

**Projektname**

Västlänken och Olskroken planskildhet

**Dokumenttyp**

PM

**Ärendenummer**

TRV 2016/3151

**Skapad av**

Johanna Lithén

**Filnamn**

MPU02-50GT-025-00-0006\_Bilaga 1

**Godkänt av**

Karl Persson

**Godkänt datum**

2016-02-10

**Version**

–

**Uppdrag**

MPU 02

**Dokumenttitel**

## Bilaga 1 PM Stokastisk beräkning av inläckage till bergtunnlar

Underlagsdokument till PM Hydrogeologi,  
ansökan om tillstånd enligt miljöbalken för anläggandet av Västlänken och  
Olskroken planskildhet

## Ändringslogg

Version	Datum	Ändring	Godkänt av

## Innehåll

<b>1</b>	<b>Inledning</b> .....	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Syfte</b> .....	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>Beräkningsmetodik</b> .....	<b>4</b>
<b>4</b>	<b>Förutsättningar och indata</b> .....	<b>6</b>
4.1	Områden och geometrier .....	6
4.2	Hydrauliska egenskaper .....	8
4.2.1	<i>Hydraulisk konduktivitet</i> .....	8
4.2.2	<i>Injektering och tätning</i> .....	9
4.2.3	<i>Skinfaktorn</i> .....	11
4.3	Grundvattentryck .....	11
4.4	Deterministiska värden .....	20
<b>5</b>	<b>Resultat</b> .....	<b>21</b>
<b>6</b>	<b>Känslighetsstudie och osäkerhet i indata</b> .....	<b>24</b>
<b>7</b>	<b>Referenser</b> .....	<b>26</b>

Bilaga 1.1 Beräkningar

Bilaga 1.2 Indata grundvattentryck

## 1 Inledning

Föreliggande rapport utgör ett underlagsdokument till PM Hydrogeologi som ingår i ansökan om tillstånd enligt miljöbalken för anläggandet av Västlänken och Olskroken planskildhet.

För miljöprövningen av Västlänken krävs kunskap om förväntat inläckage av grundvatten till Västlänkens bergtunnlar.

I föreliggande PM har analytiska beräkningar utförts av grundvatteninläckage till tunnel i berg med allmänt vedertagen beräkningsmetodik. Beräkningarna har utförts stokastiskt, vilket innebär att hänsyn har tagits till osäkerhetsfördelningar och spridning i ingående parametrar, d.v.s. både hydraulisk konduktivitet, tryckhöjd och tätningsparametrar. Beräkningarna omfattar såväl tätade som otätade förhållanden.

Grundvatteninläckaget till en tunnel är ojämnt fördelat, vilket medför att detaljprognoser över exakt inläckage på specifika platser inte är praktiskt möjligt att genomföra. Beräkning av inläckage måste därför avse en viss tunnelsträcka (Gustafson, 2009).

Som underlag till beräkningarna har PM Hydrogeologi berg (Trafikverket, 2016) använts. Underlaget omfattar bland annat resultat och tolkningar från vattenförlustmätningar i kärnborrhål, specifika kapaciteter i hammarborrhål och bergbrunnar, information om potentiellt vattenförande zoner och grundvattennivåobservationer. I PM Hydrogeologi berg (Trafikverket, 2016) sammanställs hydrogeologiska data som ligger till grund för indataparametrarna i föreliggande PM, och redovisas en mer utförlig beskrivning av underlaget.

Utifrån befintliga data har relevanta fördelningsfunktioner för beräkningsparametrarna tagits fram. Bergtunnlarna har sektionerats utifrån de bergplintar som Västlänken ska gå igenom. Resultatet redovisas som sannolikhetsbaserade bedömningar av grundvatteninläckage per bergtunnel.

## 2 Syfte

De stokastiska beräkningarna syftar till att ta fram en prognos för inläckage och med en fördelningsfunktion beskriva osäkerheterna i indata och därmed inläckaget.

Dokumentet syftar till att utgöra ett av flera underlag för villkorsförslag avseende grundvatteninläckage till bergtunnlar i ansökan till Mark- och miljödomstolen och får inte refereras till i något annat syfte, exempelvis som underlag till projektering.

Beräkningarna omfattar endast stokastiska beräkningar av inläckage till bergtunnlar. Ytterligare beräkningar (analytiska och numeriska beräkningar av inläckage) redovisas som separata PM.

## 3 Beräkningsmetodik

Beräkningar av inläckage till en bergtunnel kan göras analytiskt med en modell där tunneln betraktas som ett stort horisontellt borrhål (Gustafson, 2009). Beräkningen kan utföras både för oinjekterade förhållanden och för injekterade förhållanden (se ekvation 1).

$$q = \frac{2\pi \bar{K} H}{\ln \frac{2H}{r_t} + \left(\frac{\bar{K}}{K_{inj}} - 1\right) \cdot \ln\left(1 + \frac{t}{r_t}\right) + \xi} \quad (\text{ekvation 1})$$

där

$q$  = inläckage ( $m^3/s \cdot m$ )

$K_{inj}$  = den injekterade zonens hydrauliska konduktivitet ( $m/s$ )

$K$  = bergmassans hydrauliska konduktivitet ( $m/s$ )

$H$  = vattentryck ( $m$ ) räknat till tunnelcentrum

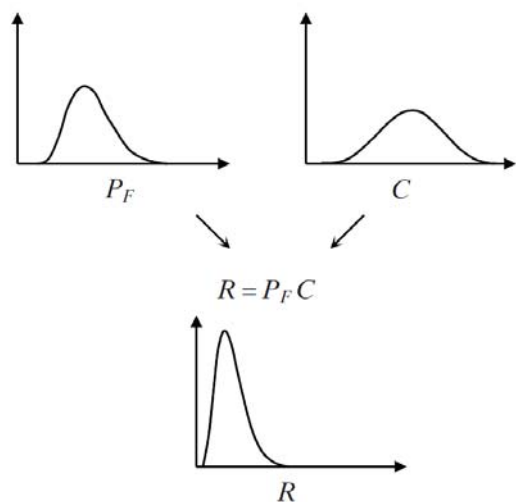
$r_t$  = tunnelradie ( $m$ )

$t$  = injekterade zonens tjocklek ( $m$ )

$\xi$  = skinfaktor (-)

Ett högt inläckage till tunneln ger sannolikt en märkbar grundvattennivåsänkning, vilket i sin tur ger ett minskat inläckage. Beräkningsmodellen förutsätter dock att tryckhöjden inte förändras, även i de fall beräkningen visar på stora inläckage.

Inläckaget enligt ekvation 1 beräknas i detta fall med en stokastisk modell vilken, till skillnad från en deterministisk modell, tar hänsyn till osäkerhetsfördelningar och spridning i ingående parametrar. Beräkningarna har i detta fall gjorts med hjälp av så kallad Monte Carlo-simulering. Monte Carlo-simulering är en teknik där de ingående variablerna definieras med en osäkerhetsfördelning. Monte Carlo-simuleringen använder slumpantal för att vid varje iteration välja ut ett värde från varje osäkerhetsfördelning som representerar de ingående variablerna för att beräkna resultatet. Beräkningen utförs iterativt, i detta fall 10 000 gånger, för att välja värden som representerar hela osäkerhetsfördelningen och erhålla en osäkerhetsfördelning som representerar svaret, se Figur 1.



Figur 1. Illustration av hur Monte Carlo-simulering kan användas för att inkludera osäkerhet i ingående variabler ( $P_F$  och  $C$ ) och resultatet ( $R$ ). (Lindhe 2010)

Varje beräkningssegment representerar 100 m tunnel och platsspecifika egenskaper i form av exempelvis grundvattentryck och tunnelarea används inom varje segment. I enstaka fall halveras segmenten till 50 m. Segmenten summeras till ett totalt inläckage per bergtunneldel (se indelning i avsnitt 4.1 Områden) och redovisas med en fördelningsfunktion som beskriver sannolikheten att ett visst inläckage underskrids.

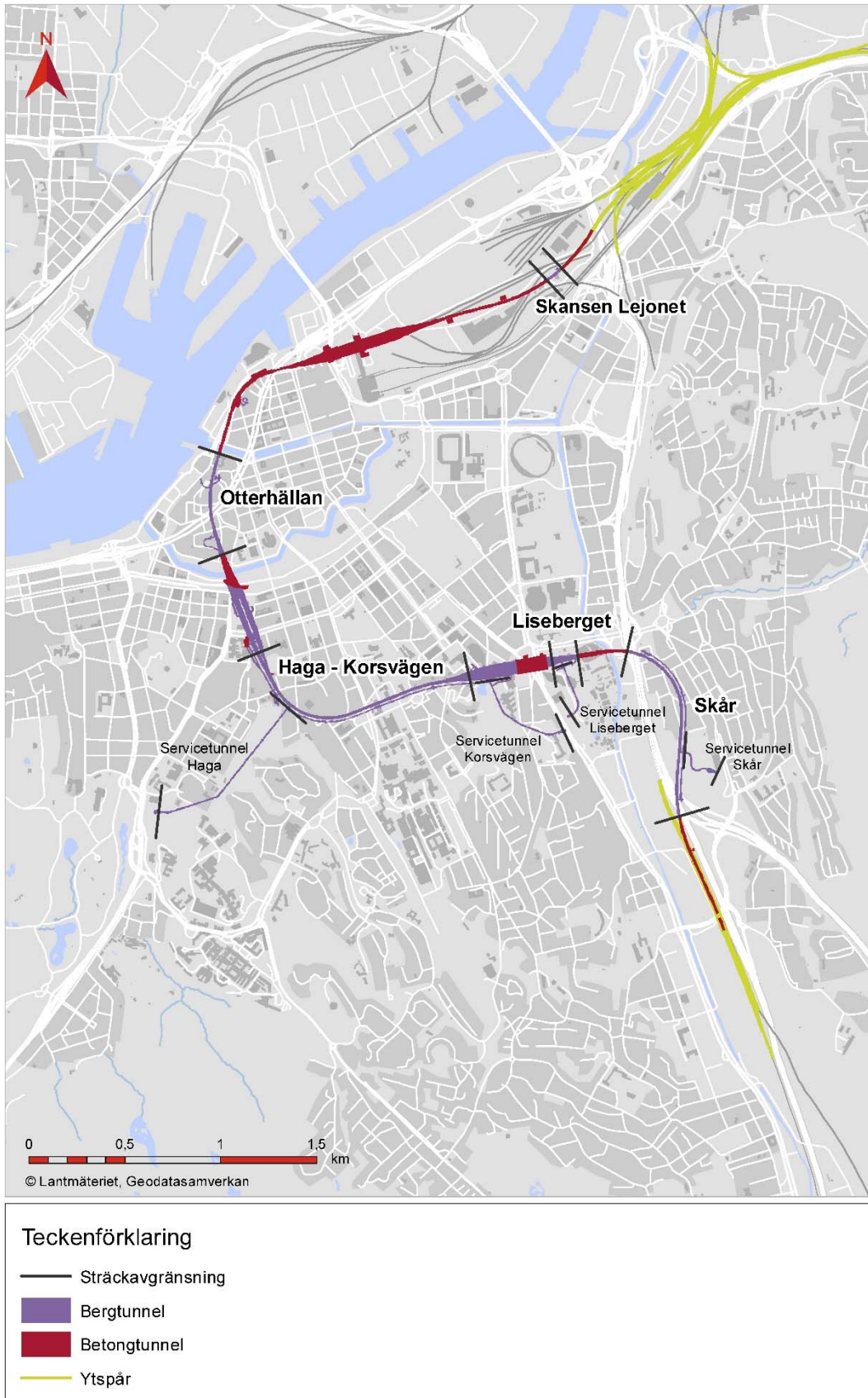
## 4 Förutsättningar och indata

### 4.1 Områden och geometrier

Stokastiska inläckageberäkningar för Västlänken har utförts för de fem bergtunnlarna längs spårtunneln; Skansen Lejonet, Otterhällan, Haga-Korsvägen, Liseberget och Skår samt de fyra längre servicetunnlarna Haga, Korsvägen, Liseberget och Skår, se Tabell 1 och Figur 2. Servicetunnlar som går parallellt med spårtunneln inkluderas beräknat inläckage för respektive delsträcka.

