

Utvärdering av inläckande grundvatten i bergtunnlarna inom projekt Södra Länken

Evaluation of ground water leaking into the
tunnels in rock within project Södra Länken

Ida Samuelsson

Referat

Utvärdering av inläckande grundvatten i bergtunnlarna inom projekt Södra Länken

Ida Samuelsson

Södra Länken är den södra delen av ringleden runt Stockholms innerstad. Trafikleden förbinder Essingeleden i väster med Värmdöleden i öster. Den är ca 6 km lång, varav huvuddelen, ca 4,5 km, går i bergtunnlar till största delen under grundvattennivån. Södra Länken började byggas i september 1997 och öppnades för trafik söndagen den 24 oktober 2004.

Större delen av vägarna löper som bergtunnlar under centrala Stockholm. Höga täthetskrav har därför ställts för inläckande grundvatten och enligt Vattendomen får grundvattennivån i Södra Länkens närhet inte sänkas. En förändrad grundvattennivå ökar bland annat risken för sättningar och kan även påverka vegetationen. Det är därför högst nödvändigt att inläckaget av grundvatten i tunnlar utvärderas regelbundet.

Syftet med rapporten har varit att utvärdera inläckaget av grundvatten i Södra Länkens tunnlar. Arbetet utfördes genom att studera de inläckta flöden som mäts i de dränvattenmätare som finns i tunnelsystemet.

Examensarbetet har påvisat svårigheten i att få en korrekt bild av inläckaget av grundvatten i tunnlar. Ett flertal faktorer har funnits påverka inläckaget och mätningen av det. Viktiga faktorer som påverkar inläckaget av grundvatten har funnits vara tätningen av tunneln, grundvattenflödet vid tunnelns läge, tunnelsort, infiltration, nederbörd och temperatur. Osäkerheten vid mätningarna av flödet finns i huvudsak i mätarna själva som är känsliga för partiklar och lätt sätter igen.

Vid beräkningen av flödet har det totala flödet bedömts vara pålitligt medan det har varit svårare att bedöma inläckaget i mindre delar av tunneln. Det avspeglas även i jämförelsen med det förutspådda inläckaget där det totala inläckaget stämmer överens med det verkliga. I mindre sektioner av tunneln är dock överensstämmelsen inte lika bra. Bättre dränvattenmätare bedöms vara en viktig faktor som skulle förbättra pålitligheten vid undersökningar av inläckage av grundvatten i tunnlar.

Nyckelord: Södra Länken, Sickla, vägtunnlar, grundvatten, inläckage, dränvatten, dränvattenmätare, infiltration.

*Institutionen för geovetenskaper, Uppsala universitet, Villavägen 16, 752 36 Uppsala.
ISSN 1401-5765*

Abstract

Evaluation of ground water leaking into the tunnels in rock within project Södra Länken

Ida Samuelsson

Södra Länken is the southern part of the ring road around the inner city of Stockholm. The traffic route is linking Essingeleden in the west to Värmdöleden in the east. It is about 6 kilometers, of which the main part, about 4,5 kilometers, runs as tunnels in rock mainly below the ground water level. The construction of Södra Länken started in September 1997 and it was opened to traffic Sunday the 24:th of October 2004.

The main part of the roads runs as tunnels in rock underneath the central parts of Stockholm. High standards are therefore set for the tunnel to be watertight and according to the Water Court Verdict the ground water level shall not be decreased nearby Södra Länken. An altered ground water level increases the risk for settlements and can also affect the vegetation. For this reason it is highly necessary that the leakage of ground water into the tunnels is evaluated regularly.

The purpose of this report was to evaluate the leakage of ground water into the tunnels of Södra Länken. The work was accomplished by studying the flows of water leaking into the tunnels that are measured in the drain water meters placed in the tunnel system.

The thesis has shown difficulties producing a true picture of the leakage of ground water into tunnels. Several factors have been found affecting the leakage into the tunnels and the measuring of it. Important factors that affect the leakage of ground water into the tunnels have been found to be the water tightness of the tunnels, the ground water flow at the tunnel level, the type of tunnel, the infiltration, the precipitation and the temperature. The uncertainty by measuring the flow is mainly the meters themselves which are sensitive to particles and therefore easily clog.

The calculation of the total flow seems reliable but it has been more difficult to determine the leakage into smaller sections of the tunnel. That can also be seen in the comparison to the predicted leakage into the tunnels where the total predicted leakage correspond with the actual leakage. In smaller sections of the tunnel the correspondence is not that good. Better drain water meters seem to be an important factor that would increase the reliability when leakage of ground water into tunnels is evaluated.

Keywords: Södra Länken, Sickla, road tunnels, ground water, leakage, drain water, drain water meter, infiltration.

Department of Earth Sciences, Uppsala University, Villavägen 16, SE-752 36 Uppsala, Sweden

ISSN 1401-5765

Förord

Examensarbetet har utförts inom Civilingenjörsprogrammet i Miljö- och vattenteknik vid Uppsala Universitet och omfattar 20 poäng. Det har utförts på uppdrag av Vägverket, Region Stockholm. Handledare har Hana Liszka, Vägverket, Region Stockholm varit. Auli Niemi, professor vid Institutionen för geovetenskaper vid Uppsala Universitet, har varit ämnesgranskare och Allan Rodhe, professor vid Institutionen för geovetenskaper vid Uppsala Universitet, har varit examinator.

Jag vill tacka samtliga personer som bidragit till det här examensarbetets förverkligande.

Speciellt:

- Hana Liszka, min handledare på Vägverket som svarat på alla mina ibland omöjliga frågor om allt mellan himmel och jord som rört Södra Länken.
- Karl Persson, Bergab, för all den information du har bidragit med samt för det spännande besöket i Södra Länkens tunnlar och driftutrymmen under en av nattavstängningarna.
- Ulf Sundquist, Aqualog, för kommentarer och förslag på förbättringar av rapporten.
- Gunnar Johansson, Vägverket, vill jag tacka för all kunskap du delgivit mig angående dränvattensystemet i Södra Länken.
- Valter Hovung, Ångpanneföreningen, för hjälp med CITRIX, PCMS Södra Länken, handskades med kartor och för trevligt sällskap under min första tid på Vägverket.
- Slutligen vill jag tacka alla anställda på Vägverket, Region Stockholm, avdelning Teknik, för era nyfikna frågor och trevliga lunch- och fikastunder.

Uppsala, oktober 2007

Ida Samuelsson

Copyright © Ida Samuelsson och Institutionen för geovetenskaper, Uppsala Universitet.
UPTEC W07 023, ISSN 1401-5765.

Tryckt hos Institutionen för geovetenskaper, Geotryckeriet, Uppsala Universitet, Uppsala, 2007.

1	INLEDNING	1
1.1	BAKGRUND	1
1.2	SYFTE	2
2	OMRÅDESBESKRIVNING	3
2.1	SÖDRA LÄNKEN	3
2.1.1	Betongtunnel och bergtunnel	4
2.1.2	Tätning av tunneln	4
2.1.3	Södra Länkens VA-system	5
2.2	GEOLOGI OCH HYDROLOGI	6
2.2.1	Berggrunden	6
2.2.2	Berggrundens vattenföring	6
2.2.3	Grundvattenutbyte jord – berg	7
2.2.4	Lerområden	7
2.2.5	Vattenbalans	8
2.3	DRÄNVATTENSYSTEMET	8
2.3.1	Mätdammar och dränvattenmätare	8
2.3.2	Pumpstationer	10
2.3.3	Infiltrationsanläggningar	11
2.3.4	Driftutrymmen	12
3	METODER	14
3.1	STUDIENS GENOMFÖRANDE	14
3.2	MÄTDATA	14
3.2.1	Komponentbeteckningar	14
3.2.2	Mätintervall	15
3.3	RIKTVÄRDEN FÖR INLÄCKAGE	16
4	RESULTAT	17
4.1	KLASSIFICERING AV DRÄNVATTENMÄTARNAS FUNKTIONALITET	17
4.2	UPPMÄTTA DRÄNVATTENFLÖDEN	19
4.2.1	Uppsamlingsområde 25181, Åbyvägen	20
4.2.2	Uppsamlingsområde 25281, Årsta - Johanneshov	20
4.2.3	Uppsamlingsområde 25481, Skärmarbrink	21
4.2.4	Uppsamlingsområde 25581, Hammarby	21
4.2.5	Uppsamlingsområde 27481:1, Sickla	22
4.2.6	Uppsamlingsområde 27481:2, Sickla	22
4.2.7	Uppsamlingsområde 27481:3, Sickla	23
4.2.8	Uppsamlingsområde Södra Länken exklusive Sickla	23
4.2.9	Uppsamlingsområde Södra Länken, Sickla	24
4.3	DRÄNVATTENFLÖDEN I DELOMRÅDEN	24
4.3.1	Uppsamlingsområde 25181, Åbyvägen	25
4.3.2	Uppsamlingsområde 25281, Årsta - Johanneshov	26
4.3.3	Uppsamlingsområde 25481, Skärmarbrink	26
4.3.4	Uppsamlingsområde 25581, Hammarby	27

4.3.5 Uppsamlingsområde Södra Länken, Sickla	27
4.4 MANUELLT OCH AUTOMATISKT BERÄKNADE DRÄNVATTENFLÖDEN I PUMPSTATIONERNAS UPPTAGNINGSSOMRÅDEN	27
5 ANALYS AV UPPMÄTTA DRÄNVATTENFLÖDEN	29
5.1 RIKTVÄRDEN FÖR INLÄCKAGE OCH UPPMÄTTA DRÄNVATTENFLÖDEN	29
5.1.1 Uppsamlingsområde 25181, Åbyvägen	29
5.1.2 Uppsamlingsområde 25281, Årsta - Johanneshov	30
5.1.3 Uppsamlingsområde 25481, Skärmarbrink	31
5.1.4 Uppsamlingsområde 25581, Hammarby	32
5.1.5 Jämförelse av riktvärden för inläckande vatten och uppmätta dränvattenflöden	32
5.2 FAKTORER SOM PÅVERKAR DRÄNVATTENFLÖDET	34
5.2.1 Driftutrymmen	34
5.2.2 Kylvatten	34
5.2.3 Pumpning	34
5.2.4 Nederbörd	35
5.2.5 Lutningen av tunneln	35
5.3 OSÄKERHETSFAKTORER I MÄTNINGEN AV DRÄNVATTENFLÖDET	36
5.3.1 Mätdammar	36
5.3.2 Bräddavlopp	36
5.3.3 Dränvattenmätare	36
5.4 FAKTORER SOM PÅVERKAR INLÄCKAGET TILL TUNNELN	36
5.4.1 Betongtunnel och bergtunnel	36
5.4.2 Infiltrationsanläggningar	37
5.4.3 Grundvattenbildning	38
6 DISKUSSION OCH SLUTSATSER	41
7 REFERENSER	45
BILAGOR	47
BILAGA A DRÄNVATTENSYSTEMET	47
BILAGA B DIAGRAM MED UPPMÄTTA FLÖDEN	53
BILAGA C DRÄNVATTENMÄTARNAS UPPTAGNINGSSOMRÅDE	68
BILAGA D DIAGRAM MED UPPMÄTTA DRÄNVATTENFLÖDEN I DELOMRÅDEN	73
BILAGA E MANUELLT OCH AUTOMATISKT BERÄKNADE DRÄNVATTENFLÖDEN FRÅN PUMPSTATIONERNAS UPPTAGNINGSSOMRÅDE	80
BILAGA F UPPMÄTTA DRÄNVATTENFLÖDEN	84
BILAGA G DRÄNVATTENFLÖDEN I DELOMRÅDEN	88

1 INLEDNING

Ända sedan människan började bygga tunnlar har hon ställts för problemet med inläckande vatten. Tunnlar kan behöva dras genom de mest skiftande marktyper såsom berg, lera, sand, morän etc. Inläckande vatten är inte bara ett problem under byggandet och driften av tunneln utan även omgivningen påverkas i stor utsträckning. Grundvattennivån kan sänkas med sättningar av mark och uttorkning av brunnar som följd. Grundvattnet kan även förorenas under byggandet vilket skedde under exempelvis byggandet av tunneln genom Hallandsåsen. Felvalet av tättningsmedel ledde till att medlet spreds till omgivande vattendrag, förorenade dricksvattnet och förgiftade boskap.

I ett av de större järnvägsprojekten i Sverige, Botniabanan, som innehåller ca 20 tunnlar med en sammanlagd tunnellängd på ca 2,5 mil har inläckande vatten uppmätts med mätare utplacerade i tunneln. Inläckaget av grundvattnet kan då kontrolleras och åtgärder kan vidtas som minskar inläckaget. Vatten som läcker in kan orsaka stabilitetsproblem och göra driften osäker.

I den här undersökningen har vägtunnlarna i berg på Södra Länken studerats. Södra Länken är den södra delen av ringleden runt Stockholms innerstad. Trafikleden förbinder Essingeleden i väster med Värmdöleden i öster. Den sammanlagda tunnellängden är ca 17 km.

1.1 BAKGRUND

Större delen av Södra Länken löper som bergtunnlar under tätbebyggda delar av Stockholm. Sättningskänslig mark och grundvattenberoende byggnader och anläggningar förekommer allmänt längs Södra Länken. Höga täthetskrav har därför ställts på inläckande grundvatten och enligt Vattendomen får grundvattennivån i Södra Länkens närhet inte sänkas. För att Vattendomstolens krav ska uppfyllas har betydande tättningsinsatser utförts i tunneln (SLK, 1996).

Grundvattennivån kontrolleras regelbundet i en mängd grundvattenrör som är utplacerade längs hela Länkens sträckning. En förändrad grundvattennivå skulle öka bland annat risken för sättningar och kan påverka vegetationen. Förutom kontroll av grundvattennivåer mäts regelbundet inläckaget i tunnlar. Även markpegel och dubbar är utsatta för att sättningar ska kunna kontrolleras. För att säkerställa en icke skadlig grundvattennivå finns ett flertal permanenta anläggningar för infiltration av vatten i mark (SLK, 1996).

1.2 SYFTE

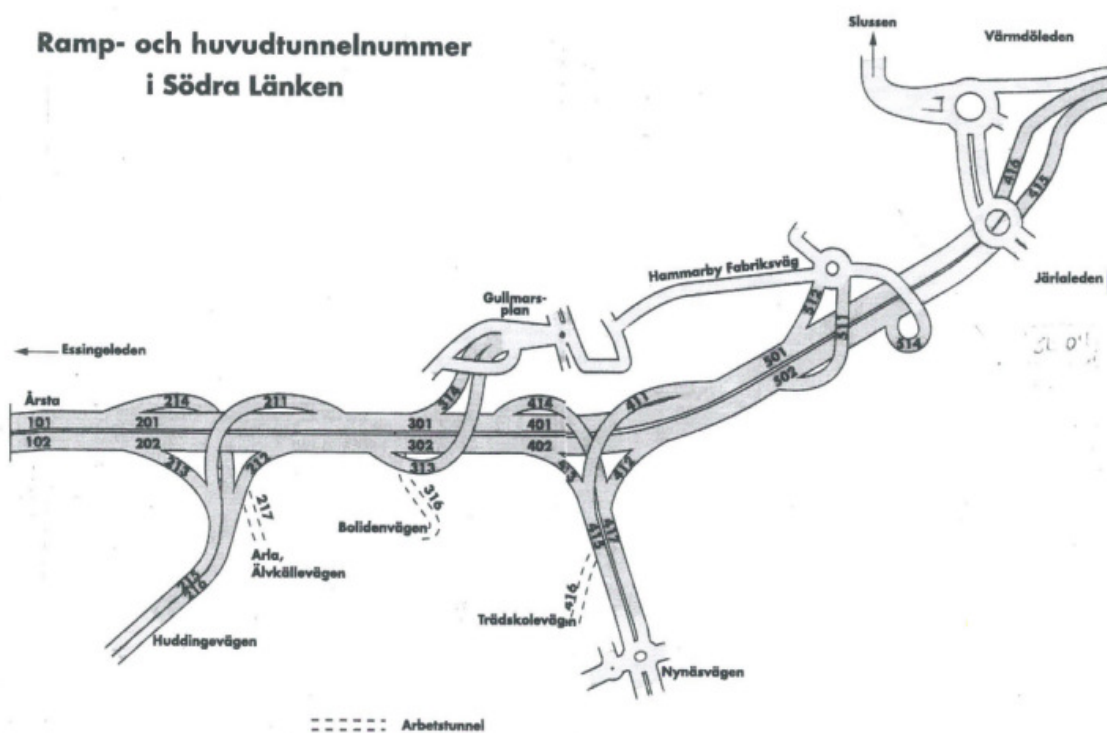
Syftet med detta examensarbete är att redovisa och analysera det uppmätta inläckaget av grundvatten i Södra Länkens bergtunnlar. Studien ska innehålla en sammanställning av uppmätta inläckage, totalt och i delområden. Analysen innehåller en utvärdering av tunnelns täthet jämfört med ursprunglig målsättning, en analys av faktorer som påverkar inläckagets storlek, en analys av faktorer som påverkar dränvattenflödet samt en analys av osäkerhetsfaktorer vid utförda mätningar. Den studerade tidsperioden är från oktober 2004 till februari 2006.

Undersökningen kan vara till hjälp vid framtida byggnationer av tunnlar men även till nytta för åtgärder som behöver göras åt Södra Länken, exempelvis tätningsarbetet.

2 OMRÅDESBESKRIVNING

2.1 SÖDRA LÄNKEN

Södra Länken är ca 6 km lång, varav huvuddelen, ca 4,5 km, är förlagd i dubbla bergtunnlar till största delen under grundvattennivån. I Södra Länken färdas trafikanterna i de parallella tunnelarna med enkelriktad trafik, ett tunnelrör för trafik i vardera riktning. Trafikleden förbinder Essingeleden i väster med Värmdöleden i öster, se figur 2.1. Den sträcker sig från Årsta Partihandelsområde i väster, under Årsta, Johanneshov och Hammarbyhöjden. Innan Sickla kanal kommer vägbanan upp i dagen och går över kanalen på en låg bro. Därefter leds trafiken vidare i tunnlar sista biten till Värmdöleden i öster. Anslutningar till tunnelarna finns ovan jord vid Åbyvägen, Huddingevägen, Gullmarsplan, Nynäsvägen, Hammarby Fabriksväg, Sickla och Värmdöleden. Total tunnellängd inklusive ramptunnlar är ca 17 km (www-Fakta, 2006; www-En ny trafikled, 2006).

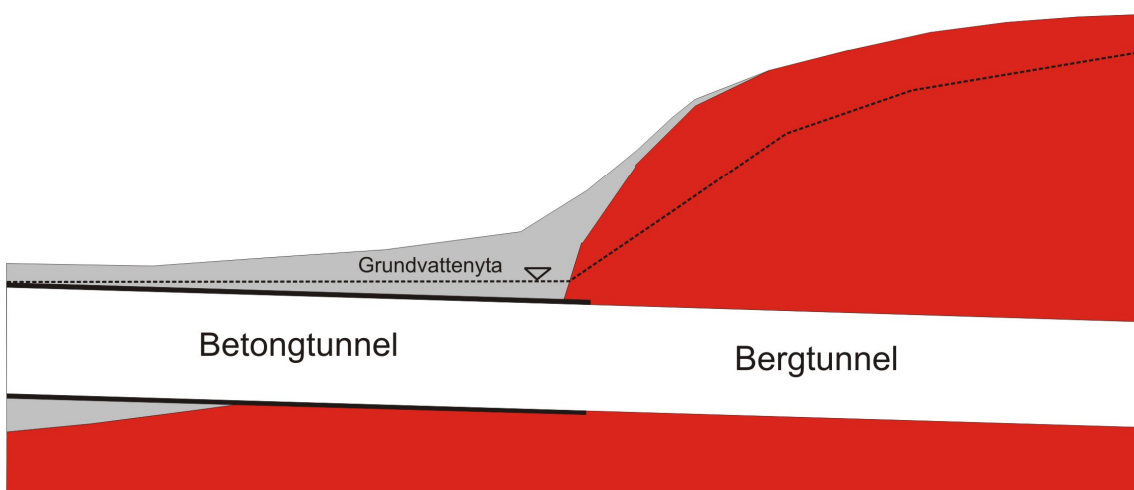


Figur 2.1. Skiss över Södra Länkens sträckning från Årsta till Värmdöleden med ramp- och huvudtunnelnummer. I skuggade partier går Södra Länken i tunnel, i annat fall ovan jord.

Södra Länken började byggas i september 1997. Under 1998 påbörjades sprängningarna och söndagen den 24 oktober 2004 öppnades Södra Länken för trafik (www-Historik, 2006).

2.1.1 Betongtunnel och bergtunnel

Det finns två olika sorters utformning av tunnlarna; betongtunnel och bergtunnel, se figur 2.2. Där det finns tillräcklig bergtäckning är tunneln utsprängd och helt anlagd i berg. Där tillräcklig bergtäckning saknas, vid till exempel ramper och påfarter, schaktas jorden bort och en betongtunnel gjuts på plats som därefter täcks över. Ramper är de tunnelrör som leder ner till huvudtunneln från markytan och påfarter är där man kör in i huvudtunneln direkt från markytan. Betongtunnel finns även där tunnelrör i berg korsar varandra på litet avstånd (Karl Persson, muntl. kontinuerligt).



Figur 2.2. Skiss av berg- respektive betongtunnel. Röd färg visar berg och grå visar jord.

2.1.2 Tätning av tunneln

Tätning av berggrunden runt tunnlarna och bergschakt har i första hand utförts genom förinjektering. Förinjektering innebär att cement genom pumpning trycks in i bergets system av öppna sprickor. Arbetet utförs före salvsprängning. Syftet med förinjektering är att begränsa vatteninläckning från omgivande berg (Vägverket, 1993).

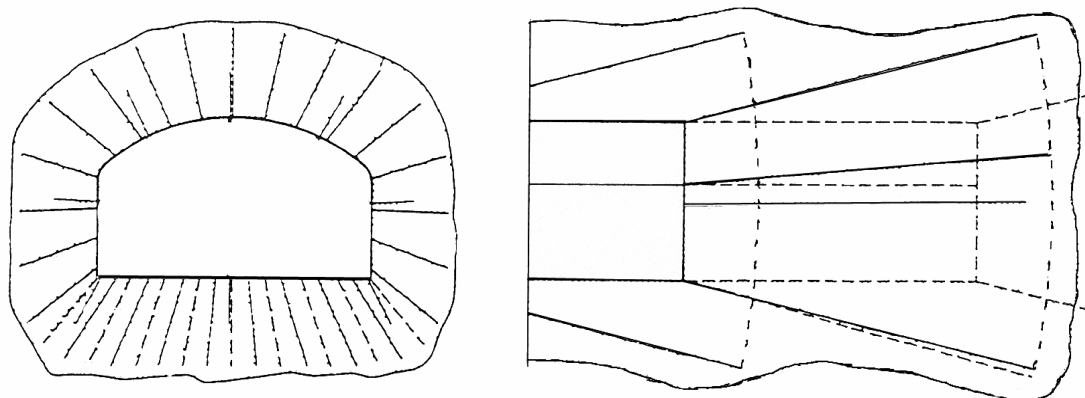
Efterinjekteringar har utförts efter sprängningen om läckvattenmätningar visat på för höga läckage eller vid synliga läckage som bedömts kunna reduceras genom ytterligare injektering (Vägverket, 1993).

Injekteringsarbetet planerades utgående från framtagna tätningsklasser längs med tunnlarna. Tätningsklasserna återspeglar täthetskrav (riktvärde för tillåten inläckning, l/min och 100 m tunnel, se kapitel 3.3) och geohydrologiska förhållandena längs olika tunnelavsnitt. De olika tätningsklasserna baserades på grundvattentrycket räknat från tunnelmitt och tillåten inläckning (Vägverket, 1993).

Utgående från tunnelns utformning och tätningsklasser har injekteringsmodeller tagits fram. Det finns ett antal olika injekteringsmodeller att välja mellan. Lämplig modell beror av de berggeologiska förhållandena och karaktären på läckaget. Vid byggandet av Södra Länken användes skärm-, trumpet-, botten- och kontaktinjektering (Vägverket, 1993). Beroende på tätningsklass varierade antalet injekteringshål och skärmlängd.

Förinjekteringshål borrades i princip i en solfjäderform runt tunneln, se figur 2.3. Därefter pumpades injekteringsmedel in i hålen via en manschett. Under injekteringen styrdes och kontrollerades arbetet genom uppföljning av tryck, flöde och mängd injekteringsmedel i varje enskilt hål. Ett sluttryck på ca 2-3 MPa över omgivande grundvattentryck eftersträvades (Vägverket, 1993).

Tätning utfördes i första hand som cementinjektering. Olika typer av tillsatser användes i cementen för att ge önskade egenskaper, till exempel härdningstid, hållfasthet och pumpbarhet. Lokalt har lösningsinjektering (keminjektering) utförts. Som kemiska injekteringsmedel användes polyuretaner, vilket stelnar vid kontakt med vatten (Vägverket, 1993).



Figur 2.3. Principskiss för orientering av borrhål för förinjektering av tunnel. Till vänster tunneln i genomskärning och till höger sedd från sidan (Vägverket, 1993).

2.1.3 Södra Länkens VA-system

Södra Länkens tunnlar har ett komplicerat VA-system. För de olika vattenslagen; dagvatten, avloppsvatten och dränvatten, finns helt separata system (Bergab, 2005).

Dagvatten är det vatten som kommer som nederbörd och som i huvudsak leds bort vid tunnelmynningarna. Avloppsvatten är vatten som bland annat förs in i tunneln med fordonen, vatten som uppstår vid tvättning av tunneln samt brandvatten. Avloppsvattnet samlas upp i rännor i körbanornas vägrenar och leds därefter bort via ett separat ledningssystem till reningsverk (Bergab, 2005).

Dränvatten slutligen är det grundvatten som läcker in i tunneln genom tunnelns väggar, tak och golv. Vattnet leds ner i ett utrymme under körbanan där det finns ett system av dränledningar. Dränvattnet rinner i ledningar med självfall till pumpstationer och därifrån vidare bort i tryckledningar (Bergab, 2005).

Dränvattensystemet är det system som huvudsakligen studeras i detta arbete. Systemet beskrivs vidare i kapitel 2.

2.2 GEOLOGI OCH HYDROLOGI

I huvudsak korsar Södra Länken ett kuperat fastmarksområde med berg, morän och mindre svackor med fast lera. Länken korsar även Stockholmsåsen (J & W, 1992).

2.2.1 Berggrunden

Bergytan inom det område som Södra Länken passerar ligger på nivån +30 till +55. Berggrunden utgörs huvudsakligen av sedimentgnejsar och gnejsgranit. Bergartsgångar i form av diabaser och pegmatiter förekommer. Väster och öster om Nynäsvägen finns ett större grönstensområde. Väster om Bolidenplan finns ett område med gnejsgranit vilket även stora delar av bergområdet vid Hammarbyhöjden består av (J & W, 1992; SLK, 1996),

Sedimentgnejsen är starkt variabel med avseende på mineralsammansättning. Den är tydligt förskiffrad med sprickor parallella med skiffriheten. Förskiffringsriktningen varierar mellan en ca nord-västlig riktning i den västra delen av tunnelsträckningen till en öst-västlig i den östra delen (J & W, 1992 ; SLK, 1996).

2.2.2 Berggrundens vattenföring

Nära markytan är berget tydligt påverkat av vittring med jordfyllda sprickor och sprickor med rostbeläggning. Sprickor och svaghetszoner utgör kanalsystem för vattenflöden i berget. Ofta står dessa brant och följer gnejsigheten. Berggrunden längs Södra Länken är relativt tät men vissa kross- och sprickzoner kan föra tämligen rikligt med vatten. Vid trafikplats Årsta och även väster om den bedöms berggrundens vattenförande förmåga som störst (J & W, 1992 ; SLK, 1996).

Vid Nynäsvägen korsar Länken Stockholmsåsen. I berget med grönstensinslag under åsen kan det finnas starkt vattengenomsläppliga sprickor och zoner som matas från grusåsens vattenmagasin (J & W, 1992).

Det är en påtaglig skillnad mellan berggrundens permeabilitet väster och öster om sektion 2/900 i Årsta. 2/900 är en längdmätning som betyder 2 km och 900 m från utgångspunkten 0/000 längs vägens mittlinje. Skillnaden kan bero på berggrundens uppbyggnad, förskiffring och uppsprickning. Berggrundens karakteristiska hydrauliska konduktivitet väster om sektion 2/900 bedöms till $(0,1 - 1,0) \cdot 10^{-6}$ m/s. Konduktivitetvärdet i ytberget kan antas vara högre. Öster om sektionen bedöms konduktiviteten till $(0,1 - 1,0) \cdot 10^{-7}$ m/s (SLK, 1996).

Södra Länken korsar eller berör ett antal grundvattenområden. Täthetskrav (tillåten inläckning) har beräknats för de olika grundvattenområdena beroende på vilken grundvattenpåverkan som kan accepteras utan att skador uppträder. Det kan tillåtas en större inläckning längs en sträcka som berör ett grundvattenområde med stor grundvattentillgång, jämfört med ett område som innehåller små vattenmängder. I tabell 2.1 redovisas för olika grundvattenområden tillgängliga grundvattenflöden i jordfyllda sänkor. Underlaget som använts vid framtagandet av tillgängliga grundvattenflöden är; data från ett stort antal grundvattenrör, jordlagrens stratigrafi tolkad från sondering, byggnadsgeologisk karta, diverse utredningsmaterial och arbetsritningar samt genom fältkontroll. Beräknade flöden utgör underlag till framtagna vattenbalanser. Vid

framtagande av täthetskrav längs tunnlarna har även berggrundens tillgång på grundvatten vägts in (SLK, 1996).

Tabell 2.1. Grundvattenflöde i omgivande berg vid tunnelläget (SLK, 1996).

Område	Grundvattenflöde [l/min]
Centrala Årsta	20
Årstaplan	15
Borensvägen	7
Vättersvägen	3
Johanneshov	2-6
Skärmarbrink	18
Gullmarsplan-Söderstadion	8-9
Olaus Magnus väg	4

2.2.3 Grundvattenutbyte jord – berg

I jordtäckta områden invid huvudtunnlarna kan man generellt anta att det sker en grundvattenbildning till berg via jord det vill säga en del av grundvattnet i jordlagren infiltreras i berggrunden. Lokalt, till exempel vid det västra påslaget, sker det omvända. Här tillförs jordlagren vatten från berggrunden. En sådan situation kan även förekomma lokalt längs andra delar på Södra Länken (SLK, 1996).

Den morän som täcker bergytan kan ofta utgöra ett tätande skikt som förhindrar stora vattenflöden till utrymmen i berg från de lösa jordlagren (J & W, 1992).

Stockholmsåsen har en kärna av sten, grus och sand med omgivande avlagringar av finare isälvsmaterial bestående av växellagrad lera, silt sand och grus. Berget under åsen matas med vatten från grusåsens vattenmagasin (J & W, 1992 ; SLK, 1996).

2.2.4 Lerområden

Årstafältet, som utbreder sig söder om Länkens västra del, utgör en påtaglig sänka i berggrunden med mäktiga lerlager. Fältet har tidigare varit ängs- och åkermark (J & W, 1992 ; SLK, 1996).

Områden med lera förekommer i två mindre lersvackor vid Årsta trafikplats, vid Årstaplan respektive Borensvägen, samt där ramperna ansluter till Huddingevägen. Lera förekommer även norr om Hammarbyhöjden, öster om Nynäsvägen samt söder om Bolidenplan. I dessa områden kan en grundvattensänkning ge upphov till sättningar. I lersvackan längs Olaus Magnus väg bör också grundvattensänkningen begränsas (J & W, 1992 ; SLK, 1996).

2.2.5 Vattenbalans

Varje avrinningsområde tillförs vatten genom nederbörd. Det tillförda vattnet avdunstar, avrinner som ytvatten eller infiltrerar ner i marken. Ett avrinningsområdes nettonederbörd beräknas som nederbörd minus evapotranspirationen, $P - E$. Nettonederbörden för Södra Länken har antagits uppgå till 250 mm/år (SLK, 1996).

Avrinningen kan delas upp i ytavrinning, R_S , och grundvattenavrinning, R_G . I ett avrinningsområde finns dessutom ett magasin för yt- och grundvatten, M . För ett längre tidsperspektiv antas tillskottet av vatten vara lika stort som bortledningen, vilket betyder att magasinförändringen, ΔM , kan försummas (SLK, 1996).

Balansekvationen blir då enligt ekvation 1

$$P - E = R_S + R_G = R_{SA}. \quad (1)$$

Den specifika avrinningen, R_{SA} , motsvarar det tillgängliga vattenflödet i avrinningsområdet. Varje grundvattenuttag i form av bortledning till exempelvis tunnlar påverkar vattenbalansen. Det medför att den naturliga yt- och grundvattenavrinningen minskar, vilket i sin tur kan ge sänkta grundvattennivåer (SLK, 1996).

Grundvattnet längs hela Södra Länken är mer eller mindre påverkat av ett flertal dränerande anläggningar exempelvis byggnader och redan befintliga tunnlar. Grundvattennivåerna påverkas och grundvattnets strömningsriktning ändras. Väster om sektion ca 3/850 i Johanneshov sker det huvudsakliga grundvattenflödet i jord och berg mot söder. Öster om sektionen sker flödet huvudsakligen åt norr (SLK, 1996).

Generellt gäller att grundvattenmagasinets storlek påverkar grundvattenflödets variation och stabilitet. Stora magasin ger upphov till förhållandevis stabila flöden, medan små magasin är mycket känsliga för nederbörd. Små grundvattenmagasin i bergområden uppvisar mycket skiftande flöden, under torrperioder kan avrinningen upphöra (Ulf Sundquist, muntlig).

2.3 DRÄNVATTENSYSTEMET

Det grundvatten som läcker in i Södra Länkens tunnlar, dränvatten, hamnar i ett system av vattenledningar. Vattnet rinner med självfall mot en av de fem pumpstationerna beroende på var i tunneln vattnet har läckt in. På vägen mot pumpstationen passerar vattnet ett antal dränmätare som registrerar flödet. Det avlästa flödet sparas i ett datasystem, PCMS Södra Länken, för att senare kunna plockas fram.

