

Ostlänken

## PM Beräkningar

**Delområde Klinga-Vänningen, Vänningen-Norsskogen, Göta kanal och Rosenlund-Bäckeby**

Norrköpings kommun, Östergötlands län

Bilaga D.2.2 till PM Yt- och grundvatten



Dokumenttitel: PM Beräkningar, Delområde Klinga-Vänningen, Vänningen-Norsskogen, Göta kanal och Rosenlund-Bäckeby

Författare: Sweco

Dokumentdatum: 2023-06-21

Ärendenummer: TRV 2017/112660

Namn i PDBi: OLP2-04-025-23-0\_0-8503

Version: \_

# Innehåll

1.	Inledning .....	4
2.	Hydraultest .....	4
2.1.	Falling head och slugtest .....	4
2.1.1.	Metod .....	4
2.1.2.	Resultat .....	4
2.2.	Provpumpning .....	6
2.3.	Vattenförlustmätningar .....	6
3.	Påverkansområde – Analytisk beräkning .....	7
3.1.	Skärningar .....	7
3.1.1.	Inledning .....	7
3.1.2.	Formler .....	8
3.1.3.	Beräkning .....	11
3.1.4.	Förutsättningar och antaganden .....	12
3.1.5.	Exempel på beräkningsgång .....	18
3.1.6.	Underlag .....	23
3.1.7.	Resultat .....	24
3.1.8.	Osäkerheter .....	28
3.1.9.	Jämförelse med andra beräkningsmetoder .....	29
3.1.10.	Diskussion .....	31
3.2.	Brostöd .....	31
3.2.1.	Inledning .....	31
3.2.2.	Metod .....	31
3.2.3.	Förutsättningar och antaganden .....	32
3.2.4.	Resultat .....	33
4.	Källor .....	37

# 1. Inledning

Denna PM beskriver hur beräkningar för grundvattenpåverkan och grundvatteneffekter tillhörande PM Yt- och Grundvatten utförts, vilka indata som använts, motiv till valda metoder, samt resultat för delsträckan Klinga-Bäckeby.

## 2. Hydraultest

### 2.1. Falling head och slugtest

#### 2.1.1. Metod

Hydrauliska tester av typen faling head samt slugtest har utförts i 51 punkter varav 41 har utvärderats. Testerna utfördes genom att en volym vatten momentant fylldes i ett grundvattenrör, alternativt användes en slug. Grundvattenytans trycknivåförändring mättes med en tryckgivare, nedsänkt i grundvattenröret. Tryckgivaren togs upp ur röret när grundvattennivån återhämtat sig till ursprungsnivå. Testerna genomfördes 2016-04-14 och 2018-11-22 och resultatet har utvärderats med hjälp av programmet AQTESOLV Pro 4.0, enligt metod av Cooper-Bredehoeft-Papadopulos i första hand. Om denna metod inte varit representativ har annan metod använts. Använd metod redovisas i samband med respektive test.

Metoden och utförandet ger enbart en lokal (meter-skala) uppskattning av genomsläppligheten runt rörets filterdel.

#### 2.1.2. Resultat

Resultaten från utvärdering av hydrauliska slugtester sammanfattas i Tabell 1. Utvärderingsprotokoll redovisas i *Markteknisk undersökningsrapport Hydrogeologi, OLP2-50GT-025-23-0\_0-6201*.

*Tabell 1. Resultat av hydrauliska tester (falling head) utförda av Sweco. I tabellen anges ID, borrhålstyp, utvärderad hydraulisk konduktivitet (K) och eventuell kommentar.*

ID	Borrhålstyp	K (m/s)	Kommentar
15S302GU	2"	3,7E-07	
15S303GU	2"	2,9E-06	
15S305GU	2"	3,5E-06	
15S306GU	2"	2,1E-04	
15S309GU	2"	7,7E-06	
15S310GU	2"	3,2E-05	
15S311GU	1"	1,6E-05	

ID	Borrhålstyp	K (m/s)	Kommentar
15S312GU	2"	2,9E-03	Snabb sänkning av nivån. Tidserien har en knix.
15S313GU	2"	3,1E-05	
15S314GU	2"	1,4E-04	
16S316GU	2"		Stopp i röret, ingen funktion.
16S317GU	2"		Stopp i röret, ingen funktion.
16S318GW	2"		Artesiskt. Fullständigt borrprotokoll saknas.
16S319GU	1"		Artesiskt, snabb avsänkning.
16S319GU	1"		Vattnet försvinner direkt.
16S319GU	1"		Provar flera gånger, lika dåligt. Fullständigt borrprotokoll saknas.
16S320GU	2"	3,2E-07	Fullständigt borrprotokoll saknas.
16S321GU	2"	1,2E-04	Bower-Rice, tidig. Fullständigt borrprotokoll saknas.
16S322GU	2"	1,2E-04	Fullständigt borrprotokoll saknas.
16S323GU	2"		Torr vid start. Stopp i röret, ingen funktion. Fullständigt borrprotokoll saknas.
16S324GU	2"	8,0E-06	Fullständigt borrprotokoll saknas.
16S325GU	2"	1,6E-05	Fullständigt borrprotokoll saknas.
16S326GU	2"	6,8E-05	
16S327GU	2"	7,0E-07	
16S330GU	2"	4,9E-07	Torr vid start. Fullständigt borrprotokoll saknas.
16S331GU	2"	2,6E-07	Fullständigt borrprotokoll saknas.
16S333GU	2"		Torr, ej slug-testad. Fullständigt borrprotokoll saknas.
16S334GU	2"	2,0E-05	
16S335GU	2"	3,3E-04	Fullständigt borrprotokoll saknas.
16S336GU	2"		Stopp i röret, ingen funktion.
16S337GU	2"	4,9E-05	
16S338GU	2"		Torr vid start, ej slug-testad.
16S339GU	2"	8,4E-06	
16S340GU	2"	6,2E-05	Fullständigt borrprotokoll saknas.
16S341GU	1"	2,0E-07	

ID	Borrhålstyp	K (m/s)	Kommentar
16S342GU	1"	2,6E-06	Bower-Rice, tidig.
16S343GU	1"	4,3E-06	Torr vid start.
17S302GU	2"	4,7E-05	
17S303GU	2"	7,8E-05	Torr vid start och efter.
17S304GU	2"	1,2E-05	Torr vid start.
17S306GU	2"	2,3E-05	
18S301GU	2"	3,1E-05	
18S301GW	1"	1,1E-06	Torr vid start och efter. Fullständigt borrhprotokoll saknas.
18S303GU	2"	1,8E-05	
18S304GU	2"	6,4E-06	Fullständigt borrhprotokoll saknas.
18S305GU	2"	3,8E-08	Konstig liten knyck i datat. Bower-Rice, tidig.
18S306GU	2"	5,5E-06	
18S307GU	2"	2,1E-07	Bower-Rice, tidig.
18S308GU	2"	3,6E-06	Bower-Rice, tidig.
18S309GU	2"	3,4E-07	Bower-Rice, hela.

## 2.2. Provpumpning

Provpumpningar har inte utförts på delsträckan Klinga-Bäckeby.

## 2.3. Vattenförlustmätningar

Vattenförlustmätningar har inte utförts på delsträckan Klinga-Bäckeby.

## 3. Påverkansområde – Analytisk beräkning

Influens- och påverkansområde har beräknats med hjälp av analytiska formler för de delar av sträckan som bedöms ge grundvattenpåverkan till följd av grundvattenbortledning. I detta kapitel redovisas påverkansberäkningar för skärningar (3.1) och för mindre punktschakter såsom brostöd och vägportar (3.2). Med påverkansområde menas här det område inom vilket grundvattenavsänkning av betydelse kan uppkomma och kan bli större än 0,3 meter i jord eller 1 meter i berg. Avsänkningen blir definitionsmässigt 0,3 meter respektive 1 meter vid områdets gräns. I huvudsak är påverkansområdets utsträckning lokalt okända, men påverkansområdets grundform och utsträckning kan uppskattas.

### 3.1. Skärningar

#### 3.1.1. Inledning

Bestämning av påverkansavstånd och influensavstånd är osäkra i praktiken. Syftet med denna beräkning var därför endast att redovisa möjliga påverkansavstånd, utifrån olika men rimliga parameteruppsättningar. Detta jämförs sedan med avstånden till de skyddsvärda objekt som identifierats vid tillfället.

Beräkningarna är baserade på bästa möjliga indata för varje skärning. I många fall ligger skärningen och dess dräneringsnivå på en höjd i landskapet, högre än omkringliggande markyta. Det innebär att grundvatten endast kan påverkas indirekt genom bortledning av inläckande grundvatten längs skärningen och lokalt minskad grundvattenbildning med sänkta grundvattennivåer. Dessa påverkansberäkningar bygger på konservativa antaganden för att inte underskatta det troliga påverkansområdet. Detta betyder att påverkan i allmänhet borde bli mindre än vad som beräknats.

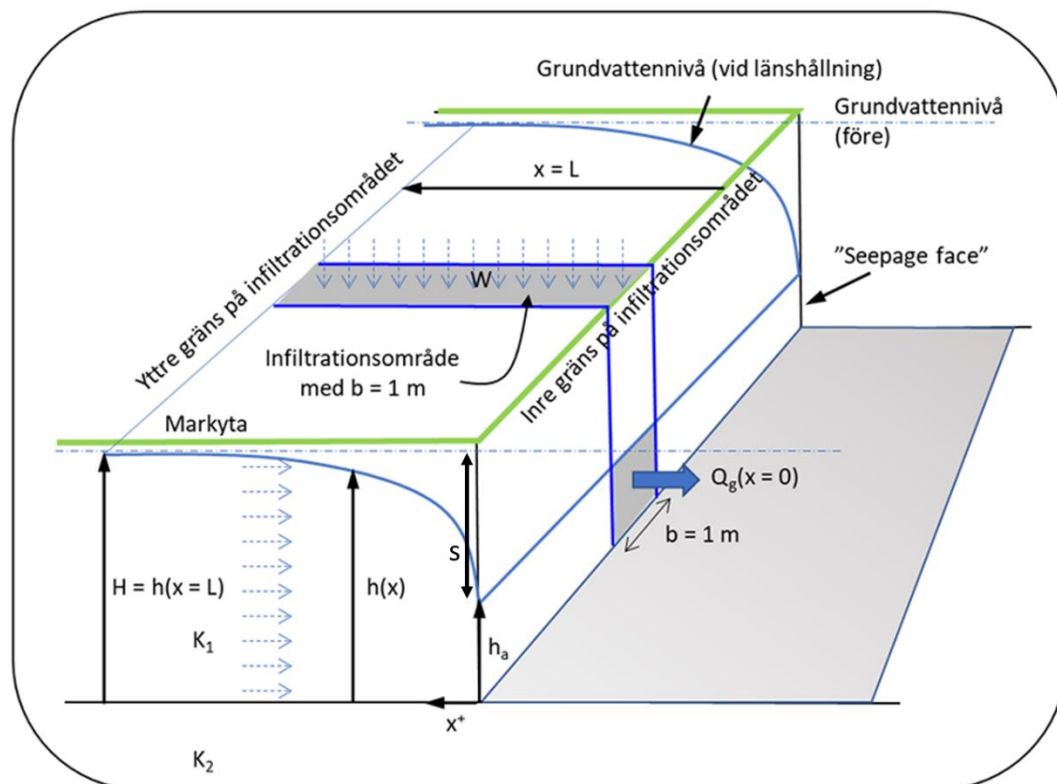
Denna beräkning av påverkansområde hade som mål att ta fram påverkansområden för varje skärningsområde som har identifierats i OLP2. Resultatet består av GIS-polygoner som visar det beräknade median-påverkansområdet (mest troliga påverkansområdet) för varje skärning. I verkligheten kommer påverkansområdenas gräns att variera. Påverkansområdet har tagit hänsyn till att olika delar av skärningen har olika djup, och är således större där skärningen är djupare och mindre där skärningen är grundare. Det totala påverkansområdet har sedan tagits fram genom att lägga ihop påverkansavstånden från alla punkter längs skärningen.