Tabell 1. Bergtunnlarnas sträckning.

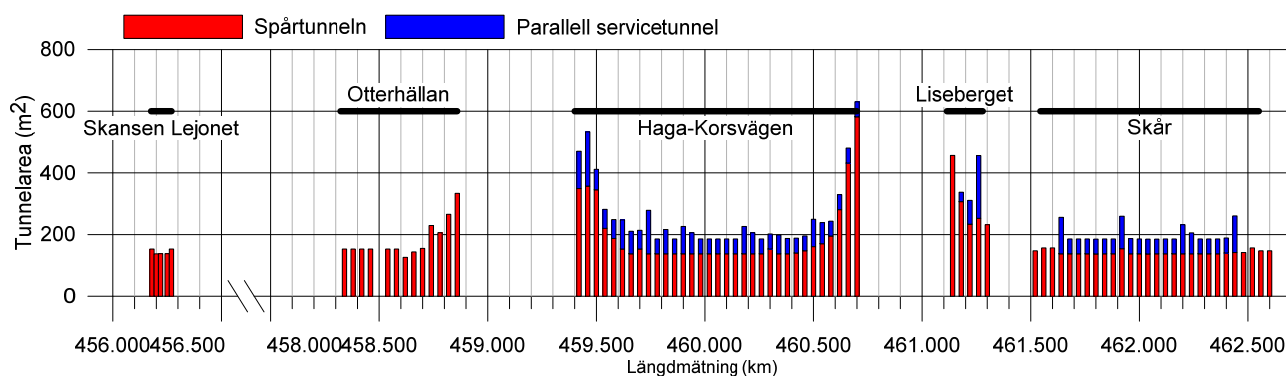
Bergtunnel	Från (km)	Till (km)	Längd bergtunnel (m)
Skansen Lejonet	456+176	456+270	94
Otterhällan	458+322	458+859	537
Haga-Korsvägen	459+400	460+700	1 300
Liseberget	461+114	461+279	165
Skår	461+544	462+550	1006
Servicetunnel Haga	0+040	0+950	910
Servicetunnel Korsvägen	0+044	0+550	506
Servicetunnel Liseberget	0+016	0+325	309
Servicetunnel Skår	0+052	0+256	204



Figur 2. Läge för spårtunnelns fem bergtunnlar samt de fyra längre servicetunnlarna

Tunnelarean är inte konstant över Västlänkens sträckning, utan fördelar sig enligt Figur 3. Inom varje 100 m-segment beräknas en ekvivalent tunnelradie ( $r_t$ ) som motsvarar den genomsnittliga arean på tunneln och

parallell servicetunnel enligt ekvation 3 samt Figur 4. För servicetunnlarna är variationen på tvärsnittsarean mindre, och en representativ area redovisas i Tabell 2.



Figur 3. Tunnelarea för bergtunnlar längs spårtunneln, inklusive parallellgående servicetunnlar.

$$r_t = \sqrt{\frac{Area_{spårtunnel} + Area_{servicetunnel}}{\pi}} \quad (\text{ekvation 3})$$



Figur 4. Beräkning av ekvivalent tunnelradie,  $r_t$ .

Tabell 2. Tunnelarea för servicetunnlar.

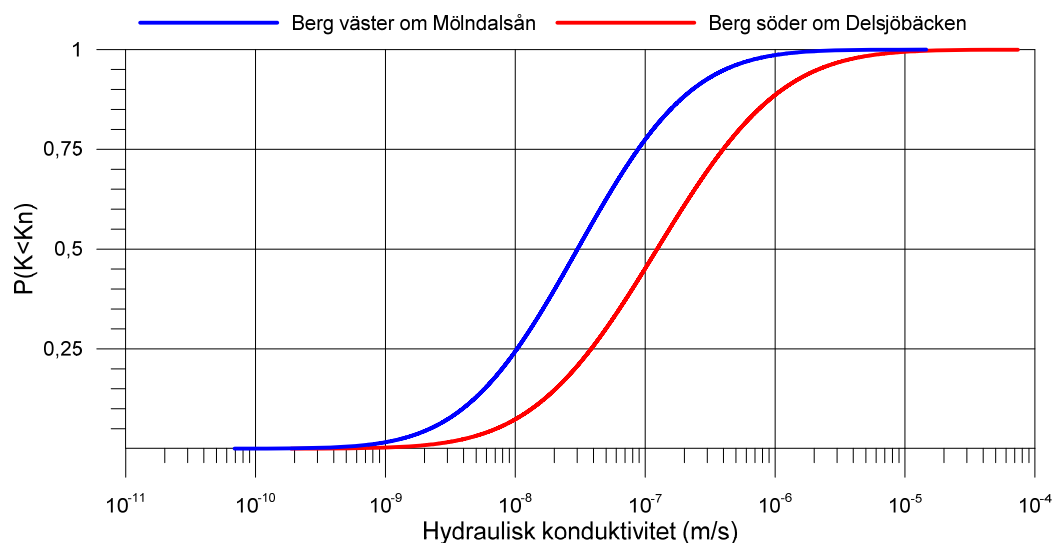
Servicetunnel	Tvärsnittsarea (m <sup>2</sup> )
Haga	69
Korsvägen	69
Liseberget	69
Skår	78

## 4.2 Hydrauliska egenskaper

### 4.2.1 Hydraulisk konduktivitet

Berggrundens hydrauliska konduktivitet kan beskrivas med fördelningsfunktionerna i Figur 5 med formparametrar enligt Tabell 3. Fördelningsfunktion och formparametrar har tagits fram i PM Hydrogeologi berg.





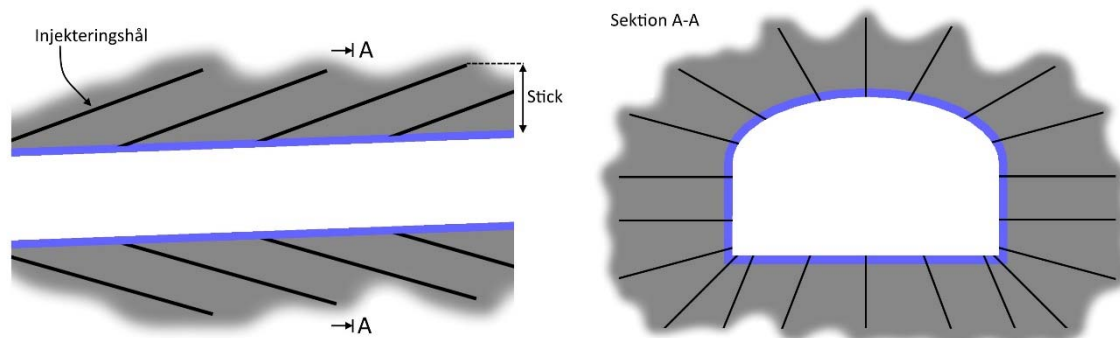
Figur 5. Kumulativt fördelningsdiagram (CDF) över bergmassans hydrauliska konduktivitet.

Tabell 3. Statistiska parametrar för fördelningsfunktion för hydraulisk konduktivitet.

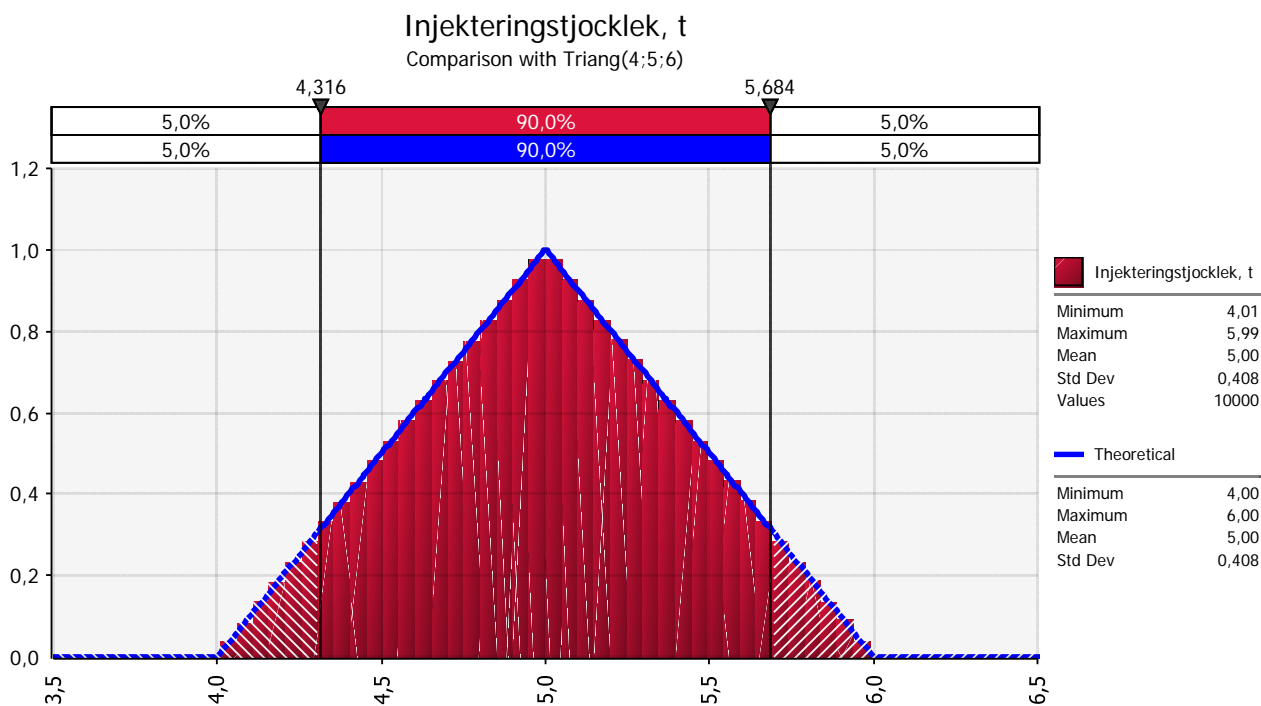
Parameter	Berg väster om Mölndalsån	Berg söder om Delsjöbäcken
Fördelningsfunktion	Lognormal	Lognormal
$\mu$ (m/s)	1,1E-07	5,6E-07
$\sigma$ (m/s)	3,6E-07	2,4E-06
Median (m/s)	3,0E-08	1,2E-07