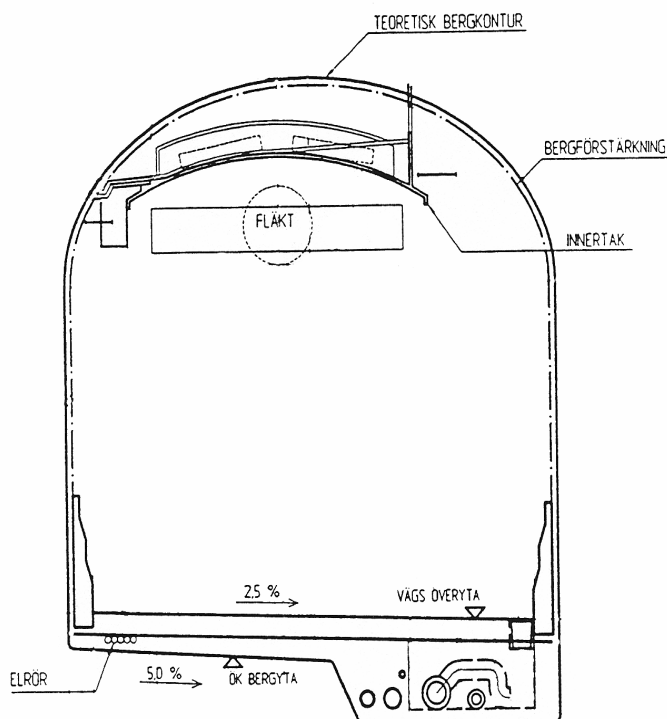
I den här rapporten är det endast dränvatten som studeras. Ritningar över Södra Länkens dränvattensystem inklusive bland annat dränmätare, infiltrationsanläggningar och pumpstationer återfinns i bilaga A.

2.3.1 Mätdammar och dränvattenmätare

Det finns totalt 38 mätare som mäter dränvattenflödet i Södra Länkens bergtunnlar, vanligtvis på ett avstånd av 100 - 250 m från varandra. 31 av dessa mätare finns ute i dränvattensystemet medan sju av dem sitter i de fem pumpstationerna. Tunnlarna på

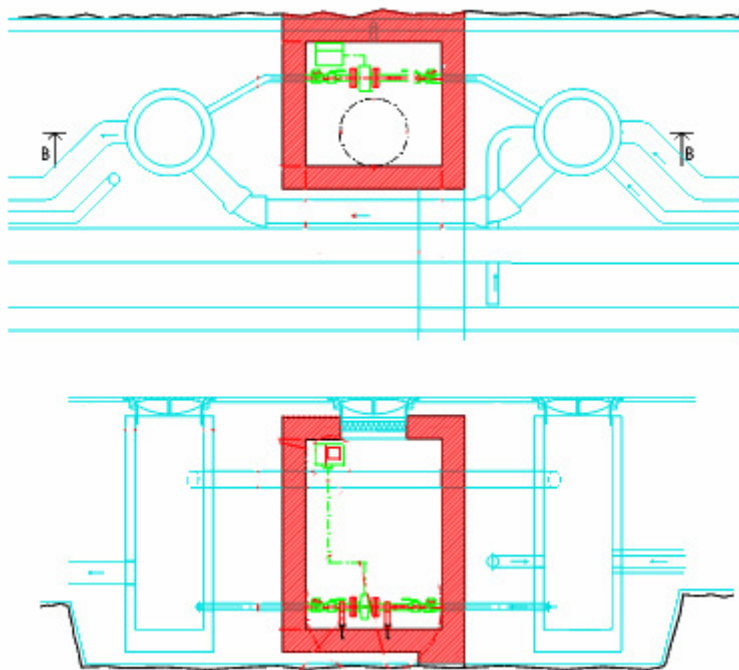
Södra Länken har 27 st och Södra Länken i Sickla har 11 st mätare, se bilaga A (Ritning 250 080 W 51 03 ; Ritning 270 180 W 51 75).

Mätdammarna för dränvatten är belägna under körbanan. De består av betongvallar som är gjutna tvärs tunnelns längdriktning. Principen är att det vatten som läcker in i tunneln däms upp av vallen. Vattnet leds därefter till en brunn, belägen invid tunnelväggen, se figur 2.4. Vattnet rinner dit på grund av lutningen av tunneln.



Figur 2.4. Tunneln i genomskärning med brunn och dränvattenledningar längs tunnelväggen längst ner i höger på bilden (Vägverket, 1994).

Från brunnen leds vattnet kontrollerat genom ett rör där en dränmätare sitter, se figur 2.5. Dränmätaren registrerar flöde och total genomrunnen volym. Vattnet passerar sedan ännu en brunn för att sedan ledas vidare i dränvattensystemet mot nästa mätdamm eller pumpstation. Brunnarna före och efter dränmätarna möjliggör inspektion och rensning så att vattnet obehindrat kan rinna förbi dränmätaren (Bergab, 2005 ; Ritning 250 080 W 51 63).



Figur 2.5. Skiss över dränmätare med bräddavlopp. Överst sedd uppifrån och nederst i genomskärning från sidan (Ritning 250 080 W 51 63).

Dränmätarna, som är automatiska induktansmätare, är känsliga för partiklar och sätter därför lätt igen. Om en dränmätare sätter igen, så att vattnet inte kan passera, finns ett bräddavlopp som säkerhet. Bräddavloppet är ett rör placerat högt upp i brunnen. Är brunnen full med vatten så rinner allt eller en viss del av vattnet istället genom det röret. Dränvattnet rinner då direkt från den första brunnen till den andra utan att passera mätaren. I händelse av ett så stort flöde att röret till dränmätaren inte räcker till för att leda bort vattnet, kan vattennivån i brunnen stiga så att en viss del av vattnet rinner igenom bräddavloppet. Dränmätaren kommer då inte registrera den totalt genomrunna volymen (Bergab, 2005 ; Ritning 250 080 W 51 63 ; Gunnar Johansson, muntligt).

2.3.2 Pumpstationer

Dränvatten som mäts i dammarna samlas i respektive pumpstation. Pumpstationerna är placerade i lågpunkter i tunnlarna dit vattnet kan rinna med självfall. Totalt finns det fem pumpstationer, se bilaga A (Bergab, 2005).

Fyra av pumpstationerna ligger i Södra Länken PS 25181, PS 25281, PS 25481 och PS 25581. Dränvatten som samlas i pumpstation PS 25181 och PS 25481 leds vidare i tryckdränledningar till PS 25281. Vattnet från PS 25281 leds slutligen i tryckdränledning till PS 25581 (Ritning 250 080 W 51 03 ; Bergab, 2005).

Södra Länken vid Sickla har en pumpstation, PS 27481, som endast mottar vatten som passerat dränmätarna i Sickla (Ritning 270 180 W 51 75).

Pumpstationernas dränmätare har, till skillnad från dränmätarna ute i systemet, inga brunnar eller bräddavlopp. Dränmätaren sitter här i ledningen som leder in i pumpstationen. Ledningen är dimensionerad för stora flöden och allt vatten passerar

dränmatören. Mätningen av flödet in i pumpstationerna bedöms vara pålitligt (Gunnar Johansson, muntligt).

2.3.3 Infiltrationsanläggningar

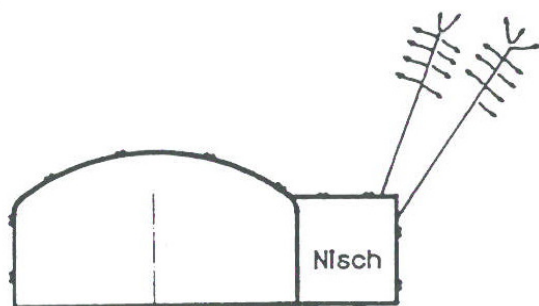
I de områden som är känsliga för grundvattensänkningar är infiltrationsanläggningar byggda. En sänkning av grundvattnet kan påverka byggnader i form av sättningar och kan även påverka vegetationen. Infiltrationsanläggningarna fyller på grundvattenmagasinet genom att pumpa in vatten i berget genom borrhål nerifrån tunneln eller direkt i marken uppifrån markytan. På så sätt kan grundvattennivån hållas konstant trots inläckaget till tunneln (www-Miljö & teknik, 2006).

Vid all infiltration av vatten ska man eftersträva en stor infiltrationsyta och låga vattenövertryck, detta för att få tillräcklig effekt utan att åstadkomma materialtransport och kanalbildning. Vid dubbla grundvattenytor är det viktigt att infiltrationen sätts in där den gör bäst nytta (Vägverket, 1993).

2.3.3.1 Infiltration i berg

Södra Länken har fem infiltrationsanläggningar under jord, alla placerade i Södra Länkens västra delar, se bilaga A. De har anlagts i nischer i tunnarna i de områden som är känsliga för grundvattensänkningar. Anläggningarna består av borrhål i berg varifrån vattnet pumpas ut i berget, se figur 2.6 (Ritning 250 080 W 51 03 ; Bergab, 2005).

Infiltrationsanläggningarna får sitt vatten från pumpstation PS 25281 och vid behov även vattenledningens vatten från Stockholm Vatten AB (Ritning 250 080 W 51 03 ; Bergab, 2005).



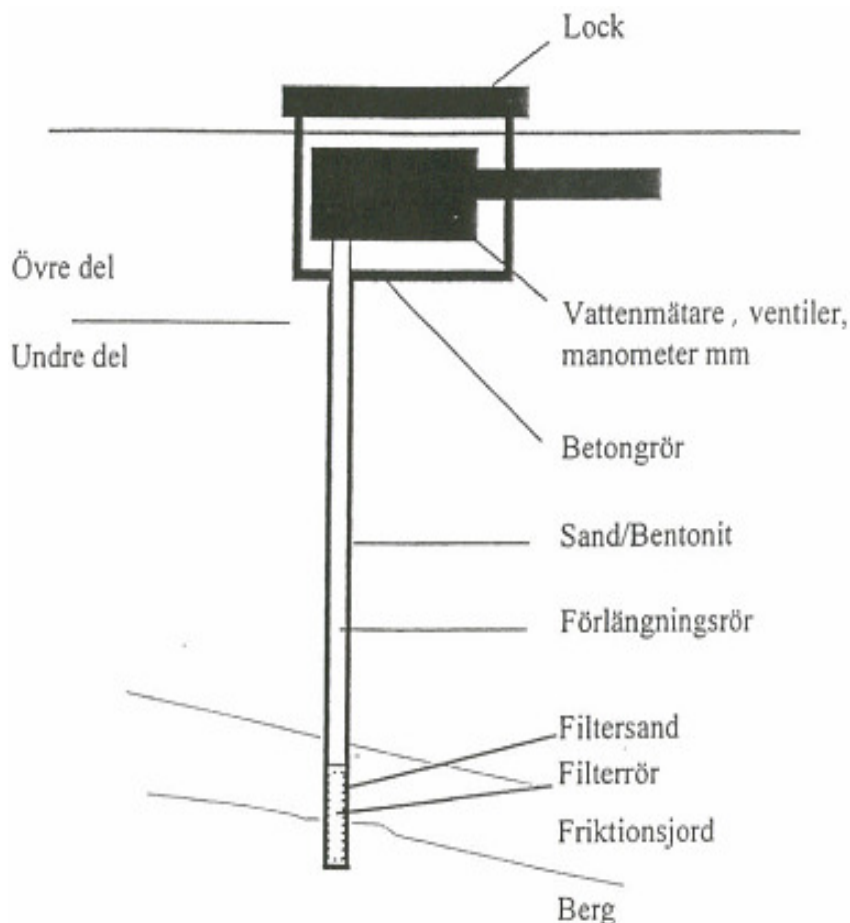
Figur 2.6. Infiltration i bergborrhål (Vägverket, 1993).

Infiltrationsanläggning 188 infiltrerar området vid Slakthusspåret och Årstälänken. Anläggningen har varit avstängd under hela mätperioden (Bergab, 2005 ; PCMS Södra Länken).

Infiltrationsanläggning 282 infiltrerar området vid Årstavägen och Årsta City. Anläggning 283 infiltrerar området öster om anläggning 188. Infiltrationsanläggningarna 383 och 387 infiltrerar området vid Huddingevägen respektive Bolidenvägen. De sistnämnda fyra anläggningarna har varit i drift under hela mätperioden (Bergab, 2005 ; PCMS Södra Länken).

2.3.3.2 Infiltration i mark

Södra Länken har även fem infiltrationsanläggningar vid markytan, se figur 2.7. Tre är placerade vid Sandfjärdsgatan vid Årsta, anläggningarna H1, H2 och H3, väster om ramptunnlarna som ansluter till Huddingevägen. De andra två anläggningarna, S1 och S2, finns vid Uddvägen i Sickla väster om huvudtunnlarna (Ritning 250 000 W 00 00).



Figur 2.7. Skiss av infiltration med filtterrörbrunn.

2.3.4 Driftutrymmen

I Södra Länkens tunnlar finns det ett flertal driftutrymmen. Huvudtunnlarnas driftutrymmen är utsprängda under de båda tunnelrören och i botten av utrymmena finns två pumppropar för inläckande vatten, en under vardera körbana. De två pumparna pumpar upp vatten till dränvattensystemet i respektive tunnel (Bergab, 2005).

I driftutrymmena finns bland annat fläktar och batterier. Batterierna, som ska förse tunnlarne med ström under strömavbrott, kyls med kylvatten som sedan släpps ut i dränvattensystemet. Det finns ingen mätare som mäter mängd kylvatten som släpps ut och flödet styrs av temperaturen i batterirummen (Bergab, 2005).

Kylvatten tas från pumpstation 25281 och vid behov används även kommunalt vatten. Men enligt uppgift från Vägverket (Gunnar Johansson, muntligt) är tillskott av kommunalt vatten sällan förekommande och försumbart.

Manuella mätningar har gjorts på mängden kylvatten som släpps ut i dränvattensystemet. Det vattnet blir ett extra tillskott som leds genom dränmätarna och är alltså inte grundvatten som har läckt in i tunnlarna. Resultat från dessa mätningar visar att mängden kylvatten från batterirum är obetydlig. Däremot är mängden vatten från radiatorer DU 262, se bilaga A, relativt stort, 7-10 l/min. Kylvattnet från DU 262 leds till PS 25281, varför det faktiskt inläckande vattnet kan därför vara 7-10 l/min mindre än vad som uppmäts (Bergab, 2005).

Under vinterhalvåret är bruket av kylvatten närmast obefintligt och dränvattenmätningarna är då troligen korrekta. Tunnlarna vid Sickla har ett eget dränsystem och här tillkommer inget kylvatten. Mätningarna som utförts där torde också vara korrekta (Bergab, 2005).

3 METODER

3.1 STUDIENS GENOMFÖRANDE

Underlag till studien omfattar flöden från 38 dränvattenmätare. Dränvattenmätarna mäter flödet av det grundvatten som läcker in i tunnlarna. För analysarbetet har data även inhämtats om nederbörd, temperatur och utförd infiltration.

Bearbetning av data har genomförts i följande steg:

- Sammanställning av uppmätta vattenflöden i samtliga dränvattenmätare. Flödet är redovisat bland annat som diagram med kurvor över dygnsmedel, -max och -min för den studerade tidsperioden. Flödesriktningar har undersökts och redovisats i flödesscheman.
- Det stora antalet dränvattenmätare har gjort det möjligt att studera kortare sektioner av tunneln. Resultatet har använts för att beräkna inläckaget av grundvatten (dränvatten) i specifika tunneldelar.
- Utvärderade inläckagevärden har jämförts med de riktvärden för inläckage som togs fram innan byggandet av Södra Länken startade.
- Utvärdering av faktorer som påverkar dränvattenflödet samt de osäkerhetsfaktorer som påverkar mätningar av dränvattenflödet. Slutligen har en utvärdering av de faktorer som påverkar inläckaget till tunneln utförts.

3.2 MÄTDATA

Datorprogrammet CITRIX är ett huvudprogram innehållande program för Vägverkets olika delområden. Södra Länkens program heter PCMS Södra Länken och därifrån har namnen för de 38 dränvattenmätarna, fem pumpstationerna och fem infiltrationsanläggningarna som infiltrerar i berg hämtats.

3.2.1 Komponentbeteckningar

Eftersom det finns en mängd data som lagras ifrån tunnelsystemet från bland annat ventilation, el, avlopp och drän är det viktigt att rätt data studeras. De olika komponenternas namn är uppbyggda på ett visst sätt:

+AABCC=DDDEEFFF

där

AA = Delprojekt

B = Delområde

CC = Anläggningsdel

DDD = Systemnummer

EE = Komponentbeteckning

FFF = Löpnummer

(Vägverket, 2000).

Exempel dränmätare 2528d

+2528d=512MD001

25 visar att det är Södra Länken, 2 att det är område 2, 8d är anläggningsdelen, 512 anger att det är dränvattensystem, MD att det är en dränvattenmätare och till sist 001 anger numret på komponenten (Vägverket, 2000 ; PCMS Södra Länken).

Exempel pumpstationsmätare 27481:2

+27481=512GF002

27 visar att det är Södra Länken i Sickla, 4 att det är område 4, 81 är anläggningsdelen, 512 anger att det är dränvattensystem, GF att det är en flödesgivare och till sist 002 anger numret på komponenten (Vägverket, 2000 ; PCMS Södra Länken).

Infiltrationsanläggningarna är angivna som exempelvis +25282=512GF001 (PCMS Södra Länken).

3.2.2 Mätintervall

Mätdata är hämtad från PCMS Södra Länkens databas där de mätvärden som loggats sparas. De 31 dränmätarna ute i systemet mäter flödet var 15:e minut i enheten l/s , de fem pumpstationernas sju dränmätare mäter var 3:e minut i enheten l/min , mätarna i de fem infiltrationsanläggningarna som infiltrerar i berg mäter var 15:e minut i enheten l/min och de fem mätarna i infiltrationsanläggningarna som infiltrerar i mark mäter en gång i månaden i enheten l/min (PCMS Södra Länken).

3.3 RIKTVÄRDEN FÖR INLÄCKAGE

Framtagandet av riktvärden för inläckage, q [l/min per 100 m], till Södra Länkens huvudtunnlar och ramper har främst baserats på den grundvattensänkning som kan accepteras utan att skadliga sättningar av mark, byggnader och anläggningar uppkommer. Grundvattenförhållandena i jord och berg har utgjort underlag för analysen av sambandet mellan grundvattensänkning och inläckage till tunneln (SLK, 1996).

Inom vissa området har det konstaterats att vatten måste infiltreras för att en skadlig grundvattensänkning skall kunna undvikas. I dessa områden kan det tillåtas en större inläckning (SLK, 1996).

Då riktvärdena för Södra Länken bestämdes var utgångspunkten den grundvattensänkning som kunde tillåtas i anslutande lerområden utan att skadliga sättningar uppkom. Enkla beräkningsförfaranden har använts vid bestämningen av riktvärdena. Analysen baserades på en hydrogeologisk beskrivning av områdets jordfyllda dalgångar. Den omfattar grundvattnets strömningsvägar, magasinens geologiska, geotekniska och hydrogeologiska egenskaper. Den omfattar även en vattenbalansräkning som innehåller grundvattenbildning och tillgängliga naturliga flöden (SLK, 1996).

Inom vissa områden har ett icke obetydligt tillskott av grundvatten från berggrunden kunnat påräknats. Sådana områden kan vara smala lerfyllda dalgångar med små infiltrationsområden omgivna av större bergområden (SLK, 1996).

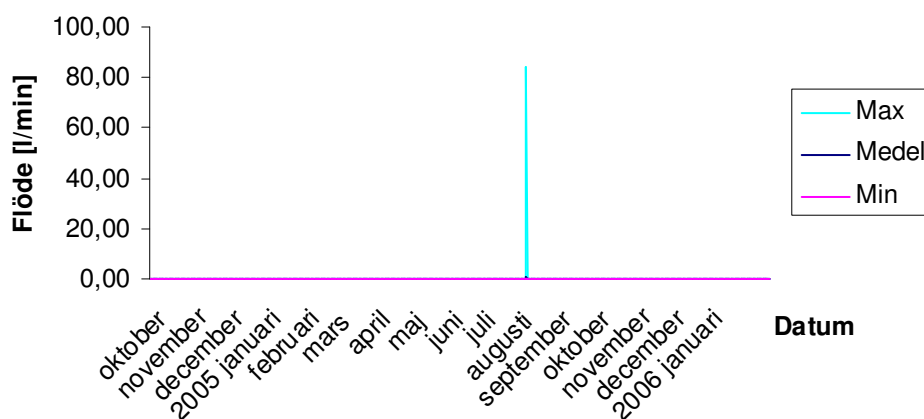
Riktvärdena för inläckage jämförs med de uppmätta dränvattenflödena i kapitel 5.1.

4 RESULTAT

4.1 KLASSIFICERING AV DRÄNVATTENMÄTARNAS FUNKTIONALITET

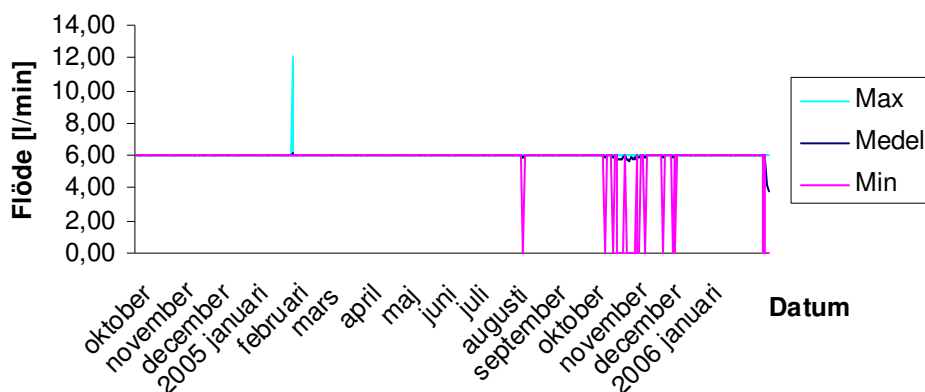
Till en början har en analys utförts där dränvattenmätarna har delats in i fyra klasser baserade på hur väl mätaren fungerar och hur pålitligt flödesvärdet bedöms vara, se tabell 4.1. Analysen är viktig för att flödesscheman och fortsatta beräkningar ska stämma och bli trovärdiga. Analysen baseras på rådatan som presenteras i bilaga B.

- Klass 0 betyder att mätaren inte fungerar eller att inget flöde förekommer. För att kontrollera detta krävs manuell undersökning. Det har inte funnits möjlighet att utföra detta inom ramen för examensarbetet.



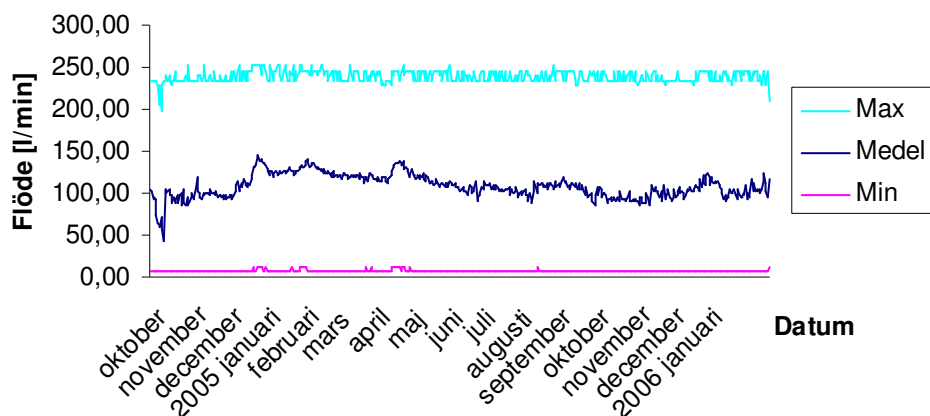
Figur 4.1. Exempel på en mätare i klass 0 (mätare 25181).

- Klass 1 har fungerande mätare men flödet är lågt och kurvans utseende är starkt påverkad av datans låga precision. Värdena hoppar mellan 6, 12, 18, 24 l/min och så vidare. Den låga precisionen påverkar det redovisade flödet relativt mycket.



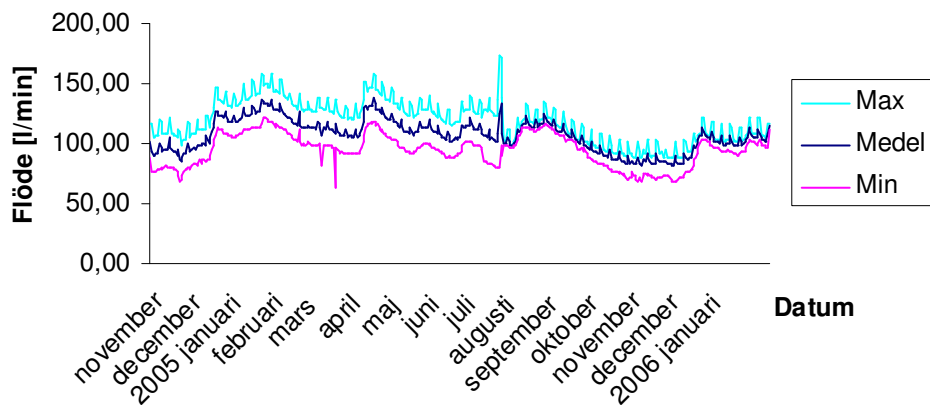
Figur 4.2. Exempel på en mätare i klass 1 (mätare 2528f).

- Klass 2 har väl fungerande mätare som får vatten pumpat till sig. Variationen mellan maxflöde och minflöde blir då stor. Kurvans utseende är inte i lika hög grad påverkad av datans låga precision eftersom flödet är högt.



Figur 4.3. Exempel på mätare i klass 2 (mätare 2528b).

- Klass 3 har väl fungerande mätare med ett flöde som är så högt att kurvans utseende inte påverkas av datans låga precision.



Figur 4.4. Exempel på mätare i klass 3 (mätare 25181).

Tabell 4.1. Klassificering av dränvattenmätarnas funktion och pålitlighet. Symbolen B anger att dränvattenmätaren helt eller delvis får vatten som läckt in genom en betongtunnel, klasserna är enligt ovan.

Mätare	Klass	Mätare	Klass	Mätare	Klass
25181	B, 3	25481	3	27481:1	3
2518a	0	2548a	3	2748b	3
2528f	1	2548b	3	2748c	B, 3
2528i	B, 0	2548c	3		
		2548d	3	27481:2	3
25281	B, 3	2548f	B, 3	3748a	B, 1
2528a	0	2548g	3		
2528b	2	2548h	1	27481:3	3
2528c	2			2748d	B, 3
2528d	2	25581:1	3	2748e	1
2528e	0	25581:2	2	2748f	3
2528g	1	2548e	0	2748g	3
2528h	1	2558a	0	2748h	B, 1
2538a	B, 1	2558b	B, 0		
2538b	B, 1	2558c	0		

4.2 UPPMÄTTA DRÄNVATTENFLÖDEN

De 38 dränmätarna mäter det vatten som läcker in i tunneln. Vattnet rinner i ett rörsystem med mätare på ett avstånd av 100 - 250 m från varandra. Flödesdata har hämtats från PCMS Södra Länken. Data har erhållits som dygnsmedel, dygnsmin och dygnsmax, ett värde per dygn av vardera sorten.

Data från de 31 dränmätarna ute i systemet givna i enheten l/s, har multiplicerats med 60 för att enheten l/min ska erhållas. Det är för att enheten l/min per 100 m tunnel är en vanligt förekommande enhet vid flödesmätning i tunnlar. De sju dränmätarna som finns i pumpstationerna mäter i l/min och har inte omräknats. Hela mätperiodens medelvärde har beräknats genom att beräkna medel av alla dygnsmedelvärden.

I bilaga B finns diagram över de uppmätta flödena i mätarna. Flödet är redovisat i l/min och kurvor finns för dygnsmedel, dygnsmax respektive dygnsmin. Mätarna är uppdelade i de uppsamlingsområden som finns. Ett uppsamlingsområde innehåller flera dränmätare där det vatten som passerat mätarna till slut rinner till en och samma pumpstation.

I bilaga C redovisas vilka områden i tunneln som respektive mätare får sitt vatten ifrån.

4.2.1 Uppsamlingsområde 25181, Åbyvägen

Pumpstation 25181 mottar vatten som har passerat mätare 2518a, 2528f samt 2528i.

Mätare 2528i och 2518a är ur funktion. I området finns betongtunnlar där inläckande vatten rinner till 25181 och 2528i. För en mer detaljerad beskrivning av flödet i området, se bilaga F.

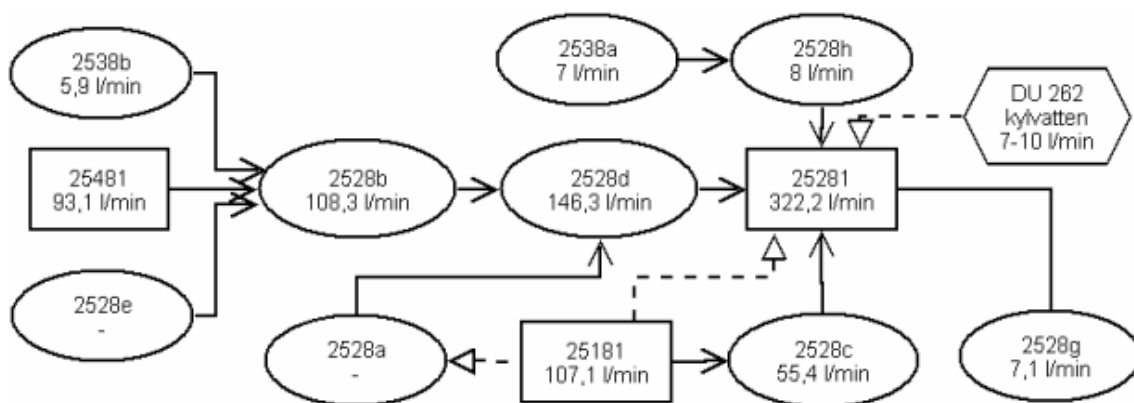


Figur 4.5. Flödesschema, uppsamlingsområde 25181. Ellipserna visar dränmätrarna ute i systemet och rektangeln dränmätaren i pumpstationen.

4.2.2 Uppsamlingsområde 25281, Årsta - Johanneshov

Pumpstation 25281 mottar vatten som har passerat mätare 2528a, 2528b, 2528c, 2528d, 2528e, 2528g, 2528h, 2538a, 2538b samt pumpstationerna 25181 och 25481.

Flödena i det här området är mycket svårbestämda. Pumpstation 25181 och 25481 pumpar ut sitt vatten i områdets ledningsnät vilket ger en stor variation på max- och minflöde i vissa mätare. Vattnet rinner ej här som förmodat utan faktorer som driftutrymmen, lutningen på tunneln och tillkommande kylvatten påverkar flödet. Mätare 2538a, 2538b och 25281 erhåller sitt vatten delvis från betongtunnel. För en mer detaljerad beskrivning av flödet i området, se bilaga F.

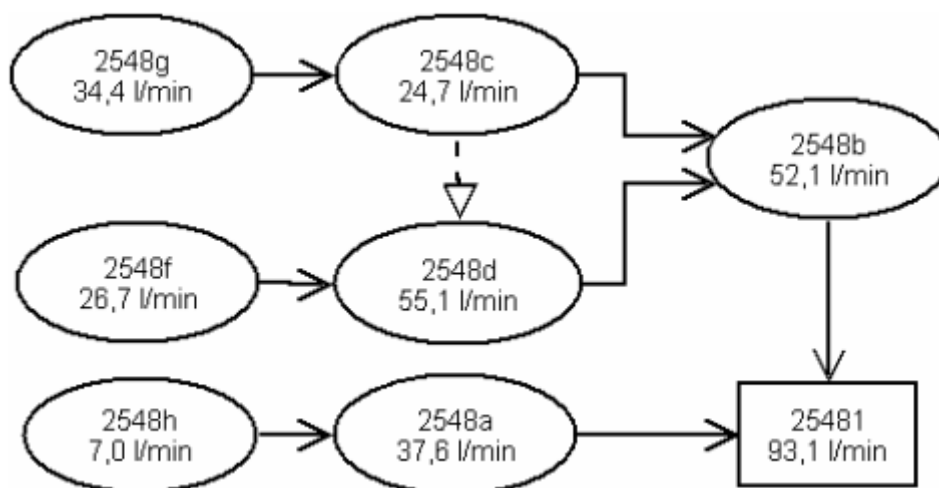


Figur 4.6. Flödesschema, uppsamlingsområde 25281. Sexhörningen visar externt tillfört vatten. Streckade pilar visar troliga flödesriktningar medan heldragna visar konstaterade riktningar.

4.2.3 Uppsamlingsområde 25481, Skärmarbrink

Pumpstation 25481 får vatten som rinner genom mätare 2548a, 2548b, 2548c, 2548d, 2548f, 2548g och 2548h.

Flödet i området är inte som förmodat. Troligtvis rinner vatten över från mätare 48c till 48d. 48b konstateras här ha ett flöde som ligger mycket lågt. Mätare 48f tar emot vatten som delvis läckt in i betongtunnel. För en mer detaljerad beskrivning av flödet i området, se bilaga F.

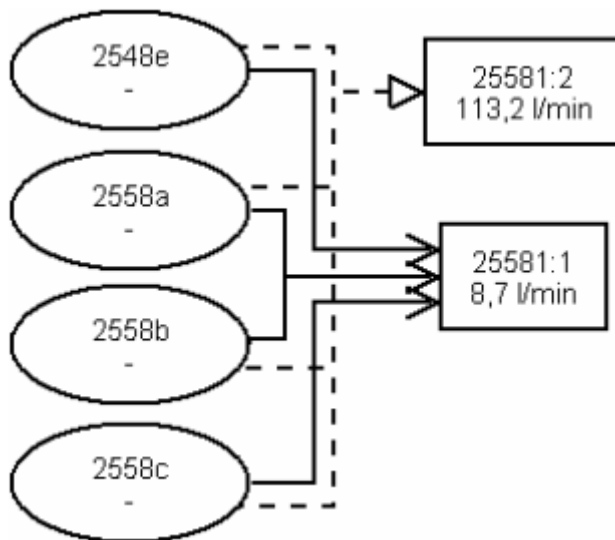


Figur 4.7. Flödesschema, uppsamlingsområde 25481.

4.2.4 Uppsamlingsområde 25581, Hammarby

Pumpstation 25581:1 mottar vatten som passerat mätare 2548e, 2558a, 2558b samt 2558c.

Mätarna 48e, 58a, 58b och 58c är ur funktion. Pumpstation 25581:1 visar här ett mycket lågt och oregelbundet flöde. Vattnet rinner troligtvis istället till mätare 25581:2, vilket ger att det totala flödet i området fås vid en summering av flödet genom mätarna 25581:1 och 2558:2. Mätare 2558b får delvis vatten som har läckt in genom betongtunnel. För en mer detaljerad beskrivning av flödet i området, se bilaga F.