Det är viktigt att göra skillnad på påverkansavstånd och influensavstånd. Avsänkning i samband med anläggningsarbete medför att grundvattennivå (eller trycknivån, om det är ett slutet magasin) påverkas och blir lägre på ett visst avstånd från avsänkningen. Influensavstånd definieras för en horisontell grundvattennivå genom grundvattenbalans mellan uttaget grundvatten och tillfört grundvatten på influensytan, som den borte gränsen för sänkta grundvattennivåer, det vill säga att grundvattennivå är opåverkad bortanför influensavståndet. Influensområdet avser hela ytan inom influensavståndet. Påverkansavstånd definieras här som det avstånd där grundvattennivån är sänkt till en viss detekterbar, tillåten eller medgiven nivå, vanligen 0,3 m under opåverkad nivå i jordlager och 1 m under opåverkad nivå i berg. Påverkansområde avser hela ytan inom påverkansavståndet. Påverkansområdet kommer följaktligen alltid vara mindre än influensområdet, och är oftast det intressanta området för skyddsobjekt. Utifrån

påverkansområde bestäms den geografiskt utvalda sakägarkretsen, vilken ofta är aningen större än påverkansområde eftersom sakägarområdet inte enbart väljs utifrån beräkningar.

### 3.1.2. Formler

Den analytiska modellen är här baserad på Todd & Mays (2005), vilken beskriver en formel för influensavstånd (ekv. 1), en formel för inläckage (ekv. 2) samt en ekvation för påverkansavstånd (ekv. 3) för ett avlångt schakt (i detta fall att lika vid en skärning) i öppet magasin. Alla ovan nämnda formler beräknar förhållandena för endast en sida av schakten åt gången. En schematisk bild av en sådan akvifer visas i Figur 1:



Figur 1. Schematisk bild över en avlång, öppen skärning där ekv. 1-3 är tillämplbara (SGU, 2019).

Parameterbenämningar och beskrivning kan ses i Tabell 2:



Tabell 2. Förklaring av parametrar i ekv. 1-3 samt Figur 1.

Symbol	Parameter	Beskrivning
$L$ (m)	Influensavstånd	Avstånd från avsänkning till opåverkad grundvattenyta (där $s = 0$ ). $h(L) = H$
$K$ (m/s)	Hydraulisk konduktivitet	Jordlagrets/bergets genomsläpplighet för vatten.
$W$ (m/s)	Grundvattenbildning	Grundvattenmagasinets grundvattenbildning. Definieras utifrån nederbörd, avdunstning, marktyp, genomsläpplighet och markens magasineringsförmåga.
$H$ (m)	Opåverkad akvifermäktighet	Höjden från magasinets botten till grundvattnets opåverkade trycknivå.  Definieras utifrån akviferbotten. $H = h_a + s$
$h_a$ (m)	Maximalt avsänkt akvifermäktighet	Den minsta akvifermäktigheten, som en följd av avsänkning. Definieras utifrån samma nivå som $H$ .  $h_a = H - s$
$Q$ (m <sup>3</sup> /s)	Inläckage till schakt	Den vattenmängd per tidsenhet som läcker in till en schakt från sidor och botten vid stabila förhållanden (balans uppnådd mellan inläckaget och grundvattenbildningen). I beräkningarna redovisas $Q$ som inläckage per sida och per meter schakt. För totalt inläckage till en schakt måste $Q$ dubbleras och multipliceras med schaktens längd.
$b$ (m)	Schaktlängd	Den schaktlängd för vilket inläckaget ( $Q$ ) definieras. Normalt satt till $b = 1$ m för att redovisa inläckage per m schakt i utsträckningens riktning.
$h(x)$ (m)	Påverkad grundvattennivå	Grundvattennivån som en funktion av avstånd ( $x$ ) från avsänkningen. $0 \leq x \leq L$ . $h(0) = h_a$ , $h(L) = H$
$s$ (m)	Avsänkning	Den effekt på grundvattennivå som uppkommer inom influensavståndet från uttag i syfte att uppnå nödvändig dränering. $s = H - h_a$

Formlerna som använts redovisas som ekv. 1 – 3:

$$L = \sqrt{\frac{K}{W}(H^2 - h_a^2)} \quad \text{Ekv. 1}$$

$$Q = WLb \quad \text{Ekv. 2}$$

$$h^2(x) = \frac{W}{K}(2Lx - x^2) + h_a^2 \quad \text{Ekv. 3}$$

Ekv. 1 – 3 föreslås för rådande förhållanden av SGU under deras handledning *Bedömning av influensområde avseende grundvatten*. SGU benämner denna analytiska beräkning som "Modell 3" (SGU, 2019) (Figur 1).

Ekvation 1 används för att beräkna influensavståndet L, det vill säga avståndet mellan avsänkning och opåverkad grundvattennivå, inom vilket en avsänkning uppstår.

Ekvation 2 används för att beräkna inläckage till schakt eller skärning, i synnerhet från det exponerade grundvattenmagasinet i sidorna av skärningen. Inläckaget motsvarar grundvattenbildningen per schaktmeter i det område som utgörs av påverkansavståndet om  $b = 1$  m. För totalt inläckage till hela schakten sätts  $b =$  skärningens längd. Notera att denna formel, likt hela systemet som visas i Figur 1, endast gäller för ena sidan av skärningen. För att beräkna det totala inläckaget till skärningen måste det beräknade inläckaget dubbleras för framtagande av totalt inläckage till skärningarna. Ekvation 2 kan skrivas om för att ge ett uttryck för L (ekv. 4):

$$L = \frac{Q}{Wb} \quad \text{Ekv. 4}$$

Ekvation 3 används för att beskriva en påverkad grundvattennivå på ett avstånd  $x$  från skärningens kant. Detta används enbart för att beräkna det avstånd där en viss nivå finns (t.ex. 0,3 m under opåverkad grundvattennivå). För att lösa ut  $h(x)$  tas roten ur båda sidorna av ekvationen, enligt ekvation 5:

$$h(x) = \sqrt{\frac{W}{K}(2Lx - x^2) + h_a^2} \quad \text{Ekv. 5}$$

Föreslagen beräkningsgång enligt SGU (2019) är att först ta fram värdet på influensavståndet L (från en sida av skärningen) utifrån ekvation 1. Därefter kan inläckage beräknas fram med hjälp av ekvation 2. För att få fram en profil av avsänkningstratten används ekvation 3, vilken därefter kan användas för att beräkna påverkansavståndet (i dessa beräkningar 0,3 m (jord) respektive 1 m (berg) under opåverkad nivå). Påverkansavståndet benämns i denna rapport för  $L_{0,3}$  (påverkansavstånd i jord) respektive  $L_1$  (berg). För förklaring, se Figur 7.

### 3.1.3. Beräkning

Influensavståndet ( $L$ ) enligt ekvation 1 beskrivs utifrån fyra parametrar: hydraulisk konduktivitet ( $K$ ), grundvattenbildning ( $W$ ), akviferens mäktighet ( $H$ ) och avsänkt akvifemäktighet ( $h_a$ ). I avsnitt 3.1.4. *Förutsättningar och antaganden* nedan diskuteras hur  $H$  och  $h_a$  för dessa beräkningar istället beskrivits utifrån avsänkning ( $s$ ), vilken är känd och inte tillåts variera. Ekvation 2 beskriver hur inläckage  $Q$  för en sida av skärningen kan beräknas fram utifrån influensavstånd, och genom att skriva om ekvationen kan influensavståndet istället fås ut som en funktion av  $Q$  och  $W$  (ekvation 4). För dessa beräkningar har ekvation 1 balanserats mot ekvation 4. Ekvationen som används för att få fram påverkansavståndet  $L$  är således ekvation 1 minus ekvation 4 (se ekvation 6), där båda termerna är ett uttryck för  $L$ .

$$\sqrt{\frac{K}{W}(H^2 - h_a^2)} - \frac{Q}{Wb} = 0 \quad \text{Ekv. 6}$$

När ekvation 6 blir noll är influensavstånd  $L$  från ekvation 1 lika stor som  $L$  från ekvation 4, och med det finns då en parameteruppsättning (lösning) för  $K$ ,  $W$  och  $Q$  som ger ett värde på  $L$ . Det finns i praktiken oändligt många kombinationer av indata inom sina respektive osäkerhetsintervall, som därför ger oändligt många lösningar centrerade omkring medianvärdet.

De två okända parametrarna ( $L$  och  $Q$ ) styrs av två variabla parametrar ( $K$  och  $W$ ). De variabla parametrarna har ansatts vissa gränsvärden som diskuteras i avsnitt 3.1.4. *Förutsättningar och antaganden*.

- Hydraulisk konduktivitet ( $K$ ) kan variera mycket över små avstånd och är därmed svår att uppskatta för en specifik plats. Därtill är värdet på  $K$  av stor vikt för utfallet för beräkningarna, då dess värde kan variera mycket för olika jordarter.
- Grundvattenbildning ( $W$ ) är också okänd på en specifik plats, och kan därtill variera över tid.

Osäkerheten i dessa variabla parametrar har använts till att beräkna ett spann av värden för influensavstånd  $L$  samt inläckage  $Q$  med olika värden för  $K$  och  $W$  inom respektive indataparametrars osäkerhetsintervall. Lösningar för  $L$  och  $Q$  har tagits fram genom optimering av värden på de variabla parametrarna  $K$  och  $W$ . Processen av att ändra värdet på  $K$  och  $W$  för att erhålla olika möjliga värden på  $L$  och  $Q$  har upprepats ett antal gånger för att ge en statistisk sammanställning av influensavstånd och inläckage. De lösningar som grupperar sig kring centralvärdet är de mest troliga utifrån indatans intervall, det vill säga att medianvärdet på influensavstånd är det mest troliga. Därtill ger även denna beräkning ett mått på hur stort eller litet inläckage och influensavstånd kan vara, givet att valda indatavärden med sina gränser omsluter respektive verkligt parametervärde. Nya lösningar har beräknats fram till dess att hela uppsättningen lösningar motsvarar en jämn fördelning av de variabla parametrarna  $K$  och  $W$ , inom spannet för respektive parameter.

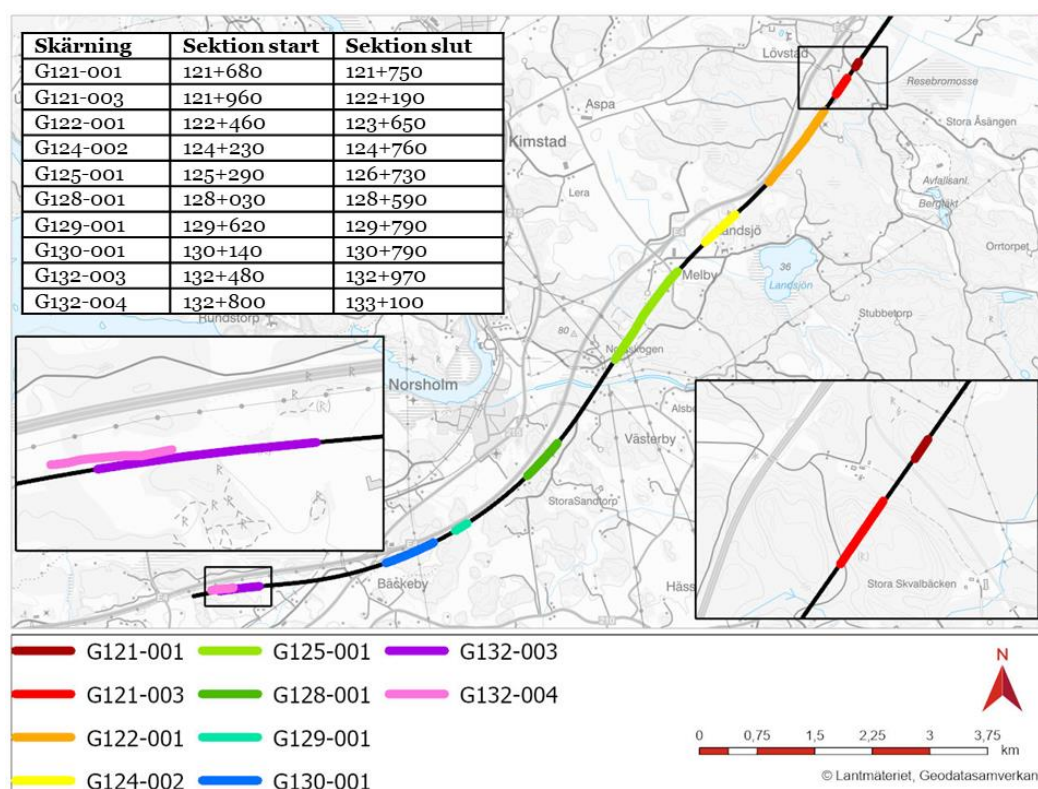
Att använda denna typ av numeriska beräkningar har fördelen att påverkansområdet för en viss skärning kan beräknas med en viss osäkerhetsmarginal för indataparametrarna, vilka anges i max-min-spänn snarare än ett specifikt värde. Resultatet av beräkningarna beror således av vilka spänn för tillåtna värden som har valts för parametrarna. Hur spännen har valts för varje enskild parameter framgår i avsnitt 3.1.4. *Förutsättningar och antaganden*.

