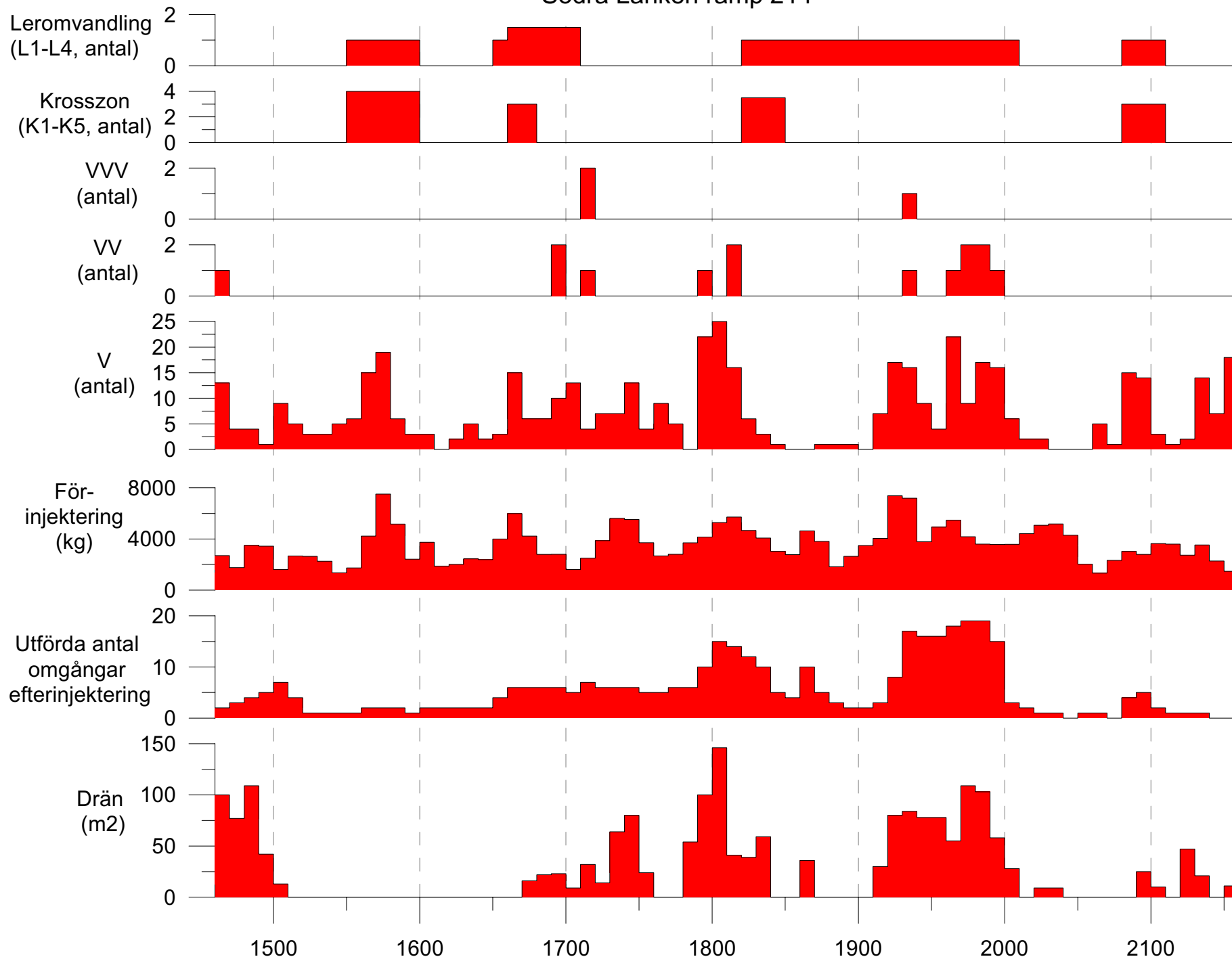
Södra Länken ramp 211



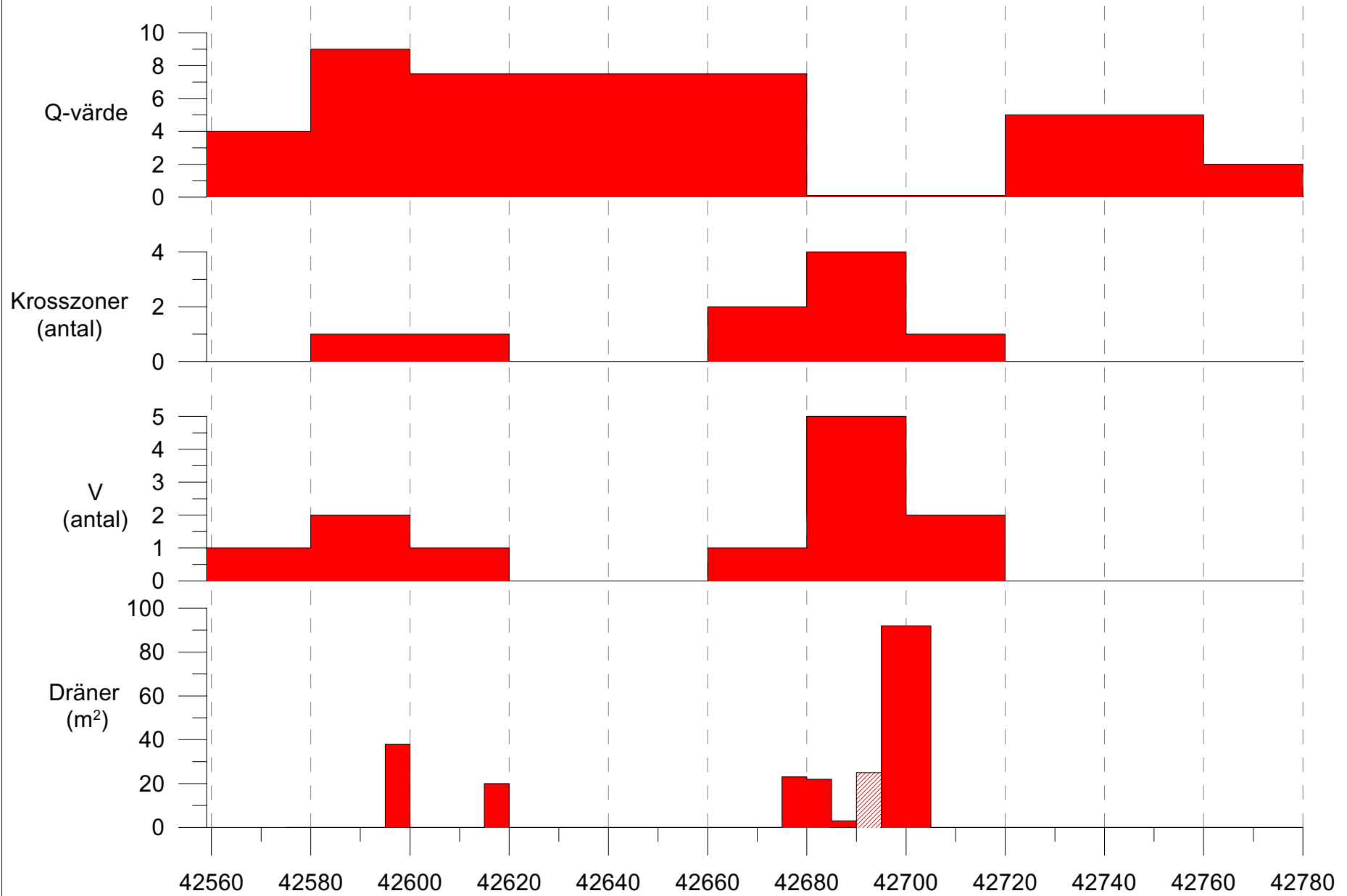
Södra Länken ramp 212



