

# E4 Förbifart Stockholm

## Teknisk beskrivning

### Bilaga 4. PM Inläckageberäkningar

Rev	Ant	Ändring avser	Godkänd	Datum

Granskare	Godkänd av	Ort	Datum
Karl Persson	Therese Vestin	Solna	

Objektnamn	E4 Förbifart Stockholm
Entreprenadnummer	Tunnel norr
Entreprenadnamn	
Beskrivning 1	Bilaga 4
Beskrivning 2	PM Inläckageberäkningar
Beskrivning 3	
Beskrivning 4	
Status	Publicerad
Diarienummer	
Konstruktionsnummer	
Objektnummer	8448590
Projekteringssteg	
Statusbenämning	
Företag	Trafikverket/Bergab
Författare/Konstruktör	Thomas Wallroth, Sebastian Pokorny

Externnummer

## Innehåll

1	Inledning och syfte.....	3
2	Underlag .....	3
3	Metodik.....	3
	3.1 Inläckageprognos .....	3
	3.2 Statistisk modellering av osäkerhet.....	4
4	Gällande villkor avseende inläckage .....	5
5	Inläckage till bergtunnlar – teori .....	8
6	Tidigare prognoser av inläckage .....	9
7	Uppmätta inläckage i drivna tunnlar .....	11
	7.1 Utförande .....	11
	7.2 Mätresultat.....	12
8	Underlag för beräkningar av inläckage.....	14
	8.1 Inledning .....	14
	8.2 Delsträcka D10 (20/800 – 22/800).....	14
	8.3 Delsträcka D11 (22/800 – 24/000) .....	23
9	Beräkningar .....	28
	9.1 Inledning .....	28
	9.2 Delsträcka D10.....	28
	9.3 Delsträcka D11 .....	30
10	Förslag på nya villkor.....	30
11	Referenser .....	31

## Bilagor

Bilaga 4.1 Använda fördelningsfunktioner i Monte Carlo-simuleringar

## 1 Inledning och syfte

Vid utbyggnationen av E4 Förbifart Stockholm, mellan Lambarfjärden och södra Kälvesta, har det konstaterats att berget är mer genomsläppligt än vad som förutsetts vid tidigare tillståndsprovning av projektet. Trots omfattande tätningsåtgärder genom injektering samt att injekteringskonceptet utvärderats och ändrats i takt med att ny information framkommit om bergförhållanden, kommer de tidigare bedömda inläckagen inte att kunna innehållas för alla delsträckor.

Syftet med denna PM är att ta fram prognoser av slutliga inläckage av grundvatten till tunnlar under driftskedet, inklusive osäkerheter i dessa prognoser, för att ge underlag till förslag på nya begränsningsvärden alternativt riktvärden.

Prognoserna baseras på resultaten av utförda mätningar av inläckage inom de tunnelsträckor som färdigställts, samt beräkningar och bedömningar för återstående tunnelsträckor. Eftersom framtida inläckage kommer att vara beroende av planerade skyddsåtgärder i form av efterinjektering av färdiga tunnlar samt infiltration för att undvika skadlig grundvattensänkning har hänsyn, så långt förutsättningarna är kända, tagits till dessa faktorer.

## 2 Underlag

Som underlag för denna PM har använts data rörande grundvattennivåer, inläckage och infiltration redovisade i TMO samt rapporter från utförda infiltrationstester.

Övrigt använt underlag redovisas som referenser i kapitel 11.

## 3 Metod

### 3.1 Inläckageprognos

Den metod som använts för att bedöma slutligt inläckage av grundvatten inom en tunnelsträcka (kontrollsträcka) bygger på en summering av ett antal sinsemellan oberoende termer enligt följande samband:

$$Q_{tot} = (Q_1 + Q_2 + Q_3 - Q_4 + Q_5) \quad \text{ekvation 1}$$

- $Q_1$  Uppmätt summerat inläckage till kontrollsträcka.
- $Q_2$  Beräkning/bedömning av det kommande inläckaget till återstående ej drivna tunnlar.
- $Q_3$  Bedömning av tillkommande inläckage inom de tunnelavsnitt där ytterligare infiltration planeras.
- $Q_4$  Bedömning av den reduktion av inläckaget som förväntas som ett resultat av planerad efterinjektering.
- $Q_5$  Bedömt tillskott till inläckaget pga årstidseffekter på grundvattennivåer/grundvattenbildning.

Under den successiva framdriften av tunnlar har mätningar av inläckage regelbundet utförts i anlagda mätdammar ( $Q_1$ ). Eftersom mätningar under ett byggskede, med många olika pågående arbeten innebär olika felkällor har en löpande kvalitetssäkring av dessa mätningar varit viktig för att

säkerställa tillförlitliga mätresultat. Detta inläckage är för vissa tunnelsträckor påverkat av pågående infiltration.

För att bedöma inläckagen till de tunnelsträckor som ännu inte byggts ( $Q_2$ ) har erfarenheter från drivning och tätning av bergavsnitt med geologiska och hydrogeologiska förutsättningar som bedöms motsvara de som förväntas längs de nya tunnarna utgjort ett viktigt underlag. Dessutom har analytiska beräkningar utförts med indata från hydrogeologiska undersökningar och vald injekteringsdesign. Erfarenhetsmässiga bedömningar har generellt gjorts med hänsyn till grundvattenmagasinens karaktär.

Inom de avsnitt där uppmätta inläckage, trots omfattande förinjektering, idag är alltför höga och grundvattenpåverkan i omgivningen stor, planeras åtgärder i form av infiltration från markytan. Tillkommande infiltration för att höja grundvattennivåer kommer att ha som konsekvens att inläckaget av grundvatten i tunnarna ökar ( $Q_3$ ). Hur stor ökningen blir beror på lokala förutsättningar i respektive grundvattenmagasin i jord samt hur dessa magasin kommunicerar med bergmassan kring tunneln.

Inom ett antal tunnelavsnitt planeras efterinjektering i syfte att reducera de lokala inläckagen. Bedömningar har gjorts vilken reduktion av inläckaget som detta kan ge upphov till ( $Q_4$ ).

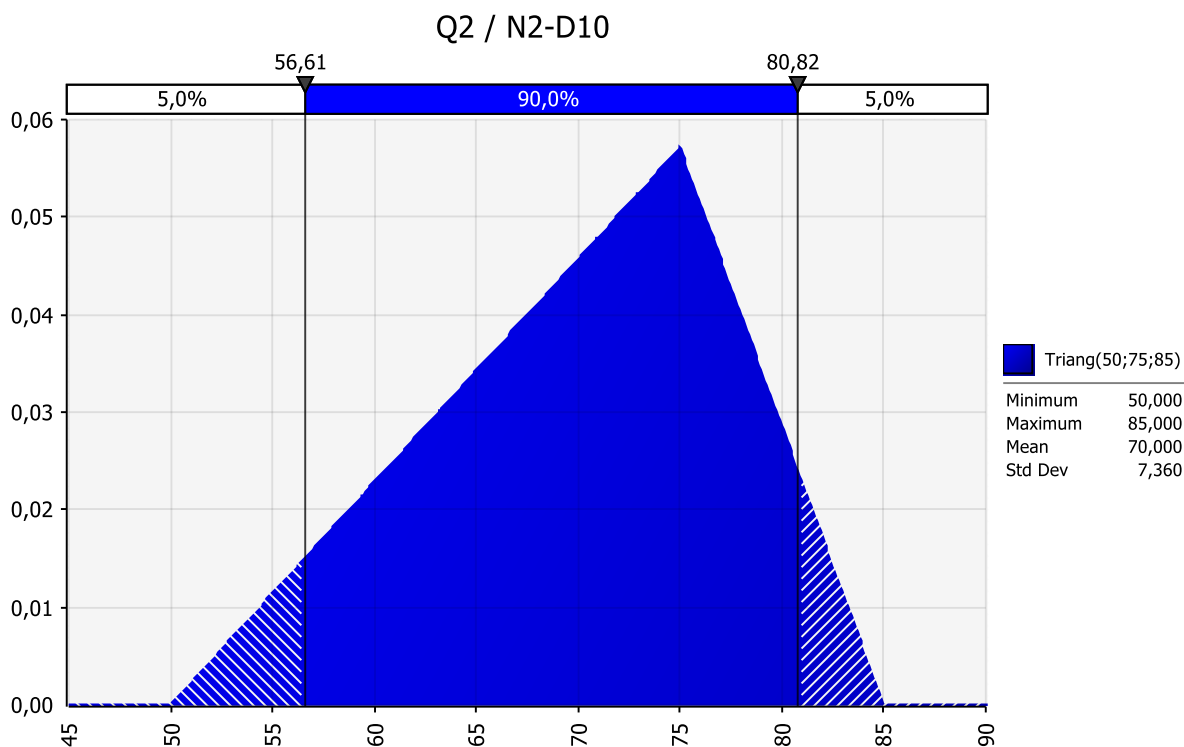
Det noteras inom vissa tunnelavsnitt en relativt stor variation i inläckagets storlek beroende på när under året som inläckagemätningen utförs. Mätningar då grundvattennivåer är som högst och grundvattenbildning som störst innebär ett högre inläckage jämfört med en tidpunkt då grundvattenbildning och nivåer är som lägst. Det finns dock få "opåverkade" delsträckor att utvärdera för årstidsvariationer, eftersom mätsträckorna i betydande omfattning varit påverkade av pågående drivning, av att grundvattennivåer varit avsakta pga tunnarna samt av efterinjektering.  $Q_5$  avser en bedömning av tillskottet under perioder med hög grundvattenbildning.

### 3.2 Statistisk modellering av osäkerhet

För att ta hänsyn till naturlig spridning i data samt olika systematiska osäkerheter i prognosen har en statistisk modellering (s k Monte Carlo-simulering) utförts. Det är en metod som baseras på att man simulerar ett stort antal modellresultat, där ingående parametrar slumpmässigt ansätts enligt statistiska fördelningsfunktioner som definierats för varje parameter ( $Q_1$ - $Q_5$ ). På detta vis representeras samtliga i ekvationen ingående osäkerheter och en resulterande fördelningsfunktion erhålls för det totala inläckaget inom den studerade tunnelsträckan.

Olika fördelningsfunktioner kan användas vid sådan simulering av osäkerheter och ofta bygger de valda funktionerna på faktiska mätdata. Förutom för  $Q_1$  saknas dock i detta fall underlag i form av mätdata för de olika termerna och inga passningar av funktioner till data har därför kunnat utföras. Fördelningsfunktioner för termerna i ekvation 1 har tagits fram av olika arbetsgrupper bestående av specialister inom hydrogeologi, injekteringsteknik och tunnelproduktion, utgående från information om grundvattenmagasin och utförda hydrauliska tester i dessa samt tätningsresultat i byggda tunnlar. För  $Q_1$  utgår de valda fördelningarna från mätdata och bedömningar av mätosäkerheter i mätdammar samt osäkerheter vid summering av inläckage på längre sträckor.

Triangelfunktioner har valts i första hand eftersom dessa är lättast att skatta vid ett sådant förfarande. För var och en av termerna som ingår i ekvation 1 har min-, max- samt mest sannolikt utfall skattats för respektive tunnelsträcka. Se Figur 1 för exempel på en triangelfördelning för en av termerna i utförda beräkningar.



Figur 1. Exempel på triangel fördelning för en term i beräkningarna.

Andra typer av fördelningsfunktioner (normalfördelning och PERT-fördelning) har diskuterats inom arbetsgrupperna och beräkningar har utförts. Inga signifikanta skillnader i resultat har erhållits och resultaten från dessa beräkningar redovisas ej i denna bilaga.

Monte Carlo-simuleringar har utförts vid upprepade tillfällen allt eftersom mer information och erfarenhet erhållits avseende tunneldrivning, tätning och infiltrationstester. Uppdateringarna har medfört att ingående termer  $Q_1$ - $Q_5$  och deras fördelningsfunktioner för olika tunnelsträckor ändrats. De simuleringar som presenteras i denna rapport bygger på gällande förutsättningar under hösten 2020.

Säkerheten i inläckageprognoser förväntas bli bättre allt eftersom tunnarna och infiltrationsanläggningarna färdigställs. Med tiden kommer effekterna av planerad efterinjektering och tillkommande infiltration ( $Q_4$  respektive  $Q_3$ ) att vara inkluderade i det inläckage som faktiskt mäts vid en viss tidpunkt ( $Q_1$ ) då dessa åtgärder redan genomförts. Inläckagemätningar utförda vid den tid på året då grundvattennivåer är som högst och grundvattenbildning som störst inkluderar därmed termen  $Q_5$ , som är ansatt att svara mot ett tillskott i förhållande till torrare förhållanden under sommaren.

## 4 Gällande villkor avseende inläckage

I tillståndet för vattenverksamhet (deldom 2014-12-17 i mål nr M 3346-11) har Förbifart Stockholm delats in i villkorssträckor. Denna PM behandlar endast inläckage inom delsträckorna D10 och D11, för vilka Trafikverket söker nya villkor avseende inläckage, se Figur 2.