#### 4.2.2 Injektering och tätning

Tjockleken på injekteringszonen motsvarar ungefär sticket av injekteringshålen, se Figur 6. Den exakta tjockleken på injekteringszonen beror på sprickvidd, injekteringstid, injekteringstryck, hålavstånd och injekteringsmedlets egenskaper (viskositet och skjuvgräns för cementbaserade injekteringsmedel). Generellt kan det dock antas att konduktiva sprickor inom stickets utbredning från tunneln är tätade. Vanligtvis eftersträvas en injekteringstjocklek om ca 5 m kring tunneln. För Västlänken har projektering av injektering inte utförts ännu. Injekteringszonens tjocklek har ansatts med en triangulär fördelningsfunktion med ett minimivärde om 4 m, maximivärde om 6 m och mest sannolikt värde 5 m, enligt Figur 7.



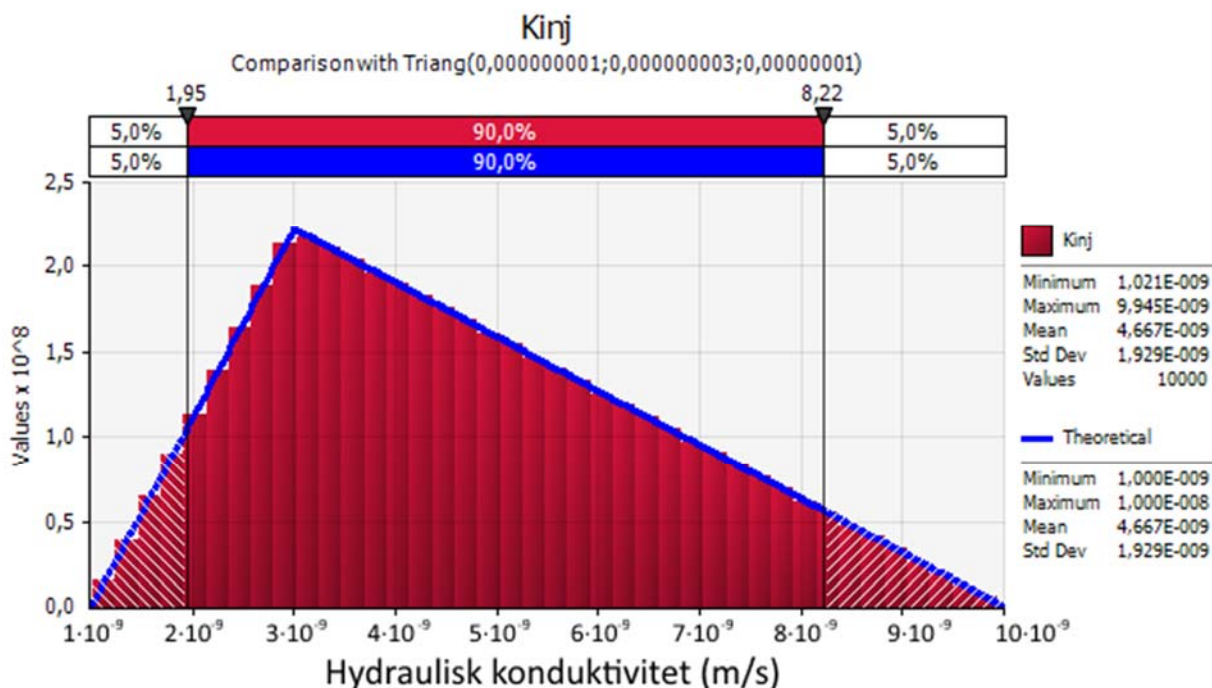
Figur 6. Injekteringszonens principiella utbredning.



Figur 7. Antagen fördelningsfunktion över injekteringszonens tjocklek.

Injekteringszonens täthet beror på sprickornas och injekteringsmedlets egenskaper. Vanlig cementinjektering tätar ofta sprickor ned till sprickvidder om 0,1 mm. Vilken hydraulisk konduktivitet detta motsvarar beror på hur stor andel av bergets vattenförande förmåga som dessa sprickor står för. Då sprickvidderna ofta följer en paretofördelning (Gustafson, 2009) är det vanligtvis bara ett fåtal sprickor som kan tätas med cementinjektering. Dessa sprickor står dock för huvuddelen av vattenföringen, vilket innebär att bara någon procent av den ursprungliga vattenföringen kvarstår efter tätning. Underlagsdata från mätningarna inom projekt Västlänken medger dock inte att en sprickviddsfördelning beräknas, vilket innebär att ett antagande om injekteringszonens täthet måste göras.

I beräkningarna ansätts den injekterade zonen konduktivitet till en triangulär fördelningsfunktion med minimivärde på  $1 \cdot 10^{-9}$  m/s, maximivärde på  $1 \cdot 10^{-8}$  m/s och ett mest sannolikt värde på  $3 \cdot 10^{-9}$  m/s, enligt Figur 8.



Figur 8. Antagen fördelningsfunktion över injekteringszonens täthet (hydraulisk konduktivitet, m/s).

#### 4.2.3 Skinfaktorn

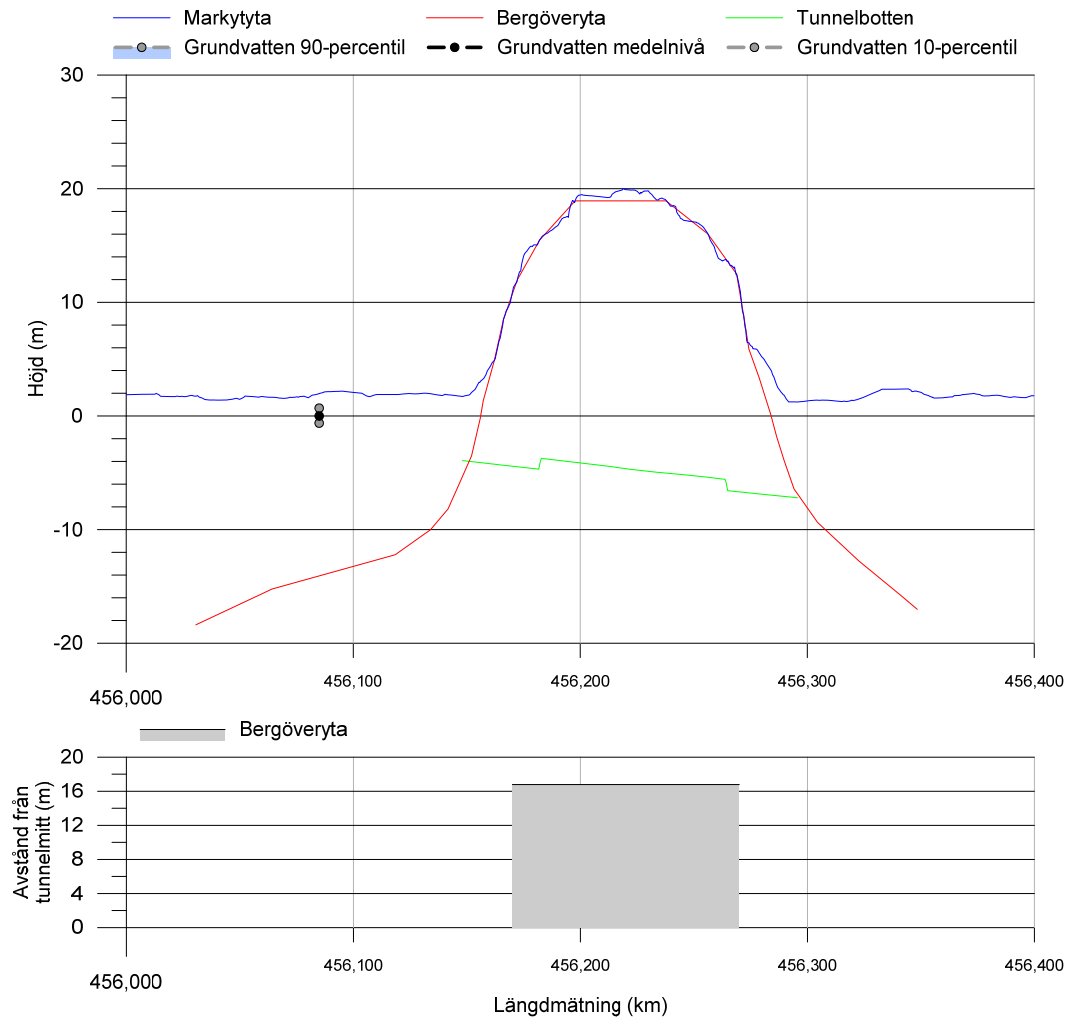
Skinfaktorn är en korrektionsfaktor som avser att korrigera avvikelser mellan verkliga förutsättningar och de teoretiska förhållandena (Eriksson & Stille, 2005). Exempelvis kan detta vara flödesmotståndet vid tunnelvägg. Skinfaktorn ligger normalt mellan 0 och 10 för kristallint berg (Rhén et al. 1997). En högre skinfaktor ger ett mindre inläckage. Då det ej går att mäta skinfaktorn ansätts denna till noll i de stokastiska beräkningarna för att inte underskatta inläckaget och för att följa de teoretiska antagandena. Ofta bedöms skinfaktorn vara lägre vid injekterade förhållanden jämfört med oinjekterade.