Resultaten av beräkningarna jämfördes med beräkningsresultat från andra formler, se avsnitt 3.1.9 *Jämförelse med andra beräkningsmetoder*. Detta för att utröna huruvida beräkningarna ligger i ungefär samma storleksordning som alternativa metoder, och på så vis få en uppskattning om resultatens rimlighet.

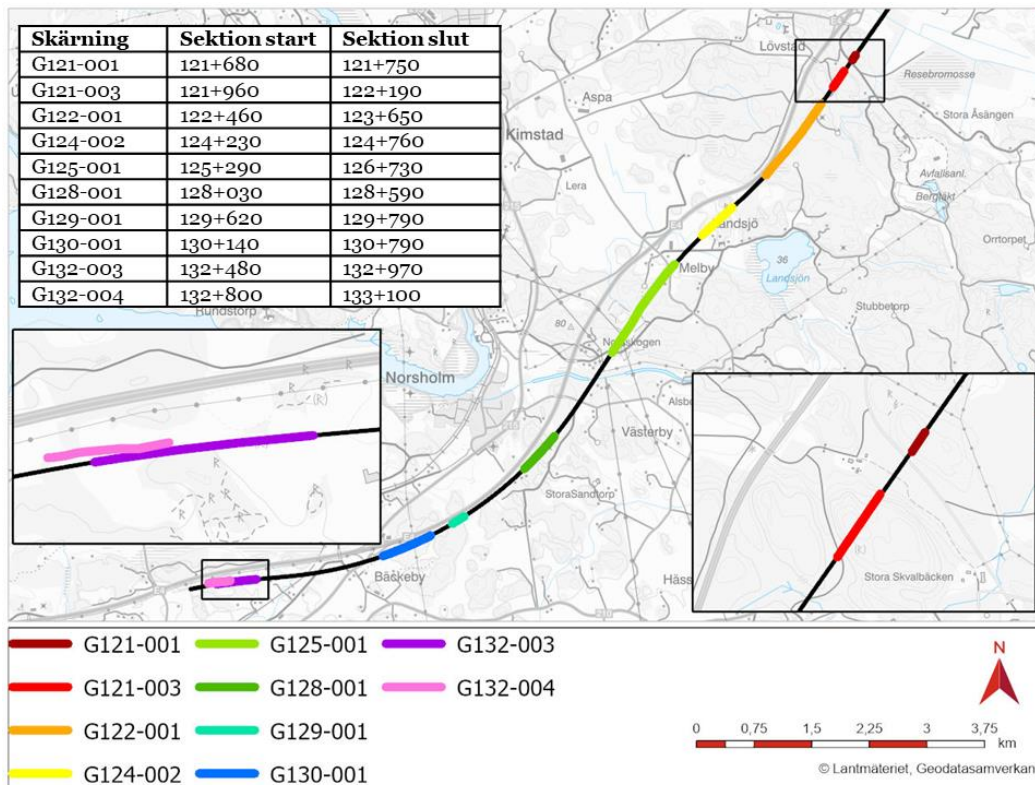
### 3.1.4. Förutsättningar och antaganden

#### Översikt skärningar

*I ett tidigare skede identifierades sex skärningar där risk för grundvattenbortledning föreligger på sträckan Klinga-Bäckeby, vilket räknas som vattenverksamhet. Vattenverksamheterna längs med den planerade banans längd har givits ett ID baserat på huruvida yt- eller grundvatten berörs, längdmätning samt numrering. För dessa skärningar har beräkning av påverkansavstånd genomförts, vilket visas i*



Figur 2. Det förekommer även ett djupare dike som sträcker sig aningen längre än skärning G132-003 i den södra delen. Detta dike behandlas som en skärning i detta avsnitt.



Figur 2. Översikt av de skärningar som beräkningar för påverkansavstånd har genomförts för.

Skärningarna återfinns generellt i områden där spåret skär igenom högt belägna markpartier, antingen lokalt uppstickande kullar eller toppar, eller större, mer plataliknande höjdområden som spåret skär igenom vid en lång sträcka. Jordarterna högre upp i terrängen utgörs vanligen av morän eller berg i dagen. Skärningarna går därmed sällan genom lerlager och har därför antagits vara i öppna magasin.

Påverkansavståndet för olika skärningar beror till del på hur stor grundvattenavsänkningen är, vilket i sin tur beror på skärningsdjupet. Många av skärningarna går genom såväl jordlager som berg. Den beräkningsmetod som har använts för påverkansberäkningarna behandlar jordskärningar och bergskärningar separat, eftersom det är komplicerat att beräkna en kombinerad avsänkning i jord och berg på analytisk väg.

Tabell 3 visar det största skärningsdjupet i jord samt berg för respektive skärning, samt den största grundvattensänkningen vid respektive skärningsdjup. Skärningens mäktighet för ett område beräknas som avståndet mellan markyta och spårens dräneringsnivå. Dräneringsnivån är ansatt till 2,5 m under vald spårhöjd.

Tabell 3. Största skärningar för skärningarna på södra delsträckan.

Skärning	Största skärning jord / Största grundvattensänkning	Största skärning berg / Största grundvattensänkning
G121-001	3,5 m / 2,2 m	2,8 m / 2,8 m

	Skärning	Största skärning jord / Största grundvattensänkning	Största skärning berg / Största grundvattensänkning
	G121-003	4,4 m / 3,0 m	21,7 m / 20,3 m
	G122-001	7,5 m / 7,0 m	17,9 m / 17,4 m
	G124-002	17,0 m / 4,7 m	21,8 m / 19,8 m
	G125-001	12,6 m / 8,5 m	19,2 m / 15,1 m
	G128-001	6,3 m / 3,6 m	14,1 m / 9,5 m
	G129-001	4,8 m / 4,3 m	0,7 m / 0,2 m
	G130-001	3,5 m / 3,0 m	12,7 m / 12,2 m
	G132-003	4,7 m / 4,2 m	0 m
	G132-004	5,2 m / 2,5 m	0 m

#### Grundvattennivåer

Alla skärningar går genom höjder i landskapet. Det är generellt svårt att sätta grundvattentrör på bergiga höjder och därmed finns det sällan rör i direkt anslutning till skärningarna. För att göra en konservativ uppskattning av grundvattennivån vid skärningarna har den uppmätta medelnivån hos det (eller de) närmaste grundvattentröret/-en använts, i meter under markytan (m.u.my.). Detta innebär att grundvattenytan antas helt följa topografin upp på höjden, vilket troligtvis ger en överskattad uppskattning eftersom grundvattennivån generellt ligger längre under markytan på höjder jämfört med omkringliggande mark.

#### Akvifermäktighet H (och $h_a$ )

I formeln som rekommenderas av SGU (Todd och Mays, 2005) beror L av akviferens mäktighet mellan avsänkningen och den täta botten ( $h_a$ , se Figur 1). Detta har relativt stor påverkan på utfallet, men ger orimliga resultat och är inte heller tillämpligt på att beskriva en bergskärning. Det viktigaste för dessa beräkningar har varit att vara konsekvent och bedöma rimligheten av de antaganden som görs, varför akviferens mäktighet under schaktbotten ( $h_a$ ) har ansatts till 0. Av det följer  $H = s$ , d.v.s. akviferens totala mäktighet är lika stor som avsänkningen (se ekv. 7). Avsänkningen är relativt känd och tillåts inte variera i den numeriska lösningen, och följaktligen gäller samma sak för H. Motivet bakom att ansätta  $h_a = 0$  grundar sig dessutom i faktumet att skärningarna går genom höjdområden med begränsad utsträckning. Inläckage från sidorna av schakten är således begränsade, såväl som påverkansområdets möjliga utbredning.

## Avsänkning (s)

Avsänkning avser den nivåförändring i grundvattenyta som uppstår till följd av verksamheten. I dessa beräkningar definieras avsänkningen som skillnaden mellan antagen befintlig (opåverkad) grundvattennivå och projekterad dräneringsnivå (satt till 2,5 m under spårhöjd). Om grundvattennivån ligger lägre än dräneringsnivån sker ingen avsänkning.

Avsänkningen har beräknats som skillnaden mellan det lägsta skärningsdjupet ned till dräneringsnivå ( $h_a$ ) och den ansatta opåverkade grundvattennivån ( $H$ ), se ekvation 7:

$$H = h_a + s \leftrightarrow s = H - h_a \quad \text{Ekv. 7}$$

Eftersom grundvattenytan har ansatts till att följa topografin sker den största avsänkningen vid den största skärningen (se Figur 5). Dräneringsnivåer har tagits fram för var tionde meter längs skärningarna och således har avsänkningen beräknats med 10-metersintervall.

Avsänkningen har beräknats separat för jordlager och berglager. Eftersom många skärningar innebär en kombination av skärning genom jord och berg borde en modell helst räkna på den totala avsänkningen. Detta ger dock en mer komplex situation än vad modellen tillåter, och en rimlig förenkling bedöms vara att beräkna påverkansområden för jord och berg separat och redovisa det större området av de två. I det fall att berg överlagras av jord antas avsänkningen i berget vara lika med skärningsdjupet (antaget mättade förhållanden i berg).

## Hydraulisk konduktivitet (K)

Hydraulisk konduktivitet i jord togs i första hand, för etablering av gränsvärden, från slugteter i grundvattenrör. Antagandet var att röret som slugtestet har utförts i sitter i samma material/formation som skärningen sker genom. När det gäller jordskärningar går de i princip endast genom morän och torv. Moränen längs OLP2 antas vara bildad på liknande sätt överallt och således ha liknande egenskaper i alla skärningar. Alla grundvattenrör som valdes ut för dessa beräkningar har filter i moränen och gränsvärdena för alla områden är således satta utifrån min-K och max-K från slugtesterna. Vissa slugteter var svåra att lösa med den bäst lämpade lösningsmodellen och har därmed också uteslutits ur urvalet för maximum och minimum, likaså grundvattenrör som uppvisade defekt vid slugtestet (t.ex. torr innan, efter, stopp i röret). Torv bedöms vara en relativt tät jordart, i vilket grundvattenrör inte finns placerade. En konservativ ansats är att använda resultaten från grundvattenrören i morän för samtliga jordskärningar, då genomsläpplighet i torv sannolikt är lägre än så.

Eftersom varje slugtest endast ger egenskaperna lokalt runt varje rör har helheten bedömts genom att göra tester i många rör. Det ger ett bra stickprov som grund för att bedöma moränens hydrauliska konduktivitet som helhet.

Tabell 4 redovisar minimum och maximum från slugtesterna på södra delsträckan.

*Tabell 4. Statistik från slugteter i jord på södra delsträckan.*

Storhet	Värde	Enhet
Antal grundvattenrör	53	st.
Antal giltiga slugtest	27	st.
Minimum K	2E-7	m/s
Maximum K	3E-4	m/s

För bergskärningar kan inte värden från slugtester användas, då inga grundvattenrör är satta i berg. Vattenförlustmätningar i kärnborrhål saknas också. Istället har SGU:s kartserie Ah (grundvattenkartor) använts. I beskrivningen till Ah-kartan över Östergötlands län (SGU, 1997) finns uttagsdata från brunnar i respektive bergart, med framräknat K-värde. Bergarterna i området utgörs framför allt av äldre, gnejsig granit, yngre granit och äldre sedimentbergarter. Hydraulisk konduktivitet för bergarterna låg alla mellan 2-4E-8 m/s. För en mer konservativ bedömning valdes således gränsvärdena för K med lite marginal, i synnerhet uppåt. Tabell 5 redovisar minimum och maximum för bergskärningarna på södra delsträckan:

Tabell 5. Satta min- och maxvärden för hydraulisk konduktivitet i berg.

Storhet	Värde	Enhet
Minimum K	1E-8	m/s
Maximum K	5E-7	m/s

#### Grundvattenbildning W

Grundvattenbildning styr påverkansområde såtillvida att högre grundvattenbildning leder till snabbare påfyllnad av akviferen, vilket gör att mer vatten finns tillgängligt för uttag och därmed minskar påverkansavståndet. En konservativ bedömning bör således underskatta grundvattenbildningen och inte ansätta för högt värde. Området utgörs framför allt av moränpartier och berg i dagen i höjdområden, med lera i de mellanliggande dalarna. Jordarterna är således moränt/fint. I figur A1 i Grundvattenbildning i svenska typjordar (Rodhe et al, 2006) uppskattas grundvattenbildning i Sverige utifrån typjordart (grovt/morän/fint). I nordöstra Östergötland kan grundvattenbildningen uppskattas till 150-225 mm/år. Ett konservativt antagande är att gränsvärdena för grundvattenbildning är mellan 90-200 mm/år, vilket borde ta extrema torrår såsom 2018 i bättre beaktande.