D10            längdmätning 20/800 – 22/800

D11            längdmätning 22/800 - 24/000

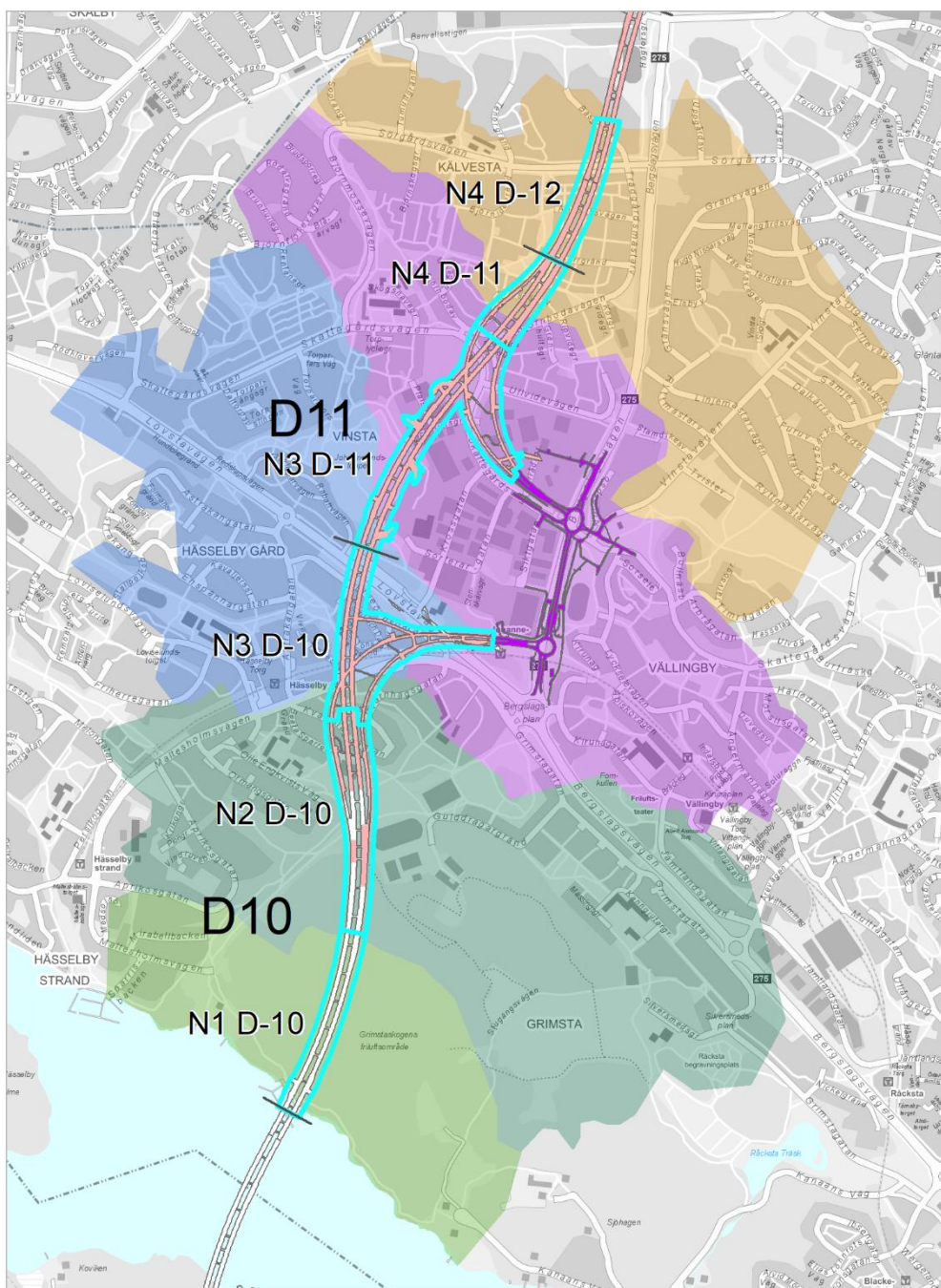
I det gällande tillståndet gäller följande begränsningsvärden för tillåtet inläckage:

D10- 280 L/min











D11- 220 L/min

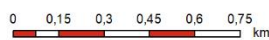
Inläckagevillkoret omfattar samtliga berganläggningar inom respektive delsträcka, dvs de båda huvudtunnlarna, ramptunnlarna och övriga tunnlar och schakt i berg. Inläckage till tunnelmynningar undantas från villkoret.

Delsträckorna har definierats framförallt med hänsyn till praktiskt utförande av mätningar i tunnlar, och har därför ingen direkt koppling till olika avrinningsområden och grundvattenmagasin. I Figur 2 visas delsträckorna samt avrinningsområden kring de aktuella delarna av Tunnel norr, N1-N4. För uppföljningen av inläckage under byggskedet har olika kontrollsträckor definierats. De som berör delsträckorna D10 och D11 benämns, N1-D10, N2-D10, N3-D10, N3-D11 samt N4-D11.



Teckenförklaring

- |  |   |
|--|---|
|  Kontrollsträckor             |  N1  |
|  Utspång bergtunnel t.o.m v50 |  N2  |
|  Ej utspångd bergtunnel       |  N3a |
|  Trafikplatser ovan mark      |  N3b |
|  Gräns för delsträckor        |  N4  |



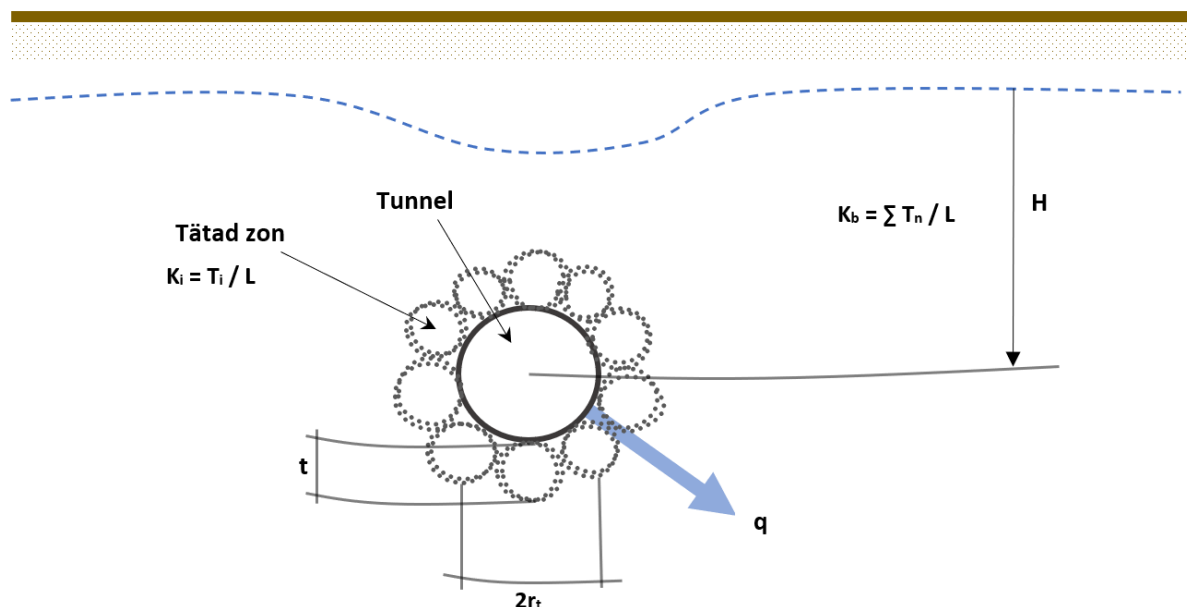
© Open Stockholm,

Figur 2. Indelning i delsträckor D10-D11 samt av byggverksamheten berörda avrinningsområden. Av figuren framgår vilka tunneldelar som återstår att driva.

## 5 Inläckage till bergtunnlar – teori

Inläckaget till en tätad bergtunnel beror på samspelet mellan ett antal olika faktorer. I grunden är det bergets vattenförande förmåga som tillsammans med tätningseffekten från injekteringen och det pådrivande tryck som finns i spricksystemen som avgör inläckagets storlek. Dessutom spelar tillgången på vatten en betydande roll i sammanhanget. Tillgången på vatten beror på vilka grundvatten- eller ytvattenmagasin som tunneln passerar under och i vilken utsträckning som dessa magasin kommunicerar hydrauliskt med bergmassan på tunnelnivå.

Analytiska samband som används för att approximativt beräkna inläckaget till en bergtunnel bygger på förutsättningen att man kan betrakta tunneln som en horisontell brunn (Figur 3). Metoderna förutsätter generellt att berget kan betraktas som ett homogent och isotropt poröst medium.



Figur 3. Inläckage  $q$  till en förinjekterad tunnel (Modifierad från Gustafson, 2009).

En vedertagen ekvation för beräkning av inläckage till en tätad tunnel är:

$$q = \frac{2\pi K_b H}{\ln \frac{2H}{r_t} + \left(\frac{K_b}{K_i} - 1\right) \ln \left(\frac{1+t}{r_t}\right) + \xi} \quad \text{ekvation 2} \quad (\text{Gustafson, 2009})$$

där  $q$ =inläckage ( $\text{m}^3/\text{s m}$ )

$K_b$ = den otätade bergmassans hydrauliska konduktivitet ( $\text{m/s}$ )

$K_i$ = medelkonduktivitet i den tätade zonen kring tunneln ( $\text{m/s}$ )

$H$ = tryckhöjd ( $\text{m}$ ) mätt från mitten av tunneln

$r_t$ = ekvivalent tunnelradie ( $\text{m}$ )

$t$ =medeltjocklek på tätad zon ( $\text{m}$ )

$\xi$ =skinfaktor (-)



Skinfaktorn orsakas av spänningskoncentrationen kring tunneln samt av att sprickorna närmast tunneln tätas av utfällningar vid grundvattnets kontakt med luft.

Om två tunnelrör ligger förhållandevis nära varandra, kan de betraktas som en och samma hydrauliska enhet. Och man kan då istället beräkna inläckaget för en större ekvivalent tunnel. Den ekvivalenta tunnelradien beräknas då som

$$r_t = \sqrt{\frac{A_1 + A_2}{\pi}} \quad \text{ekvation 3}$$

där  $A_1$  och  $A_2$  är areorna för respektive tunnelrör.

Bergmassans vattenförande förmåga ( $K_b$  i ekvation 2) kan variera kraftigt längs en tunnelsträcka beroende på omfattning av uppsprickning och sprickornas egenskaper. Förekomst av enstaka zoner med betydande uppsprickning och hög vattenförande förmåga i kombination med ovanliggande stora grundvattenmagasin kan medföra mycket höga inläckage på korta sträckor. Ett annat förekommande problem med sprickzoner, där sprickorna i olika utsträckning är lerfyllda, kan vara att lerfyllnaden spolats ut av inströmmande vatten, vilket successivt ökar inläckaget.

Vilken konduktivitet som kan uppnås i det injekterade berget,  $K_i$ , beror på en samverkan av flera olika faktorer, relaterade till bergsprickornas och injekteringsmedlets egenskaper samt till injekteringsutförandet. Tätningsgraden,  $K_b/K_i$ , som uppnås beror främst på det otätade bergets hydrauliska konduktivitet, antal injekteringsomgångar och typ av injekteringsmedel. Avgörande är också att med injekteringsborrhålen träffa på tillräckligt många vattenförande och hydrauliskt konnekterade delar av spricksystemet. Antal dominerande sprickriktningar, sprickornas orientering i förhållande till tunnelns riktning och sprickfyllnader samt de öppna sprickornas uthållighet är geologiska faktorer som styr vilken tätningsgrad som uppnås.

Inläckaget varierar enligt ekvation 2 nära linjärt med tryckhöjden, dvs rådande grundvattentrycket i bergets sprickor relativt tunnelns nivå. Detta är en parameter som vid en given tidpunkt och en bestämd position längs tunneln kan bedömas med relativt stor säkerhet baserat på grundvattennivåmätningar inom berört tunnelområde. Det faktiska inläckaget beror emellertid även på kommunikationen mellan de ovanliggande jordmagasinen och bergmagasinet varifrån läckaget sker till tunneln. En analytisk beräkning enligt ovan bygger på att det pådrivande grundvattentrycket,  $H$ , inte förändras som ett resultat av flödet av grundvatten mot tunneln och att det finns oändligt med grundvatten tillgängligt. I verkligheten sker en reduktion av tryckhöjden genom den grundvattenpåverkan som generellt uppkommer i både berg och jord.

Känslighetsanalyser för ekvation 2 kan användas för att studera vilka parametrar som har störst påverkan på inläckaget. Framförallt är det bergmassans hydrauliska konduktivitet men även den tätade zonens konduktivitet som starkt påverkar inläckagets storlek. En effektiv hydraulisk konduktivitet som är 10 gånger högre än den förväntade inom normala intervall för kristallin berggrund ( $10^{-8}$  -  $10^{-7}$  m/s) ger upphov till upp till fyra gånger så högt inläckage per längdmeter tunnel.