#### 4.3 Grundvattentryck

För respektive bergtunnel redovisas tunnelbotten, bergöverytans läge samt observerade grundvattennivåer i berg inom 100 meter på ömse sidor av bergtunnlarna (se Figur 9-15). Då tunneln förenklas till ett stort horisontellt borrhål enligt ekvation 1 (se avsnitt 3 Beräkningsmetodik) beräknas grundvattentrycket från tunnelns mittpunkt, vilket för aktuella bergtunnlar är ca 5 m ovan tunnelbotten. Eftersom det endast finns grundvattennivåobservationer i berg i ett fåtal punkter och sällan direkt ovanför tunneln beräknas både avståndet från tunnelns mittpunkt till bergöverytans läge ( $A_{by}$ ) samt avståndet från tunnelns mittpunkt till den genomsnittliga grundvattenytan ( $A_{gy}$ ). Grundvattentrycket ansätts därefter till en triangulär fördelningsfunktion med minimivärde på  $A_{gy}$  m, maximivärde på  $A_{by}$  m och ett mest sannolikt värde på  $A_{by}$  m, enligt bilaga 2.

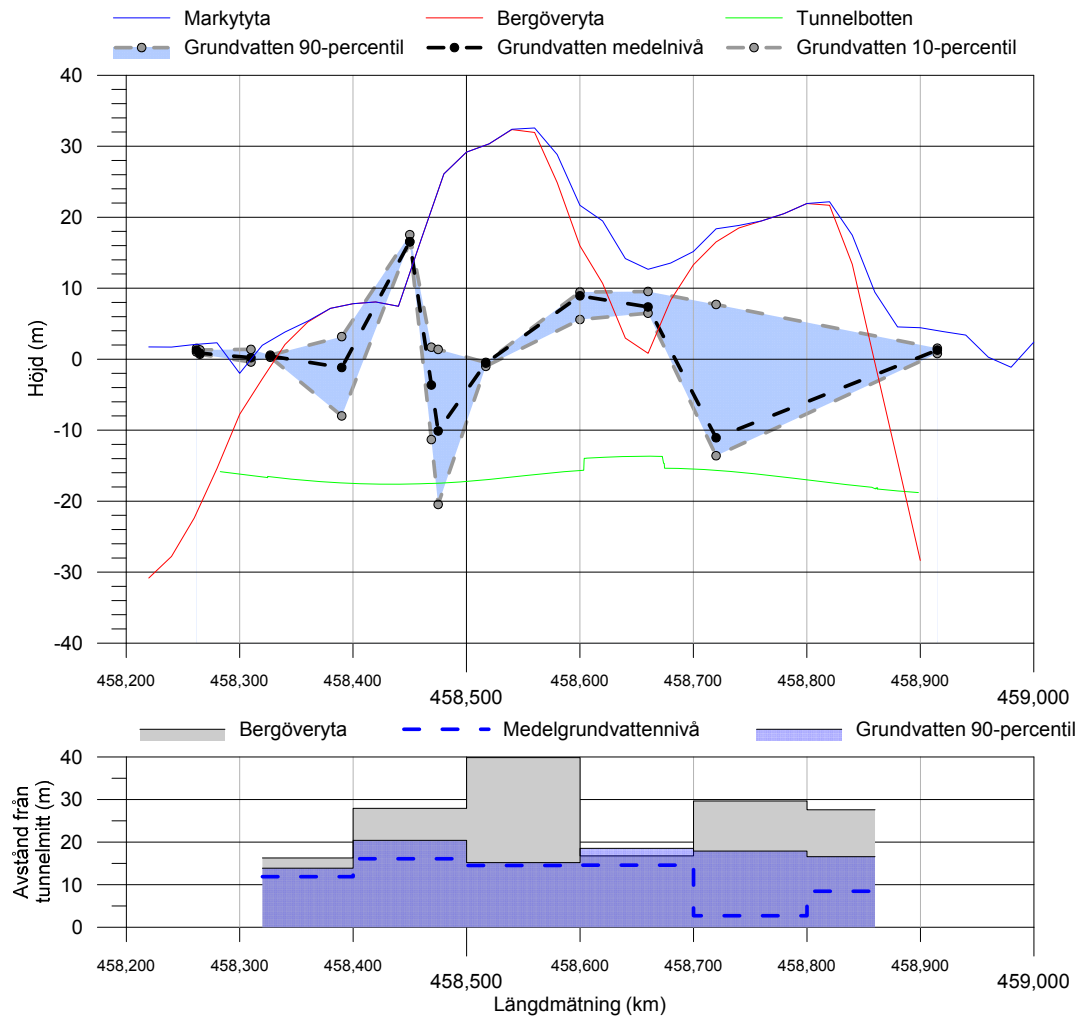
Grundvattentrycket är ungefär proportionellt mot inläckaget, för rimliga tunneldjup kan inläckaget grovt approximeras till den hydrauliska konduktiviteten multiplicerat med grundvattentrycket (Gustafson, 2009).

I Figur 9 redovisas uppmätt grundvattennivå i berg för den närmsta observationspunkten till Gullberget. I bergplinten Gullberget finns en befintlig berganläggning vars dränerande funktion sannolikt sänker av grundvattennivåer inom bergplinten. Det är sannolikt tillgänglig volym grundvatten som är begränsande för inläckaget. Detta behandlas dock inte i föreliggande PM.



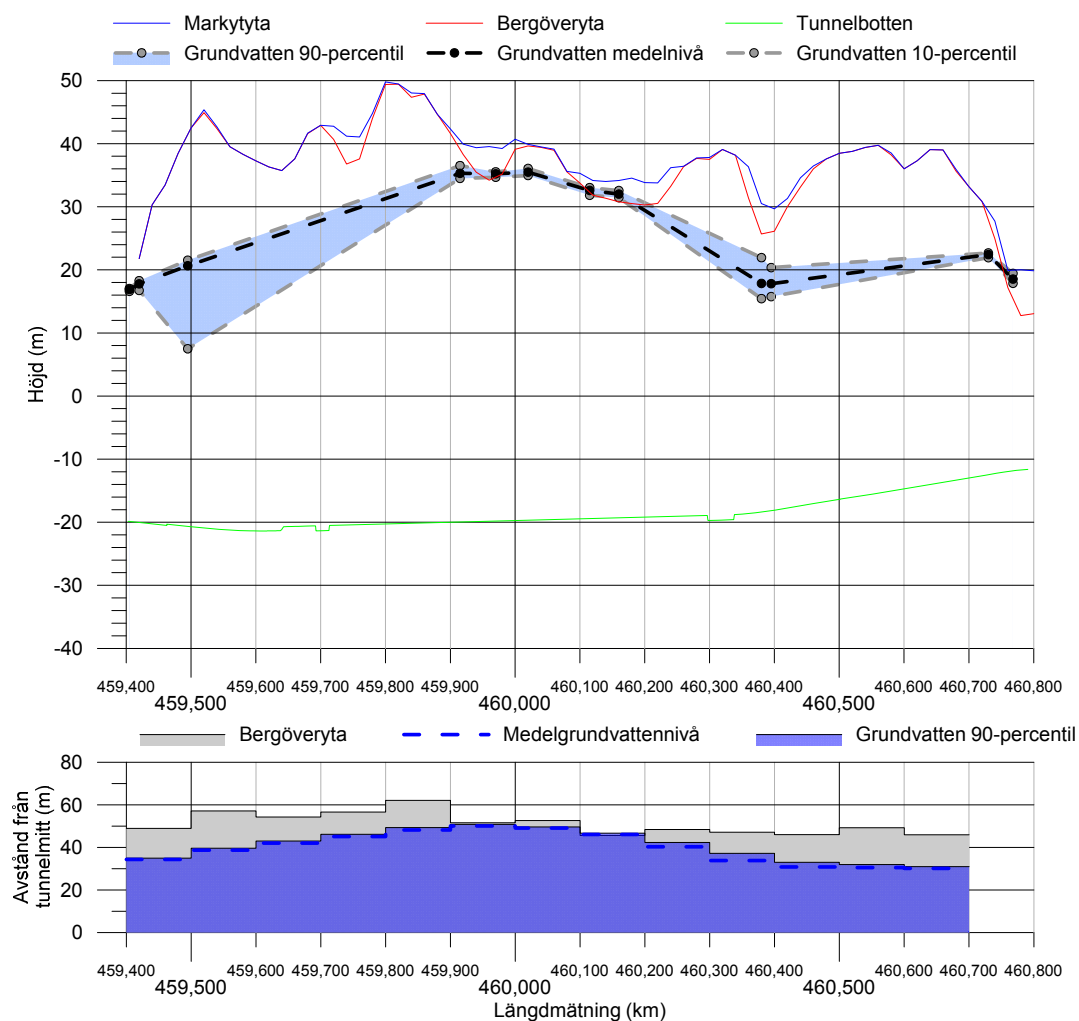
Figur 9. Gullberget. Bergtunnel Skansen Lejonet. Observationspunkter för grundvattennivå i berg ligger inom 100 m från linjen.

Från Residenset till Rosenlund går bergtunnel Otterhällan. Inom bergplinten finns dränerande anläggningar i form av Götatunneln, Kungsgaraget och befolkningsskyddsrum Otterhällan, vilket kan förklara de avsänkta grundvattennivåerna i Figur 10.