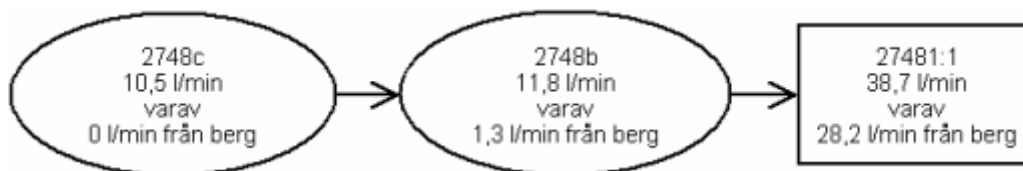


Figur 4.8. Flödesschema, uppsamlingsområde 25581.

4.2.5 Uppsamlingsområde 27481:1, Sickla

Pumpstation 27481:1 får vatten som passerat mätare 2748b och 2748c.

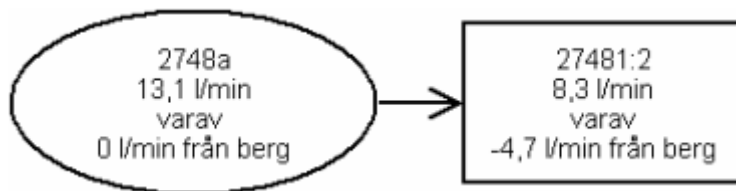
Mätare 48c är märkbart påverkad av regn som kommer in genom tunnelmynningen och ska enbart ta emot vatten som läckt in genom betongtunnel. Pumpstation 27481:1 har ett relativt högt flöde. Detta på grund av lutningen av tunneln som gör att även vatten som ska rinna till andra mätare rinner dit. För en mer detaljerad beskrivning av flödet i området, se bilaga F.



Figur 4.9. Flödesschema, uppsamlingsområde 27481:1.

4.2.6 Uppsamlingsområde 27481:2, Sickla

Pumpstation 27481:2 tar emot vatten från en mätare, 2748a. 48a tar emot vatten som har läckt in genom betongtunnel. Pumpstationen tar emot ett relativt lågt vattenflöde vilket beror på tunnelns lutning. För en mer detaljerad beskrivning av flödet i området, se bilaga F.

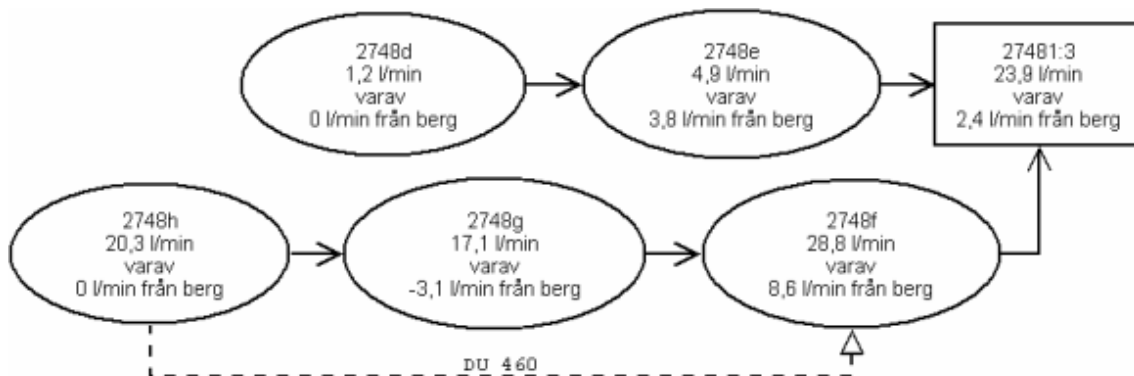


Figur 4.10. Flödesschema, uppsamlingsområde 27481:2.

4.2.7 Uppsamlingsområde 27481:3, Sickla

Pumpstation 27481:3 mottar vatten från dränmätare 2748d, 2748e, 2748f, 2748g samt 2748h.

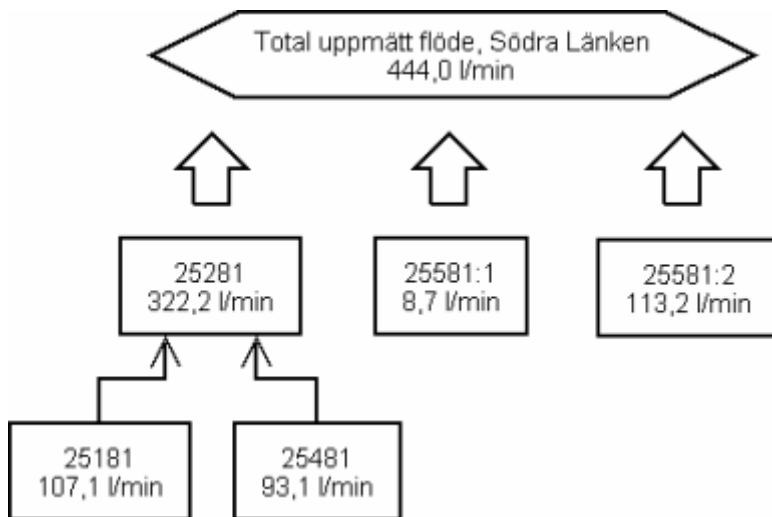
I det här området rinner vattnet ner i ett driftutrymme vilket leder till att flödet genom mätare 48g blir lägre. 48d och 48h tar emot vatten som har läckt in genom betongtunnel. Flödet genom pumpstationen är relativt lågt vilket beror på tunnelns lutning. För en mer detaljerad beskrivning av flödet i området, se bilaga F.



Figur 4.11. Flödesschema, uppsamlingsområde 27481:3.

4.2.8 Uppsamlingsområde Södra Länken exklusive Sickla

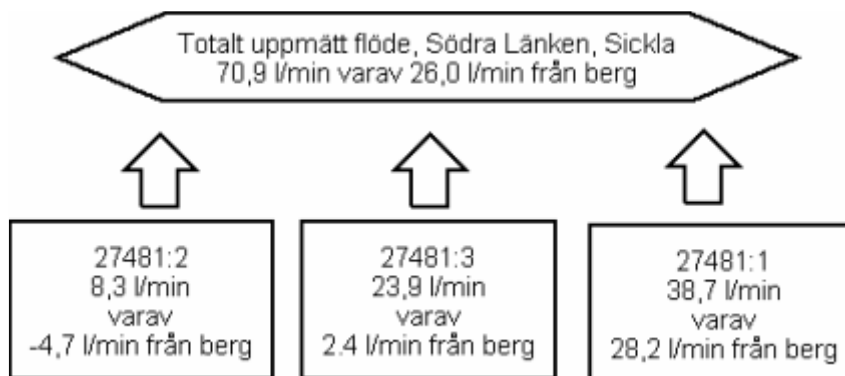
Södra Länken exklusive Sickla har fyra pumpstationer; 25181, 25281, 25481 och 25581. För en mer detaljerad beskrivning av flödet i området, se bilaga F.



Figur 4.12. Flödesschema, uppsamlingsområde Södra Länken exklusive Sickla.

4.2.9 Uppsamlingsområde Södra Länken, Sickla

Södra Länken i Sickla har en pumpstation, 27481. I den finns tre mätare som registrerar flödet, 27481:1, 27481:2 och 27481:3. För en mer detaljerad beskrivning av flödet i området, se bilaga F.



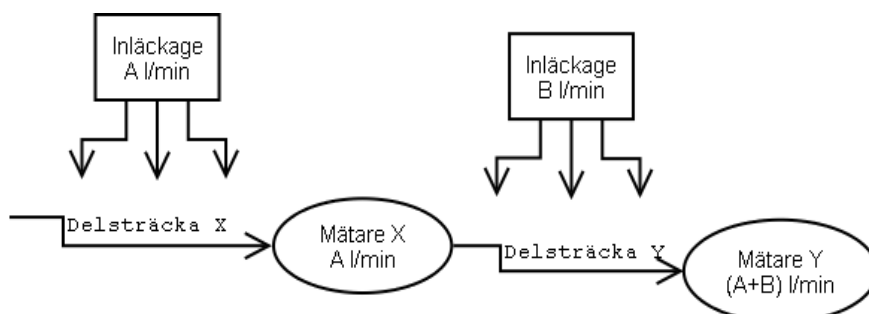
Figur 4.13. Flödesschema, uppsamlingsområde Södra Länken, Sickla.

4.3 DRÄNVATTENFLÖDEN I DELOMRÅDEN

Det inläckande vatten som rinner genom dränmätarna mäts flera gånger i olika dränmätare. Vatten som mäts i en dränmätare mäts i nästföljande dränmätare tillsammans med det vatten som läcker in i sektionen mellan de två mätarna. Det gör det möjligt att studera hur mycket vatten som läcker in i separata områden i tunneln och även räkna ut hur mycket vatten som läcker in i området per 100 m tunnel.

Exempel: Flöde i område Y, se figur 4.14.

Flödet i område Y beräknas genom att subtrahera det uppmätta flödet i mätare Y, (A+B l/min), med det uppmätta flödet genom mätare X, (A l/min). Flödet blir då B l/min. Eftersom längden på område Y, det vill säga delsträcka Y, är känd kan då flöde per 100 m tunnel i område Y beräknas.



Figur 4.14. Flödesschema, flöde i område Y.

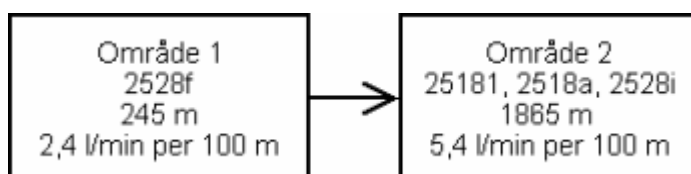
Beräkningarna baseras på de uppmätta medelflödena i bilaga B. I de fall där det finns mätare uppströms subtraheras deras medelflöden från aktuell mätares medelflöde för att ett delflöde ska erhållas. Att även subtrahera max- och minvärdena har bedömts alltför osäkert. De värdena är punktflöden under dagen och mätarnas värden är således inte synkroniserade med varandra.

I bilaga D finns diagram över områdenas flöden. Flödena är redovisade i l/min per 100 m tunnel och det är endast medelflödet som visas. Ett område kan innehålla en eller flera mätare. Mätarnas upptagningsområde redovisas i bilaga C.

4.3.1 Uppsamplingsområde 25181, Åbyvägen

Pumpstation 25181 mottar vatten som har passerat mätare 2518a, 2528f samt 2528i.

Här är det endast 28f och pumpstationen 181 som visar något pålitligt uppmätt flöde. Uppsamplingsområdet kan då delas in i två delområden, 28f samt ett gemensamt för 181, 18a och 28i. För en mer detaljerad beskrivning av flödet i området, se bilaga G.

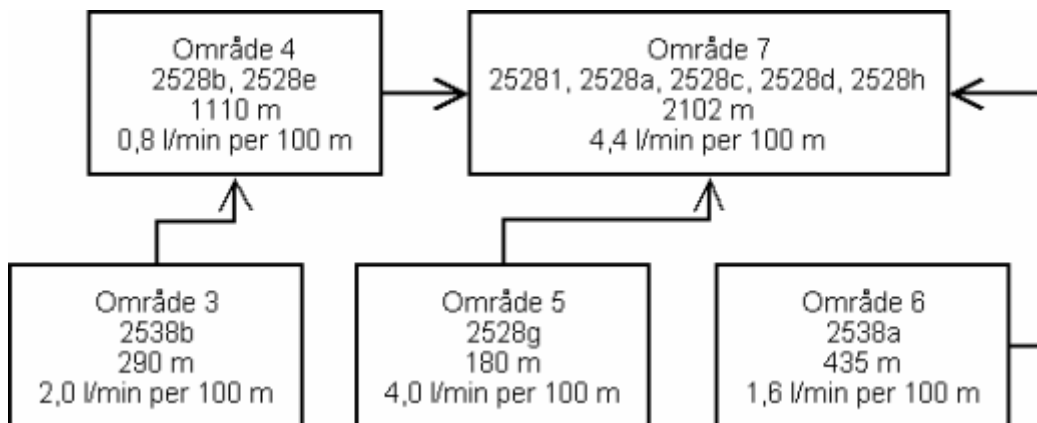


Figur 4.15. Flödesschema, uppsamlingsområde 25181.

4.3.2 Uppsamlingsområde 25281, Årsta - Johanneshov

Pumpstation 25281 mottar vatten som har passerat mätare 2528a, 2528b, 2528c, 2528d, 2528e, 2528g, 2528h, 2538a, 2538b samt pumpstationerna 25181 och 25481.

Flödena är mycket svårbestämda i området. Områdesindelningen nedan är gjort för att få ett så säkert resultat som möjligt. För en mer detaljerad beskrivning av flödet i området, se bilaga G.

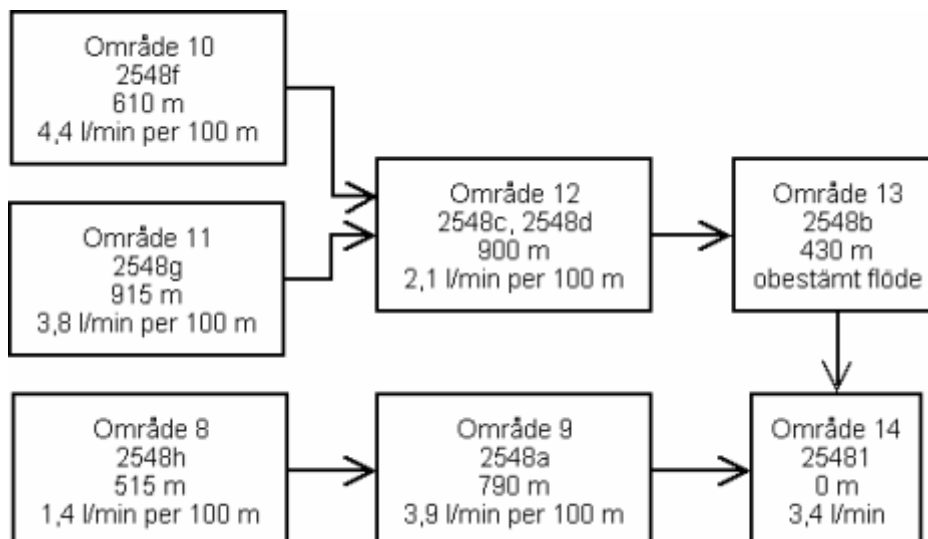


Figur 4.16. Flödesschema, uppsamlingsområde 25281.

4.3.3 Uppsamlingsområde 25481, Skärmarbrink

Pumpstation 25481 får vatten som rinner genom mätare 2548a, 2548b, 2548c, 2548d, 2548f, 2548g och 2548h.

Flödet i område 13 är oklart då flödet är lägre än i det område den får sitt vatten ifrån. För en mer detaljerad beskrivning av flödet i området, se bilaga G.



Figur 4.17. Flödesschema, uppsamlingsområde 25481

4.3.4 Uppsamlingsområde 25581, Hammarby

Pumpstation 25581:1 mottar vatten som passerat mätare 2548e, 2558a, 2558b samt 2558c.

Inläckaget i området, kallad område 15, är 4,4 l/min per 100 m tunnel. För en mer detaljerad beskrivning av flödet i området, se bilaga G.

4.3.5 Uppsamlingsområde Södra Länken, Sickla

I Sickla finns 11 dränvattenmätare 2748a-h samt 27481:1, 27481:2 och 27481:3.

Hela uppsamlingsområdet väljs till ett område, kallad område 16. I området är inläckaget 2,7 l/min per 100 m tunnel. För en mer detaljerad beskrivning av flödet i området, se bilaga G.

4.4 MANUELLT OCH AUTOMATISKT BERÄKNADE DRÄNVATTENFLÖDEN I PUMPSTATIONERNAS UPPTAGNINGSSOMRÅDEN

De fem pumpstationernas sju dränmätare mäter det vattenflöde som strömmar genom dem. Subtraheras de mätarnas flöden som sitter innan pumpstationen fås det inläckande vatten som läcker in i pumpstationens dränmätarens upptagningsområde. Det som är speciellt med pumpstationernas dränmätare är att de får sitt områdes flöde uträknat automatiskt av datasystemet. En jämförelse mellan manuellt beräknade flöden och automatiskt uträknade flöden kan då göras för att se om systemet fungerar som det ska. Diagram finns redovisade i bilaga E.

25181

Det manuellt beräknade och det automatiskt beräknade flödena är desamma.

25281

Det manuellt beräknade flödet är mycket lägre än det automatiskt beräknade. Skillnaden mellan de båda uträkningarna är lika stor som flödet genom mätare 2528d. När flödet beräknas automatiskt räknas inte flödet genom 2528d bort. För att få ett korrekt automatiskt beräknat flöde ska flödet genom 2528d också subtraheras i datasystemet.

25481

Det manuellt beräknade flödet är inte detsamma som det automatiskt beräknade. Det automatiskt beräknade flödet har en mer utjämnad kurva och ligger mellan topparna och dalarna av kurvan för det manuellt beräknade flödet.

25581

Kurvorna följer varandra åt förutom då det manuellt beräknade flödet är negativt, då är det automatiskt beräknade flödet istället 0.

27481:1

Kurvorna följer varandra åt förutom då det manuellt beräknade flödet är negativt, då är det automatiskt beräknade flödet istället 0.

27481:2

Det manuellt beräknade flödet är negativt under hela perioden. Det automatiskt beräknade flödet är således konstant 0.

27481:3

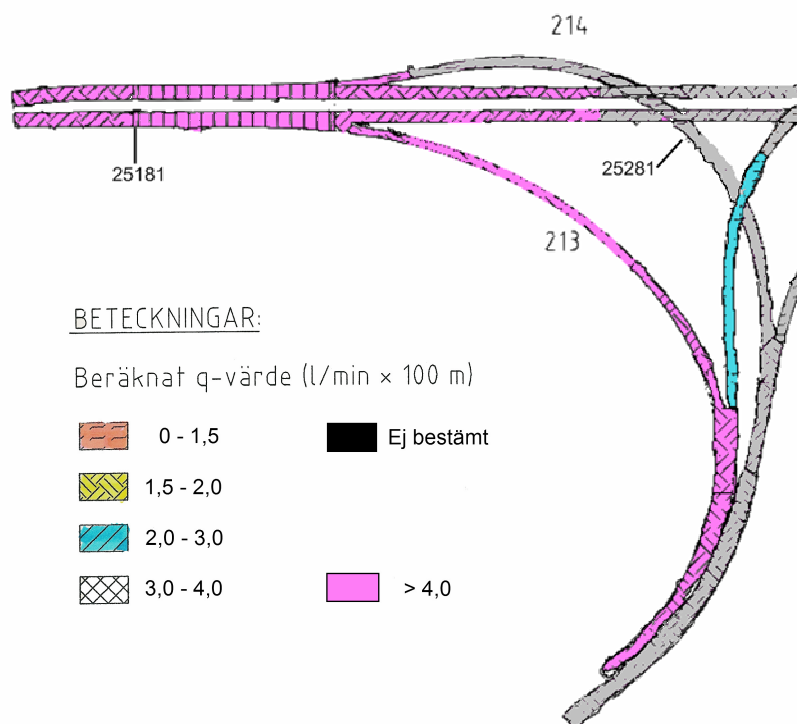
Kurvorna följer varandra åt förutom då det manuellt beräknade flödet är negativt, då är det automatiskt beräknade flödet istället 0.

5 ANALYS AV UPPMÄTTA DRÄNVATTENFLÖDEN

5.1 RIKTVÄRDEN FÖR INLÄCKAGE OCH UPPMÄTTA DRÄNVATTENFLÖDEN

Riktvärden för inläckande vatten finns beräknade för olika sträckor längs Södra Länken. Riktvärdena, vars främsta syfte var att utgöra underlag för tätningsmodeller och tätningsarbetets genomförande, kan även ses som en prognos för inläckande grundvatten, se kapitel 3.3. Genom att jämföra redovisade riktvärden och tunnelsträckors uppmätta dränvattenflöden, kan prognosutfallet bedömas. Riktvärden finns inte uträknade för Södra Länken i Sickla, (uppsamlingsområde 27481), där flödet är 2,7 l/min per 100 m. En jämförelse är därför endast gjord mellan riktvärdena och uppmätta flöden i uppsamlingsområdena 25181, 25281, 25481 och 25581.

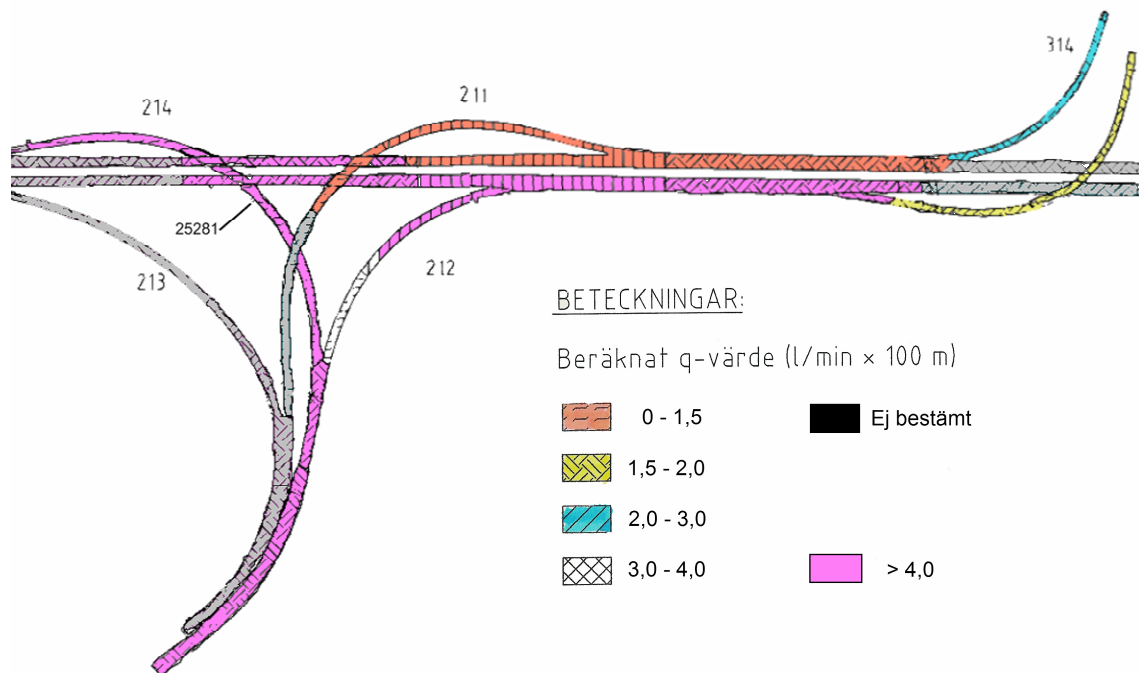
5.1.1 Uppsamningsområde 25181, Åbyvägen



Figur 5.1. Uppmätt flöde i uppsamlingsområde 25181. Fält till höger i figuren, markerade i grått, tillhör uppsamlingsområde 25281.

Prognosen förutspådde ett inläckage i uppsamlingsområdet på cirka 2,1 l/min per 100 m tunnel. Det uppmätta flödet i tunneln under den studerade tidsperioden är 5,1 l/min per 100 m tunnel, det vill säga 3 l/min per 100 m högre. Det högre flödet beror på stor del av att det finns mycket betongtunnel i området. Vid beräkningen av inläckaget till bergtunnel per 100 m har det inläckande vattnet i bergtunnel inte kunnat särskiljas från vattnet från betongtunnel. Betongtunnelsträckan har då räknats bort medan vattnet som läcker in där inte kunnat räknas bort. Det leder till ett högre flödesresultat än det verkliga.

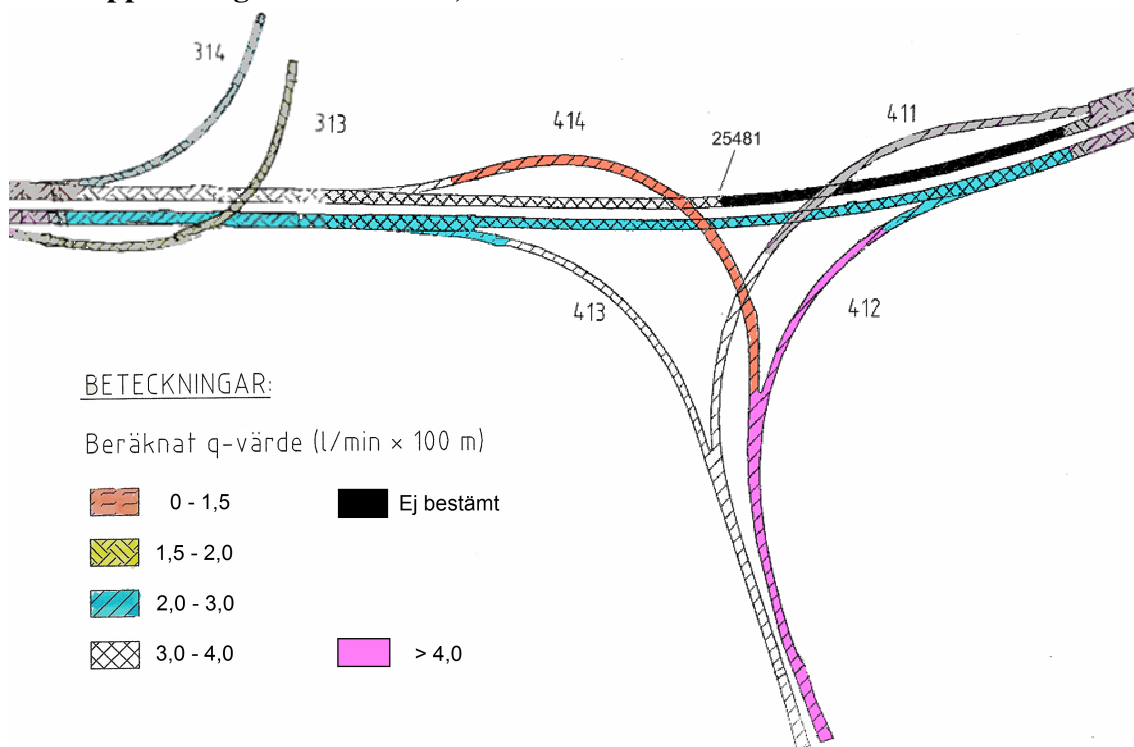
5.1.2 Uppsamlingsområde 25281, Årsta - Johanneshov



Figur 5.2. Uppmätt flöde i uppsamlingsområde 25281. Fält till vänster i figuren, markerade i grått, tillhör uppsamlingsområde 25181 och till höger uppsamlingsområde 25481.

Riktvärdet i uppsamlingsområde 25281 är cirka 2,2 l/min per 100 m tunnel medan det uppmätta flödet är 3,0 l/min per 100 m tunnel, det vill säga 0,8 l/min per 100 m tunnel högre. Skillnaden är inte lika hög som i område 25181 vilket kan förklaras med att det här finns betongtunnel men inte i samma utsträckning. Däremot tillkommer kylvatten med cirka 7-10 l/min, vilket motsvarar cirka 0,2 l/min per 100 m tunnel. Inläckaget i den nordligare tunneln är mycket lägre (0-1,5 l/min per 100 m) än i den södra (> 4 l/min per 100 m). Troligtvis är det inte så. Vattnet kan här läcka mellan tunnarna och mäts då inte i den mätare som det är tänkt.

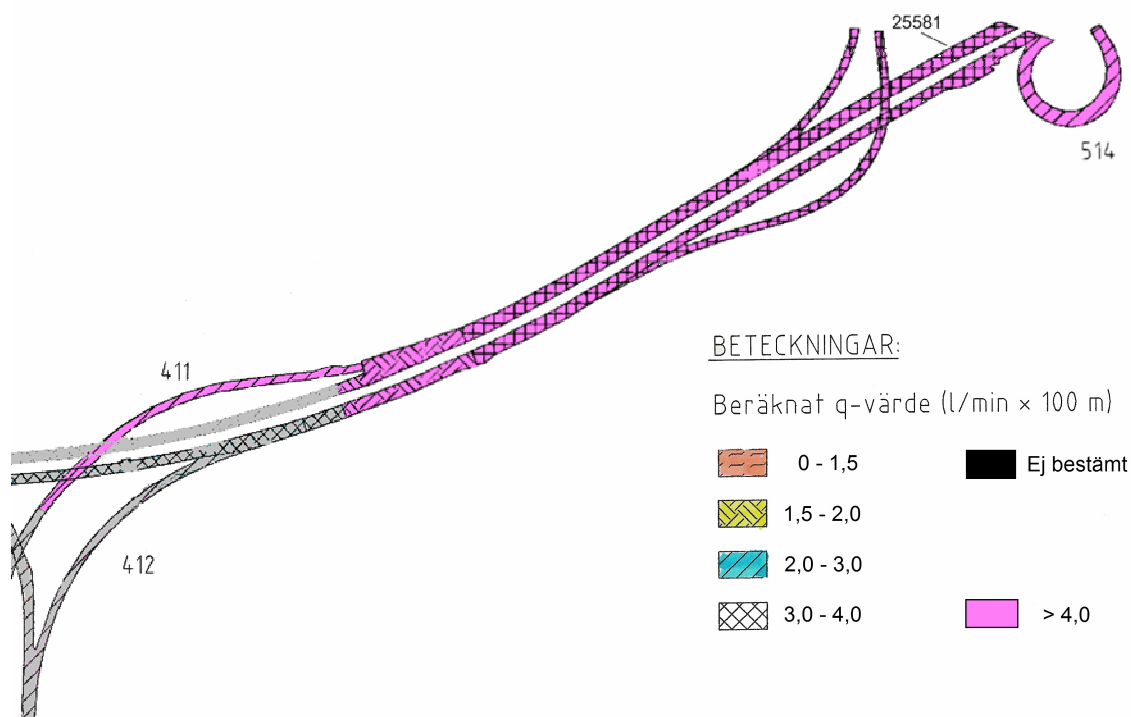
5.1.3 Uppsamlingsområde 25481, Skärmarbrink



Figur 5.3. Uppmätt flöde i uppsamlingsområde 25481. Fält till vänster i figuren, markerade i grått, tillhör uppsamlingsområde 25281 och till höger uppsamlingsområde 25581.

Riktvärdet i område 25481 är 3,3 l/min per 100 m tunnel. Det uppmätta flödet är här 2,2 l/min per 100 m, det vill säga 1,1 l/min per 100 m lägre. I figur 5.3 ses ett svart område där flödet inte är bestämt, se kapitel 4.3.3.6. I det här svarta området är flödet betydligt lägre än i det område där det svarta området får sitt vatten från. Vattnet som läcker in i området rinner inte genom mätaren utan tar vägen någon annanstans. Det här ger då upphov till ett betydligt lägre uppmätt inläckage än det verkliga. Det finns betongtunnlar i liten utsträckning i uppsamlingsområdet som bidrar till att det uppmätta flödet ökas på.

5.1.4 Uppsamlingsområde 25581, Hammarby



Figur 5.4. Uppmätt flöde i uppsamlingsområde 25581. Fält till vänster i figuren, markerade i grått, tillhör uppsamlingsområde 25481.

Riktvärdet i uppsamlingsområde 25581 är 3,6 l/min per 100 m tunnel. Det uppmätta flödet i området är 4,4 l/min per 100 m tunnel, det vill säga 0,8 l/min per 100 m högre. Flödet är här över 4,0 l/min per 100 m i hela uppsamlingsområdet. Vattnet i området rinner inte som det var tänkt, se kapitel 4.3.4. I pumpstationens mätarens diagram, figur B.23 och B.24, syns det att flödet inte beter sig som normalt. Det är oklart om det kan läcka in regnvatten som ökar på flödet eller om dränflödet är stort på något sätt. Betongtunnel i liten utsträckning finns som ökar på flödesresultatet vid beräkningen.

5.1.5 Jämförelse av riktvärden för inläckande vatten och uppmätta dränvattenflöden

Totalt har Södra Länken, förutom Sickla, ett förutspått totalt flöde på 416 l/min, vilket motsvarar ett medelinläckage på 2,7 l/min per 100 m tunnel (Ritning 250 000 B 14 H1). Det uppmätta flödet på 444 l/min motsvarar ett medelinläckage på 3,4 l/min per 100 m tunnel, det vill säga 0,7 l/min per 100 m högre. En underskattning av det inläckande grundvattnet har gjorts. Alternativt har man inte lyckats uppnå kravet i tätningsarbetet.

En jämförelse mellan prognos (riktvärden) och verkligt utfall (uppmätt dränflöde) visar på relativt dålig samstämmighet i de fyra uppsamlingsområdena.

De högsta uppmätta flödena, > 4 l/min och 100 m tunnelrör, återfinns där det finns betongtunnel samt i uppsamlingsområde 25581. 56 % av hela tunnelsträckan har ett inläckage över 4,0 l/min per 100 m tunnel. Vid beräkningen av inläckaget per 100 m

bergtunnel har betongtunnelns sträcka subtraherats men inte flödet som tillkommer på grund av betongtunneln då det inte går att särskilja det från inläckaget från bergtunneln. Det gör att inläckagevärdet per 100 m, som redovisas, blir för högt.

I några fall, exempelvis i uppsamlingsområde 25281, är det stor skillnad i inläckage mellan två parallella tunnlar. Det kan vara så att det läcker in olika mycket vatten, men det är även möjligt att vattnet flödar på ett sådant sätt att inläckageberäkningen blir felaktig. I det här området är flödesriktningarna oklara.

I jämförelsen mellan prognos och verkligt flöde påverkar intervallindelningen till viss del uppfattningen av inläckagets storlek på vissa sträckor. Indelningen är gjord för att en direkt jämförelse med prognoskartan (Ritning 250 000 B 14 H1) ska kunna göras. Decimaler kan dock påverka vilken intervallgrupp inläckaget tillhör. Det bör beaktas vid studerandet av inläckagefigurerna tidigare i kapitlet.

I tabell 5.1 redovisas en sammanfattning av dränflöden, riktvärden och bergtunnelsträckor i Södra Länken. Bergtunnelsträckan är den sträcka vattnet rinner i bergtunnel innan den når pumpstationens mätare. Uppmätt medelflöde är det flöde som passerar mätaren uträknat i ett medelflöde för hela tidsperioden.

Tabell 5.1. Uppmätta dränvattenflöden, riktvärden (prognos) och bergtunnelsträckor i Södra Länkens uppsamlingsområden.

Uppsamlingsområde	Bergtunnelsträcka [m]	Uppmätt medelflöde		Flödesprognos	
		[l/min]	[l/min per 100 m]	[l/min per 100 m]	[l/min per 100 m]
25181	2110	107,1	5,1	2,1	
25281	4117	122,0	3,0	2,2	
25481	4160	93,1	2,2	3,3	
25581	2745	121,8	4,4	3,6	
Södra Länken totalt	13132	444,0	3,4	2,7	
Sickla totalt	970	26,0	2,7	-	
Totalt	14152	470,0	3,3	-	

5.2 FAKTORER SOM PÅVERKAR DRÄNVATTENFLÖDET

Det finns ett flertal faktorer som påverkar dränvattenflödet i tunneln.

