

Filnamn: OLP4-04-025-41000-0\_0-0036.docx

Projektnamn

Skapat av (Leverantör)

Godkänt datum

Rev Datum

Ostlänken

Johanna Engelbrektsson,  
Jonas Pedersen, Alexander  
Hansen, Linda Jalava, Daniel  
Erdal

2023-04-27

-

Ärendenummer

Granskat av (Leverantör)

Sidor

Version

TRV 2019/65709

Mattias Fredin

1(91)

\_.3

Godkänt av (Leverantör)

Henrik Tham



TRAFIKVERKET

## **OSTLÄNKEN**

### **OLP4 SÖDERTÄLJE - TROSA**

### **GERSTABERG - LÅNGSJÖN**

### **Bandel 506, KM 0+000 - 14+700**

### **PM yt- och grundvatten 4.1**

### **Bilaga D.2.3, PM Beräkningar Grundvatten**

### **Ansökan om tillstånd enligt 11 kap. miljöbalken**

## **MILJÖPRÖVNING**

Projektnamn	Skapat av (Leverantör)	Godkänt datum	Rev Datum
Ostlänken	Johanna Engelbrektsson, Jonas Pedersen, Alexander Hansen, Linda Jalava, Daniel Erdal	2023-04-27	-
Ärendenummer	Granskat av (Leverantör)	Sidor	Version
TRV 2019/65709	Mattias Fredin Godkänt av (Leverantör) Henrik Tham	2(91)	_.3



## Innehållsförteckning

1	Inledning och syfte .....	4
2	Omfattning och förutsättningar .....	5
3	Underlag .....	6
3.1	Fältundersökningar .....	6
3.1.1	Analys av jordens hydrauliska konduktivitet .....	6
3.1.2	Bergets genomsläpplighet.....	6
3.2	Övrigt underlag.....	9
4	Genomförande- och metodbeskrivning .....	10
4.1	Numeriska beräkningar .....	10
4.1.1	Gemensamma antaganden och förutsättningar .....	10
4.1.2	Gerstabergrstunneln .....	12
4.1.3	Södra påslaget för Gerstabergrstunneln .....	14
4.1.4	Passage E4 vid Järnaslätten.....	18
4.1.5	Norra och södra Edebyttunneln .....	21
4.2	Analytiska beräkningar .....	23
4.2.1	Bergrtunneln .....	24
4.2.2	Övriga anläggningsdelar .....	28
4.3	Vattenbalansberäkningar .....	35
4.3.1	Antaganden .....	35
4.3.2	Metodik .....	36
4.3.3	Vattenbalansområden och beräknad grundvattenbildning .....	37
5	Resultat.....	43
5.1	Gerstabergrstunneln (VV-ID G2-006) .....	43
5.1.1	Påverkansområde .....	43
5.1.2	Inläckage .....	44
5.1.3	Vattenbalans .....	46
5.1.4	Samlad bedömning .....	46
5.2	Södra påslaget till Gerstabergrstunneln (VV-ID G3-001) .....	49
5.2.1	Påverkansområde .....	49
5.2.2	Samlad bedömning .....	50
5.3	Passage E4 vid Järnaslätten (VV-ID G5-002).....	51
5.3.1	Påverkansområde .....	51

Projektnamn	Skapat av (Leverantör)	Godkänt datum	Rev Datum
Ostlänken	Johanna Engelbrektsson, Jonas Pedersen, Alexander Hansen, Linda Jalava, Daniel Erdal	2023-04-27	-
Ärendenummer	Granskat av (Leverantör)	Sidor	Version
TRV 2019/65709	Mattias Fredin Godkänt av (Leverantör) Henrik Tham	3(91)	_.3



5.3.2	Samlad bedömning .....	52
5.4	Edebytunnlarna (VV-ID G13-005 och G14-005) .....	52
5.4.1	Påverkansområde .....	52
5.4.2	Inläckage .....	54
5.4.3	Vattenbalans.....	55
5.4.4	Samlad bedömning .....	55
5.5	Påverkansområde övriga anläggningsdelar .....	57
5.5.1	Grundläggning av brostöd .....	58
5.5.2	Markförstärkningsåtgärder .....	66
5.5.3	VA-anläggningar .....	68
5.5.4	Processvattenbrunnar .....	68
5.5.5	Skärningar för järnvägsanläggningen .....	69
5.5.6	Skärningar för vägar .....	71
6	Diskussion .....	73
6.1.1	Påverkansområde.....	73
6.1.2	Inläckage .....	75
6.1.3	Vattenbalanser .....	78
7	Referenser .....	80
8	Illustrationer av sektioner (SEEP/W) .....	81
8.1	Gerstabergrstunneln .....	82
8.2	Södra påslaget Gerstabergrstunneln .....	84
8.3	Passage E4 vid Järnaslätten .....	87
8.4	Edebytunnlarna .....	90

Projektnamn	Skapat av (Leverantör)	Godkänt datum	Rev Datum
Ostlänken	Johanna Engelbrektsson, Jonas Pedersen, Alexander Hansen, Linda Jalava, Daniel Erdal	2023-04-27	-
Ärendenummer	Granskat av (Leverantör)	Sidor	Version
TRV 2019/65709	Mattias Fredin Godkänt av (Leverantör) Henrik Tham	4(91)	_.3

## 1 Inledning och syfte

Föreliggande handling utgör en av flera underbilagor till Bilaga D.2 *PM Yt- och grundvatten*, som tagits fram inför ansökan om tillstånd för vattenverksamhet enligt miljöbalken för Ostlänkens delsträcka Gerstaberg – Långsjön.

Handlingen syftar till att redovisa de underlag, metoder och antaganden som ligger till grund för de beräkningar som påverkans- och effektbedömningar i tillståndsansökan baseras på.

Det har eftersträvats att anpassa den tekniska nivån i utförda hydrogeologiska beräkningar till den planerade järnvägsanläggningens komplexitet avseende bland annat bedömd grundvattenpåverkan, platsspecifika hydrogeologiska förutsättningar och övergripande riskbild. En styrande princip för beräkningsarbetet har varit att utföra beräkningarna med ett konservativt förhållningssätt i syfte att begränsa risken för att anläggningens omgivningspåverkan underskattas.

Redovisade beräkningar utgör grund för bedömningar av exempelvis inläckage till bergtunnlar och påverkansområden. Det har eftersträvats att i så stor utsträckning som möjligt belysa de osäkerheter som föreligger kopplat till utförda beräkningar samt kvantifiera osäkerheter av särskild betydelse. Utöver resultaten från utförda hydrogeologiska beräkningar vägs även platsspecifika hydrogeologiska förutsättningar in, liksom erfarenhet från tidigare projekt, i den samlade bedömningen av den planerade anläggningens grundvattenpåverkan.

Projektnamn	Skapat av (Leverantör)	Godkänt datum	Rev Datum
Ostlänken	Johanna Engelbrektsson, Jonas Pedersen, Alexander Hansen, Linda Jalava, Daniel Erdal	2023-04-27	-
Ärendenummer	Granskat av (Leverantör)	Sidor	Version
TRV 2019/65709	Mattias Fredin Godkänt av (Leverantör) Henrik Tham	5(91)	_.3

## 2 Omfattning och förutsättningar

Föreliggande PM redovisar hydrogeologiska beräkningar som utförts för Ostlänkens delsträcka Gerstaberg – Långsjön, km 0+000 till km 14+700. Delsträckan omfattar bland annat bergtunnlarna Gerstabergstunneln samt norra och södra Edebytunneln (tillsammans ”Edebytunnlarna”), betongtunnel med anslutande tråg i passagen under E4, flertalet dränerande väg- och järnvägsskärningar, temporära anläggningsarbeten för brostöd och markförstärkningsåtgärder. En mer omfattande redovisning av planerade vattenverksamheter och rådande hydrogeologiska förutsättningar i anslutning till dessa ges i ansökans Bilaga D.2 *PM Yt- och grundvatten*.

De hydrogeologiska beräkningar som redovisas i denna PM omfattar:

- påverkansområdesberäkningar för planerade bergtunnlar, djupa schakt samt övriga grundvattenpåverkande anläggningsdelar
- inläckageberäkningar för planerade bergtunnlar
- vattenbalansberäkningar för planerade bergtunnlar

Påverkansområden har huvudsakligen beräknats analytiskt, men för ett urval av anläggningsdelar har kompletterande numeriska beräkningar utförts. Såväl de analytiska som numeriska beräkningsmodellerna är baserade på förenklingar av verkligheten samt randvillkor, men numeriska modeller har, om rätt tillämpade, i grunden en större potential att hantera mer invecklade hydrogeologiska system. Behovet av kompletterande numeriska beräkningar har därav utgått från frågeställningens komplexitet, det vill säga den precision avseende beräkningsresultat som bedömts rimlig kopplat till planerad anläggnings förmodade grundvattenpåverkan, platsspecifika hydrogeologiska förutsättningar samt förekomst av riskexponerade objekt. För djupa schakter i jord och berg samt för ett urval av sektioner längs förekommande bergtunnlar har numeriska beräkningar gjorts i 2D med hjälp av GeoStudios programvara SEEP/W.

Resultat från utförda beräkningar och känslighetsanalyser har i kombination med konceptuella tolkningar och erfarenhetsmässiga rimlighetsbedömningar använts som stöd i den slutliga bedömningen av det påverkansområde som redovisas i ansökans Bilaga D.2.1. Påverkansområdet är definierat som det område inom vilket grundvattennivån bedöms komma att sänkas av med i medeltal mer än 0,3 m i jord respektive 1 m i berg i jämförelse med nuläget. Det i Bilaga D.2.1 redovisade påverkansområdet utgör ett troligt ”worst case” som visar den största bedömda utbredningen oberoende av skede (bygg- eller drift-). Påverkansområdet är avgränsat utan hänsyn till skadeförebyggande åtgärder och/eller skyddsåtgärder. Påverkansområdet utgör avslutningsvis ett sammanslaget påverkansområde, vilket innebär att eventuella kumulativa effekter från angränsande grundvattenbortledning har beaktats.

Inläckage till planerade bergtunnlar har primärt beräknats analytiskt. Därtill har numeriska beräkningar av inläckage utförts för de tunnelsektioner som modellerats med SEEP/W. Då resultaten från utförd modellering inte är representativt för tunneln i stort, utan bara för de tunnelsektioner de representerar, har resultat från utförda numeriska beräkningar primärt använts som ett stöd i resonemang kring förväntat inläckage.

Vid utförda vattenbalansberäkningar har grundvattenbildning inom upprättade vattenbalansområden för bergtunnlar beräknats och jämförts med de analytiskt beräknade inläckage till bergtunnlar.

Beräkningsresultat som redovisas i denna PM är kopplade till de olika vattenverksamheterna som beskrivs i ansökans Bilaga D.2 *PM Yt- och grundvatten* genom tillämpande av ID-nummer (VV-ID) som framgår i kapitel 5.

Det i denna handling tillämpade koordinatsystemet är SWEREF 99 18 00 och motsvarande höjdsystem RH 2000.

Projektnamn	Skapat av (Leverantör)	Godkänt datum	Rev Datum
Ostlänken	Johanna Engelbrektsson, Jonas Pedersen, Alexander Hansen, Linda Jalava, Daniel Erdal	2023-04-27	-
Ärendenummer	Granskat av (Leverantör)	Sidor	Version
TRV 2019/65709	Mattias Fredin Godkänt av (Leverantör) Henrik Tham	6(91)	_.3

## 3 Underlag

### 3.1 Fältundersökningar

Underlag avseende hydrogeologiska förhållanden baseras huvudsakligen på resultat från fältundersökningar och utredningar/analyser som utförts inom ramen för framtagandet av järnvägsplan/systemhandling för Ostlänkens delsträcka Gerstabergr – Långsjön mellan åren 2016 och 2021. Fältundersökningar som ligger till grund för denna PM omfattar bland annat

- grundvattennivåmätningar i jord och berg
- slugtester
- provpumpning i jord
- vattenförlustmätningar i berg
- geotekniska sonderingar och jordprovtagning i syfte att klargöra jordlagerföljder, jordarnas egenskaper samt bergnivåer

#### 3.1.1 Analys av jordens hydrauliska konduktivitet

##### 3.1.1.1 Slugtester

Ett slugtest är ett enhålstest där det eftersträvas att åstadkomma en snabb förändring av vattennivån i ett grundvattenrör, under det att återhämtningsförloppet till den ursprungliga nivån i grundvattenröret registreras. Därefter utvärderas insamlad data.

Sammanlagt 51 slugtester har utförts inom Ostlänkens delsträcka Gerstabergr – Långsjön i syfte att bestämma hydraulisk konduktivitet i förekommande grundvattenmagasin. Slugtesternas lägen i plan redovisas i Bilaga D.2.1.

Utförda slugtester har utvärderats med programvaran Aqtesolv (utvecklad av det amerikanska konsultföretaget HydroSOLVE Inc) genom att testdata passats till en eller flera analytiska modeller och dess typkurvor. Den lösningsmodell som tillämpats är Hvorslev (1951).

Mer noggrann beskrivning av utförandet, utvärderingar och en resultatsammanställning ges i *Utvärderings-PM Slugtester* (Trafikverket 2023a).

Resultat från utförda slugtester har tillsammans med resultat från utförd provpumpning (se 3.1.1.2), konceptuella tolkningar och litteraturvärden använts för att bedöma de vattenförande egenskaperna i förekommande grundvattenmagasin längs delsträckan.

##### 3.1.1.2 Provpumpning

En provpumpning har utförts i anslutning till den planerade järnvägens passage under E4, där en betongtunnel med anslutande tråg ska anläggas.

Provpumpningen beskrivs i sin helhet i *Utvärderings-PM Provpumpning Passage E4* (Trafikverket 2023b).

Resultat från utförd provpumpning har tillsammans med resultat från utförda slugtester (3.1.1.1), konceptuella tolkningar och litteraturvärden använts för att bedöma de vattenförande egenskaperna i förekommande grundvattenmagasin längs delsträckan.

#### 3.1.2 Bergets genomsläpplighet

##### 3.1.2.1 Vattenförlustmätningar

Vattenförlustmätningar har utförts i följande fem kärnborrhål inom Ostlänkens delsträcka Gerstabergr – Långsjön: OLP4K005, OLP4K009, OLP4K010, OLP4K011 och OLP4K303. Urvalet av kärnborrhål som vattenförlustmättes

Projektnamn	Skapat av (Leverantör)	Godkänt datum	Rev Datum
Ostlänken	Johanna Engelbrektsson, Jonas Pedersen, Alexander Hansen, Linda Jalava, Daniel Erdal	2023-04-27	-
Ärendenummer	Granskat av (Leverantör)	Sidor	Version
TRV 2019/65709	Mattias Fredin Godkänt av (Leverantör) Henrik Tham	7(91)	_.3

baserades på föregående sprickkartering av borrhämnor. Lägen för utförda vattenförlustmätningar framgår av ansökans Bilaga D.2.1.

Vid vattenförlustmätningar med dubbelmanschett monteras och blåses en övre och en undre manchett upp i ett borrhål för att kunna avgränsa och undersöka olika sektioner. För att säkerställa att sektionen som undersöks är vattenfylld blåses först den övre manchetten upp och därefter den nedre. Vatten tillförs sedan sektionen med ett tryck om 2,5 bar. När stabila flöden kan noteras höjs trycket till 3 bar, varpå mätningar av flödet görs tre gånger, där det tolkade sektionensflödet ansätts till medianvärdet. Sektionslängderna vid utförda mätningar uppgick normalt till tre meter.

Inför de sektionssvisa mätningarna gjordes en inledande kontroll av tätheten i övergången mellan foderrör och berg (normalt består denna sektion av 2 meter foderrör + 1 meter berg) för att bedöma eventuellt ytläckage. Undersökningen fortsatte därefter med att manschetterna successivt förflyttades djupare ned i borrhålet, tills det att botten nåddes.

Vattenförlustmätningarna utgår från en vattenvolym som tillförs berget över en viss tid, vilket resulterar i ett flöde. De vattenvolymer som mäts anpassas till en totaltid på 1 minut. Lägsta detekterbara flöde låg vid utförda mätningar på 0,01 l/min med en mätnoggrannhet på 0,005 l/min, medan högsta detekterbara flöde låg på 30 l/min, då med en mätnoggrannhet på 0,5 l/min.

Utifrån erhållna data har sektionstransmissiviteter ( $T_i$ ) för undersökta 3-meterssektioner beräknats med Moye's formel, enligt Ekvation 3.1.

$$T_i = \frac{Q}{2 \times \pi \times dh} \times \left(1 + \ln\left(\frac{dL}{d}\right)\right) \quad \text{Ekvation (3.1)}$$

där

$Q$  = flöde vid övertryck ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

$dh$  = pålagt övertryck (m)

$dL$  = undersökt sektionslängd (m)

$d$  = borrhålsdiameter (m)

Det pålagda övertrycket är här satt till det totaltryck som används vid mätningen (3 bar).

Borrhålets totala transmissivitet,  $T_{tot}$ , är summan av samtliga representativa sektionstransmissiviteter,  $T_i$ . Borrhålets hydrauliska konduktivitet (aritmetiskt medelvärde) får man om man dividerar  $T_{tot}$  med den mätta borrhåls längden  $L$ .

Utförda vattenförlustmätningarna och utvärderingar av hydrauliska egenskaper redovisas i *Beräknings-PM K-värden i berg, Bilaga 1* (Trafikverket 2023c).

Resultat från vattenförlustmätningarna har tillsammans med resultat från utförd brunnsanalys använts för att beskriva bergets genomsläpplighet inom olika delsträckor längs planerade bergtunnlar.

### 3.1.2.2 Brunnsanalys

En utvärdering av bergets genomsläpplighet har gjorts genom en brunnsanalys som omfattat för ändamålet representativa befintliga, bergbore brunnar med dokumenterade kapacitetsmätningar belägna inom en radie av 4 kilometer från Ostlänkens längs sträckan Gerstabergr - Sillekrog. Totalt omfattades knappt 900 bergbore

Projektnamn	Skapat av (Leverantör)	Godkänt datum	Rev Datum
Ostlänken	Johanna Engelbrektsson, Jonas Pedersen, Alexander Hansen, Linda Jalava, Daniel Erdal	2023-04-27	-
Ärendenummer	Granskat av (Leverantör)	Sidor	Version
TRV 2019/65709	Mattias Fredin Godkänt av (Leverantör) Henrik Tham	8(91)	_.3

brunnar i SGU:s brunnarkiv av analysen. Brunnar med angiven kapacitet om 0 m<sup>3</sup>/s exkluderades, då noteringen tolkades som att det inte hade gjorts något kapacitetstest av brunnen i fråga. Även brunnar som i arkivet uppgavs vara tryckta/sprängda exkluderades, då de inte bedömdes representera naturliga förhållanden.

Utvärderingen har utförts genom nedanstående samband (Ekvation 3.2) enligt Ryd (2017).

$$T = 0,076 \times Q^{1,026} \quad \text{Ekvation (3.2)}$$

där

$T$  = transmissivitet (m<sup>2</sup>/s)

$Q$  = brunnens kapacitet från kapacitetsbestämning (m<sup>3</sup>/s)

Utvärdering av transmissiviteten från kapacitetsmätning i en brunn ger en transmissivitet för bergmassan i den specifika punkten. Den hydrauliska konduktiviteten kan därefter beräknas som transmissiviteten dividerat med brunnsdjupet. Förutsatt att en tillfredsställande datamängd finns att tillgå kan en statistisk analys utföras i syfte att finna den effektiva hydrauliska konduktivitet,  $K_{eff}$ , som bäst beskriver berört område i en större skala (se kap. 3.1.2.3).

Brunnsanalysen i sin helhet redovisas i *Beräknings-PM K-värden i berg* (Trafikverket 2023c).

Resultat från brunnsanalysen har tillsammans med resultat från utförda vattenförlustmätningar använts för att beskriva bergets genomsläpplighet inom olika delsträckor längs planerade bergtunnlar och i anslutning till andra djupa bergschakt.

### 3.1.2.3 Skalberoende

Vid tillämpande av värden avseende hydraulisk konduktivitet som baseras på exempelvis vattenförlustmätningar och brunnsanalys i analytiska och numeriska beräkningsmodeller bör skalberoendet beaktas. Bergets storskaliga hydrauliska konduktivitet, som ska utgöra grunden för hydrogeologiska beräkningar för exempelvis bergtunnlar, är ofta lägre än det aritmetiska medelvärde som ges av beräkningar av hydraulisk konduktivitet från undersökningar som utförts i liten skala. Detta eftersom undersökningarna just är utförda i relativt liten skala, samtidigt som berget är heterogent och dess vattenförande system har en ändlig utbredning.

För att kompensera för eventuella skaleffekter baseras bergets hydraulisk konduktivitet i utförda hydrogeologiska beräkningar på bergmassans *effektiva* hydrauliska konduktivitet ( $K_{eff}$ ). Approximation av den effektiva hydrauliska konduktiviteten kan erhållas genom att tillämpa Matherons förmodan för en tredimensionell bergvolym enligt ekvation 3.3 (Gustafson 2009).

$$K_{eff} \approx K_{3D} = K_G \times e^{\frac{\sigma^2}{6}} \quad \text{(Ekvation 3.3)}$$

där

$K_G$  = geometriska medelvärdet för hydrauliska konduktivitet i aktuell mätskala (m/s)

$\sigma$  = standardavvikelsen av den naturliga logaritmen för sektionkonduktiviteterna ( $\ln K$ )

Ekvationen förutsätter att den hydrauliska konduktiviteten är lognormalfördelad med det geometriska medelvärdet  $K_G$ . Erfarenhetsmässigt ger approximationen att den effektiva hydrauliska konduktiviteten motsvarar  $K_{3D}$  ett något underskattat värde, men skalberoendet är betydligt mindre än vid användandet av det aritmetiska eller geometriska medelvärdet.



Projektnamn	Skapat av (Leverantör)	Godkänt datum	Rev Datum
Ostlänken	Johanna Engelbrektsson, Jonas Pedersen, Alexander Hansen, Linda Jalava, Daniel Erdal	2023-04-27	-
Ärendenummer	Granskat av (Leverantör)	Sidor	Version
TRV 2019/65709	Mattias Fredin Godkänt av (Leverantör) Henrik Tham	9(91)	_.3

### 3.2 Övrigt underlag

Övrigt externt inhämtat hydrogeologiskt underlag omfattar bland annat

- SGU:s jordartskarta för information och ytliga jordlagars geografiska utbredning
- SGU:s berggrundskarta för uppgifter om bland annat strukturgeologi
- SMHI: avrinningsområden
- Information om grundvattenbildning till typjordar (enligt referenslista)

Information om järnvägsanläggningens och övriga anläggningsdelars utformning har i utförda beräkningar i huvudsak antagits motsvara de uppgifter som anges i ansökans Bilaga C. Teknisk beskrivning.

Erforderliga uppgifter om markytans läge baseras på uppgifter från projektets markmodell samt Lantmäteriets höjdmmodell.

Projektnamn	Skapat av (Leverantör)	Godkänt datum	Rev Datum
Ostlänken	Johanna Engelbrektsson, Jonas Pedersen, Alexander Hansen, Linda Jalava, Daniel Erdal	2023-04-27	-
Ärendenummer	Granskat av (Leverantör)	Sidor	Version
TRV 2019/65709	Mattias Fredin Henrik Tham	10(91)	_.3

## 4 Genomförande- och metodbeskrivning

### 4.1 Numeriska beräkningar

För planerade bergtunnlar samt för ett urval djupa schakter i jord och berg har numeriska beräkningar utförts med GeoStudios programvara SEEP/W. SEEP/W baseras på finita elementmetoden för modellering av grundvattenflöden i två dimensioner. Resultat från utförda hydrogeologiska och geologiska undersökningar som utförts inom ramen för järnvägsplan/systemhandling har använts för att beskriva jordlager, ansätta värden på ingående parametrar och för att bestämma randvillkor i beräkningarna.

#### 4.1.1 Gemensamma antaganden och förutsättningar

##### 4.1.1.1 Djupa jord- och bergschakt

Påverkansområden kring de djupa jord- och bergschakten vid södra påslaget till Gerstbergstunneln respektive passage E4 vid Järnaslätten har beräknats numeriskt med programvaran SEEP/W.

Beräkningarna har utförts för totalt sex sektioner, där tre är belägna invid det södra påslaget till Gerstbergstunneln (km 3+700, 3+740 och 3+900) och de resterande tre längs passage E4 vid Järnaslätten (km 5+830, 5+550 och 5+700). Sektionernas lägen har valts utifrån anläggningens utformning och de hydrogeologiska förutsättningarna i syfte att återge den största grundvattenpåverkan, samt med hänsyn till eventuell förekomst av riskeexponerade objekt. Alla modeller är platsspecifika, men generellt är lagerföljden lera, friktionsjord (morän), berg. I enskilda fall förekommer uppsprucket ytberg samt friktionsjord som går i dagen.

Grundvattenmodellerna har randvillkor med fixerat tryck (det vill säga en positiv hydraulisk gräns, så kallad Dirichlet-rand) längs båda sidorna. Inläckaget till schakten är modellerad som en fri dränering mot atmosfärstryck. Jordmaterialens egenskaper är angivna med materialmodellen "Saturated/unsaturated".

I områden där morän går i dagen har en grundvattenbildning på 200 mm/år antagits. Värden för grundvattenbildning är valda utifrån Rodhe et al. (2006) och har anpassats till de platsspecifika förhållandena för att kunna återskapa rådande grundvattenförhållanden i modellen. Värden avseende hydraulisk konduktivitet har i modellerna valts utifrån utförda undersökningar, konceptuella tolkningar samt litteraturvärden. Valda värden redovisas i kapitel 4.1.3 och 4.1.4.

Randvillkoren har i modellerna kalibrerats för att återge de medelgrundvattennivåer som uppmätts i närliggande grundvattenrör. För de två områden som modellerats finns plankartor som visar befintliga grundvattenrörs placering i förhållande till modellerade sektioner, samt de medelgrundvattennivåer som tillämpats i beräkningarna. Eftersom observationerna ofta ligger på avstånd från sektionerna har kalibreringen utförts med mål att modellen utan schakt ska ha en grundvattennivå som är realistiskt i relation till observationerna. I kalibreringen har främst randvillkoren, i form av tryckränder på bägge sidor i modellen, justerats. Detta då uppskattningar om konduktivitetsvärden ofta funnits tillgängliga, samtidigt som det inte är möjligt att kalibrera en 2D-modell för både randvillkor och konduktivitet.

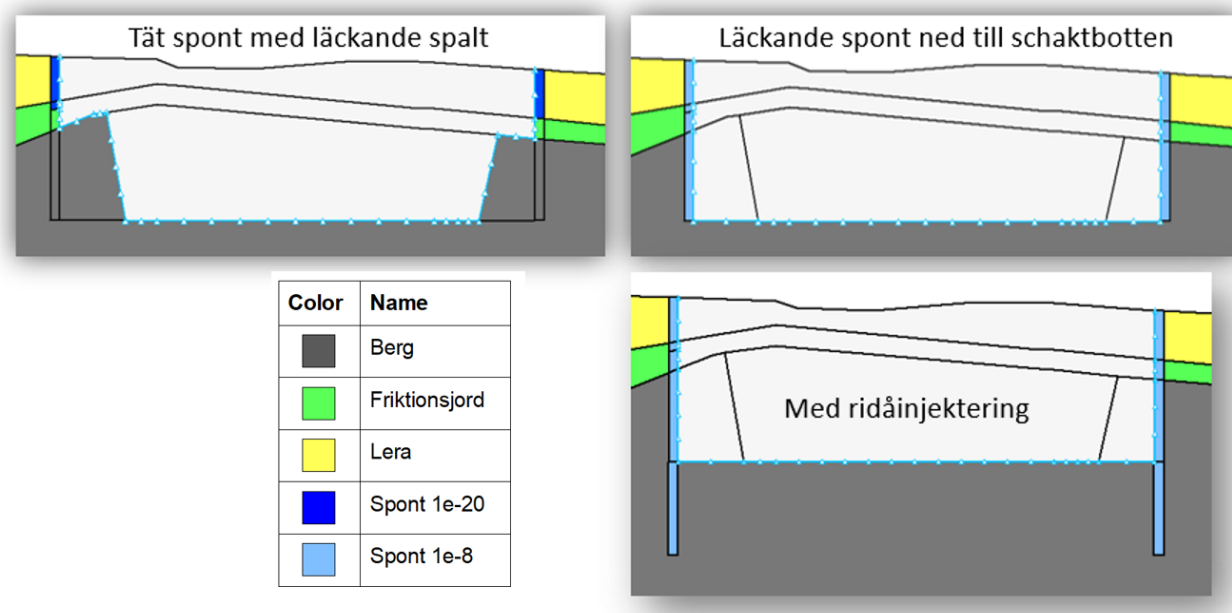
Påverkansavstånd i modellerade sektioner har avlästs som det avstånd från schakt där skillnaden i grundvattenyta mellan utförda simuleringar med respektive utan schakt motsvarar 0,3 m i friktionsjord. I den slutliga bedömningen av påverkansområde har utöver beräkningsresultat hänsyn också tagits till konceptuella tolkningar och erfarenhetsmässiga rimlighetsbedömningar.