## Avsänkningstratt och medgiven avsänkning

I modell 3 (ekvation 3) finns en ekvation som beskriver avsänkt GV-yta ( $h$ ) som en funktion av avstånd ( $x$ ) från avsänkningen ( $s$ ):

$$h^2(x) = \frac{W}{K}(2Lx - x^2) + h_a^2 \quad \text{Ekv. 3}$$

Denna ekvation använder som indata grundvattenbildning ( $W$ ), hydraulisk konduktivitet ( $K$ ), influensavstånd ( $L$ ), avstånd från avsänkningen ( $x$ ) och akvifermäktighet under avsänkning ( $h_a$ ). När ett värde på  $L$  har erhållits via den numeriska lösningen kan således parameteruppsättningen som gav detta svar användas för att beräkna avsänkningstratten. Målet med detta är att uppskatta hur stor avsänkningen är på ett visst avstånd, och i synnerhet beräkna på vilket avstånd avsänkningen är 0,3 m för jordskärningar och 1 m för bergskärningar.

Målet med dessa beräkningar är alltså egentligen inte influensavstånd  $L$ , utan *påverkansavståndet*, där grundvattennivån ligger 0,3 m under opåverkad nivå i jord och 1 m under opåverkad nivå i berg. Som framgår av ekvation 3 behövs dock  $L$  beräknas först. Påverkansavståndet betecknas som  $L_{0,3}$  för påverkansavstånd i jord och  $L_1$  för påverkansavstånd i berg. Sammanfattningsvis:  $L$  avser influensavstånd till helt opåverkad grundvattenyta.  $L_{0,3}/L_1$  avser påverkansavstånd: avståndet till nivån 0,3 m (jord)/1 m (berg) under opåverkad grundvattenyta. Se Figur 7 för exempel på en avsänkningstratt och skillnaden mellan  $L$  och  $L_{0,3}$  samt  $L_1$ .

### Olika förutsättningar inom samma område

Vid långsträckta schakter (skärningar) kommer förutsättningarna att förändras längsmed schaktens längd, i och med att markytan ligger högre eller lägre på olika platser längs skärningen. En konservativ ansats är att endast beräkna påverkansavstånd baserat på det största skärningsdjupet för varje skärning (enligt Tabell 3). Att använda detta påverkansavstånd för ett helt område gav dock en ganska stor överskattning, i synnerhet för de delar där skärningen endast utgör en bråkdel av det största skärningsdjupet. Det är inte rimligt att en avsänkning på exempelvis 1 m ger samma påverkansavstånd som en avsänkning på 20 m, och detta måste speglas i form av ett mer detaljerat påverkansområde. Ytterligare beräkningar av påverkansavstånd genomfördes därmed för mindre skärningsdjup inom varje skärning: för en avsänkning motsvarande halva största skärningsdjupet (benämns "Medel skärningsdjup"), samt för en avsänkning motsvarande en tredjedel av det största skärningsdjupet (benämns "Grunt skärningsdjup"). Varje punkt i skärningen tilldelades ett påverkansavstånd som motsvarade skärningsdjupet i den punkten, vilket sammanlagt utgör påverkansområdet för hela skärningen.

## Topografi och hydrauliska gränser

Det sista steget i att ta fram påverkansområde innebär mindre justering av gränsen utifrån topografi och positiva hydrauliska gränser.

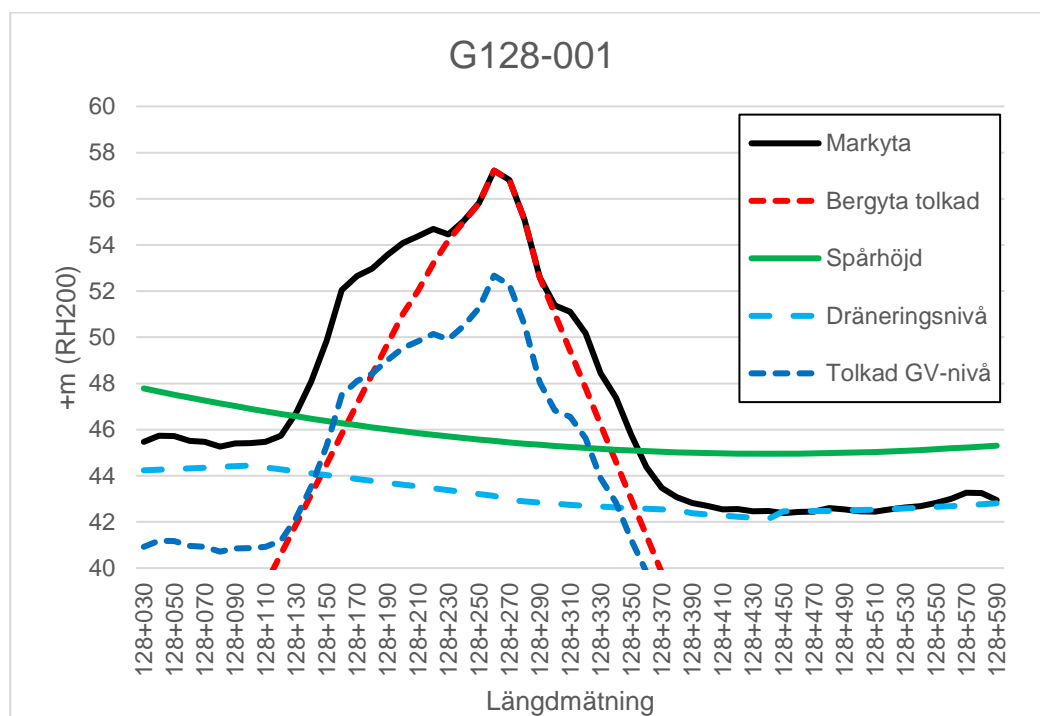
Den valda beräkningsmodellen förutsätter en konstant grundvattennivå av oändlig utsträckning. I verkligheten kan grundvattenytan variera mycket över små avstånd, i synnerhet i områden med många relativt små och avgränsade magasin. Det är därmed inte osannolikt att påverkansområdet sträcker sig till områden där markyta och grundvattenytan ligger betydligt lägre än vid skärningen. De delar av påverkansområdet vars markyta ligger lägre än spårrets dräneringsnivå har således tagits bort, då grundvattennivån i dessa perifera områden ligger lägre än den avsänkta nivån.

Hänsyn har även tagits till positiva hydrauliska gränser, i detta fall större ytvattendrag som kan antas stå i kontakt med grundvattnet och bidra till opåverkade trycknivåer genom tillflöde till grundvattnet. De delar av påverkansområdet som överlappar sådant ytvatten har tagits bort.

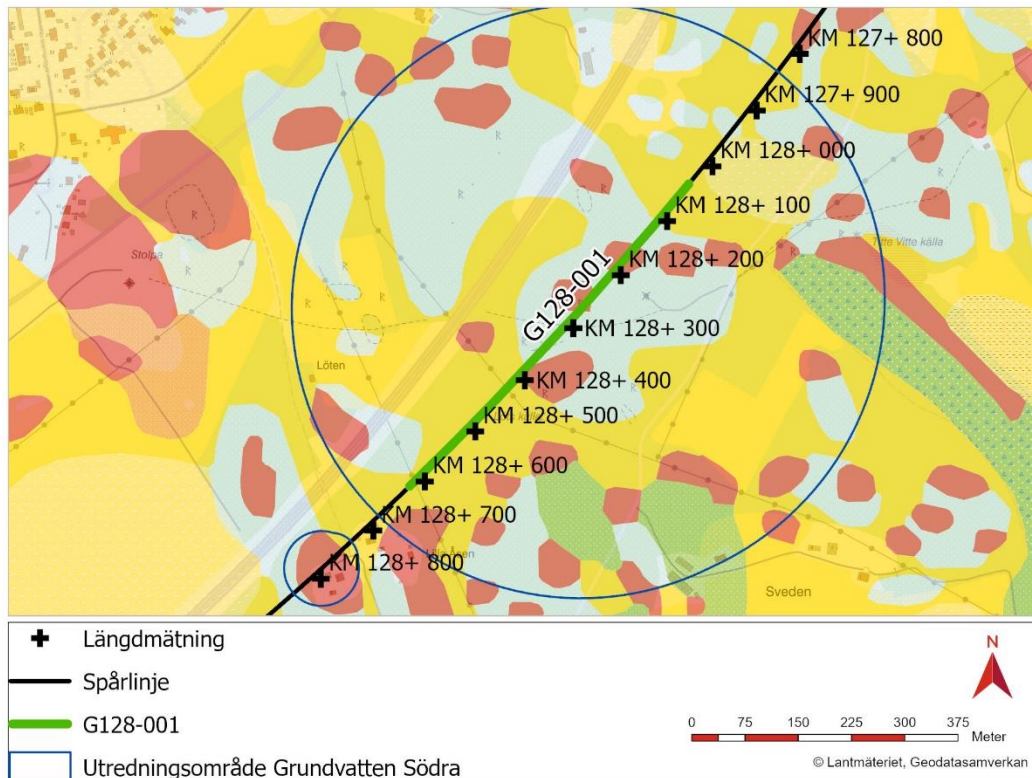
### 3.1.5. Exempel på beräkningsgång

För att ytterligare förklara hur beräkningen gick till i praktiken följer nedan ett exempel där påverkansområdet för skärning G128-001 är framtaget steg för steg:

Profil och karta över G128-001 redovisas i Figur 3 och Figur 4:



Figur 3. Profil av skärning G128-001. Avsänkningspotentialen (vilken ligger till grund för inläckage och påverkansavstånd) är höjdskillnaden mellan mörkblå och ljusblå streckad linje. Störst tryck, tillika störst avsänkning, bedöms i detta fall bli omkring km 128+260, ca 10 m potentiell avsänkning.



Figur 4. Planvy av skärning G128-001 med jordartskarta som bakgrund. Blå cirklar är det sedan tidigare bedömda utredningsområdet.

Detta område innehåller djupa skärningar i både berg och jord. Ett grundvattenrör finns i närheten av området, 15S311GU. Mätningar har utförts i detta rör sedan mars 2016, och nivån har legat stabilt på ca +42,5 m, vilket motsvarar 4,5 m under markyta (m u.my.). För detta område har grundvattennivå således extrapolerats till 4,5 m u.my. längs hela skärningen (grundvattennivå = markyta - 4,5), trots att området är beläget högre upp än grundvattenröret. Detta ger en konservativ bedömning av grundvattennivån, som troligen ligger djupare i höjdområden. Eftersom grundvattennivån är direkt kopplad till markytan innebär det också att den största avsänkningen kommer att finnas vid det största skärningsdjupet.

Med hjälp av en antagen grundvattennivå kunde avsänkningen ( $s$ ) beräknas som  $s =$  grundvattennivå - dräneringsnivå. Det största skärningsdjupet i jord är 6,2 m och medför en avsänkning på 3,6 m ( $s_{\max, \text{jord}}$ ). Det största skärningsdjupet i berg är 14,1 m och medför en avsänkning på 9,5 m ( $s_{\max, \text{berg}}$ ). Påverkansberäkning har utförts för dessa värden på avsänkning, vilket motsvarar skärningsdjupet i större delen av skärningen (se Figur 3). I kanterna av skärningen är skärningsdjupet dock betydligt grundare, vilket innebär att ett lägre värde på avsänkningen måste användas för påverkansavstånd i kanterna. Beräkningar av påverkansavstånd har genomförts separat för de grundare delarna av skärningen, med lägre ansatta värden på avsänkningen.