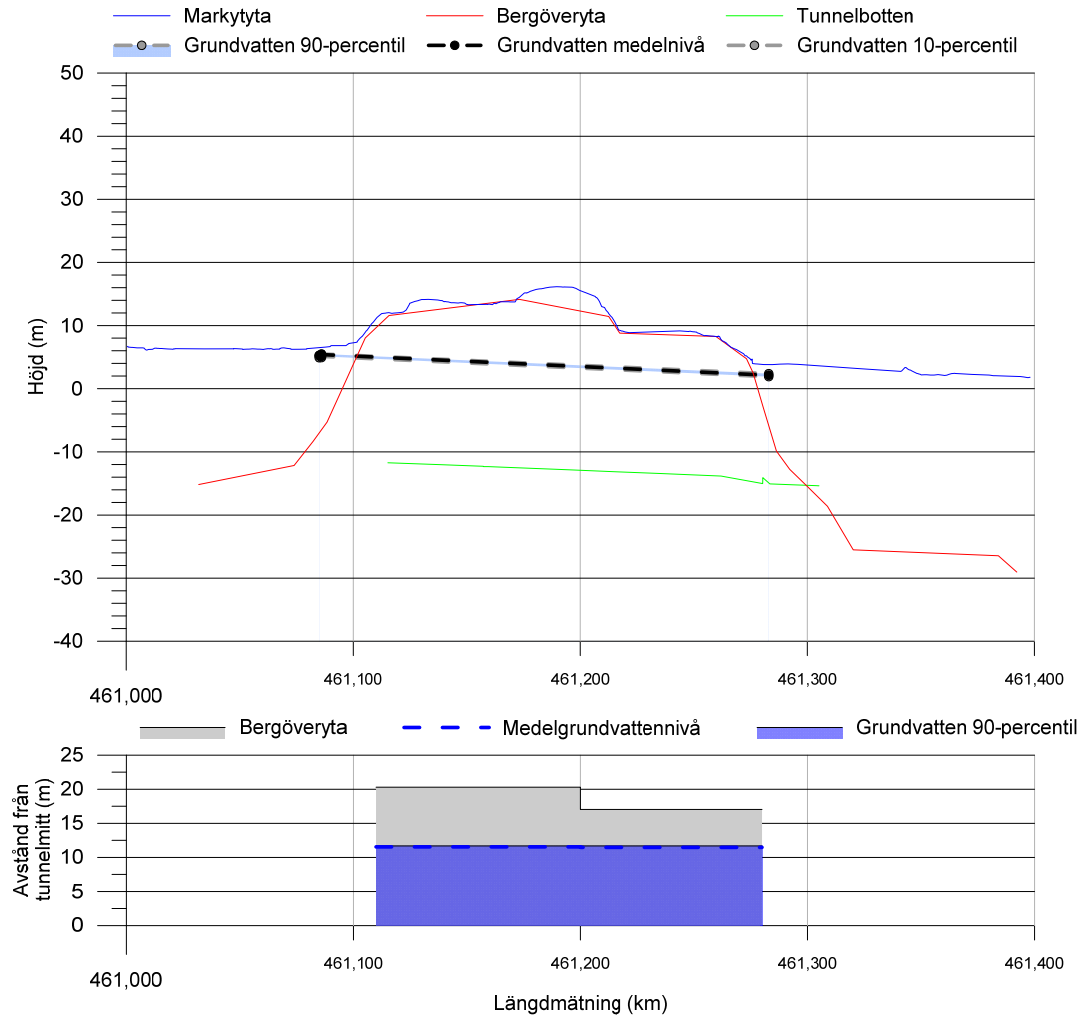
Figur 10. Residenset till Rosenlund. Bergtunnel Otterhällan. Observationspunkter för grundvattennivå i berg ligger inom 100 m från linjen.

Mellan station Haga och station Korsvägen går bergtunnel Haga-Korsvägen, som är den längsta bergtunneln. Grundvattennivåobservationer i berg saknas längs stora avsnitt av bergtunnel Haga-Korsvägen (sektion 459+500 till 459+900, sektion 460+200 till 460+250 och sektion 460+400 till 460+700). De observationspunkter som finns är belägna vid sträckningens lågpunkter se Figur 11, innebär det att de interpolerade grundvattennivåerna blir mycket osäkra och kan vara högre.



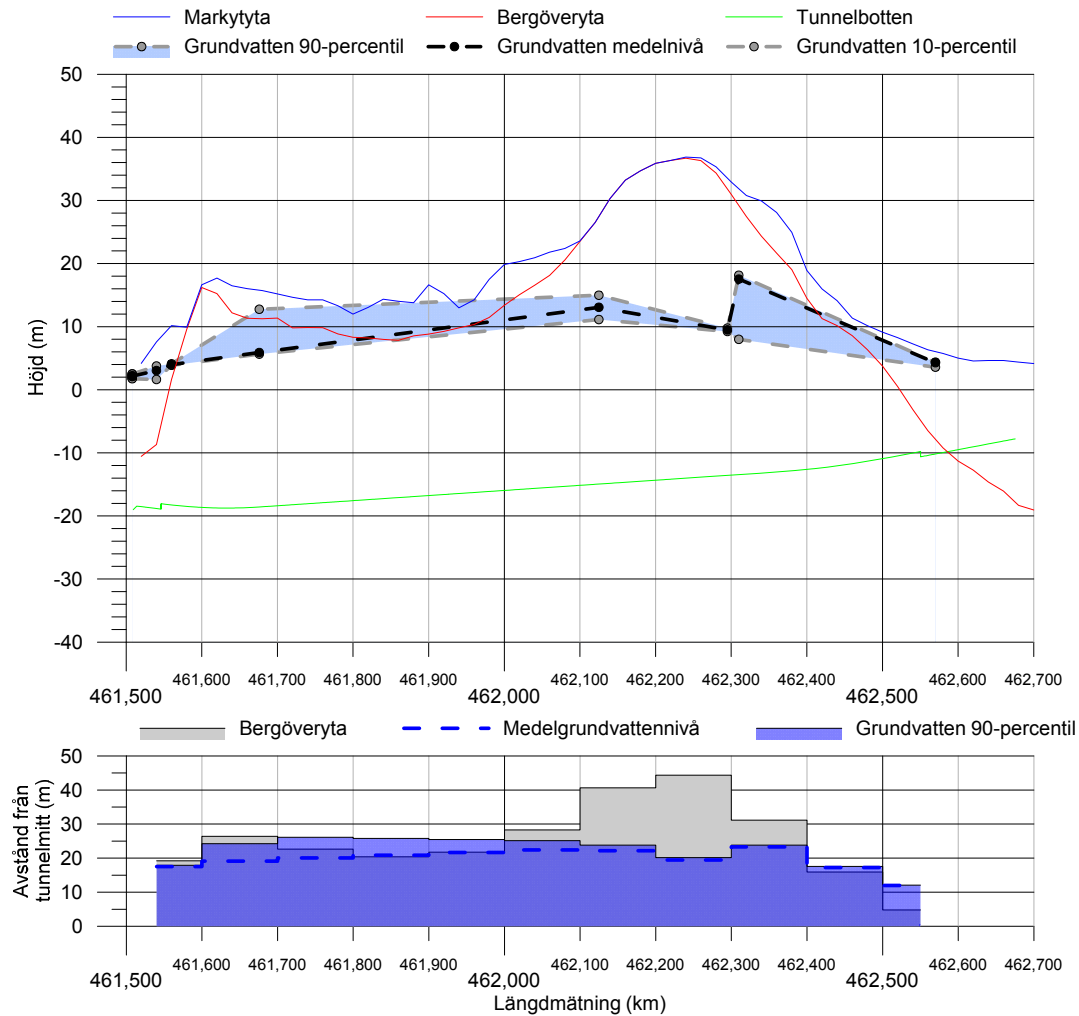
Figur 11. Haga till Korsvägen. Bergtunnel Haga-Korsvägen. Observationspunkter för grundvattennivå i berg ligger inom 100 m från linjen.

I bergplint Liseberget ansluts station Korsvägen till bergtunnel Liseberget. Observationspunkter för grundvatten i berg finns strax före och strax efter bergtunnel Liseberget, se Figur 12. Då grundvattennivån representerar nivåer utanför bergplinten kan det vara realistiskt att anta att dessa är något högre inom bergplinten.



Figur 12. Liseberget. Bergtunnel Liseberget. Observationspunkter för grundvattennivå i berg ligger inom 100 m från linjen.

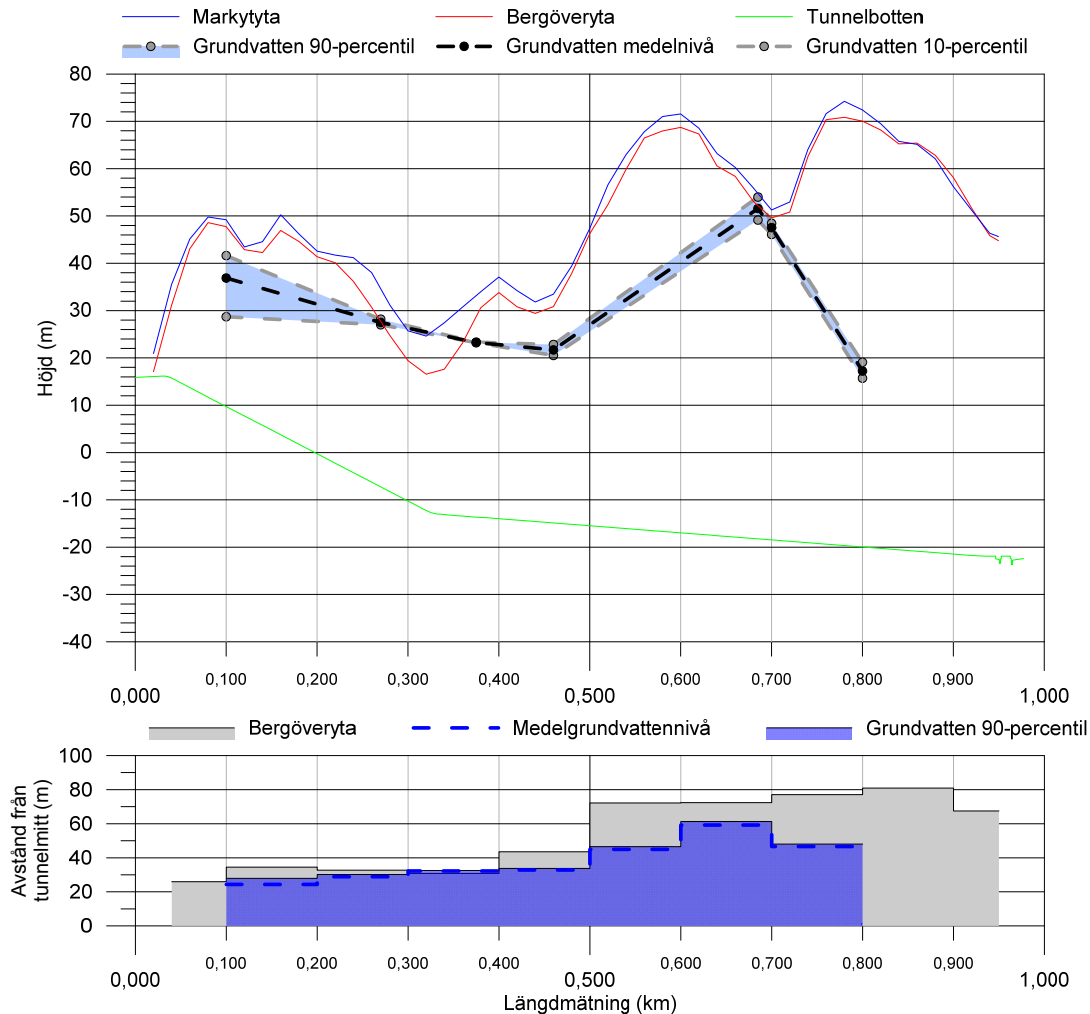
I Almedalsberget går bergtunnel Skår där grundvattennivåer i berg är nära bergöverytan i det lägre området, se Figur 13. Den interpolerade grundvattenytan visar dessutom att grundvattennivåerna är högre än bergöverytan vissa fall.



Figur 13. Almedalsberget. Bergtunnel Skår. Observationspunkter för grundvattennivå i berg ligger inom 100 m från linjen.