En skillnad beroende på vilken tätningseffekt man åstadkommer kan på motsvarande sätt motsvara en variation i inläckage med en faktor 2-3, även vid en mycket väl utförd injektering.

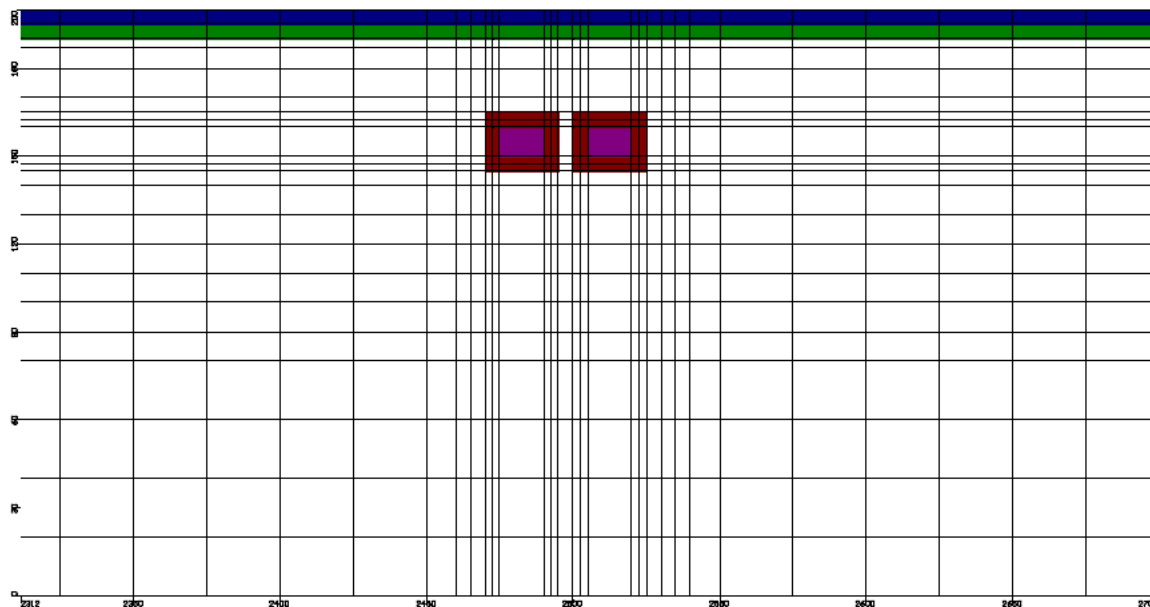
## 6 Tidigare prognoser av inläckage

Prognoser av inläckage som görs i synnerhet i ett tidigt skede av ett tunnelprojekt är behäftade med stora osäkerheter. De parametervärden som används i teoretiska beräkningar är inga konstanter utan varierar i hög grad. Bergets vattenförande förmåga är starkt skalberoende och har en variation med åtskilliga tiopotenser och man brukar ofta illustrera detta genom att redovisa den statistiska

spridningen, exempelvis med kumulativa fördelningsdiagram, där sannolikheten för att över- eller underskrida ett visst värde kan utläsas. Erfarenheter från ett flertal byggda undermarksanläggningar visar att det värde på effektiv hydraulisk konduktivitet som bör användas i ekvation 2 ligger någonstans mellan de geometriska och aritmetiska medelvärdena. Inte heller kan vare sig den hydrauliska konduktiviteten inom den tätade zonen,  $K_i$ , eller tjockleken på den tätade zonen ses som parametrar som med säkerhet kan bestämmas baserat på en injekteringsdesign, trots stora framsteg inom injekteringsforskningen.

Genom användning av numeriska beräkningsmodeller kan man dels ta hänsyn till att bergmassan inte är homogen och isotrop, dels kan tillgången på grundvatten beaktas genom att kommunikation mellan berg och ovanliggande jordlager och grundvattenbildning inkluderas, så att hydraulisk påverkan kring tunneln och dess återkoppling mot inläckaget studeras. Resultaten blir dock aldrig bättre än vad som medges av tillgången på relevant indata och en konceptuell förståelse av den miljö där tunneln byggs. Möjligheter att göra tillräckligt omfattande undersökningar inför byggnationen utgör ofta en begränsning för kvaliteten på de prognoser av inläckage som görs.

För beräkningar av inläckaget till bergtunnlarna upprättades inför tidigare ansökan (M3346-11) numeriska tvådimensionella "tvärsnittsmodeller" längs hela sträckan (Trafikverket 2011a). Modellerna som användes återger topografi, jordlagerföljder och berggrund konceptuellt där varje modell (se exempel i Figur 4) representerar en 100 m-sträcka längs vägtunnlarna. På de 100 m-sträckor där sprickzoner prognostiserades inkluderades dessa i den aktuella modellen. Den zon runt tunnelrören som representerar det förinjekterade berget ansattes 5 m tjock. På de sträckor där ramptunnlar ansluter omfattade modellerna även geometrier för dessa tunnlar.



Figur 4. Lageruppbyggnad för en 50 m djup tunnel (huvudtunnlar) använd i numeriska beräkningar. Grön och blå färg överst representerar jordlager. (Bilden kommer från ansökningshandlingarna till M3346-11, Trafikverket, 2011b).

Som underlag för ansatta värden på bergmassans vattenföring använde Trafikverket (2011b) en sammanställning av resultat från olika hydrogeologiska undersökningar (vattenförlustmätningar i kärnborrhål) samt data från brunnar i SGUs brunnarsarkiv.

Följande värden på hydraulisk konduktivitet  $K$  användes i de hydrogeologiska beräkningarna på den aktuella delen av Förbifart Stockholm:

20/800 – 23/400  $K_b = 1 \cdot 10^{-8}$  m/s

23/400 -26/000  $K_b = 5 \cdot 10^{-8}$  m/s

För prognostiserade sprickzoner användes  $K = 2 \cdot 10^{-6}$  m/s.

Två olika täthetklasser användes, vilka representerar en konduktivitet på den injekterade zonen,  $K_i = 1 \cdot 10^{-8}$  respektive  $3 \cdot 10^{-9}$  m/s.

För jordlagren användes representativa konduktivitetsvärden för olika jordmaterial. Grundvattenbildningen antogs allmänt till 100 mm/år, men denna ökades i vissa beräkningssituationer till 200 mm/år.

Jämförelser gjordes av modellresultaten med analytiska beräkningar med ekvation 1. En god överensstämmelse rapporterades då skinfaktorn  $\xi$  sattes i intervallet 1,5 till 2,5.

## 7 Uppmätta inläckage i drivna tunnlar

### 7.1 Utförande

Mätningar av mängden inläckande grundvatten under byggskedet sker vid anlagda mätdammar (Figur 5), i pumpgropar samt vid tunnelfronten (stufmätningar).



Figur 5. Mätning av inläckage på tunnelsträcka.

Kvalitetssäkring genom kontroller av utförandet av mätningarna har gjorts under byggskedet för att erhålla tillförlitliga data till uppföljning av villkoren för inläckage och för att man vid behov ska kunna utvärdera genomförda förändringar i injekteringsutförandet.

Under byggskedet blandas det inläckande grundvattnet i tunnarna med den stora mängd processvatten som används vid tunneldrivningen, framförallt vid borrhingsarbeten. Grundvatten och processvatten på olika delsträckor samlas upp i tillfälliga pumpgröpar och pumpas från bergtunnlarna upp till etableringsytor. Ofta sker pumpningen i flera steg. I tvärtunnlar mellan de båda tunnelrören används stoppvallar för att förhindra att vatten rinner mellan tunnelrören. Generellt förekommer en fördröjning mellan utsprängning av tunnel till dess att infrastruktur för mätning är på plats.

För att undvika påverkan på inläckagemätningar från drivning och andra arbeten har stopp i produktionen med jämna intervall genomförts under 24 timmar. Syftet är att processvatten så långt det är praktiskt möjligt utesluts från de flöden som mäts efter stoppen. Vid 3-4 tillfällen per år har mätningar utförts efter längre produktionsstopp (72 timmar). Under sommaren 2020 samt under julen 2020 genomfördes ännu längre produktionsstopp vilket möjliggjort mätningar av högre kvalitet. Mätningarna under sommaren representerade en period med låga grundvattennivåer och liten grundvattenbildning medan mätningarna under julen representerade höga grundvattennivåer och stor grundvattenbildning. Skillnaderna i förhållanden speglas i olika höga inläckage längs vissa sträckor av tunnarna.

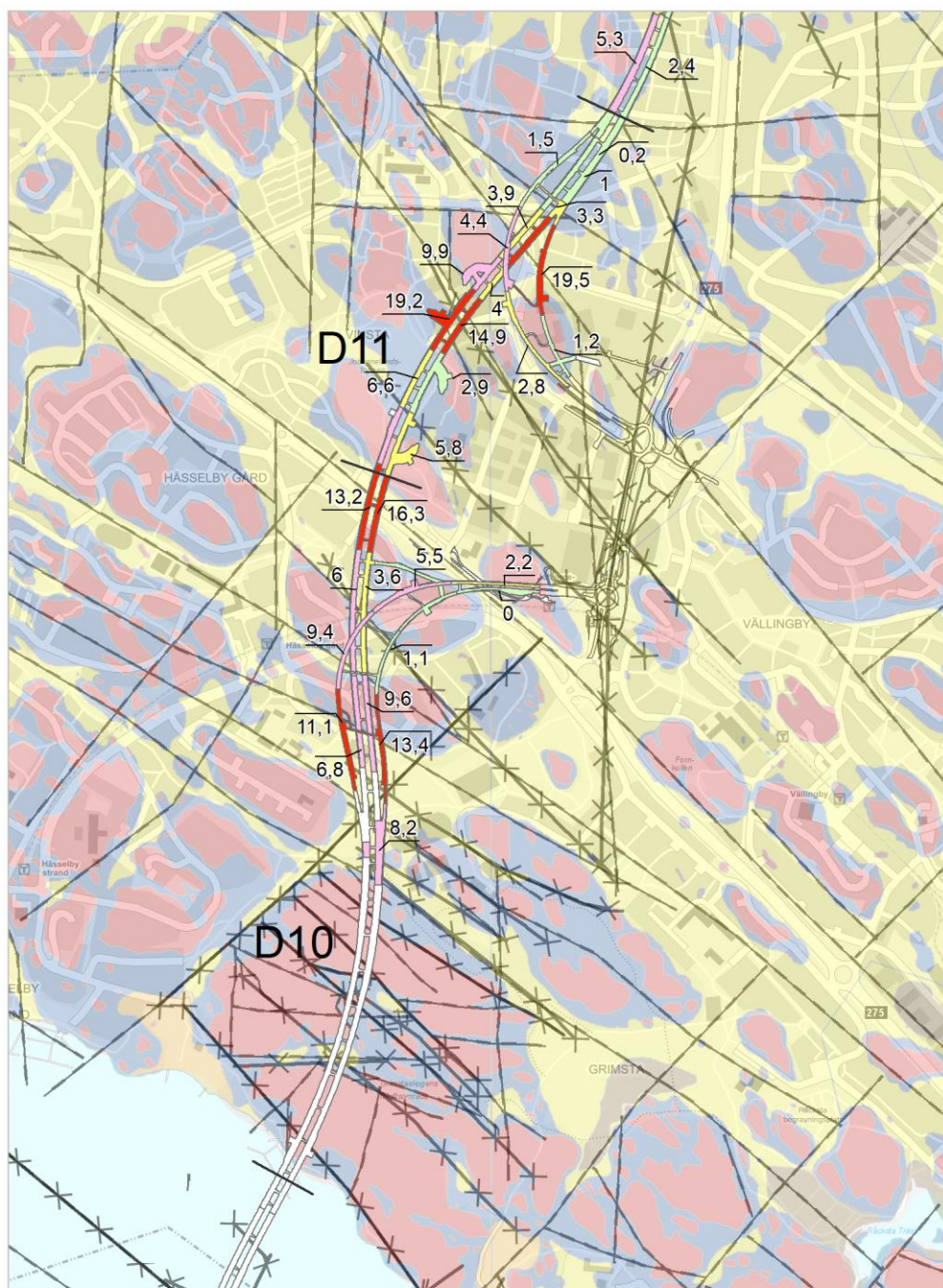
Inläckagen som uppmätts i respektive mätdamm har följts upp löpande under byggtiden. Beroende på bl a yttre påverkan, samt praktiska svårigheter att i en byggmiljö erhålla representativa data med stor noggrannhet, erhålls en variation i tiden i erhållna mätvärden. Variationerna är normalt som störst tidigt under drivningen och brukar minska med tiden så att representativa och tillförlitliga data kan erhållas. En variation i tiden kvarstår dock normalt även för tunnlar i driftskedet, genom att inläckaget är en funktion av trycknivåer och grundvattenbildning som är årstidsberoende.

