

Ansökan om tillstånd för vattenverksamhet enligt 11 kapitlet  
miljöbalken

Bortledning av grundvatten vid Gryaabs Transporttunnlar

Göteborgs Stad, Västra Götalands län

Teknisk beskrivning

## Bilaga 1

Beräkning av inläckage till bergtunnlar och hydraulisk påverkan

2017-03-03



# Innehållsförteckning

Innehållsförteckning .....	3
1 Beräkning av inläckage till bergtunnel.....	4
2 Beräkning av hydraulisk påverkan .....	4
3 Transporttunnel Bratteråsberget .....	5
3.1 Inflödesberäkning.....	5
3.2 Hydraulisk påverkan .....	6
4 Transporttunnel Krokängsparken.....	7
4.1 Inflödesberäkning.....	7
4.2 Hydraulisk påverkan .....	7
5 Referenser .....	8

# 1 Beräkning av inläckage till bergtunnel

Inflöde,  $q$ , till en tunnel kan översiktligt beräknas med analytiska metoder enligt Gustafson (2012). Givet att parametrarna är korrekt uppskattade ger formeln en överskattning av inläckaget med hänsyn till de randvillkor som kan anses gälla. Överskattningen kommer bland annat ur att beräkningen förutsätter att grundvattenytan inte sänks, vilket den kommer att göra, något som förstärks av att de aktuella tunnarna är krökta. Beräkningar görs först för en oinjekterad tunnel (Ekvation 1) och sedan för en injekterad tunnel (Ekvation 2).

$$q = \frac{2\pi\bar{K}H}{\ln\left(\frac{2H}{r_t}\right)+\xi} \quad \text{Ekvation 1}$$

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

Parametrarna i dessa ekvationer har skattats enligt följande:

Bergets medelkonduktivitet har valts utifrån resultat från vattenförlustmätningar (helhål) i bergborrhålen, ( $\bar{K}=10^{-7}$  m/s) samt kontrollerats mot en generell uppskattning för området ur ett utdrag om 200 brunnar ur SGU:s brunnsarkiv ( $\bar{K}_{sgu}=5\cdot 10^{-7}$  m/s). Tryckhöjden  $H$  till grundvattenytan har satts som ett medeldjup för tunnelgolv mot mediangrundvattennivån. Tunnelns radie,  $r_t$ , har ansatts till radien på en cirkel (2,8 meter) med samma area som aktuellt tvärsnitt (25 m<sup>2</sup>). Tjockleken på den tätade zonen, ungefär lika med injekteringshålens stick har satts till 4 meter. Den tätade zonen konduktivitet har satts till  $K_{inj} = 10^{-8}$  m/s. Ett sådant tätningsresultat svarar i Eriksson & Stille (2005) mot en svårighet om 1-2 på en tregradig skala. Skinffaktorn,  $\xi$ , är en "slaskparameter" som beskriver situationen närmast tunneln och innefattar igensättning och utfällningar av sprickor, luft i sprickorna samt spänningsomlagringar (Gustafson 2012). Med årsvisa cykler av torrläggning är det inte orimligt att ansätta ett relativt högt skin,  $\xi=5$ , men i denna beräkning har ett mer konservativt värde om 0 - 2 använts.

Beräkningar utifrån simulerade sprickviddsfördelningar (se till exempel Thörn med flera, 2015) har ej bedömts meningsfulla då mätnoggrannheten vid vattenförlustmätningarna resulterade i att inga sektionstvattenförluster motsvarande transmissivitet under  $10^{-6}$  m<sup>2</sup>/s har uppmätts (med aktuell sektionlängd om 3 meter motsvarar detta  $K = 3\cdot 10^{-7}$  m/s). Beräkningar med sådan indata leder till att de små sprickornas vidd överskattas, vilket reducerar betydelsen av de större sprickorna i beräkningen.

Beräkningarna gäller för driftskedet. Under byggskedet växer tunnelns längd successivt, och användandet av kontinuerlig förinjektering gör att totala inflöden under byggskedet inte förväntas vara större.

## 2 Beräkning av hydraulisk påverkan

Storleken på det område i berg inom vilket hydraulisk påverkan i form av grundvattensänkning uppkommer kan approximativt bedömas utgående från en vattenbalansberäkning. I beräkningen sätts det årliga inflödet till tunneln lika med den årliga grundvattenbildningen över ett cirkulärt område. Områdets radie  $r$  (meter) blir den enda obekanta i ekvationen, och kan beräknas enligt nedan:

$$r = \sqrt{\frac{Q_{TOT}}{W \cdot \pi}}$$

Ekvation 3

Där  $Q_{TOT}$  ( $m^3$ ) är det totala inflödesvolymen över ett år och  $W$  grundvattenbildningen per år. Denna grundvattenbildning har satts till 50-120 mm/år i enlighet med Trafikverket (2015).