I kapitel 4.1.3 och 4.1.4 illustreras området närmst tunnarna för de modellerade sektionerna. I kapitel 8.2 respektive 8.3 finns mer detaljerade illustrationer.

För att utvärdera grundvattenpåverkan vid olika spont-och tätningsutförande kring schakter har tre alternativ för spont/tätskärmm modellerats.

- V1: En hydrogeologiskt tät spont, som dock inte sluter helt tätt mot underliggande berg. Detta innebär att en spalt på 1 m närmst berg förblir ”öppen”. Sponten har modellerats med ett konduktivetsvärde på  $1 \times 10^{-20}$  m/s och spalten med hydrauliska konduktivitet motsvarande typvärde för förekommande jordart
- V2: En mer genomsläpplig spont som når ner hela vägen till berg och sluter tätt samt att tätningsåtgärder i berg utförs ned till schaktbotten. Detta har modellerats med ett konduktivetsvärde för sponten på  $1 \times 10^{-8}$  m/s
- V3: Som V2, men kompletterat med ridåinjektering. Ridåinjektering har modellerats med en 5 m förlängning av sponten med ett konduktivetsvärde motsvarandes spontens på  $1 \times 10^{-8}$  m/s.

Sponter/injektering har i utförda modelleringar antagits ha en tjocklek motsvarandes en halv meter. De tre beräkningsfallen illustreras i Figur 4-1 genom ett exempel från sektion i km 5+700. Övriga figurer i denna PM visar fallet V1. V1 motsvarar den lösning som påverkansområdet i ansökans Bilaga D.2.1 baseras på.



Figur 4-1: Illustration för sektion i km 5+700 av de tre utvärderade utförandena av tätspont/tätskärm. V1 till vänster, V2 höger ovan och V3 höger nedan. Ljusblå linje markerar dräneringsrandvillkor.

#### 4.1.1.2 Bergtunnlar

Inläckage till planerade bergtunnlar och resulterande påverkansområden har beräknats numeriskt med SEEP/W. Beräkningarna har gjorts för totalt fyra sektioner; varav två är lokaliserade inom Gerstabergrstunneln (km 2+675 och 3+500), en inom norra Edebytunneln (km 14+100) och en inom södra Edebytunneln (km 14+525). Val av lägen för modellsektionerna har gjorts utifrån att de ska kunna representera berörd tunnelanläggning och de hydrogeologiska förutsättningarna i stort väl. Placering har i vissa fall även gjorts med hänsyn till förekommande riskobjekt. För modellerade sektioners läge i plan, se kapitel 4.1.2 respektive 4.1.5.

Grundvattenmodellerna har randvillkor med fixerat tryck (det vill säga en positiv hydraulisk gräns, så kallad Dirichlet-rand) längs båda sidorna, här satt till närliggande ytvatten. Någon annan kalibrering av nivåer har inte utförts. Inläckaget till bergtunnlarna har modellerats som en fri dränering mot atmosfärstryck. Berget är

Projektnamn	Skapat av (Leverantör)	Godkänt datum	Rev Datum
Ostlänken	Johanna Engelbrektsson, Jonas Pedersen, Alexander Hansen, Linda Jalava, Daniel Erdal	2023-04-27	-
Ärendenummer	Granskat av (Leverantör)	Sidor	Version
TRV 2019/65709	Mattias Fredin Godkänt av (Leverantör) Henrik Tham	12(91)	_.3

modellerat som ett homogent genomsläppligt medium, med en dräneringsrand 1,5 m under bergöverytan för att förhindra att trycket i modellen stiger över bergöverytan.

I lägen för modellerade sektioner återfinns berg i dagen eller mindre områden med enbart tunna jordtäcken. För att kunna modellera flöden i jord hade en 3D-modell varit nödvändig, då flödena i jordmagasinen inte nödvändigtvis följer den modellerade tvärsnittet. Att trots detta ta med jordlagren skulle inte göra modellen bättre, utan snarare introducera nya fel och medföra en svårkontrollerad grundvattenbildning. Jordlager ingår därför inte i modellerna, utan grundvattenbildningen antas ske direkt till berg.

De tunneltvårsnitt som tillämpats i modellerna är anpassade till projekterad anläggning. Huvudspårtunneln representeras av ett rektangulärt tvärsnitt om 12 × 10 meter. Längs Gerstabergrstunneln löper också en parallell servicetunnel, som i modeller representeras av ett rektangulärt tvärsnitt om 6 × 6 meter. Geometrierna skiljer sig något mot projekterad anläggning för att underlätta beräkningsarbetet, men tvärsnittsytorerna är likvärdiga. Avståndet mellan huvudspårtunnel och servicetunnel har i modellerna ansatts till 15 meter.

En känslighetsanalys har utförts för att studera modellens känslighet för variationer i grundvattenbildning och hydraulisk konduktivitet. Utvärderade värden avseende grundvattenbildning till berg motsvarar bedömt ostörda (10 mm/år) respektive störda (50 mm/år) förhållanden, samt ytterligare ett fall där grundvattenbildningen antagits vara högre (150 mm/år) (se vidare i kapitel 4.2.2.2 för resonemang om grundvattenbildning till berg). Utvärderade värden avseende bergets hydrauliska konduktivitet är på motsvarande vis dels bergets effektiva hydrauliska konduktivitet inom berörd delsträcka längs planerad bergtunnel, dels två typvärden ( $1 \times 10^{-8}$  m/s respektive  $1 \times 10^{-7}$  m/s). För mer information om bergets vattenförande egenskaper och antaganden som gjorts för olika delsträckor längs planerade bergtunnlar, se kapitel 4.2.1.2.

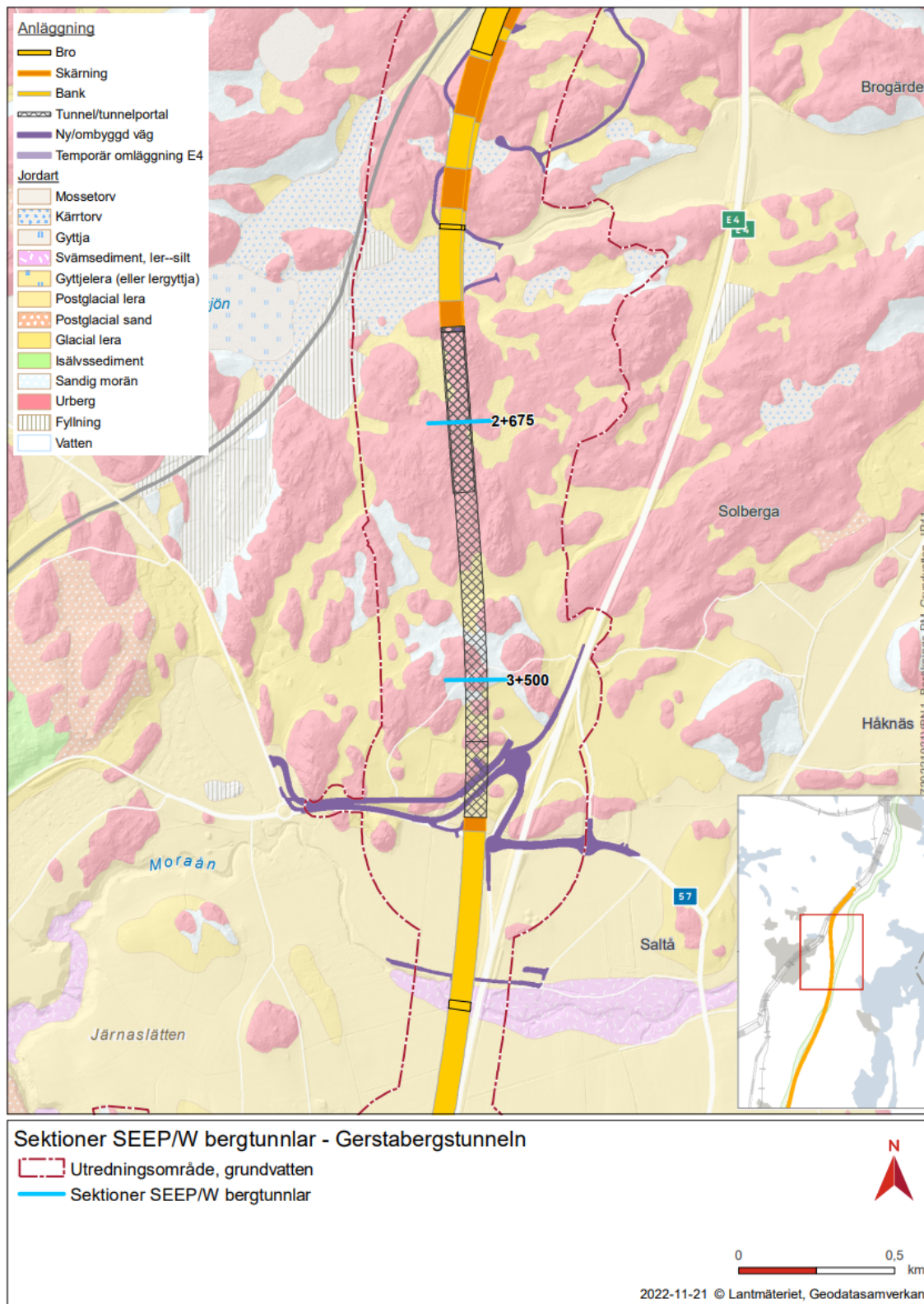
Påverkansavstånd i modellerade tunnelsektioner har avlästs som det avstånd från tunneln där skillnaden i grundvattennivå mellan utförda simuleringar med respektive utan tunnel motsvarar ca 0,3 m (i berg). Att avläsningen inte gjorts för 1 m avsänkning, som är praxis för berg, ger marginaler för de osäkerheter som finns kopplat till de förhållandevis enkla tvådimensionella modellerna. Modellosäkerheter redogörs för i kapitel 6.1.1.1. I den slutliga bedömningen av påverkansområde tas utöver beräkningsresultat även hänsyn till konceptuella tolkningar och erfarenhetsmässiga rimlighetsbedömningar.

I kapitel 4.1.2 och 4.1.5 illustreras området närmst tunnlar för de modellerade sektionerna. I kapitel 8.1 respektive 8.4 finns mer detaljerade illustrationer.

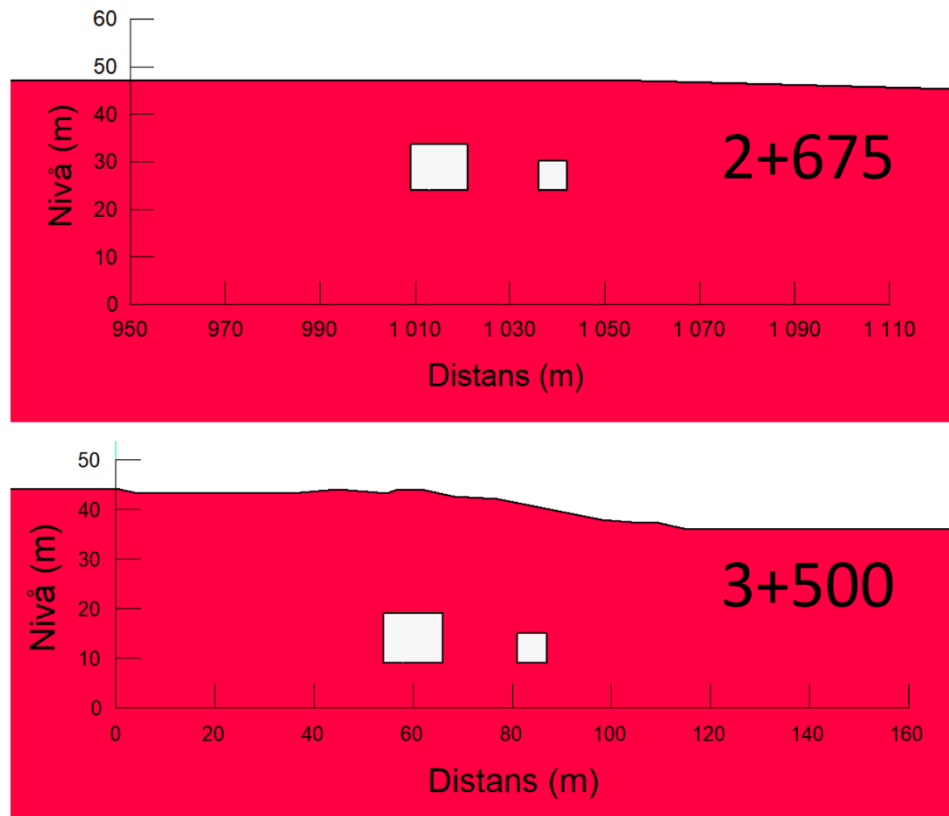
#### 4.1.2 Gerstabergrstunneln

Numeriska beräkningar av påverkansområde/inläckage har utförts för tunnelsektioner i km 2+675 samt km 3+500, se Figur 4-2. Båda sektionerna är belägna i områden som domineras av berg i dagen, alternativt berg som täcks av tunna moränjordar. För beskrivning av planerad anläggning och hydrogeologiska förutsättningar, se ansökans Bilaga D.2 *PM Yt- och grundvatten*.

Modellerade tunnelsektioner (för såväl huvudspårtunnel som servicetunnel) och antagen bergtopografi för området närmst anläggningen illustreras i Figur 4-3. I kapitel 8.1 finns mer detaljerade illustrationer.



Figur 4-2. Lägen i plan för modellerade tunnelsektioner (ljusblå linjer) längs Gerstabergrustunneln.



Figur 4-3: Illustration av simulerade sektioner i Gerstabergrustunneln från SEEP/W. Figuren visar varje sektion i modellen som den ser ut närmast tunneln med bergtopografi och tunnlarans placering (vita rektanglar). Vy i riktning mot järnvägsanläggningens stigande längdmätning (vänster i bild är mot väster och höger är mot öster).

I Tabell 4-1 redovisas ansatta värden för hydraulisk konduktivitet i berg.

Tabell 4-1. Sammanfattning av sektioner och ansatt hydraulisk konduktivitet i 2D-modeller. Bergets effektiva hydrauliska konduktivitet längs berörd del av tunneln är markerad i fetstil.

Område	Sektion (km)	Material	Hydraulisk konduktivitet (m/s)
Gerstabergrustunneln	2+675	Berg	$1 \times 10^{-7} / 1 \times 10^{-8} / 7,8 \times 10^{-9}$
	3+500	Berg	$1 \times 10^{-7} / 7,1 \times 10^{-8} / 1 \times 10^{-8}$

#### 4.1.3 Södra påslaget för Gerstabergrustunneln

Mellan ca km 3+700 och km 4+000 har påverkansområde kring schakt för anläggande av betongtunnel (södra påslaget till Gerstabergrustunneln) beräknats i sektionerna km 3+700, 3+740 samt 3+900. De hydrogeologiska förhållandena i området är komplexa och varierar längs sträckan. För beskrivning av järnvägsanläggningen och hydrogeologiska förutsättningar hänvisas till ansökans Bilaga D.2 PM Yt- och grundvatten.

Då grundvattentrycket i området konstaterats ligga drygt 1,5 meter under markytan har denna höjd ansatts som dräneringsrand i modellerna. Det innebär att grundvatten som går över denna nivå kan dränera, och maxhöjden för

Projektnamn	Skapat av (Leverantör)	Godkänt datum	Rev Datum
Ostlänken	Johanna Engelbrektsson, Jonas Pedersen, Alexander Hansen, Linda Jalava, Daniel Erdal	2023-04-27	-
Ärendenummer	Granskat av (Leverantör)	Sidor	Version
TRV 2019/65709	Mattias Fredin Godkänt av (Leverantör) Henrik Tham	15(91)	_.3

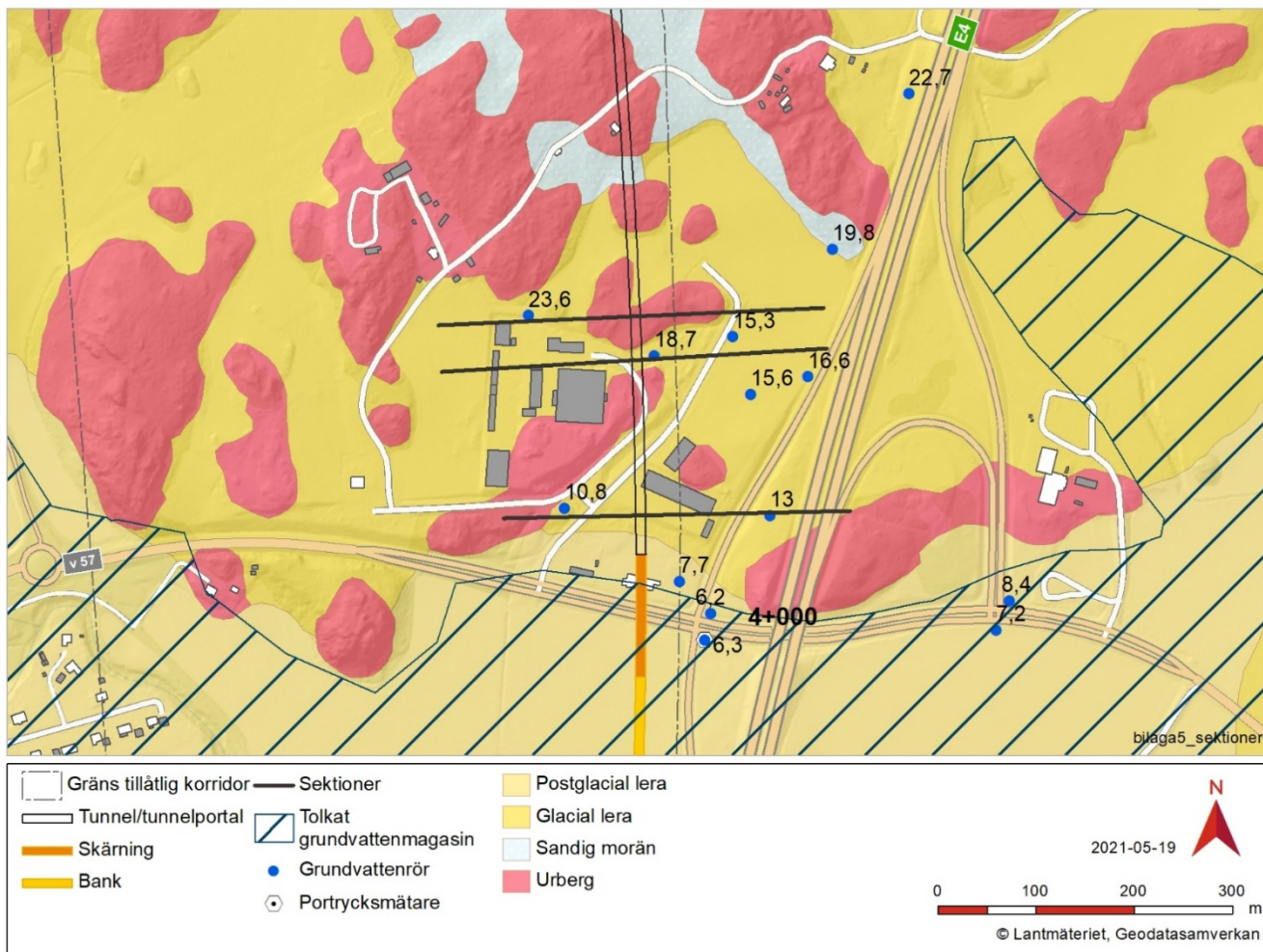
trycket i magasinet blir alltså 1,5 m under markytan. Givet de övergripande osäkerheterna i utförd modellering, samt möjligheten till verkliga dräneringsrör eller liknande anses detta tillägg tämligen realistiskt.

Den hydrauliska konduktiviteten som använts i modellberäkningarna redovisas i Tabell 4-2. Hydraulisk konduktivitet för grundvattenmagasin Järna, som är beläget strax söder om området för modellsektionerna, bedöms som hög, cirka  $7 \times 10^{-4}$  m/s, baserat på resultat från utförd provpumpning. Dock visar slugtester som utförts i grundvattenmagasinets utkanter en något lägre hydraulisk konduktivitet, cirka  $1 \times 10^{-6}$ – $1 \times 10^{-5}$  m/s. Friktionsjordens genomsläpplighet har utifrån modellernas läge ansatts till  $1 \times 10^{-5}$  m/s. Hydraulisk konduktivitet för lera har ansatts utifrån litteraturvärden (Freeze & Cherry, 1979), medan bergets genomsläpplighet baseras på resultat från utförda vattenförlustmätningar samt den mer övergripande brunnsanalysen. Den översta metern av berget i modellen har antagits vara uppsprucket med en högre konduktivitet än djupare berg. Spontens och ridåinjekteringens hydrauliska konduktivitet har i utförda modellering antagits i enlighet med de tre beräkningsfallen presenterade i kapitel 4.1.1.1.

*Tabell 4-2. Hydraulisk konduktivitet som använts i modellberäkningar vid södra påslaget till Gerstabergstunneln.*

<b>Material</b>	<b>Hydraulisk konduktivitet (m/s)</b>
Lera	$1,0 \times 10^{-9}$ (V1, V2 och V3)
Friktionsjord	$1,0 \times 10^{-5}$ (V1, V2 och V3)
Berg	$6,0 \times 10^{-8}$ (V1, V2 och V3)
Sprucket berg	$1,0 \times 10^{-6}$ (V1, V2 och V3)
Spont	$1,0 \times 10^{-20}$ (V1) samt $1,0 \times 10^{-8}$ (V2 och V3)
Ridåinjektering	$1,0 \times 10^{-8}$ (V3)

I Figur 4-4 visas modellsektionernas lägen samt de medelgrundvattennivåer som uppmätts inom projektet i berört område. Dessa nivåer har använts för att kontrollera att de uppsatta modellerna ger en realistisk grundvattenyta.

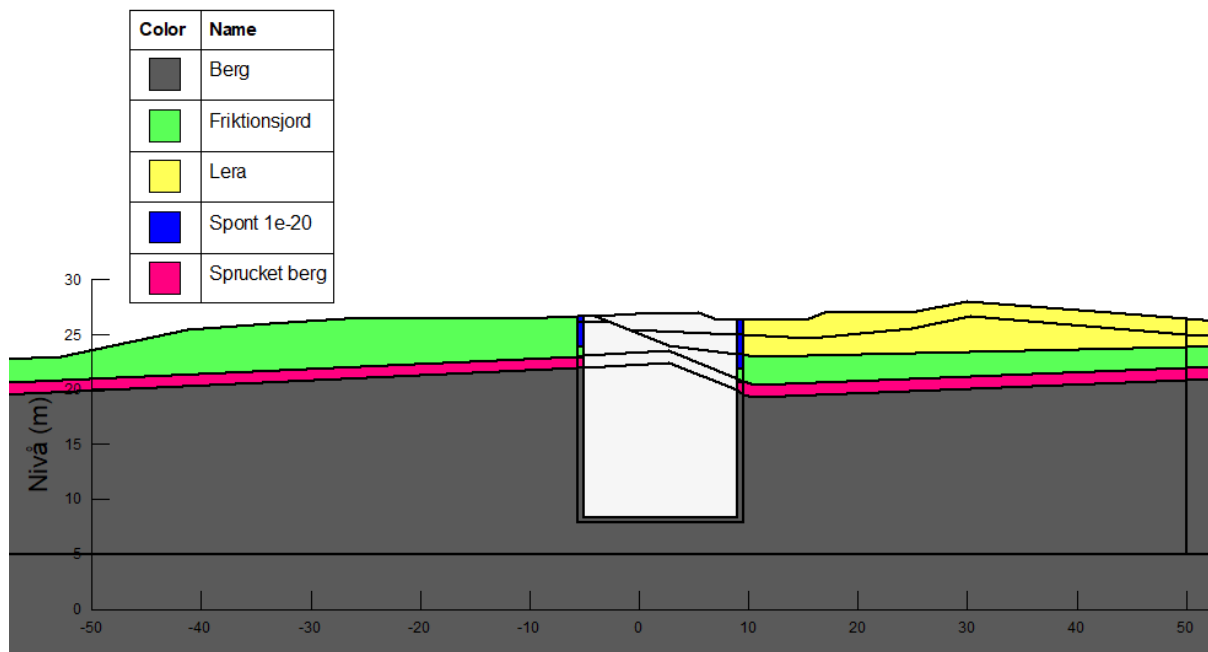


Figur 4-4: Lägen för modellsektionerna (svarta linjer) vid södra påslaget till Gerstabergrstunneln samt uppmätta medelgrundvattennivåer. Från norr till söder: km 3+700, km 3+740, km 3+900.

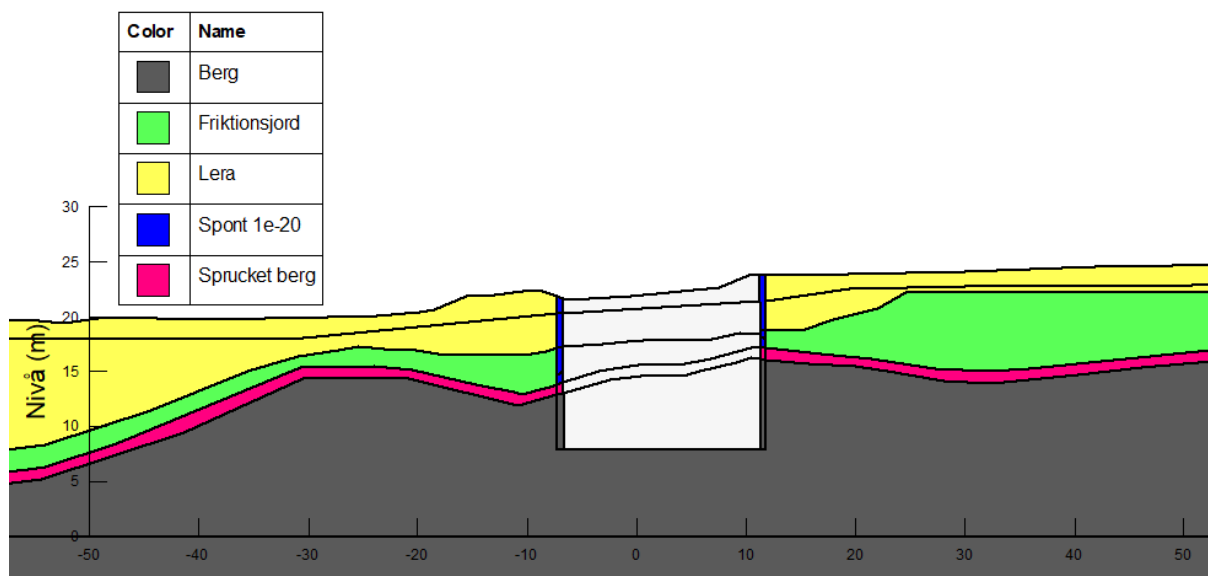
Det ska noteras att ett värde på spontens hydrauliska konduktivitet på  $1 \times 10^{-20}$  m/s, som i fallet V1, är mycket lågt och i praktiken omöjligt att uppnå. Värdet har ändå använts i syfte att illustrera effekten av en tät spont som inte sluter tätt mot underliggande berg. Det låga värdet har vid körningar av fallet V1 visat sig ha liten effekt på resultatet för såväl påverkansområdet utbredning som inläckaget. Då det huvudsakliga inläckaget ändå sker via den genomsläppliga friktionsjorden mellan spontfot och berg blir resultatet jämförbart med de från ett öppet schakt utan någon spont oavhängigt vilket värde avseende hydraulisk konduktivitet som väljs.

Information om jordlager i varje tvärsektion har tolkats utifrån geotekniska fältundersökningar. I Figur 4-5, Figur 4-6 och Figur 4-7 visas jordlagren för tvärsektionerna i km 3+700, km 3+740, och km 3+900 närmst planerade schakter. Hela modellsektioner inklusive resulterande grundvattennivåer för V1 redovisas i kapitel 8.2.