Under byggtiden har mätdammar inom färdigdrivna tunnelsträckor, där man varit nöjd med tunnarnas täthet, successivt avvecklats för att möjliggöra inredningen i tunnarna inför driftskedet. Där detta skett har inläckande grundvatten samlats in och mätts i pumpgröpar eller vid kvarvarande, uppsamlade mätdammar.















## 7.2 Mätresultat

Under den successiva framdriften av bergtunnlarna har med jämna intervall summerade inläckage inom kontrollsträckor sammanställts och jämförts med prognostiserade värden. Ett vanligt sätt att ange storleken på inläckaget till en tunnel oberoende av tunnelns längd är att redovisa ett specifikt inläckage uttryckt i enheten liter per minut och 100 m tunnellängd. På kartan i Figur 6 redovisas en sammanställning av det specifika inläckaget inom utsprängda delar av D10 samt D11.

På kartan framgår genom olika färgmarkeringar de delsträckor där högre specifika inläckage uppmätts än vad som prognostiserats. De rödfärgade avsnitten betecknar tunneldelar med inläckage större än 10 L/min och 100 m tunnel. Avsnitten är tydligt knutna geografiskt till några av de dalgångar som tunnarna passerar under. Berget längs dessa dalgångar är generellt av sämre kvalitet än berget i områdena med högre belägen bergyta. Det högre inläckaget till bergtunnlarna inom dessa passager är dels ett resultat av det mer vattenförande och svårtätade berget, dels ett resultat av de stora grundvattenmagasin som finns i de överlagrande jordlagren.



Teckenförklaring

- |   |                       |   |                          |   |                    |
|---|-----------------------|---|--------------------------|---|--------------------|
|  | Sprickzoner           |  | Inläckage >10 l/min/100m |  | Sand               |
|  | Svaghetszoner         |  | Över prognos             |  | Organiskt material |
|  | Gräns för delsträckor |  | Nära prognos             |  | Lera               |
|  | Bergtunnel            |  | Under prognos            |  | Isälvsavlagring    |
|   |                       |   |                          |  | Morän              |
|   |                       |   |                          |  | Berg               |



© Open Stockholm, Lantmäteriet, Geodatasamverkan

Figur 6. Specifika inläckage för enskilda tunnelsträckor uttryckt i enheten L/min/100 m. Huvudsakligen avser redovisade siffror mätningar utförda under julupphållet 2020.

## 8 Underlag för beräkningar av inläckage

### 8.1 Inledning

I detta kapitel redovisas skattningen av fördelningsfunktioner för delsträckorna. Redovisningen följer indelningen i kontrollsträckor beskriven i kapitel 4. Fördelningsfunktioner för Monte Carlo-beräkningarna redovisas förutom i avsnitten nedan i Bilaga 2.1.

Uppmätta inläckage för de båda delsträckorna D10 och D11 under byggskedet uppdelat på kontrollsträckor redovisas i olika diagram. Diagrammen avser summeringar av inläckagen i mätdammar och tunnelstuffer inom aktuella tunnelsträckor. Den variation i tiden som uppkommer beror, förutom på osäkerheter i de faktiska mätningarna, dels på att tunnlar blir längre och nya mätdammar tillkommer, dels på effekter av skillnader i grundvattenbildning, infiltration i brunnar i tunnarnas närhet samt utförda tätningsåtgärder. Olika typer av påverkan på mätningar som görs under byggtiden samt felkällor som induceras vid flöde av vatten mellan olika tunneldelar medför att en bedömning av osäkerheter bör inkluderas för termen  $Q_1$  i ekvation 1. Detta sker genom att ansätta fördelningsfunktioner även för  $Q_1$ .

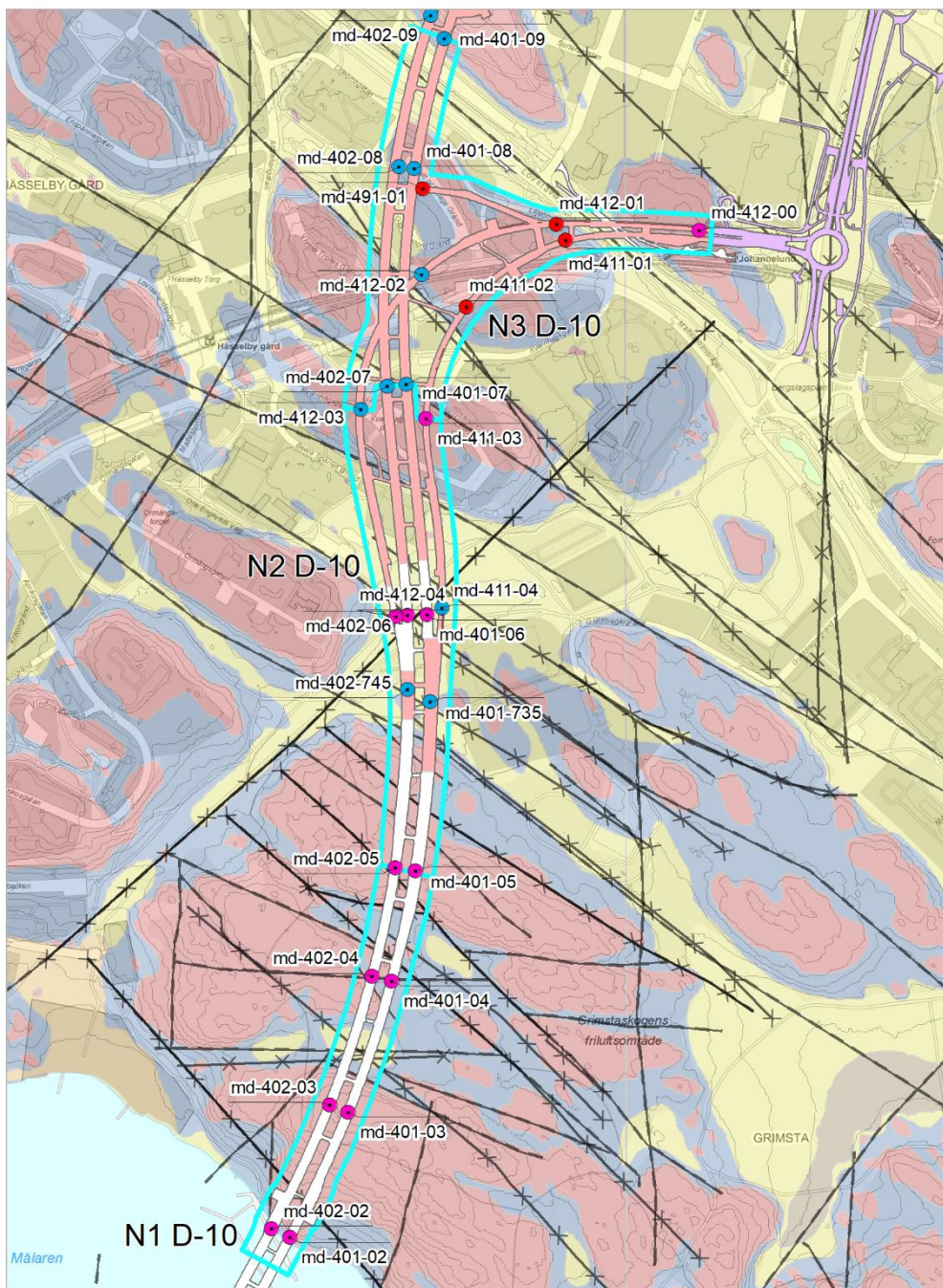
Grunden för ansatta fördelningsfunktioner för  $Q_2$ - $Q_5$  för respektive kontrollsträcka är förutsättningar som beror på grundvattenmagasinens karaktär, naturliga variationer i grundvattennivå, grundvattenpåverkan som uppkommit kopplat till byggnationen, tätningsresultat i drivna tunnlar, resultat av utförda infiltrationsförsök samt omfattning och förväntat resultat av planerad efterinjektering.  $Q_2$  baseras även på resultat av analytiska beräkningar.

De fördelningsfunktioner som redovisas i detta kapitel avser en situation under hösten 2020, då grundvattenbildningen var relativt liten och grundvattennivåerna ännu inte börjat stiga i enlighet med normal årstidsvariation. Mätningar av inläckage utförda vid årsskiftet 2020/21 som visas i diagrammen representerar en situation där det under en tid kommit mycket nederbörd och grundvattenbildningen varit hög. Dessa data har inte använts i fördelningsfunktionen för  $Q_1$  men har utnyttjats för att kontrollera gjorda antaganden om årstidseffekter ( $Q_5$ ) och förutsedda effekter av planerad infiltration ( $Q_3$ ).


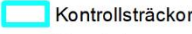


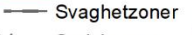
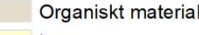

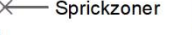

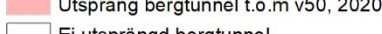

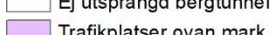

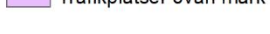
### 8.2 Delsträcka D10 (20/800 – 22/800)

Delsträckan indelas i kontrollprogrammet i tre kontrollsträckor; från söder N1-D10, N2-D10 samt N3-D10. Bergdrivningen inom den sistnämnda sträckan är avslutad, medan den pågår fortfarande inom N2-D10. Inom N1-D10 har ännu ingen tunneldrivning påbörjats.

Inläckage har under byggtiden mätts fortlöpande i mätdammar i enlighet med beskrivningen i avsnitt 7.1. Mätdammarnas lägen kan ses i Figur 7.



**Teckenförklaring**

- |  |  |  |
|--|--|--|
|  Mätbarr (Aktiv)                      |  Kontrollsträckor |  Sand               |
|  Mätbarr (Inaktiv)                    |  Svaghetszoner    |  Organiskt material |
|  Mätbarr (Avslutad)                   |  Sprickzoner      |  Lera               |
|  Utsprängd bergtunnel t.o.m v50, 2020 |  |  Morän              |
|  Ej utsprängd bergtunnel              |  |  Berg               |
|  Trafikplatser ovan mark              |  |  |



0 75 150 225 300 375 Meter

© Open Stockholm, Lantmäteriet, Geodatasamverkan

Figur 7. Karta som visar geologiska förhållanden samt lägen för mätbarrar på delsträcka D10.

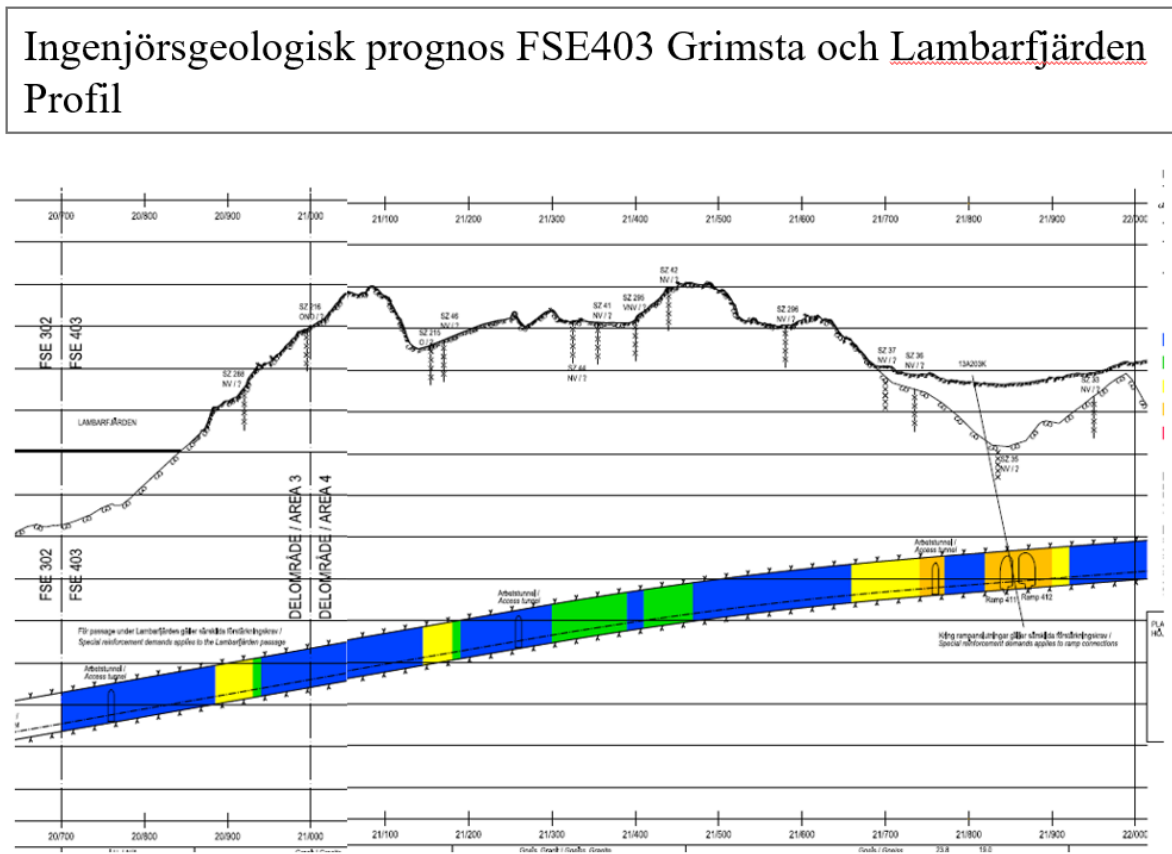
### 8.2.1 Kontrollsträcka N1-D10

Inom kontrollsträcka N1-D10 har ingen tunneldrivning skett. Detta innebär att  $Q_1=0$ . Prognoser av det blivande inläckaget av grundvatten,  $Q_2$ , baseras på analytiska beräkningar samt erfarenheter från hittills byggda tunnlar. Ingen separat bedömning av  $Q_3$ - $Q_5$  görs, utan allt inkluderas i skattningen av  $Q_2$ .