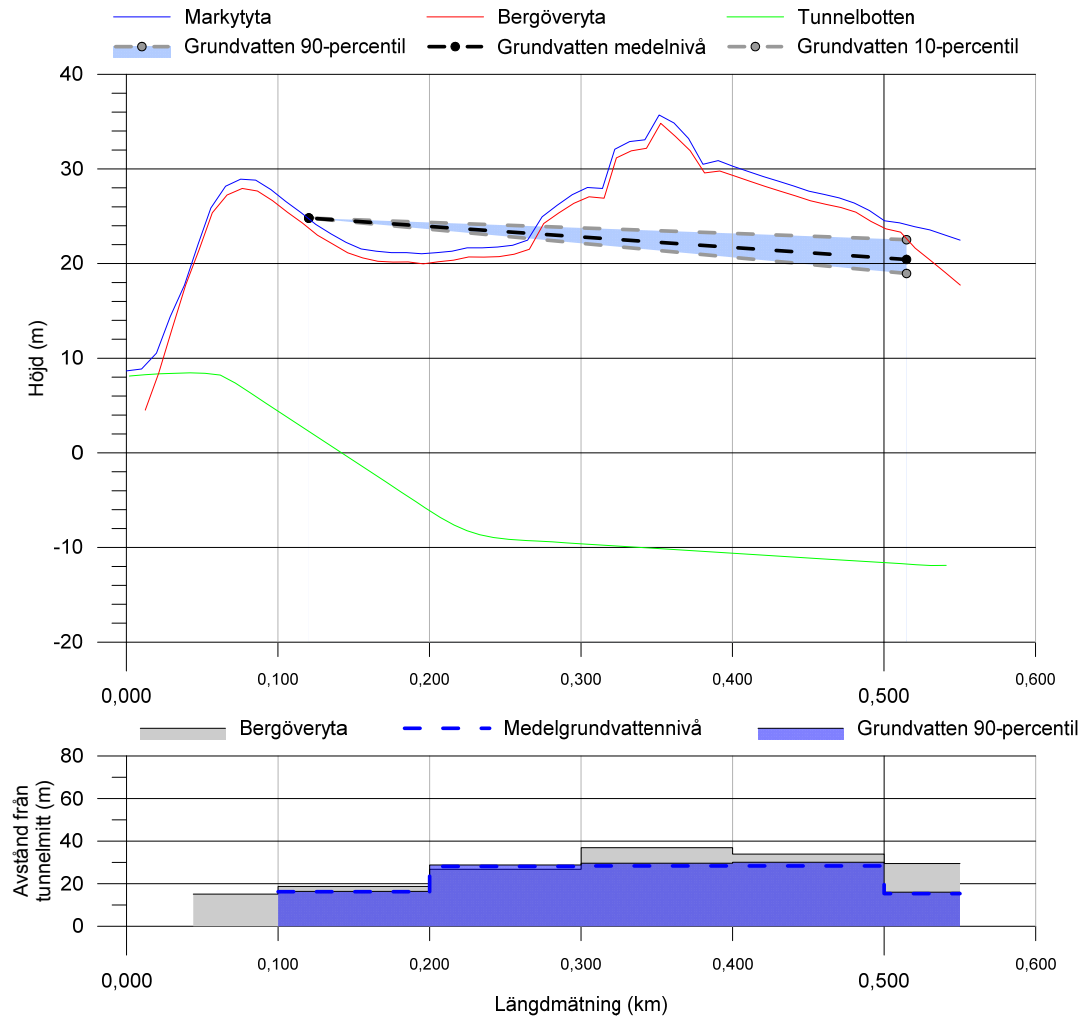


Den längsta servicetunneln, servicetunnel Haga, går helt i berg. Det genomsnittliga avståndet från tunnelmitt till den interpolerade grundvattenytan, inom varje beräkningssegment, ligger mellan sektion 000+100 till 000+500 nära det genomsnittliga avståndet från tunnelmitt till bergöverytan, se Figur 14. Efter sektion 000+500 skiljer sig de båda avstånden mer åt. Detta beror till stor del på att observationspunkter vid högpunkterna saknas. Observationspunkten vid 000+800 ligger relativt långt ut från tunnelnlinjen, och visar nivåer under en mycket lägre markyta. I den norra delen av området bedöms grundvattenstrycken i berget vara påverkade av befintliga dränerande undermarksanläggningar.



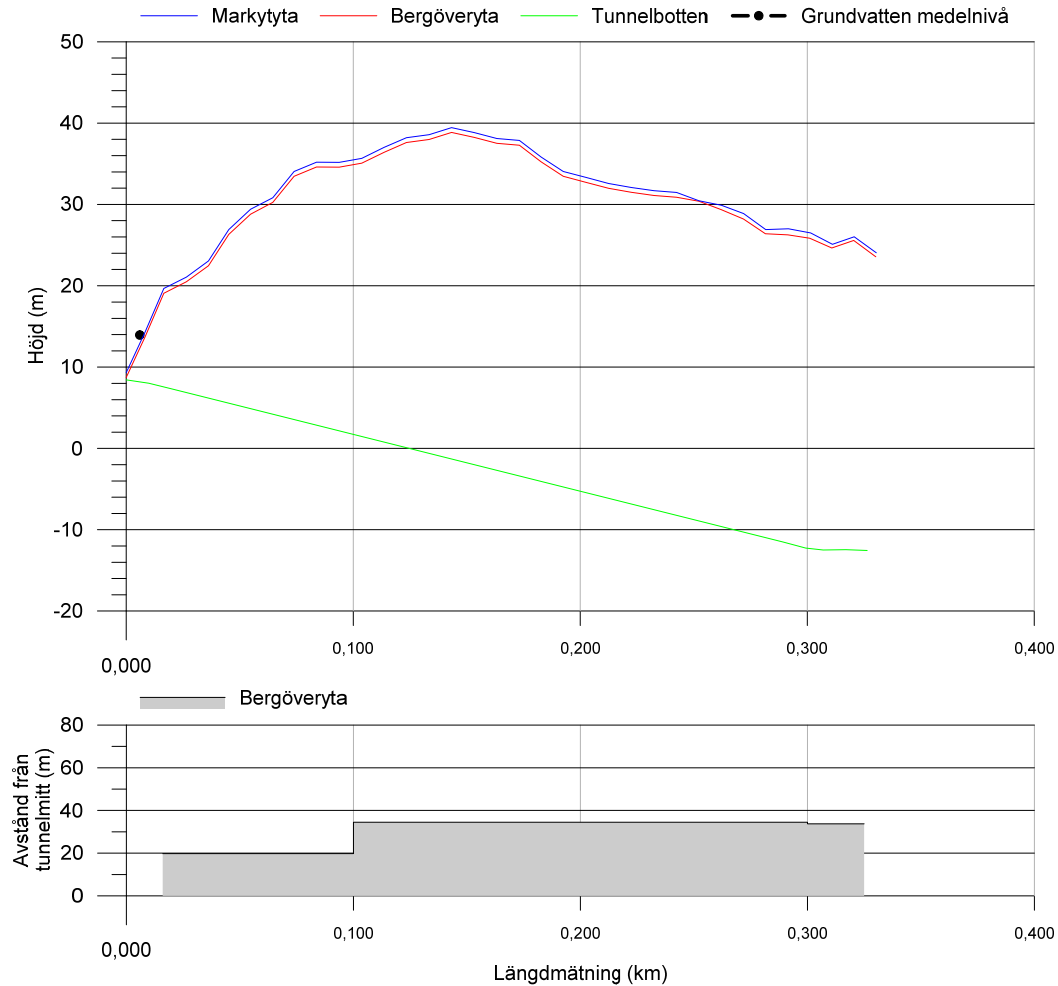
Figur 14. Servicetunnel Haga. Observationspunkter för grundvattennivå i berg ligger inom 100 m från linjen.

Servicetunnel Korsvägen går från Södra vägen och ansluts till station Korsvägen. Observationspunkter för grundvatten finns endast i början och slutet av servicetunneln, se Figur 15. Observationspunkterna visar att grundvattenytan ligger nära markytan.



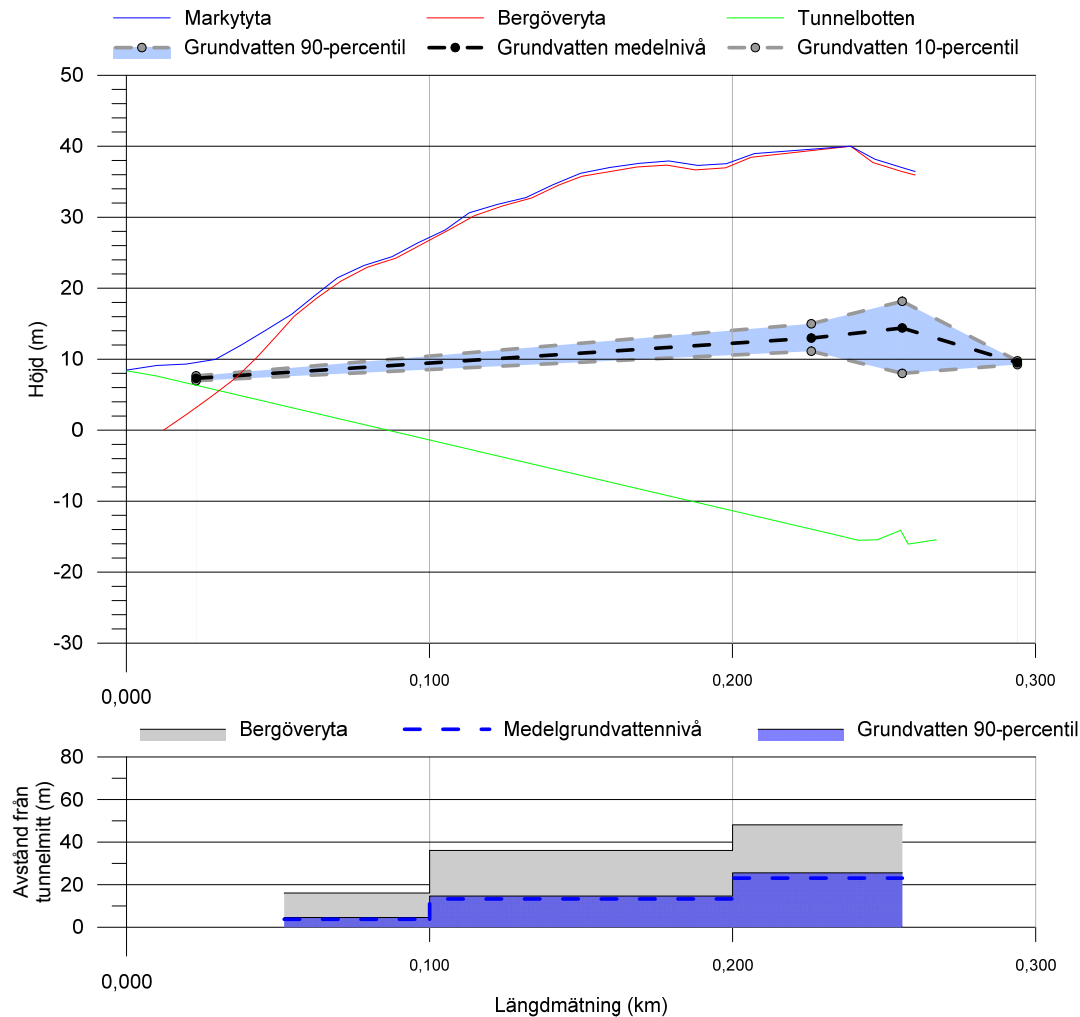
Figur 15. Servicetunnel Korsvägen. Observationspunkter för grundvattennivå i berg ligger inom 100 m från linjen.