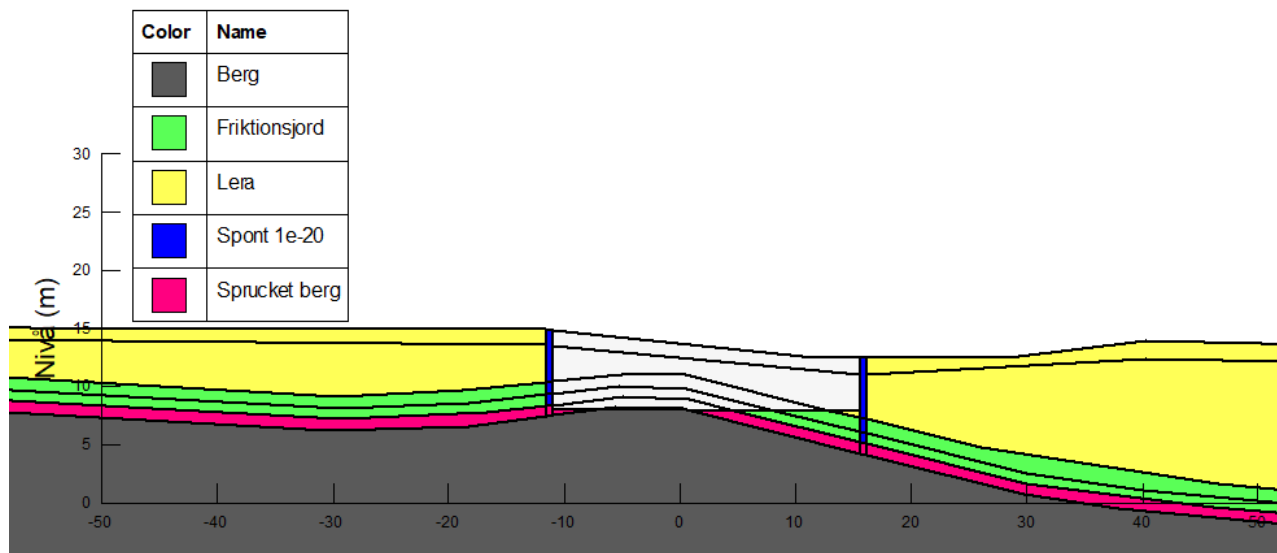




Figur 4-5: Tvärsektion vid km 3+700. Vänligen notera att figuren endast visar området närmast schakten. Vy i riktning med järnvägsanläggningens stigande längdmätning (vänster i bild är mot öst och höger mot väst).



Figur 4-6: Tvärsektion vid km 3+740. Vänligen notera att figuren endast visar området närmast schakten. Vy i riktning med järnvägsanläggningens stigande längdmätning (vänster i bild är mot öst och höger mot väst).



Figur 4-7: Tvärsektion vid km 3+900. Vänligen notera att figuren endast visar området närmast schakten. Vy i riktning med järnvägsanläggningens stigande längdmätning (vänster i bild är mot öst och höger mot väst).

#### 4.1.4 Passage E4 vid Järnaslätten

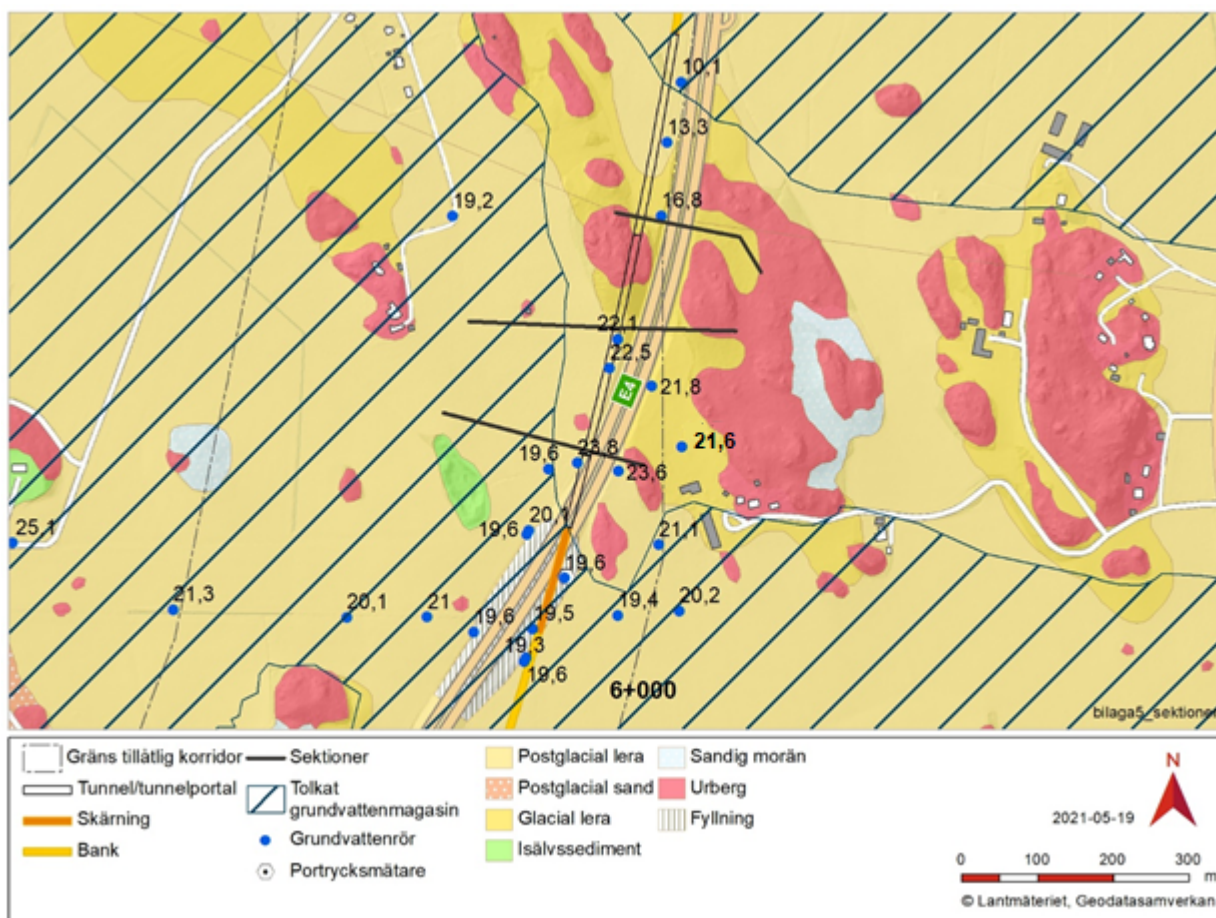
Järnvägsanläggningen passerar under E4 i en betongtunnel mellan km 5+411 och km 5+710. Till betongtunneln ansluter betongtråg från såväl norr som söder (km 5+140–5+411 samt km 5+710–5+790). Utbredning av påverkansområde har beräknats i tre sektioner; km 5+830, 5+550 och 5+700. I området förekommer berg i dagen, men även områden med stora jorddjup (upp emot 37 m). Jordlagren utgörs i allmänhet av lera som underlagras av friktionsjord på berg. Ställvis saknas friktionsjordlager, varför leran i dessa områden ligger direkt mot berg. I modelleringsarbetet har dock ett lager av friktionsjord på minst en meters mäktighet antagits för ett konservativt förhållningssätt. För detaljerad beskrivning av järnvägsanläggningen och hydrogeologiska förutsättningar hänvisas till ansökans Bilaga D.2 *PM Yt- och grundvatten*.

Ansatta värden för hydrauliska konduktivitet som använts i modellberäkningarna redovisas i Tabell 4-3. Hydraulisk konduktivitet för grundvattenmagasin Järna, som är beläget strax söder om området för modellsektionerna, bedöms som hög, cirka  $7 \times 10^{-4}$  m/s, baserat på resultat från utförd propumpning. Dock visar slugtester som utförts i grundvattenmagasinets utkanter en något lägre hydraulisk konduktivitet, cirka  $1 \times 10^{-6}$ – $1 \times 10^{-5}$  m/s. Den hydrauliska konduktiviteten för friktionsjorden har utifrån modellsektionernas läge i magasinet därmed ansatts till  $1 \times 10^{-5}$  m/s. Hydraulisk konduktivitet för lera har uppskattats utifrån litteraturvärden (Freeze & Cherry, 1979). Hydraulisk konduktivitet för berg baseras på den beräknade effektiva hydrauliska konduktivitet från utförd brunnsanalys. Värdet bedöms som konservativt i förhållande till resultat erhållna vid vattenförlostmätning i OLP4K011, som tyder på ett betydligt tätare berg. Spontens hydrauliska konduktivitet har antagits utifrån att materialet bedöms vara i princip tätt i spontutförande V1 men i V2 och V3 något mera genomsläpplig.

Tabell 4-3. Hydraulisk konduktivitet som använts i modellberäkningar vid passage E4 vid Järnaslätten.

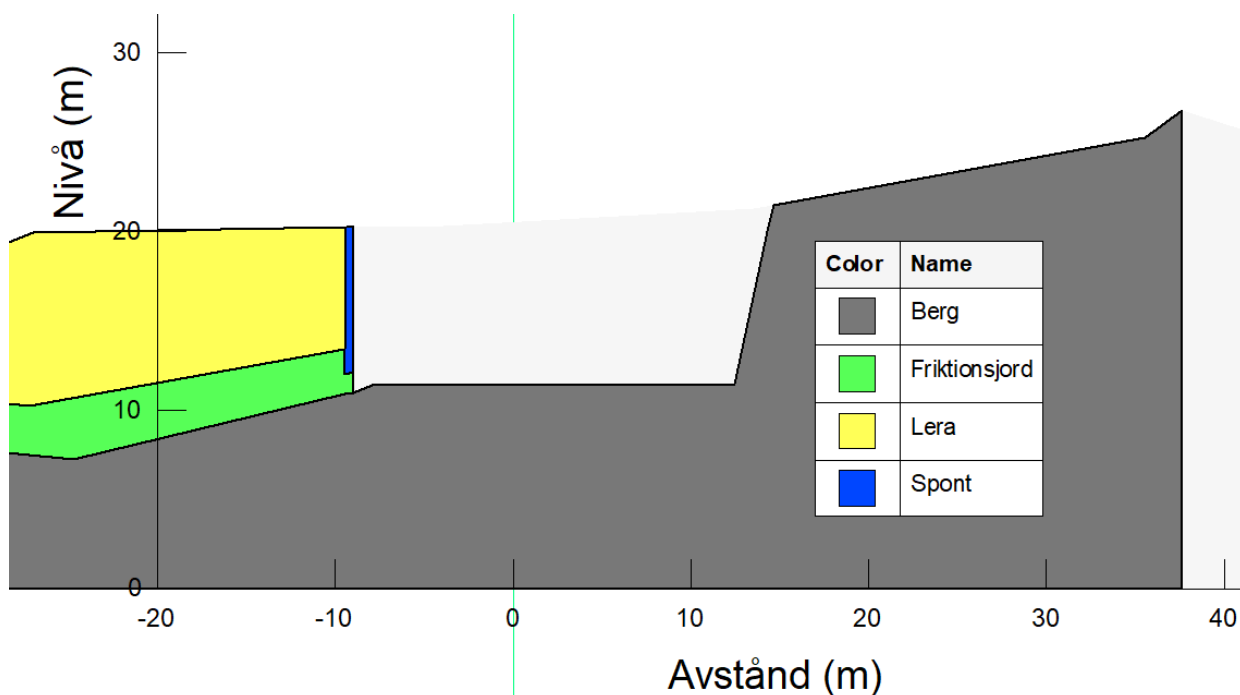
Material	Hydraulisk konduktivitet (m/s)
Lera	$1 \times 10^{-9}$ (V1, V2 och V3)
Friktionsjord	$1 \times 10^{-5}$ (V1, V2 och V3)
Berg	$6 \times 10^{-8}$ (V1, V2 och V3)
Spont	$1 \times 10^{-20}$ (V1) samt $1 \times 10^{-8}$ (V2 och V3)
Ridåinjektering	$1 \times 10^{-8}$ (V3)

I Figur 4-8 redovisas modellsektionernas lägen samt de medelgrundvattennivåer som uppmätts i berört område. Dessa nivåer har använts för att kalibrera grundvattennivåer i beräkningar av påverkansområde kring schakterna. Vänligen observera att sektion km 5+380 är något böjd, då grundvattenströmningen antas följa dalen. Då modellsektionen ska följa grundvattnets strömning är det principiellt inget problem att modellera exempelvis en böjd sektion, bara modellen följer flödeslinjerna för området.

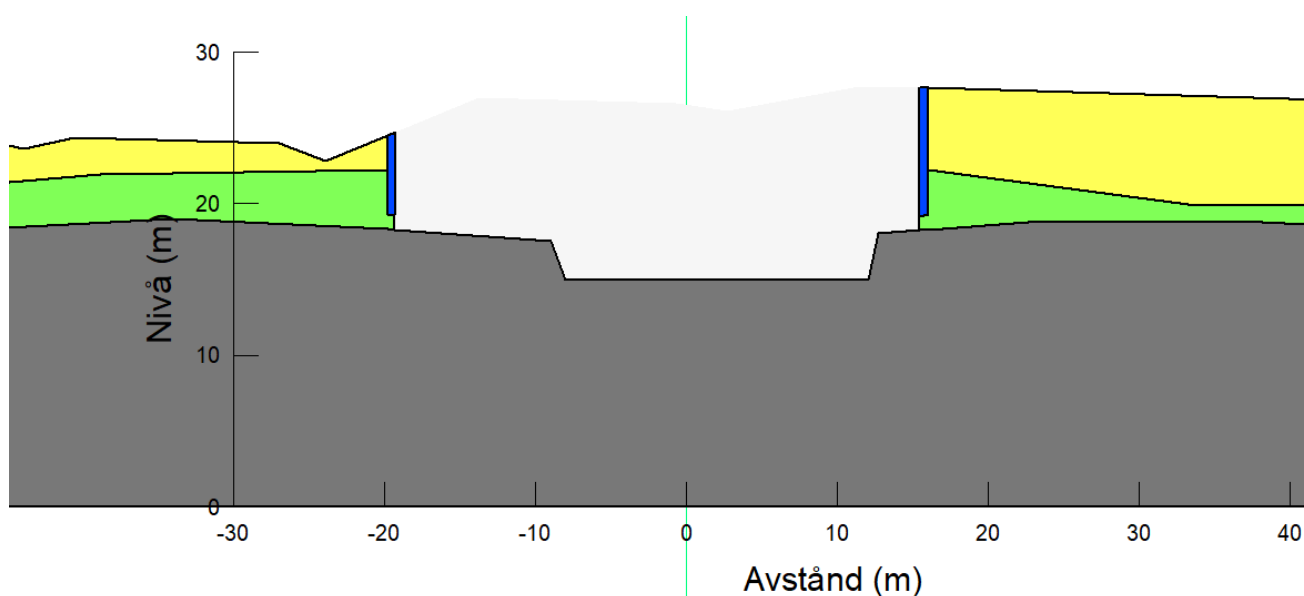


Figur 4-8: Lägen för modellsektionerna (svarta linjer) vid passage E4 vid Järnaslätten samt uppmätta medelgrundvattennivåer. Från norr till söder: km 5+380, km 5+550 och km 5+700.

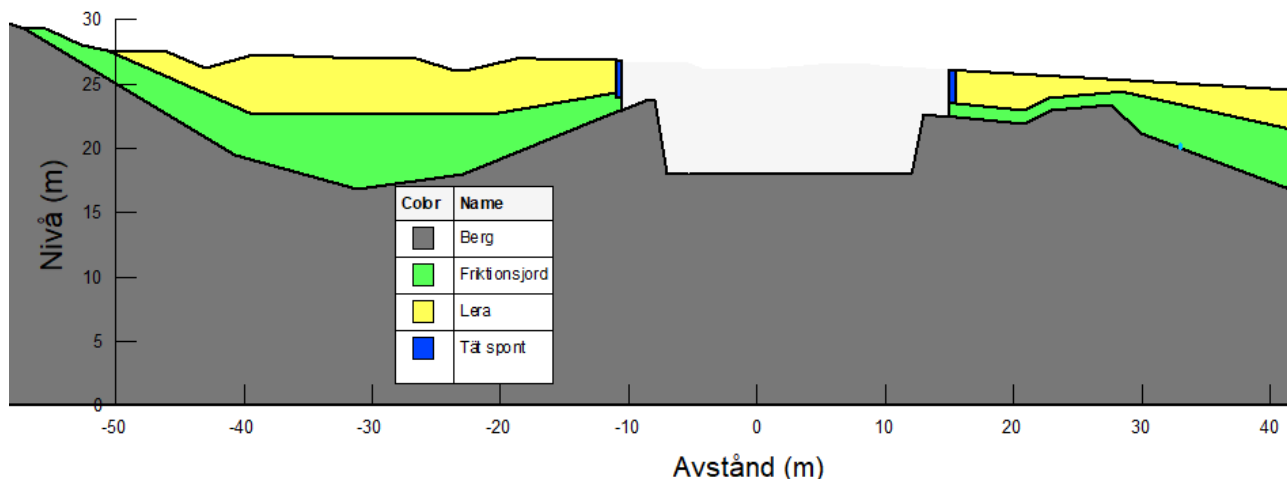
Information om jordlager i varje tvärsektion har tolkats utifrån geotekniska fältundersökningar. I Figur 4-9 till Figur 4-11 visas jordlagren för tvärsektionerna i km 5+380, 5+550 samt 5+700 (V1). Hela modellsektioner inklusive resulterande grundvattennivåer presenteras i avsnitt 8.3 med spontutförande V1.



Figur 4-9: Tvärsektion vid km 5+380. Vänligen notera att figuren endast visar området närmast schakten. Vy i riktning med järnvägsanläggningens stigande längdmätning (vänster i bild är mot öst och höger mot väst).



Figur 4-10: Tvärsektion vid km 5+550. Vänligen notera att figuren endast visar området närmast schakten. Vy i riktning med järnvägsanläggningens stigande längdmätning (vänster i bild är mot öst och höger mot väst).

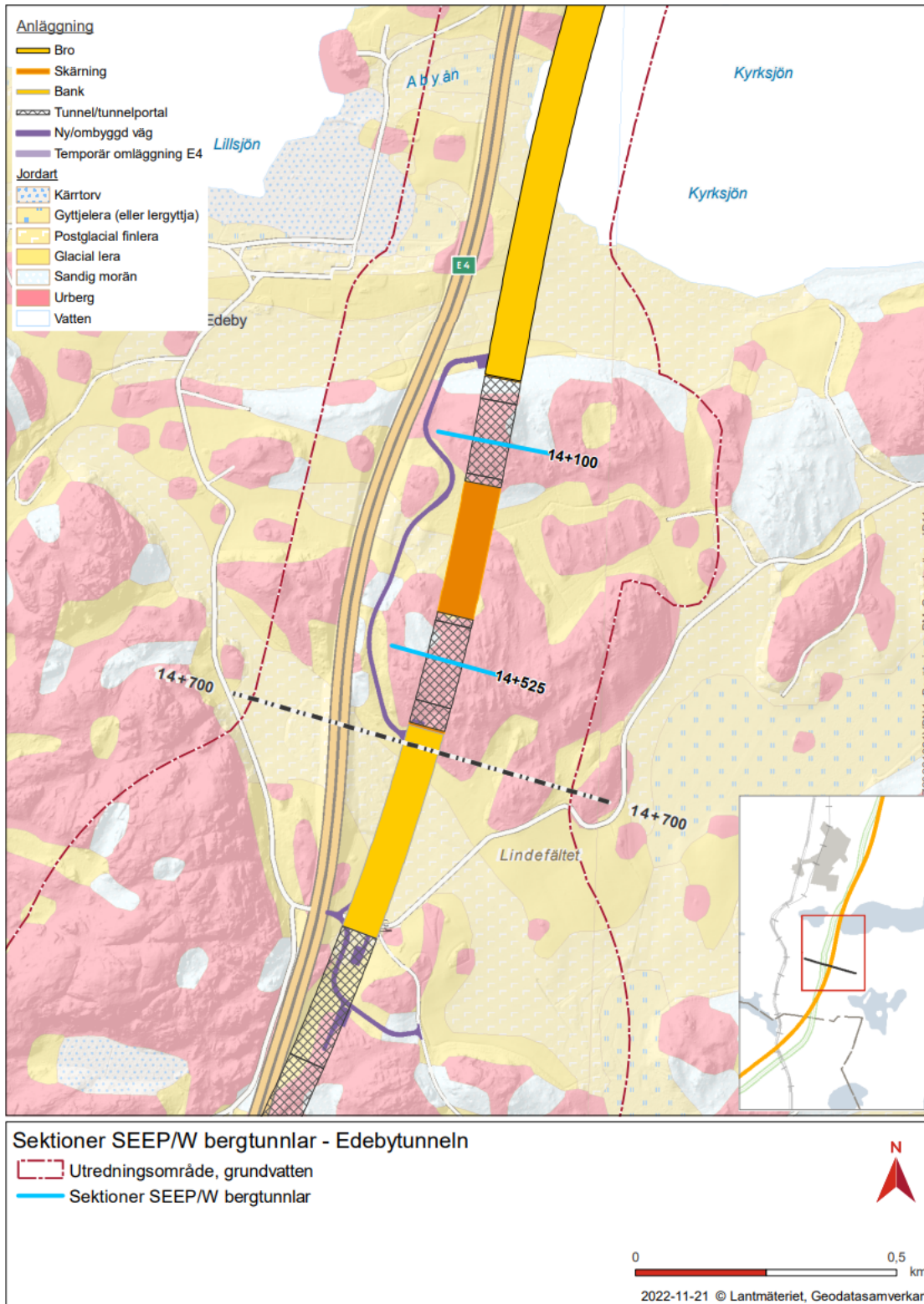


Figur 4-11: Tvärsektion vid km 5+700. Vänligen notera att figuren endast visar området närmast schakten. Vy i riktning med järnvägsanläggningens stigande längdmätning (vänster i bild är mot öst och höger mot väst).

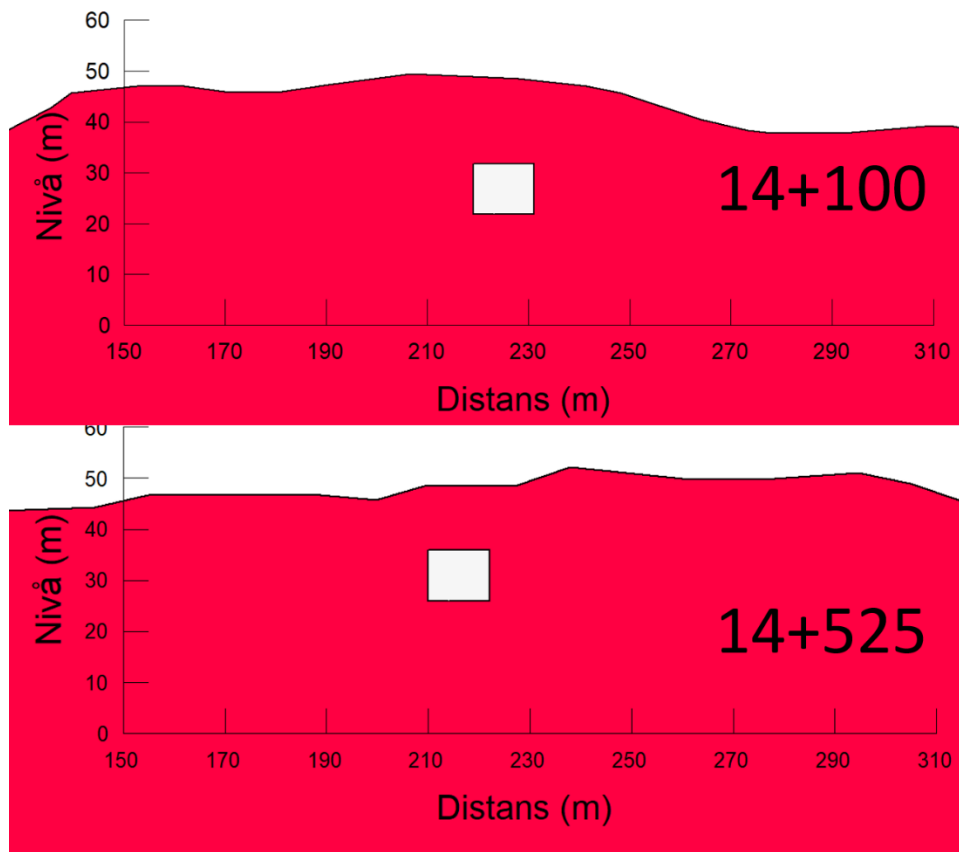
#### 4.1.5 Norra och södra Edebytunneln

Numerisk beräkning av påverkansområde/inläckage har utförts i en sektion i norra (km 14+100) respektive en sektion i södra (km 14+525) Edebytunneln, se Figur 4-12. För beskrivning av planerad anläggning samt platsspecifika hydrogeologiska förutsättningar hänvisas till ansökans Bilaga D.2 PM Yt- och grundvatten.

Modellerade tunnelsektioner och antagen bergtopografi för området närmst anläggningen illustreras i Figur 4-13. I kapitel 8.4 finns mer detaljerade illustrationer.



Figur 4-12. Lägen i plan för modellerade tunnelsektioner (ljusblåa linjer) längs Norra Edebytunneln och Södra Edebytunneln.



Figur 4-13: Illustration av simulerade sektioner i norra och södra Edebytunneln från SEEP/W. Figuren visar för varje sektion modellen som den ser ut närmast tunneln med bergtopografi och tunnelns placering (vit kvadrat). Vy i riktning mot järnvägsanläggningens stigande längdmätning (vänster i bild är mot väster och höger är mot öster).

I Tabell 4-4 redovisas ansatta värden för hydraulisk konduktivitet i berg samt i illustreras området närmast tunnarna för de modellerade sektionerna.

Tabell 4-4. Sammanfattning av sektioner och ansatt hydraulisk konduktivitet i 2D-modeller. Bergets effektiva konduktivitet inom berörd del av tunneln är markerad i fetstil.

Område	Sektion (km)	Material	Hydraulisk konduktivitet (m/s)
Norra Edebytunneln	14+100	Berg	$1 \times 10^{-7}$ / <b><math>7,8 \times 10^{-8}</math></b> / $1 \times 10^{-8}$
Södra Edebytunneln	14+525	Berg	$1 \times 10^{-7}$ / <b><math>5,7 \times 10^{-8}</math></b> / $1 \times 10^{-8}$

## 4.2 Analytiska beräkningar

Påverkansområden för samtliga anläggningsdelar med bedömd grundvattenpåverkan längs Ostlänkens delsträcka Gerstabergr – Långsjön har beräknats analytiskt.

De analytiska beräkningarna omfattar specifikt för bergtunnlar utöver påverkansområden även inläckage.

Projektnamn	Skapat av (Leverantör)	Godkänt datum	Rev Datum
Ostlänken	Johanna Engelbrektsson, Jonas Pedersen, Alexander Hansen, Linda Jalava, Daniel Erdal	2023-04-27	-
Ärendenummer	Granskat av (Leverantör)	Sidor	Version
TRV 2019/65709	Mattias Fredin Godkänt av (Leverantör) Henrik Tham	24(91)	_.3

## 4.2.1 Bergtunnlar

### 4.2.1.1 Påverkansområde

Analytiska beräkningar för påverkansområden kring bergtunnlar utgår från härledning i Gustafson (2009) enligt Ekvation 4.1.

$$q(0) = \frac{q}{\pi H} \quad \text{Ekvation (4.1)}$$

där

$q(0)$  [m/s] Vertikalflödet rakt över tunneln

$q$  [(m<sup>3</sup>/s)/m] Inläckage till tunnel per längdmeter

$H$  [m] Grundvattentryck vid tunnelsula, dvs avståndet mellan tunnelsula och opåverkad grundvattenytan

Härledningen i Gustafson (2009) visar hur stor andel av det maximala vertikala flödet som ett vertikalt flöde vid ett visst avstånd ifrån tunneln utgör. Vid ett avstånd som är ca 5 gånger avståndet mellan tunnelsulan och grundvattenytan motsvarar vertikalflödet cirka 3 % av det maximala vertikalinflödet. Inom detta avstånd kommer närmare 90% av det totala inläckaget. Genom att multiplicera tunneldjup under grundvattenytan med 5 har påverkansområden kring bergtunnlar beräknats var 100:e meter.

Tunnelsulan har i utförda beräkningar antagits vara belägen 2 meter under rälsens överkant. Grundvattennivån har generellt antagits ligga i marknivå. I lokalt uppstickande höjdområden har dock plats specifika bedömningar av grundvattennivå gjorts.

### 4.2.1.2 Inläckage

Det totala inläckaget till planerade bergtunnlar har beräknats som summan av det inläckage som bedöms ske via normalberg (typinläckage) och det inläckage som bedöms ske via verifierade vattenförande zoner (zoninläckage).