Den största delen av sträckan, där tunnellängden är vardera 670 m i de båda tunnelarna, utgörs av ett bergområde med höga marknivåer och små jorddjup. Grundvattentillgången kan med hänsyn till detta förväntas vara relativt begränsad. I den södra delen av sträckan går tunnelarna dock under Lambarfjärden med i princip oändlig tillgång på vatten. Bergtäckningen över de båda tunnelrören varierar mellan ca 65 och 80 m, förutom längst i söder under vattnet där den är något mindre. Information om grundvattennivåer inom bergområdet saknas i princip helt, men de förutsätts följa topografin, vilket innebär höga grundvattentryck på hela sträckan.

Ett kompletterande undersökningsprogram har genomförts inom Grimsta naturreservat under 2019-2020 omfattande resistivitetmätningar och kärnbrorrhål för att karakterisera en identifierad svaghetszon (Trafikverket, 2020). I kärnbrorrhålen har vattenförlustmätningar utförts som underlag för bedömning av bergets vattenförande egenskaper. Höga vattenförluster uppmättes i anslutning till borrhålens passage av ett antal strukturer i berget med öppna sprickor. Bedömningen som gjordes var dock att de vattenförande strukturerna var distinkta och lätta att täta.

Den samlade ingenjörsgelogiska tolkningen av utförda undersökningar visas i Figur 8 i form av en ingenjörsgelogisk prognos. Prognosen anger att tunnelarna förväntas passera ett större antal svaghetszoner, men att var och en av dem är förhållandevis smala.



Figur 8. Ingenjörsgelogisk prognos för tunnlar under Grimstaskogen (Trafikverket, 2020)



Beräkningar av inläckage till tunnelarna har utförts med den analytiska modell enligt ekvation 2 som redovisas i kapitel 5 (Gustafson, 2009). Modellen förutsätter att grundvattennivån inte sänks på grund av tunnelarnas dränering, vilket normalt leder till en överskattning av inläckaget. Förutsättningen kan emellertid antas gälla närmast Lambarfjärden. Normalt brukar man anse att det representativa värdet på hydraulisk konduktivitet i den här typen av beräkningar ligger någonstans mellan geometriskt och aritmetiskt medelvärde.

Med antagande att en normal grundvattenyta inom bergplinten ligger något eller några tiotal meter under markytan, har en tryckhöjd på 50 m valts för beräkningarna. I basfallet i beräkningen har den hydrauliska konduktiviteten satts till  $6 \cdot 10^{-8} \text{ m/s}$ , motsvarande medianvärdet av mätningarna i det utförda kärnborrhålet. Detta är betydligt lägre än uppmätt vattenförande förmåga inom svaghetszonerna och även lägre än statistiska medelvärden för borrhålet, men har valts att svara mot genomsnittliga representativa förhållanden på sträckan.

Basfallet utgörs av följande indata:

$$K_b = 6 \cdot 10^{-8} \text{ m/s}$$

$$K_i = 5 \cdot 10^{-9} \text{ m/s}$$

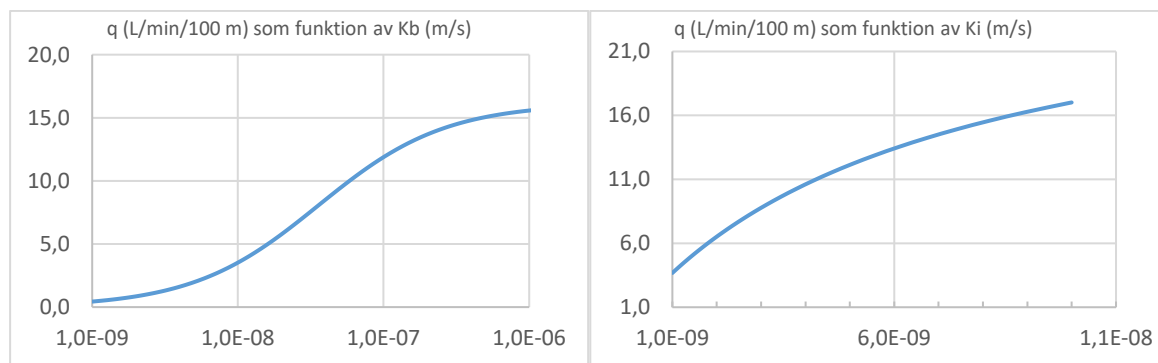
$$H = 50 \text{ m}$$

$$r_t = 6,3 \text{ m}$$

$$t = 5 \text{ m}$$

$$\xi = 2$$

Detta ger ett inläckage på ca 10 L/min/100 m för vart och ett av tunnelrören. En känslighetsanalys för variation i ett par av parameterintervalen visas i Figur 9. Som framgår är känsligheten stor för relativt små skillnader i vattenförande förmåga i både bergmassan och den tätade zonen kring tunneln.



Figur 9. Känslighetsberäkningar för inläckage med ekvation 2 där bergets hydrauliska konduktivitet respektive konduktiviteten i den tätade zonen har varierats medan övriga indata hållits konstanta.

Om man med hänsyn till det förhållandevis korta avståndet mellan tunnelrören i bergplinten bedömer att dessa kommer att fungera som en och samma hydrauliska enhet, kan inläckaget med ekvation 2 beräknas för en ekvivalent radie beräknad med ekvation 3. En beräkning med i övrigt samma indata som tidigare och en ekvivalent tunnelradie 8,9 m ger ett totalt inläckage på ca 12 L/min /100 m.

En bedömning av det blivande inläckaget till de båda tunnelrören kan också basera sig på erfarenheter från drivna tunnlar. I möte med injekteringspecialist (Stille, B; pers komm) gjordes bedömning att med nu använd injekteringsmetodik kan tunnelarna vid prognostiserade geologiska och hydrogeologiska förhållanden tätas till i medelvärde 6-7 L/min och 100 m tunnelrör.

Inläckaget till de båda tunnlarna på sträcka N1-D10 (670 m) har sammanfattningsvis bedömts på olika sätt:

- Analytisk beräkning för två separata tunnlar:  $(10+10 \text{ L/min}) \cdot 6,7 = 134 \text{ L/min}$
- Analytisk beräkning med två tunnlar som en hydraulisk enhet:  $12 \text{ L/min} \cdot 6,7 = 80 \text{ L/min}$
- Empirisk bedömning baserad på använd injekteringsmetodik:  $2 \cdot (6-7 \text{ L/min}) \cdot 6,7 = 80-94 \text{ L/min}$

Den första siffran avseende inläckage per 100 m tunnel bedöms vara högre än den långsiktigt tillgängliga mängden grundvatten i berget. Den kan emellertid vara representativ för situationen närmast och under Lambarfjärden, där dels förväntas dåligt och eventuellt svårtätat berg, dels stora mängder tillgängligt vatten. Den empiriskt baserade bedömningen antas vara mest sannolik, men osäkerheterna är stora eftersom det endast finns begränsat med information om förhållandena på tunnelsträckan.

Min-värdet i den triangulära fördelningsfunktionen har valts utifrån det tidigare prognostiserade inläckaget på kontrollsträckan, med specifikt inläckage 4,3-4,7 L/min/100 m. Max-värdet tar hänsyn till de stora osäkerheterna om faktiska förhållandena och risken att det kan uppkomma stora inläckage längst i söder där tunnlarna går in under Lambarfjärden. Den empiriskt baserade bedömningen har valts som normalvärde i fördelningsfunktionen.

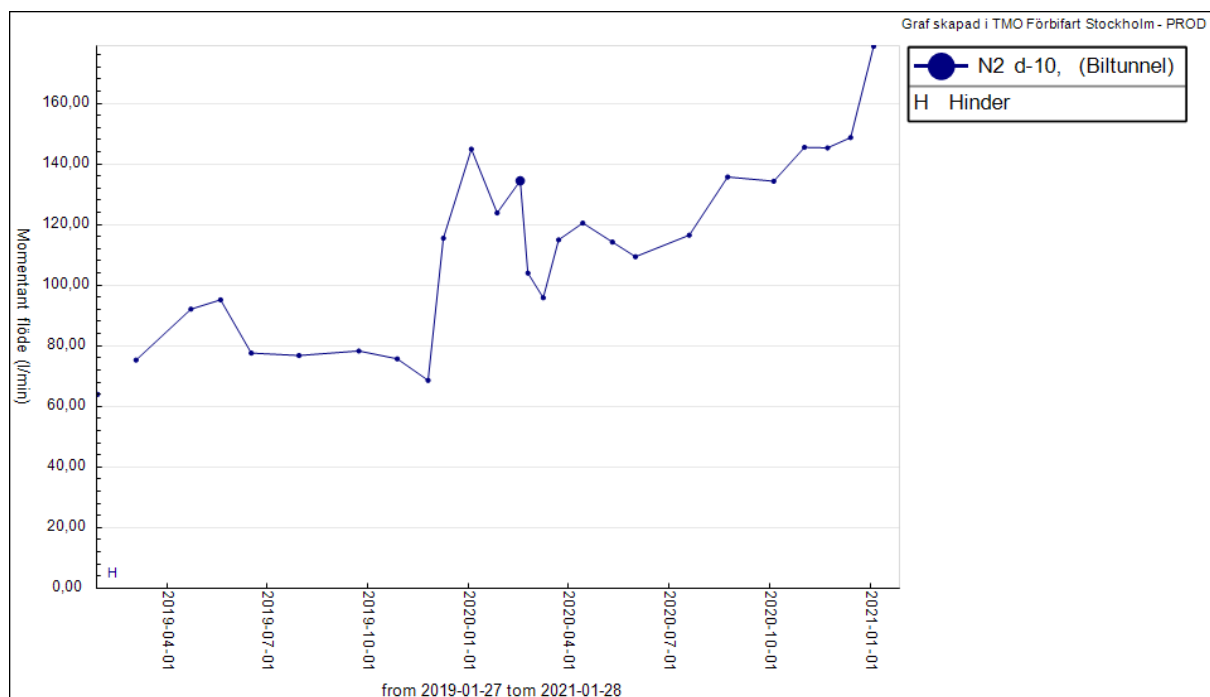
Data till fördelningsfunktionen för  $Q_2$  redovisas i Tabell 1.