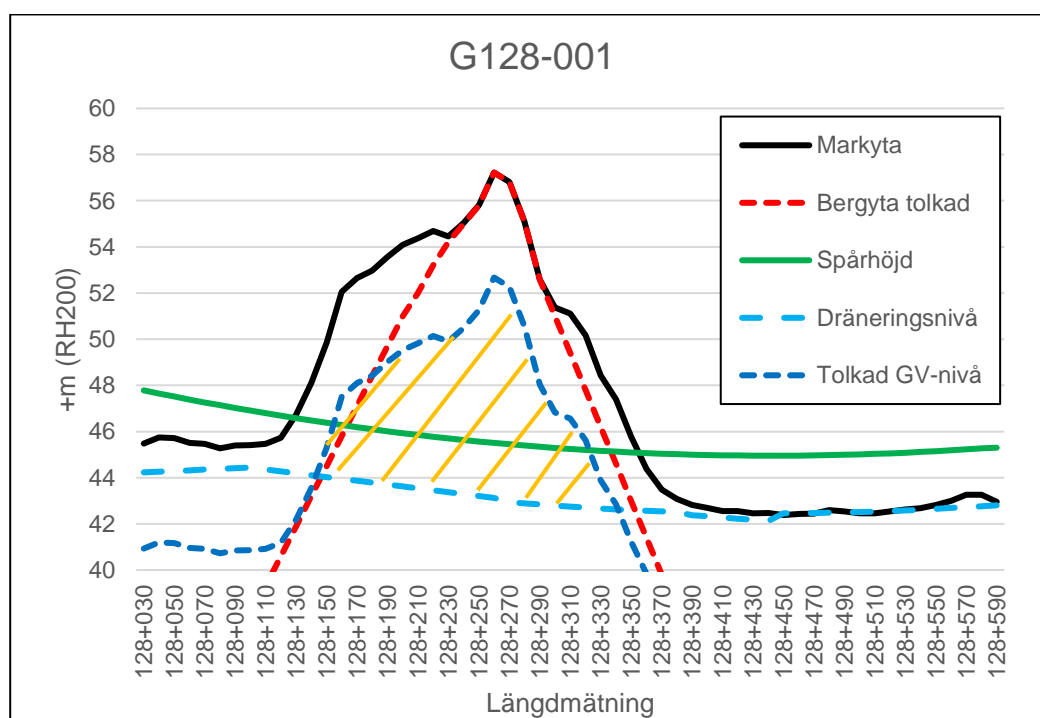
Övriga parametrar ( $K$  och  $W$ ) är generella för hela södra delsträckan.

Följande indata har använts till beräkning av influensavstånd samt inläckage för skärning G128-001 (Tabell 6):

Tabell 6. Parametervärden och -gränser för beräkning L och Q i skärning G128-001.

Parameter	Värde (enhet)	Undre gräns (enhet)	Övre gräns (enhet)
$S_{max,jord}$	3,6 (m)	-	-
$S_{max,berg}$	9,6 (m)	-	-
$K_{jord}$	-	3,2E-7 (m/s)	3,3E-4 (m/s)
$K_{berg}$	-	1E-8 (m/s)	5E-7 (m/s)
W	-	90 (mm/år)	200 (mm/år)

Figur 5 visar hur profilvyn ser ut med beräknade antaganden om grundvattennivå och avsänkning:



Figur 5. Profil av skärning G128-001. Den gulstreckade ytan visar var tolkad GV-nivå är större än dräneringsnivå, där avsänkning beräknas bli nödvändig och således där påverkansavstånd ska beräknas. För en homogen geologi blir inläckaget lokalt störst vid ca 128+260, och minskar därifrån ut till punkterna där grundvattennivån ligger högre än dräneringsnivån.

Parametrarna från Tabell 6 användes för att beräkna influensavståndet för jord och berg separat, inklusive tillhörande värden på inläckage. Varje influensavstånd beräknades numeriskt tills hela spannet för hydraulisk konduktivitet och grundvattenbildning fanns representerade bland lösningarna. Av dessa värden kunde medianvärde på influensavstånd och inläckage plockas fram.

För att ta fram påverkansavståndet ( $L_{0,3}$  samt  $L_1$ ) från influensavstånden ( $L$ ) användes Ekvation 5. Beräkningar genomfördes för det största skärningsdjupet, samt hälften och en tredjedel av största skärningsdjup, för att spegla skärningens olika djup. Det är dessa avstånd som tillsammans ansätts som gränsen för påverkansområdet.

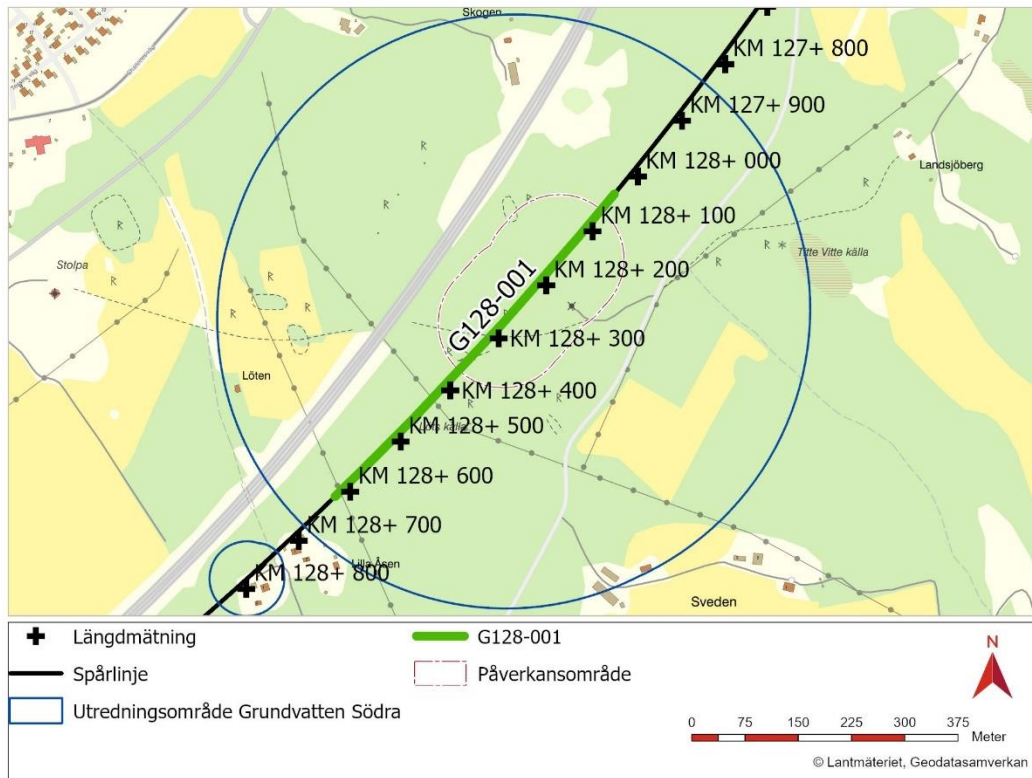
Tabell 7 visar resultaten av dessa beräkningar:

Tabell 7. Resultat av numerisk beräkning av  $L_{0,3}$  samt  $L_1$  (påverkansavstånd).  
Medianvärdet i dessa beräkningar har använts för bedömning av påverkansområde.

G128-001	$L_{0,3}$ (Jord)	$L_1$ (Berg)
Avsänkning (m)	3,5	9,5
Antal körningar:	7	7
Median (m)	91	57
Min (m)	41	45
Max (m)	132	63
Standardavvikelse	34	6

Med hjälp av metodiken ovan kan påverkansavståndet i varje punkt längs skärningen bestämmas. Varje punkt i skärningen kommer att få värdet av ett påverkansavstånd, beroende på skärningens djup i den punkten. Det värde av  $L_{0,3}$  och  $L_1$  som är störst väljs, vilket indikerar om störst påverkan bedöms uppstå till följd av skärningen i jord eller berg. I exemplet ovan är  $L_{0,3}$  större än  $L_1$ , vilket innebär att skärningen i jord bedöms ha större påverkan än skärningen i berg. Påverkansavståndet för de djupaste delarna av denna skärning är således 91 m. På motsvarande sätt väljs ett värde på påverkansavstånd för de mindre djupa delarna av skärningen (medel skärningsdjup respektive grunt skärningsdjup). Alla dessa påverkansavstånd läggs ihop för att skapa påverkansområdet.

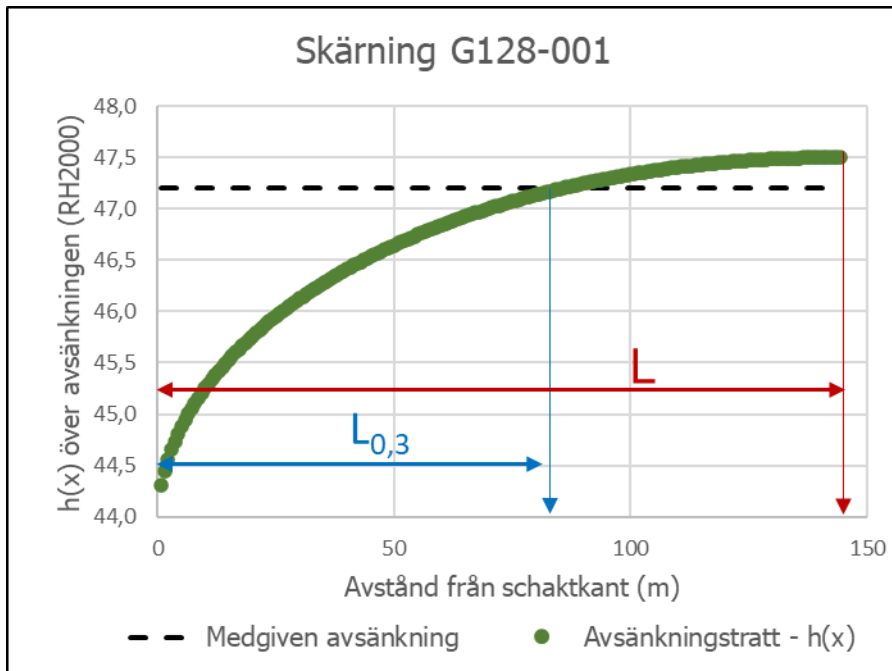
Figur 6 redovisar det beräknade påverkansområdet för G128-001, då de olika skärningsdjupen har tagits i beaktande. Detta kan jämföras med det sedan tidigare beräknade utredningsområdet (blå cirkel). Slutligen har påverkansområdet eventuellt justerats utifrån topografi. De delar av påverkansområdet vars markyta ligger lägre än spårets dräneringsnivå har tagits bort. Hänsyn har även tagits till positiva hydrauliska gränser, såsom sjöar och större ytvattendrag som kan antas stå i kontakt med grundvattnet och bidra till opåverkade trycknivåer genom tillflöde till grundvattnet. Det beräknade påverkansavståndet är en prognos för bedömd påverkan, utifrån tillgänglig data och ovan redovisade antaganden.



Figur 6. Påverkansområde för G128-001.

Figur 6 visar det beräknade påverkansområdet för G128-001, baserat på konservativa uppskattningar. I detta område är påverkansavståndet ganska jämnt, och varierar inte så mycket i bredd längs skärningens längd. Detta beror på att den delen av skärningen som har en stor avsänkning är koncentrerad till mitten av skärningen. Hade skärningen varit längre, och med en längre sträcka av grundare skärningsdjup hade påverkansområdet varierat mer i bredd.

För varje punkt mellan skärningen och influensavstånd  $L$  kan grundvattennivån uppskattas med hjälp av Ekvation 5, vilket ger en avsänkningstratt enligt Figur 7:



Figur 7. Avsänkningstratt för maximal skärning i jord ( $s = 3,6$  m). Den gröna linjen visar grundvattennivån (m.ö.h.) på ökat avstånd från skärningen. Där den gröna linjen når opåverkad nivå (+47,5 m) finns influensavstånd  $L$ . Den streckade svarta linjen visar 0,3 m under opåverkad nivå (+47,2 m). Där den gröna linjen skär den svarta linjen finns  $L_{0,3}$ , påverkansavståndet i Figur 6.

### 3.1.6. Underlag

Inhämtat underlag

- Jordartskartan (SGU)
- Bergnivå (SGU)
- Handledning: Bedömning av influensområde avseende grundvatten (SGU)
- Karta över grundvatten i Östergötlands län, SGU serie Ah nr 14

Underlag från Sweco

- Sonderingsdata (Sweco)
- Inmätt berg i dagen (Sweco)
- Spårhöjder och dräneringsnivåer OLP2 (Sweco)
- Mätningar och slugtester i grundvattenrör (Sweco)

### 3.1.7. Resultat

I Tabell 8 redovisas resultatet från de numeriska beräkningarna av påverkansavstånd. Påverkansavstånden redovisas för det största skärningsdjupet i respektive skärning, för halva största skärningsdjup (Medel skärningsdjup) samt en tredjedel av största skärningsdjupet (Grunt skärningsdjup). Dessa olika värden motsvarar beräknat påverkansavstånd för olika djupa delar av skärningen, där de djupaste delarna har ett större påverkansavstånd än de grundare delarna.