Utförda beräkningar av typinläckage utgår från en indelning av berget längs planerade bergtunnlar i olika delsträckor som fastställts i tidigare skede inom ramen för Ingenjörsgelogisk prognos (IP). Indelningen baseras på en kombination av de berggrundsgeologiska förutsättningarna, underlag från utförda fältundersökningar, arkivmaterial samt de planerade anläggningarnas lägen och utformning. Inom en avgränsad delsträcka förväntas geologin med avseende på bergartsfördelning och strukturgeologi vara relativt homogen, vilket är grundläggande för bergets hydrogeologiska egenskaper.

Beräkningar av zoninläckage omfattar enbart de zoner som i IP tolkats som verifierat vattenförande.

## Ekvationer och antaganden - typinläckage

Typinläckage till planerade bergtunnlar har beräknats enligt Ekvation 4.2 (Gustafson, 2009).

$$q = \frac{2\pi K_r H}{\ln\left(\frac{2H}{r_t}\right) + \left(\frac{K_r}{K_g} - 1\right) \ln\left(1 + \frac{t}{r_t}\right) + \xi} \quad \text{Ekvation (4.2)}$$



Projektnamn	Skapat av (Leverantör)	Godkänt datum	Rev Datum
Ostlänken	Johanna Engelbrektsson, Jonas Pedersen, Alexander Hansen, Linda Jalava, Daniel Erdal	2023-04-27	-
Ärendenummer	Granskat av (Leverantör)	Sidor	Version
TRV 2019/65709	Mattias Fredin Godkänt av (Leverantör) Henrik Tham	25(91)	_.3

där

$q$  [(m<sup>3</sup>/s)/m] Inläckage till tunnel per längdmeter

$K_r$  [m/s] Bergets hydrauliska konduktivitet (oinjekterad bergmassa)

$K_g$  [m/s] Bergets hydrauliska konduktivitet (injekterad bergmassa)

$H$  [m] Grundvattentryck vid tunnelcentrum, dvs avståndet mellan tunnelns mitt och grundvattenytan

$t$  [m] Tjocklek på den tätade (injekterade) zonen

$r_t$  [m] Tunnelradie

$\xi$  Skinfaktor

Ekvation 4.2 gäller i allmänhet för djupa bergtunnlar, där grundvattentrycket är minst 1,3 gånger större än tunnelns ansatta diameter.

Då beräkningar utförs för otätad tunnel förutsätts att  $K_g = K_r$ , samt att tätad zon saknas ( $t = 0$  m), vilket medför att produkten av  $(K_r / K_g - 1) \times \ln(1 + t/r_t)$  i nämnaren utgår.

#### *Hydraulisk konduktivitet*

Värden avseende bergets vattenförande egenskaper inom olika delsträckor längs planerade tunnlar har i första hand bestämts utifrån data som erhållits från utförda vattenförlustmätningar, men i de fall sådan data saknats baseras värden i stället på brunnsanalys som utförts för ett urval av närliggande brunnar från SGU:s brunnsarkiv.

Över lag har vattenförlustmätningar utförts i anslutning till svaghetszoner och områden med förväntat sämre bergkvalitet. Resultaten har sedan fått representera bergets genomsläpplighet inom hela den delsträcka längs tunneln som mätningen utförts inom och bedöms vara representativ för. I allmänhet omfattar delsträckorna även områden där bergkvaliteten kan förväntas vara bättre än där undersökningen utförts. I de fall det utförts flera vattenförlustmätningar inom en och samma delsträcka har resultat från den mätning som gav det mest vattenförande berget tillämpats i utförda beräkningar. Sammantaget bedöms valt angreppssätt bidra till konservativa beräkningsförutsättningar.

I Tabell 4-5 redovisas de värden avseende bergmassans effektiva hydrauliska konduktivitet som tillämpats för olika delsträckor längs planerade bergtunnlar i beräkningar av typinläckage enligt Ekvation 4.2, samt dess ursprung.

Tabell 4-5. Tillämpade värden avseende effektiv hydraulisk konduktivitet inom olika delsträckor längs planerade bergtunnlar, samt värdenas ursprung.

Tunnel/delsträcka, km-tal	Effektiv hydraulisk konduktivitet, $K_{eff}$ [m/s]	Ursprung
<b>Gerstabergrstunneln inkl. servicetunnel</b>		
2+384–2+500	$5,7 \times 10^{-8}$	Brunnsanalys
2+500–3+170	$7,8 \times 10^{-9}$	Vattenförlustmätning (OLP4K005)
3+170–3+400	$2,8 \times 10^{-8}$	Vattenförlustmätning (OLP4K009)
3+400–3+697	$7,1 \times 10^{-8}$	Vattenförlustmätning (OLP4K010)
<b>Norra Edebytunneln</b>		
14+021–14+167	$7,8 \times 10^{-8}$	Vattenförlustmätning (OLP4K303)
<b>Södra Edebytunneln</b>		
14+456–14+613	$5,7 \times 10^{-8}$	Brunnsanalys

I utförda beräkningar har bergets effektiva hydrauliska konduktivitet använts i syfte att ta hänsyn till skalberoende enligt kapitel 3.1.2.3.

#### Skinfaktor

Skinfaktorn tillämpas för att hantera den avvikande hydrauliska konduktiviteten i berget närmst tunneln, som påverkas av exempelvis kemiska processer, spänningsomlagringar och diffusion. Vanligtvis rekommenderas en skinfaktor för bergmassan om mellan 2 och 5 vid inläckageberäkningar till bergtunnlar, där de högre siffrorna i intervallet ansätts vid förmodat täta förhållanden.

Skinfaktorn har genomgående i utförda beräkningar av typinläckage ansatts till 1 för att erhålla konservativa beräkningsförutsättningar.

#### Tunnelradie

Ekvationerna för inläckageberäkningar förutsätter ett cirkulärt tunneltvärsnitt där ekvivalent tunnelradie i utförda beräkningar ansatts till 7 m, vilket motsvarar en tvärsnittsarea om 154 m<sup>2</sup>. Huvudspårtunneln har projekterats med en total tvärsnittsarea om 120 m<sup>2</sup>, medan servicetunneln, som löper parallellt med Gerstabergrstunnelns spårtunnel, har projekterats med en tvärsnittsarea om 34 m<sup>2</sup>. Det i beräkningarna tillämpade tvärsnittet motsvarar således

Projektnamn	Skapat av (Leverantör)	Godkänt datum	Rev Datum
Ostlänken	Johanna Engelbrektsson, Jonas Pedersen, Alexander Hansen, Linda Jalava, Daniel Erdal	2023-04-27	-
Ärendenummer	Granskat av (Leverantör)	Sidor	Version
TRV 2019/65709	Mattias Fredin Godkänt av (Leverantör) Henrik Tham	27(91)	_.3

projekterad anläggning i Gerstabergrstunnelns fall, samt är något större än projekterat tunneltvärsnitt i Edebyttunnlarnas fall (där servicetunnel saknas).

### Grundvattentryck

Grundvattennivån har i utförda beräkningar antagits följa markytan ovan tunneln. Beräkningar har utförts med ett typvärde som motsvarar avståndet mellan markytan och tunnelmitt inom respektive delsträcka längs planerade bergtunnlar. Ansatta värden och noterade variationer i grundvattentryck inom respektive delsträcka framgår av Tabell 4-6.

*Tabell 4-6. Tillämpade värden avseende grundvattentryck samt noterade grundvattentryckvariationer inom respektive delsträcka längs planerade bergtunnlar.*

Tunnel och km	Grundvattentryck, antaget typvärde [m]	Grundvattentryck, variationer [m]
<b>Gerstabergrstunneln inkl. servicetunnel</b>		
2+384–2+500	19	12–22
2+500–3+170	22	13–30
3+170–3+400	20	15–25
3+400–3+697	18	11–28
<b>Norra Edebyttunneln</b>		
14+021–14+167	17	10 –21
<b>Södra Edebyttunneln</b>		
14+456–14+613	15	10–17

### Ekvationer och antaganden - zoninläckage

För beräkningar av inläckage via enskilda sprickzoner har Ekvation 4.3 använts.

$$q_{zon} = \frac{2\pi K_{zon}HB}{\ln\left(\frac{2H}{r_t}\right) + \left(\frac{K_{zon}}{K_g} - 1\right)\ln\left(1 + \frac{t}{r_t}\right)} + \xi \quad \text{Ekvation (4.3)}$$

där

$q_{zon}$ [m <sup>3</sup> /s]	Inläckage till tunnel via zon
$K_{zon}$ [m/s]	Zonens hydrauliska konduktivitet
$B$ [m]	Zonens bredd

Ekvation 4.3 utgör en justerad version av Ekvation 4.2, där de flesta parametrar och ansatta värden är desamma som för Ekvation 4.2. Bergets genomsläpplighet är dock angiven som zonens hydrauliska konduktivitet ( $K_{zon}$ )

Projektnamn	Skapat av (Leverantör)	Godkänt datum	Rev Datum
Ostlänken	Johanna Engelbrektsson, Jonas Pedersen, Alexander Hansen, Linda Jalava, Daniel Erdal	2023-04-27	-
Ärendenummer	Granskat av (Leverantör)	Sidor	Version
TRV 2019/65709	Mattias Fredin Henrik Tham	28(91)	_.3

multipliserat med zonbredden (B), vilket motsvarar zonens transmissivitet ( $T_{zon} = K_{zon} \times B$ ). Ansatta värden härrör från vattenförlustmätningar från representativa 3-meterssektioner utifrån planerade tunnlar lägen.

Värdet för grundvattentrycket (H) är satt till avståndet mellan markytan och tunnelcentrum i läget för respektive zon. I beräkningar av zoninläckage har skinfaktorn vidare ansatts till 0, då flödet i en zon inte bedöms påverkas av spänningsomlagringar och diffusion.

Då beräkningar utförs för otätad tunnel förutsätts att  $K_{zon} = K_g$ , samt att tätad zon saknas ( $t = 0$  m), vilket medför att produkten av  $(K_{zon}/K_g - 1) \times \ln(1 + t/r_i)$  i nämnaren utgår.

Beräkningar av zoninläckage enligt Ekvation 4.3 har gjorts för ett urval av svaghetszoner som verifierats vid genomförda fältundersökningar och samtidigt bedömts kunna ha särskild betydelse för inläckaget till planerade bergtunnlar utifrån svaghetszonernas vattenförande förmåga på nivån för planerad tunnel. Totalt har beräkningen gjorts för tre svaghetszoner längs Gerstabergrstunneln.

I Tabell 4-7 redovisas verifierade vattenförande zoner och de egenskaper som använts i utförda beräkningar av zoninläckage enligt Ekvation 4.3. Ansatta värden för zontransmissivitet ( $T_{zon}$ ) utgör de högsta representativa sektionstransmissiviteterna längs respektive kärnborrhål, baserat på resultat från vattenförlustmätningar. Lägen för de verifierade zonerna framgår tillsammans med övriga zoner enligt den ingenjörsgesologiska prognosen i Figur 31 (Gerstabergrstunneln) respektive Figur 51 (Edebyttunnlarna) i ansökans Bilaga D.2 PM Yt- och grundvatten.

Tabell 4-7. Verifierade vattenförande zoner längs Gerstabergrstunneln. Utbredning i förhållande till spårlinjen, bedömd zonbredd, grundvattentryck samt tolkad transmissivitet och tolkad hydraulisk konduktivitet för zonen.

Tunnel och respektive zon	Från km	Till km	B [m]	H [m]	$T_{zon}$ [m <sup>2</sup> /s]	$K_{zon}$ [m/s]	Aktuellt borrhål/data
#11	2+605	2+655	50	13	$3,8 \times 10^{-7}$	$7,6 \times 10^{-9}$	OLP4K005
#17	3+195	3+205	10	15	$1,1 \times 10^{-6}$	$1,1 \times 10^{-7}$	OLP4K009
#25	3+610	3+680	70	11	$2,1 \times 10^{-6}$	$3 \times 10^{-8}$	OLP4K010

## 4.2.2 Övriga anläggningsdelar

Olika typer av analytiska beräkningar har utförts för övriga anläggningsdelar (utöver bergtunnlar och djupa schakt). Dessa analytiska beräkningar omfattar påverkansområde för grundläggning av brostöd, markförstärkningsåtgärder, VA-anläggningar, processvattenbrunnar samt skärningar för järnvägsanläggningen och vägar.

### 4.2.2.1 Ekvationer

Påverkansområden för punktschakt i öppna magasinsförhållanden har beräknats genom att kombinera Darcys lag för radiell strömning med en radiell grundvattenbildning (Ekvation 4.4 och 4.5). Differentialekvationen som erhålls löses med integrering och ger Ekvation 4.6 som har använts för att räkna fram påverkansradie.

$$Q = 2\pi r K * \frac{dh}{dr} \quad \text{Ekvation (4.4)}$$

$$Q = P \pi (r_0^2 - r^2) \quad \text{Ekvation (4.5)}$$

Projektnamn	Skapat av (Leverantör)	Godkänt datum	Rev Datum
Ostlänken	Johanna Engelbrektsson, Jonas Pedersen, Alexander Hansen, Linda Jalava, Daniel Erdal	2023-04-27	-
Ärendenummer	Granskat av (Leverantör)	Sidor	Version
TRV 2019/65709	Mattias Fredin Godkänt av (Leverantör) Henrik Tham	29(91)	_.3



$$h_0^2 - h^2 = \frac{P r_0^2}{K} * \ln \frac{r_0}{r} - \frac{P}{2K}(r_0^2 - r^2) \quad \text{Ekvation (4.6)}$$

där

Q = Grundvattenflöde (m<sup>3</sup>/s)

K = Hydraulisk konduktivitet (m/s)

dh/dr = Grundvattenytans lutning (enhetslös)

P = Grundvattenbildning (m/s)

r<sub>0</sub> = Avstånd från schaktmitt vid h<sub>0</sub>, dvs avstånd från schaktmitt till opåverkad grundvattennivå(m)

r = Avstånd från schaktmitt vid h, dvs avstånd från schaktmitt till avsänkt grundvattennivå (m)

h<sub>0</sub> = Avstånd mellan opåverkad grundvattennivå och grundvattenmagasinets botten vid r<sub>0</sub> (m)

h = Avstånd mellan avsänkt grundvattennivå och grundvattenmagasinets botten vid r (m)

Eftersom beräkningsmetoderna är avsedda för stationära förhållanden innebär det att påverkansområdets utbredning kan vara överskattat jämfört med faktisk utbredning, i de fall stationära förhållanden ej hinner uppstå. Beräkningsmetoderna bedöms dock alltjämt vara användbara för att erhålla uppskattning av möjligt påverkansområde. För byggskede (temporärt) har det antagits en avsänkning till en halvmeter under schaktbottennivå, medan det i beräkningar för driftskede (permanent) antagits en avsänkning till precis schaktbottennivå.

Påverkansområden för punktschakt i slutna magasinförhållanden har beräknats genom att kombinera Darcys lag för radiell strömning (slutna förhållanden) med en radiell grundvattenbildning (Ekvation 4.7 och 4.5). Differentialekvationen som erhålls löses med integrering och ger Ekvation 4.8 som har använts för att räkna fram påverkansradie.

$$Q = 2\pi rDK * \frac{dh}{dr} \quad \text{Ekvation (4.7)}$$

$$h_0 - h(r) = \frac{P}{2 * D * K} \left[ r_0^2 * \ln \left( \frac{r_0}{r} \right) - \frac{r_0^2 - r^2}{2} \right] \quad \text{Ekvation (4.8)}$$

där

Q = Grundvattenflöde (m<sup>3</sup>/s)

D = Grundvattenmagasinets mäktighet (m)

K = Hydraulisk konduktivitet (m/s)

dh/dr = Grundvattenytans lutning (enhetslös)

P = Grundvattenbildning (m/s)

r<sub>0</sub> = Avstånd från schaktmitt vid h<sub>0</sub>, dvs avstånd från schaktmitt till opåverkad grundvattennivå(m)

r = Avstånd från schaktmitt vid h, dvs avstånd från schaktmitt till avsänkt grundvattennivå (m)

h<sub>0</sub> = Avstånd mellan opåverkad grundvattennivå och grundvattenmagasinets botten vid r<sub>0</sub> (m)

Projektnamn	Skapat av (Leverantör)	Godkänt datum	Rev Datum
Ostlänken	Johanna Engelbrektsson, Jonas Pedersen, Alexander Hansen, Linda Jalava, Daniel Erdal	2023-04-27	-
Ärendenummer	Granskat av (Leverantör)	Sidor	Version
TRV 2019/65709	Mattias Fredin Godkänt av (Leverantör) Henrik Tham	30(91)	_.3



$h$  = Avstånd mellan avsänkt grundvattennivå och grundvattenmagasinets botten vid  $r$  (m)

Eftersom beräkningsmetoderna är avsedda för stationära förhållanden innebär det att påverkansområdets utbredning kan vara överskattat jämfört med faktisk utbredning, i de fall stationära förhållanden ej hinner uppstå. Beräkningsmetoderna bedöms dock alltså vara användbara för att erhålla uppskattning av möjligt påverkansområde. För byggskede (temporärt) har det antagits en avsänkning till en halv meter under schaktbottennivå, medan det i beräkningar för driftskede (permanent) antagits en avsänkning till precis schaktbottennivå.

Påverkansområden för linjära schakt/skärningar i öppna magasinförhållanden bygger på en balans mellan grundvattentillrinning till schakt och grundvattenbildningen inom tillrinningsområdet till schakten (Fetter, 2001). Nedanstående Ekvation 4.9-4.12 ligger till grund för beräkningarna. När  $r_0$  är beräknad med Ekvation 4.11 kan sedan grundvattennivån på olika avstånd från schakten/skärningen beräknas med Ekvation 4.12.

$$Q = K * h(x) * \frac{dh}{dx} \quad \text{Ekvation (4.9)}$$

$$Q = P * (r_0 - x) \quad \text{Ekvation (4.10)}$$

$$r_0 = \sqrt{\frac{K}{P} (h_0^2 - h_{hw}^2)} \quad \text{Ekvation (4.11)}$$

$$h = \sqrt{\frac{2P}{K} * \left( r_0 * x - \frac{x^2}{2} \right) + h_w^2} \quad \text{Ekvation (4.12)}$$

där

$x$  = Avstånd från schakt till  $h(x)$  (m)

$P$  = Grundvattenbildning (m/s)

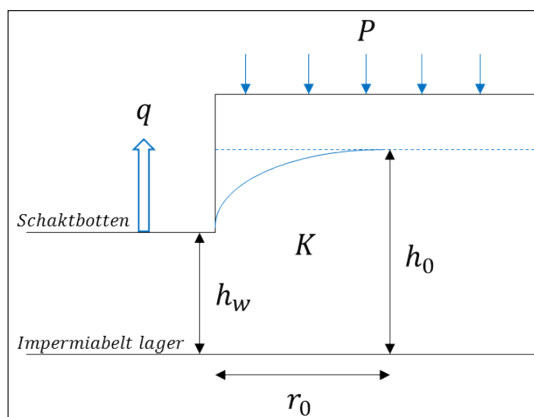
$Q$  = Grundvattenflöde (från ena sidan av den linjära schakten) (m<sup>3</sup>/(s\*m))

$h$  = Grundvattennivå ovan botten på det vattenförande lagret (m)

$K$  = Hydraulisk konduktivitet (m/s)

$r_0$  = Avstånd till den punkt där ingen grundvattenavsänkning föreligger (m)

I Figur 4-14 visas en principskiss för beräkningsmetoden.



Figur 4-14: Principskiss av beräkningsmetoden för påverkansområden för linjära schakt/skärningar i öppna magasinsförhållanden.

Påverkansområden för grundvattenbortledning med känt pumpflöde har beräknats genom en vattenbalans ekvation. Den yta som krävs för att balansera ett planerat vattenuttag givet en antagen grundvattenbildning till berg beräknades. Därefter översattes beräknat ytbehov till en cirkel för att motsvara ett cirkulärt påverkansområde.

$$Q = P * A \quad \text{Ekvation (4.13)}$$

$$A = \frac{Q}{P} \quad \text{Ekvation (4.14)}$$

$$A = \pi r^2 \quad \text{Ekvation (4.15)}$$

$$r = \sqrt{\frac{A}{\pi}} \quad \text{Ekvation (4.16)}$$

där

Q = Grundvattenflöde (m<sup>3</sup>/(s\*m))

P = Grundvattenbildning (m/s)

A = Area (m<sup>2</sup>)

r = Avstånd (radie) från uttagspunkt till opåverkad grundvattennivå (m)

#### 4.2.2.2 Generella antaganden

Följande antaganden har gjorts vid analytiska beräkningar av påverkansområden:

- Grundvattenbildning (P) är en av de ingående parametrarna vid beräkning av påverkansområden. Beräkningsmetoderna och påverkansområdets utbredning baseras på en balans mellan

Projektnamn	Skapat av (Leverantör)	Godkänt datum	Rev Datum
Ostlänken	Johanna Engelbrektsson, Jonas Pedersen, Alexander Hansen, Linda Jalava, Daniel Erdal	2023-04-27	-
Ärendenummer	Granskat av (Leverantör)	Sidor	Version
TRV 2019/65709	Mattias Fredin Henrik Tham	32(91)	_.3

grundvattenbortledning/inflöde (Q) och grundvattenbildning inom området. Förenklat innebär det att när dessa två tar ut varandra erhålls påverkansområdets utbredning. Ansatt värde avseende grundvattenbildning är således styrande av påverkansområdets utbredning

- Grundvattenbildning till morän och grovt material i området kan enligt Rodhe et al. (2006) antas variera mellan 150–225 mm/år (morän) respektive 225–300 mm/år (grov material). I utförda beräkningar för öppna magasinförhållanden har en grundvattenbildning till friktionsjord/morän ansatts till 200 mm/år. Sett till spannet i stort är siffran relativt lågt ansatt i syfte att beakta lokala avvikelser och därmed inte riskera att underskatta påverkansområdets utbredning. Sett till spannet för enbart morän är antaget värde i den högre delen av intervallet med hänsyn till att grundvattenbildningen kan förväntas öka under störda förhållanden
- Grundvattenbildningen till morän/friktionsjord genom finkorniga jordarter, såsom silt och lera, har i utförda beräkningar för slutna magasinförhållanden antagits till 50 mm/år. Värdet är relativt högt ansatt i jämförelse med litteraturvärden (infiltrationskoefficienten för lera är ca 0,11-0,16 enligt SGU, 2017 och von Brömssen, 1968 vilket ger en grundvattenbildning kring 20-30 mm/år). Värdet är valt mot bakgrund av att planerad grundvattenbortledning i områden med slutna magasinförhållanden generellt är belägna i nära anslutning till randområden med större grundvattenbildning, som därigenom kan komma magasinet till godo. Vidare kan det förväntas att grundvattenbildningen ökar vid störda förhållanden
- Grundvattenbildning till berg, liksom till jord, beror på vad plats- och tidsspecifika mark- och grundvattenförhållanden möjliggör. Sveriges geologiska undersökning har inte funnit något stöd i litteraturen för att bildning av berggrundvatten under ostörda förhållanden skulle vara större än 50 mm/år (SGU, 2017). Grundvattenbildning vid störda förhållanden har i utförda beräkningar utifrån detta konservativt antagits till 50 mm/år
- I de fall grundvattensänkning sker i både jord och berg, exempelvis där järnvägen går i skärning, antas en del av grundvattenbildningen till jord övergå till grundvattenbildning till berg. Grundvattenbildning till jord (friktionsjord) ansätts i de fallen till 150 mm/år och grundvattenbildning till berg 50 mm/år
- Hydraulisk konduktivitet (K) har ansatts utifrån utförda hydrogeologiska undersökningar/analyser i kombination med en bedömning utifrån förekommande jordart/berg. Värdet har valts konservativt i syfte att inte underskatta påverkansområdets utbredning. Hydraulisk konduktivitet är generellt i beräkningarna satt till  $1 \times 10^{-6}$  -  $1 \times 10^{-5}$  m/s för morän och friktionsjord,  $1 \times 10^{-8}$  -  $1 \times 10^{-9}$  m/s för silt och lera och  $1 \times 10^{-7}$  -  $6 \times 10^{-8}$  m/s för berg
- Grundvattennivåer är valda utifrån utförda observationer i området, alternativt konservativt bedömda utifrån mätdata från närliggande grundvattenrör och marktopografiska förutsättningar i de fall observationspunkter saknas i området. Det senare innebär att ansatta grundvattennivåer i beräkningar kan vara något högre än om undersökningar utförts, men tillvägagångssättet är valt utifrån att inte underskatta påverkansområdets utbredning
- Grundvattenmagasinens mäktighet är bedömd utifrån utförda geotekniska undersökningar i eller i anslutning till berörd anläggningsdel
- Grundvattenmagasinet i aktuell beräkningssektion/punkt har i beräkningar antagits ha oändlig utsträckning i plan, vara homogena och ha samma mäktighet



Projektnamn	Skapat av (Leverantör)	Godkänt datum	Rev Datum
Ostlänken	Johanna Engelbrektsson, Jonas Pedersen, Alexander Hansen, Linda Jalava, Daniel Erdal	2023-04-27	-
Ärendenummer	Granskat av (Leverantör)	Sidor	Version
TRV 2019/65709	Mattias Fredin Godkänt av (Leverantör) Henrik Tham	33(91)	_.3

#### 4.2.2.3 Grundläggning av brostöd

Vid grundläggning av brostöd kan det komma att erfordras tillfällig grundvattensänkning i byggskedet. Utbredning av påverkansområde i byggskedet har beräknats med Ekvation 4.4–4.8, beroende på om grundvattensänkningen huvudsakligen bedöms ske i öppna eller slutna magasinförhållanden.

Avseende brostöd har det i utförda beräkningar antagits att grundvattennivån behöver sänkas av till en nivå motsvarandes 4 meter under markytan, såvida inget annat anges i kapitel 5.5.1. I de fall en grundvattensänkning om mer än 4 meter under markytan krävs (till exempel på grund av risk för bottenuppträckning) har avsänkningens storlek anpassats.

Beräkningar har utförts för de fall en tätskärm (tätspont + jetinjektering) installeras kring schakt. Installation av tätskärm medför att inläckaget till schakt, liksom påverkansområdets utbredning, begränsas. Då tillämpad beräkningsmetod bygger på en balans mellan grundvattenbortledning och grundvattenbildning har den minskade grundvattenbortledningen (inläckaget) i utförda beräkningar representerats genom en minskning av grundvattenavsänkningens storlek till 1 m.

Schaktradien för brostöd har i samtliga utförda beräkningar schablonmässigt ansatts till 10 m.

För sammanställning av beräkningsförutsättningar, se Tabell 5-16 – Tabell 5-28.

#### 4.2.2.4 Markförstärkningsåtgärder

Vid markförstärkningsåtgärder, såsom utskiftningar, kan det komma att erfordras tillfällig grundvattensänkning i byggskedet. Utbredning av påverkansområde i byggskedet har beräknats med Ekvation 4.4–4.8 beroende på om grundvattensänkningen huvudsakligen bedöms ske i öppna eller slutna magasinförhållanden. Beräkningar har utförts i sektioner som är representativa för hela den aktuella sträckan med markförstärkningsåtgärder.

För sammanställning av beräkningsförutsättningar se Tabell 5-29.

Nedan listade markförstärkningsåtgärder bedöms inte medföra grundvattenpåverkan:

- Tryckbankar samt KC-pelare: Åtgärderna bedöms inte skapa nya kontaktvägar mellan till exempel övre/undre grundvattenmagasin och ger heller inte upphov dämningseffekter
- Vertikaldränering: Planeras inte i områden med artesiska grundvattenförhållanden och åtgärden bedöms därmed inte medföra grundvattenpåverkan
- Bankpålning och pålning (grundläggning av brostöd): Utförs med massundanträngande pålar i områden där det förekommer artesiska grundvattennivåer. Risken att pålarna skapar en kontaktväg med det undre trycksatta magasinet har bedömts som liten då leran sluter tätt, och åtgärderna bedöms därmed ej innebära någon grundvattenpåverkan

#### 4.2.2.5 VA-anläggningar

Vid anläggning av exempelvis fördröjnings- och brandvattenmagasin magasin kan det komma att krävas tillfällig grundvattensänkning i byggskedet samt eventuell permanent grundvattensänkning i driftskedet. Utbredning av påverkansområden i bygg- och driftskede har beräknats med Ekvation 4.4 - 4.8 beroende på om grundvattenavsänkningen huvudsakligen bedöms ske i öppna eller slutna grundvattenmagasin.

Beräkningar har utförts vid bedömd mittpunkt för planerade VA-anläggningar.

För sammanfattning av beräkningsförutsättningar se Tabell 5-30 och Tabell 5-31.