5.2.1 Driftutrymmen

Längs hela tunneln finns ett flertal driftutrymmen. En del av driftutrymmena sträcker sig under båda huvudtunnlarna. Vatten kan på så vis rinna ner i utrymmet och pumpas upp i tunneln bredvid. Vattnet byter då tunnelrör och mäts inte i den mätare som det var tänkt. Det här sker troligtvis då vatten från 25181 rinner ner i DU 261 och sen vidare till 2528a istället för att direkt rinna till 2528c, se kapitel 4.2.2. Det sker även då vatten från 2748h rinner ner i DU 460 och sen vidare till 2748f istället för att rinna till 48g direkt, se kapitel 4.2.7.

Andra utrymmen som finns är bland annat nödutgångar som leder till tunnelröret bredvid, arbetstunnlar och utrymmen för infiltrationsanläggningar. Dessutom finns det redan befintliga ledningar som korsar tunneln. I de ledningarna kan vatten både läcka in och ut. Södra Länken är inte ett homogent tunnelrör utan det finns många andra utrymmen där vatten kan läcka in. Vid beräkningarna har det antagits att det inte är något tillskott av vatten från de här utrymmena. Troligtvis förekommer det, men det har inte undersökts närmare. Ett tecken på det kan vara de små topparna som återkommer med cirka en veckas mellanrum i exempelvis mätare 25181. Det kan vara vatten som pumpas från något utrymme. Det har dock vid två tillfällen, se ovan, tagits hänsyn till driftutrymmena vid beräkningar.

5.2.2 Kylvatten

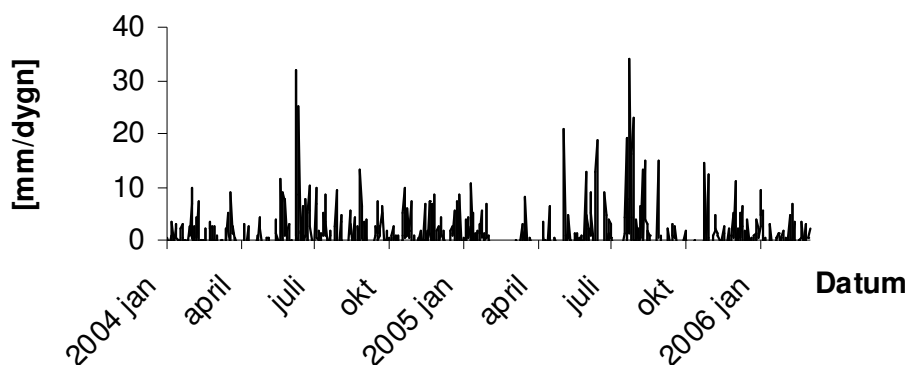
Bruket av kylvatten i Södra Länken är närmast obefintligt under vinterhalvåret men det är osäkert hur mycket som förbrukas under sommaren. Mätningar har visat att kylvatten från radiatorer DU 262 ger mätare 25281 ett tillskott på 7-10 l/min. I Sickla tillkommer det inget kylvatten till dränsystemet under någon årstid (Bergab, 2005).

5.2.3 Pumpning

Dränvattnet rinner inte av sig själv genom hela dränvattensystemet. I pumpstation 25181 och 25481 pumpas vattnet vidare till uppsamlingsområde 25281 i tryckdränledningar. Pumpen går inte kontinuerligt utan sätts på och av beroende på vattentillgång. Det leder till att flödet i mätarna som tar emot vatten från pumpstationerna varierar kraftigt. 2528b mottar vatten från pumpstation 25481 och har en stor flödesvariation. Detsamma gäller för 2528c som tar emot vatten från 25181 och uppvisar ett starkt varierande flöde. 2528d som indirekt är påverkat av pumpstationernas vatten har även den en stor skillnad mellan max- och minflöde.

5.2.4 Nederbörd

Nederbörd medför generellt större yt- och grundvattenavrinning vilket ger större flöden i tunneln.



Figur 5.5. Uppmått nederbörd. Nederbördsdata för februari 2005 saknas. (SMHI:s väderstation Stockholm/Observatoriet).

Data från vissa dränmätare vid tunnelmynningarna visar på kraftigt ökade flöden i samband med nederbörd. Höga toppar med en ökning på uppemot 150 l/min tolkas som regntillskott och bedöms inte utgöra grundvatten som läckt in genom tunnelns väggar, tak eller golv. Detta indikerar att dagvattensystemet inte fungerar helt tillfredsställande och att dagvatten tillförs dränvattensystemet.

En ökad tillrinning vid regn har observerats i mätare närmast tunnelmynningen på tre ställen; 2558b, 2748c och 2748d. Då tillskottet av nederbörd fördelas på hela tidsperioden har 2558b ett medeltillskott på grund av regn på 0,9 l/min, 2748c har ett tillskott på ca 4,5 l/min och 2748d ett tillskott på 1,2 l/min. Uppmätta flöden visar höga toppar som troligtvis är vatten som rinner in genom tunnelmynningen och ner i dränvattensystemet. De högsta flödestopparna förekommer i juli och augusti 2005 då även kraftiga regn registrerats.

5.2.5 Lutningen av tunneln

Tunnelnarnas lutningar medför att vatten kan ledas med självfall till pumpstationerna genom i stort sett hela dränvattensystemet. I tre fall har det dock upptäckts att vattnet rinner till andra mätare än vad det var tänkt på grund av just lutningen av tunneln.

Det är möjligt att allt vatten från 2538a inte rinner till 2528h. Istället för att rinna ner i rampen till mätare 2528h kan vattnet rinna vidare i huvudtunneln mot mätare 2528d, se kapitel 4.2.2.

Vatten som ska rinna till 2548c, från mätare 2548g, kan rinna över till mätare 2548d då de är placerade nära varandra, se kapitel 4.2.3.

En förklaring till det låga flödet i mätare 27481:2 och 27481:3 är att lågpunkten i tunneln ligger bortom mätare 27481:1. Vattnet rinner då mot lågpunkten och mätare 27481:1, se kapitel 4.2.9.

5.3 OSÄKERHETSFAKTORER I MÄTNINGEN AV DRÄNVATTENFLÖDET

Det finns ett flertal osäkerhetsfaktorer vid mätningen av dränvattenflödet.

5.3.1 Mätdammar

Betongvallar är gjutna tvärs över tunneln, vinkelrätt mot tunnelns längdriktning. Vallarna dämmer flödet och möjliggör mätning i mätanordning vid ena tunnelväggen. Den enda möjligheten för vattnet att passera vällen ska vara genom mätaren.

Det är inte alltid så att vallarna är täta. Vallarna är gjutna direkt mot berget men med tiden kan vallarna spricka eller så kan det bildas ett mellanrum mellan vall och bergyta. Riskerna finns då att vattnet läcker igenom vällen istället för att passera genom mätaren. Ett för lågt flöde registreras i sådant fall (Gunnar Johansson, muntligt).

5.3.2 Bräddavlopp

Längst upp i den första brunnen, dit vattnet leds innan det passerar mätaren, finns ett bräddavlopp placerat. Bräddavloppet har till uppgift att leda vattnet förbi mätaren till nästa brunn i de fall då den första brunnen blivit full. Den första brunnen kan bli full om flödet till brunnen är högt och allt vatten inte hinner rinna genom mätaren. Det här kan hända då mätaren får vatten pumpat till sig från pumpstationer. Den kan också bli full om mätaren sätter igen och inget eller mycket lite vatten kan passera mätaren, se tabell 4.1, klass 0. Vattnet rinner då genom bräddavloppet och ett för lågt flöde registreras.

5.3.3 Dränvattenmätare

Dränmätarna är känsliga för partiklar och sätter lätt igen. Vattnet passerar då genom bräddavloppet och ett för lågt flöde registreras.

5.4 FAKTORER SOM PÅVERKAR INLÄCKAGET TILL TUNNELN

Det finns ett flertal faktorer som påverkar mängden grundvatten som läcker in i Södra Länkens tunnlar.

5.4.1 Betongtunnel och bergtunnel

Betong- och bergtunnlar har olika täthet samt påverkar grundvattensituationen på olika sätt. Frågan är om skillnaden av tunnelsort påverkar inläckaget av grundvatten.

Betongavsnitten i Södra Länken byggs som betongtråg (på små jorddjup), betongtunnel (på stora jorddjup) och betongtunnel med bergbotten (närmast anslutning till bergtunnel). Själva betongelementen bedöms vara täta, men mer eller mindre stora läckage kan uppkomma i skarvar och vid anslutning till bergtunneln. Utanför betongelementen kringfylls det med relativt permeabelt material, vilket ger möjlighet

till vattenflöden längs med och utanför betongtunneln. I övergången mellan betong- och bergtunnel kan det, beroende av bergets vattenförande förmåga, vara mycket varierande inläckage (Ulf Sundquist, muntligt).

Bergtunnlarna är tätade med förinjektering och på flera platser med efterinjektering för att reducera inläckage av grundvatten. Tätningsarbeten kan lokalt flytta inläckageplatser till mindre täta områden i tunneln.

I Södra Länken finns det sju dränmätare som får vatten delvis från betongtunnel. I Södra Länken i Sickla finns det fyra mätare som helt får vatten från betongtunnel. I studien av inläckaget i Södra Länken förutom Sickla har betongtunnelsträckan räknats bort vid beräkning av inläckage per 100 m bergtunnel. Dock har inte inläckaget från betongtunnel kunnat särskiljas från inläckaget från bergtunnel. Dränvattenflödet har därför inte kunnat justerats så att endast vatten som läcker in i bergtunnel har kunnat användas vid beräkningen av inläckaget per 100 m tunnel. Vid beräkningen av inläckaget per 100 m tunnel i Sickla har både betongtunnelns sträcka och flödet genom de fyra mätarna räknats bort. Beräkningen av inläckaget per 100 m bergtunnel bedöms därför mer trovärdigt för tunnarna i Sickla än i de berörda tunnelavsnitten i Södra Länken.

Fem av de sju tunnelavsnitten som får vatten från betongtunnel på Södra Länken exklusive Sickla har ett inläckage över 4 l/min per 100 m tunnel och de andra två har ett inläckage på ca 2 l/min per 100 m. Det är svårt att säga om de här avsnittens flöden skiljer sig från andra avsnitts flöden där området endast får vatten som läcker in i bergtunnlar. Däremot är redovisade värden på inläckage på de här sträckorna något för höga eftersom eventuellt inläckage genom betongtunnlar inte har räknats bort.

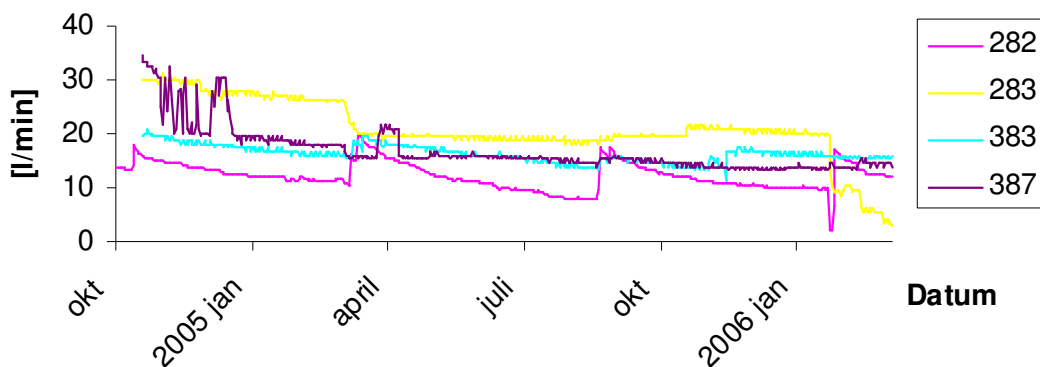
De fyra tunnelavsnitten i Sickla har alla höga flöden och är märkbart påverkade av dagvattenavrinning på vägbanan vid nederbörd. Borträkningen av de här flödena gör att det beräknade inläckaget per 100 m tunnel endast är vatten som kommer från bergtunnel.

5.4.2 Infiltrationsanläggningar

För att bibehålla en konstant grundvattenyta infiltreras vatten både från tunneln och från markytan. En del av infiltrationsvattnet kan tränga in i angränsande tunneldelar. Infiltrationsflödet styrs manuellt och problem kan finnas i och med att ledningar och filter sätter igen eller att pumpar går sönder (Bergab, 2005).

5.4.2.1 Infiltration i berg

Infiltrationsanläggningarna som infiltrerar i berg från tunneln har ett något minskande flöde under den studerade tidsperioden, se figur 5.6, och även det uppmätta flödet minskar i allmänhet något under perioden. Det kan dock inte säkert fastställas att det är den sjunkande infiltrationen som är orsaken. Orsaker som exempelvis nederbörd och tätning av tunneln spelar också in. Det verkar dock finnas ett mindre samband mellan flödet i mätare 2538a och 2538b, se figur B.13 och B.14, och infiltrationsflödet i närliggande infiltrationsanläggning 25387.



Figur 5.6. Infiltrationsflödet från infiltrationsanläggningar som infiltrerar till berg.

5.4.2.2 Infiltration i jord

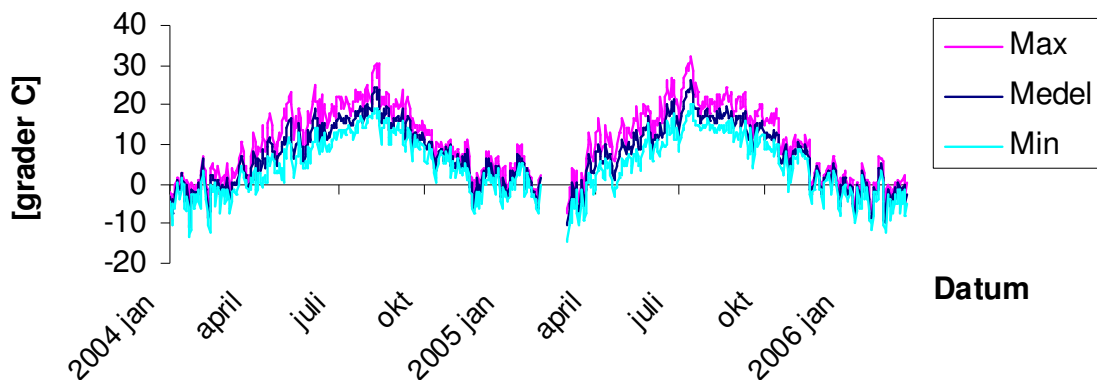
Infiltrationsanläggningarna vid Årsta, H1, H2 och H3, har ingen infiltration under den studerade tidsperioden. Anläggningarna vid Sickla, S1 och S2, har en varierande infiltration som styrs av behovet, ca 70 l/min.

5.4.3 Grundvattenbildning

5.4.3.1 Lufttemperatur

Temperaturen skiftar under året. Under vinterhalvåret kan jordens vatten frysa och det bildas tjäle. Lagret kan vara mer än en meter djupt. Markens infiltrationskapacitet minskar under vintern då luftfyllda porer fylls med vatten och fryser igen (www-Vinterhydrologi, 2006 ; www-Fakta Skog, 2006).

Vattnets infiltration vid snösmältning beror av vattenförhållandena vid tjälningens start. Är halten vatten hög bildas en kraftig tjäle som riskerar att hindra infiltrationen senare på våren. Är istället halten låg kan marken få en hög infiltrationskapacitet under våren. Det råder även en balans mellan tjäldjup och snömängd. Är det lite snö blir tjälen djup men volymen smältvatten blir istället liten. Är det mycket snö, isolerar den, och tjälen blir tunn. Volymen smältvatten blir större men kan då infiltrera i marken som snabbare tinas upp (www-Vinterhydrologi, 2006 ; www-Fakta Skog, 2006).



Figur 5.7. Uppmått dygnslufttemperatur. Temperaturdata saknas för februari 2005 (SMHI:s väderstation Stockholm/Observatoriet).

Lufttemperaturen ligger under 0°C under en stor del av tiden mellan december 2004 och maj år 2005 och från ca dec 2005. Temperaturens inverkan på grundvattenbildningen leder till en nedgång av flödet under vintern och ett ökat flöde på grund av smältvatten under våren.

Flödet i Södra Länken har under den undersökta tidsperioden i allmänhet en flödesnedgång under perioden februari till april 2005. Då lagras vatten i fryst form som tjäle i marken eller som snö och is på marken. Under månadsskiftet april – maj 2005 ses en skarp topp i flertalet flödesdiagram, se bilaga B. Det är det ökade flödet under våren på grund av tjällossning och flöde av smältvatten. Flödet sjunker också under december 2005 då temperaturen ligger under 0°C . Det visar att temperaturen har en påverkan på grundvattenbildningen och då även inläckaget av grundvatten till tunneln.

5.4.3.2 Nederbörd

Nederbörden påverkar inläckaget genom att grundvattenmagasinen fylls på och grundvattenflödet i berget ökar. Då det faller nederbörd som regn eller då snö och is på markytan tinar infiltreras vattnet i marken och grundvattenmagasinen fylls på. Grundvattenflödet ökar och trycket ökar då mot tunnelns väggar, tak och golv. I flertalet av flödesdiagrammen, se bilaga B, sammanfaller nederbörd med ett ökat dränvattenflöde.

5.4.3.3 Grundvattenförhållanden

Storleken på grundvattenmagasinet ovanför tunneln påverkar stabiliteten i dränvattenflödet. Vid stora magasin ovanför mätarens upptagningsområde uppkommer stabila flöden genom mätaren. Instabila flöden uppkommer till exempel i bergpartier med små grundvattenmagasin. Variationen i flödet beror av storleken på magasinet som gör att nederbörd påverkar flödet olika mycket. Ett litet magasin som mottar plötsliga

flöden av vatten vid nederbörd reagerar snabbt. Större magasins reaktion blir inte lika framträdande (Ulf Sundquist, muntligt).

Grundvattenflödet vid tunnelns läge påverkar även inläckaget. Grundvattenflödet, se tabell 2.1, är högst i Länkens båda ytterkanter. Även inläckaget är högst där, över 4,0 l/min per 100 m. Det visar att grundvattenflödet i marken har betydelse för mängden vatten som läcker in i tunneln. Ett högt flöde utanför tunneln resulterar här i ett högt inläckage av vatten.

6 DISKUSSION OCH SLUTSATSER

Det uppmätta medeldränvattenflödet i Södra Länken förutom tunnlar vid Sickla är 444,0 l/min och i Södra Länken vid Sickla 26,0 l/min. Det ger ett totalt medeldränvattenflöde i alla Södra Länkens tunnlar på 470,0 l/min.

Tabell 6.1. Sammanfattning av uppmätta dränvattenflöden från bergtunnel i Södra Länken.

Mätare	Q_{medel} [l/min]	$(Q_{\text{max}}-Q_{\text{min}})_{\text{medel}}$ [l/min]	Klass	Tunnelsort
25181	107,1	129,4	3	Berg/betong
2518a	-	-	0	Berg
2528f	6,0	0,4	1	Berg
2528i	-	-	0	Berg/betong
25281	322,2	59,5	3	Berg/betong
2528a	-	-	0	Berg
2528b	108,3	233,1	2	Berg
2528c	55,4	125,3	2	Berg
2528d	146,3	262,5	2	Berg
2528e	-	-	0	Berg
2528g	7,1	1,3	1	Berg
2528h	8	0,6	1	Berg
2538a	7	1,0	1	Berg/betong
2538b	5,9	1,1	1	Berg/betong
25481	93,1	11,7	3	Berg
2548a	37,6	12,3	3	Berg
2548b	52,1	6,2	3	Berg
2548c	24,7	12,5	3	Berg
2548d	55,1	15,2	3	Berg
2548f	26,7	2,2	3	Berg/betong
2548g	34,4	44,4	3	Berg
2548h	7,0	0,5	1	Berg
25581:1	8,7	21,9	3	Berg
25581:2	113,2	402,4	2	Berg
2548e	-	-	0	Berg
2558a	-	-	0	Berg
2558b	-	-	0	Berg/betong
2558c	-	-	0	Berg
27481:1	28,2	5,1	3	Berg
2748b	1,3	4,0	3	Berg

2748c	0	-	3	Betong
27481:2	-	0,8	3	Berg
2748a	0	-	1	Betong
27481:3	2,4	7,2	3	Berg
2748d	0	-	3	Betong
2748e	3,8	2,0	1	Berg
2748f	8,6	26,5	3	Berg
2748g	-	67,2	3	Berg
2748h	0	-	1	Betong

Medelflöden per 100 m bergtunnel är beräknade i 16 områden och uppvisar en variation mellan 0,8 och 5,4 l/min per 100 m tunnel. Södra Länken exklusive Sickla har ett flöde på 3,4 l/min per 100 m i medel och delen vid Sickla 2,7 l/min per 100 m. Beräknas ett medel för hela Södra Länkens tunnlar så ligger flödet på 3,3 l/min per 100 m tunnel.

Jämförelser mellan förutspådda och verkliga dränvattenflöden i Södra Länken visar på att det totala förutspådda flödet på 416 l/min stämmer ganska väl överens med det verkliga flödet på 444 l/min. Går man dock in mer på detalj stämmer inte flödena lika bra. Riktvärdenas fördelning är ganska jämn mellan de olika flödesintervallen. Ett flöde runt 2,0 – 3,0 l/min per 100 m är vanligast. När det gäller delflödenas fördelning är den annorlunda förskjutet. Flödena är mestadels höga > 4,0 l/min per 100 m.

Tabell 6.2. Sammanfattning av delområdenas inläckage per 100 m tunnel.

Uppsamlingsområde	Område	Uppmätt Q_{medel} [l/min per 100 m]	Prognos Q_{medel} [l/min per 100 m]	Tunnelsort
25181	1	2,4	2,1	Berg
25181	2	5,4	2,1	Berg/betong
25281	3	2	2,2	Berg/betong
25281	4	0,8	2,2	Berg
25281	5	4	2,2	Berg
25281	6	1,6	2,2	Berg/betong
25281	7	4,4	2,2	Berg/betong
25481	8	1,4	3,3	Berg
25481	9	3,9	3,3	Berg
25481	10	4,4	3,3	Berg/betong
25481	11	3,8	3,3	Berg
25481	12	2,1	3,3	Berg
25481	13	obestämt	3,3	Berg
25481	14	3,4 l/min	3,3	Berg
25581	15	4,4	3,6	Berg/betong
27481	16	2,7	-	Berg/betong

De faktorer som påverkar inläckaget av grundvatten till tunneln har funnits vara tätningen av tunneln, grundvattentillgången i anslutning till tunneln, tunnelsort, infiltration, nederbörd och temperatur.

1. Tätningen av tunneln har inte undersökts men antas vara det som betyder mest för inläckningen. Ett sätt att undersöka detta kan vara att se om inläckageområdena flyttar på sig vid tätning.
2. Högt grundvattenflöde det vill sägs god grundvattentillgång i anslutning till tunneln ger högt inläckage.
3. Betongtunnlar är i princip täta jämfört med bergtunnlar. I avsnitt med betongkonstruktioner kan dock vattenflöden uppkomma längs med och utanför konstruktionen. Detta vatten kan läcka in i bergtunneln och registreras som dränvatten. Det är inte heller säkerställt att vägdagvatten inte tillförs dränvattensystemet. Bättre placering av dränvattenmätarna för att kunna räkna bort dessa externa flöden krävs.
4. Skyddsinfiltation av vatten i berg ger lokalt höjda grundvattennivåer. Vid två anläggningar har det konstaterats positiv korrelation mellan infiltrationsflöde och dränvattenflöde.
5. Även nederbörd och temperatur påverkar inläckaget. Det uppkommer ökat inläckage vid nederbörd medan inläckaget minskar under vintern på grund av tjäle och lagring av vatten som snö och is.

Vid genomförd analys har det uppmärksamats ett flertal oönskade faktorer som påverkar kvalitén på mätningar av dränvattenflöde. Följande huvudsakliga faktorer har noterats i denna studie:

1. Externt tillkommande vatten som inte är dränvatten, exempelvis kylvatten samt nederbörd som rinner till dränvattensystemet vid tunnelmynningarna. För en mer säker mätning av inläckande vatten bör de här två flödena kontrolleras mer noggrant, exempelvis med automatiska dränvattenmätare likt de mätare dränvattnet mäts med.
2. Dränvatten avleds till annan tunneldel och annan dränvattenmätare än vad som planerats. Driftutrymmen och lutning av tunneln påverkar flödet i flera fall. Dessa osäkerheter medför svårigheter att analysera data korrekt. För att få säkrare mätningar här bör det vatten som rinner ner i utrymmet från ett tunnelrör även pumpas upp i detsamma. Alternativt kan flödet mellan de två pumparna mätas.
3. Flack tunnellutning medför oklar flödesriktning. Osäkerheten innebär svårigheter att analysera data korrekt.
4. Dränvattenmätarnas funktionalitet. Ett antal mätare registrerar inget flöde under lång tid. Orsaken är sannolikt att sediment och andra partiklar hindrar mätning eller genomflöde. Mätare som inte är så partikelkänsliga bör användas och de bör samtidigt vara dimensionerade för höga flöden.

5. Bräddavlopp. Säkerställer förbiflöden av mätdamm vid höga flöden eller när dränvattenmätare har satt igen. Som säkerhetsdetalj fungerar den mycket bra, men för att få säkra mätningar måste funktionen kontrolleras.
6. Precisionen på dränvattenmätarnas flödesdata. Nedre mätgräns är 0,1 l/s, och vid låga flöden syns den låga precisionen tydligt.

Det här examensarbetet har behandlat inläckaget av grundvatten i Södra Länkens bergtunnlar. Analysen har till största del utgått från flödesdata, ritningar över tunneln och ritningar över dränvattensystemet. Geologi, hydrologi, temperatur och nederbörd har i viss utsträckning ingått.

Den viktigaste slutsatsen är att det måste finnas fungerande mätare placerade på väl valda ställen i tunneln för att flödesmätningarna ska bli lätt och rätt studerade. Väl valda ställen är exempelvis där en ramp slutar eller vid övergången mellan betong- och bergtunnel.

För fortsatta studier av inläckaget i Södra Länken bör fokuseringen ligga utanför tunneln. Inläckaget kan kopplas till grundvattennivån. Nivån är mätt under en lång tidsperiod i en mängd grundvattenrör längs hela Södra Länkens sträckning. Geologin kan studeras närmare; påverkar exempelvis Stockholmsåsen som passerar tvärs över länken inläckaget? Hur är riktningen på grundvattenflödena i området? Finns det något annat i omgivningen som påverkar inläckaget; pumpning av vatten, tätning av ledningar, tillfälliga sänkningar av grundvattennivån vid nybyggnation? Alla de här sakerna och många fler är av stort intresse då man söker en helhetsbild av inläckaget i Södra Länken.

7 REFERENSER

Rapporter

Bergab – Berggeologiska Undersökningar AB, (2005). *Inläckage och infiltration i Södra Länken 2003 – 2004*. slutlig rapport. uppdragsnummer: 700322.

J & W Bygg och anläggning AB, (1992). *Södra Länken, Hydrogeologisk utredning*. Arb.nr 1652083.

J & W Bygg & Anläggning AB, (1993). *Södra Länken, Ansökan om tillstånd enligt Vattenlagen*.

J & W Bygg & Anläggning AB, (1997). *Södra Länken, delen inom Nacka kommun, Ansökan om tillstånd enligt Vattenlagen*.

SLK – Södra Länken Konsulterna, (1996). *Ringan, Södra Länken, Allmän utredning, Hydrogeologisk utredning, Bestämning av tillåtna läckagevärden*. 400:749, GH001AU.DOC.

Vägverket, (1993). *Grundvatten, tätning och infiltration, Bergtekniska anvisningar för projektering av ringen & yttre tvärleden*. ANV 0004.

Vägverket, (1994). *Definitiv typlösning, Huvudmått för ramptunnel i berg och betong, Ringen & yttre tvärleden*. ANV 0021.

Vägverket, (2000). *Publikation 2000:5a, Principer för informationshantering: Bilaga II, Beteckning av rörsystem omfattande system: 500 - 560*. Version 1.2.

Internet

Vägverket (2006). Södra Länken, Historik,
http://www.sodralanken.nu/omsodra_historik.shtml (2006-04-17)

Vägverket (2006). Södra Länken, En ny trafikled,
http://www.sodralanken.nu/omsodra_nytrafikled.shtml (2006-05-03)

Vägverket (2006). Södra Länken, Fakta,
http://www.sodralanken.nu/omsodra_fakta.shtml (2006-05-03)

Vägverket (2006). Södra Länken, Miljö & teknik,
<http://www.sodralanken.nu/miljoteknik.shtml> (2006-05-22)

Lundin, L-C. (2006). Vinterhydrologi,
<http://www.geo.uu.se/luva/default.aspx?pageid=1322&lan=0> (2006-10-17)

Bishop, K., Lindström, G. (2006) Fakta Skog, nr 13 2001,
www2.slu.se/forskning/fakta/faktaskog/pdf01/S01-13.pdf (2006-10-17)

Ritningar

Bergab – Berggeologiska Undersökningar AB, (1999). *Hydrogeologi, Riktvärden för inläckage*. Ritning 250 000 B 14 H1, Bygghandling.

PURAC,.(2000). *Dränvattenmätare*. Ritning 250 080 W 51 63, Relationshandling.

PURAC, (2003). *Sickla, Dränledningar, Flödeschema, Översikt*. Ritning 270 180 W 51 75, Relationshandling.

PURAC, (2003). *Södra Länken, Dränledningar, Flödesschema, Översikt*. Ritning 250 080 W 51 03, Relationshandling.

PURAC, (2003). *Södra Länken, Upptagningsområde dränvattenmätare*. Ritning 250 080 W 51 50, Relationshandling.

SLK – Södra Länken konsulterna, (1996). *Södra Länken, Årsta, VA-ledningar*. Ritning 250 200 W 51 06, Bygghandling.

Vägverket, (2005). *Översikt VA-utrustning*. Ritning 250 000 W 00 00, Relationshandling.

Muntliga källor

Johansson, Gunnar. Vägverket, (2006-03-28).

Persson, Karl. Bergab, kontinuerligt.

Sundquist Ulf, Aqualog, kontinuerligt.

Övrigt

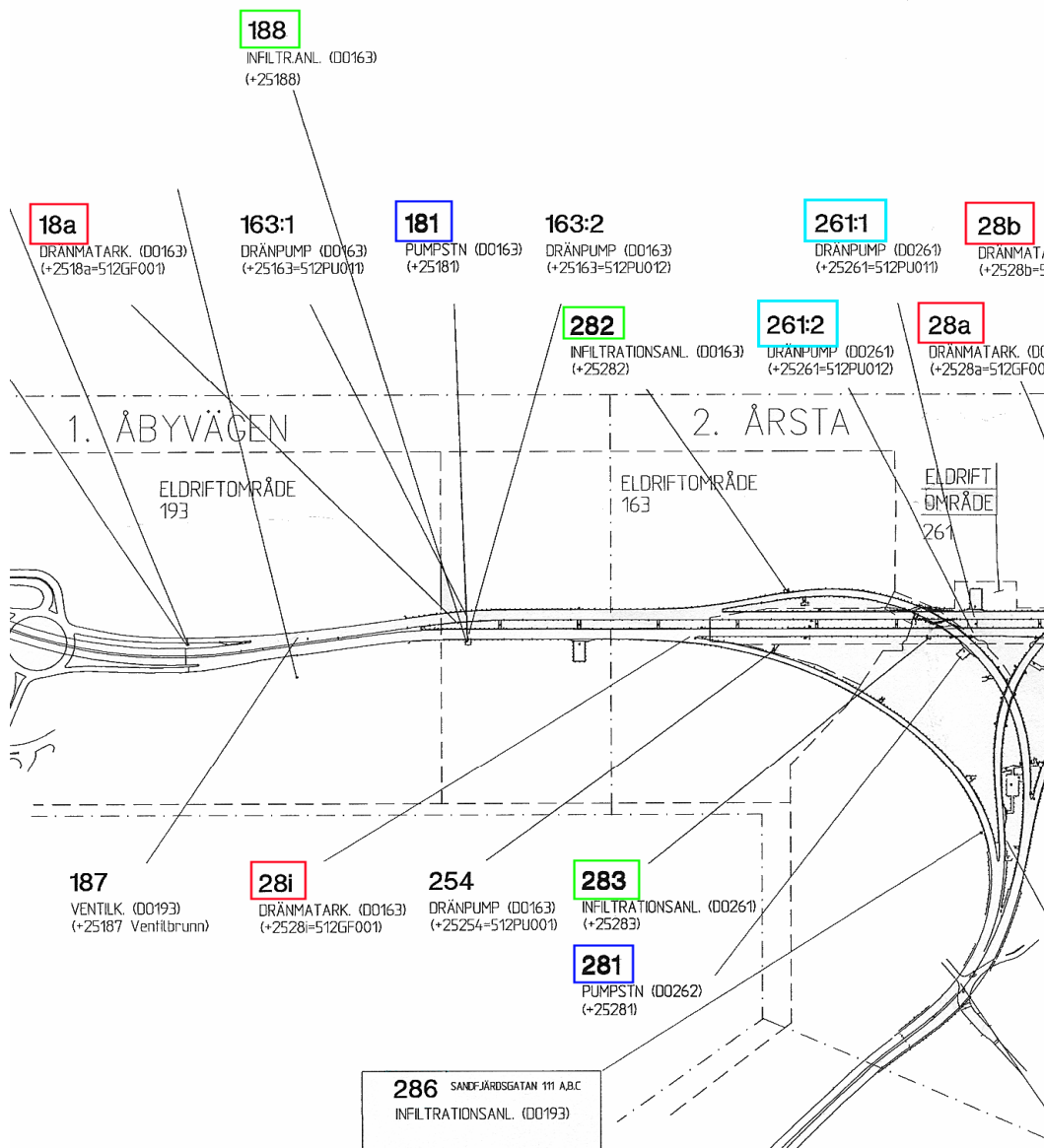
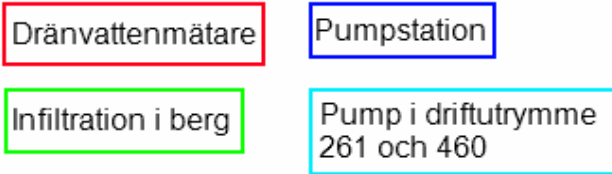
PCMS Södra Länken.

SMHI:s väderstation, Stockholm/Observatoriet.