*Tabell 8. Resultat av beräkning av påverkansavstånd för alla områden, avrundade till närmsta tiotal.*

	Skärning	Största skärningsdjup	Medel skärningsdjup	Grunt skärningsdjup
	G121-001 121+680 - 121+750	70	-	-
	G121-003 121+960 - 122+190	110	40	20
	G122-001 122+450 - 123+660	80	50	10
	G124-002 124+220 - 124+760	110	80	20
	G125-001 125+290 - 126+140	90	50	10
	G128-001 128+130 - 128+360	90	10	-
	G129-001 129+620 - 129+760	30	20	20
	G130-001 130+140 - 130+790	70	30	10
	G132-003 132+500 - 132+940	90	30	20



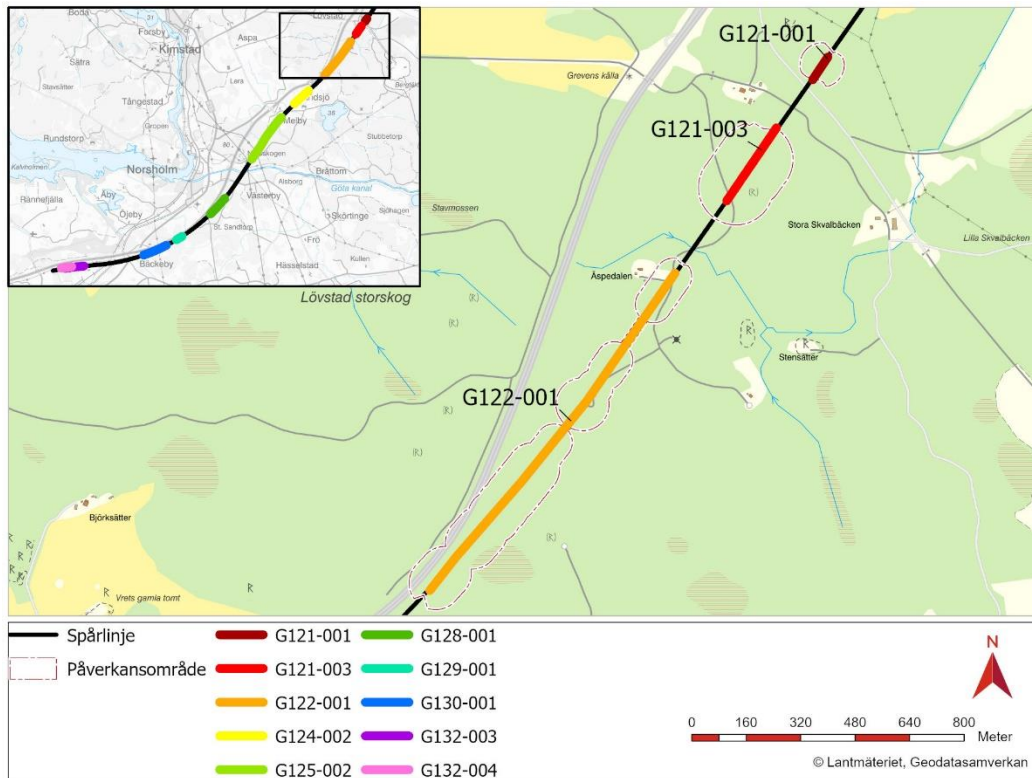
	Skärning	Största skärningsdjup	Medel skärningsdjup	Grunt skärningsdjup
	G132-004 132+805 - 133+260	80	-	-

Varje lösning för påverkansavstånd som redovisas i Tabell 8 har en specifik parameteruppsättning för variablerna Q, K samt W som tillsammans med avsänknigen (s, konstant för varje skärning) ger påverkansavståndet. Tabell 9 redovisar dessa parameteruppsättningar för påverkansavstånd för det största skärningsdjupet.

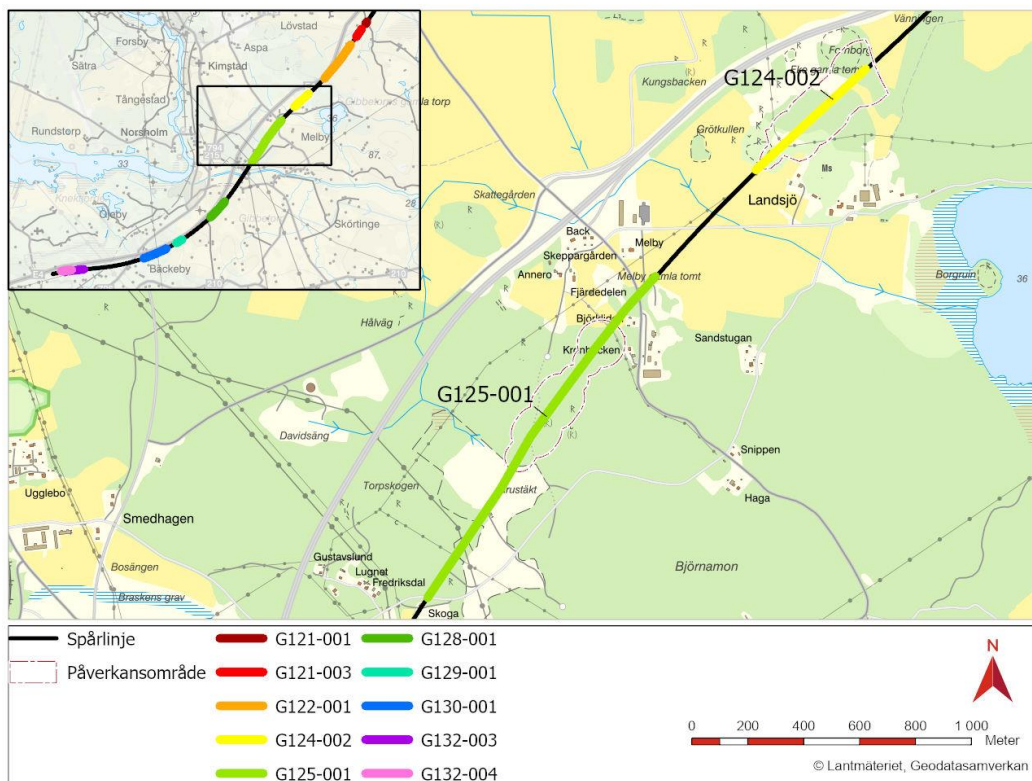
Tabell 9. Parameteruppsättningar för påverkansavstånden för största skärningsdjup för respektive skärning.

	Skärning	Påverkansavstånd (m) [berg/jord]	Q (m <sup>3</sup> /s)	Q hela skärningen (l/s)	K (m/s)	W (mm/år)	s (m)
	G121-001	70 (jord)	5E-7	0,1	2E-5	170	2
	G121-003	110 (berg)	6E-7	0,3	2E-7	140	20
	G122-001	80 (jord)	4E-7	1,2	9E-7	130	7
	G124-002	110 (jord)	8E-7	0,3	6E-6	140	5
	G125-001	90 (jord)	6E-7	0,8	9E-7	160	9
	G128-001	90 (jord)	9E-7	0,5	9E-6	180	4
	G129-001	30 (jord)	3E-6	0,1	7E-7	180	4
	G130-001	70 (jord)	5E-7	0,7	7E-7	150	3
	G132-003	90 (jord)	5E-7	0,5	5E-6	110	4
	G132-004	80 (jord)	6E-7	0,6	2E-5	140	3

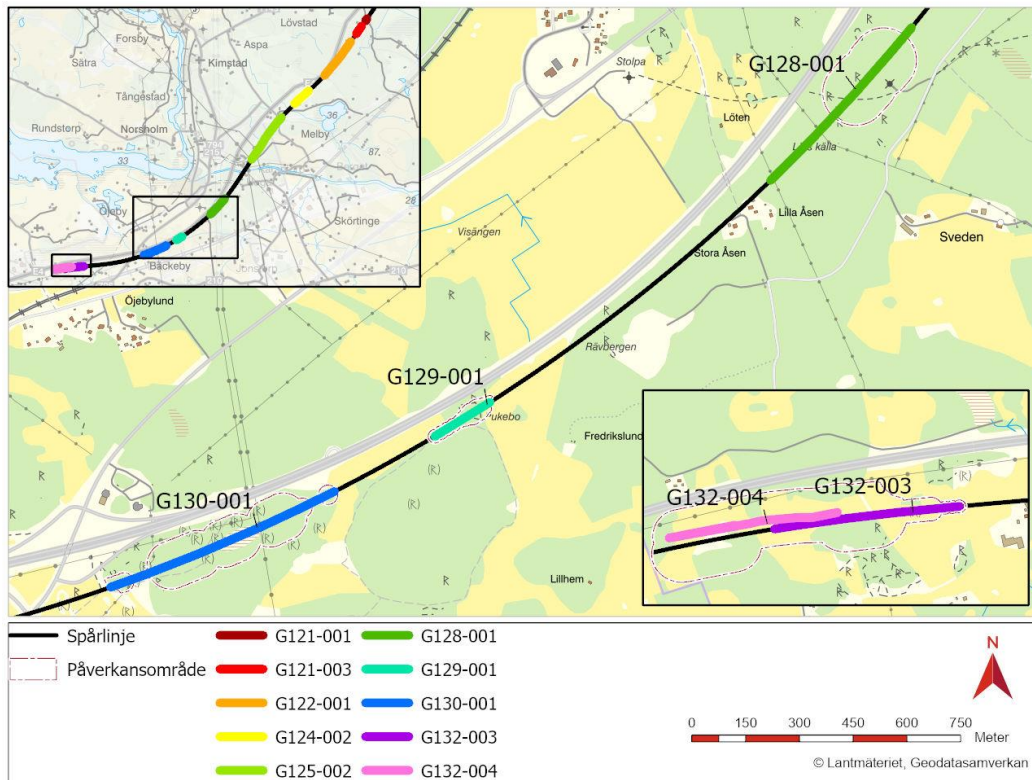
Figur 8 - Figur 10 visar påverkansavstånden i planvy.



Figur 8. Påverkansområdet för område G121-001, G121-003 och G122-001.



Figur 9. Påverkansområde för område G124-002 och G125-001.



Figur 10. Påverkansområde för område G128-001, G129-001, G130-001, G132-003 och G132-004.

### 3.1.8. Osäkerheter

#### Modell

Alla modeller är en förenklad bild av verkligheten, och med dem följer vissa antaganden som måste tas i beaktande. Följande antaganden gäller för denna modell (SGU, 2019):

- Det öppna magasinet antas vara homogent och isotropt och dess hydrauliska konduktivitet, mellan markytan och anläggningens botten antas vara mycket större än den hydrauliska konduktiviteten under anläggningens botten,  $K_2$ , det vill säga  $K_2 \ll K_1$ .
- Inläckaget av grundvatten till anläggningen,  $Q$ , antas vara i jämvikt med grundvattenbildningen,  $W$ , inom infiltrationsområdet  $L_b$ , det vill säga  $Q = WL_b$ . För det totala inläckaget till skärningar, från båda sidor av skärningen, gäller  $Q = 2WL_b$ .

Av antagandena ovan framgår det att skärningarna i OLP2 på flera punkter skiljer sig från de ideala, antagna förhållandena:

- Modellen förutsätter i princip att skärningen går genom en jordakvifer, och är alltså inte anpassade för bergskärningar. Berg kan dock också betraktas som ett kontinuum i större skala, men oavsett förbises effekterna av svaghetszoner och sprickor på påverkansavstånd. Påverkansområde i berg beror mer på sprickornas riktning, storlek och sammankoppling, om vilket det är svårt att få en helhetsbild. Den information som finns om sprickor och deras genomsläpplighet har dock använts till beräkningarna.
- I de flesta områden går skärningarna genom höjdområden, vilket gör uppgifter om grundvattennivå, gradient och utsträckning av påverkansområdet betydligt mer komplicerat. Detta har inte tagits i beaktande för denna beräkning.

Påverkansavstånd är i denna modell beroende av hur stor avsänkningen är, vilket är direkt beroende av hur grundvattenytan ansätts. I detta fall har grundvattennivån ansatts att ligga i markyta, alternativt 1 meter under markyta, baserat på observationer av högt beläget grundvatten. Det innebär att antaganden gjorts så att avstånden blir överskattade snarare än underskattade.

Osäkerheten i påverkansområdena beror även på vilka lösningar som har nåtts via de numeriska beräkningarna. Ju fler körningar som gjorts, desto fler lösningar finns och desto bättre är det statistiska underlaget som utgör median (påverkansavstånd).

#### Underlag

En modell är aldrig bättre än underlag som används, och även om den information som var tillgänglig är i stort uppskattningar på olika sätt. Läget för bergöveryta och värden på hydraulisk konduktivitet är parametrar som har uppskattats utifrån undersökningar i enskilda punkter och inter-/extrapolerats till större områden. Grundvattenbildning är taget från litteraturen.