Projektnamn	Skapat av (Leverantör)	Godkänt datum	Rev Datum
Ostlänken	Johanna Engelbrektsson, Jonas Pedersen, Alexander Hansen, Linda Jalava, Daniel Erdal	2023-04-27	-
Ärendenummer	Granskat av (Leverantör)	Sidor	Version
TRV 2019/65709	Mattias Fredin Godkänt av (Leverantör) Henrik Tham	34(91)	_.3

#### 4.2.2.6 Processvattenbrunnar

Uttag av processvatten från bergborrade brunnar i anslutning till Gerstabergrstunnelns norra påslag bedöms komma att medföra tillfällig grundvattenpåverkan i byggskedet. Utbredning av påverkansområde under byggskede har beräknats med hjälp av Ekvation 4.13 - 4.16 för att erhålla det område som krävs för att balansera det planerade vattenuttaget (totalt 2100 l/h), givet en antagen grundvattenbildning till berg om 50 mm/år.

Utförd beräkning bedöms ge ett konservativt bedömt påverkansavstånd, då den beräknade arean inkluderar hela det område som bidrar till grundvattenbildning. Detta innebär att avståndet är beräknat ut till 0 meters avsänkning (i berg).

För sammanfattning av beräkningsförutsättningar, se Tabell 5-32.

#### 4.2.2.7 Skärningar för järnvägsanläggningen

Permanent påverkansområde för sträckor där den planerade järnvägen går i skärning under grundvattennivån har beräknats med Ekvation 4.9-4.12.

Dränerande nivå för järnvägsanläggningen har i beräkningar generellt ansatts till 2,42 m under rälsens överkant (RÖK). I de fall dräneringsledning förekommer på större djup från räls (till exempel vid dränering av bank) har dräneringsnivå anpassats med avseende på detta (markerat i Tabell 5-33).

I de fall där järnvägen går i skärning både i jord och berg har påverkansområde beräknats för avsänkning både i jord och i berg, varpå det största påverkansområdet har fått representera sektionen för ett konservativt beräkningsförfarande.

För sammanställning av beräkningsförutsättningar se Tabell 5-33.

#### 4.2.2.8 Skärningar för vägar

Permanent påverkansområde för sträckor där vägar går i skärning under grundvattenytan har beräknats med Ekvation 4.9-4.12.

Dränerande nivå för vägar har i beräkningar generellt satts till att vara 1 meter under projekterad vägyta. Grundvattenytan har beräkningar antagits vara 1 meter under markytan. Grundvattennivåobservationer i anslutning till berörda vägar är relativt begränsade, men antagandet bedöms vara konservativt.

Beräkning av påverkansområde har utförts i den sektion/punkt där vägens dränerande nivå är som djupast under bedömd grundvattenyta. I Tabell 5-34 anges beräkningpunkts läge som en koordinat tillsammans med vägens ungefärliga läge i förhållande till järnvägens längdmätning.

För sammanställning av beräkningsförutsättningar se Tabell 5-34.

#### 4.2.2.9 Överslagsberäkningar vid jord-bergschakt

Analytiska överslagsberäkningar av påverkansområden från djupa jord-bergschakt har utförts för motsvarande lägen som de numeriska modellsektionerna redovisade i kapitel 4.1.3 och 4.1.4.

För södra påslaget till Gerstabergrstunneln har det därutöver utförts en överslagsberäkning i km 3+850 i syfte att bedöma grundvattenpåverkan i samband med markförstärkningsåtgärder för betongtunneln i ett område där lokalt mäktigare jorddjup noterats i samband med geotekniska undersökningar.

Överslagsberäkningarna har utförts med ekvationerna 4.4 - 4.8 beroende på om grundvattensänkningen huvudsakligen bedöms ske i öppna eller i slutna magasinsförhållanden.

För sammanställning av beräkningsförutsättningar, se Tabell 5-8 respektive Tabell 5-10.

Projektnamn	Skapat av (Leverantör)	Godkänt datum	Rev Datum
Ostlänken	Johanna Engelbrektsson, Jonas Pedersen, Alexander Hansen, Linda Jalava, Daniel Erdal	2023-04-27	-
Ärendenummer	Granskat av (Leverantör)	Sidor	Version
TRV 2019/65709	Mattias Fredin Godkänt av (Leverantör) Henrik Tham	35(91)	_.3

### 4.3 Vattenbalansberäkningar

Vattenbalansberäkningar har utförts inom påverkansområden för de planerade bergtunnlarna Gerstabergrstunneln respektive Edebyttunnlarna. Därtill har en lokal vattenbalansberäkning upprättats för en kortare sträckning av E4 inom Gerstabergrstunnelns påverkansområde.

Vattenbalansberäkningar utgår generellt från vattenbalanskvationen (se Ekvation 4.17), som beskriver avrinningen i ett hydrogeologiskt system som skillnaden mellan inkommande och utgående vatten och eventuella lagringsändringar under en specifik tidsperiod.

$$R = P - ET - \Delta S \quad \text{Ekvation (4.17)}$$

där

R = Avrinning

P = Nederbörd

ET = Avdunstning

$\Delta S$  = Magasinsförändring

Med utgångspunkten att endast en väldigt liten del av nederbörden i Sverige bildar avrinning på markytan (endast vid intensiva regn) så är grundvattenbildningen i det långa loppet lika med nederbörden minus avdunstningen.

Vattenbalansberäkningar ger ledning i bedömningar av den omgivningspåverkan som en grundvattenbortledning för med sig. Beroende på syftet med en vattenbalans finns flera olika sätt att utföra beräkningen på.

För att underlätta utförda vattenbalansberäkningar har de utförts för vattenomsättningar under ett genomsnittligt år baserat på historiska data. Det har eftersträvat att jämföra mängden grundvatten som är tillgängligt för inläckage till bergtunnel med beräknad grundvattenbortledning via planerade bergtunnlar. Det grundvatten som är tillgängligt för inläckage utgörs av den grundvattenbildning som sker till jordar som står i fysisk kontakt med underliggande berg, och som alltså skulle kunna komma berget till godo förutsatt att förutsättningar för detta finns eller skapas.

Vattenbalansen inom ett specifikt hydrogeologiskt system kan variera såväl under ett enskilt år som mellan olika år. Genom anläggandet av bergtunnlar ökar i regel grundvattenbildningen till berg på bekostnad av den ytliga avrinningen. På motsvarande vis kan exempelvis även läckaget av grundvatten genom tätare jordlager komma att öka vid en avsänkt nivå i undre magasin.

Yttre faktorer som kan påverka vattenbalansen inom ett hydrogeologiskt system är exempelvis förekomst av dagvattensystem, dräneringssystem för skogs- eller jordbruksmark, uttag av yt- och grundvatten, förekomst av dränerande berganläggningar, infiltrationsanläggningar och förekomst av positiva hydrauliska ränder, såsom sjöar eller större grundvattenmagasin.

Utförda vattenbalanser för bergtunnlar syftar till att utgöra underlag för bedömning av förhållanden mellan påverkansområde och inläckage, samt utgöra underlag för bedömningar av tunnlnarnas påverkan gentemot förekommande riskexponerade objekt.

#### 4.3.1 Antaganden

Följande antaganden ligger till grund för utförda vattenbalansberäkningar:

Projektnamn	Skapat av (Leverantör)	Godkänt datum	Rev Datum
Ostlänken	Johanna Engelbrektsson, Jonas Pedersen, Alexander Hansen, Linda Jalava, Daniel Erdal	2023-04-27	-
Ärendenummer	Granskat av (Leverantör)	Sidor	Version
TRV 2019/65709	Mattias Fredin Godkänt av (Leverantör) Henrik Tham	36(91)	_.3

- Magasinens kapacitet att lagra vatten utgör ingen begränsning för grundvattenbildningen. Med andra ord förutsätts det att det finns förutsättningar för den grundvattenbildning till olika typjordar som anges i tillämpad referenslitteratur
- Nederbörd som faller i områden med berg i dagen (enligt SGU:s jordartskarta) har i beräkningarna antagits avrinna ytligt mot omgivande jordar med högre genomsläpplighet, till exempel morän, varför grundvattenbildning till berg antas vara samma som grundvattenbildning till morän (se även under rubrik 4.3.2)
- Grundvatten som flödar in eller ut från kringliggande områden (det vill säga magasinförändringen) ansätts till noll då det ofta handlar om väldigt låga flöden och då in- och utflöde till viss del tar ut varandra
- Ingen hänsyn har tagits till eventuellt pågående grundvattenbortledning utöver planerade tunnlar beräknade inläckage. Det förekommer enstaka enskilda brunnar inom upprättade vattenbalansområden, men dessa uttag bedöms vara ringa och försumbara i sammanhanget. Ytlig markdränering bedöms också förekomma, men denna bortledning bedöms vara ringa och inga försök att kvantifiera den har gjorts

#### 4.3.2 Metodik

Upprättade vattenbalansområden för Gerstabergrstunneln respektive Edebytunnlarna motsvarar i stort bergtunnlarnas påverkansområden. För Edebytunneln utgår beräkningarna från ett gemensamt vattenbalansområde, trots att området egentligen omfattar två kortare tunnlar och en mellanliggande skärning. Ingen vidare indelning av tunnlaras vattenbalansområden har gjorts utifrån exempelvis lokala vattendelare mot bakgrund av att tunnlarne är relativt korta och att det då inte kan förutsättas att tunnlaras grundvattenpåverkan förhåller sig till förekommande vattendelare.

Vattenbalansområdet för E4 inom Gerstabergrstunnelns påverkansområde utgörs av avrinningsområdet till berört vägparki. Området har avgränsats topografiskt genom analys i ArcHydro. Därefter har justeringar gjorts med hänsyn till grundvattnets bedömda strömningsvägar, som på vissa håll skiljer sig från ytvattnets till följd av påverkan från vägdiken och dräneringsdiken i skogs- och jordbruksmark.

Inom respektive upprättat vattenbalansområde har en GIS-analys av grundvattenbildning utförts, vilken i stora drag baseras på SGU:s jordartskarta i kombination med antaganden om grundvattenbildning till typjordar, huvudsakligen enligt Rodhe et al. (2006). De totala arealerna av respektive ytjordart inom varje enskilt upprättat vattenbalansområde togs fram med hjälp av ArcGIS. Storleken på grundvattenbildningen för respektive jordart antogs utifrån Rodhe et al. (2006). Slutligen beräknades grundvattenbildningen inom respektive vattenbalansområde genom att multiplicera ansatt grundvattenbildning för olika ytjordarter med totala arealer för motsvarande jordarter.

Antagen grundvattenbildning till respektive ytjordartshuvudgrupp redovisas i Tabell 4-8 och har valts utifrån följande källor/antaganden:

- Morän: Grundvattenbildning till morän och grovt material i området kan enligt Rodhe et al. (2006) antas variera mellan 150–225 mm/år (morän). I utförda beräkningar för öppna magasinförhållanden har en grundvattenbildning till morän ansatts till 200 mm/år. Sett till angivet spann är antaget värde i den högre delen av intervallet med hänsyn till att grundvattenbildningen kan förväntas öka under störda förhållanden
- Berg: Potentiell grundvattenbildning från områden med berg i dagen antagits till samma värde som för morän, vilken är i samma storleksordning som potentiell grundvattenbildning för kalt berg (Rodhe et al. (2006))
- Lera: Grundvattenbildningen till undre magasin genom lera har i utförda beräkningar antagits till 50 mm/år. Värdet är relativt högt ansatt i jämförelse med litteraturvärden (infiltrationskoefficienten för lera är ca 0,11-0,16 enligt SGU, 2017 och von Brömssen, 1968 vilket ger en grundvattenbildning kring 20-30

Projektnamn	Skapat av (Leverantör)	Godkänt datum	Rev Datum
Ostlänken	Johanna Engelbrektsson, Jonas Pedersen, Alexander Hansen, Linda Jalava, Daniel Erdal	2023-04-27	-
Ärendenummer	Granskat av (Leverantör)	Sidor	Version
TRV 2019/65709	Mattias Fredin Godkänt av (Leverantör) Henrik Tham	37(91)	_.3

mm/år). Värdet är valt mot bakgrund av att planerad grundvattenbortledning i områden med slutna magasinförhållanden generellt är belägna i nära anslutning till randområden med större grundvattenbildning, som därigenom kan komma magasinet till godo. Vidare kan det förväntas att grundvattenbildningen ökar vid störda förhållanden

- Organisk jord (torv): Enligt Rodhe et al. (2006)
- Sand: Enligt Rodhe et al. (2006) (grov jord)

Tabell 4-8. Ansatta värden för grundvattenbildning till olika jordarter kopplat till respektive vattenbalansområde.

Vattenbalansområde	Grundvattenbildning (mm/år)				
	Morän	Berg	Lera	Organisk jord (torv)	Sand
Gerstabergrstunneln	200	200	50	0	300
E4	200	200	50	0	300
Edebyttunnlarna	200	200	50	0	300

Inom upprättade vattenbalansområden har förhållandet mellan bortlett vatten och grundvattenbildning beräknats. För bergtunnlarna har jämförelserna gjorts mellan analytiskt beräknade inläckage och beräknad grundvattenbildning inom vattenbalansområdena.

Endast inläckage till bergtunnlar har studerats i utförda vattenbalansberäkningarna. Eventuell dränering via förekommande skärningar inom upprättade vattenbalansområden ingår således inte i analysen.

### 4.3.3 Vattenbalansområden och beräknad grundvattenbildning

#### 4.3.3.1 Gerstabergrstunneln

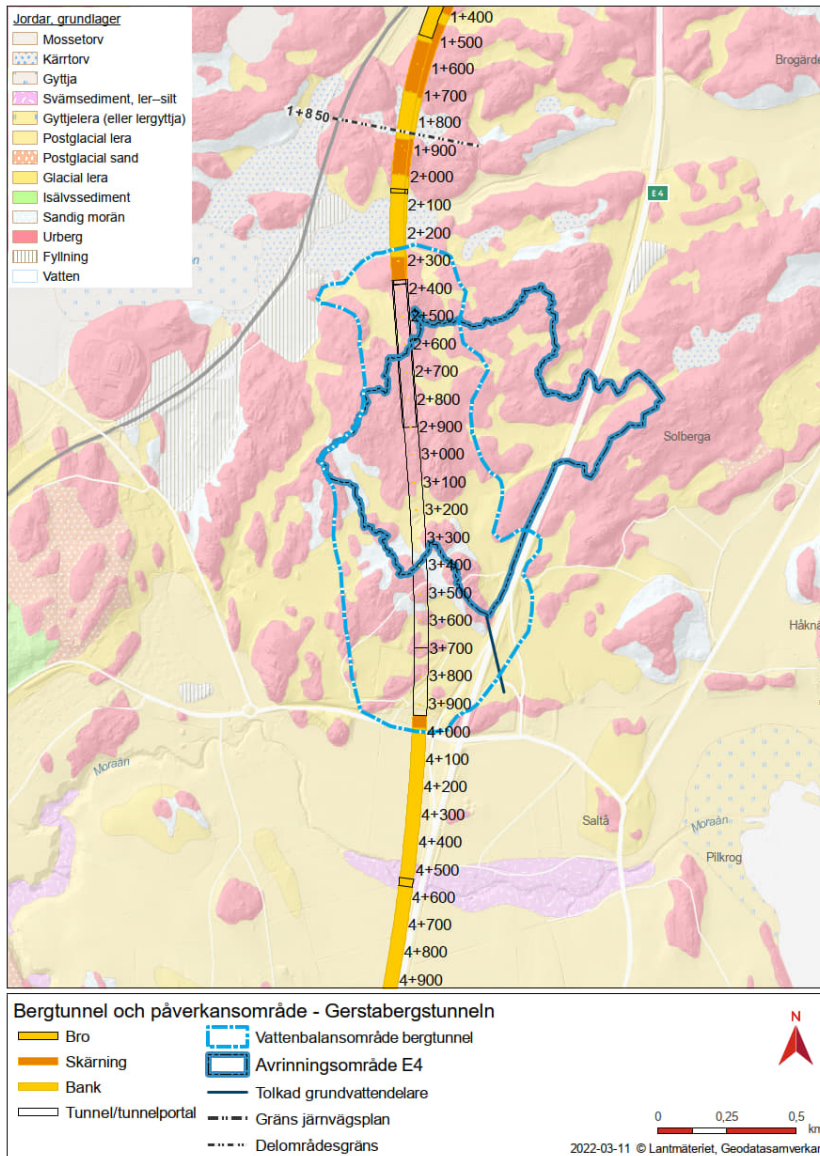
Vattenbalansområdet för Gerstabergrstunneln är drygt 0,89 km<sup>2</sup> stort och utgörs huvudsakligen av obebyggd skogsmark och en mindre andel jordbruksmark. Geologiskt dominerar berg i dagen eller berg som täcks med enbart tunna moränjordlager. Längs dalstråk förekommer lera.

Grundvattenbildningen till Gerstabergrstunnelns vattenbalansområde har beräknats enligt metodik beskriven i kapitel 4.3.2.

Inom vattenbalansområdet finns följande planerade anläggningar med grundvattenbortledning:

- Gerstabergrstunneln (inklusive servicetunnel), km 2+384 – 3+697

Geografisk utbredning av vattenbalansområdet redovisas i Figur 4-15.



Figur 4-15. Vattenbalansområde för Gerstabergrstunneln, samt vattenbalansområde (avrinningsområde) för ett parti av E4 (ca km 3+300 – 3+500).

Detaljerad grundvattenbildning och motsvarande grundvattenflöde (årsmedelvärde) för Gerstabergrstunnelns vattenbalansområde redovisas i Tabell 4-9.

Tabell 4-9. Förekommande jordarter med uppskattade arealer, antagen grundvattenbildning och beräknat grundvattenflöde inom vattenbalansområde för Gerstabergrstunneln.

Jordart	Areal (m <sup>2</sup> )	Grundvattenbildning (mm/år)	Grundvattenflöde (m <sup>3</sup> /år)	Grundvattenflöde (l/min)
Berg	442 461	200	88 492	168
Lera	381 105	50	19 055	36
Organisk jord	4015	0	0	0
Sand	0	300	0	0
Morän	66 520	200	13 304	25
<b>Summa</b>				<b>230</b>

#### 4.3.3.2 E4

Vattenbalansområdet för studerat vägparti av E4 (i höjd med km 3+300 till 3+500) är relativt omfattande och sträcker sig delvis utanför tunnelns påverkansområde. Området är ca 0,6 km<sup>2</sup> stort och utgörs främst av obebyggd skogsmark och en mindre andel jordbruksmark. Geologiskt dominerar berg i dagen eller berg som täcks med enbart tunna moränjordlager. Längs dalstråk förekommer lera.

Grundvattenbildningen till E4:s vattenbalansområde har beräknats enligt metodik beskriven i kapitel 4.3.2.

Inom vattenbalansområdet finns följande planerade anläggningar/delsträckor med grundvattenbortledning:

- Gerstabergrstunneln, km 2+634 – 3+394

Geografisk utbredning av vattenbalansområdet redovisas tillsammans med Gerstabergrstunnelns vattenbalansområde i Figur 4-15.

Detaljerad grundvattenbildning och motsvarande grundvattenflöde (årsmedelvärde) för E4:s vattenbalansområde redovisas i Tabell 4-10.

Tabell 4-10. Förekommande jordarter med uppskattade arealer, antagen grundvattenbildning och beräknat grundvattenflöde inom vattenbalansområde för E4.

Jordart	Areal (m <sup>2</sup> )	Grundvattenbildning (mm/år)	Grundvattenflöde (m <sup>3</sup> /år)	Grundvattenflöde (l/min)
Berg	346 061	200	69 212	132
Lera	172 577	50	8 629	16
Organisk jord	0	0	0	0
Sand	0	300	0	0
Morän	27 429	200	5 486	10
<b>Summa</b>				<b>160</b>

#### 4.3.3.3 Edebytunnlarna

Vattenbalansområdet för Edebytunnlarna är drygt 0,32 km<sup>2</sup> stort. Området utgörs, med undantag för E4, av obebyggd skogsmark. Geologiskt dominerar berg i dagen eller berg som täcks med enbart tunna moränjordlager. I perifera delar av vattenbalansområdena förekommer lerjord.

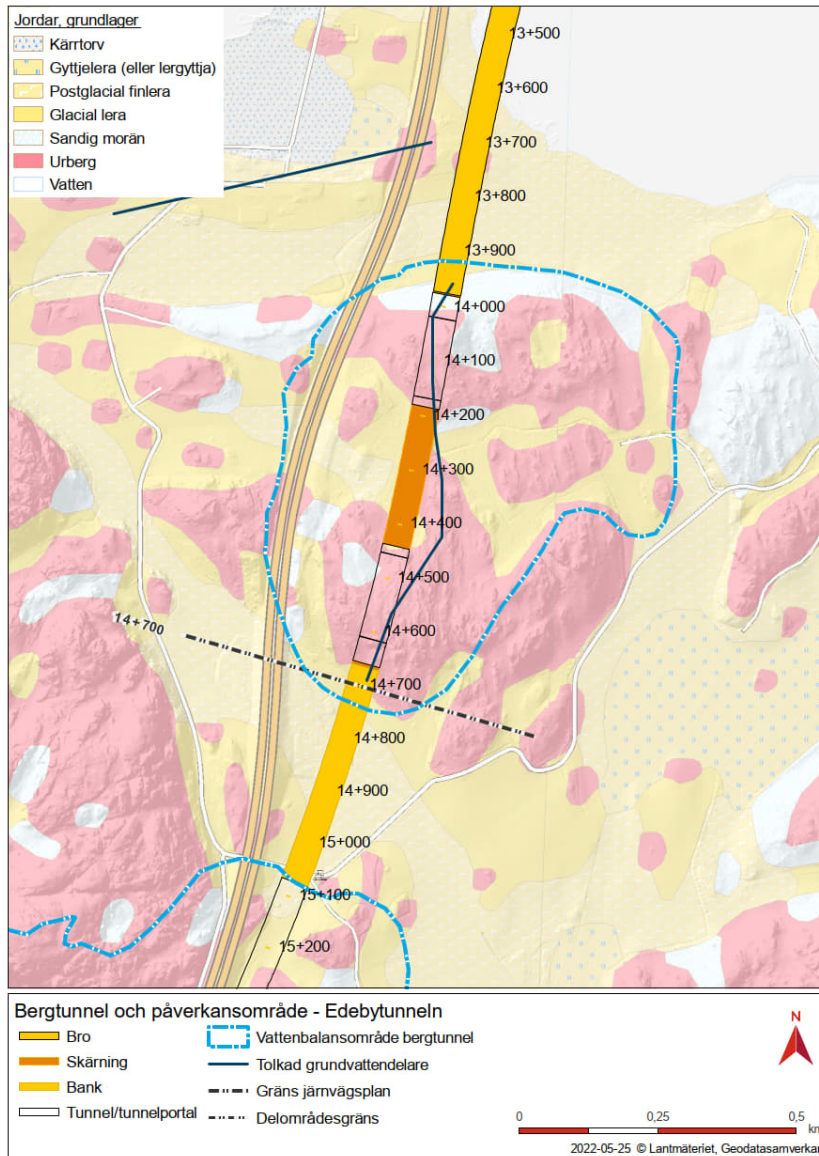
Grundvattenbildningen till Edebytunnlarnas vattenbalansområde har beräknats enligt metodik beskriven i kapitel 4.3.2.

Inom vattenbalansområdet finns följande planerade anläggningar med grundvattenbortledning:

- Norra Edebytunneln, km 14+021 – 14+167
- Södra Edebytunneln, km 14+456 – 14+613

Geografisk utbredning av vattenbalansområdet redovisas i Figur 4-16.





Figur 4-16. Vattenbalansområde för Edebytunneln.

Detaljerad grundvattenbildning och motsvarande grundvattenflöde (årsmedelvärde) för Edebytunnelnarnas vattenbalansområde redovisas i Tabell 4-11.

*Tabell 4-11. Förekommande jordarter med uppskattade arealer, antagen grundvattenbildning och beräknat grundvattenflöde inom vattenbalansområde för Edebyttunnlarna.*

<b>Jordart</b>	<b>Areal (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Grundvattenbildning (mm/år)</b>	<b>Grundvattenflöde (m<sup>3</sup>/år)</b>	<b>Grundvattenflöde (l/min)</b>
Berg	216 942	200	43 388	83
Lera	147 286	50	7 364	14
Organisk jord	0	0	0	0
Sand	0	300	0	0
Morän	52 169	200	10 434	20
<b>Summa</b>				<b>120</b>

## 5 Resultat

### 5.1 Gerstabergrstunneln (VV-ID G2-006)

#### 5.1.1 Påverkansområde

##### Numeriska beräkningar

Resultat från beräkningar av påverkansavstånd för valda tunnelsektioner inklusive känslighetsanalys redovisas i Tabell 5-1.

Tabell 5-1. Beräknat påverkansavstånd för bergtunnelsektioner längs med Gerstabergrstunneln (otätat utförande). Påverkansavstånd visas för 9 olika kombinationer av grundvattenbildning (150, 50 och 10 mm/år) och konduktivitetvärden per sektion. Resultatet redovisas som avstånd från närmsta tunneln (huvud- eller servicetunneln) mot öst respektive väst. Bergets effektiva hydrauliska konduktivitet inom berörd delsträcka är fetmarkerad i kursivstil.

2+675		Mot väst			Mot öst		
		Grundvattenbildning (mm/år)			Grundvattenbildning (mm/år)		
		150	50	10	162	50	10
K-berg (m/s)	<i>7,8 × 10<sup>-9</sup></i>	20	50	510	20	60	210
	1,0 × 10 <sup>-8</sup>	20	60	510	20	70	240
	1,0 × 10 <sup>-7</sup>	300	520	890	190	280	1 090
3+500		Mot väst			Mot öst		
		Grundvattenbildning (mm/år)			Grundvattenbildning (mm/år)		
		150	50	10	150	50	10
K-berg (m/s)	1,0 × 10 <sup>-8</sup>	40	110	330	30	80	260
	<i>7,1 × 10<sup>-8</sup></i>	210	410	1 380	150	320	1 360
	1,0 × 10 <sup>-7</sup>	260	500	1 390	200	390	1 420

##### Analytiska beräkningar

I Tabell 5-2 redogörs för antagna beräkningsförutsättningar samt beräknade påverkansavstånd för Gerstabergrstunneln.

Tabell 5-2. Sammanställning av antagna beräkningsförutsättningar och beräknat påverkansavstånd för huvudspår-tunneln Gerstabergrstunneln. Påverkansavståndet är angivet som meter från tunnelmitt vid en viss längdsektion.

Tunnel	Sektion (km)	Mark-nivå (RH2000)	RÖK (RH2000)	Antagen grundvatten-nivå (RH2000)	Tunneldjup under grundvattenytan (m)	Påverkans-avstånd (m)
Gerstabergrstunneln	2+400	53,5	32,7	50,0	19,3	100
	2+500	55,2	30,2	50,0	21,8	110
	2+600	49,3	27,7	49,3	22,5	120
	2+700	47,5	25,2	47,5	23,3	120
	2+800	52,1	22,7	52,1	30,3	160
	2+900	50,8	20,2	50,8	31,6	160
	3+000	46,2	17,9	46,2	29,3	150
	3+100	39,1	15,9	39,1	24,2	130
	3+200	35,1	14,2	35,1	21,9	110
	3+300	38,6	12,8	38,6	26,8	140
	3+400	43,0	11,7	40,0	30,3	150
	3+500	43,7	11,0	40,0	31,0	160
	3+600	33,2	10,6	33,2	23,6	120

### 5.1.2 Inläckage

#### Numeriska beräkningar

Resultat från beräkningar av inläckage i modellerade tunnelsektioner (otätat utförande) inklusive känslighetsanalys, redovisas i Tabell 5-3. De beräknade inläckagen redovisar årsmedelvärden under stationära förhållanden.

Tabell 5-3. Beräknade inläckage för bergtunnelsektioner längs med Gerstabergrstunneln (otätat utförande). Inläckaget anges som l/min\*100 m tunnel. Inläckagen visas för 9 olika kombinationer av grundvattenbildning och konduktivitetvärden per sektion. Bergets effektiva hydrauliska konduktivitet inom berörd delsträcka är fetmarkerad i kursivstil.

2+675		Grundvattenbildning (mm/år)		
		150	50	10
K-berg (m/s)	<i>7,8 × 10<sup>-9</sup></i>	3	2	1
	1,0 × 10 <sup>-8</sup>	4	3	1
	1,0 × 10 <sup>-7</sup>	15	8	2
3+500		Grundvattenbildning (mm/år)		
		150	50	10
K-berg (m/s)	1,0 × 10 <sup>-8</sup>	5	3	1
	<i>7,1 × 10<sup>-8</sup></i>	14	9	3
	1,0 × 10 <sup>-7</sup>	17	10	3

#### Analytiska beräkningar

Resultat från utförda beräkningar av inläckage (årsmedelvärden) till Gerstabergrstunneln redovisas i Tabell 5-4.