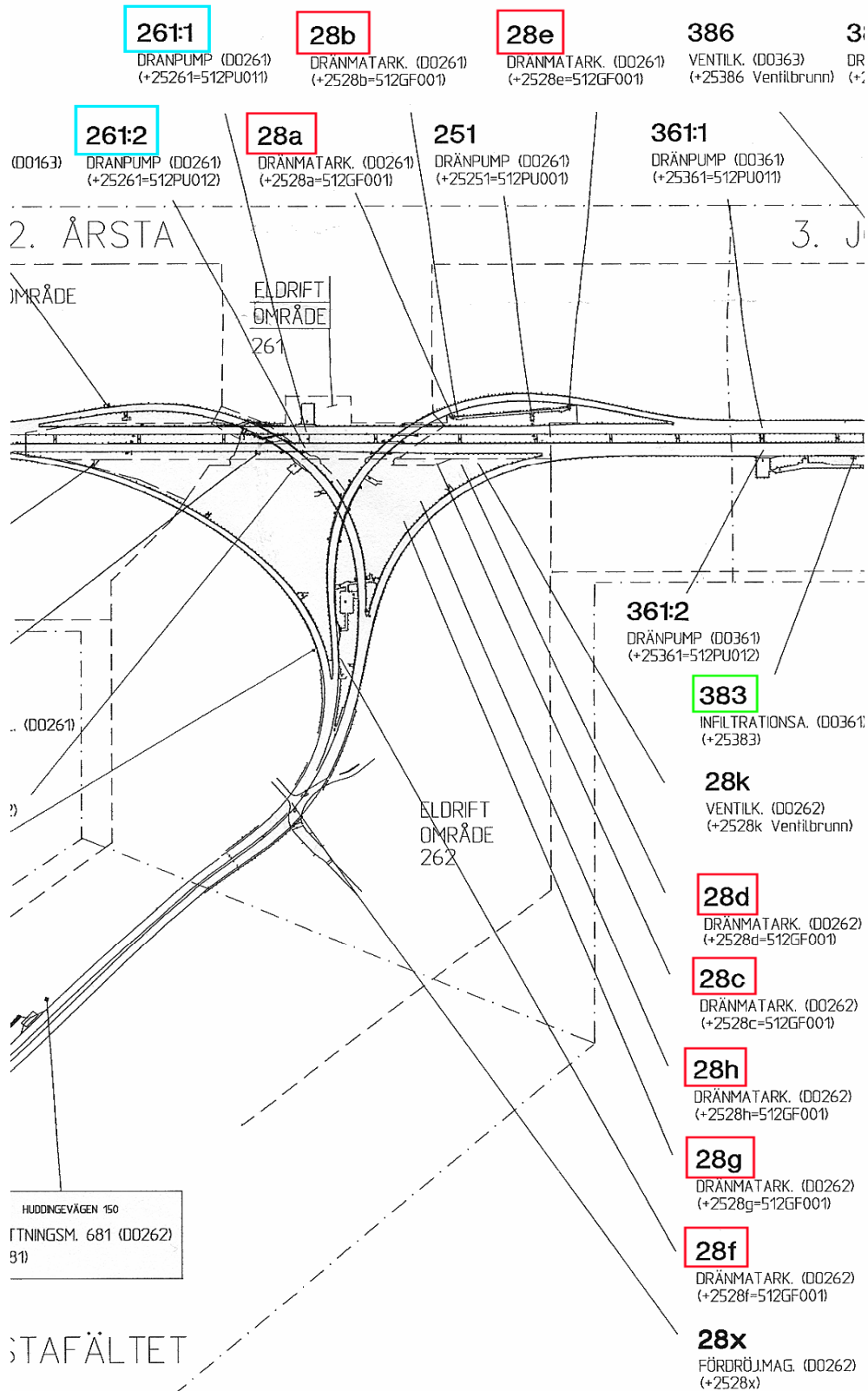
BILAGOR

BILAGA A DRÄNVATTENSYSTEMET

Beteckningsförklaring



Figur A.1. VA-utrustning i uppsamlingsområde 25181 (Ritning 250 000 W 00 00).



Figur A.2. VA-utrustning i uppsamlingsområde 25281 (Ritning 250 000 W 00 00).

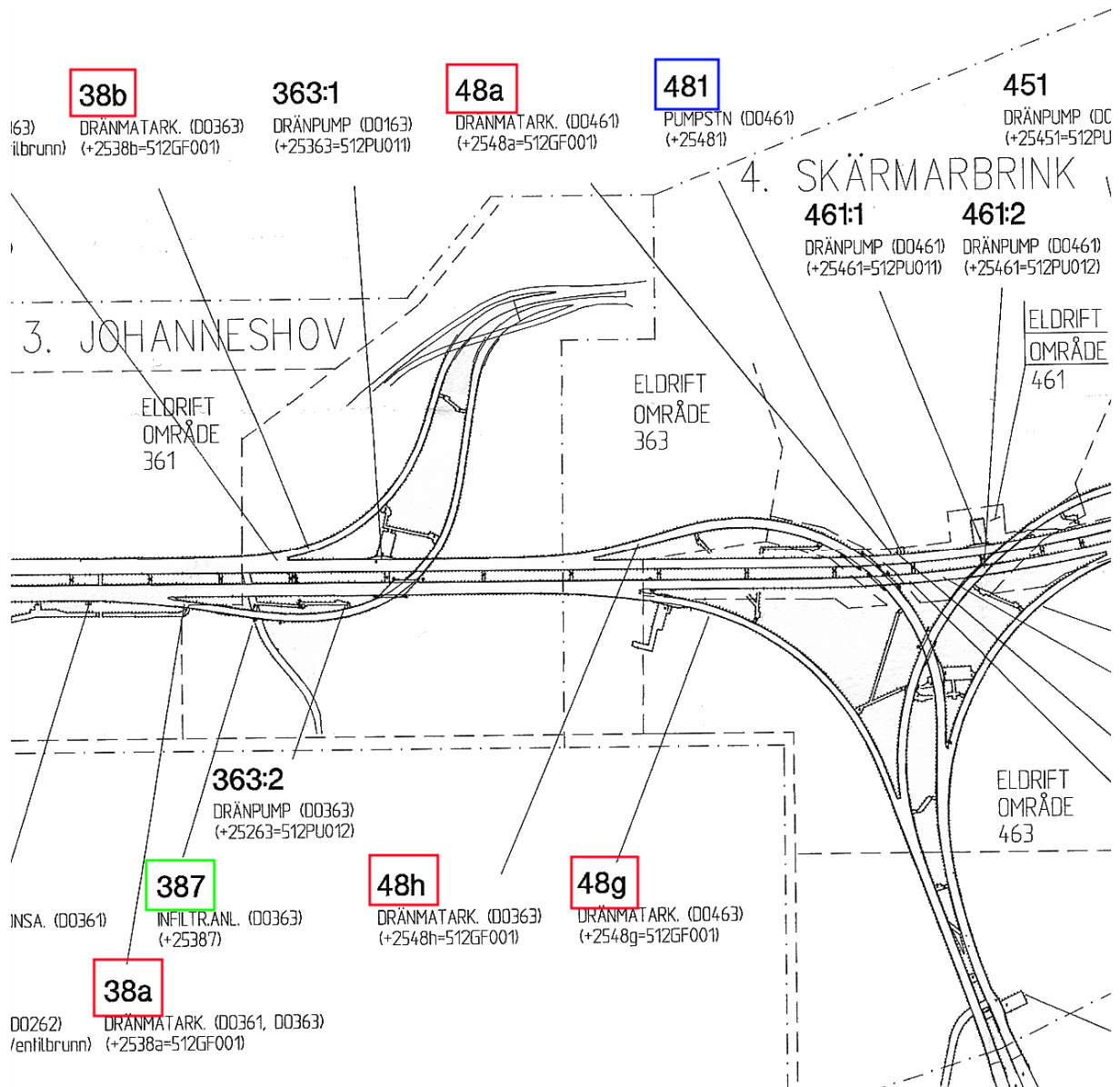
Beteckningsförklaring

Dränvattenmätare

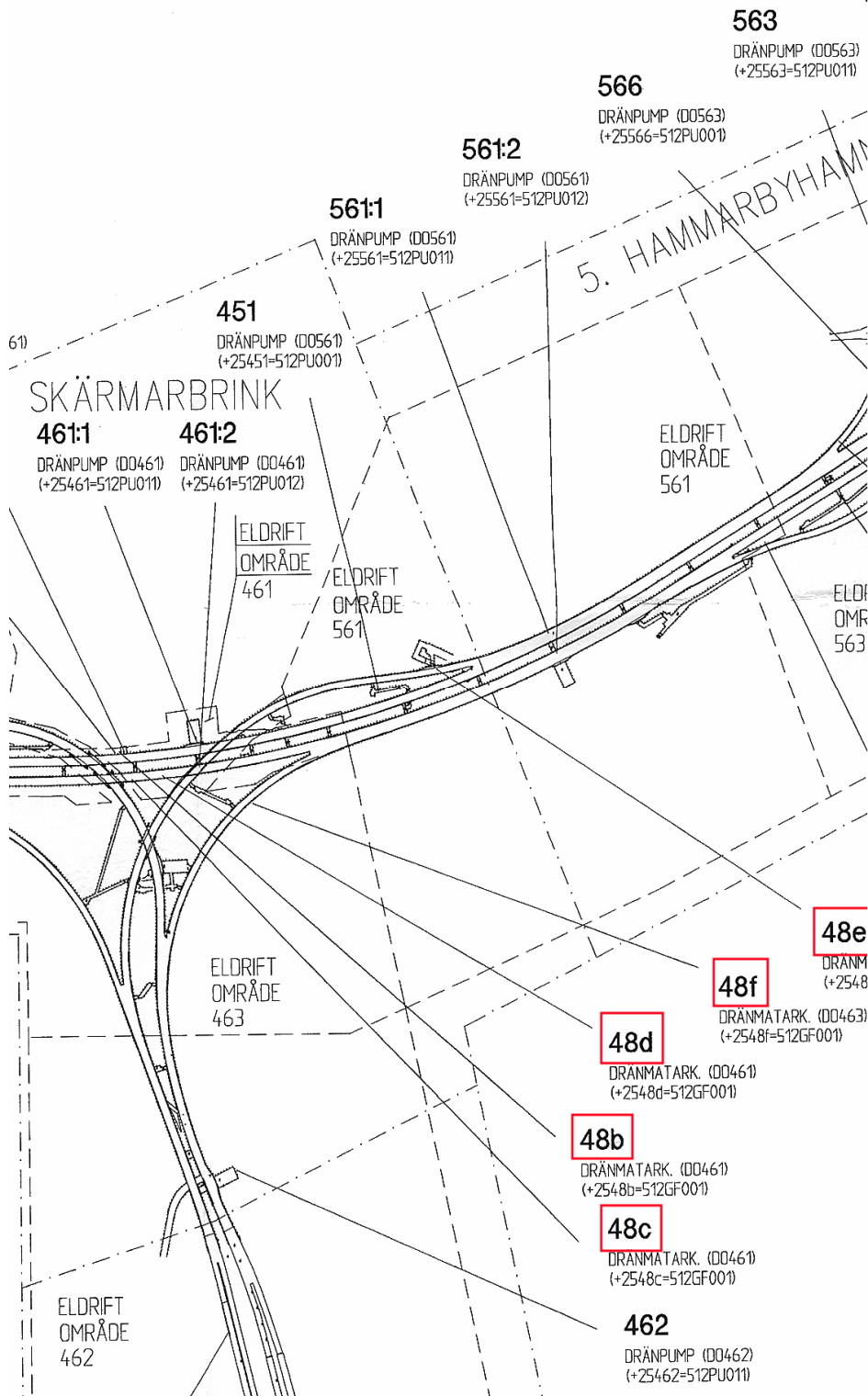
Pumpstation

Infiltration i berg

Pump i driftutrymme
261 och 460



Figur A.3. VA-utrustning i uppsamlingsområde 25281 och 25481 (Ritning 250 000 W 00 00).



Figur A.4. VA-utrustning i uppsamlingsområde 25481 och 25581 (Ritning 250 000 W 00 00).

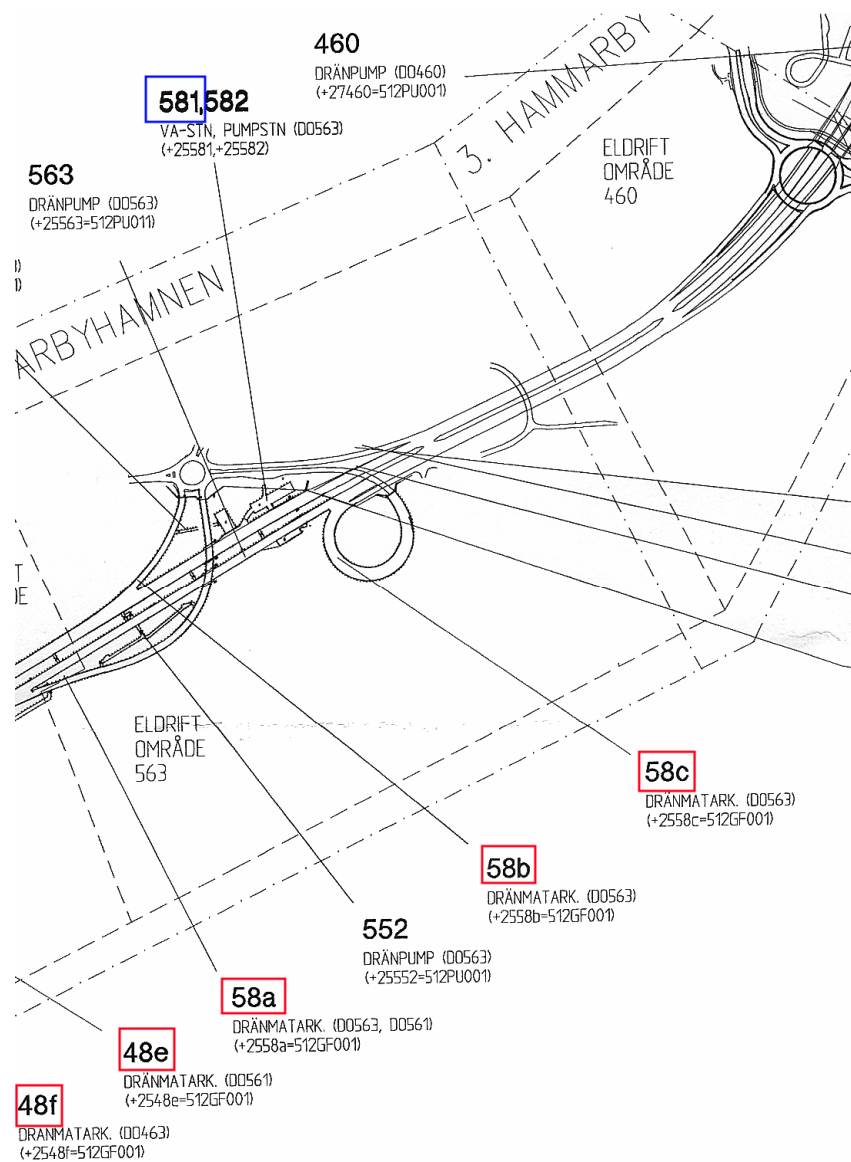
Beteckningsförklaring

Dränvattenmätare

Pumpstation

Infiltration i berg

Pump i driftutrymme
261 och 460



Figur A.5. VA-utrustning i uppsamlingsområde 25581 (Ritning 250 000 W 00 00).

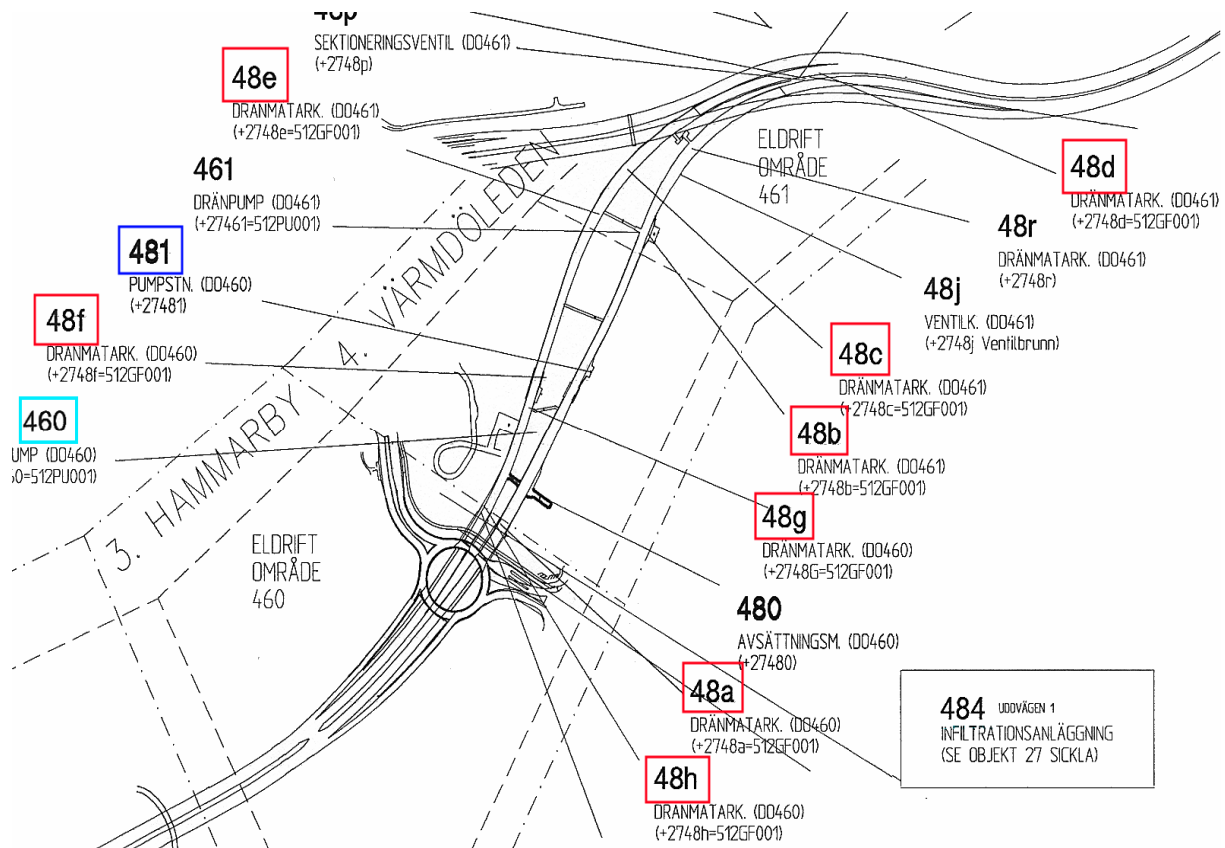
Beteckningsförklaring

Dränvattenmätare

Pumpstation

Infiltration i berg

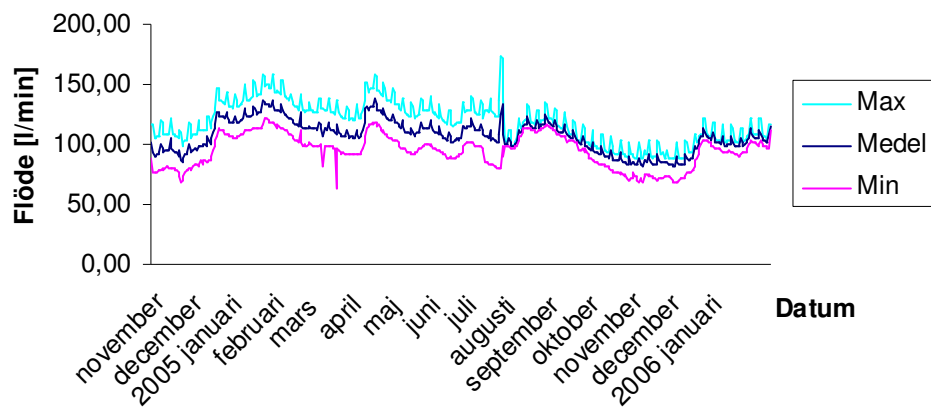
Pump i driftutrymme
261 och 460



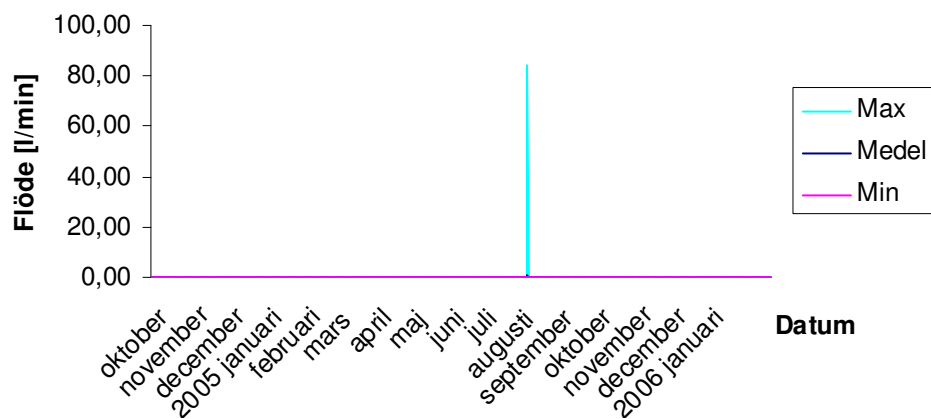
Figur A.6. VA-utrustning i uppsamlingsområde 27481
(Ritning 250 000 W 00 00).

BILAGA B DIAGRAM MED UPPMÄTTA FLÖDEN

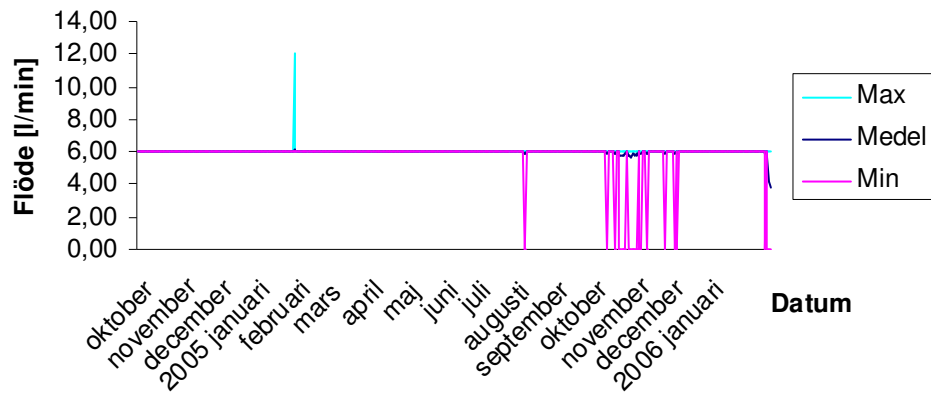
Uppsamlingsområde 25181



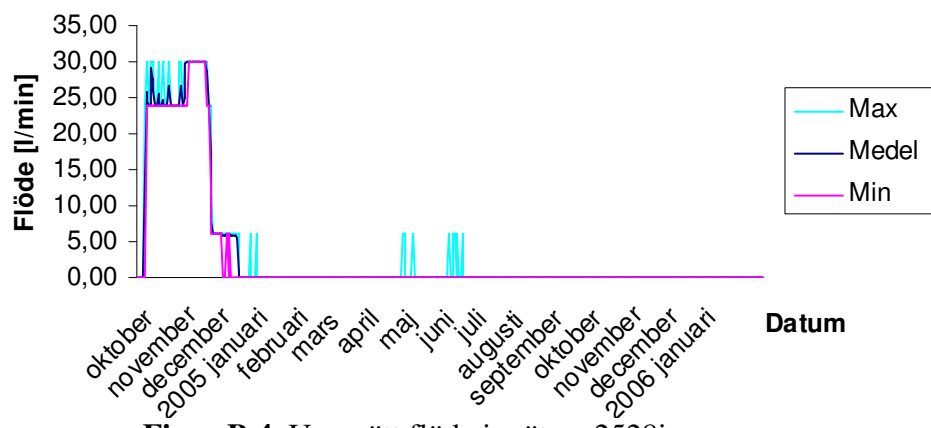
Figur B.1. Uppmätt flöde i mätare 25181.



Figur B.2. Uppmätt flöde i mätare 2518a.

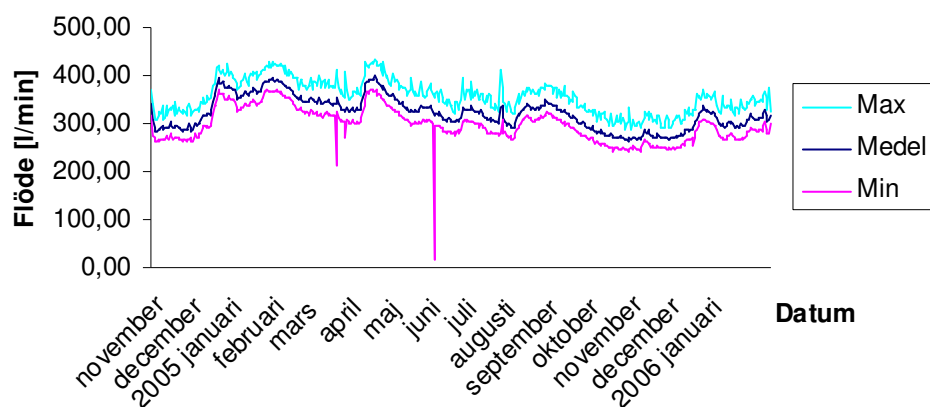


Figur B.3. Uppmätt flöde i mätare 2528f.

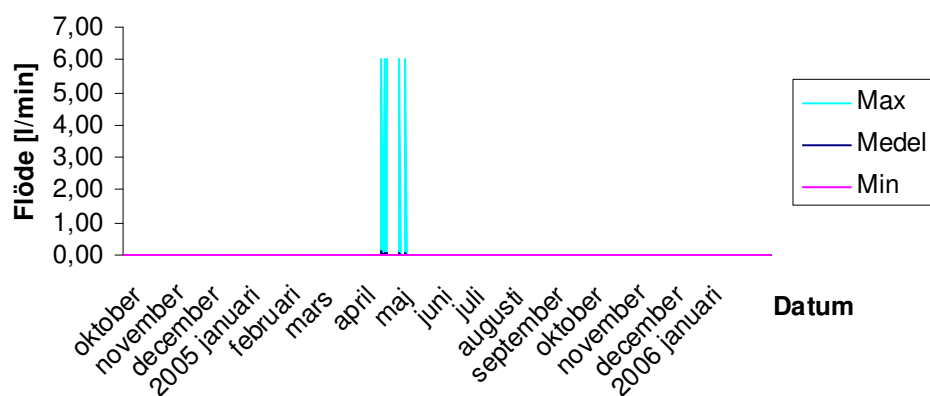


Figur B.4. Uppmätt flöde i mätare 2528i.

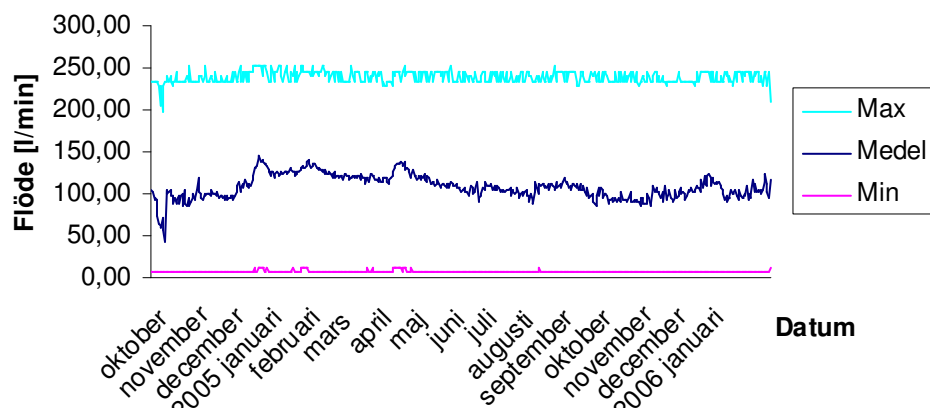
Uppsamlingsområde 25281



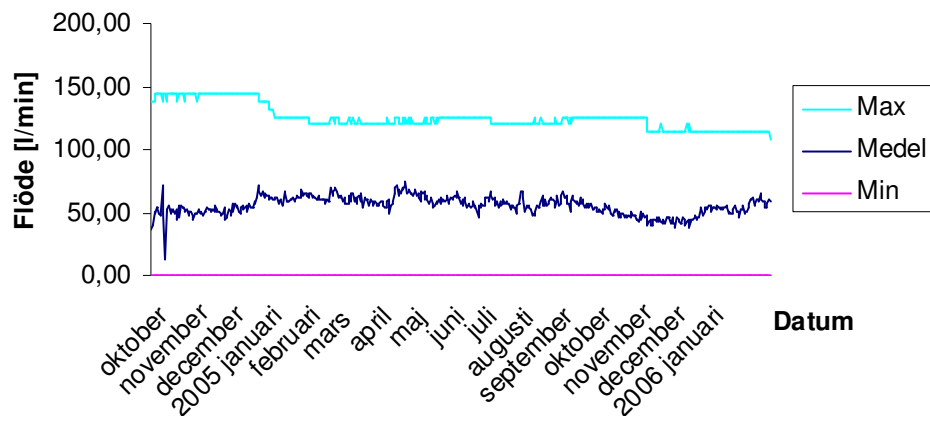
Figur B.5. Uppmätt flöde i mätare 25281.



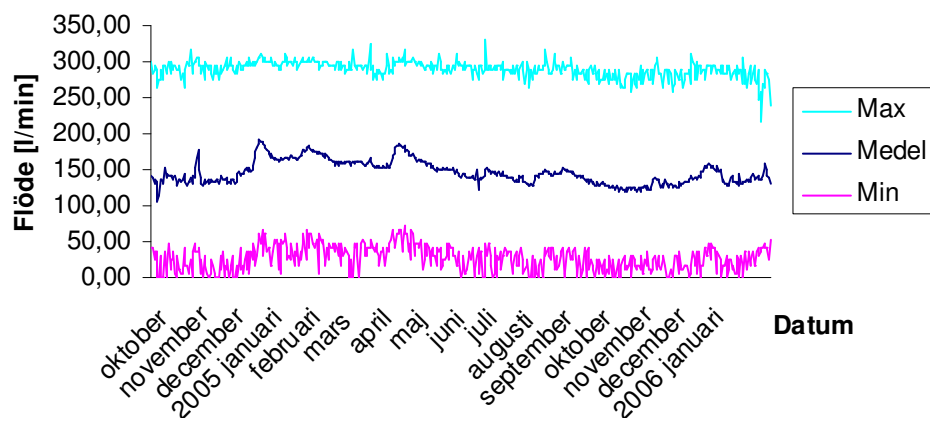
Figur B.6. Uppmätt flöde i mätare 2528a.



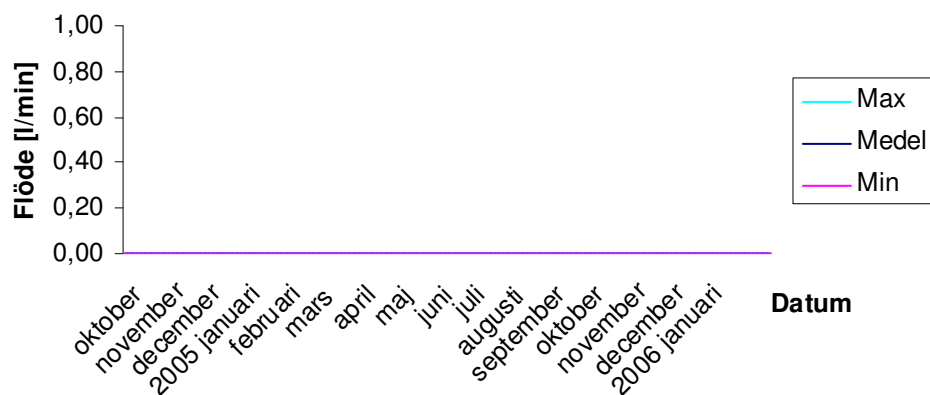
Figur B.7. Uppmätt flöde i mätare 2528b.



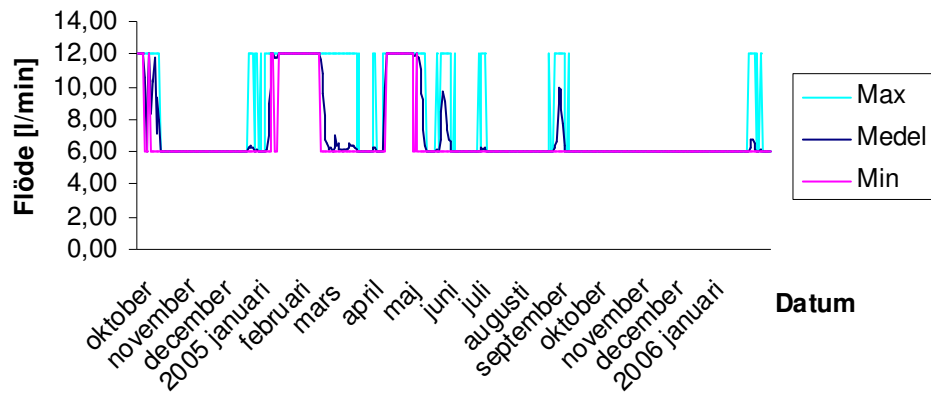
Figur B.8. Uppmätt flöde i mätare 2528c.



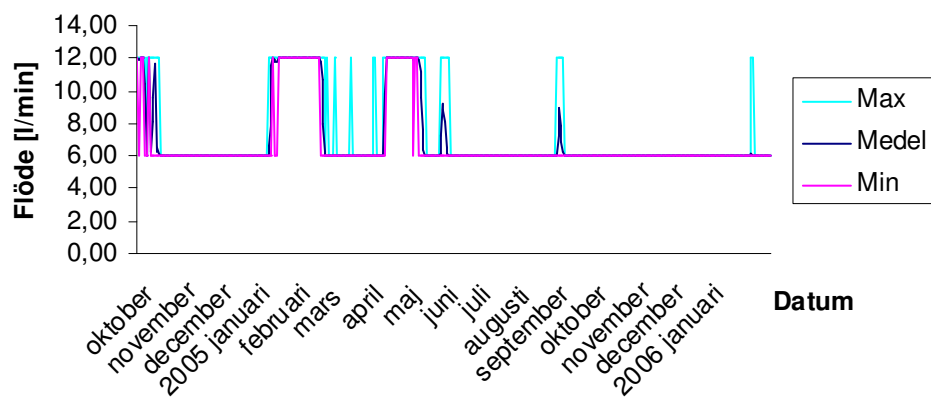
Figur B.9. Uppmätt flöde i mätare 2528d.