Tabell 1. Data till triangulär fördelningsfunktion för  $Q_2$  för N1-D10

	min	normal	max
$Q_2$ (inläckage i ej utsprängda tunnlar)	60	90	120

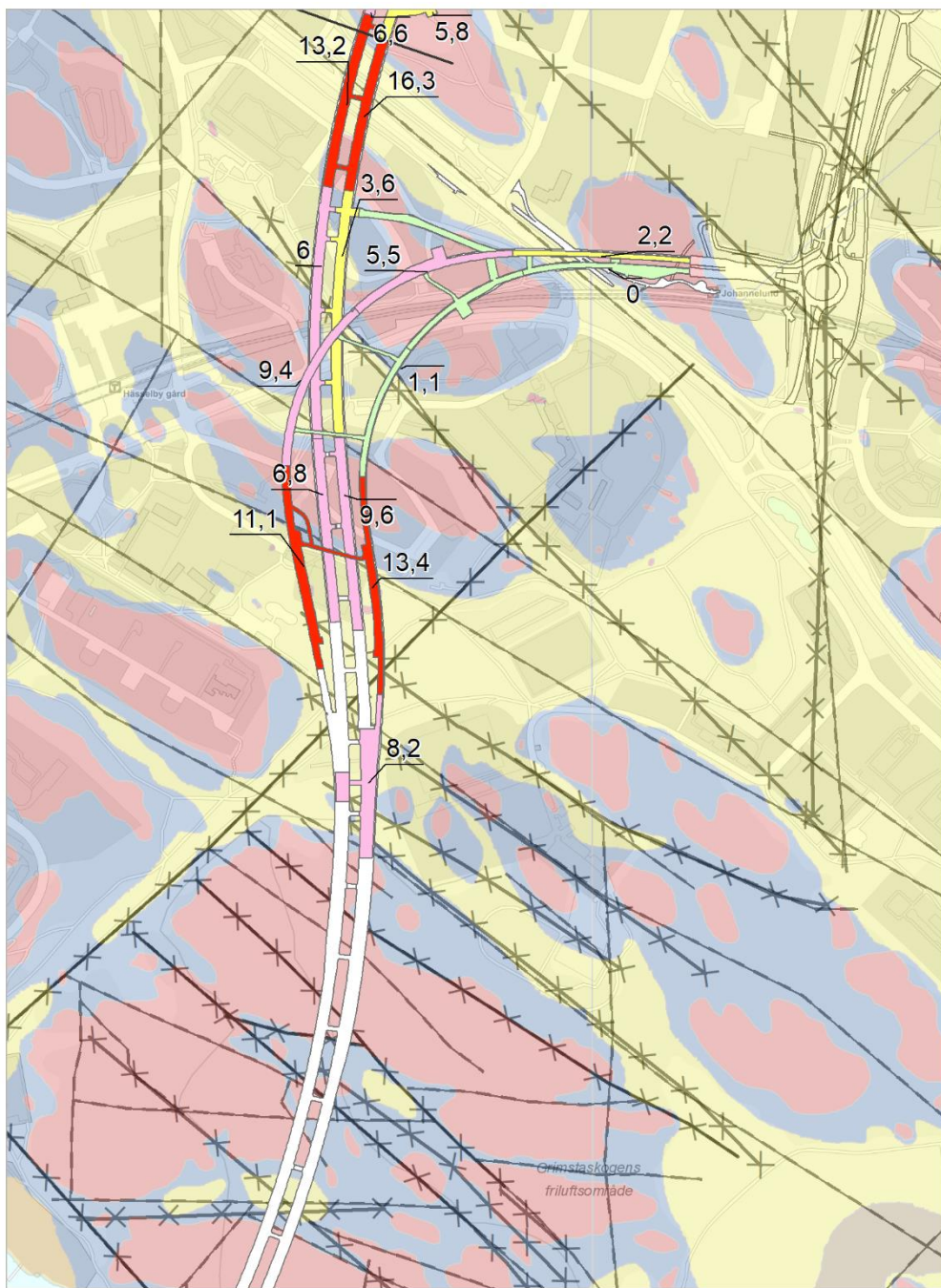
### 8.2.2 Kontrollsträcka N2-D10

Inom kontrollsträcka N2-D10 har tunneldrivningen färdigställt inom den norra delen, och det återstår vid årsskiftet 2020/21 en total tunnelsträcka av ca 600 m att spränga ut. Detta omfattar huvudtunnlar samt ett större bergrum vid anslutning till en ramptunnel. Bergkvaliteten inom dalgången är dålig och vattenföringen hög. Det totala inläckaget på hittills utsprängda delar av kontrollsträcka N2-D10 som funktion av tiden redovisas i Figur 10. Inläckaget är betydligt högre än vad som tidigare prognostiserats för hela kontrollsträckan.

















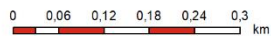
Figur 10. Uppmätt totalt inläckage på kontrollsträcka N2-D10 som funktion av tiden. Ett normalvärde på Q1 til simuleringen har tagits vid en tidpunkt innan den senare årstidsrelaterade ökningen skett.

Drivning sker på flera fronter åt både norr och söder. Det specifika inläckaget i framförallt de båda ramptunnlarna är högt, 13 L/min respektive 11 l/min per 100 m, vilket framgår av Figur 11. Efterinjektering är delvis genomförd i den östra tunneln.



Teckenförklaring

- |   |                       |   |                |   |                    |
|---|-----------------------|---|----------------|---|--------------------|
|  | Sprickzoner           |  | >10 l/min/100m |  | Sand               |
|  | Svaghetszoner         |  | Över prognos   |  | Organiskt material |
|  | Gräns för delsträckor |  | Nära prognos   |  | Lera               |
|  | Bergtunnel            |  | Under prognos  |  | Isälvsavlagring    |
|   |                       |   |                |  | Morän              |
|   |                       |   |                |  | Berg               |



© Open Stockholm, Lantmäteriet, Geodatasamverkan

Figur 11. Specifika inläckage (L/min/100 m) inom D10.

Ett förhållandevis högt resulterande inläckage förväntas även vid drivning av resterande tunnlar under dalgången med dess sprickzoner, innan tunnlarna går in i bergplinten i söder. En bedömning, baserad på förväntade bergförhållanden och hittills erhållna tätningsresultat, är att tillkommande inläckage  $Q_2$  kommer att uppgå till 75 l/min som sannolikt värde och med 50 respektive 85 L/min som min- respektive max-värde i fördelningsfunktionen. Hänsyn har då tagits till att de hittills drivna tunnlarna förutsätts ha dränerat en större mängd av det tillgängliga grundvattenflödet i dalgången.

Grundvattennivåerna i jordlagren inom dalgången är under torra perioder kraftigt avsänkta. En tydlig korrelation mellan grundvattennivåer och inläckage har observerats. Korrelationen är dock inte linjär då inläckaget ökar mer med höjda grundvattennivåer än vad som kan förklaras med förändring i tryckhöjd. Detta visar att grundvattenbildningen i hög grad styr inläckaget i dessa områden. Detta har betydelse både för bedömningarna av effekter av infiltration ( $Q_3$ ) och årstidseffekter ( $Q_5$ ).

Baserat på grundvattenmagasinens karaktär samt utförda infiltrationsförsök har ett intervall 20-70 L/min skattats för fördelningsfunktionen avseende  $Q_3$ . För  $Q_5$  har motsvarande intervall bedömts till 10-30 L/min. Ett viktigt antagande för bedömningen av slutligt inläckage är att man inte kommer lyckas att återställa grundvattennivåer fullt ut i direkt anslutning till tunnlarna. Den ökning av inläckaget med anledning av infiltration som bedömts till 30 l/min som sannolikt värde utgår ifrån att nivåerna återskapas i grundvattenmagasinets utkanter där grundvattenberoende objekt finns.

Planerade efterinjekteringsarbeten i hittills drivna tunnlar bedöms leda till en reduktion av inläckaget med mellan 10 och 28 l/min (Stille, 2020). Eftersom delar av tunnlarna ännu ej är färdigdrivna och blivande inläckage okänt, kan ytterligare efterinjektering bli aktuell.

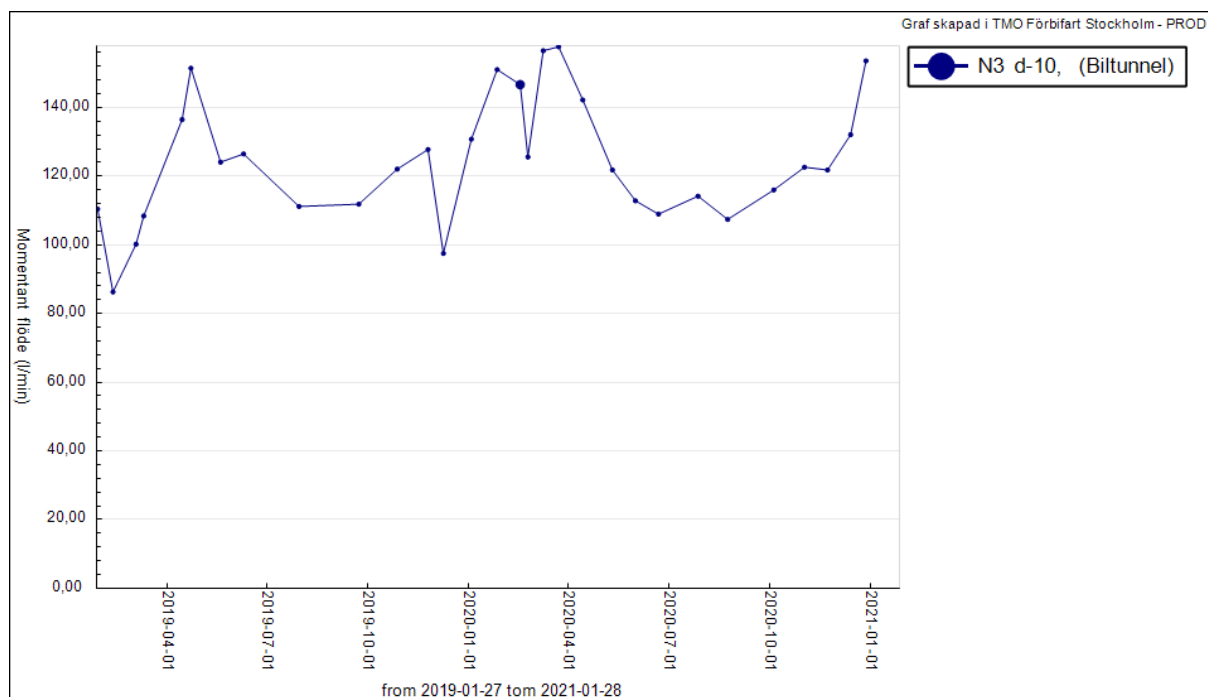
Data till använda fördelningsfunktioner i Monte Carlo-simuleringen redovisas i Tabell 2.

Tabell 2. Data till triangulära fördelningsfunktioner för kontrollsträcka N2-D10.

	min	normal	max
$Q_1$ (nuvarade inläckage)	125	135	140
$Q_2$ (inläckage i ej utsprängda tunnlar)	50	75	85
$Q_3$ (ökning m h t infiltration)	20	30	70
$Q_4$ (reduktion m h t efterinjektering)	10	15	28
$Q_5$ (årstidseffekter)	10	20	30

### 8.2.3 Kontrollsträcka N3-D10

Det totala inläckaget på kontrollsträcka N3-D10 redovisas i Figur 12. Uppmätta inläckage har fluktuerat under perioden, stabiliserade sig under hösten 2020 för att öka igen under den senare nederbördsrika perioden.



Figur 12. Uppmätt totalt inläckage på kontrollsträcka N3-D10. Ett normalvärde på Q1 till simuleringen har tagits vid en tidpunkt innan den senare årstidsrelaterade ökningen skett.

Inom den norra delen av kontrollsträcka N3-D10 har höga specifika inläckage (13 resp 16 l/min/100 m) uppmätts i de båda tunnelrören vid passage av den nordligaste dalgången (se Figur 11). Avsänkningen av grundvattennivåer i de omgivande jordmagasinen har varit stor, men denna har reducerats till viss del genom infiltration. En ökning av inläckaget har observerats i samband med detta.

Bedömningen är att mer infiltration kommer att utföras i detta område. Det är sannolikt att kommande infiltration kommer att öka inläckaget men att det trots infiltrationen inte kommer ske fullständigt återställande av grundvattennivåer rakt ovan tunnlarna. Skattningar av ökningen av inläckage med hänsyn till kommande infiltration ( $Q_3$ ) har gjorts utgående från erfarenheter från utförda infiltrationstester samt de berörda grundvattenmagasinens karaktär. Det skattade intervallet är 15-70 L/min.

Efterinjektering är planerad att genomföras på en ca 150 m lång sträcka i båda huvudtunnlarna vid passagen av Löfstavägens dalgång. En bedömning (Stille, 2020) är att detta kan leda till en reduktion av inläckaget ( $Q_4$ ) med mellan 4 och 20 L/min.