Tabell 5-4. Beräknade typ-, zon och totalt inläckage (summan av typ- och zoninläckage) för delsträckor längs Gerstabergrstunneln, samt totalt inläckage för hela tunneln.

Start - slut km	Sträcka (m)	Typinläckage (l/min*100 m)	Inläckage zon		Totalt inläckage	
			Zon-ID	(l/min)	Delsträcka (l/min)	Hela tunneln (l/min)
2+384 – 2+500	116	15	-	-	18	118
2+500 – 3+170	670	2	11	1,4	17	
3+170 – 3+400	230	8	17	4,3	22	
3+400 – 3+697	297	18	25	7,6	62	

### 5.1.3 Vattenbalans

Resultat från utförd vattenbalansberäkning för Gerstabergrstunnelns vattenbalansområde redovisas i Tabell 5-5.

*Tabell 5-5. Resultat från utförd vattenbalansberäkning för Gerstabergrstunneln, otätat utförande. Antaget inläckage motsvarar analytiskt beräknat inläckage (summan av typ- och zoninläckage).*

Grundvattenbildning inom vattenbalansområde (l/min)	230
Totalt inläckage, otätat utförande (l/min)	118
<b>Inläckagets andel av grundvattenbildningen, otätad tunnel</b>	51 %

Resultat från utförda vattenbalansberäkningar för E4 redovisas i Tabell 5-6.

*Tabell 5-6. Resultat från utförd vattenbalansberäkning för E4. Antaget inläckage motsvarar analytiskt beräknat inläckage (summan av typ- och zoninläckage) till Gerstabergrstunneln mellan km 2+634 och 3+394.*

Grundvattenbildning inom vattenbalansområde (l/min)	160
Totalt inläckage, otätat utförande (l/min)	35
<b>Inläckagets andel av grundvattenbildningen, otätad tunnel</b>	22 %

### 5.1.4 Samlad bedömning

#### Påverkansområde

Påverkansområdet för Gerstabergrstunneln har beräknats numeriskt såväl som analytiskt.

Numeriska modeller har upprättats i två sektioner längs Gerstabergrstunneln, och resultaten representerar således främst förhållandena närmst dessa. Utförd känslighetsanalys för den numeriska modelleringen visar på stora skillnader i påverkansområdets utbredning vid olika val av indata till modelleringen. Beroende på hur den hydrauliska konduktiviteten och grundvattenbildningen till berg ansätts skiljer sig modellresultaten åt med upp emot en kilometer.

För de fall de platsspecifika hydrogeologiska förutsättningarna bedömts motsvara förutsättningarna i uppsatta numeriska modeller väl, har beräkningsresultat som baseras på sträckans effektiva hydrauliska konduktivitet (baserat på utförda vattenförlustmätningar samt brunnsanalys) i kombination med en grundvattenbildning till berg

Projektnamn	Skapat av (Leverantör)	Godkänt datum	Rev Datum
Ostlänken	Johanna Engelbrektsson, Jonas Pedersen, Alexander Hansen, Linda Jalava, Daniel Erdal	2023-04-27	-
Ärendenummer	Granskat av (Leverantör)	Sidor	Version
TRV 2019/65709	Mattias Fredin Henrik Tham	47(91)	_.3

om 50 mm/år tillämpats som utgångsvärde vid bedömning av påverkansområdets utbredning. Under förutsättning att grundvattenbildningen till berg (vattenomsättningen) mest troligt kommer att öka vid anläggandet av en dränerande bergtunnel bedöms 50 mm/år vara ett relativt konservativt antagande för grundvattenbildning till normalberg. I anslutning till svaghetszoner med vattenförande spricksystem kan dock grundvattenbildningen vara betydligt större.

De numeriska beräkningarna, antaget bergets effektiva hydrauliska konduktivitet inom delsträckan längs planerad tunnel och en genomsnittlig grundvattenbildning till berg om 50 mm/år, ger över lag påverkansområden i jämförbar storleksordning som de analytiska beräkningarna.

Resultat från utförda beräkningar och känslighetsanalyser har använts som stöd i bedömning av påverkansområdets utbredning i kombination med konceptuella tolkningar (avseende bland annat topografi, jordlagerföljd, förmodade svaghetszoner och förekomst av större grundvattenmagasin) och erfarenhetsmässiga rimlighetsbedömningar. Påverkansområdet yttre gräns har också anpassats med hänsyn till förekommande riskexponerade objekt, för att i gränsfall snarare inkludera än exkludera sådana.

Det norra tunnelpåslaget ligger högt relativt terrängen i våtmarksområdet i norr, vilket bedöms begränsa påverkansområdet mot norr. För den norra delen av tunneln fram till cirka km 3+000 bedöms antaganden i upprättad modellsektion i km 2+675 motsvara de hydrogeologiska förutsättningarna relativt väl. I avgränsningen av påverkansområdet inom denna del har dock extra marginaler lagts på för att ta höjd för en högre genomsläpplighet. Fram till km 2+500 saknas uppgifter om bergets genomsläpplighet från undersökningar i fält, varför avgränsningen utgår från ett mer konservativt värde från utförd brunnsanalys.

I höjd med km 3+200 finns ett korsande, lerfyllt dalstråk som sträcker sig i öst-västlig riktning längs en verifierad svaghetszon (#17) i berget. Utförd vattenförlustmätning i området har inte visat på att zonen skulle vara starkt vattenförande. De numeriska modellsektionerna som upprättats bedöms inte representera förhållandena i området, varför avgränsningen av påverkansområdet primärt gjorts genom en konceptuell tolkning samt med hänsyn till utförda vattenbalanser. Då svaghetszonen sträcker sig ner mot E4 i sydost har påverkansområdet utökats i denna riktning.

I anslutning till bergtunnelns södra delar (km 3+300 till km 3+700) finns en verifierat vattenförande svaghetszon i berg (#25) samt ett flertal potentiella svaghetszoner i berg. Risk finns att grundvatten i berg står i hydraulisk kontakt med grundvatten i jord närmst söder om tunneln. Tillrinningsområdena för dessa magasin är relativt små, och risk finns således för stor lokal grundvattenpåverkan. Vidare kan grundvattenbortledning/dränering via Gerstabergrstunneln södra förskärning samt tillfällig grundvattensänkning vid grundläggning av brostöd för GC-väg över väg 57 förväntas ge upphov till kumulativa effekter. Påverkansområdet har utökats i riktning mot E4 i öst för att ta höjd för dessa osäkerheter som utförda beräkningar inte återger.

Påverkansområdets avgränsning mot söder styrs primärt av temporär påverkan från grundläggningen av brostöd för GC-väg över väg 57. Själva tunnelns/förskärningens dränerande nivå ligger högre än grundvattennivån i det omfattande Järnaslättnens undre grundvattenmagasin, och bedöms således enbart påverka tillrinningen till Järnaslätten marginellt.

Kartor med avgränsning av slutgiltigt bedömda påverkansområden, med hänsyn till övrig grundvattenpåverkan i form av processvattenuttag (se kapitel 5.5.4), dränering via södra förskärningen (5.2) och grundvattensänkning vid grundläggning av brostöd (5.5.1) redovisas i Bilaga D.2.1. Genom att genomgående i beräkningsarbetet och bedömningar utgå från konservativa förhållningssätt är den samlade bedömningen att det påverkansområde som redovisas i bilagan är generöst avgränsat för att inte underskatta påverkan.

### *Inläckage*

Inläckage till Gerstabergrstunneln har beräknats numeriskt såväl som analytiskt.

Resultat från utförda analytiska beräkningar visar att det högsta specifika inläckaget, tillika en övervägande del av det totala inläckaget kan förväntas ske från Gerstabergrstunnelns södra delar (km 3+400 till 3+697). Detta beror

Projektnamn	Skapat av (Leverantör)	Godkänt datum	Rev Datum
Ostlänken	Johanna Engelbrektsson, Jonas Pedersen, Alexander Hansen, Linda Jalava, Daniel Erdal	2023-04-27	-
Ärendenummer	Granskat av (Leverantör)	Sidor	Version
TRV 2019/65709	Mattias Fredin Godkänt av (Leverantör) Henrik Tham	48(91)	_.3

främst på att berget bedömts vara mer genomsläppligt i dessa delar i jämförelse med i nordligare delar av tunneln. Nästan lika stora specifika inläckage erhålls inom den nordligaste delsträckan längs tunneln (km 2+384 till 2+500), där värden avseende bergets vattenförande egenskaper ansatts konservativt utifrån brunnsanalys eftersom representativa vattenförlustmätningar saknas.

I utförda analytiska inläckageberäkningar har det antagits att grundvattennivån motsvarar marknivå (som ett typvärde inom respektive delsträcka längs planerade bergtunnlar). Utförda grundvattennivåmätningar i berg i anslutning till norra delarna av tunneln (OLP4K005) visar dock att grundvattennivån i berg under större delen av året är belägen på ett djup om mer än 7 meter under markytan. Detta skulle kunna innebära att beräknade inläckage i dessa delar är överskattade, eftersom vattentrycket ovan tunneln är den faktor näst efter hydraulisk konduktivitet som har störst påverkan på det beräknade inläckagets storlek (se kapitel 6.1.2).

En mindre andel av det totala beräknade inläckaget utgörs av zoninläckage. En vattenförande zon i de sydligaste delarna av tunneln (#25) svarar enligt utförda beräkningar för majoriteten av tunnelns beräknade zoninläckage.

Analytiskt beräknade inläckage utgör förväntade typvärden för respektive delsträcka längs tunneln. Inläckagen kommer således kunna vara både mindre och större än beräknat, och stora spatiala variationer kan förväntas även inom de olika delsträckorna. Icke verifierade vattenförande zoner kommer också att bidra med inläckage, men detta bedöms inrymmas i det totala inläckaget (se vidare kapitel 6.1.2.2).

Som ett komplement till de analytiska beräkningarna har numeriska modeller upprättats i två sektioner längs tunneln. Resultaten från dessa representerar främst förhållandena närmst dessa. Utförd känslighetsanalys för de numeriska beräkningarna visar att modellresultatet varierar mellan 1 och 17 l/min och 100 meter tunnel beroende på hur den hydrauliska konduktiviteten och grundvattenbildningen till berg ansätts. De numeriska beräkningarna, antaget bergets effektiva hydrauliska konduktivitet inom berörd delsträcka längs planerad tunnel och en genomsnittlig grundvattenbildning till berg om 50 mm/år, ger inläckage ungefär i samma storleksordning som de analytiska beräkningarna. Inläckaget är dock tydligt lägre i modellsektion km 3+500.

De numeriska beräkningarna tar, till skillnad från de analytiska, hänsyn till tillgången på vatten. Då vattentillgången är begränsad skapas en grundvattennivåsänkning runt tunneln i modellerna. De numeriskt beräknade inläckagen representerar därmed troligtvis ett uthålligt inläckage under stationära förhållanden på ett bättre sätt än de analytiska, som förutsätter att grundvattennivån ovan tunneln förblir marknära. Genom att de numeriska beräkningarna enbart är utförda för enstaka sektioner har dock resultaten inte kunnat tillämpas som ett heltäckande underlag för bedömning av inläckage till Gerstabergrstunneln. De kan däremot ses som en indikation på att de uthålliga inläckagen i områden där vattentillgången är begränsad kan vara mindre än vad de analytiska beräkningarna visar.

### *Vattenbalanser*

Inom Gerstabergrstunnelns vattenbalansområde uppgår den beräknade grundvattenbildningen till drygt 230 l/min, medan beräknat inläckage till otätad tunnel uppgår till drygt 118 l/min, vilket ger att planerad bergtunnel (otätad utförande) leder bort drygt hälften av den grundvattenbildning som bedöms vara tillgänglig för inläckage till bergtunneln inom vattenbalansområdet. Den andra hälften bedöms således även efter anläggandet av Gerstabergrstunneln avrinna som grundvatten. Vattenbalansen tyder på att vattentillgången i sig inte är begränsande för inläckaget på tunnelövergripande nivå.

Inom upprättat lokalt vattenbalansområde för E4 uppgår den beräknade grundvattenbildningen till drygt 160 l/min. Beräknat inläckage till den del av tunneln som korsar de övre delarna av avrinningsområdet västra förgrening (se Figur 4-15) uppgår till drygt 35 l/min. En jämförelse ger att drygt 22 % av beräknad grundvattenbildning kan komma att ledas bort, medan resterande del av tillgänglig grundvattenbildning inom avrinningsområdet fortsätter att avrinna som grundvatten förbi E4. Att avrinningsområdet är stort och stora delar av det förblir opåverkade medför att risken för större grundvattenpåverkan vid berörd del av E4 är liten.



## 5.2 Södra påslaget till Gerstabergrstunneln (VV-ID G3-001)

### 5.2.1 Påverkansområde

#### Numeriska beräkningar

Resultat från beräkningar av påverkansavstånd för valda sektioner längs schakt för Gerstabergrstunnelns södra påslag redovisas i Tabell 5-7.

Spontutförande V1 motsvarar den lösning som påverkansområdet i Bilaga D.2.1 baseras på. Spontutförande V2 och V3 redovisar utbredning av påverkansavstånd vid olika spont- och tätning utförande kring schakten enligt kapitel 4.1.1.1. Minskad påverkan syns ej i påverkansavståndets utbredning, utan ligger i att avsänkning vid en vald punkt minskar.

*Tabell 5-7. Beräknat påverkansavstånd i studerade sektioner (redovisat som meter från järnvägslinjen). Spontutföranden V1-V3 beskrivs i kapitel 4.1.1.1.*

Område	Sektion	Spont- utförande	Påverkans- avstånd mot öst (m)	Påverkans- avstånd mot väst (m)
Södra påslaget för Gerstabergrstunneln	3+700	V1	180	200
		V2	180	200
		V3	180	200
	3+740	V1	190	180
		V2	190	180
		V3	190	180
	3+900	V1	190	150
		V2	190	150
		V3	190	150

#### Analytiska beräkningar

I Tabell 5-8 redovisas antagna beräkningsförutsättningar samt resultat av överslagsberäkningar för påverkansavstånd (angivna som meter från schaktmitt) för schakt för södra påslaget till Gerstabergrstunneln.

*Tabell 5-8. Sammanställning av antagna beräkningsförutsättningar och beräknat påverkansavstånd (utan skyddsåtgärder) för överslagsberäkningar vid södra påslaget till Gerstabergrstunneln.*

Sektion (Km)	Magasins- hållanden	Jordart	Schakt radie (m)	K (m/s)	Magasins- mäktighet (m)	Gv.nivå (RH2000)	Under- kant magasin (RH2000)	Dränerande nivå (RH2000)	Påverkans- avstånd (m)
3+700	Öppet	Berg	10	$1 \times 10^{-7}$	-	20	0	5,9	80
3+740	Slutet	Fr	10	$1 \times 10^{-5}$	2	20	15	15	140
3+850	Slutet	Fr	10	$1 \times 10^{-5}$	5	15	4	4	330
3+900	Slutet	Fr	10	$1 \times 10^{-5}$	2	10	8,5	8,5	60

## 5.2.2 Samlad bedömning

Avgränsningen av påverkansområdet för södra påslaget till Gerstabergrstunneln baseras på resultat från numeriska och analytiska beräkningar tillsammans med områdets hydrogeologiska förhållanden (topografi, grundvattendelare, grundvattenmagasinens utbredning och känslighet samt förmodade svaghetszoner). Påverkansområdet har även anpassats med hänsyn till riskexponerade objekt och möjliga kumulativa effekter från bergtunneln. På detta sätt har det justerats för beräkningsmetodernas och modellernas begränsningar.

I de sektioner där såväl numeriska som analytiska beräkningar för avsänkning i friktionsjord är utförda (km 3+740 och 3+900) ger de numeriska beräkningarna större påverkansavstånd. För sektion km 3+700 kan denna jämförelse av resultat inte göras rakt av, då de analytisk beräknade påverkansavståndet avser avsänkning i berg, medan det numeriskt beräknade avser friktionsjord. Huvudsakligen bedöms de numeriska beräkningarna bättre representera områdets hydrogeologiska förutsättningar samt planerat utförande av anläggningen. Resultaten från de numeriska beräkningarna bedöms vara tillämpbara även om bergschakten längs förskärningen skulle utföras upp till 2 meter djupare än vad som antagits vid utförd modellering. Detta eftersom inläckaget och utbredningen av påverkansområdet i huvudsak styrs av grundvattenflöden från jordlagren.

Kring km 3+850 förekommer något större friktionsjordsmäktigheter, samtidigt som den dränerande nivån kan komma att bli lokalt djupare beroende på val av grundläggning- och markförstärkningsåtgärder. Analytisk beräkning i km 3+850, med genomgående konservativa antaganden och ansatta värden, visar att påverkansområdets utbredning här kan bli betydligt större än i övriga sektioner, och potentiellt komma att nå ut mot E4 i öst.

Utöver den grundvattensänkning som orsakas av anläggningsarbeten för betongtunneln förekommer även andra anläggningsdelar som kan medföra grundvattenpåverkan kring södra påslaget till Gerstabergrstunneln. Dessa omfattar den anslutande Gerstabergrstunneln (se kapitel 5.1.1), avfartsramp till E4 som går i skärning (5.5.6) samt grundläggning av brostöd för GC-väg (5.5.1). På grund av eventuella kumulativa effekter kan påverkan på grundvattennivåerna bli större tillsammans jämfört med om varje del betraktas enskilt. Mot väster och norr begränsas påverkansområdets utbredning av berg i dagen. Mot öster avgränsas påverkan av en tolkad nord-sydlig lokal grundvattendelare, belägen strax öster om E4. Söderut återfinns grundvattenmagasin Järna, som begränsar påverkansområdets utbredning i denna riktning.

Påverkansområdet bedöms utifrån gjorda konservativa bedömningar vara väl avgränsat.

Kartor med avgränsning av slutgiltigt bedömda påverkansområden redovisas i Bilaga D.2.1.

## 5.3 Passage E4 vid Järnaslätten (VV-ID G5-002)

### 5.3.1 Påverkansområde

#### Numeriska beräkningar

Resultat från beräkningar av påverkansavstånd för valda sektioner längs schakt för passage E4 vid Järnaslätten redovisas i Tabell 5-9.

Spontutförande V1 motsvarar den lösning som påverkansområdet i Bilaga D.2.1 baseras på. Spontutförande V2 och V3 redovisar utbredning av påverkansavstånd vid olika spont- och tätningsutförande kring schakten. Minskad påverkan syns framför allt ej i påverkansavståndets utbredning utan ligger i att avsänkningen vid en vald punkt minskar.

Tabell 5-9. Beräknat påverkansavstånd i studerade sektioner (redovisat som meter från järnvägslinjen). Spontutföranden V1-V3 beskrivs i kapitel 4.1.1.1.

Område	Sektion	Spont- utförande	Påverkans- avstånd mot öst (m)	Påverkans- avstånd mot väst (m)
Passage av E4 vid Järnaslätten	5+380	V1	180	Berg
		V2	170	Berg
		V3	170	Berg
	5+550	V1	110	200
		V2	110	200
		V3	50	150
	5+700	V1	50	40
		V2	50	40
		V3	50	40

#### Analytiska beräkningar

I Tabell 5-10 redovisas antagna beräkningsförutsättningar samt resultat av överslagsberäkningar för påverkansavstånd (angivna som meter från schaktmitt) för passage E4 vid Järnaslätten.

Tabell 5-10. Sammanställning av antagna beräkningsförutsättningar och beräknat påverkansavstånd (utan skyddsåtgärder) för överslagsberäkningar vid passage E4 vid Järnaslätten.

Sektion (Km)	Magasins- hållanden	Jordart	Schak tradie (m)	K (m/s)	Magasins- mäktighet (m)	Gv.nivå (RH2000)	Under- kant magasin (RH2000)	Dränerande nivå (RH2000)	Påverkans- avstånd (m)
5+380	Slutet	Fr	12	$1 \times 10^{-5}$	2	18,0	13	13	150
5+550	Slutet	Fr	12	$1 \times 10^{-5}$	5	22,5	17,1	17,1	220
5+700	Slutet	Fr	12	$1 \times 10^{-5}$	2	25,5	22,5	22,5	110

### 5.3.2 Samlad bedömning

Avgränsningen av påverkansområdet vid passage av E4 vid Järnaslätten baseras på resultat från numeriska och analytiska beräkningar tillsammans med områdets hydrogeologiska förhållanden (topografi, grundvattendelare och grundvattenmagasinens utbredning). Påverkansområdet har även anpassats (utökats) med hänsyn till riskexponerade objekt. På detta sätt har det justerats för beräkningsmetodernas och modellernas begränsningar.

Beräkningsresultaten från de båda beräkningssätten ger påverkansområden i samma storleksordning. De numeriska beräkningarna är utförda i tre sektioner och resultaten återspeglar framför allt området närmst dessa. Genom att sektionerna ligger tätt och är jämnt fördelade bedöms de dock täcka in den berörda sträckan väl.

Utöver den grundvattensänkning som orsakas av anläggningsarbeten för betongtunnel och anslutande tråg kommer grundvattensänkning i samband med utskiftning/grundläggning av E4 mellan km 5+660 till 5+700 (se kapitel 5.5.2). På grund av eventuella kumulativa effekter kan påverkan på grundvattennivåer därmed bli något större.

Passage E4 vid Järnaslätten omgärdas dock av grundvattenmagasin Järna vilket bedöms begränsa utbredningen av påverkansområdet i söder, väster och norr. Öster om passagen avgränsas utbredning av påverkansområdet av berg i dagen.

Kartor med avgränsning av slutgiltigt bedömda påverkansområden redovisas i Bilaga D.2.1.

## 5.4 Edebytunnlarna (VV-ID G13-005 och G14-005)

### 5.4.1 Påverkansområde

#### Numeriska beräkningar

Resultat från beräkningar av påverkansavstånd för valda tunnelsektioner inklusive känslighetsanalys redovisas i Tabell 5-11.

Tabell 5-11. Beräknat påverkansavstånd för bergtunnelsektioner längs med Edebyttunnlarna (otätat utförande). Påverkansavstånd visas för 9 olika kombinationer av grundvattenbildning (150, 50 och 10 mm/år) och konduktivitetvärden per sektion. Resultatet redovisas som avstånd från huvudspårtunneln mot öst respektive väst. Bergets effektiva hydrauliska konduktivitet inom berörd delsträcka är fetmarkerad i kursivstil.

Norra Edebyttunneln	14+100		Mot väst			Mot öst		
			Grundvattenbildning (mm/år)			Grundvattenbildning (mm/år)		
			150	50	10	150	50	10
K-berg (m/s)	<i>1,0 × 10<sup>-8</sup></i>	30	100	160	30	50	160	
	<i>7,8 × 10<sup>-8</sup></i>	160	160	150	100	470	1 140	
	<i>1,0 × 10<sup>-7</sup></i>	160	160	130	110	560	980	

Södra Edebyttunneln	14+525		Mot väst			Mot öst		
			Grundvattenbildning (mm/år)			Grundvattenbildning (mm/år)		
			150	50	10	150	50	10
K-berg (m/s)	<i>1,0 × 10<sup>-8</sup></i>	20	70	130	30	90	120	
	<i>5,7 × 10<sup>-8</sup></i>	110	130	480	120	220	1 190	
	<i>1,0 × 10<sup>-7</sup></i>	120	170	750	120	370	1 550	

#### Analytiska beräkningar

I Tabell 5-12 redogörs för antagna beräkningsförutsättningar samt beräknade påverkansavstånd för norra och södra Edebyttunneln.

Tabell 5-12. Sammanställning av antagna beräkningsförutsättningar och beräknat påverkansavstånd (angivet som meter från tunnelmitt vid en viss längdsektion) för permanent grundvattensänkning i anslutning till norra och södra Edebyttunneln.

Tunnel	Sektion (km)	Mark-nivå (RH2000)	RÖK (RH2000)	Antagen grundvatten-nivå (RH2000)	Tunneldjup under grundvattenytan (m)	Påverkansavstånd (m)
Norra Edebyttunneln	14+060	48,9	23,7	48,9	26,2	140
	14+130	45,7	24,4	45,7	22,3	120
Södra Edebyttunneln	14+500	50,2	27,9	50,2	23,3	120
	14+600	47,3	28,3	47,3	20,0	110

## 5.4.2 Inläckage

### Numeriska beräkningar

Resultat från beräkningar av inläckage i modellerade tunnelsektioner (otätat utförande) inklusive känslighetsanalys, redovisas i Tabell 5-13. De beräknade inläckagen redovisar årsmedelvärden under stationära förhållanden.

Tabell 5-13. Beräknade inläckage för bergtunnelsektioner längs med Edebyttunnlarna (otätat utförande). Inläckaget anges som  $l/min \cdot 100 \text{ m tunnel}$ . Inläckagen visas för 9 olika kombinationer av grundvattenbildning och konduktivitetvärden per sektion. Bergets effektiva hydrauliska konduktivitet inom berörd delsträcka längs tunnlar är fetmarkerad i kursivstil.

Norra Edebyttunneln	14+100		Grundvattenbildning (mm/år)		
			150	50	10
	K-berg (m/s)	$1,0 \times 10^{-8}$	3	1	1
		<b><i><math>7,8 \times 10^{-8}</math></i></b>	6	3	1
$1,0 \times 10^{-7}$		7	3	0,4	
Södra Edebyttunneln	14+525		Grundvattenbildning (mm/år)		
			150	50	10
	K-berg (m/s)	$1,0 \times 10^{-8}$	3	2	1
		<b><i><math>6,0 \times 10^{-8}</math></i></b>	7	5	2
$1,0 \times 10^{-7}$		10	7	2	

### Analytiska beräkningar

Resultat från utförda analytiska beräkningar av inläckage (årsmedelvärden) till norra respektive södra Edebyttunneln redovisas i Tabell 5-14.

Tabell 5-14. Beräknade typinläckage för norra respektive södra Edebyttunneln, samt totalt inläckage för hela tunneln.

Namn på tunnelobjekt	Start - slut km	Typinläckage, (l/min*100 m)	Totalt inläckage	
			Delsträcka (l/min)	Båda tunnelarna (l/min)
Norra Edebyttunneln	14+021 – 14+167	19	28	49
Södra Edebyttunneln	14+456 – 14+613	13	21	

### 5.4.3 Vattenbalans

Resultat från utförda vattenbalansberäkningar för Edebyttunnelnarnas vattenbalansområde redovisas i Tabell 5-15.

Tabell 5-15. Resultat från utförd vattenbalansberäkning för Edebyttunnelnarna, otätat utförande. Antaget inläckage motsvarar analytiskt beräknat inläckage.

Grundvattenbildning inom vattenbalansområde (l/min)	120
Totalt inläckage, otätat utförande (l/min)	49
<b>Inläckagets andel av grundvattenbildningen, otätad tunnel</b>	40 %

### 5.4.4 Samlad bedömning

#### Påverkansområde

Påverkansområdet för Edebyttunnelnarna har beräknats numeriskt såväl som analytiskt.

Numeriska modeller har upprättats i en sektion per tunnel (en för norra respektive en för södra Edebyttunneln), och resultaten representerar således främst förhållandena närmst dessa. Utförd känslighetsanalys för den numeriska modelleringen visar på stora skillnader i påverkansområdets utbredning vid olika val av indata till modelleringen. Beroende på hur den hydrauliska konduktiviteten och grundvattenbildningen till berg ansätts skiljer sig modellresultaten åt med mer än en kilometer.

För de fall de platsspecifika hydrogeologiska förutsättningarna bedömts motsvara förutsättningarna i uppsatta numeriska modeller väl, har beräkningsresultat som baseras på sträckans effektiva hydrauliska konduktivitet (baserat på utförda vattenförlustmätningar samt brunnsanalys) i kombination med en grundvattenbildning till berg om 50 mm/år tillämpats som utgångsvärde vid bedömning av påverkansområdets utbredning. Under förutsättning att grundvattenbildningen till berg (vattenomsättningen) mest troligt kommer att öka vid anläggandet av en dränerande bergtunnel bedöms 50 mm/år vara ett relativt konservativt antagande för grundvattenbildning till normalberg.