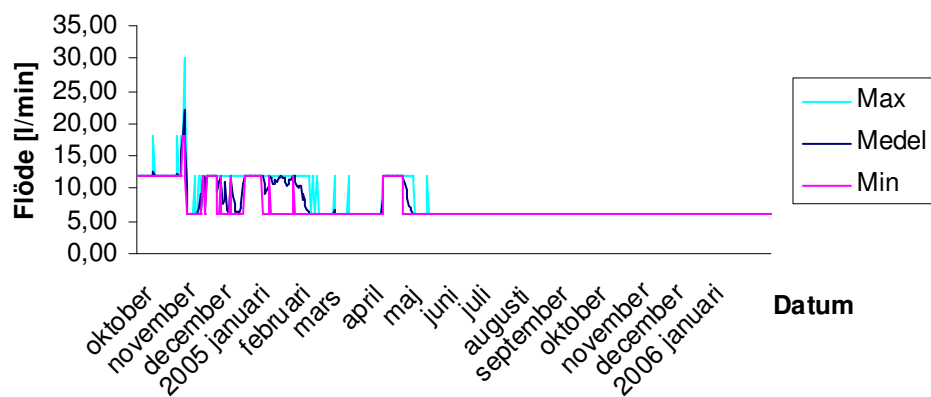
Figur B.10. Uppmätt flöde i mätare 2528e.



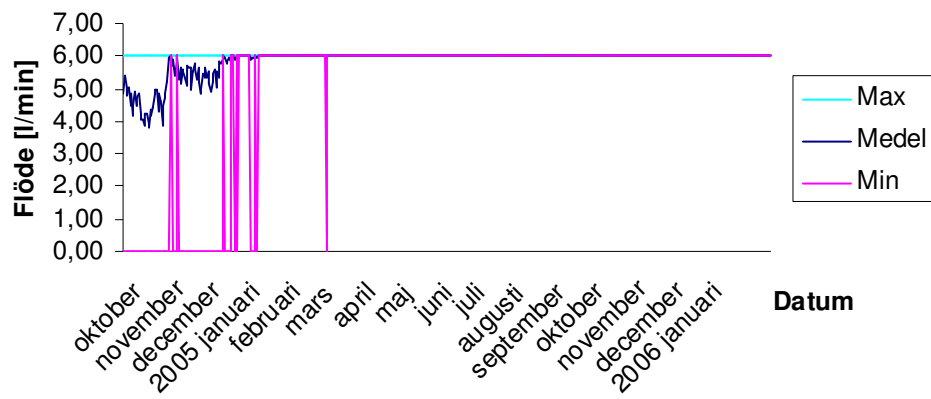
Figur B.11. Uppmätt flöde i mätare 2528g.



Figur B.12. Uppmätt flöde i mätare 2528h.

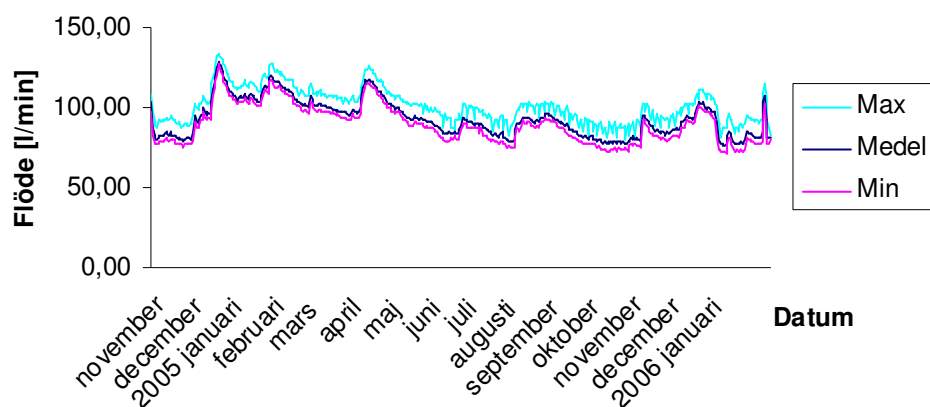


Figur B.13. Uppmätt flöde i mätare 2538a.

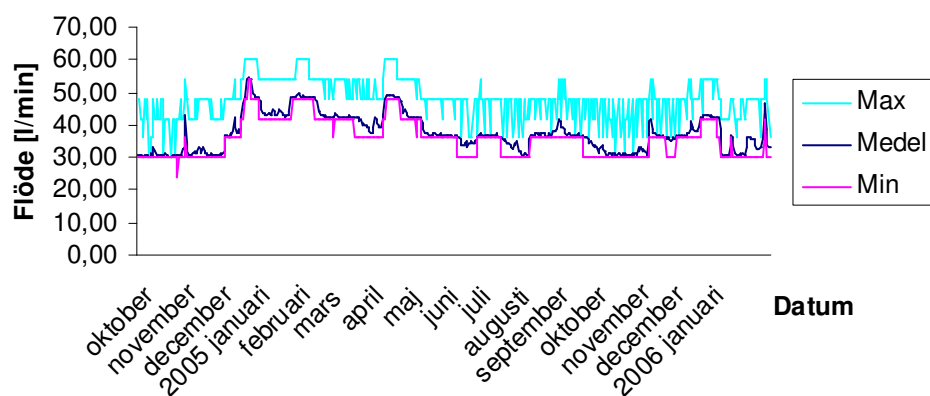


Figur B.14. Uppmätt flöde i mätare 2538b.

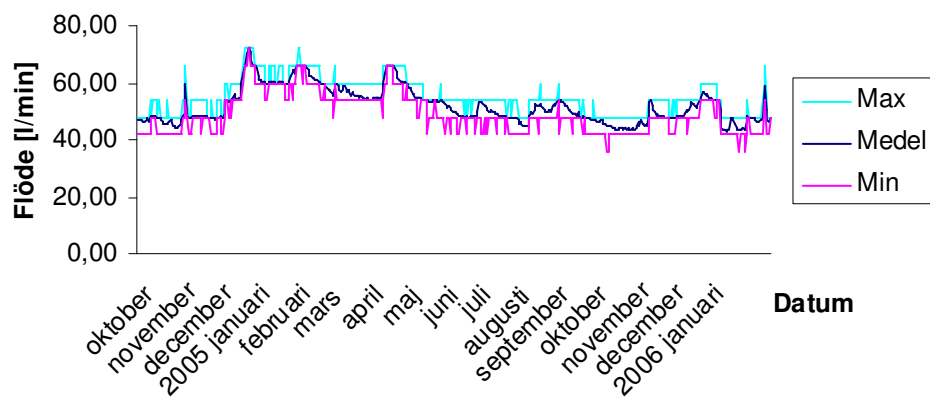
Uppsamlingsområde 25481



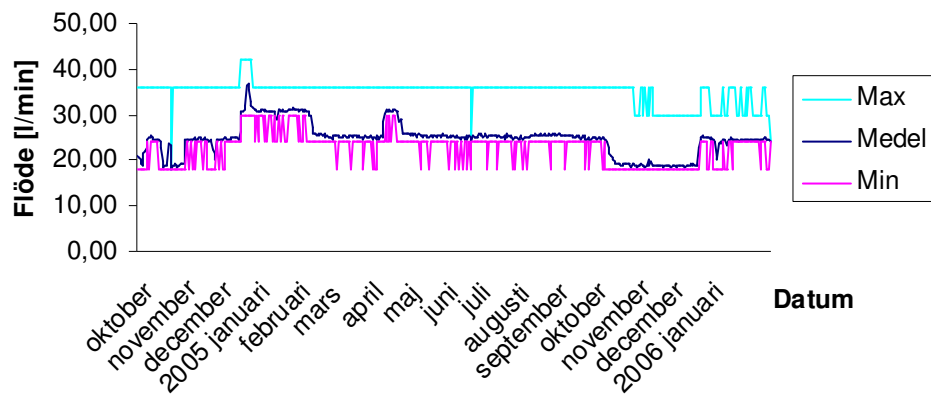
Figur B.15. Uppmätt flöde i mätare 25481.



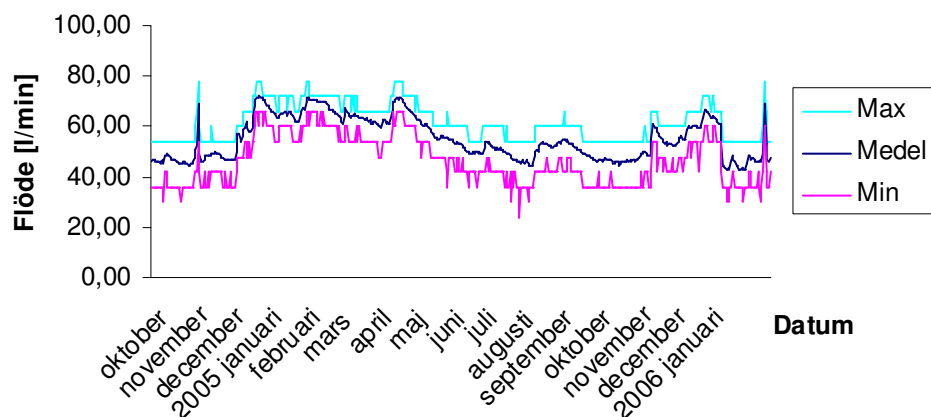
Figur B.16. Uppmätt flöde i mätare 2548a.



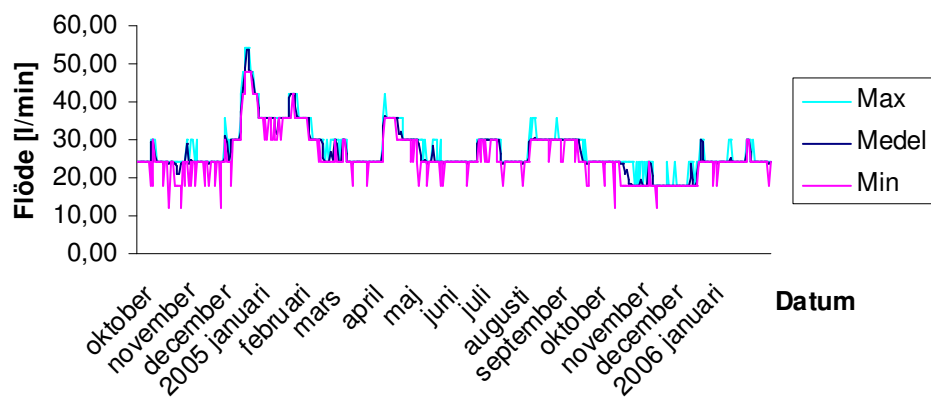
Figur B.17. Uppmätt flöde i mätare 2548b.



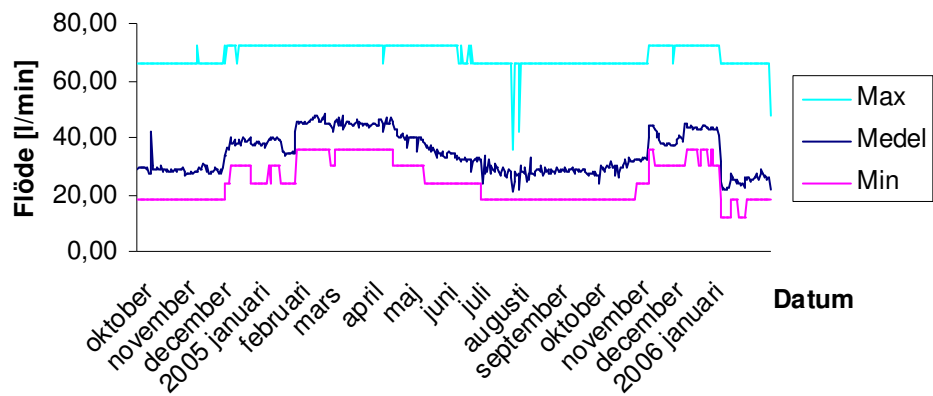
Figur B.18. Uppmätt flöde i mätare 2548c.



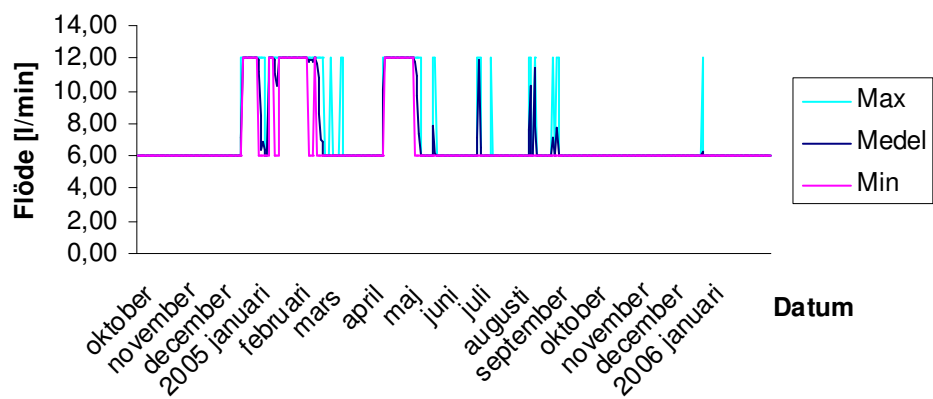
Figur B.19. Uppmätt flöde i mätare 2548d.



Figur B.20. Uppmätt flöde i mätare 2548f.

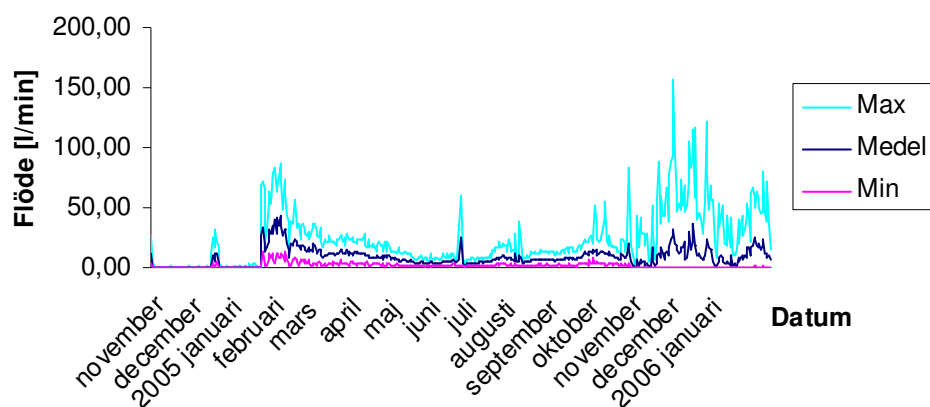


Figur B.21. Uppmätt flöde i mätare 2548g.

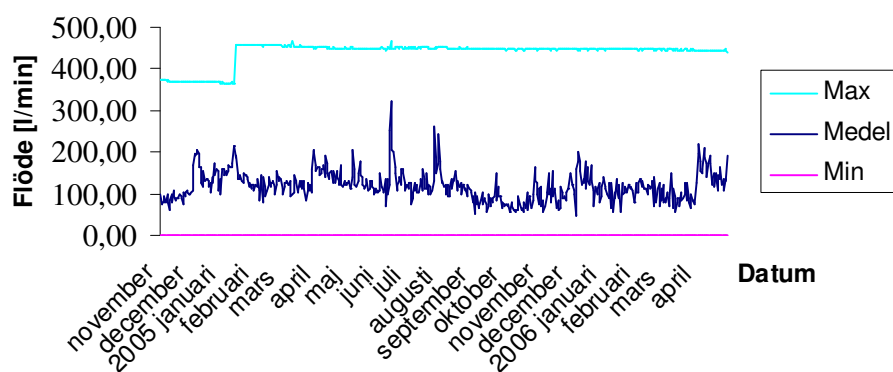


Figur B.22. Uppmätt flöde i mätare 2548h.

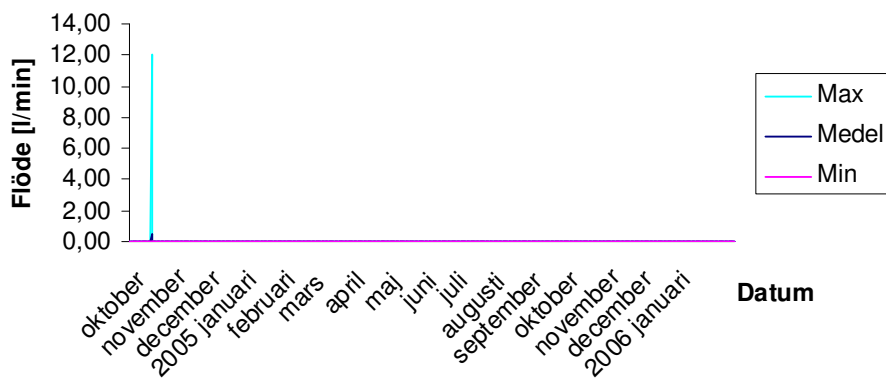
Uppsamlingsområde 25581



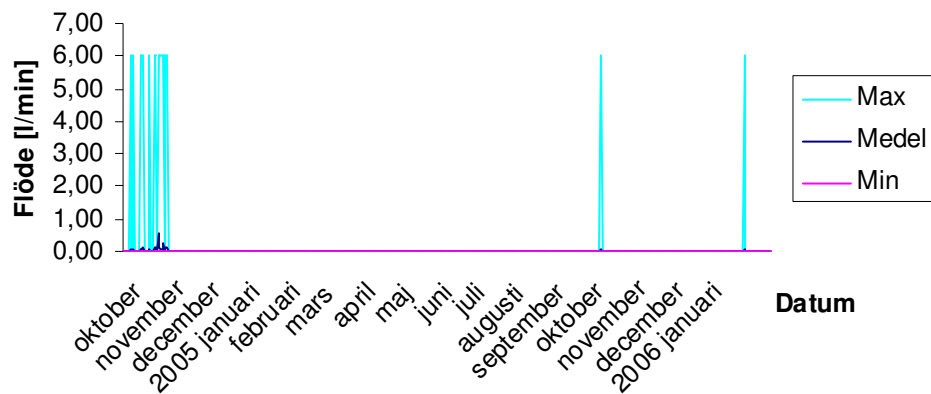
Figur B.23. Uppmätt flöde i mätare 25581:1



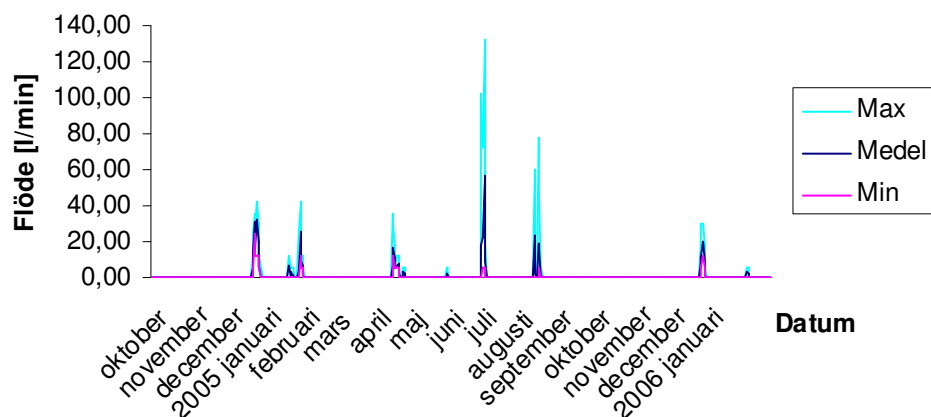
Figur B.24. Uppmätt flöde i mätare 25581:2



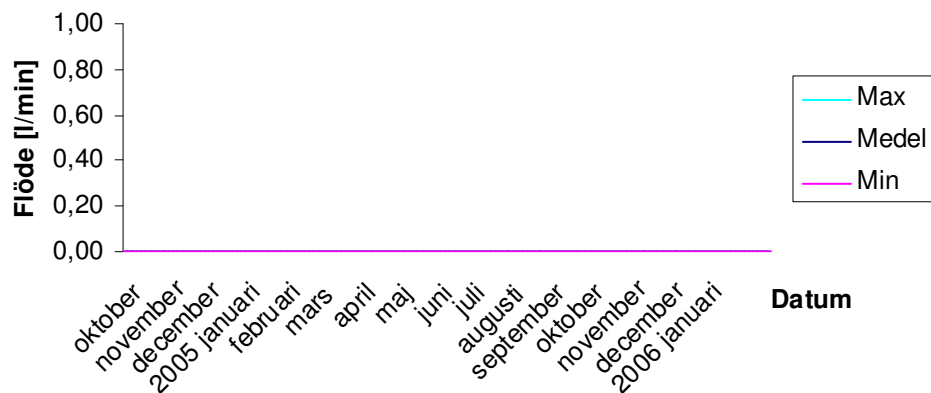
Figur B.25. Uppmätt flöde i mätare 2548e.



Figur B.26. Uppmätt flöde i mätare 2558a.

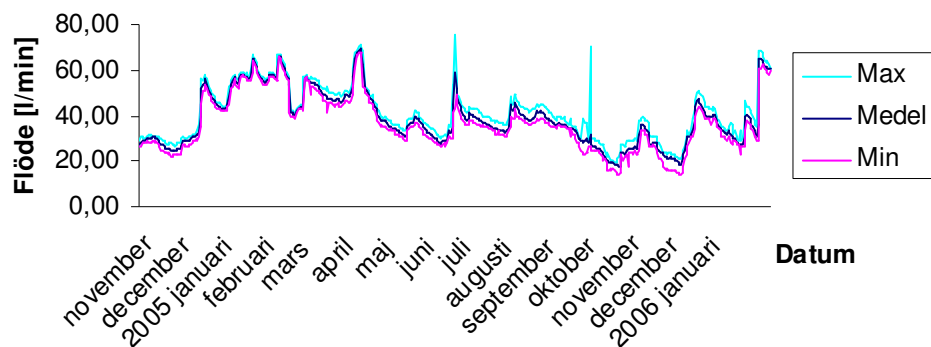


Figur B.27. Uppmätt flöde i mätare 2558b.

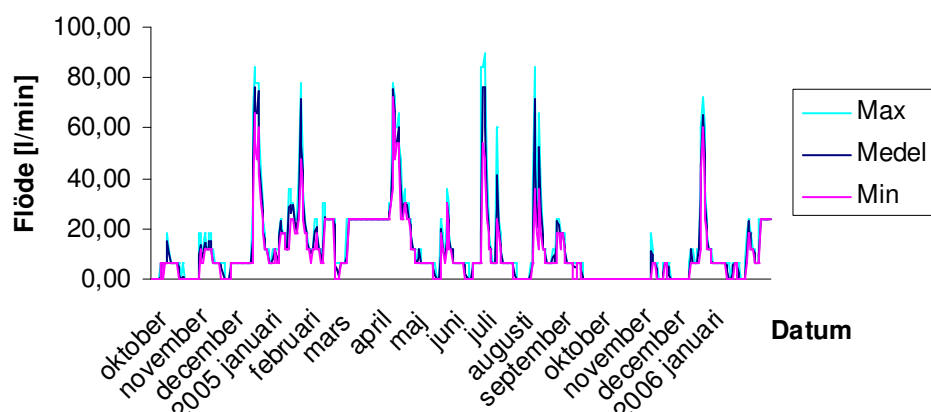


Figur B.28. Uppmätt flöde i mätare 2558c.

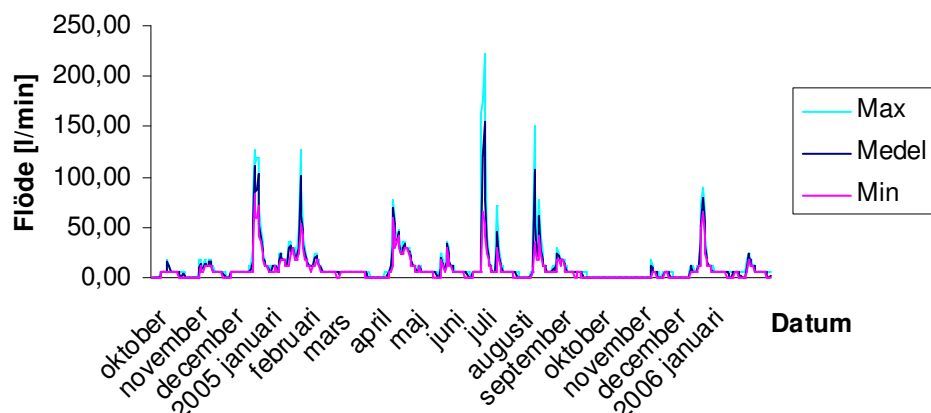
Uppsamlingsområde 27481:1



Figur B.29. Uppmätt flöde i mätare 27481:1.

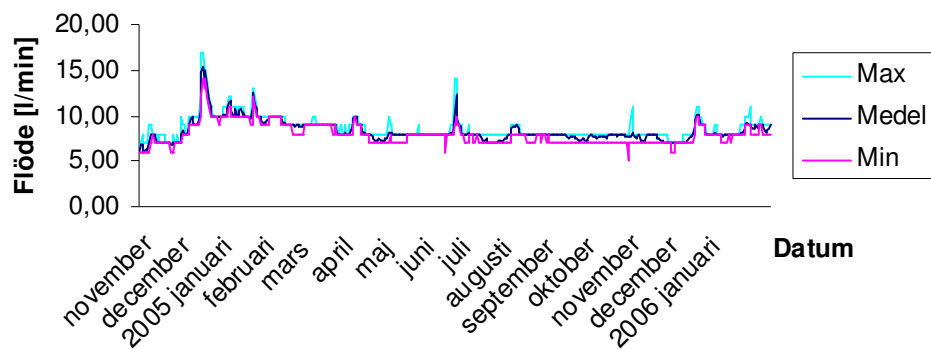


Figur B.30. Uppmätt flöde i mätare 2748b.

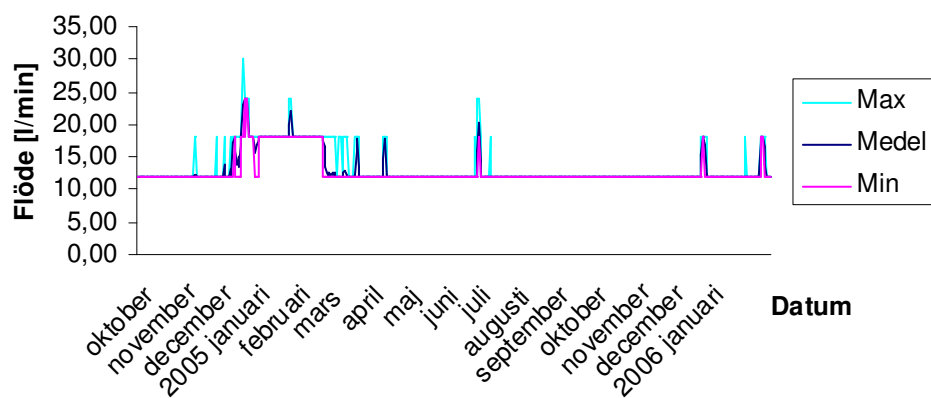


Figur B.31. Uppmätt flöde i mätare 2748c.

Uppsamlingsområde 27481:2

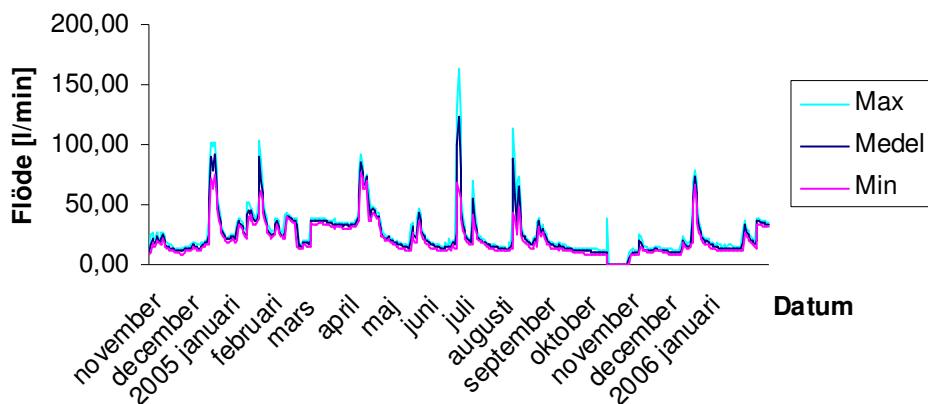


Figur B.32. Uppmätt flöde i mätare 27481:2.

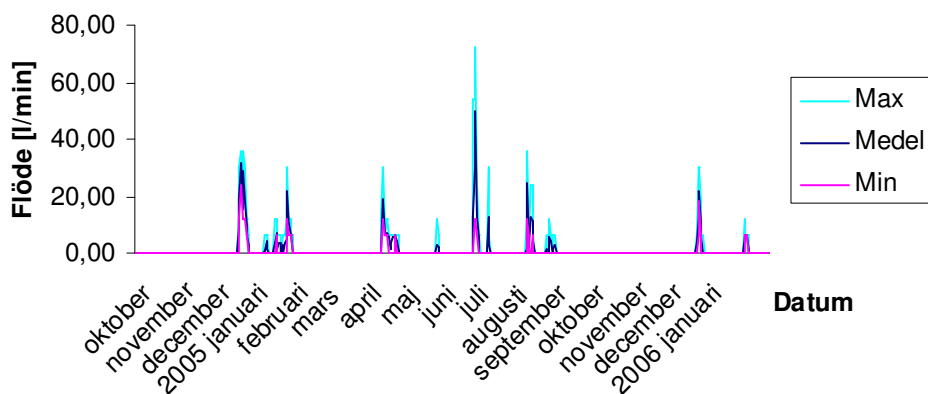


Figur B.33. Uppmätt flöde i mätare 2748a.

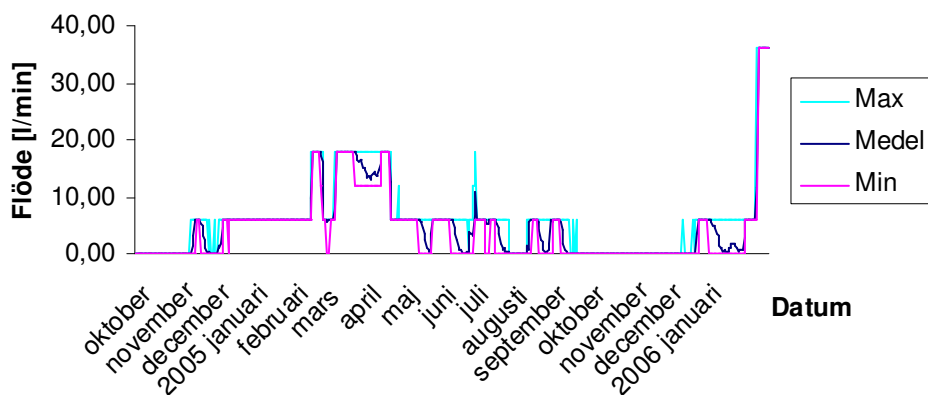
Uppsamlingsområde 27481:3



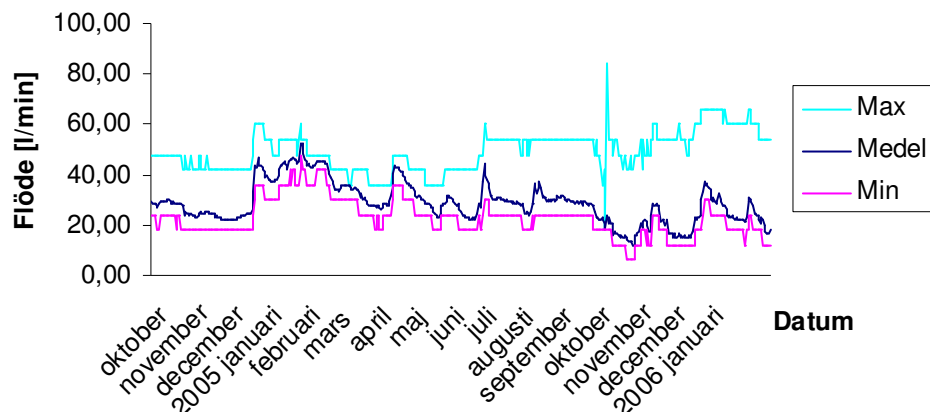
Figur B.34. Uppmätt flöde i mätare 27481:3.



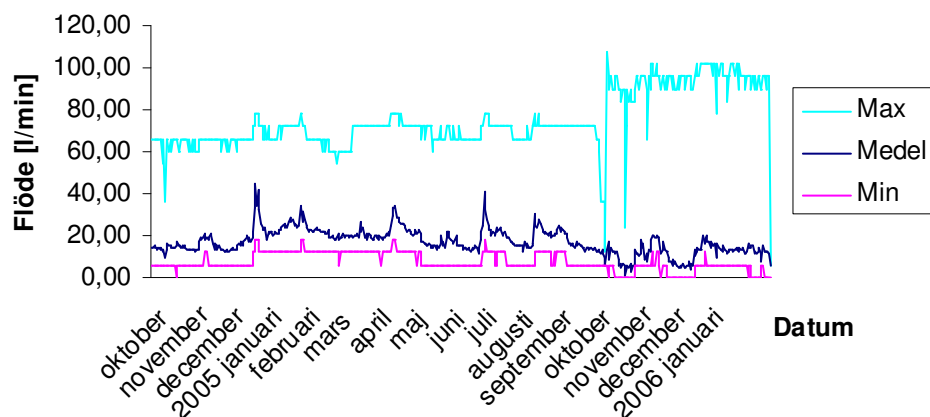
Figur B.35. Uppmätt flöde i mätare 2748d.



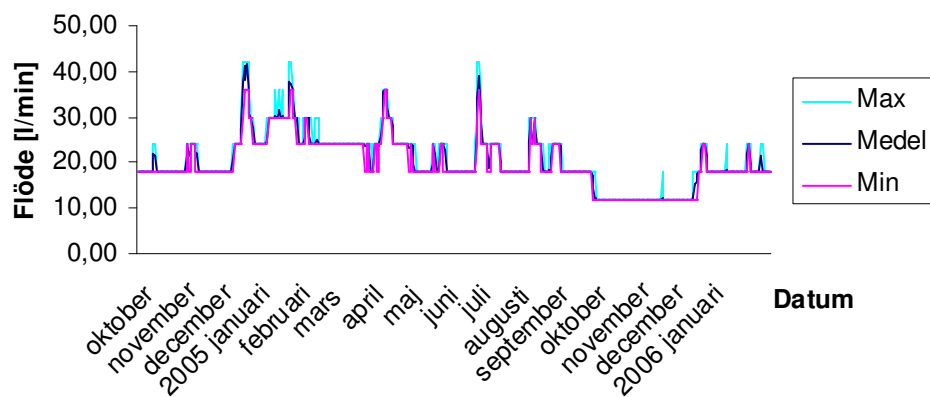
Figur B.36. Uppmätt flöde i mätare 2748e.



Figur B.37. Uppmätt flöde i mätare 2748f.