### 3 Transporttunnel Bratteråsberget

#### 3.1 Inflödesberäkning

Transporttunneln i Bratteråsberget blir 200 meter lång med medelbergtäckningen cirka 25 meter. Med antagande om en grundvattennivå i markyta ( $H=30$  meter över tunnelgolv) blir inläckaget till en oinjekterad tunnel 70 L/min och 20 L/min till en injekterad (beräkningsfall 2). Grundvattentrycket blir dock kraftigt överskattat i detta fall. De nivåmätningar som finns i berget är utförda vid den något mer låglänta norra änden, och där är nivåer omkring +5 till +12 meter (RH2000) vanligast. I södra änden ligger den befintliga Hamnbanans tunnel, och det finns även andra dränerande berganläggningar här. Dessa ligger på en nivå om cirka +6 till +10 meter, och det är därför rimligt att anta en grundvattenyta kring +10 meter även i denna ände av berget. Denna nivå svarar även mot nivån på omkringliggande mark och en tryckhöjd om 10 meter över tunnelgolv. I detta fall blir inläckaget till en oinjekterad tunnel 40 L/min och 8 L/min till en injekterad (beräkningsfall 1).

**Tabell 3.1** Beräkningsfall för tunnel i Bratteråsberget

Fall/ parameter	$\bar{K}$ (m/s)	H (m)	$r_t$ (m)	$K_{inj}$ (m/s)	t (m)	$\xi$	Not
1	$10^{-7}$	10	2,8	$10^{-8}$	4	0	
2	$10^{-7}$	30	2,8	$10^{-8}$	4	0	Konservativt

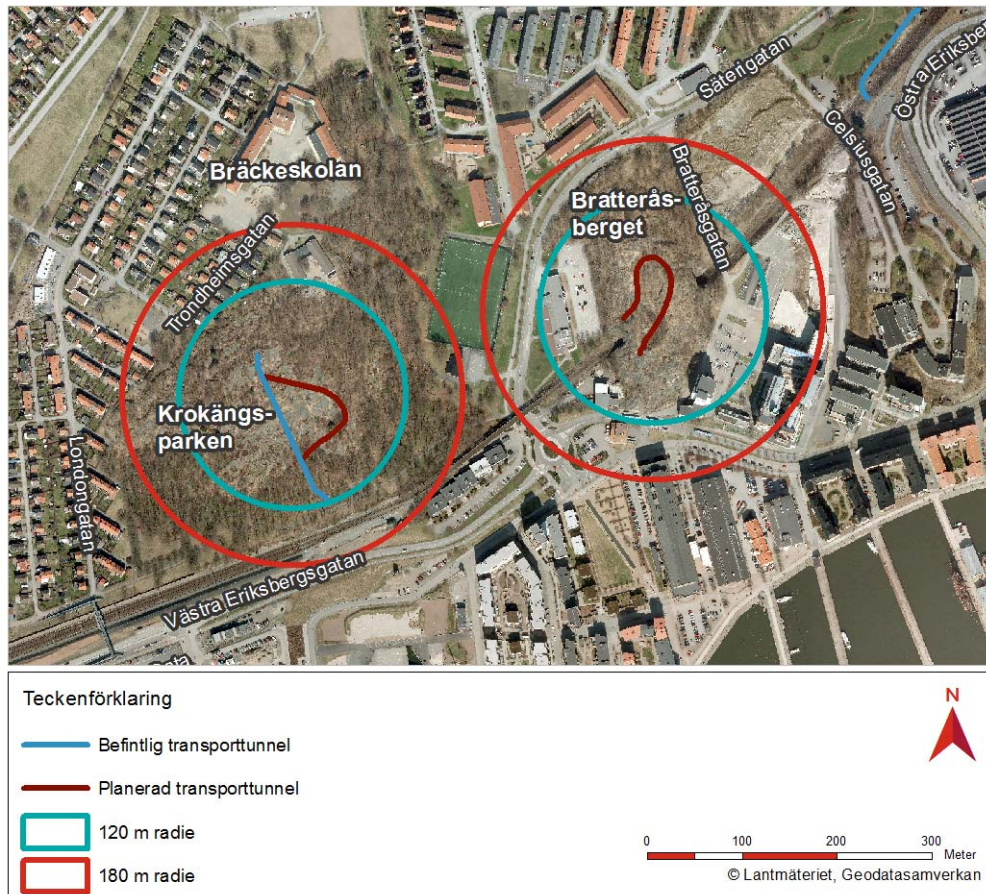
En känslighetsanalys har utförts som en Monte Carlo-simulering utifrån beräkningsfall 1 där parametrarna har varierats med en likformig fördelning mellan höga och låga värden enligt Tabell 4.2. Medelskattningen blir knappt 8 L/min och 70-percentilen knappt 10 L/min.