### 3.1.9. Jämförelse med andra beräkningsmetoder

Att uppskatta sannolikheten hos beräkningar av påverkansavstånd är svårt - detta till följd av ett stort antal okända parametrar, samt det stora urvalet av metoder (analytiska formler) som finns att välja på. De okända parametrarna har i detta PM behandlats med hjälp av satta spann för okända värden, som numeriskt löses samtidigt. Att uppskatta den valda metodens riktighet i jämförelse med andra metoder görs enklast genom att beräkna påverkansavstånd med samma indata och jämföra resultaten. Nedanstående jämförelser med resultaten från andra formler ska inte ses som en kontrollberäkning, eftersom det inte finns något som säger att en viss formel är mer korrekt än en annan. De ska ses just som jämförelser med alternativa, likvärdiga sätt att beräkna påverkansavstånd vid skärningarna, där eventuella likheter i resultaten kan tala för att den valda metoden är rimlig och vice versa.

För jämförelseberäkningarna användes 18 stycken framräknade värden på influensavstånd (L) och påverkansavstånd ( $L_{0,3}$ ) från 4 olika skärningar (G121-001, G121-003, G122-001 samt G128-001). Värdena på påverkansavstånd varierade mellan 34 och 157 m.

De övriga analytiska formler som användes till jämförelseberäkning redovisas i Tabell 10. Notera att ekv. 9-12 används för att beräkna influensradie (R) och inte influensavstånd (L), men de två begreppen används ofta synonymt vid praktiska tillämpningar.

*Tabell 10. Beskrivning av övriga analytiska beräkningsformler för influensavstånd som har använts för att jämförelse. Influensradie R kan approximeras som influensavstånd L i detta PM.*

Namn	Formel	Referens	Beskrivning
Sichardt	$L = 1750 * s * \sqrt{K}$ <p style="text-align: right;"><i>Ekv. 8</i></p>	Cashman & Preene (2012)	En enkel, empirisk, formel som använder avsänkning, hydraulisk konduktivitet samt en faktor som kan ändras för ett cirkulärt influensområde. Ger generellt små värden på L och anses av vissa som inte nog konservativ.
Thiem-Dupuit	$Q = \frac{2\pi Ts}{\ln \frac{R_0}{R_E}}$ <p style="text-align: right;"><i>Ekv. 9</i></p> $Q = AW$ <p style="text-align: right;"><i>Ekv. 10</i></p>	Ferris et al (1962)	En kombination där två formler löses samtidigt iterativt. Ekv. 3.9 är baserat på Theim-dupuits brunnsekvation. Ekv. 3.10 är en kontinuitetsekvation likt ekv. 3.2. Metoden är därmed lik SGU:s modell 3, som använts i detta PM.  $R_E$ är en faktor som använder skärningens dimensioner för att approximera en motsvarande brunnsradie, se ekv. 21.  $T$ är transmissivitet: $T = K*HA = Lb$ (se Ekv. 2).

Namn	Formel	Referens	Beskrivning
Gustafson	$R = \frac{sT\pi}{Q}$ <p style="text-align: right;"><i>Ekv. 11</i></p>	Gustafson (2009)	Denna metod baseras på en lösning där en berganläggning approximeras med en rad infinitesimala brunnar. Formeln är därmed anpassad för grundvattensänkning i berg.
Gustafson tumregel	$R = 5H = 5s$ <p style="text-align: right;"><i>Ekv. 12</i></p>	Gustafson (2009)	En enkel tumregel för anläggningar i berg. Influensavståndet uppskattas vara 5 gånger så stort som anläggningsdjupet under grundvattenytan.

Formlerna i Tabell 10 har som komplement använts för att beräkna influensavstånd utifrån ett antal lösningsuppsättningar för olika områden, med avsänkningar i såväl jord som berg. Jämförelserna spretar åt olika håll, där vissa formler gav betydligt högre värden än initialt beräknat, och vissa formler gav betydligt mindre.

- Sichardts empiriska formel gav konsekvent influensavstånd som var ca 10 % av det beräknade enligt metoden SGU modell 3, det vill säga endast en tiondel så stort influensavstånd. Som förväntat ger denna metod betydligt kortare influensavstånd, vilket talar för att denna metod inte lämpar sig för konservativa bedömningar, eller att de initialt beräknade influensavstånden är överdrivet försiktigt beräknade.
- Thiem-Dupuits formler gav influensavstånd som var 35-255 % av det initialt beräknade influensavståndet, men de flesta avstånden var inom +/- 40 %. Sammantaget gav denna ungefär lika stora influensavstånd, både aningen mindre och aningen större. Av alla jämförelsemetoder stod sig denna mest likt den initiala, vilket möjligen kan förklaras av att båda dessa metoder tar hänsyn till grundvattenbildningen i influensområdet.
- Gustafsons formel gav konsekvent influensavstånd som var ca 300 % av det initialt beräknade influensavståndet, det vill säga ett 3 gånger så stort influensavstånd.
- Gustafsons tumregel gav influensavstånd som var 6-85 % av det initialt beräknade influensavståndet, sammantaget mindre influensavstånd.

Med dessa jämförelser kan de initialt genomförda beräkningarna som genomfördes utifrån SGU:s modell 3 (Todd & Mays) konstateras ligga i mitten av de 5 testade metoderna. Två av de övriga metoderna ger ett kortare influensavstånd (Sichardt och Gustafsons Tumregel), medan de övriga två ger i huvudsak större influensavstånd (Thiem-Dupuit och Gustafson), som mest uppåt 2-3 gånger större.

Sammanfattningsvis visar de jämförande beräkningarna inte några resultat som ger anledning att misstänka att de initiala beräkningarna är mindre trovärdiga.

### 3.1.10. Diskussion

De påverkansområden som redovisas i resultatdelen är en bästa uppskattning av hur grundvattennivåer kommer att påverkas i närheten av skärningarna, baserad på tillgänglig information om grundvattennivåer, hydraulisk konduktivitet etc.. I praktiken är det den faktiska avsänkningen i driftskede som kan visa den sanna påverkan som skärningarna har på den omgivande grundvattennivån. Även provpumpningar kan ge en bra indikation, men är förknippade med osäkerheter i och med att uttagspunkten är lokal i en heterogen miljö, i synnerhet vid provpumpning i berg.

Givet de okända parametrar som ligger bakom beräkningarna tyder resultaten från jämförelseberäkningarna på att den initiala metoden enligt SGU:s modell 3 ligger inom ett rimligt spann för influensavstånd. Olika metoder med olika formler kommer att ge olika resultat, men i detta fall ligger resultaten i ett rimligt spann. De enkla formlerna för överslagsberäkning (ekv. 8 och ekv. 12) ger ett kortare påverkansavstånd, vilket är väntat. De mer komplexa formlerna (ekv. 9 och ekv. 10) ger påverkansavstånd i ungefär samma storleksordning, där formeln som tar flest parametrar i beaktande (Thiem-Dupuit) ger resultat som ligger både högre och lägre för olika områden. Ett ännu mer konservativt antagande hade kunnat använda Gustafsons formel för områden som konsekvent är 3 gånger så stora för ytterligare säkerhet, men det ska nämnas att den formeln är framtagen för rena berganläggningar. Med tanke på de konservativa antaganden som redan är gjorda i valet av parametervärden och -spann bör ytterligare försiktighetsfaktorer inte behöva tas i beaktande.

## 3.2. Brostöd

### 3.2.1. Inledning

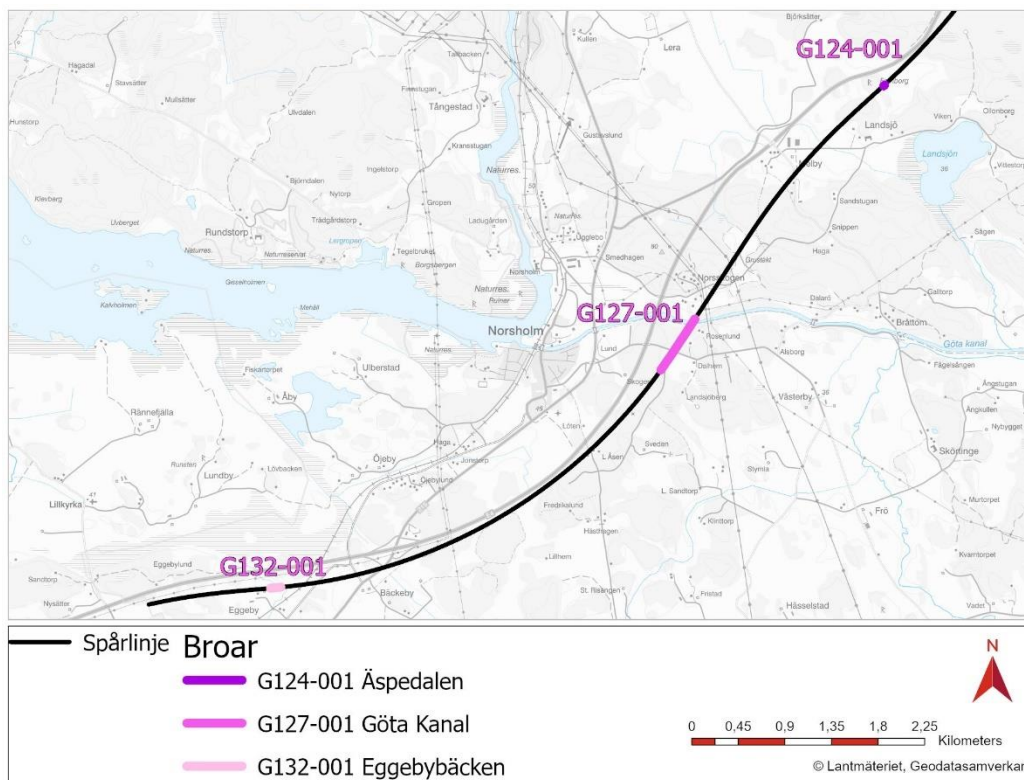
Längsmed den södra delsträckan förekommer passager över vägar och vattendrag, vilket innebär att ett antal brokonstruktioner kommer att tillkomma i samband med den nya järnvägssträckan. Dessa konstruktioner kan också förväntas kräva grundläggning med möjlig tillfällig grundvattenbortledning, beroende på hur arbetet väljs att utföras av entreprenören. Det är i huvudsak broarnas stöd som kräver schaktning vid anläggning, vilket innebär att detta avsnitt mestadels behandlar temporära grundvattenbortledningar.

### 3.2.2. Metod

Påverkansområden för broarna (brostöden) har beräknats på liknande sätt som för skärningarna, se metodbeskrivning i avsnitt 3.1.1. – 3.1.4. och exempel i avsnitt 3.1.5. Metoden är bäst lämpad för avlånga schakter såsom skärningar, men bedöms även fungera för punktschakter. Sammanfattningsvis innebär metoden att input i form av avsänkingsdjup samt rimliga spann för förväntade värden på hydraulisk konduktivitet, grundvattenbildning och inläckage ger influens- och påverkansavstånd genom en numerisk lösning. De generella förutsättningarna för hydraulisk konduktivitet, grundvattenbildning och inläckage är desamma som för skärningar, se avsnitt 3.2.4.

### 3.2.3. Förutsättningar och antaganden

Konstruktioner med potential att påverka grundvattnet räknas som vattenverksamhet. Vattenverksamheterna längsmed den planerade banans längd har givits ett unikt ID baserat på huruvida yt- eller grundvatten berörs, längdmätning samt numrering. För dessa konstruktioner har beräkning av påverkansavstånd genomförts. Figur 11 visar samtliga broar som har utretts för möjlig vattenverksamhet, samt de broar för vilka påverkansavståndsberäkningar har genomförts längs södra delsträckan.



Figur 11. Översikt av samtliga broar där möjlig grundvattenbortledning har utretts och beräknats.

Påverkansavståndet för olika vattenverksamheter beror till del på hur stor grundvattenavsänkning är, vilket i sin tur beror på schaktdjupet samt bedömd grundvattennivå, men inte minst av förekommande hydraulisk konduktivitet under grundvattenytan.

Största schaktdjup är antaget vara beläget på 3 meter under marknivå för de flesta brostöd, med vissa undantag för broar som är projekterade i större detalj i dagsläget eller där en större grundvattenavsänkning inte kan tillåtas. Jordlagerföljden vid broarna spelar också viss roll för resultatet av bedömd grundvattenpåverkan, då de flesta brostöd placeras i låglänta områden mellan höjder (i motsats till skärningarna). I dessa låglänta områden utgörs vanligen markens översta lager av lera med några meters mäktighet, vilket innebär att grundläggningen av brostöden ofta ligger ovanför det vattenförande jordlagret. Givet osäkerheter i det faktiska utförandet har dock påverkansavstånd för dessa broar beräknats utifrån ett generellt antagande om 2 m avsänkning i moränjord.