Projektnamn	Skapat av (Leverantör)	Godkänt datum	Rev Datum
Ostlänken	Johanna Engelbrektsson, Jonas Pedersen, Alexander Hansen, Linda Jalava, Daniel Erdal	2023-04-27	-
Ärendenummer	Granskat av (Leverantör)	Sidor	Version
TRV 2019/65709	Mattias Fredin Godkänt av (Leverantör) Henrik Tham	56(91)	_.3



De numeriska beräkningarna, antaget bergets effektiva hydrauliska konduktivitet inom berörd delsträcka längs tunneln och en genomsnittlig grundvattenbildning till berg om 50 mm/år, ger över lag något större påverkansområden än de analytiska beräkningarna.

Resultat från utförda beräkningar och känslighetsanalyser har använts som stöd i bedömning av påverkansområdets utbredning i kombination med konceptuella tolkningar (avseende bland annat topografi, jordlagerföljd, förmodade svaghetszoner och förekomst av större grundvattenmagasin) och erfarenhetsmässiga rimlighetsbedömningar. Påverkansområdet yttre gräns har också anpassats med hänsyn till förekommande riskexponerade objekt, för att i gränsfall snarare inkludera än exkludera sådana.

Det norra tunnelpåslaget till norra Edebyttunneln respektive södra påslaget till södra Edebyttunneln ligger högt relativt omgivande terräng, vilket begränsar påverkansområdets utbredning mot norr respektive syd. Längs sträckningen för Edebyttunnlarna bedöms annars antaganden i upprättade modellsektioner motsvara de hydrogeologiska förutsättningarna i området relativt väl.

E4 sträcker sig parallellt med planerad anläggning, drygt 200 m väster om densamma. Vägen ligger djupare än dränerande nivå längs norra Edebyttunneln, medan förhållandena är de omvända längs södra Edebyttunneln, där motorvägen går i en djupare bergskärning. Mest troligt är grundvattennivåerna i anslutning till motorvägen i dessa delar redan avsänkta till följd av vägdräneringen, vilket i så fall troligtvis bidrar till att begränsa södra Edebyttunnelns påverkan mot väst.

Mellan de båda tunnlar, från km 14+183 till km 14+440, sträcker sig en bergskärning genom ett område där den planerade järnvägsanläggningen korsas av ett flertal svaghetszoner. Påverkansområdet från bergskärningen har beräknats analytiskt, men dess utbredning har primärt avgränsats utifrån en konceptuell tolkning av hydrogeologiska förhållanden såsom förekomst av svaghetszoner, kontakter mellan grundvatten i jord och berg samt den mellanliggande skärningens dränerande nivå. Risker att grundpåverkan når ut till E4 i väst (nedströms planerad anläggning) kan inte uteslutas, primärt då till följd av dränering via den mellanliggande skärningen, men potentiellt även till följd av minskad grundvattenbildning till undre magasin i och med anläggandet av de nya bergtunnlarna.

Utöver den grundvattensänkning som orsakas av bergtunnlarna finns andra anläggningsdelar och arbeten som kan komma att medföra tillfällig eller permanent grundvattenpåverkan i tunnlaras närhet. Dessa omfattar anslutande skärningar för järnvägen (se kapitel 5.5.5), en ny serviceväg som delvis går i skärning väster om planerad spåranläggning (5.5.6), utskiftning för spåranläggningen söder om södra Edebyttunneln (5.5.2) samt ett nytt fördröjningsmagasin norr om Norra Edebyttunneln (5.5.3). På grund av eventuella kumulativa effekter kan grundvattenpåverkan bli större om dessa arbeten utförs samtidigt jämfört med om varje ingående del betraktas enskilt. Påverkansområdet vid Edebyttunnlarna har mot bakgrund av risk för kumulativa effekter utökats något mot norr (anläggande av nytt fördröjningsmagasin) samt mot söder (tillfälliga grundvattensänkning i samband med utskiftning).

Kartor med avgränsning av slutgiltigt bedömda påverkansområden redovisas i Bilaga D.2.1. Genom att genomgående i beräkningsarbetet och bedömningar utgå från konservativa förhållningssätt är den samlade bedömningen att det påverkansområde som redovisas i bilagan är generöst avgränsat för att inte underskatta påverkan.

### *Inläckage*

Inläckage till Edebyttunnlarna har beräknats numeriskt såväl som analytiskt för ett otätat utförande.

Resultat från utförda inläckageberäkningar (se Tabell 5-14) visar på en relativt jämn fördelning av inläckage mellan de båda tunnlar. Detta beror huvudsakligen på att bergets genomsläpplighet i lägena för de båda tunnlar uppskattats till ungefär storleksordning, trots att värdet för norra Edebyttunneln är beräknat utifrån plats specifika vattenförlustmätningar och värdet för södra Edebyttunneln baseras på utförd brunnsanalys.



Projektnamn	Skapat av (Leverantör)	Godkänt datum	Rev Datum
Ostlänken	Johanna Engelbrektsson, Jonas Pedersen, Alexander Hansen, Linda Jalava, Daniel Erdal	2023-04-27	-
Ärendenummer	Granskat av (Leverantör)	Sidor	Version
TRV 2019/65709	Mattias Fredin Henrik Tham	57(91)	_.3

I utförda inläckageberäkningar har det antagits att grundvattennivån motsvarar marknivå (som ett typvärde inom respektive delsträcka längs planerade bergtunnlar). Utförda grundvattennivåmätningar i berg i anslutning till norra Edebyttunneln (OLP4K303) visar dock att grundvattennivån i berg är belägen mer än 5 meter under markytan. Detta skulle kunna innebära att beräknade inläckage för norra Edebyttunneln är överskattade, eftersom vattentrycket ovan tunneln är den faktor näst efter hydraulisk konduktivitet som har störst påverkan på det beräknade inläckagets storlek (se kapitel 6.1.2). Å andra sidan skulle de lägre grundvattennivåerna i berg också kunna ses som ett tecken på att bergets genomsläpplighet är hög, och att grundvattennivån i berg vidare korrelerar med grundvattennivån i jord i lägre terräng kan i sin tur tyda på hydraulisk kontakt mellan grundvatten i jord och berg via spricksystem. I det senare fallet skulle stora inläckage kunna vara möjliga även vid låga grundvattentryck.

Edebyttunnlarna utgör relativt ytliga bergtunnlar och löper längs en nord-sydlig höjdrygg i landskapet, som också utgör en tolkad vattendelare. Grundvattenbildningen närmst ovan tunneln bedöms därmed vara relativt begränsad. Detta i kombination med att det saknas större grundvattenmagasin får mest troligt till följd att inläckaget till bergtunnlarna förväntas ske framför allt under blöta perioder av året, eller i samband med nederbörd och/eller snösmältning. Värden redovisade i Tabell 5-14 utgör beräknade årsmedelvärden, men de årsvisa variationerna avseende inläckagemängder kan komma att bli omfattande för Edebyttunnlarna.

Analytiskt beräknade inläckage utgör förväntade typvärden för respektive ingående delsträcka längs tunneln. Inläckagen kommer således kunna vara både mindre och större än beräknat, och stora spatiala variationer kan förväntas även inom de olika delsträckorna. Icke verifierade vattenförande zoner kommer också att bidra med inläckage, men detta bedöms inrymmas i det totala inläckaget (se vidare kapitel 6.1.2.2).

Som ett komplement till de analytiska beräkningarna har numeriska modeller upprättats i en sektion för vardera tunnel. Resultaten från dessa representerar främst förhållandena närmst desamma. Utförd känslighetsanalys för den numeriska beräkningen visar att modellresultatet varierar mellan 1 och 15 l/min och 100 meter tunnel beroende på hur den hydrauliska konduktiviteten och grundvattenbildningen till berg ansätts. De numeriska beräkningarna, antaget bergets effektiva hydrauliska konduktivitet inom berörd delsträcka längs tunneln och en genomsnittlig grundvattenbildning till berg om 50 mm/år, ger klart lägre inläckage i jämförelse med de analytiska beräkningarna.

De numeriska beräkningarna tar till skillnad från de analytiska hänsyn till tillgången på vatten. Då vattentillgången är begränsad skapas en grundvattennivåsänkning runt tunneln i modellerna. De numeriskt beräknade inläckagen representerar därmed troligtvis ett uthålligt inläckage under stationära förhållanden på ett bättre sätt än de analytiska, som förutsätter att grundvattennivån ovan tunneln förblir marknära. Beräkningarna kan ses som en indikation på att de uthålliga inläckagen i områden där vattentillgången är begränsad kan vara mindre än vad de analytiska beräkningarna visar.

### *Vattenbalanser*

Inom Edebyttunnlarnas vattenbalansområde uppgår den beräknade grundvattenbildningen till drygt 120 l/min, medan den beräknade inläckaget till otätade tunnlar uppgår till ca 49 l/min. Jämförelsen ger att planerade bergtunnlar i otätat utförande leder bort omkring 40 % av grundvattenbildning tillgänglig för inläckage inom vattenbalansområdet, medan resterande del kommer att fortsätta att avrinna som grundvatten. Vattenbalansen tyder på att vattentillgången i sig inte är begränsande för inläckaget på tunnelövergripande nivå.

## **5.5 Påverkansområde övriga anläggningsdelar**

Resultat från analytiska beräkningar av påverkansområden för övriga anläggningsdelar (utöver bergtunnlar och djupa schakt) redovisas i kapitel 5.5.1–5.5.6.

Redovisade tabeller innehåller antagna beräkningsförutsättningar för specifika anläggningsdelar. I tabellerna har följande förkortningar på jordarter använts:

Projektnamn	Skapat av (Leverantör)	Godkänt datum	Rev Datum
Ostlänken	Johanna Engelbrektsson, Jonas Pedersen, Alexander Hansen, Linda Jalava, Daniel Erdal	2023-04-27	-
Ärendenummer	Granskat av (Leverantör)	Sidor	Version
TRV 2019/65709	Mattias Fredin Godkänt av (Leverantör) Henrik Tham	58(91)	_.3

Cl = lera

Si = silt

Ti = morän

Fr = friktionsjord

De i tabellerna redovisade värdena avseende hydraulisk konduktivitet är baserade på plats specifika fältundersökningar. Ansatta dränerande nivåer motsvarar för de flesta beräkningar schaktbottennivå eller motsvarande. Vid beräkningar av grundläggning för brostöd har dock andra antaganden gjorts, se kapitel 4.2.2.3

Påverkansområden som redovisas i tillståndsansökan baseras på beräknade påverkansavstånd utan vidtagna skyddsåtgärder tillsammans med tolkningar av områdets hydrogeologiska förhållanden (topografi, grundvattendelare och grundvattenmagasinens utbredning). Påverkansområdena har också anpassats med hänsyn till förekomst av riskexponerade objekt, för att hellre inkludera än exkludera sådana. På detta sätt har det kompenserats för de begränsningar som finns kopplat till de förhållandevis enkla beräkningsmetoderna.

Kartor med avgränsning av slutgiltigt bedömda påverkansområden redovisas i ansökans Bilaga D.2.1

### 5.5.1 Grundläggning av brostöd

I Tabell 5-16 till Tabell 5-28 redovisas antagna beräkningsförutsättningar samt resulterande påverkansavstånd för tillfällig grundvattenbortledning i byggskedet i samband med grundläggning av brostöd.

Generellt har beräkningar gjorts utan hänsyn till skyddsåtgärder. I specifika fall har dock kompletterande beräkningar utförts för scenarier som inkluderar möjliga skyddsåtgärder. Detta i syfte att utgöra underlag för bedömning av skyddsåtgärdens effekt. Beräkningar av påverkansavstånd med vidtagna skyddsåtgärder redovisas i dessa fall i en separat, efterföljande resultattabell.

Den ekvation som används för slutna magasin är gällande då den dränerande nivån för schaktet är belägen ovan den vattenförande friktionsjordens överkant, vilket innebär att grundvattenmagasinet är vattenmättat och slutet. I de fall där dränerande nivå för schaktet är lägre har en notering gjorts i berörd resultattabell. Påverkan på resultaten bedöms dock inrymmas i de osäkerheter som finns i stort kopplat till den analytiska beräkningsmetoden, och resultaten bedöms således som tillförlitliga.

### Bro 414 21 Anslutningsbro norr om flyover, Gerstaberget, km 0+500–0+919 (VV-ID Go-003)

I Tabell 5-16 redovisas beräkningsförutsättningar och resulterande påverkansavstånd utan skyddsåtgärder. I beräkningarna har antagits en grundvattensänkning på 4 m under markytan.

Tabell 5-16. Sammanställning av antagna beräkningsförutsättningar och beräknat påverkansavstånd (utan skyddsåtgärder) för anslutningsbro norr om flyover, Gerstabergr. Magasinsmäktighet anges för slutna magasin.

Brostöd (Nr)	Brostöd (Km)	Magasins- hållanden	Jordart	K (m/s)	Magasins- mäktighet (m)	Gv.nivå (RH2000)	Under- kant magasin (RH2000)	Dränerande nivå (RH2000)	Påverkans- avstånd (m)
1-2	0+500- 0+519	Slutet	Fr/Ti	$5 \times 10^{-5}$	2,1	28,1	25,9	24,7**	200
3-5	0+543- 0+600	Slutet	Fr/Ti	$5 \times 10^{-5}$	1,8	28,6	21,5	23,2**	260
6-9	0+630- 0+720	Slutet	Fr/Ti	$5 \times 10^{-5}$	6,5	28	19,9	24**	350
10-12	0+750- 0+810	Öppet	Fr/Ti	$5 \times 10^{-6}$	-	32	26,7	29,5	50
13-16*	0+840- 0+919	Slutet	Fr/Ti	$5 \times 10^{-6}$	6,7	29,6	16,2	25,9	140

\*Brostöd 16 är brostöd 1 för Flyover vid Gerstabergr, km 0+919-1+147.

\*\*Dränerande nivå är lägre än nivå ovankant vattenförande friktionsjord

I Tabell 5-17 redovisas beräkningsförutsättningar och resulterade påverkansavstånd för ett scenario med ett alternativt tillvägagångssätt för grundläggning av brostöd som omfattar skyddsåtgärder. För beskrivning av föreslagna skyddsåtgärder, se ansökans Bilaga D.2 PM Yt- och grundvatten samt Bilaga C. Teknisk beskrivning.

I beräkningarna redovisade i Tabell 5-17 har följande antagits:

- Schakt för brostöd nr 2 utförs med tätskärm (tätspont + jetinjektering). Detta begränsar inläckaget till schaktet men kan ändå medföra grundvattenpåverkan, som fått representeras av att dränerande nivå ansatts till 1 meter under befintlig grundvattennivå
- Brostöd nr 3 grundläggs genom pålning utan bedömt behov av någon grundvattensänkning
- Schakt för brostöd nr 4-8 samt 12-13 utförs inom vattenfyllda sponter, varefter gjutning av så kallad "tätkaka" i betong utförs. Därefter kan vattnet inom sponten pumpas bort och bottenplattorna anläggas. Detta tillvägagångssätt bedöms inte ge upphov till avsänkta grundvattennivåer.
- Schakt för brostöd nr 9-11 utförs inom tätskärm(tätspont + jetinjektering). Detta begränsar inläckaget till schaktet men kan ändå medföra grundvattenpåverkan, som fått representeras av att dränerande nivå ansatts till 1 meter under befintlig grundvattennivå

*Tabell 5-17. Sammanställning av antagna beräkningsförutsättningar och beräknade påverkansavstånd baserat på alternativa grundläggningssätt och skyddsåtgärder för anslutningsbro norr om flyover, Gerstaberger. Magasinsmäktighet anges för slutna magasin.*

Brostöd (Nr)	Brostöd (Km)	Magasins- hållanden	Jordart	K (m/s)	Magasins- mäktighet (m)	Gv.nivå (RH2000)	Under- kant magasin (RH2000)	Dränerande nivå (RH2000)	Påverkans- avstånd (m)
1	0+500	Slutet	Fr/Ti	$5 \times 10^{-5}$	2,1	28,1	25,9	24,7 ***	200
2	0+519	Slutet	Fr/Ti	$5 \times 10^{-5}$	0,4	28,5	24,1	27,5*	40
9	0+720	Slutet	Fr/Ti	$5 \times 10^{-5}$	5,5	30,8	19,3	29,8*	90
10	0+750	Öppet	Fr/Ti	$5 \times 10^{-6}$	-	29,6	22,0	28,6*	30
11	0+780	Öppet	Fr/Ti	$5 \times 10^{-6}$	-	32,0	26,7	31*	30
14-16**	0+870- 0+919	Slutet	Fr/Ti	$5 \times 10^{-6}$	5,5	30,2	13,8	26,5	130

\* Ej faktisk dränerande nivå för schakt. Nivå är justerad med hänsyn till att återspegla effekt av tätskärm.

\*\* Brostöd 16 är brostöd 1 för Flyover vid Gerstaberger, km 0+919-1+147.

\*\*\* Dränerande nivå är lägre än nivå ovankant vattenförande friktionsjord

**Bro 414 22 Flyover vid Gerstabergr, km 0+919–1+147 (VV-ID Go-003)**

Tabell 5-18. Sammanställning av antagna beräkningsförutsättningar och beräknat påverkansavstånd (utan skyddsåtgärder) för flyover vid Gerstabergr. Magasinsmäktighet anges för slutna magasin.

Brostöd (Nr)	Brostöd (Km)	Magasins- hållanden	Jordart	K (m/s)	Magasins- mäktighet (m)	Gv.nivå (RH2000)	Under- kant magasin (RH2000)	Dränerande nivå (RH2000)	Påverkans- avstånd (m)
2–3*	0+924,5 0+931,5	Slutet	Fr/Ti	$5 \times 10^{-6}$	6,7	29,6	16,2	25,9	140
4–10	0+938,5– 0+980,5	Slutet	Fr/Ti	$5 \times 10^{-6}$	6,2	30,1	13,8	26,4	140
11–19	0+987,5– 1+043,5	Slutet	Fr/Ti	$5 \times 10^{-6}$	6,7	31,3	13,5	27,6	140
20–27	1+050,5– 1+099,5	Slutet	Fr/Ti	$5 \times 10^{-6}$	4,9	31,6	19,5	27,9	120
28–34**	1+106,5– 1+147	Slutet	Fr/Ti	$5 \times 10^{-6}$	3,5	30,6	14,3	26,6	120

\*Brostöd 1 är brostöd 16 för Anslutningsbro norr om flyover, Gerstabergr, km 0+500–0+919.

\*\* Brostöd 34 är brostöd 1 för 414 23 Anslutningsbro söder om flyover, Gerstabergr, km 1+147–1+490.

**Bro 414 23 Anslutningsbro söder om flyover, Gerstabergr, km 1+147–1+490 (VV-ID Go-003)**

I Tabell 5-19 redovisas beräkningsförutsättningar och resulterande påverkansavstånd utan skyddsåtgärder. I beräkningarna har antagits en grundvattensänkning på 4 m under markytan.

Tabell 5-19. Sammanställning av antagna beräkningsförutsättningar och beräknat påverkansavstånd (utan skyddsåtgärder) för anslutningsbro söder om flyover, Gerstabergr. Magasinsmäktighet anges för slutna magasin.

Brostöd (Nr)	Brostöd (Km)	Magasins- hållanden	Jordart	K (m/s)	Magasins- mäktighet (m)	Gv.nivå (RH2000)	Under- kant magasin (RH2000)	Dränerande nivå (RH2000)	Påverkans- avstånd (m)
2–5*	1+169– 1+256	Slutet	Fr/Ti	$5 \times 10^{-6}$	4	30,3	16,7	26,3	120
6–10	1+286– 1+406	Slutet	Fr/Ti	$5 \times 10^{-6}$	4	31,0	25,3	25,2 **	150
11–13	1+436– 1+490	Slutet	Fr/Ti	$5 \times 10^{-6}$	2,7	33,7	30,2	30,2 **	100

\*Brostöd 1 är brostöd 34 för Flyover vid Gerstabergr, km 0+919–1+147.

\*\* Dränerande nivå är lägre än nivå ovankant vattenförande friktionsjord

I Tabell 5-20 redovisas beräkningsförutsättningar och resulterade påverkansavstånd i ett scenario med ett alternativt tillvägagångssätt för grundläggning av brostöd som omfattar skyddsåtgärder. För beskrivning av föreslagna skyddsåtgärder i ansökan, se ansökans Bilaga D.2 *PM Yt- och grundvatten* samt Bilaga C. *Teknisk beskrivning*.

I Tabell 5-20 har det för beräkningar antagits att schakt för brostöd nr 8-9 sker inom tätskärm (tätspont + jetinjektering), men med en viss grundvattenpåverkan som fått representeras av att dränerande nivå ansatts 1 meter under befintlig grundvattennivå.

*Tabell 5-20. Sammanställning av antagna beräkningsförutsättningar och beräknat påverkansavstånd som baseras på alternativt grundläggningssätt och åtgärder för anslutningsbro söder om flyover, Gerstabergr. Magasinsmäktighet anges för slutna magasin.*

Brostöd (Nr)	Brostöd (Km)	Magasins-hållanden	Jordart	K (m/s)	Magasins-mäktighet (m)	Gv.nivå (RH2000)	Underkant magasin (RH2000)	Dränerande nivå (RH2000)	Påverkans-avstånd (m)
2-5*	1+169-1+256	Slutet	Fr/Ti	$5 \times 10^{-6}$	4	30,3	16,7	26,3	120
6-7	1+286-1+316	Slutet	Fr/Ti	$5 \times 10^{-6}$	4	31,0	25,3	25,2 ***	150
8-9	1+346-1+376	Slutet	Fr/Ti	$5 \times 10^{-6}$	4	31,0	25,3	30**	40
10	1+406	Slutet	Fr/Ti	$5 \times 10^{-6}$	4	31,0	25,3	25,2 ***	150
11-13	1+436-1+490	Slutet	Fr/Ti	$5 \times 10^{-6}$	2,7	33,7	30,2	30,2 ***	100

\*Brostöd 1 är brostöd 34 för Flyover vid Gerstabergr, km 0+919-1+147.

\*\* Ej faktisk dränerande nivå för schakt. Nivå är justerad med hänsyn till att återspegla effekt av tätskärm.

\*\*\* Dränerande nivå är lägre än nivå ovankant vattenförande friktionsjord

### Bro 414 11 Järnvägsbro över serviceväg, Gerstabergr, km 2+042-2+053 (VV-ID G2-002)

*Tabell 5-21. Sammanställning av antagna beräkningsförutsättningar och beräknat påverkansavstånd (utan skyddsåtgärder) för järnvägsbro över serviceväg, Gerstabergr.*

Brostöd (Nr)	Brostöd (Km)	Magasins-hållanden	Jordart	K (m/s)	Gv.nivå (RH2000)	Underkant magasin (RH2000)	Dränerande nivå (RH2000)	Påverkans-avstånd (m)
1-2	2+042-2+053	Öppet	Ti	$1 \times 10^{-6}$	32,3	29,2	28,5	30

**GC-bro över väg 57, Trafikplats Järna, km 3+900 - 4+000 (VV-ID G3-007)**

Tabell 5-22. Sammanställning av antagna beräkningsförutsättningar och beräknat påverkansavstånd (utan skyddsåtgärder) för GC-bro över väg 57, Trafikplats Järna.

Brostöd (Nr)	Brostöd (Km)	Magasins- hållanden	Jordart	K (m/s)	Gv.nivå (RH2000)	Under- kant magasin (RH2000)	Dränerande nivå (RH2000)	Påverkans- avstånd (m)
1-7	3+900- 4+000	Slutet	Fr	$1 \times 10^{-5}$	9,8	-5	6,4	183

**Bro 414 13 Järnvägsbro över Moraån, km 4+535-4+552**

Temporär grundvattensänkning bedöms ej erfordras på grund av att samtliga brostöd på grundläggs utan behöva sänka av grundvattennivån.

**Bro 414 14 Järnvägsbro över Kjulstavägen, km 8+015-8+310 (VV-ID G8-001)**

Tabell 5-23. Sammanställning av antagna beräkningsförutsättningar och beräknat påverkansavstånd (utan skyddsåtgärder) för järnvägsbro över Kjulstavägen. Magasinsmäktighet anges för slutna magasin.

Brostöd (Nr)	Brostöd (Km)	Magasins- hållanden	Jordart	K (m/s)	Magasins- mäktighet (m)	Gv.nivå (RH2000)	Under- kant magasin (RH2000)	Dränerande nivå (RH2000)	Påverkans- avstånd (m)
1-2	8+015- 8+033	Öppet	Ti	$1 \times 10^{-6}$	-	35,3	33,8	30,9	20
3-7	8+055- 8+171	Slutet	Fr/Ti	$5 \times 10^{-6}$	6,2	33,6	17,8	29,3	150
8-12	8+201- 8+310	Slutet	Fr/Ti	$5 \times 10^{-6}$	5,7	34,5	20,4	29,8	150

**Bro 414 15 Järnvägsbro över Skillebyån, km 9+430-9+750 (VV-ID G9-001)**

I Tabell 5-24 redovisas beräkningsförutsättningar och resulterande påverkansavstånd utan skyddsåtgärder.

Tabell 5-24. Sammanställning av beräkningsförutsättningar och beräknat påverkansavstånd (utan skyddsåtgärder) för järnvägsbro över Skillebyån. Magasinsmäktighet anges för slutna magasin.

Brostöd (Nr)	Brostöd (Km)	Magasins- hållanden	Jordart	K (m/s)	Magasins- mäktighet (m)	Gv.nivå (RH2000)	Under- kant magasin (RH2000)	Dränerande nivå (RH2000)	Påverkans- avstånd (m)
1-6	9+430- 956	Slutet	Fr	$1 \times 10^{-5}$	3,5	24,5	12,5	20	160
7-9	9+590- 9+649	Slutet	Fr	$1 \times 10^{-5}$	7,5	24,9	6	18	290
10-12	9+677- 9+730	Slutet	Fr	$1 \times 10^{-5}$	18	25	-3,5	20,5	300
13	9+750	Slutet	Fr	$1 \times 10^{-5}$	9,5	25,5	7	22	200

Ett alternativt tillvägagångssätt för grundläggning är att schakt för brostöd utförs inom vattenfylld spont, varefter gjutning av så kallad tåtkaka i betong utförs. Därefter kan vattnet inom sponten pumpas bort och bottenplattorna anläggas. Ett sådant tillvägagångssätt bedöms inte medföra behov av grundvattensänkning. För beskrivning av föreslagna skyddsåtgärder, se ansökans Bilaga D.2 PM Yt- och grundvatten samt Bilaga C. Teknisk beskrivning.

### Bro 414 16 Järnvägsbro över Brobyvägen, km 10+211-10+360 (VV-ID G10-002)

Tabell 5-25. Sammanställning av antagna beräkningsförutsättningar och beräknat påverkansavstånd (utan skyddsåtgärder) för järnvägsbro över Brobyvägen. Magasinsmäktighet anges för slutna magasin.

Brostöd (Nr)	Brostöd (Km)	Magasins- hållanden	Jordart	K (m/s)	Magasins- mäktighet (m)	Gv.nivå (RH2000)	Under- kant magasin (RH2000)	Dränerande nivå (RH2000)	Påverkans- avstånd (m)
1	10+211	Öppet	Fr/Ti	$1 \times 10^{-5}$	-	33,7	30	31,5	500
2-6	10+236- 10+342	Slutet	Fr/Ti	$1 \times 10^{-5}$	6	33,7	21	29	210
7	10+360	Öppet	Fr/Ti	$1 \times 10^{-5}$	-	35	32	32	50



**Bro 414 17 Järnvägsbro över väg 513 vid Trpl Hölö, km 11+188–11+223 (VV-ID G11-002)**

Tabell 5-26. Sammanställning av antagna beräkningsförutsättningar och beräknat påverkansavstånd (utan skyddsåtgärder) för järnvägsbro över väg 513 vid Trpl Hölö.

Brostöd (Nr)	Brostöd (Km)	Magasins- hållanden	Jordart	K (m/s)	Gv.nivå (RH2000)	Under- kant magasin (RH2000)	Dränerande nivå (RH2000)	Påverkans- avstånd (m)
1–2	11+188– 11+223	Öppet	Fr/Ti	$1 \times 10^{-6}$	36,5	34	34	20

**Bro 414 18 Järnvägsbro intill Kyrksjön, km 13+238–13+963 (VV-ID G13-001)**

Brostöd nr 2 utförs i vatten samt brostöd nr 4–8 utförs med kassunlösning i vatten och innebär ej grundvattenbortledning. Inga beräkningar har därmed gjorts för dessa.

Tabell 5-27. Sammanställning av antagna beräkningsförutsättningar och beräknat påverkansavstånd (utan skyddsåtgärder) för järnvägsbro intill Kyrksjön. Magasinsmäktighet anges för slutna magasin.