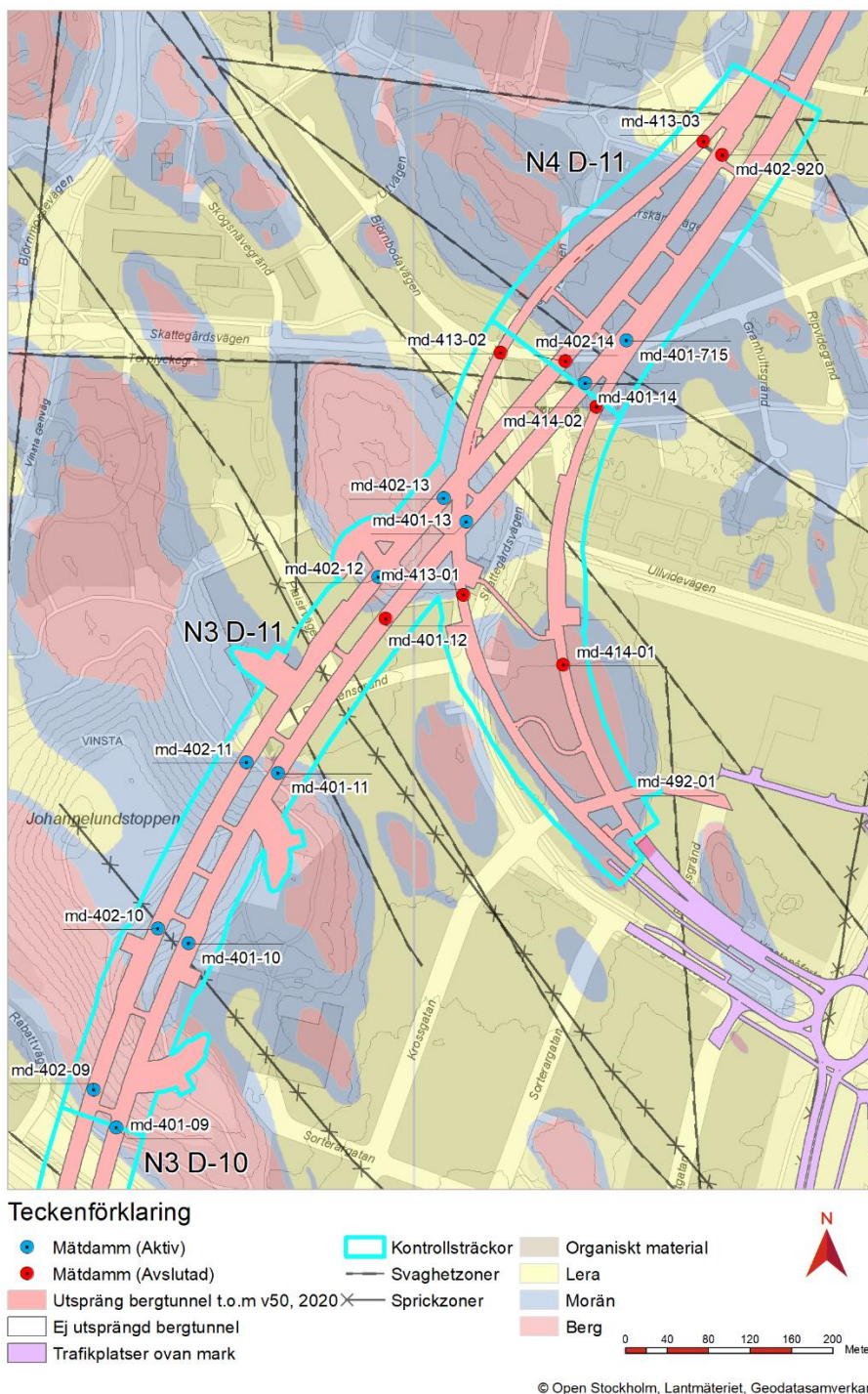
Data till använda fördelningsfunktioner i Monte Carlo-simuleringen redovisas i Tabell 3.

Tabell 3. Data till triangulära fördelningsfunktioner för kontrollsträcka N3-D10.

	min	normal	max
Q <sub>1</sub> (nuvarade inläckage)	100	110	115
Q <sub>3</sub> (ökning m h t infiltration)	15	30	70
Q <sub>4</sub> (reduktion m h t efterinjektering)	4	10	20
Q <sub>5</sub> (årstidseffekter)	20	30	40

### 8.3 Delsträcka D11 (22/800 – 24/000)

Delsträckan indelas i två kontrollsträckor, N3-D11 (den södra) och N4-D11 (den norra), se Figur 13. Inläckage har mätts fortlöpande i mätdammar i enlighet med beskrivningen i avsnitt 7.



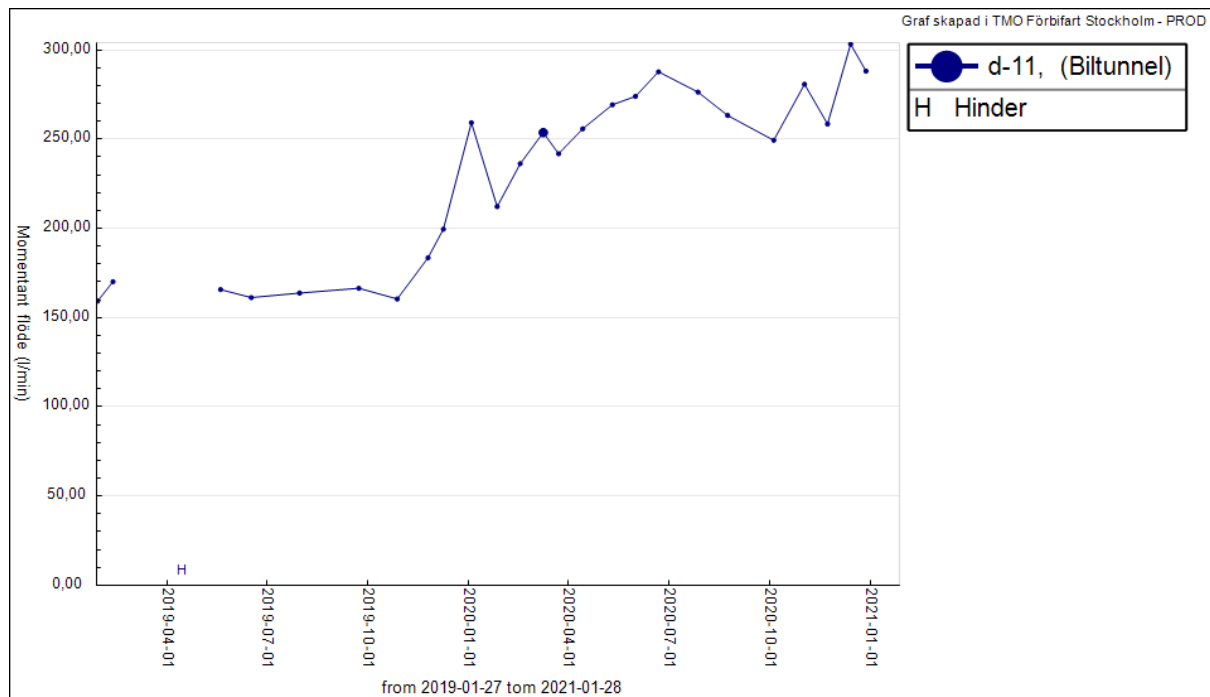
Figur 13. Karta som visar geologiska förhållanden samt lägen för mättdammar på delsträcka D11.

### 8.3.1 Kontrollsträcka N3-D11

Tunneldrivningen inom kontrollsträckan avslutades i slutet av 2020. Förutom de två huvudtunnlarna och två ramptunnlar omfattas bergutrymmena även av två vertikalschakt.

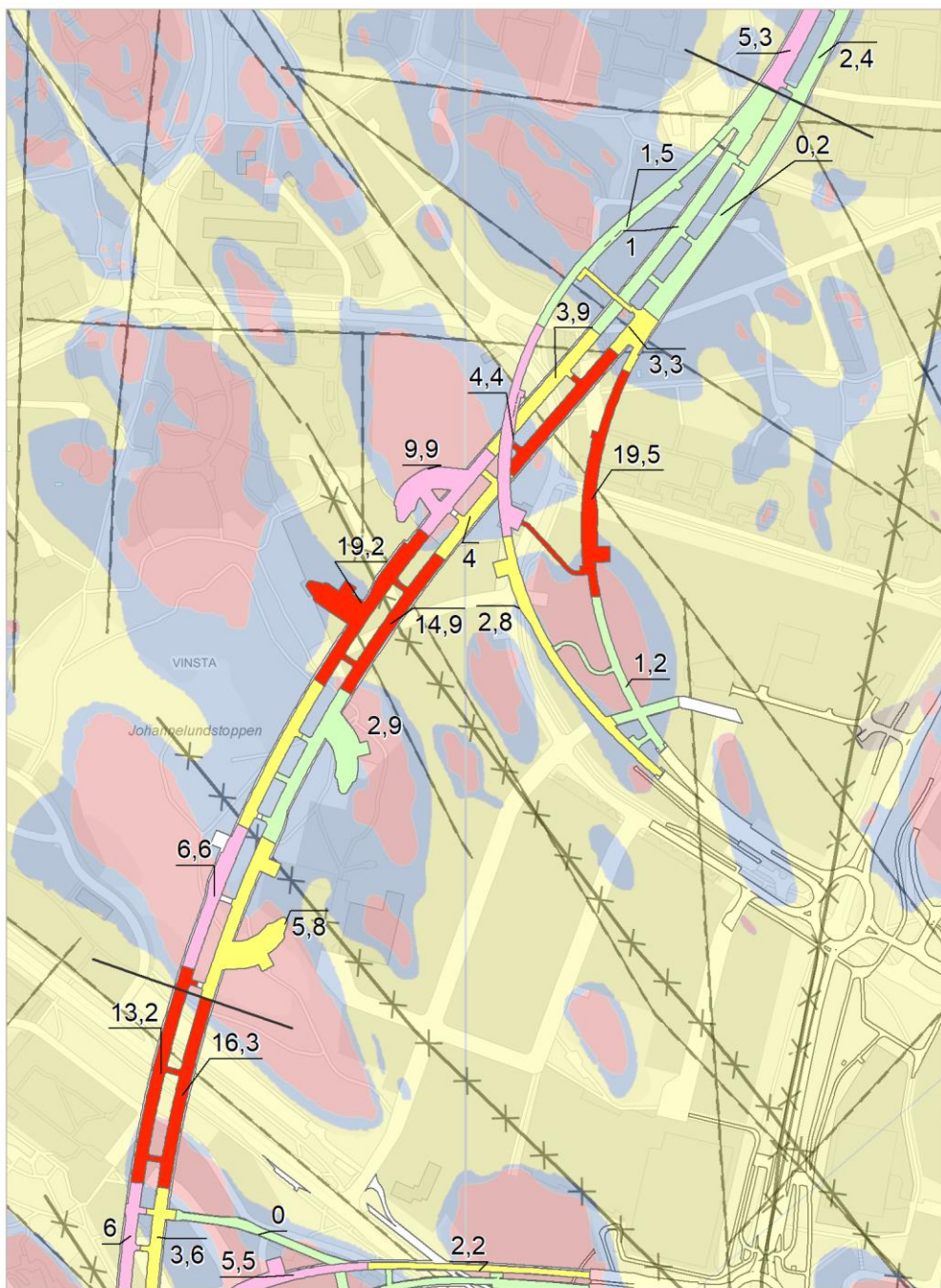


Det totala inläckaget på kontrollsträckan visas i Figur 14. Uppmätta inläckage har successivt ökat under tiden som tunneldrivningen utfördes, men minskade lite under hösten 2020 innan de årstidsrelaterade ökningarna skedde.



















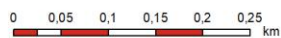
Figur 14. Uppmätt totalt inläckage på kontrollsträcka D11, dvs summerat flöde för N3-D11 och N4-D11. Ett normalvärde på Q1 till simuleringen har tagits vid en tidpunkt innan den senare årstidsrelaterade ökningen skett.

Inom kontrollsträcka N3-D11 har för stora inläckage erhållits vid passagera av två dalgångar med svaghetszoner i berget (se Figur 15). I den norra av dessa redovisas 19 L/min/100 inom den östra ramptunneln. Vid passage av den södra dalgången uppgår det specifika inläckaget till 15 respektive 19 L/min/100 m i de båda huvudtunnlarna.



Teckenförklaring

- |   |   |   |                    |
|---|---|---|--------------------|
|  | Sprickzoner   |  | Sand               |
|  | Svaghetzoner  |  | Organiskt material |
|  | Gräns för delsträckor   |  | Lera               |
|  | Bergtunnel  |  | Isälsavlagring     |
|   | <b>Inläckage</b>  |  | Morän              |
|   |  |  | Berg               |
|   |  |   |                    |
|   |  |   |                    |
|   |  |   |                    |
|   |  |   |                    |
|   |  |   |                    |



© Open Stockholm, Lantmäteriet, Geodatasamverkan

Figur 15. Specifika inläckage (L/min/100 m) inom delsträcka D11.

På grund av de stora inläckagen i tunnlarna har grundvattennivåerna inom dalgångarna sänkts av. Ökad infiltration i jordlagren förväntas leda till en ökning av inläckage i storleksordningen 30 l/min. Trots den ökade infiltrationen bedöms det dock ej som troligt att man lyckas återställa grundvattennivåer direkt ovanför och i direkt anslutning till tunnlarna.

Efterinjektering planeras utföras inom flera tunnelavsnitt på delsträcka N3-D11 (Stille, 2020). En bedömning är att detta kommer att leda till en reduktion av inläckaget med mellan 15 och 50 l/min.

Data till använda fördelningsfunktioner i Monte Carlo-simuleringen redovisas i Tabell 4. I värdet på  $Q_1$  ingår flödet på kontrollsträcka N4-D11 (se avsnitt 8.3.2).