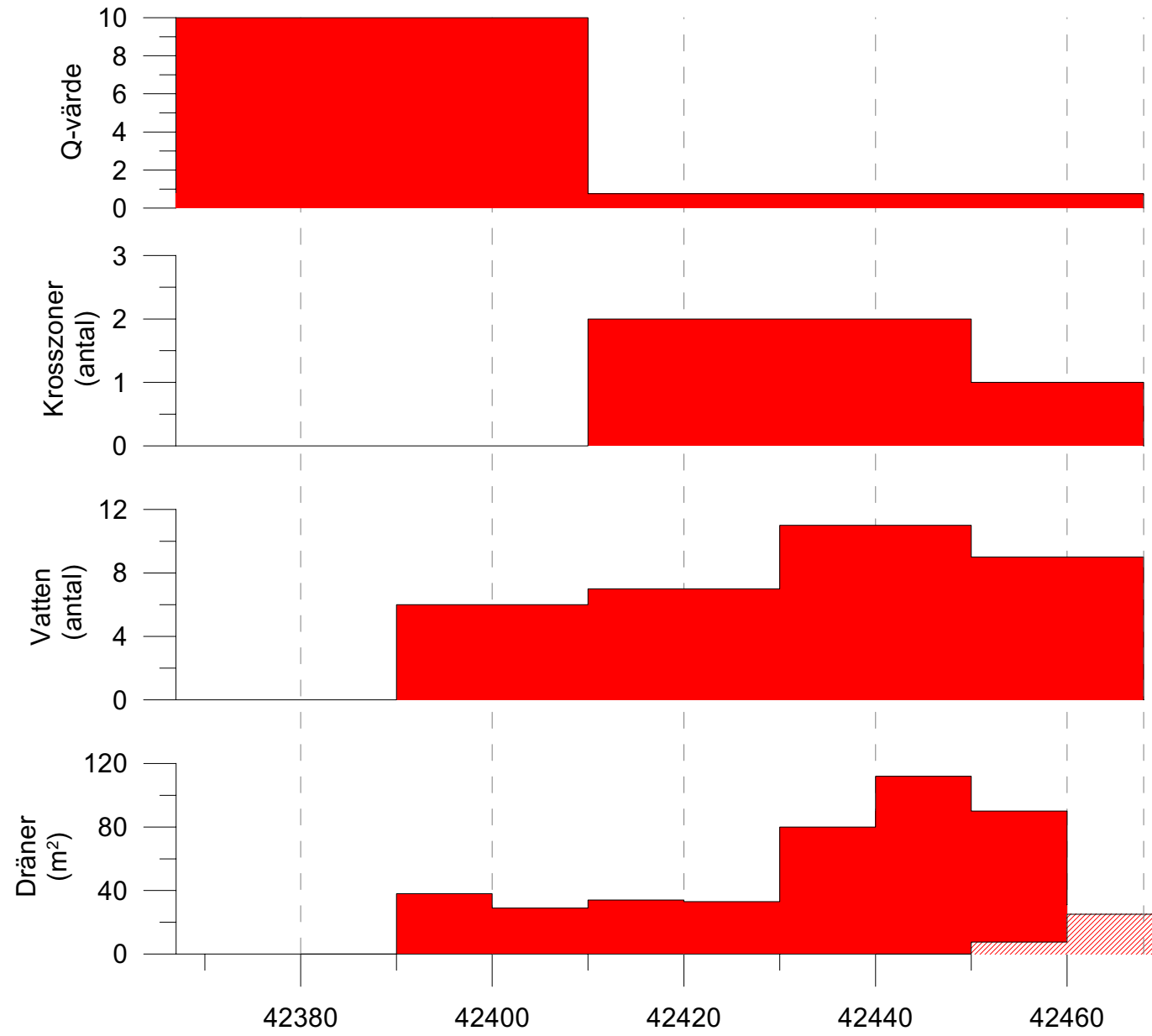
Södra Länken ramp 214



Håbo Norra Tunnel



Håbo södra tunnel



SveBeFo

Box 47047
SE-100 74 Stockholm

Telefon 08-692 22 80 • info@svebefo.se
Besöksadress: Mejerivägen 4

ISSN 1104 - 1773 • SVEBEFO-R--83--SE

tblk.