För servicetunnel Liseberget finns endast en grundvattenobservation i berg, och ingen interpolering av grundvattenyta för hela tunnelns sträckning görs, se Figur 16. Grundvattentrycket för servicetunnel Liseberget ansätts som avståndet från tunnelmitt till bergöveryta och inte som en triangulär fördelningsfunktion mellan avstånd till interpolerad grundvattennivå och bergöveryta.



Figur 16. Servicetunnel Liseberget. Observationspunkter för grundvattennivå i berg ligger inom 100 m från linjen.

I Almedalsberget ligger grundvattennivån i berg nära markyta i de lägre delarna av bergplinten, och relativt långt ner från markyta i de höga delarna av bergplinten, se Figur 17 för grundvattennivåer längs servicetunnel Skår.



Figur 17. Servicetunnel Skår. Observationspunkter för grundvattennivå i berg ligger inom 100 m från linjen.

#### 4.4 Deterministiska värden

En deterministisk beräkning utförs, där medianvärden för samtliga indataparametrar för respektive tunnel används. De deterministiska värdena redovisas i Tabell 4 och Tabell 5.

Tabell 4. Indata för den deterministiska beräkningen av bergtunnlarna längs spårtunneln.

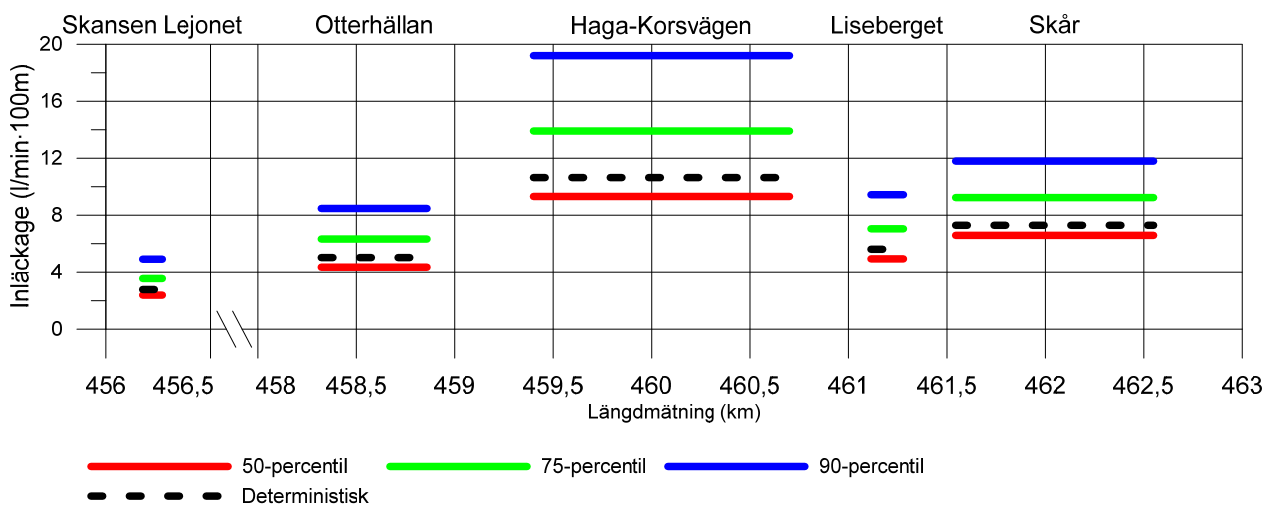
Parameter	Bergtunnel Skansen Lejonet	Bergtunnel Otterhällan	Bergtunnel Haga-Korsvägen	Bergtunnel Liseberget	Bergtunnel Skår
Sektionslängd (m)	94	537	1300	165	1006
Genomsnittlig ekvivalent tunnelradie, $r_t$ (m)	6,8	7,4	9,1	11,3	7,9
Genomsnittligt grundvattentryck, $h$ (m)	11,2	21,6	47,4	16,3	24,2
$K$ (m/s)	3,0E-08	3,0E-08	3,0E-08	3,0E-08	1,2E-07
$K_{inj}$ (m/s)	4,4E-09	4,4E-09	4,4E-09	4,4E-09	4,4E-09
$K/K_{inj}$ (-)	7,1	7,1	7,1	7,1	28,8
Injekteringstjocklek, $t$ (m)	5	5	5	5	5
Skinfaktor, $\xi$ (-)	0	0	0	0	0
Skinfaktor, $\xi_{inj}$ (-)	0	0	0	0	0
$q$ (l/min och 100m)	2,8	5,0	10,7	5,6	7,3

Tabell 5. Indata för den deterministiska beräkningen av servicetunnlarna

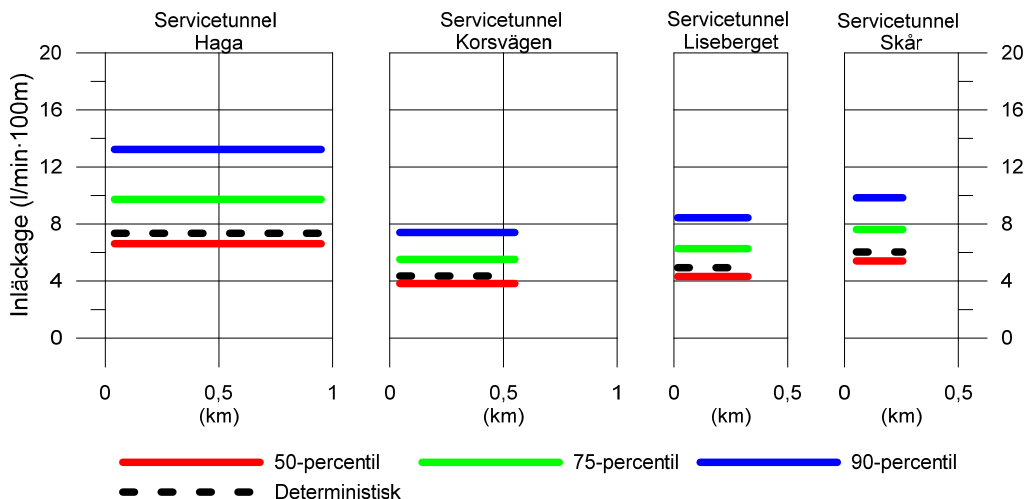
Parameter	Servicetunnel Haga	Servicetunnel Korsvägen	Servicetunnel Liseberget	Servicetunnel Skår
Sektionslängd (m)	910	506,0	309,0	204,0
Genomsnittlig ekvivalent tunnelradie, $r_t$ (m)	4,8	4,7	4,7	5,0
Genomsnittligt grundvattentryck, $h$ (m)	47,7	26,2	30,4	28,2
$K$ (m/s)	3,0E-08	3,0E-08	3,0E-08	1,2E-07
$K_{inj}$ (m/s)	4,4E-09	4,4E-09	4,4E-09	4,4E-09
$K/K_{inj}$ (-)	7,1	7,1	7,1	28,8
Injekteringstjocklek, $t$ (m)	5	5	5	5
Skinfaktor, $\xi$ (-)	0	0	0	0
Skinfaktor, $\xi_{inj}$ (-)	0	0	0	0
$q$ (l/min och 100m)	7,4	4,3	4,9	6,0

## 5 Resultat

Den stokastiska beräkningen resulterar i en fördelningsfunktion över inläckage för respektive tunneldel. I Figur 18 och Figur 19 redovisas beräknat inläckage vid olika percentiler av fördelningsfunktionen. Under förutsättning att samtliga antaganden är korrekta anger percentilen sannolikheten att beräknat värde underskrivs. För en del antaganden har konservativa val gjorts, vilket i sin tur ger ett konservativt svar.

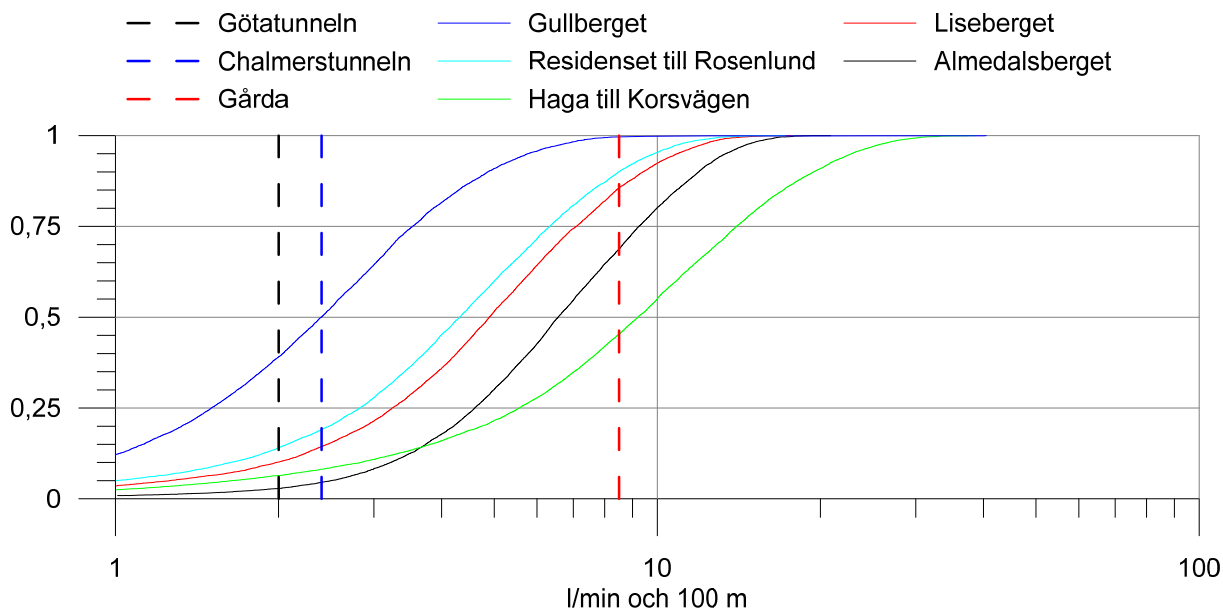


Figur 18. Beräknat inläckage per 100 m tunnel vid tätade förhållanden, för respektive bergtunnel längs spårtunneln, vid olika konfidensintervall.