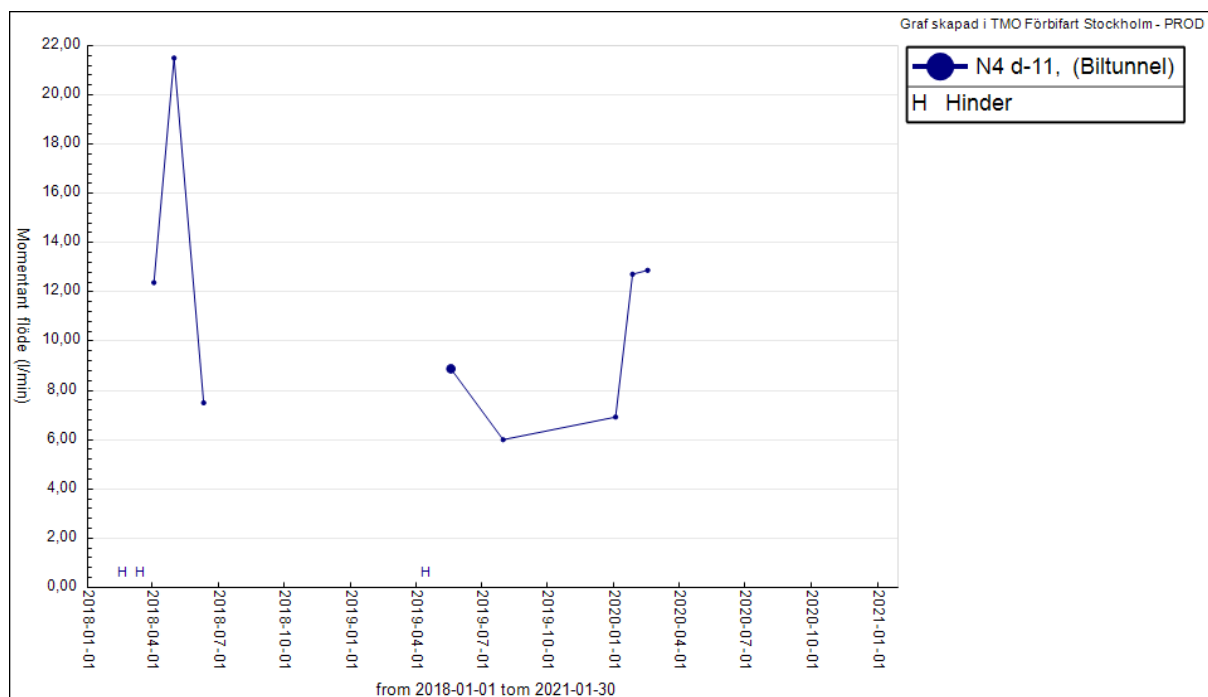
Tabell 4. Data till triangulära fördelningsfunktioner för delsträcka D11.

	min	normal	max
$Q_1$ (nuvarade inläckage)	245	255	260
$Q_3$ (ökning m h t infiltration)	20	30	70
$Q_4$ (reduktion m h t efterinjektering)	15	25	50
$Q_5$ (årstidseffekter)	10	20	35

### 8.3.2 Kontrollsträcka N4-D11

Inom kontrollsträcka N4-D11 har bergets kvalitet varit god och tätningsresultatet lyckat. Inläckaget på sträckan ligger lägre än det som prognostiserats, vilket innebär att underskottet kan tillgodoräknas i summeringen av det totala inläckaget inom D11. Ingen infiltration eller efterinjektering av tunneln planeras. Inläckaget från delsträckan och den osäkerhet som finns i mätningarna inkluderas i  $Q_1$  för N3-D11 i avsnitt 8.3.1.

Det enskilda inläckaget på kontrollsträcka N4-D11 framgår av Figur 16.



Figur 16. Uppmätt totalt inläckage på kontrollsträcka N4-D11.

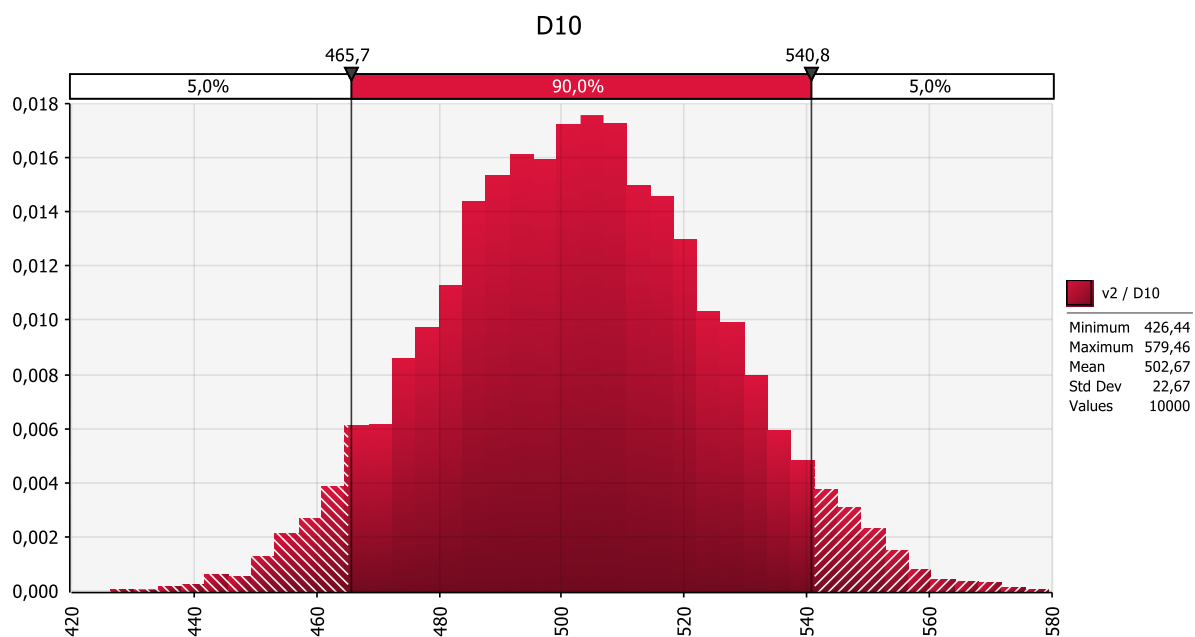
## 9 Beräkningar

### 9.1 Inledning

Beräkningar för de båda delsträckorna har utförts med Monte Carlo-simulering där fördelningsfunktioner ansatts för de ingående termerna i summeringen (ekvation 1 i kapitel 3). Data för ansatta fördelningsfunktioner för ingående termer redovisas i kapitel 8 och i Bilaga 2.1. De resulterande summerade fördelningsfunktionerna för delsträckorna D10 och D11 redovisas nedan.

### 9.2 Delsträcka D10

I Figur 17 redovisas de fördelningsfunktioner som erhöles för delsträcka D10, baserat på 10 000 simuleringar.

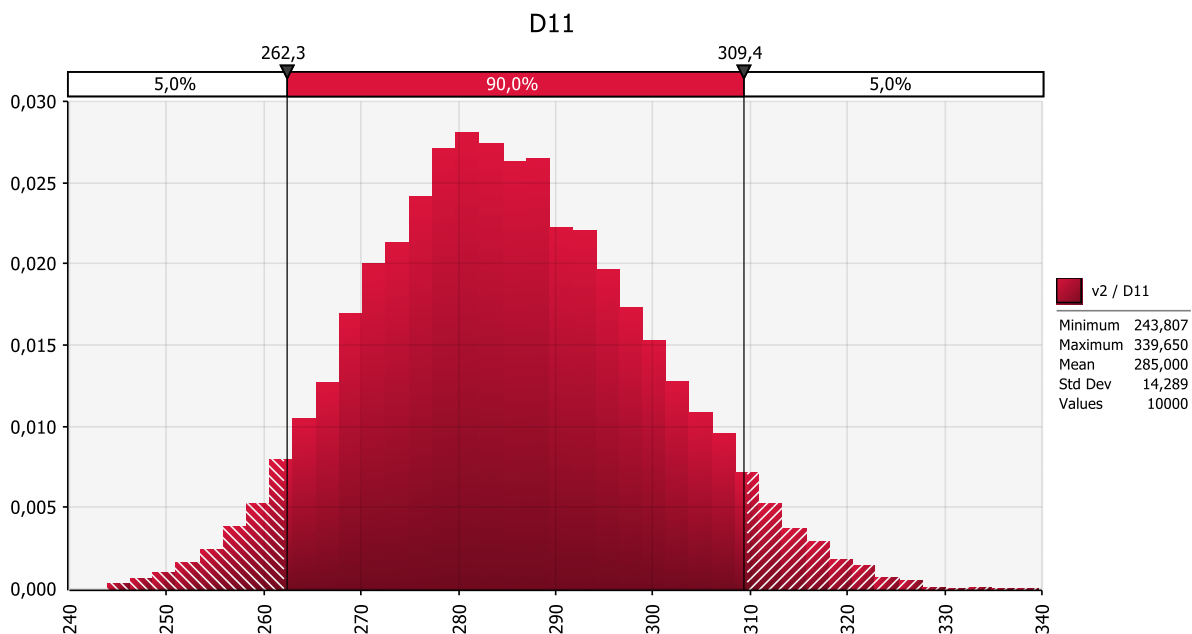


Figur 17. Fördelningsfunktioner för beräknat inläckage på delsträcka D10. Beräkningar utförda med triangulärq fördelningar för ingående termer.

Ur diagrammet kan bland annat utläsas att inläckaget med 95% sannolikhet bedöms underskrida 541 l/min. Medelvärdet för beräkningen är 503 l/min.

### 9.3 Delsträcka D11

I Figur 18 visas de fördelningsfunktioner som erhöles för delsträcka D11, baserat på 10 000 simuleringar.



Figur 18. Fördelningsfunktioner för beräknat inläckage på delsträcka D11. Beräkningar utförda med triangulära fördelningar för ingående termer.

Ur diagrammen kan bland annat utläsas att inläckaget med 95% sannolikhet bedöms underskrida 310 l/min. Medelvärdet för beräknat inläckage är 285 l/min.

## 10 Förslag på nya villkor

Med utgångspunkt från genomförda beräkningar föreslås nya begränsningsvärden för inläckage istället för de gällande villkoren på samma delsträckor, se Tabell 5. För båda delsträckorna har valts de beräknade inläckaget motsvarande 95% sannolikhet i beräkningarna.

Tabell 5. Gällande villkor enligt miljödom M3346-11 samt förslag till nya villkor.

Delsträcka	Gällande villkor (l/min)	Föreslaget villkor (l/min)
D10	280	540
D11	220	310

## 11 Referenser

Gustafson, G, 2009. Hydrogeologi för bergbyggare. Formas.

Stille, B, 2020. PM Bedömning av möjlighet att reducera inläckage inom område D10 och D11 med efterinjektering. 2020-09-25

Trafikverket, 2011a. PM Hydrogeologi. Tillståndsansökan Miljöbalken, 2011-06-01.

Trafikverket, 2011b. PM Hydrogeologi. Tillståndsansökan Miljöbalken. Bilaga 5 Hydrogeologiska beräkningar. 2011-06-01

Trafikverket, 2020. PM: Utvärderingsrapport kärnkartering 19A403K, Undersökningsprogram Grimsta.

# E4 Förbifart Stockholm

## Teknisk beskrivning

### Bilaga 4.1 Använda fördelningsfunktioner i Monte Carlo-simuleringar

Rev	Ant	Ändring avser	Godkänd	Datum














Granskare	Godkänd av	Ort	Datum



Objektnamn	E4 Förbifart Stockholm
Entreprenadnummer	Tunnel norr
Entreprenadnamn	
Beskrivning 1	Bilaga 4.1
Beskrivning 2	Använda fördelningsfunktioner i Monte Carlo-simuleringar
Beskrivning 3	
Beskrivning 4	
Status	Publicerad
Diarienummer	
Konstruktionsnummer	
Objektnummer	8448590
Projekteringssteg	
Statusbenämning	
Företag	Trafikverket
Författare/Konstruktör	Thomas Wallroth, Sebastian Pokorny
Externnummer	

## **1 Beskrivning av bilaga**

Föreliggande bilaga redovisar fördelningsfunktionerna som har använts för Monte Carlo-simulering.

Namn	Graf	Funktion(min;medel;max)	Min (l/min)	Medel (l/min)	Max (l/min)
<b>Kontrollsträcka N1 D10</b>					
Q2		RiskTriang(60;90;120)	60,00	90,00	120,00
<b>Kontrollsträcka N2 D10</b>					
Q1		RiskTriang(125;135;140)	125,00	133,33	140,00
Q2		RiskTriang(50;75;85)	50,00	70,00	85,00
Q3		RiskTriang(20;30;70)	20,00	40,00	70,00
Q4		RiskTriang(10;15;28)	10,00	17,67	28,00
Q5		RiskTriang(10;20;30)	10,00	20,00	30,00
<b>Kontrollsträcka N3 D10</b>					
Q1		RiskTriang(100;110;115)	100,00	108,33	115,00
Q3		RiskTriang(20;30;70)	20,00	40,00	70,00
Q4		RiskTriang(4;10;20)	4,00	11,33	20,00
Q5		RiskTriang(20;30;40)	20,00	30,00	40,00
<b>Kontrollsträcka N3 D11</b>					
Q1		RiskTriang(245;255;260)	245,00	253,33	260,00
Q3		RiskTriang(20;30;70)	20,00	40,00	70,00
Q4		RiskTriang(15;25;50)	15,00	30,00	50,00
Q5		RiskTriang(10;20;35)	10,00	21,67	35,00