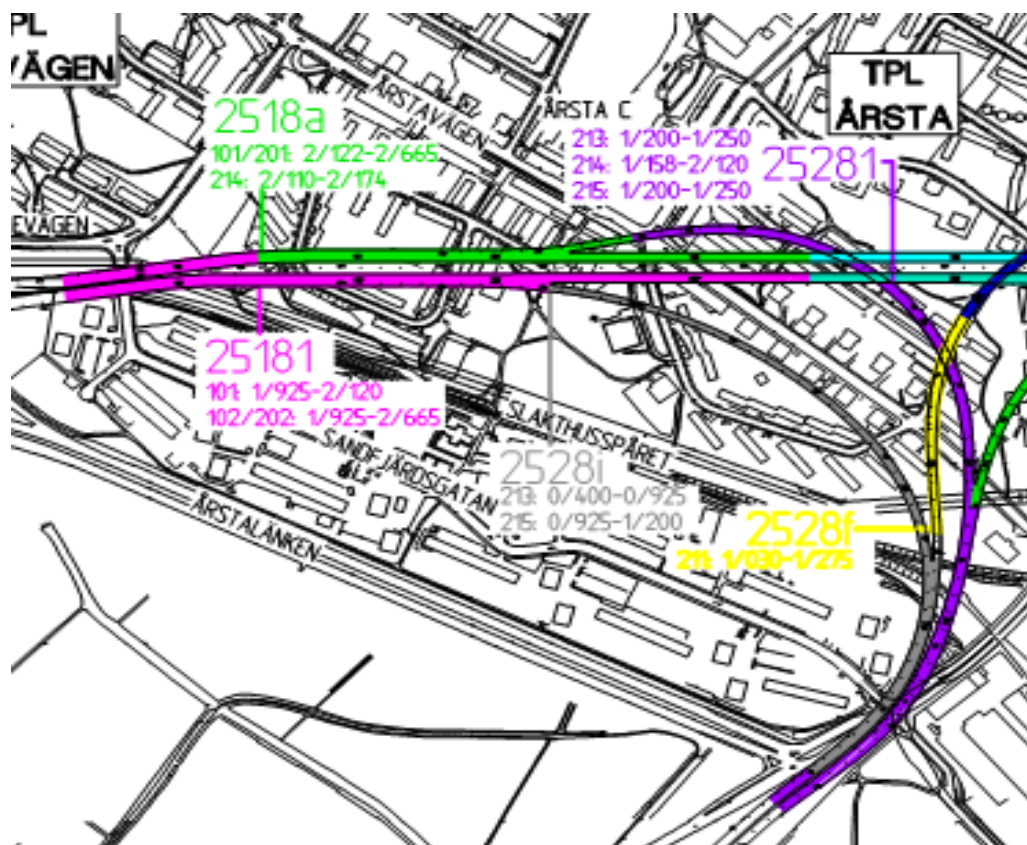


Figur B.38. Uppmätt flöde i mätare 2748g.

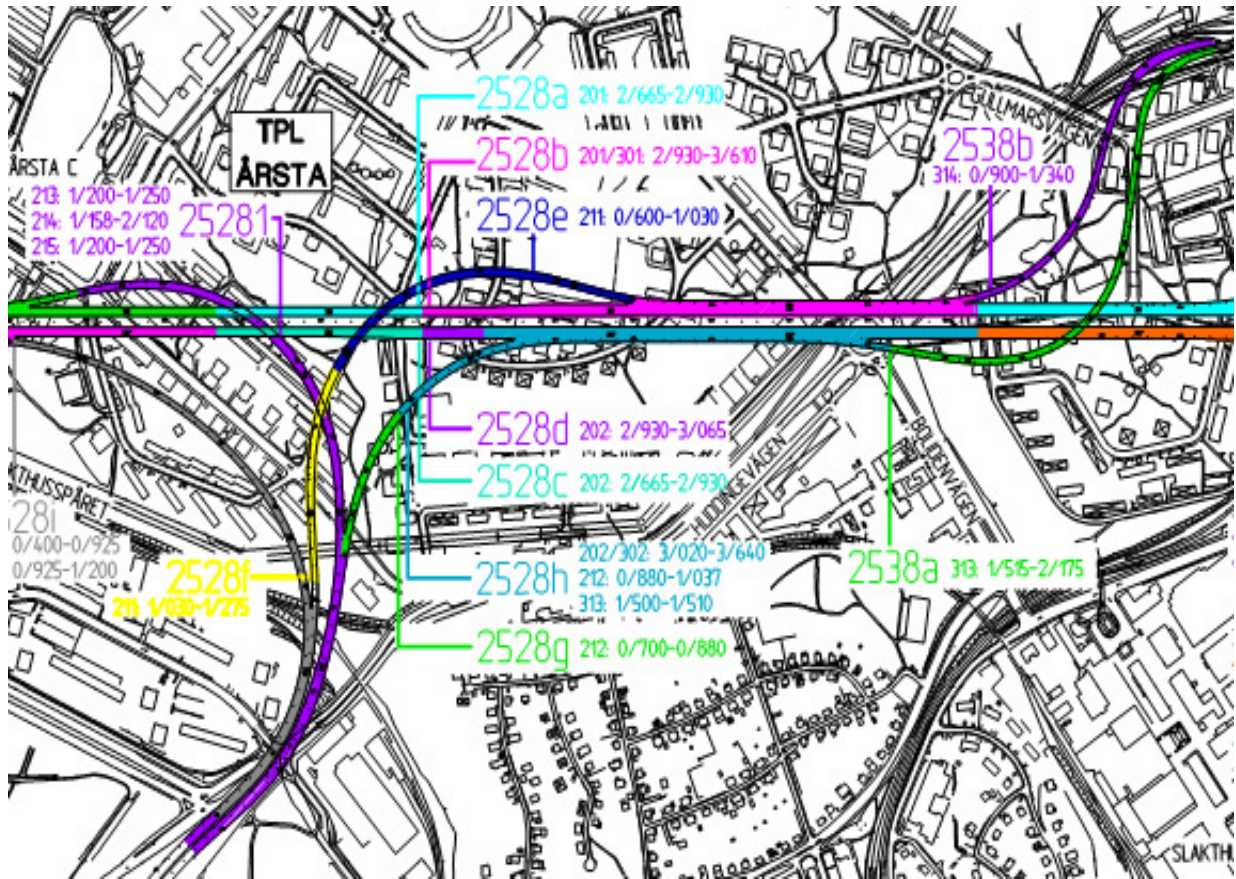


Figur B.39. Uppmätt flöde i mätare 2748h.

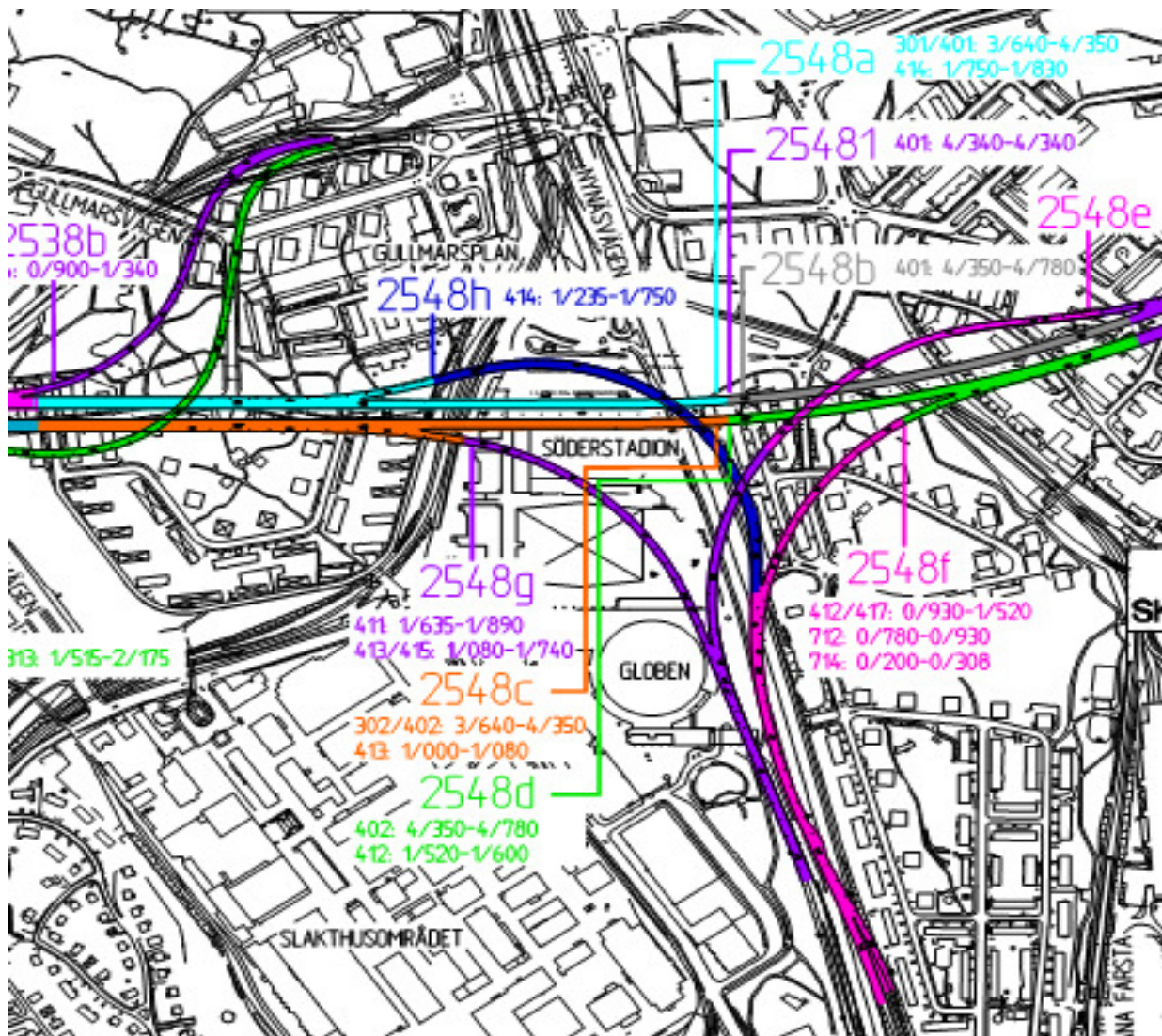
BILAGA C DRÄNVATTENMÄTARNAS UPPTAGNINGSSOMRÅDE



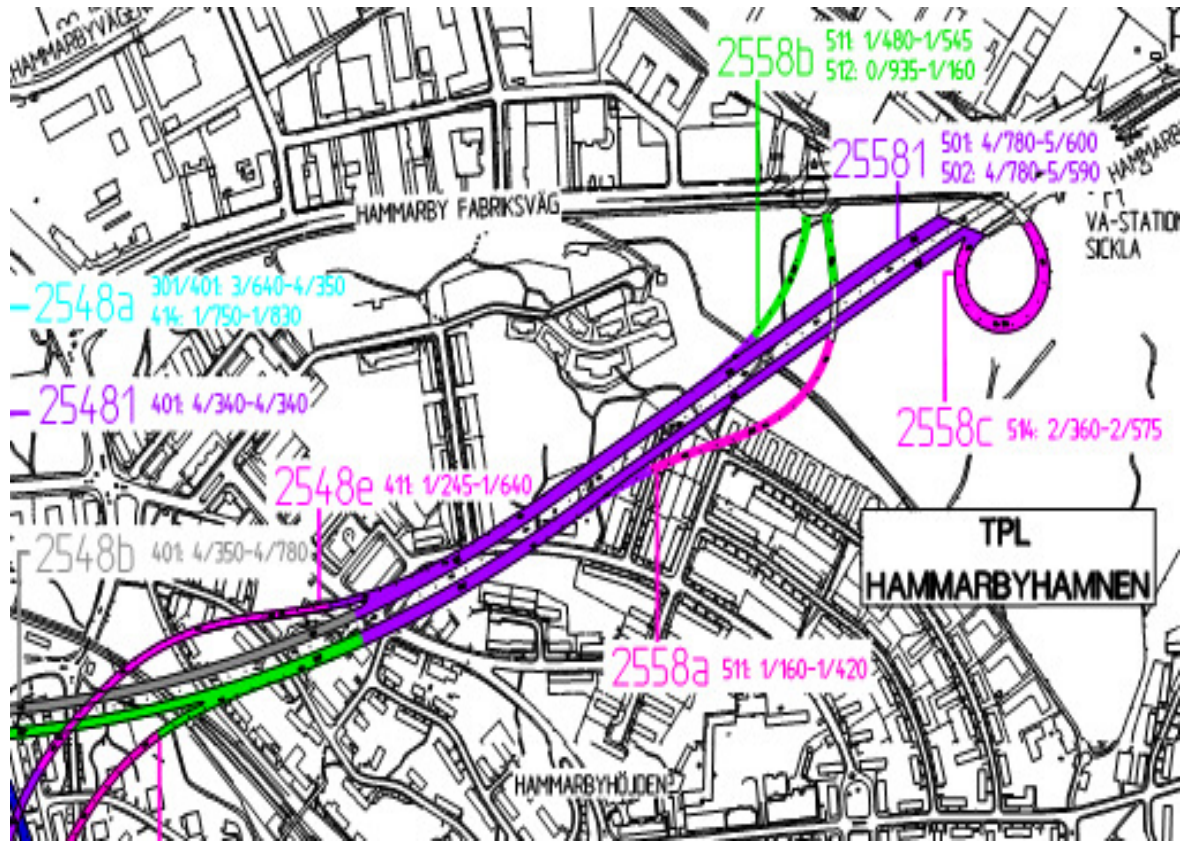
Figur C.1. Upptagningsområde för uppsamlingsområde 25181 (Ritning 250 080 W 51 50).



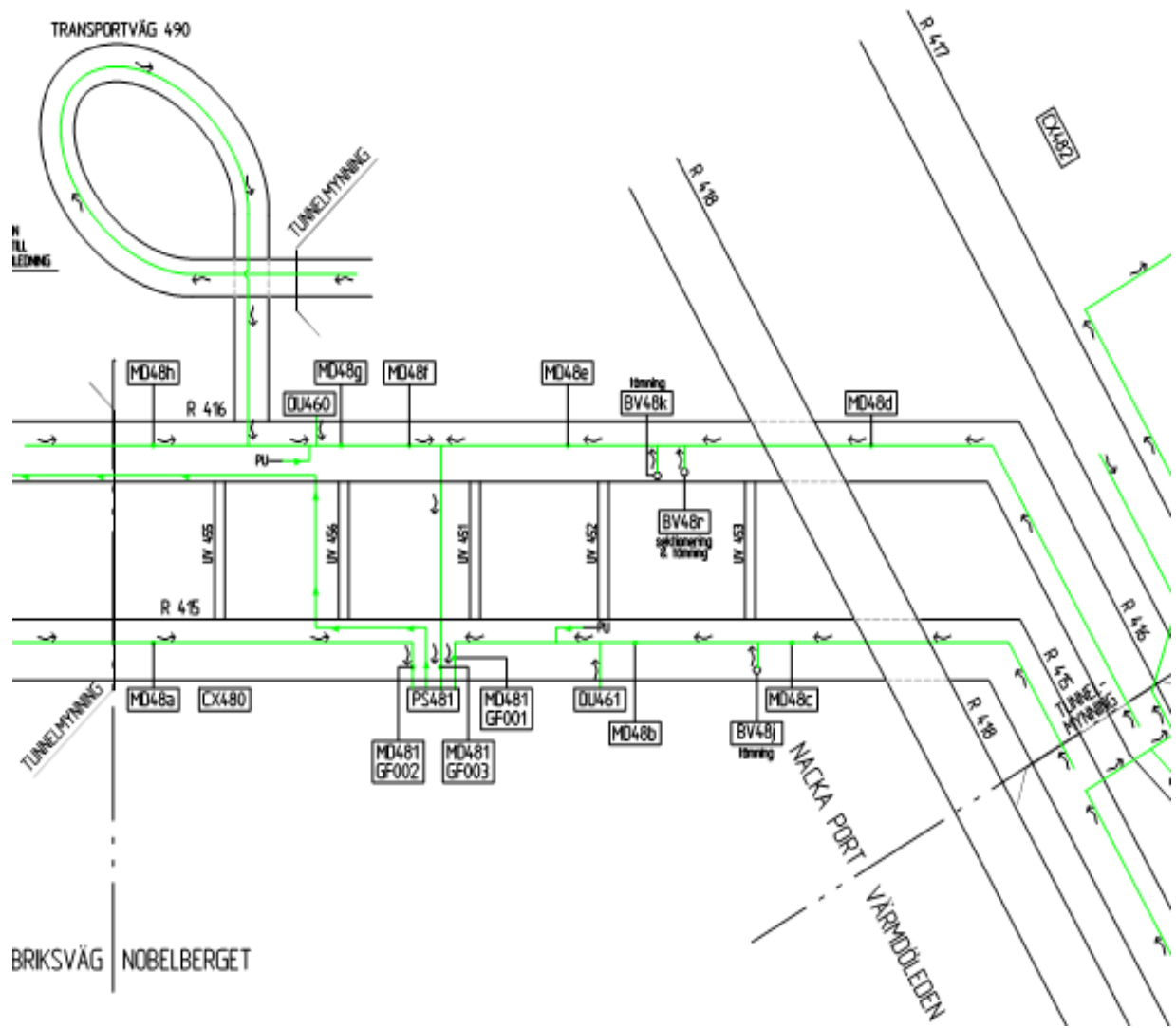
Figur C.2. Upptagningsområde för uppsamlingsområde 25281 (Ritning 250 080 W 51 50).



Figur C.3. Upptagningsområde för uppsamlingsområde 25481 (Ritning 250 080 W 51 50).



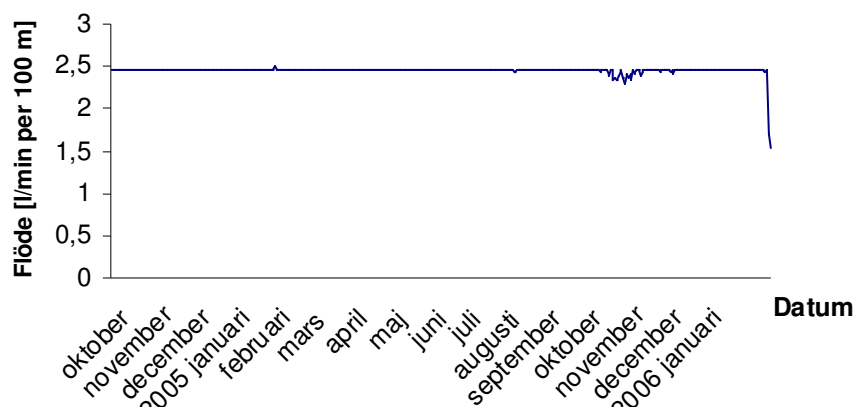
Figur C.4. Upptagningsområde för uppsamlingsområde 25581 (Ritning 250 080 W 51 50).



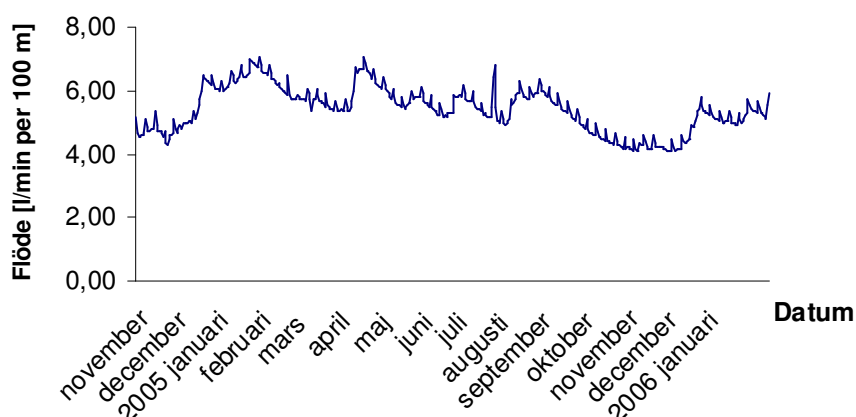
Figur C.5. Upptagningsområde för uppsamlingsområde 27481 (Ritning 270 180 W 51 75).

BILAGA D DIAGRAM MED UPPMÄTTA DRÄNVATTENFLÖDEN I DELOMRÅDEN

Uppsamlingsområde 25181

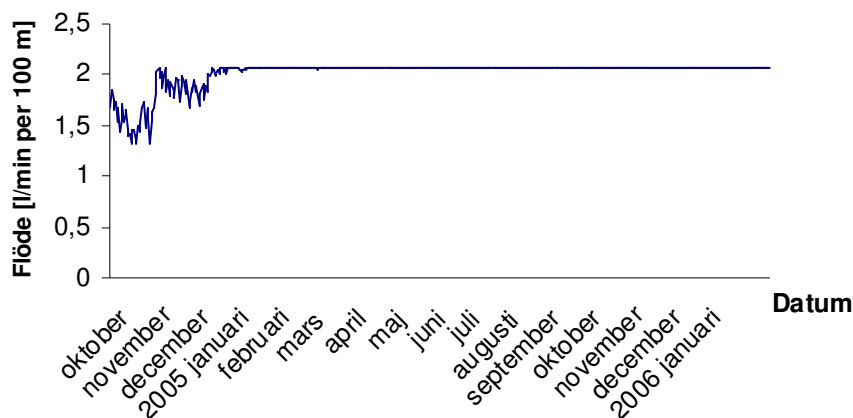


Figur D.1. Medeldränvattenflöde i område 1; mätare 2528f.

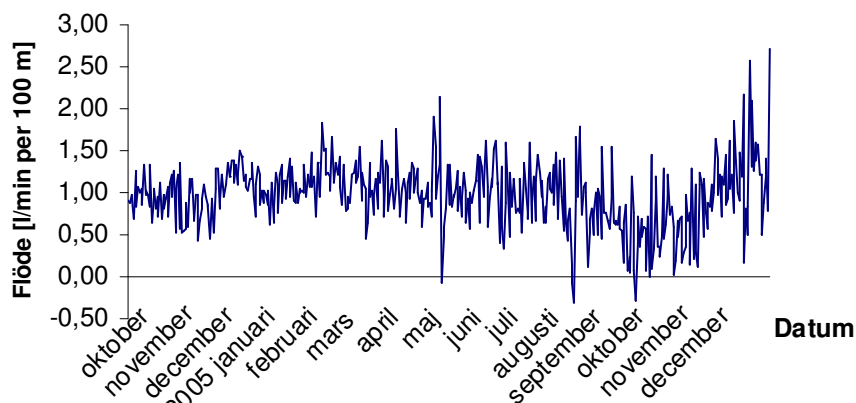


Figur D.2. Medeldränvattenflöde i område 2; mätare 25181, 2518a och 2528i.

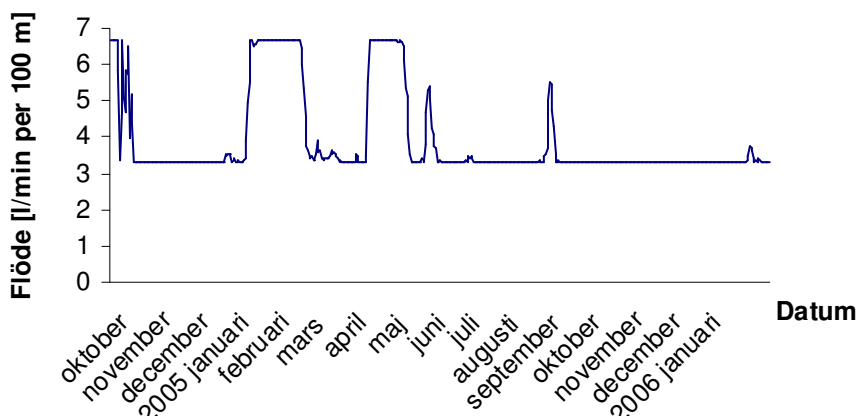
Uppsamlingsområde 25281



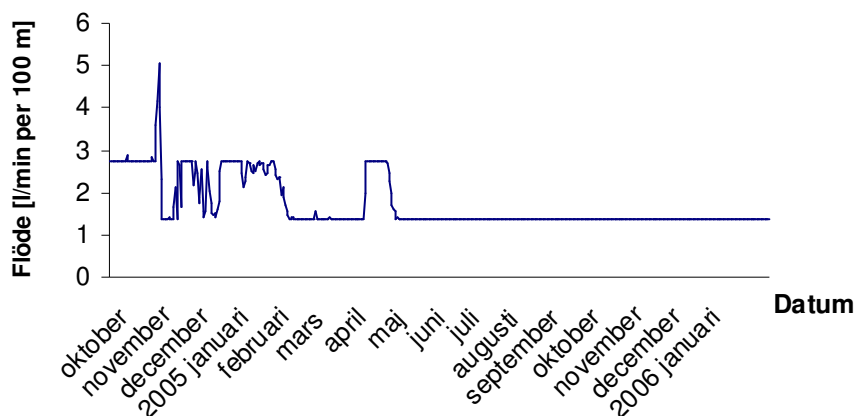
Figur D.3. Medeldränvattenflöde i område 3; mätare 2538b.



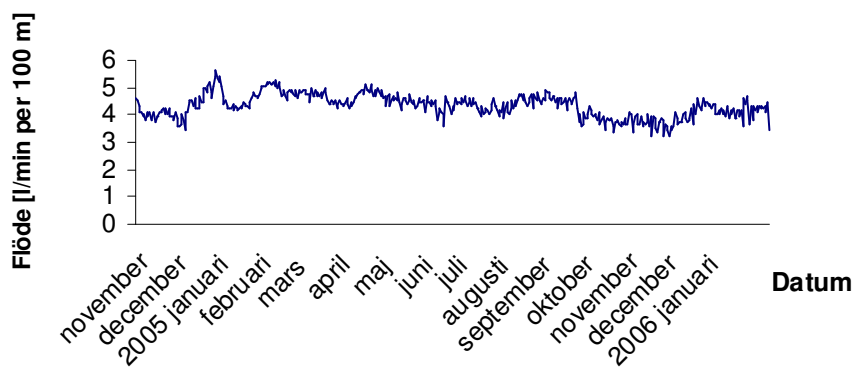
Figur D.4. Medeldränvattenflöde i område 4; mätare 2528b och 2528e.



Figur D.5. Medeldränvattenflöde i område 5; mätare 2528g.

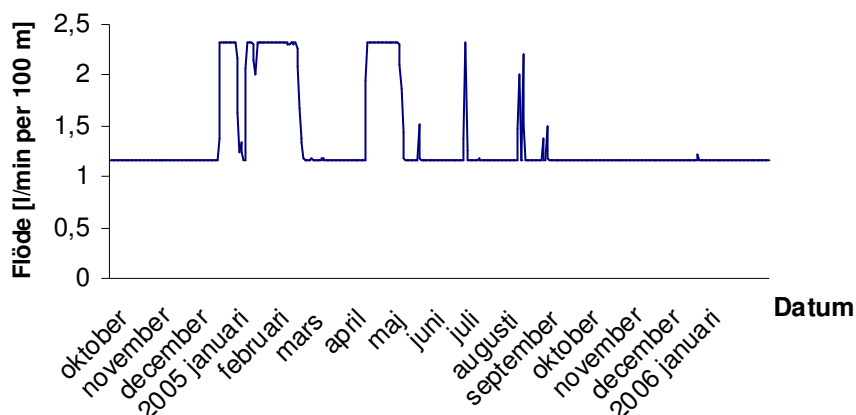


Figur D.6. Medeldränvattenflöde i område 6; mätare 2538a.

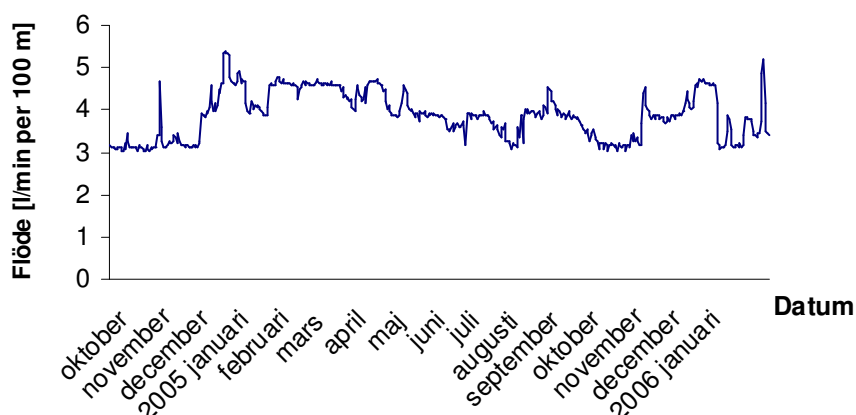


Figur D.7. Medeldränvattenflöde i område 7; mätare 25281, 2528a, 2528c, 2528d och 2528h.

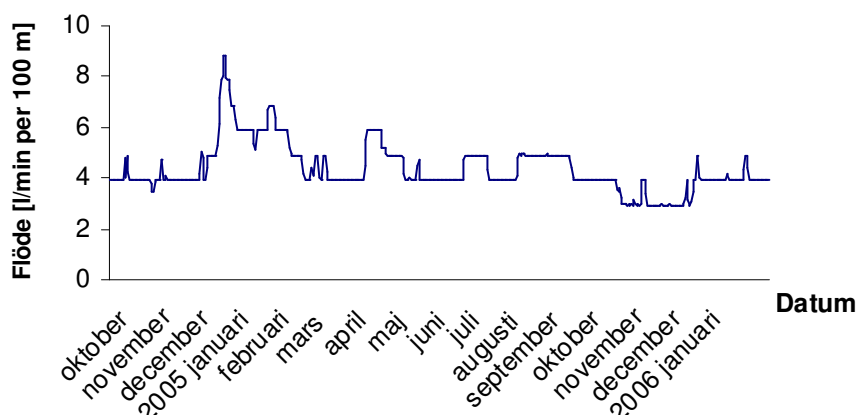
Uppsamlingsområde 25481



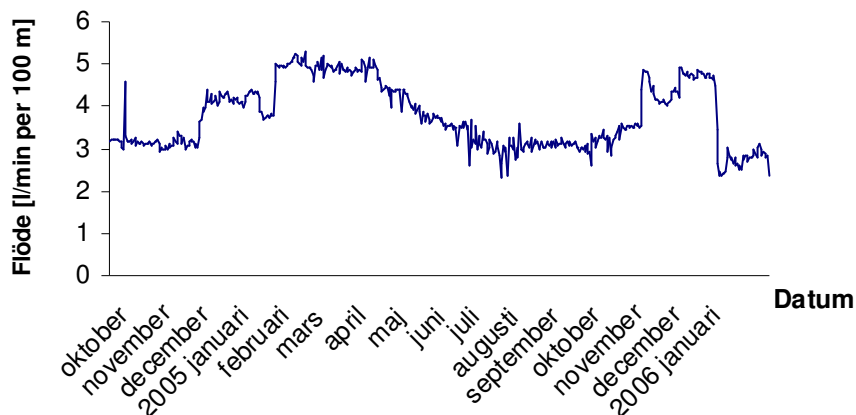
Figur D.8. Medeldränvattenflöde i område 8; mätare 2548h.



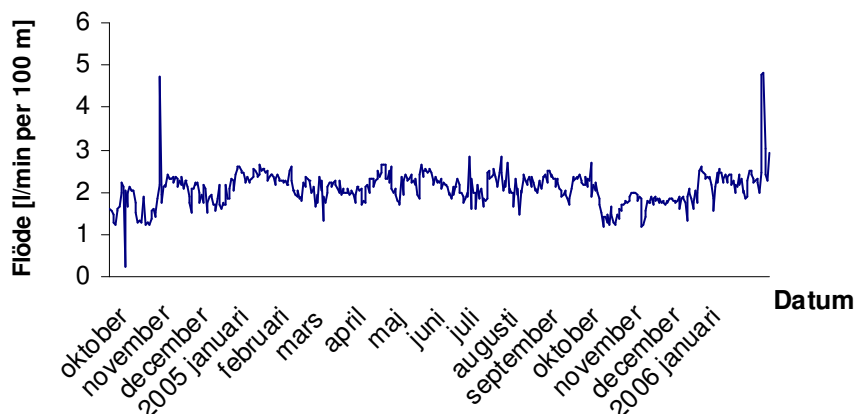
Figur D.9. Medeldränvattenflöde i område 9; mätare 2548a.



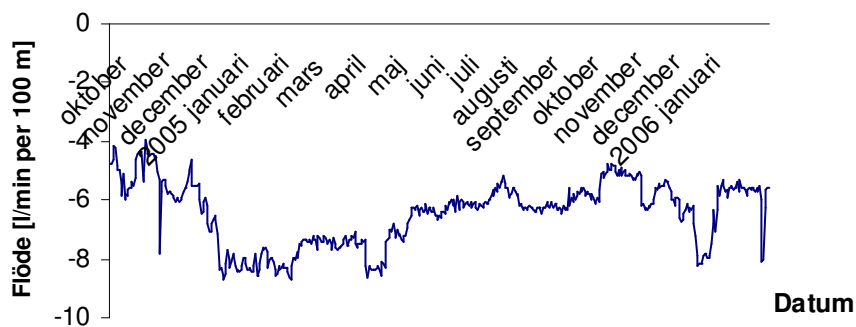
Figur D.10. Medeldränvattenflöde i område 10; mätare 2548f.



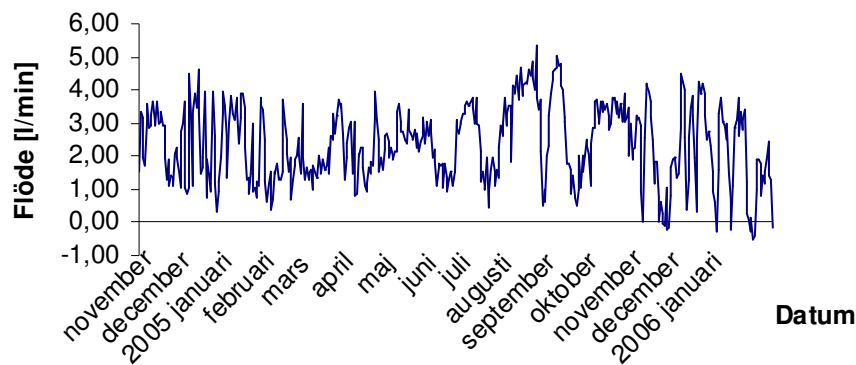
Figur D.11. Medeldränvattenflöde i område 11; mätare 2548g.



Figur D.12. Medeldränvattenflöde i område 12; mätare 2548c och 2548d.