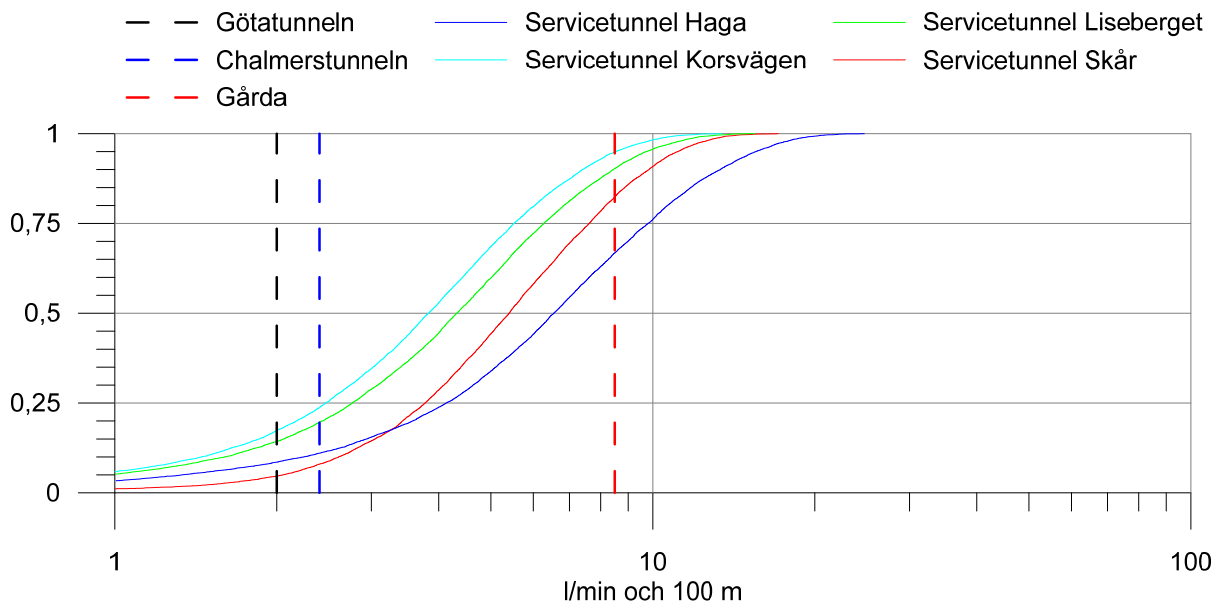


Figur 19. Beräknat inläckage per 100 m tunnel vid tätade förhållanden, för respektive servicetunnel, vid olika konfidensintervall.

I Figur 20 visas fördelningsfunktionen av beräknat inläckage som ett kumulativt fördelningsdiagram tillsammans med uppmätt eller uppskattat inläckage för tre av Göteborgs befintliga bergtunnlar (Trafikverket, 2016). Vid en jämförelse mellan beräknade inläckage och de två injekterade bergtunnlarna; Götatunneln och Chalmerstunneln; är inläckaget i befintliga tunnlar lågt i förhållande till beräknat inläckage i Västlänkens spårtunnel, men ligger inom beräknat inläckageintervall.



Figur 20. Kumulativt fördelningsdiagram över beräknat inläckage per 100 m tunnel vid tätade förhållanden för bergtunnlar längs spårtunneln, samt uppmätt/uppskattade inläckage för tre av Göteborgs bergtunnlar.



Figur 21. Kumulativt fördelningsdiagram över beräknat inläckage per 100 m tunnel vid tätade förhållanden för servicetunnlar, samt uppmätt/uppskattade inläckage för tre av Göteborgs bergtunnlar.

## 6 Känslighetsstudie och osäkerhet i indata

Vid beräkning för otätade förhållanden innebär den stora spridningen i hydraulisk konduktivitet att övriga parametrar får mindre betydelse. Vid beräkning med injektering ansätts dock den injekterade zonens hydrauliska konduktivitet till ett intervall med betydligt mindre spridning, vilket gör att övriga indata-parametrar får större inverkan, även om den hydrauliska konduktiviteten är den faktor som påverkar mest.

En känslighetsanalys har gjorts genom att utgå från ett hypotetiskt utgångsläge, som ligger inom det intervall som används i de stokastiska beräkningarna, se Tabell 6. Här beräknas inläckaget deterministiskt utifrån de ansatta värdena enligt ekvation 2 (som även redovisas på nästa sida). Därefter redovisas, i Figur 22, hur inläckaget förändras som en funktion av en parameter i taget (övriga parametrar är konstanta enligt utgångsvärden i Tabell 6). Beräkningen görs deterministiskt och intervallen är de som är aktuella för Västlänkens bergtunnlar.

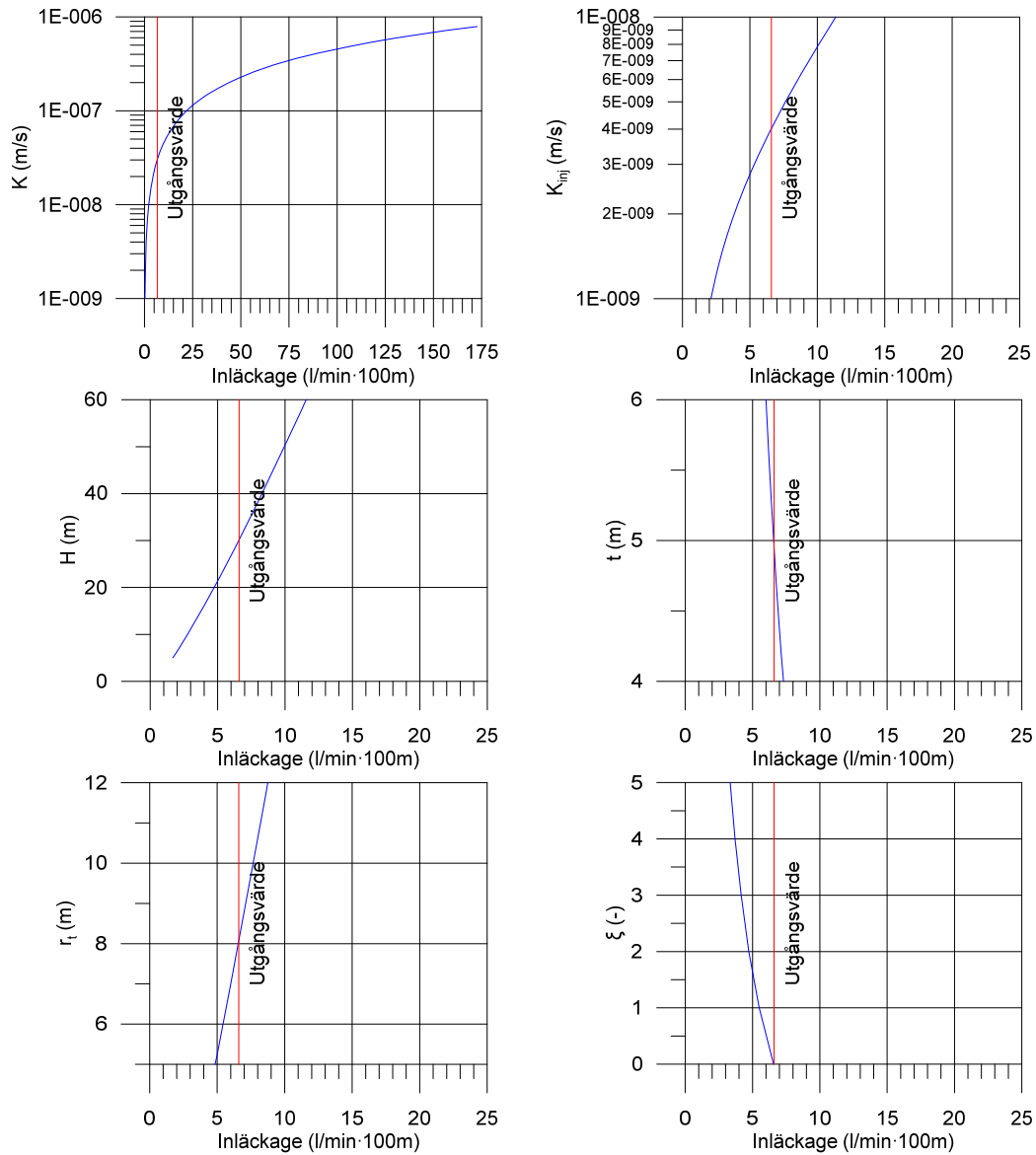
Känslighetsanalysen visar att bergets hydrauliska konduktivitet är den parameter som ger störst påverkan av det beräknade inläckaget. Därefter är den tätade zonens konduktivitet och grundvattentrycket de parametrar som ger störst förändring i inläckage.

Tabell 6. Utgångsvärden för att beskriva förändring av inläckage i Figur 22.

Parameter	Utgångsvärde
K (m/s)	$3 \cdot 10^{-8}$
H (m)	30
$r_t$ (m)	8
t (m)	5
$K_{inj}$ (m/s)	$4 \cdot 10^{-9}$
$\xi$ (-)	0
Q (l/min · 100m)	6,6

$$q = \frac{2\pi \bar{K} H}{\ln \frac{2H}{r_t} + \left(\frac{\bar{K}}{K_{inj}} - 1\right) \cdot \ln\left(1 + \frac{t}{r_t}\right) + \xi}$$





Figur 22. Förändring av inläckage vid justering av en parameter i taget, med övriga parametervärden konstanta enligt Tabell 6. Notera att skalan för x-axeln är annorlunda för parameter  $K$  jämfört med x-axlar för övriga parametrar.

## 7 Referenser

Eriksson och Stille (2005). *Cementinjektering i hårt berg*. SweBeFo. Rapport K22.

Gustafson, G (2009). *Hydrogeologi för bergbyggare*. Formas. Stockholm

Lindhe, A (2010). *Risk Assessment and Decision Support for Managing Drinking Water Systems*. Department of Civil and Environmental Engineering. Chalmers University of Technology.

PM Hydrogeologi berg (Trafikverket, 2016). *PM Hydrogeologi berg. Underlagsdokument till PM Hydrogeologi, ansökan om tillstånd till vattenverksamhet*. MPU02-50GT-025-00-0004.

Rhén I, Gustafson G, Wikberg P (1997). *Äspö HRL – Geoscientific evaluation 1997/4*. SKB TR 97- 05, Svensk Kärnbränslehantering AB.