**Tabell 3.2** Parametrar för Monte Carlo-simulering av inflöde till en tunnel.

Parameter	Låg	Hög
A ( $m^2$ )	20	25
$\bar{K}$ (m/s)	$5 \cdot 10^{-8}$	$5 \cdot 10^{-6}$
$K_{inj}$ (m/s)	$1 \cdot 10^{-9}$	$5 \cdot 10^{-8}$
t (m)	3	5
H (m)	5	15
L (m)	190	210
$\xi$	0	2

### 3.2 Hydraulisk påverkan

Med en grundvattenbildning i berg på 50 mm/år och en bortledning av 8-10 L/min från en tänkt medelpunkt för tunneln erhålls en påverkansradie inom vilken vattenbalans uppnås på 150-180 meter enligt Ekvation 3, se Figur 3.1. Med grundvattenbildning om 100 mm per år blir motsvarande radie 120 meter.



**Figur 3.1** Påverkansradier om 180 och 120 meter (svarande mot 10 L/min inflöde och 50 respektive 120 mm grundvattenbildning per år) kring de planerade transporttunnlarna.

## 4 Transporttunnel Krokängsparken

### 4.1 Inflödesberäkning

Inläckage till en transporttunnel i Krokängsparken har beräknats på motsvarande sätt som för Bratteråsberget. Även detta berg är relativt litet och kan väntas ha en grundvattennivå motsvarande omkringliggande jordlager under de torrare delarna av året, och nära markytan vid mer ihållande regnperioder. Tunnelns längd i detta fall är cirka 200 meter vilket ger  $q=80$  L/min utan injektering, och  $q_{inj}=24$  L/min i beräkningsfallet med grundvattennivå nära marknivå, cirka 35 meter över tunnelgolvet.

Nivåmätningar i det närbelägna hammarborrhålet HB1201 visar på nivåer som är i närheten av markytan (+32 meter) under stora delar av året, medan nivåerna under sommaren är kraftigt avsinkta, ofta under nivån där tryckmätaren är installerad (+13 meter). Hålet bedöms egentligen inte ge representativa grundvattentryck för inläckageberäkningar, men en beräkning har ändå utförts för sommarnivån. Inflöde i detta sommarfall (Beräkningsfall 2 i Tabell 4.1) blir  $q=50$  L/min utan injektering, och  $q_{inj}=11$  L/min. Beräkningsfall 3 återspeglar nivåerna i omgivande jordlager och ger inläckaget till en oinjekterad tunnel 40 L/min och 8 L/min till en injekterad.

**Tabell 4.1** Beräkningsfall för tunnel i Krokängsparken.

Fall/ parameter	$\bar{K}$ (m/s)	H (m)	$r_t$ (m)	$K_{inj}$ (m/s)	t (m)	$\xi$	Not
1	$10^{-7}$	35	2,8	$10^{-8}$	4	0	Median-grundvattennivå i HB1201H
2	$10^{-7}$	15	2,8	$10^{-8}$	4	0	Sommar-grundvattennivå i HB1201H
3	$10^{-7}$	10	2,8	$10^{-8}$	4	0	Grundvattennivå i omgivande jordlager

### 4.2 Hydraulisk påverkan

Med en grundvattenbildning om 50 mm/år och ett uttag om 8-10 L/min ur Krokängsparkens sprickakvifer, erhålls vattenbalans inom en radie på 150-180 meter, vilket ungefär motsvarar Krokängsparkens utsträckning, se Figur 3.1. För 100 mm grundvattenbildning per år är motsvarande radie cirka 120 meter.

## 5 Referenser

Gustafson, G (2012) Hydrogeology for rock engineers. Stockholm: BeFo - Stiftelsen Bergteknisk Forskning

Thörn, J., Kvartsberg, S., Runslätt, E., Almfeldt, S. och Fransson, Å.  
(2015) Beräkningsverktyg för bergkaraktärisering vid injekteringsdesign – Teori och användarhandledning. Stockholm: BeFo - Stiftelsen Bergteknisk Forskning

Trafikverket (2015) Systemhandling Hamnbanan Göteborg, dubbelspår Eriksberg – Skandiahammen, Markteknisk undersökningsrapport (MUR), Hydrogeologi, Sweco. Projektnummer 108 793.