Grundvattennivån för respektive bro är taget från det närmaste belägna grundvattenröret, av vilka det finns ett stort antal längs planerad spårlinje. Vanligen är dessa grundvattenrör belägna inom 100 m av planerad bro och utgör därmed ett bra underlag för representativa grundvattennivåer. Till beräkningarna har uppmätt medelnivå använts för hela mätperioden som vanligen sträcker sig mellan åtminstone 2018 och 2022.

Tabell 11 visar den största schakten i jord samt den största grundvattensänkningen för respektive konstruktion.

Tabell 11. Antagna avsänkingsdjupen för punktschakter till beräkning av påverkansområde.

ID	Längdmätning (km)	Anläggning	Antagen största grundvattenavsänkning
G124-001	124+190	Brostöd, Fornborgen-Vänningen	2,0 m i moränjord
G126-001	126+715	Brostöd, Norsskogen	1,5 m i isälvsmaterial
G127-001	127+115 – 127+695	Brostöd, Göta Kanal	4,3 m i moränjord
G132-001	132+057 - 132+127	Brostöd, Eggebybäcken	2,5 m i moränjord
-	-	Brostöd övriga broar	2,0 m i moränjord

Bland de 14 broar som har utretts har endast 10 bedömts ha tillfällig grundvattenbortledning som utgör vattenverksamhet. Övriga broar har brostöd som endast är satta i mäktig lera (tätt lager) eller där grundvattennivån bedömts ligga under schaktdjupet. Även om grundvattenbortledning är osannolik för dessa anläggningar har ett generellt påverkansområde beräknats för dessa då den faktiska grundläggningmetoden i dagsläget inte är känd eller var brostöd planeras att anläggas.

### 3.2.4. Resultat

I Tabell 12 redovisas resultatet från den numeriska beräkningarna av påverkansavstånd. Beräkningarna har genomförts på samma sätt som för skärningarna, det vill säga stationära förhållanden, trots att avsänkningarna antas vara temporära. De redovisade påverkansavstånden är således de maximala, givet att avsänkningen pågår under en längre tid. Sannolikt kommer påverkansavstånden i praktiken bli mindre än redovisade beräkningar, beroende på under hur lång tid grundvattennivån avsänks.

Tabell 12. Resultat av beräkning av påverkansavstånd för alla brostöd, avrundade till närmsta tiotal.

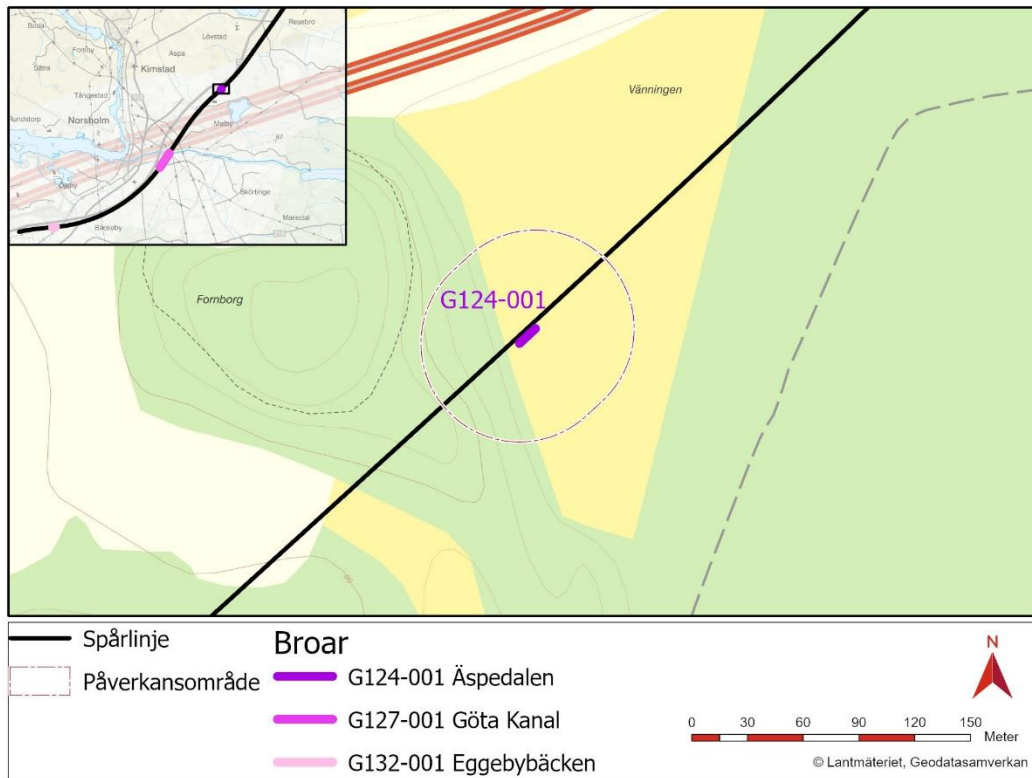
ID	Temporärt påverkansavstånd
G124-001	50
G126-001	140
G127-001	90
G132-001	30
Öv. broar (generellt)	90

Varje lösning för påverkansavstånd som redovisas i Tabell 12 har en specifik parameteruppsättning för Q, K samt W som tillsammans med avsänkningen ger påverkansavståndet. Tabell 13 redovisar dessa parameteruppsättningar för påverkansavstånd för det största skärningsdjupet.

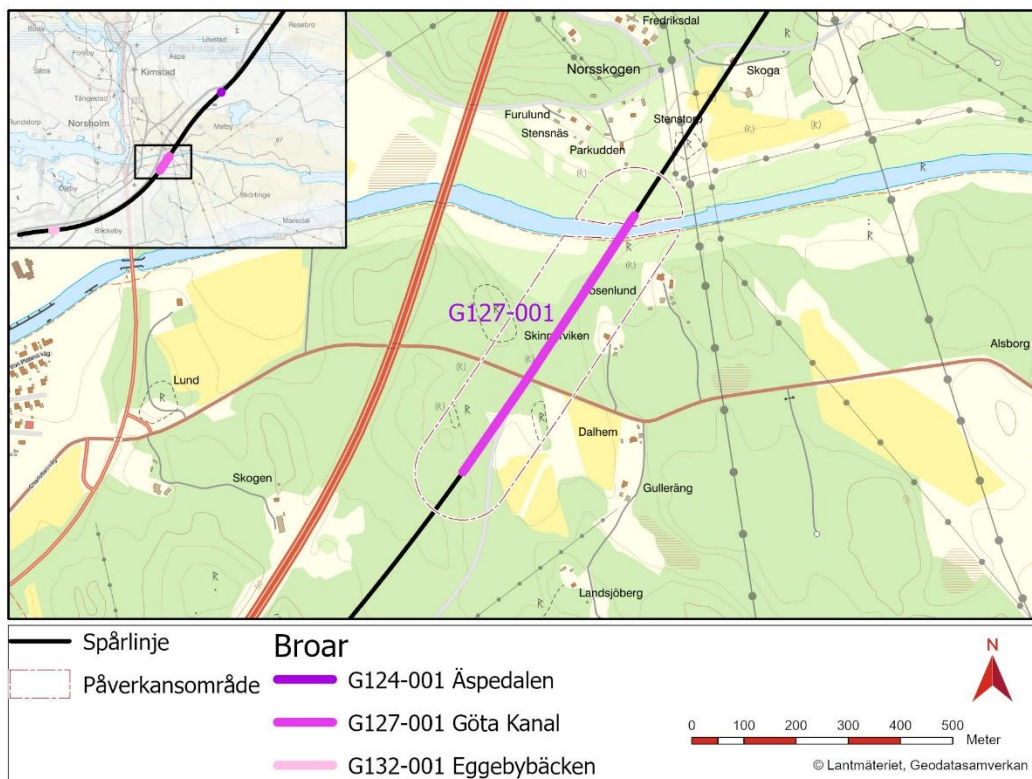
Tabell 13. Parameteruppsättningar för påverkansavstånden för största skärningsdjup i Tabell 12.

Skärning	Påverkansavstånd (m) [berg/jord]	Q (m <sup>3</sup> /s)	Q hela bron (l/s)	K (m/s)	W (mm/år)	s (m)
G124-001	<b>50</b> (jord)	5E-7	0,001	4E-6	160	2
G126-001	<b>140</b> (jord)	2E-6	0,05	3E-5	260	1,5
G127-001	<b>90</b> (jord)	8E-7	0,8	6E-6	170	4,3
G132-001	<b>30</b> (jord)	3E-7	0,05	1E-6	170	2,5
Öv. broar (generellt)	<b>90</b> (jord)	9E-7	0,09	1E-5	190	2,0

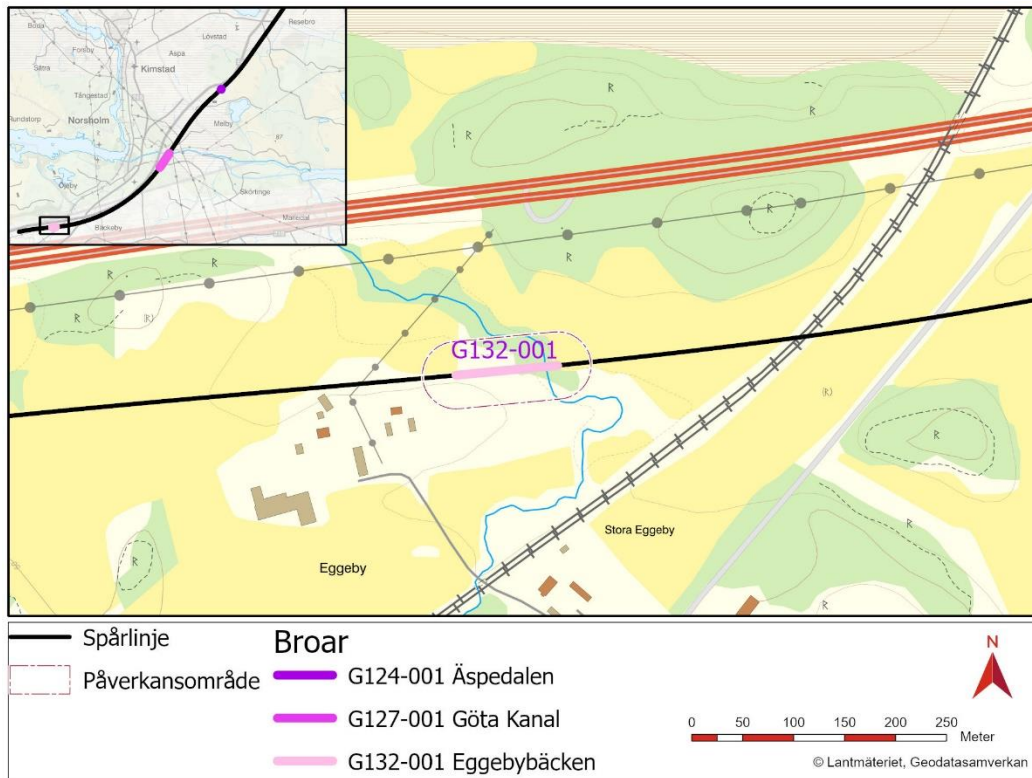
Figur 12 - Figur 14 visar påverkansavstånden i planvy.



Figur 12. Påverkansområde för brostöd vid Äspedalen (G124-001).



Figur 13. Påverkansområde för brostöd vid bro över Göta kanal (G127-001).



Figur 14. Påverkansområde för brostöd vid Eggebybäcken (G132-001).

## 4. Källor

SMHI. 2017. Högupplösta nederbördsprognoser för hydrologisk riskbedömning. SMHI, Norrköping

SGU. 2019. *Handledning. Bedömning av influensområde avseende grundvatten – Modell 3*. SGU, Uppsala. Hämtas via: <https://www.sgu.se/anvandarstod-for-geologiska-fragor/bedomning-av-influensomrade-avseende-grundvatten/berakningsmodeller/analytiska-modeller/modell-3/> [2022-10-03]

Todd, K. T., Mays, L.W. (2005). *Groundwater Hydrology*. Wiley.

Xu C-Y and Singh VP. 2001. Evaluation and generalization of temperature-based methods for calculating evaporation. *Hydrol. Process.*15, 305 – 319



**TRAFIKVERKET**

Trafikverket, 172 90 Sundbyberg. Besöksadress: Solna Strandväg 98  
Telefon: 0771-921 921, Texttelefon: 010-123 50 00

[www.trafikverket.se](http://www.trafikverket.se)