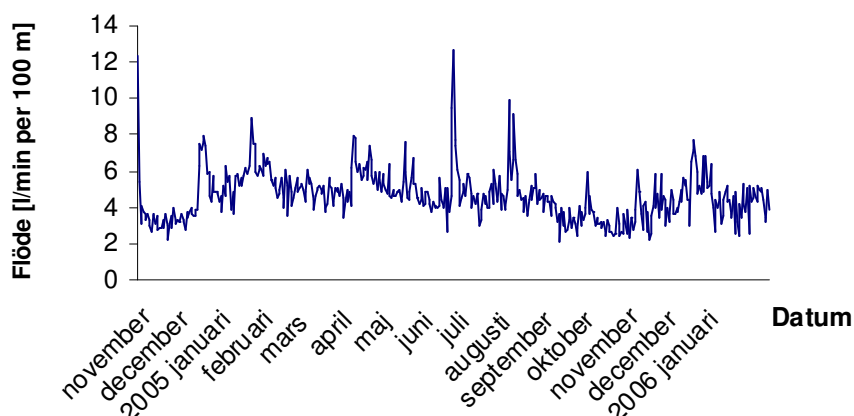


Figur D.13. Medeldränvattenflöde i område 13; mätare 2548b.



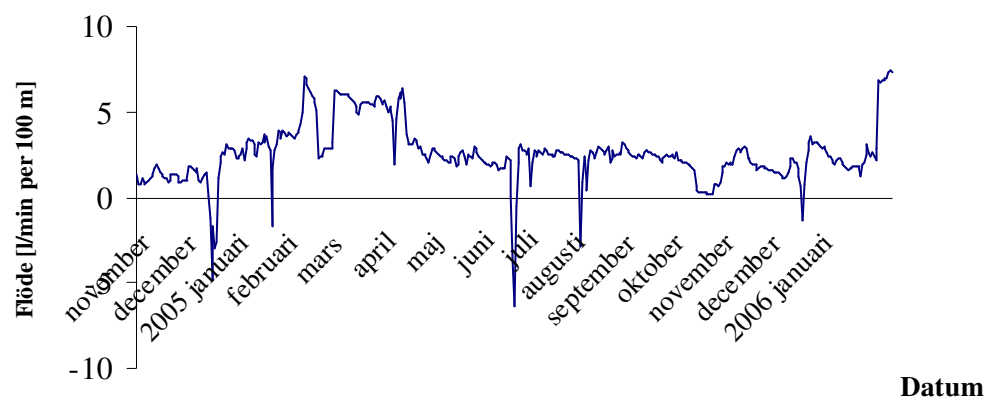
Figur D.14. Medeldränvattenflöde i område 14; mätare 25481.

Uppsamlingsområde 25581



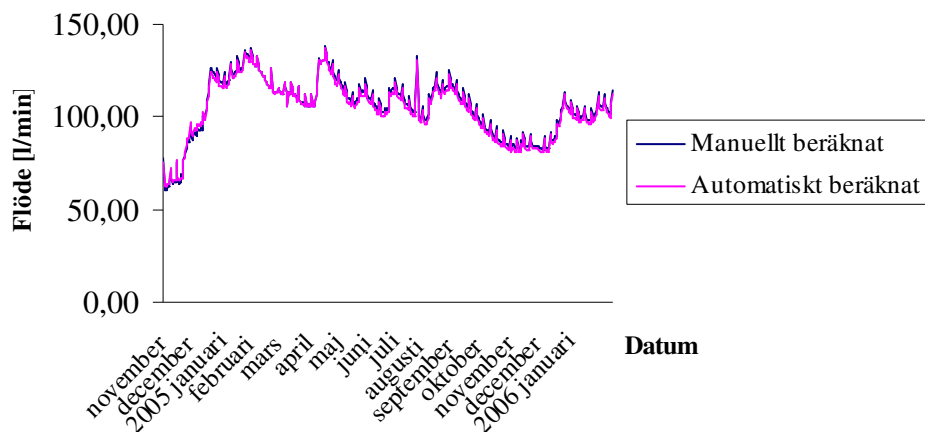
Figur D.15. Medeldränvattenflöde i område 15; mätare 25581:1, 25581:2, 2548e, 2558a, 2558b och 2558c.

Uppsamlingsområde Södra Länken, Sickla

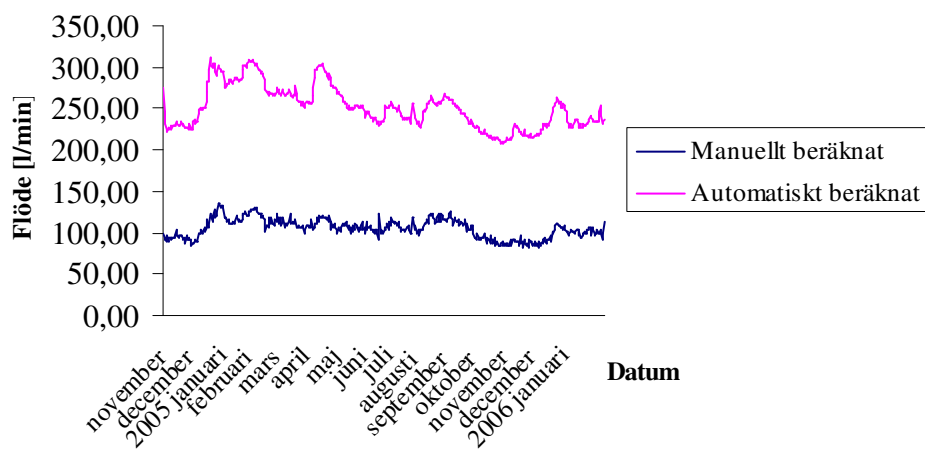


Figur D.16. Medeldränvattenflöde i område 16; mätare 27481:1, 27481:2, 27481:3, 2748b, 2748e, 2748f och 2748g.

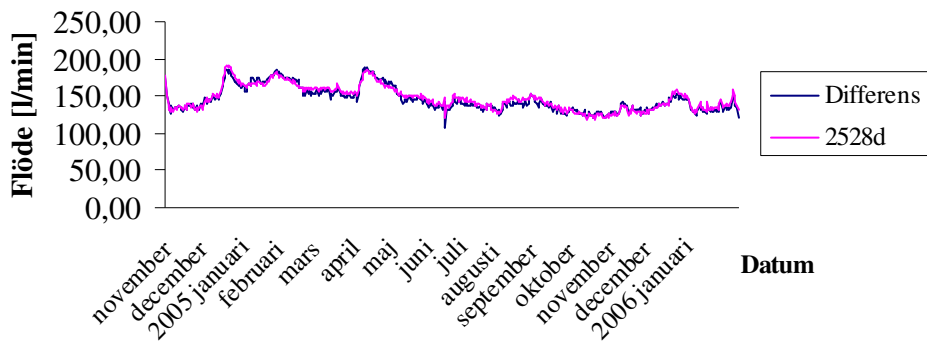
BILAGA E MANUELLT OCH AUTOMATISKT BERÄKNADE DRÄNVATTENFLÖDEN FRÅN PUMPSTATIONERNAS UPPTAGNINGSSOMRÅDE



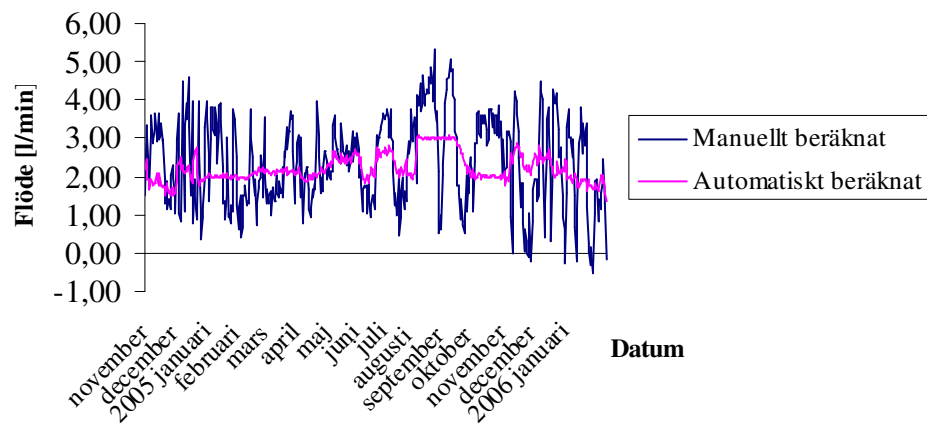
Figur E.1. Jämförelse mellan manuellt och automatiskt beräknade flöden till pumpstation 25181.



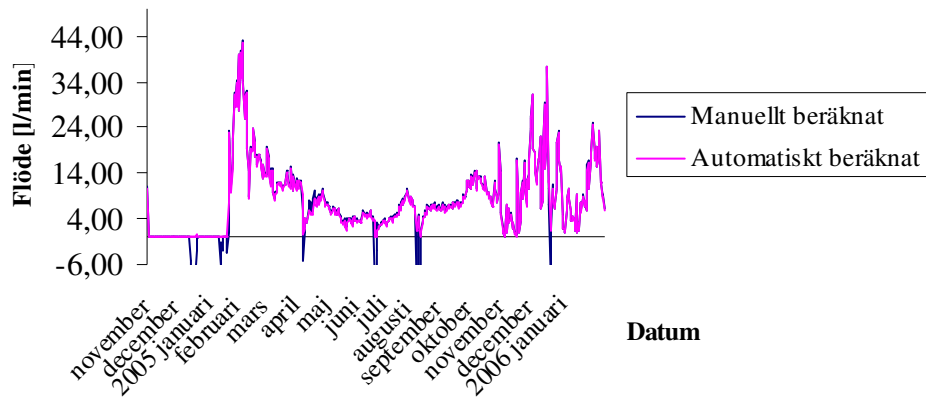
Figur E.2. Jämförelse mellan manuellt och automatiskt beräknade flöden till pumpstation 25281.



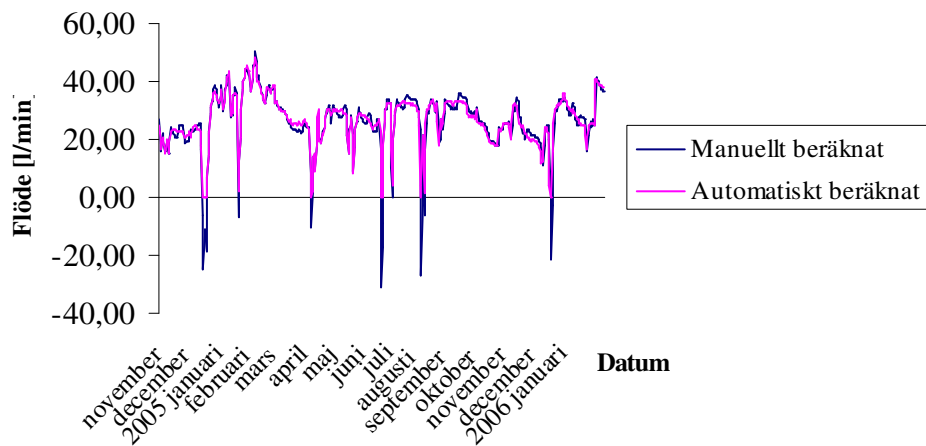
Figur E.3. Differens mellan automatiskt och manuellt beräknat flöden till mätare 25281 samt flöde genom 2528d.



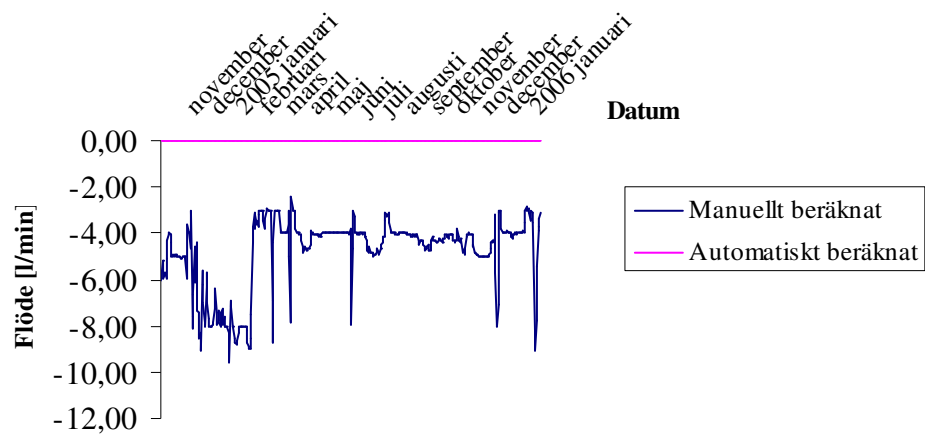
Figur E.4. Jämförelse mellan manuellt och automatiskt beräknade flöden till pumpstation 25481.



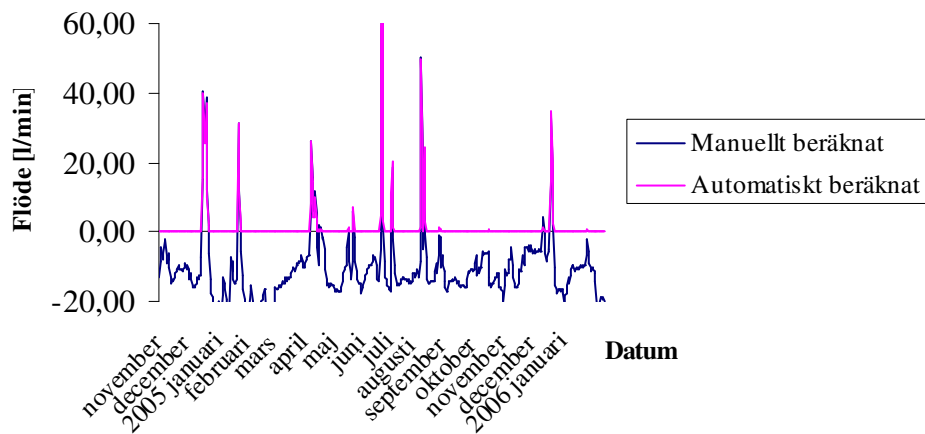
Figur E.5. Jämförelse mellan manuellt och automatiskt beräknade flöden till pumpstation 25581:1.



Figur E.6. Jämförelse mellan manuellt och automatiskt beräknade flöden till pumpstation 27481:1.



Figur E.7. Jämförelse mellan manuellt och automatiskt beräknade flöden till pumpstation 27481:2.



Figur E.8. Jämförelse mellan manuellt och automatiskt beräknade flöden till pumpstation 27481:3.

BILAGA F UPPMÄTTA DRÄNVATTENFLÖDEN

Uppsamlingsområde 25181, Åbyvägen

Pumpstation 25181 mottar vatten som har passerat mätare 2518a, 2528f samt 2528i.

Mätare 28f har ett medelflöde på 6,0 l/min. Mätvärdet är påverkat av den dåliga precisionen i flödesdata. 28i tar emot vatten från 28f. 28i har varit ur funktion en längre tid. Medelflödet då den var i funktion var ca 25 l/min och under hela mätperioden 3,0 l/min. Mätserien är dock alldeles för osäker och ett säkert medelflöde kan inte tas fram. Mätare 18a har visat 0,0 l/min under hela mätperioden, vad det beror på är inte undersökt men troligtvis har mätaren satt igen. Medelflödet till pumpstationen 181 är 107,1 l/min.

Mätarna 25181 och 2528i tar emot grundvatten som har läckt in dels i betongtunnlar dels i bergtunnlar. De andra två får endast inläckt grundvatten från bergtunnlar.

Uppsamlingsområde 25281, Årsta - Johanneshov

Pumpstation 25281 mottar vatten som har passerat mätare 2528a, 2528b, 2528c, 2528d, 2528e, 2528g, 2528h, 2538a, 2538b samt pumpstationerna 25181 och 25481.

38b har ett medelflöde på 5,9 l/min. 28e har visat 0,0 l/min under hela mätperioden. Mätare 28b tar emot vatten från 38b, 28e och pumpstation 25481. Mätserien, se figur B.7, visar att skillnaden mellan max- och minvärde är stor. Det beror på att vattnet från 25481 pumpas till 28b. Pumpen går inte konstant utan sätts av och på beroende på vattentillgång. Flödet hos 28b blir då högt när pumpen är igång och lågt annars. Medelvärdet, 108,3 l/min, blir dock representativt.

Mätare 28a visar 0,0 l/min under hela mätperioden. 28d mottar vatten från 28a och 28b. Skillnaden mellan max- och minvärdet är stort av samma anledning som för 28b. Medelflödet i 28d är 146,3 l/min. Flödet i 28g varierar mellan 6,0 och 12,0 l/min. Medelflödet är 7,1 l/min.

Flödet genom mätare 38a varierar mellan 6,0 och 12,0 l/min. Medelflödet är 7,5 l/min. Vattnet rinner vidare från 38a till mätare 28h. 28h har ett medelflöde på 7,0 l/min, alltså 0,5 l/min lägre än 38a. En kontroll av de två mätarnas flöden har utförts genom att istället studera total genomrunnen volym. De siffrorna visar att 38a har ett medelflöde på 7 l/min och 28h har ett flöde på 8 l/min vilket bedöms som mycket mer trovärdigt. Det finns en möjlighet att vatten från 38a kan rinna till mätaren 28d på grund av hur tunneln lutar (ritning 250 200 W 51 06). Det är dock svårbedömt hur mycket som eventuellt rinner den vägen genom att studera mätdata.

Mätare 28c tar emot vatten från pumpstation 25181. Flödet har en stor variation på grund av utpumpningen av vatten från pumpstationen. Medelflödet är 55,4 l/min. Jämförelsen med medelflödet i pumpstation 25181 på 107,1 l/min visar att vattnet även här tar en annan väg. Flödet i 28c är 51,6 l/min lägre. En trolig förklaring kan vara att vattnet från 181, som skulle ha runnit till 28c, istället rinner ner i driftutrymmet DU 261, se bilaga A. I driftutrymmet finns möjlighet för vattnet att byta tunnelrör då driftutrymmet löper mellan de båda huvudtunnlarna. Vattnet kan då pumpas upp i det andra röret och rinna vidare till 28a. 28d som tar emot vatten

från 28a har ett högt flöde vilket tyder på att det kan vara en möjlig förklaring. Vatten från 25181 kan möjligtvis även rinna förbi 28c och direkt till 25281. Flödena i det här området är mycket svårbestämda och de rinner inte som det var tänkt vid byggandet.

Till sist är flödet i pumpstation 25281 322,2 l/min. Flödet kan dock vara 7-10 l/min lägre, enligt Bergab, 2005, eftersom kylvatten från radiatorummet, DU 262, se kapitel 2.3.4, tillkommer dränvattensystemet innan pumpstationen.

Mätare i det här området som tar emot vatten som läckt in i betong- och bergtunnel är 2538a, 2538b och 25281. Resterande tar bara emot vatten från bergtunnel.

Uppsamlingsområde 25481, Skärmarbrink

Pumpstation 25481 får vatten som rinner genom mätare 2548a, 2548b, 2548c, 2548d, 2548f, 2548g och 2548h.

48h har ett medelflöde på 7,0 l/min med en flödesvariation på 6,0 till 12,0 l/min. 48a tar emot vatten från 48h och har ett medelflöde på 37,6 l/min. Mätare 48f registrerar ett medelflöde på 26,7 l/min och 48g ett medelflöde på 34,4 l/min.

48d mottar vatten från 48f och har ett medelflöde på 55,1 l/min. 48c tar emot vattnet från mätare 48g. Medelflödet är här 24,7 l/min, 9,7 l/min lägre än 48g. En trolig orsak till det låga flödet kan vara att vattnet kan rinna över till mätare 48d och mätas där istället för i mätare 48c då de är placerade nära varandra, se bilaga A. Nästa mätare 48b tar emot vatten från 48c och 48d. Här är medelflödet 52,1 l/min, 27,7 l/min lägre än det sammanlagda flödet genom 48c och 48d. Varför flödet är mycket lägre här är oklart. Här kan det konstateras att flödet mellan 48c, 48d och 48b är svårbestämt.

Slutligen rinner vattnet från 48a och 48b till pumpstation 25481 som har ett medelflöde på 93,1 l/min.

Mätare som får vatten från betong- och bergtunnel är 2548f. Resterande får endast inläckt grundvatten från bergtunnlar.

Uppsamlingsområde 25581, Hammarby

Pumpstation 25581:1 mottar vatten som passerat mätare 2548e, 2558a, 2558b samt 2558c.

Mätarna 48e, 58a och 58c visar alla flödet 0,0 l/min. Däremot uppvisar mätare 58b ett medelflöde på 0,9 l/min. Det verkar inte troligt att det här är inläckt vatten. Mer troligt är att det är regnvatten som runnit in i dränvattensystemet. Inläckt medelflöde är då 0,0 l/min och medelflödet på grund av regnvatten är 0,9 l/min. Vattnet rinner sedan från alla fyra mätare till pumpstation 25581:1. Medelflödet här är mycket lågt, 8,7 l/min, och kurvan, se figur B.23, ser inte ut som en förväntad kurva.

Enligt Gunnar Johansson har det varit problem med inläckage runt en bassäng i pumpstation 25581. Vattnet rinner i det här området längs bergväggen och ner i en bassäng i pumpstation 25581 utan att passera mätare 25581:1. Från bassängen pumpas vattnet bort med en

dränvattenpump. Mätare 25581:2 mäter i l/min hur mycket vatten som pumpas bort. Medelflödet är här 113,2 l/min. Det totala flödet för uppsamlingsområde 25581 fås alltså vid en summering av flödet genom 25581:1 och 25581:2, vilket är 121,8 l/min.

Även här är flödesriktningar oklara och dränvattensystemet fungerar inte som det var tänkt.

2558b får vatten som läckt in i både betong- och bergtunnel. Resterande mätare får inläckt vatten endast från bergtunnlar.

Uppsamlingsområde 27481:1, Sickla

Pumpstation 27481:1 får vatten som passerat mätare 2748b och 2748c.

Mätare 48c har ett uppmätt medelflöde på 10,5 l/min som endast kommer från betongtunnel. Mätaren tar emot vatten från tunnelmynningen och är märkbart påverkad av regn. Medelflödet för nästa mätare, 48b, som har ett uppmätt medelflöde på 11,8 l/min, är då ca 1,3 l/min då flödet genom mätare 48c dras bort. Slutligen pumpstationen 27481:1, som mottar vattnet, har ett uppmätt medelflöde på 38,7 l/min. Medelflödet efter subtraktion av flödet genom 48c ger flödet 28,2 l/min.

Mätare 2748c tar enbart emot grundvatten som läckt in genom betongtunnel. De andra två får vatten från bergtunnel.

Pumpstation 27481:1 har ett relativt högt flöde, för en förklaring se stycket Uppsamlingsområde 27481:3 nedan.

Uppsamlingsområde 27481:2, Sickla

Pumpstation 27481:2 tar emot vatten från en mätare, 2748a, som har ett medelflöde på 13,1 l/min. 48a tar emot vatten som har läckt in genom betongtunnel. Vattnet rinner sedan till pumpstation 27481:2 som har ett medelflöde på 8,3 l/min, 4,7 l/min lägre än 48a. För en förklaring till det låga flödet i pumpstationen, se stycket Uppsamlingsområde 27481:3 nedan.

2748a får vatten som läckt in i enbart betongtunnel och 27481:2 vatten från enbart bergtunnel.

Uppsamlingsområde 27481:3, Sickla

Pumpstation 27481:3 mottar vatten från dränmätare 2748d, 2748e, 2748f, 2748g samt 2748h.

48d har ett medelflöde på 1,2 l/min vilket endast verkar vara tillskott från regn. Medelbasflödet för 48d är således 0,0 l/min. 48e tar emot vatten från 48d. Medelflödet är här 4,9 l/min, med ett medelbasflöde på ca 3,8 l/min. Mätare 48h har ett medelflöde på 20,3 l/min. Nästföljande mätare 48g har ett medelflöde på 17,1 l/min, 3,1 l/min lägre än 48h. Det kan enligt Bergab, 2005, bero på att vatten rinner ner i driftutrymmet DU 460, se bilaga A, uppströms 48g för att sedan pumpas tillbaka upp i dränvattensystemet nedströms 48g. Mätare 48f har ett medelflöde på 28,8 l/min. Slutligen har pumpstation 27481:3, som tar emot vatten

från 48e och 48f, ett medelflöde på 23,9 l/min. Det är 9,9 l/min lägre än summan av flödet genom 48e och 48f. För en förklaring till det låga flödet i pumpstationen se kapitel 4.2.9.

Här tar 2748d och 2748h emot inläckt grundvatten från betongtunnlar. De resterande mätarna tar emot vatten från bergtunnlar.

Uppsamlingsområde Södra Länken exklusive Sickla

Södra Länken exklusive Sickla har fyra pumpstationer; 25181, 25281, 25481 och 25581.

181 och 481 leds till 281 medan det i pumpstation 581 finns två mätare, 581:1 som tar emot vatten från dränvattenmätarna i uppsamlingsområdet och 581:2 som tar emot det vatten som läckt ut ur tunneln och sedan runnit längs bergväggen. Det sammanlagda medelflödet i Södra Länken förutom Sickla är alltså summan av flödet i mätare 281, 581:1 och 581:2 vilket är 444,0 l/min.

Uppsamlingsområde Södra Länken exklusive Sickla

Södra Länken exklusive Sickla har fyra pumpstationer; 25181, 25281, 25481 och 25581.

181 och 481 leds till 281 medan det i pumpstation 581 finns två mätare, 581:1 som tar emot vatten från dränvattenmätarna i uppsamlingsområdet och 581:2 som tar emot det vatten som läckt ut ur tunneln och sedan runnit längs bergväggen. Det sammanlagda medelflödet i Södra Länken förutom Sickla är alltså summan av flödet i mätare 281, 581:1 och 581:2 vilket är 444,0 l/min.

Uppsamlingsområde Södra Länken, Sickla

Södra Länken i Sickla har en pumpstation, 27481. I den finns tre mätare som registrerar flödet, 27481:1, 27481:2 och 27481:3. Det sammanlagda medelflödet i Södra Länken i Sickla är summan av flödet i mätare 481:1, 481:2 och 481:3 det vill säga 70,9 l/min. Subtraheras flödet genom mätarna som får vatten från betongtunnel fås ett medelflöde på 26,0 l/min. En förklaring till det låga flödet i mätare 481:2 och 481:3 kan vara att lågpunkten i tunneln ligger bortom mätare 481:1, se figur 4.13. Vattnet rinner då mot lågpunkten och mätare 481:1 som får ett högt flöde.

BILAGA G DRÄNVATTENFLÖDEN I DELOMRÅDEN

4.3.1 Uppsamlingsområde 25181, Åbyvägen

Pumpstation 25181 mottar vatten som har passerat mätare 2518a, 2528f samt 2528i.

Här är det endast 28f och pumpstationen 181 som visar något pålitligt uppmätt flöde. Uppsamlingsområdet kan då delas in i två delområden, 28f samt ett gemensamt för 181, 18a och 28i.

Område 1; 2528f

28f har en delsträcka på 245 m och ett uppmätt medelflöde på 6,0 l/min. Det ger ett flöde i område 1 på 2,4 l/min per 100 m.

Område 2; 25181, 2518a, 2528i

Område 2 har en delsträcka på 2342 m då delsträckorna för mätare 18a, 28i och 181 summeras. Då mätarna 28i och 25181 delvis får vatten från betongtunnlar räknas betongtunnelsträckan bort och då återstår 1865 m. Flödet genom 28f, 6,0 l/min, dras bort från flödet i 181, 107,1 l/min, vilket ger ett flöde i område 2 på 101,1 l/min vilket motsvarar, 5,4 l/min per 100 m.

Uppsamlingsområde 25281, Årsta - Johanneshov

Pumpstation 25281 mottar vatten som har passerat mätare 2528a, 2528b, 2528c, 2528d, 2528e, 2528g, 2528h, 2538a, 2538b samt pumpstationerna 25181 och 25481.

I det här området finns det 10 dränmätare.

Område 3; 2538b

38b har ett uppmätt medelflöde på 5,9 l/min, delsträcka på 440 m varav 290 m är bergtunnel, vilket gör att flödet i område 3 blir 2,0 l/min per 100 m bergtunnel.

Område 4; 2528b och 2528e

Mätare 28e visar 0,0 l/min. Ett delområde blir då 28e och 28b. 28b, som 28e rinner till, har ett uppmätt medelflöde på 108,3 l/min. Delsträckan 28e+28b är 1110 m och efter att flödet från 25481 och 38b dragits bort fås ett flöde i område 4 på 0,8 l/min per 100 m tunnel.

Område 5; 2528g

Uppmätt medelflöde i 28g är 7,1 l/min. Med en delsträcka på 180 m blir flödet 4,0 l/min per 100 m tunnel.

Område 6; 2538a

38a har ett uppmätt medelflöde på 7 l/min och en delsträcka på 660 m varav 435 m är bergtunnel vilket ger ett flöde på 1,6 l/min per 100 m tunnel.

Område 7; 25281, 2528a, 2528c, 2528d och 2528h

Fem mätare återstår.

Mätare 28h har ett uppmätt medelflöde på 8 l/min och en delsträcka på 787 m. Flödet blir efter subtraktion av flödet genom 38a, 1 l/min, vilket motsvarar 0,1 l/min per 100 m tunnel. Det inläckaget verkar alldeles för lågt.

25281, 28a, 28c samt 28d måste här ingå i samma delområde. 181 rinner till 28c, 28a samt 25281 samtidigt som 28a visar 0,0 l/min.

Uppmätt flöde i delområdet är flödet genom 25281 vilket är 322,2 l/min. Delsträckan är summan av delområdena 25281, 28a, 28c och 28d vilket är 1727 m, varav 1315 m är bergtunnel. Flödena i 28b, 28g, 28h och 25181 dras bort från flödet genom 25281 och det ger ett flöde i område 7 på 91,7 l/min, vilket motsvarar 7,0 l/min per 100 m tunnel. Det inläckaget verkar i sin tur alldeles för högt.

Eftersom flödesriktningarna i det här området är väldigt oklara kommer område 7 bestå av de fem mätarna 281, 28a, 28c, 28d och 28h.

Uppmätt flöde i delområdet är flödet genom 25281 vilket är 322,2 l/min. Delsträckan är summan av delområdena 25281, 28a, 28c, 28d och 28h vilket är 2514 m, varav 2102 m är bergtunnel. Flödena i 28b, 28g, 38a och 25181 dras bort från flödet genom 25281 och det ger ett flöde i område 7 på 92,7 l/min, vilket motsvarar 4,4 l/min per 100 m tunnel.

Flödet i området består eventuellt av kylvatten från DU 262, se kapitel 2.3.4, på 7-10 l/min. Det motsvarar ett flöde på 0,3-0,5 l/min per 100 m.

Det bör än en gång sägas att flödena är mycket svårbestämda i det här området.

Uppsamlingsområde 25481, Skärmarbrink

Pumpstation 25481 får vatten som rinner genom mätare 2548a, 2548b, 2548c, 2548d, 2548f, 2548g och 2548h.

Område 8; 2548h

48h har ett uppmätt medelflöde på 7,0 l/min och en delsträcka på 515 m vilket ger ett flöde på 1,4 l/min per 100 m tunnel.

Område 9; 2548a

48a har ett uppmätt medelflöde på 37,6 l/min och en delsträcka på 790 m. Efter subtraktion med flödet genom 48h fås ett flöde genom 48a på 3,9 l/min per 100 m tunnel.

Område 10; 2548f

Mätare 48f har ett uppmätt medelflöde på 26,7 l/min och en delsträcka på 848 m, varav 610 m är bergtunnel, vilket ger ett flöde på 4,4 l/min per 100 m tunnel.

Område 11; 2548g

Mätare 48g har ett uppmätt medelflöde på 34,4 l/min och en delsträcka på 915 m. Det ger ett flöde i område 11 på 3,8 l/min per 100 m tunnel.

Område 12; 2548c och 2548d

Område 12 består av mätare 48c och 48d. Då vatten som skulle ha mäts i 48c troligtvis istället rinner över och mäts i 48d, se kapitel 4.2.3, kan inte de här två mätarna delas in i två områden. Det uppmätta flödet i området är summan av flödet genom 48c och 48d vilket är 79,8 l/min och områdets delsträcka är 900 m. Efter subtraktion av flödet genom mätare 48f och 48g fås ett flöde i område 12 på 2,1 l/min per 100 m tunnel.

Område 13; 2548b

Mätare 48b tar emot vatten från 48c och 48d. Medelflödet är här 52,1 l/min vilket är 27,7 l/min lägre än det sammanlagda flödet genom 48c och 48d. Delsträckan är 430 m och efter subtraktion av flödet genom 48c och 48d fås ett negativt flöde på -6,4 l/min per 100 m tunnel, vilket troligtvis inte återspeglar det faktiska inläckaget.

Flödet i 48c, 48d och 48b är mycket oklart och vidare undersökningar bör utföras.

Område 14; 25481

Mätaren i pumpstation 25481 visar ett flöde på 93,1 l/min. Efter subtraktion av flödena genom mätare 48a och 48b fås ett flöde på 3,4 l/min. Delsträckan är här 0 m och flödet kan här inte visas i enheten l/min per 100 m.

Uppsamlingsområde 25581, Hammarby

Pumpstation 25581:1 mottar vatten som passerat mätare 2548e, 2558a, 2558b samt 2558c.

Mätarna 48e, 58a och 58c visar alla 0,0 l/min och 58b visar endast toppar vid regn. Område 15 väljs därför till hela uppsamlingsområdet 25581.

Område 15; 25581:1, 25581:2, 2548e, 2558a, 2558b och 2558c

Medelflödet i området är summan av flödet uppmätt i 25581:1 och 25581:2 som är 121,8 l/min. Delsträckan är 2815 m, varav 2745 m bergtunnel, vilket ger ett flöde i område 15 på 4,4 l/min per 100 m.

Uppsamlingsområde Södra Länken, Sickla

I Sickla finns 11 dränvattenmätare 2748a-h samt 27481:1, 27481:2 och 27481:3.

Hela området är påverkat av vatten som rinner in genom tunnelmynningarna vid regn. Inget uppmätt flöde bedöms vara representativt för respektive delsträcka. Precis innan pumpstationernas dränvattenmätare har vattnet en tendens att rinna åt 27481:1. Att dela in uppsamlingsområdet i vardera pumpstations upptagningsområde är inte heller det pålitligt. Hela uppsamlingsområdet väljs därför till att vara område 16. Flödena från mätare 48a, 48c, 48d och 48h räknas bort då de endast tar emot vatten från vägbanan utifrån tunneln eller från betongtunnlar.

Område 16; Sickla

Det uppmätta medelflödet är här summan av flödena genom 27481:1, 27481:2 och 27481:3, vilket är 70,9 l/min. Det ska subtraheras med flödet genom 48a, 48c, 48d och 48h, vilket blir 45,0 l/min. Det ger ett inläckande flöde på 26,0 l/min. Delsträckan är 2383 m, subtraktion av sträckorna för mätare 48a, 48c, 48d och 48h ger en bergtunnelsträcka på 970 m och flödet blir då 2,7 l/min per 100 m.