Brostöd (Nr)	Brostöd (Km)	Magasins- hållanden	Jordart	K (m/s)	Magasins- mäktighet (m)	Gv.nivå (RH2000)	Under- kant magasin (RH2000)	Dränerande nivå (RH2000)	Påverkans- avstånd (m)
1	13+238	Öppet	Fr/Ti	$1 \times 10^{-6}$	-	10	9	9	10
3	13+314	Öppet	Berg	$1 \times 10^{-7}$	-	10	6	7	20
9–11	13+584– 13+674	Slutet	Fr/Ti	$1 \times 10^{-6}$	1	10	-4	6,3	40
12	13+719	Öppet	Berg	$1 \times 10^{-7}$	-	10,5	8	9	20
13–18	13+764– 13+963	Slutet	Fr/Ti	$1 \times 10^{-6}$	1	12	-7,5	7,5	50

**Bro 414 51 Vägbro vid Berga N Gerstaberg, km 0+000**

Tillfällig grundvattensänkning i byggskedet bedöms ej erfordras.

**Bro 414 53 Vägbro för serviceväg över Moraån, km 4+535–4+552**

Tillfällig grundvattensänkning i byggskedet bedöms ej erfordras på grund av samtliga brostöd på grundläggs utan bedömt behov av grundvattensänkning.

### Bro 414 60 GC-bro över järnväg och E4 vid Saltå kvarn, km 4+450

Tillfällig grundvattensänkning i byggskedet bedöms ej erfordras på grund av samtliga brostöd på grundläggs utan bedömt behov av grundvattensänkning.

### Bro 414 55 Vägbro för landsväg 510 över järnväg, km 12+640 (VV-ID G12-004)

Tabell 5-28. Sammanställning av antagna beräkningsförutsättningar och beräknat påverkansavstånd (utan skyddsåtgärder) för vägbro för landsväg 510 över järnväg.

Brostöd (Nr)	Brostöd (Km)	Magasins- hållanden	Jordart	K (m/s)	Gv.nivå (RH2000)	Under- kant magasin (RH2000)	Dränerande nivå (RH2000)	Påverkans- avstånd (m)
1-2	12+640- 12+640	Öppet	Fr	$1 \times 10^{-5}$	15	12	12	50

#### 5.5.2 Markförstärkningsåtgärder

I Tabell 5-29 redovisas beräkningsförutsättningar samt resulterande påverkansavstånd för tillfällig grundvattenbortledning i byggskedet i samband med markförstärkningsåtgärder i form av utskiftningar.

Den ekvation som används för slutna magasin är gällande då den dränerande nivån för schaktet är belägen ovan den vattenförande friktionsjordens överkant, vilket innebär att grundvattenmagasinet är vattenmättat och slutet. I de fall där dränerande nivå för schaktet är lägre har en notering "e" gjorts i resultattabellen. Påverkan på resultaten bedöms dock inrymmas i de osäkerheter som finns i stort kopplat till den analytiska beräkningsmetoden, och resultaten bedöms som tillförlitliga.

*Tabell 5-29. Sammanställning av antagna beräkningsförutsättningar och beräknat påverkansavstånd för tillfällig grundvattensänkning i byggskede vid utskiftning. Mag.förhållanden = Magasinsförhållande. Magasinsmäktighet anges för slutna magasin. UK magasin = underkant av grundvattenmagasinet. Drän.nivå = dränerande nivå.*

Sträcka (Start km och slut km)	VV-ID	Sektion (km)	Mag.för- hållanden	Jord- art	K (m/s)	Magasins- mäktighet (m)	Gv.nivå (RH2000)	UK magasin (RH2000)	Schakt- radie (m)	Drän.- nivå (RH2000)	Påverkans- avstånd (m)
0+180– 0+270 <sup>a</sup>	G0-006	0+270	Slutet	Fr	$6 \times 10^{-6}$	2,5	26,3	15,7	8	24	70
0+150– 0+325 <sup>b</sup>	G0-005	0+280	Slutet	Fr	$6 \times 10^{-6}$	4	26,3	14,2	8	23,5	100
0+695– 0+698 <sup>c</sup>	G0-009	0+698	Slutet	Fr	$1 \times 10^{-5}$	-	27,5	18,1	3	24,5	235
0+820– 0+830 <sup>c</sup>	G0-017	0+840	Slutet	Fr	$2 \times 10^{-6}$	1,5	30,4	26,4	7	27,5 <sup>e</sup>	50
1+275– 1+290 <sup>c</sup>	G1-005	1+280	Slutet	Fr	$2 \times 10^{-6}$	2	31,9	29,6	9	28,5 <sup>e</sup>	60
1+390– 1+420	G1-007	1+420	Slutet	Fr	$1 \times 10^{-6}$	1,7	34,3	32,5	12	30,4 <sup>e</sup>	50
1+710– 1+830	G1-009	1+800	Öppet	Pt	$1 \times 10^{-4}$	-	36,2	34,2	20	34,2	80
2+025– 2+042 <sup>c</sup>	G2-007	2+020	Öppet	Fr	$1 \times 10^{-6}$	-	34,8	32,6	10	29,5	20
2+260– 2+270	G2-003	2+260	Slutet	Fr	$2 \times 10^{-6}$	2,2	31,7	2,2	12	28,5	70
5+660– 5+700 <sup>d</sup>	G5-004	5+680	Slutet	Fr	$8 \times 10^{-6}$	3	23,3	21,2	8	22 <sup>e</sup>	50
10+360– 10+430	G10-003	10+360	Slutet	Fr	$2 \times 10^{-5}$	1	35,2	33,2	20	30,5 <sup>e</sup>	160
12+680- 13+020	G12-008	12+820	Slutet	Fr	$1 \times 10^{-6}$	3,3	15,1	5,8	10	8,2	110
14+660– 14+700	G14-006	14+680	Slutet	Fr	$1 \times 10^{-6}$	4	29,2	24,2	8	23,5 <sup>e</sup>	80

<sup>a</sup> Provisoriskt stickspår mellan U1 och U2 inklusive växel

<sup>b</sup> Nytt spår U3 och befintligt spår U1 inklusive växel

<sup>c</sup> Nytt spår N3

<sup>d</sup> Omläggning av E4

<sup>e</sup> Dränerande nivå är lägre än nivå ovkant vattenförande friktionsjord

### 5.5.3 VA-anläggningar

I Tabell 5-30 och Tabell 5-31 redovisas beräkningsförutsättningar samt resulterande påverkansavstånd för tillfällig respektive permanent grundvattenbortledning från VA-anläggningar såsom fördröjnings- och brandvattenmagasin.

Tabell 5-30. Sammanställning av antagna beräkningsförutsättningar och beräknat påverkansavstånd för VA-anläggningar i byggskede.

Objekt	VV-ID	Sektion (km)	Mag.för-hållanden	Jord-art	K (m/s)	Magasins-mäktighet (m)	Gv.nivå (RH2000)	UK magasin (RH2000)	Schakt-radie (m)	Drän.-nivå (RH2000)	Påverkans-avstånd (m)
Fördr. magasin	G8-004	8+900	Öppet	Ti	$1 \times 10^{-6}$	-	32,5	23,5	16,7	29,87	60
Fördr. magasin	G9-002	9+775	Slutet	Fr	$1 \times 10^{-5}$	6,06	26,9	17,0	16,2	25,3	50
Fördr. magasin	G13-004	13+967	Öppet	Ti	$1 \times 10^{-6}$	-	14,7	10	9,3	13	30
Brandvattenmagasin	G2-011	2+330	Öppet	Berg	$5,7 \times 10^{-8}$	11,2	39,5	29,3	9	30,3	80

Tabell 5-31. Sammanställning av antagna beräkningsförutsättningar och beräknat påverkansavstånd för VA-anläggningar i driftskede.

Objekt	VV-ID	Sektion (km)	Mag.för-hållanden	Jord-art	K (m/s)	Magasins-mäktighet (m)	Gv.nivå (RH2000)	UK magasin (RH2000)	Schakt-radie (m)	Drän.-nivå (RH2000)	Påverkans-avstånd (m)
Fördr. magasin	G8-004	8+900	Öppet	Ti	$1 \times 10^{-6}$	-	32,5	23,5	16,7	29,37	60
Fördr. magasin	G13-004	13+967	Öppet	Ti	$1 \times 10^{-6}$	-	14,7	10	9,3	12,5	30

### 5.5.4 Processvattenbrunnar

I Tabell 5-32 redovisas beräkningsförutsättningar samt resulterande påverkansavstånd för tillfällig grundvattenbortledning i byggskedet i samband med grundvattenuttag i processvattenbrunnar.

Tabell 5-32. Sammanställning av antagna beräkningsförutsättningar och beräknat påverkansavstånd för processvattenbrunnar.

Objekt	VV-ID	Sektion (km)	Grundvattenbildning (berg) (mm/år)	Planerat uttag (l/h)	Påverkans-avstånd (m)
Processvattenbrunn	G2-010	2+300	50	2 100	340

### 5.5.5 Skärningar för järnvägsanläggningen

I Tabell 5-33 redovisas beräkningsförutsättningar samt resulterande påverkansavstånd för permanent grundvattengrundvattenbortledning längs sträckor där järnvägens dränerande nivå är belägen under grundvattenytan<sup>1</sup>. I de fall läge för N- och U-spår är olika särskiljs detta i nedan tabell, annars redogörs för spåren gemensamt. Notera att sektioner som påverkansområden beräknats för inte alltid omfattar hela sträckan som anges i "Skärning" i tabellen. Detta eftersom en sträcka kan gå i skärning utan att hela sträckans dränerande nivå är belägen under bedömd grundvattennivå.

Tabell 5-33. Sammanställning av antagna beräkningsförutsättningar och beräknat påverkansavstånd för permanent grundvattensänkning där järnvägens dränerande nivå är under grundvattenytan.

Skärning (Start km till slut km)	VV-ID	Spår och sektion (km)	Jord- art	Hydraulisk konduktivitet (m/s)	Grund- vattennivå (RH2000)	Underkant grundvatten- magasin (RH2000)	Dränerande nivå (RH2000)	Påverkans- avstånd (m)
1+510– 1+710	G1-004	U-spår 1+550	Berg	$5,7 \times 10^{-8}$	44,2	35,5 (Bergschakt)	36,5 (Drän- ledning)	30
		U-spår 1+650	Berg	$5,7 \times 10^{-8}$	50,4	36,4 (Bergschakt)	37,4 (Drän- ledning)	50
1+850– 1+1010/ 2+010	G1-003	U-spår 1+900	Berg	$5,7 \times 10^{-8}$	47,7	36,8 (Bergschakt)	37,8	40
		U-spår 1+950	Berg	$5,7 \times 10^{-8}$	49,5	36,6 (Bergschakt)	37,6	50
2+280– 2+384	G2-005	U-spår 2+300	Cl/Berg	$1,0 \times 10^{-9}/$ $5,7 \times 10^{-8}$	37,3	33,0 & 31,7 (Bergschakt)	31,3	10 (Jord) 10 (Berg)
1+290– 1+710	G1-010	N-spår 1+350	Berg	$5,7 \times 10^{-8}$	38,8	33,5 (Bergschakt)	34,5	10
	G1-012	N-spår 1+450	Berg	$5,7 \times 10^{-8}$	43,7	34,5 (Bergschakt)	35,5	30
		N-spår 1+550	Berg	$5,7 \times 10^{-8}$	50,8	35,4 (Bergschakt)	36,4	60
		N-spår 1+650	Berg	$5,7 \times 10^{-8}$	50,7	36,3 (Bergschakt)	37,3	60
1+850– 2+010	G1-003	1+900	Berg	$5,7 \times 10^{-8}$	54,8	36,7 (Bergschakt)	37,7	70
		1+950	Berg	$5,7 \times 10^{-8}$	49	36,5 (Bergschakt)	37,5	50
6+620– 6+910	G6-001	6+700	Berg	$5,7 \times 10^{-8}$	42,4	29,0 (Bergschakt)	30	50
		6+800	Berg	$5,7 \times 10^{-8}$	52,8	30,2 (Bergschakt)	31,2	100
		6+900	Ti	$1,0 \times 10^{-6}$	36,5	31,5	32,0 (Drän- ledning)	40

<sup>1</sup> Undantaget är beräkningar sektion i km 12+600 samt två beräkningar i sektion km 12+650 där beräknat påverkansområde tillhör byggskedet. En tätskärm föreslås kring schakt för betongtråg (km 12+550 - 12+680) vilket kommer att minska inläckaget. I en beräkning i sektion km 12+650 återskapas detta genom att avståndet mellan  $h_1$  och  $h_2$  minskas till 1 m, dvs dränerandenivån justeras.

Skärning (Start km till slut km)	VV-ID	Spår och sektion (km)	Jord- art	Hydraulisk konduktivitet (m/s)	Grund- vattennivå (RH2000)	Underkant grundvatten- magasin (RH2000)	Dränerande nivå (RH2000)	Påverkans- avstånd (m)
7+500 - 7+820	G7-004	7+500	Ti/Berg	$1,0 \times 10^{-6} /$ $5,7 \times 10^{-8}$	43,6	41,9 & 36,9 (Bergschakt)	37,9	10 (Jord) 20 (Berg)
		7+600	Ti/Berg	$1,0 \times 10^{-6} /$ $5,7 \times 10^{-8}$	42,3	39,9 & 37,8 (Bergschakt)	38,8	20 (Jord) 10 (Berg)
		7+700	Ti	$1,0 \times 10^{-6}$	44	36	39,8	60
8+330 - 8+930	G8-005	8+350	Berg	$5,7 \times 10^{-8}$	45,1	37,9 (Bergschakt)	38,9	20
		8+450	Berg	$5,7 \times 10^{-8}$	43,7	37,0 (Bergschakt)	38	20
		8+550	Berg	$5,7 \times 10^{-8}$	43,2	36,1 (Bergschakt)	37,1	20
		8+650	Berg	$5,7 \times 10^{-8}$	39,1	35,2 (Bergschakt)	36,2	10
		8+750	Berg	$5,7 \times 10^{-8}$	41,2	34,3 (Bergschakt)	35,3	20
		8+850	Berg	$5,7 \times 10^{-8}$	42,2	33,4 (Bergschakt)	34,4	30
9+830- 10+170	G9-004	9+900	Berg	$5,7 \times 10^{-8}$	39,4	31,7 (Bergschakt)	32,7	30
		9+950	Berg	$5,7 \times 10^{-8}$	40,7	32,4 (Bergschakt)	33,4	30
		10+000	Ti/Berg	$1,0 \times 10^{-6} /$ $5,7 \times 10^{-8}$	36,8	35,8 & 33,2 (Bergschakt)	34,2	10 (Jord) 10 (Berg)
		10+150	Berg	$5,7 \times 10^{-8}$	40,6	36,2 (Bergschakt)	37,2	10
10+470- 10+850	G10-004	10+500	Berg	$5,7 \times 10^{-8}$	47,7	43,3 (Bergschakt)	44,3	10
		10+600	Berg	$5,7 \times 10^{-8}$	54,6	44,8 (Bergschakt)	45,8	30
		10+700	Berg	$5,7 \times 10^{-8}$	56,2	45,8 (Bergschakt)	46,8	40
		10+800	Berg	$5,7 \times 10^{-8}$	49,9	46,4 (Bergschakt)	47,4	10
11+030- 11+150	G11-008	11+100	Berg	$5,7 \times 10^{-8}$	55,1	45,6 (Bergschakt)	46,6	30
11+260- 11+590	G11-001	11+300	Berg	$5,7 \times 10^{-8}$	54,6	42,9	43,9	40
		11+400	Berg	$5,7 \times 10^{-8}$	50,7	40,9	41,9	30
		11+500	Ti/Berg	$1,0 \times 10^{-6} /$ $5,7 \times 10^{-8}$	48,4	46,9 & 38,5 (Bergschakt)	39,5	10 (Jord) 30 (Berg)
11+680- 12+370	G11-003	11+800	Berg	$5,7 \times 10^{-8}$	42,6	31 (Bergschakt)	32	40

Skärning (Start km till slut km)	VV-ID	Spår och sektion (km)	Jord- art	Hydraulisk konduktivitet (m/s)	Grund- vattennivå (RH2000)	Underkant grundvatten- magasin (RH2000)	Dränerande nivå (RH2000)	Påverkans- avstånd (m)
		11+900	Berg	$5,7 \times 10^{-8}$	42,5	28,5 (Bergschakt)	29,5	50
		12+000	Berg	$5,7 \times 10^{-8}$	40,4	26,0 (Bergschakt)	27	50
		12+100	Berg	$5,7 \times 10^{-8}$	38,3	23,5 (Bergschakt)	24,5	60
		12+200	Fr/Berg	$1,0 \times 10^{-5}/$ $5,7 \times 10^{-8}$	26,3	24,3 & 21,0 (Bergschakt)	22	40 (Jord) 10 (Berg)
12+470– 13+020	G12-008	12+600*	Ti/Berg	$1,0 \times 10^{-5}/$ $5,7 \times 10^{-8}$	17	15,7 & 13,1 (Bergschakt)	14,1	20 (Jord)* 10 (Berg)*
		12+650*	Ti	$1,0 \times 10^{-5}$	17	13,5	13,5	80*
		12+650**/**	Ti	$1,0 \times 10^{-5}$	17	13,5	16	40**/**
		12+700	Berg	$5,7 \times 10^{-8}$	22,5	12 (Bergschakt)	13	40
		12+800	Ti/Berg	$1,0 \times 10^{-5}/$ $5,7 \times 10^{-8}$	20,5	19,0 & 11,1 (Bergschakt)	12,1	10 (Jord) 30 (Berg)
		12+900	Si/Le	$1,0 \times 10^{-8}$	12,9	2	11,7	10
13+970– 14+021	G13-005	14+000	Si/Berg	$1,0 \times 10^{-8} /$ $5,7 \times 10^{-8}$	30	29,1 & 19,6 (Bergschakt)	20,6	1 (Jord) 40 (Berg)
14+183– 14+440	G14-004	14+200	Ti/Berg	$1,0 \times 10^{-6} /$ $5,7 \times 10^{-8}$	36,1	35,6 & 21,8 (Bergschakt)	22,8	1 (Jord) 50 (Berg)
		14+400	Berg	$5,7 \times 10^{-8}$	36	23,8 (Bergschakt)	24,8	40

\*Beräknat påverkansavstånd för byggskede utan tätskärm

\*\* Beräknat påverkansavstånd för byggskede med tätskärm.

\*\*\* Beräknat påverkansavstånd för driftskede i händelse av tvärtätning och tät återfyllnad ej fungerar ändamålsenligt

### 5.5.6 Skärningar för vägar

I Tabell 5-34 redovisas beräkningsförutsättningar samt resulterande påverkansavstånd för permanent grundvattenbortledning för vägsärningar där dränerande nivå är under grundvattenytan.

Tabell 5-34. Sammanställning av antagna beräkningsförutsättningar och beräknat påverkansavstånd för permanent grundvattensänkning där vägnas dränerande nivå är under grundvattenytan.

Väg	VV-ID	X	Y	Jord-art	K (m/s)	Gv-nivå (RH2000)	Underkant gv-magasin (RH2000)	Dränerande nivå (RH2000)	Sträcka under gv-nivå (m)	Påverkans-avstånd (m)
Väg väster om spår, 0+000	G0-008	127913	6556550	Ti	$1,0 \times 10^{-6}$	46,3	39,9	40,9	70+60	60
Väg öster om spår, 0+000	G0-008	128119	6556374	Ti	$1,0 \times 10^{-6}$	58,6	50,8	51,8	240	70
Väg öster om spår, 0+700	G0-007	127233	6555484	Ti	$1,0 \times 10^{-6}$	37,2	35,2	36,2	55	10
Väg öster om spår, 1+800	G1-006	126948	6554582	Ti	$1,0 \times 10^{-6}$	40,0	36,4	37,4	60	30
Väg väster om spår, 2+000	G1-011	126656	6554429	Ti	$1,0 \times 10^{-6}$	41,5	38,3	39,3	80	20
Väg öster om spår, 3+900	G3-006	126900	6552455	Ti	$1,0 \times 10^{-6}$	15,0	11,3	12,3	50	30
Väg öster om spår, 10+500	G10-009	124924	6546279	Si/Cl	$1,0 \times 10^{-6}$	37,9	35,6	36,6	55	10
Väg väster om spår, 14+000	G14-002	123514	6542896	Ti	$1,0 \times 10^{-6}$	30,8	23,6	24,6	90	70
Väg väster om spår, 14+500	G14-003	123413	6542521	Ti	$1,0 \times 10^{-6}$	41,2	38,3	39,3	65	20



Projektnamn	Skapat av (Leverantör)	Godkänt datum	Rev Datum
Ostlänken	Johanna Engelbrektsson, Jonas Pedersen, Alexander Hansen, Linda Jalava, Daniel Erdal	2023-04-27	-
Ärendenummer	Granskat av (Leverantör)	Sidor	Version
TRV 2019/65709	Mattias Fredin Godkänt av (Leverantör) Henrik Tham	73(91)	_.3

## 6 Diskussion

### 6.1.1 Påverkansområde

#### 6.1.1.1 Numeriska beräkningar

##### *Bergtunnlar/Djupa schakt*

Numerisk tvådimensionell modellering har utförts för att beräkna påverkansområden vid bergtunnlar och djupa schakt. De tvådimensionella modellerna utgör en konceptualisering av verkligheten. Trots att de tar hänsyn till platsspecifika förhållanden ska resultaten som erhålls alltid tolkas med viss försiktighet, eftersom alla förutsättningar aldrig inryms i en modell.

Den troligtvis största osäkerheten är påverkan från de grundvattenflöden inom modellområdet som sker vinkelrätt in mot upprättade modellsektioner, och som därmed inte kan fångas upp i de tvådimensionella modellerna. I princip måste all grundvattenmodellering som utförs i två dimensioner göras i grundvattnets flödesriktning. I fallen med en järnvägsanläggning i form av en schakt eller tunnel inlagd i modellen är detta antagande oftast korrekt, eftersom grundvattenflödet då sker in mot anläggningen. För befintliga förhållanden, som utgör utgångsvärdet vid jämförande beräkningar av påverkansområde, kan dock denna förutsättning antas uppfyllas olika väl för olika modellerade anläggningsdelar och enskilda sektioner. Längs det södra påslaget till Gerstabergstunneln sker exempelvis det naturliga grundvattenflödet huvudsakligen vinkelrätt in mot upprättade modellsektioner. För att ta höjd för vissa av de oväntade eller okända flödena har modellerna generellt satts upp för att hellre överskatta än underskatta inflöden, till exempel genom att ansätta högre konduktivitetsvärden och hellre överskatta än underskatta randvillkoren. Dessutom har flertalet modeller en dräneringsrand strax under markytan för att reglera grundvattenytan. Denna rand kompenserar för utflöde ur modellen i vinkel mot sektionen, samt, där så antas finnas, faktisk markdränering.

Avseende kalibrering ska det noteras att en modell i två dimensioner endast grovt kan kalibreras till nuvarande situation. Vid utförd modellering av djupa schakt har modellerna kalibrerats mot tillgängliga observationer av grundvattennivåer, främst genom att modellens ränder har justerats för att ge en trolig grundvattennivå vid schakt. Detta ger ett mer subjektivt resultat än vid till exempel automatisk kalibrering av en tredimensionell modell, som kan i viss utsträckning kan påverka slutresultatet. I modeller för förekommande bergtunnlar har ingen kalibrering utförts gentemot uppmätta grundvattennivåer. Detta på grund av begränsad tillgång på mätpunkter/mätdata att kalibrera mot. Grundmodellerna är dock upprättade så att opåverkad grundvattennivå är relativt marknära för att inte underskatta avsänkningen. Undantaget är området närmst Edebytunnlarna, där skärningen längs befintlig E4 redan antas medföra en avsänkt grundvattenyta.

Även den tvådimensionella modellen själv skulle kunna vara begränsande för utbredningen av påverkan genom att resultat utgår från en enskild beräkningssektion, och därmed inte tar hänsyn till påverkan från schakt/tunnel som helhet. Å andra sidan kan påverkansområdet också tänkas bli mindre när hänsyn tas till tredimensionella effekter som exempelvis vattenförande sprickzoner eller andra flöden som korsar modellen i vinkel genom att de verkar som trösklar eller hydrauliska ränder.

För att ta höjd för ovan beskrivna osäkerheter i modellering av påverkansområden kring bergtunnlar, samt erhålla konservativa resultat, har 0,3 meters avsänkning valts som gräns vid utläsning påverkansavstånd från modeller, vilket sedermera utgör ett av flera underlag i den slutliga bedömningen av påverkansområden som redovisas i Bilaga D.2.1.

Redovisade modellresultat motsvarar för bergtunnlar stationära förhållanden, vilket innebär att påverkansområdets utbredning troligtvis är mindre innan stationära förhållanden uppnåtts (exempelvis i byggskedet). För djupa schakt har en transient modell använts och resultatet har lästs ut efter en simuleringstid på 3 år.

De påverkansavstånd som beräknats längs bergtunnlar avser en avsänkt grundvattenyta (gäller både analytiska och numeriska beräkningar). I praktiken kan stora skillnader uppstå mellan avsänkt grundvattenyta i jord/berg och

Projektnamn	Skapat av (Leverantör)	Godkänt datum	Rev Datum
Ostlänken	Johanna Engelbretsson, Jonas Pedersen, Alexander Hansen, Linda Jalava, Daniel Erdal	2023-04-27	-
Ärendenummer	Granskat av (Leverantör)	Sidor	Version
TRV 2019/65709	Mattias Fredin Godkänt av (Leverantör) Henrik Tham	74(91)	_.3

avsänkt trycknivå i djupare berg. Exempelvis kan grundvattnets trycknivå i berg närmst utanför en djupt belägen bergtunnel komma att sänkas av betydligt mer än grundvattenytan uppmätt närmre markytan. Detta under förutsättning att vattenförande sprickor i berg kring tunnelröret dräneras, samtidigt som det finns ett hydrauliskt motstånd för grundvattenflöde på vägen mot det yttligare grundvattensystemet. I redovisat påverkansområde framgår inte sådana skillnader, men vid bedömningar av påverkan på enskilda riskexponerade objekt (se ansökans bilaga D.2.1 *PM Yt- och grundvatten*), såsom bergborrade brunnar, har detta beaktats.

Avseende indata ska det noteras att sonderingsinformation ofta saknas på ett avstånd ca 50 m från planerad järnvägslinje, varför osäkerheten i modellerna ökar med distansen från spårinjen. Modellerna har därför, som tidigare nämnts, byggts upp med ett konservativt angreppssätt avseende hydrogeologiska förutsättningar. Ansatta värden på exempelvis hydraulisk konduktivitet och mäktighet av jordlager är i den högre delen av intervallen för att inte underskatta påverkansområdets möjliga utbredning.

Sammanfattningsvis finns osäkerheter kopplat till modellresultat som är viktiga att vara medveten om, men också viktig information gällande potentiella naturliga trösklar/ränder för utbredningen av påverkan. Redovisade beräkningsresultat ska därför inte ses som en sanning, utan som ett kvalificerat stöd vid bedömningar av påverkan tillsammans med uppgifter från känslighetsanalyser, hydrogeologiska förutsättningar och tidigare erfarenheter.

### 6.1.1.2 Analytiska beräkningar

#### *Bergtunnlar*

Utförda analytiska beräkningar av påverkansområden för bergtunnlar grundar sig på en empirisk formel som kopplar till vattentrycket ovan tunnel. Att vattentrycket är konstant innebär att grundvattenbildningen antas vara obegränsad, vilket stämmer mindre bra för planerade bergtunnlar, och kan innebära att beräknade påverkansavstånd underskattas. Ekvationen är bäst lämpad för tunnlar som passerar under områden med stora och uthålliga grundvattenmagasin, där antagandet stämmer bättre. Beräkningen tar ingen specifik hänsyn till andra faktorer som kan vara av stor betydelse för utbredningen av påverkansområdet, som till exempel bergets vattengenomsläpplighet. Mot bakgrund av beräkningsmetodens enkelhet och antaganden bör resultaten tolkas med försiktighet. De analytiska beräkningarna har primärt utförts som inledande överslagsberäkningar, men resultaten har även kunnat användas vid rimlighetsbedömningar av, samt komplement till, utförda numeriska beräkningar.

#### *Övriga anläggningsdelar*

Utförda analytiska beräkningar förutsätter radiella flöden, homogena förhållanden samt en oändlig magasinutbredning. Dessa antaganden stämmer sällan med de faktiska platspecifika förhållandena. Av denna anledning är det värt att nämna att beräknade påverkansavstånd i många fall enbart ger en grov uppskattning av den påverkan som faktiskt uppstår i samband med att grundvattennivån sänks. Utifrån att konservativa beräkningsantaganden genomgående tillämpats bedöms utförda beräkningar ändå utgöra ett tillförlitligt underlag för bedömning av utbredning.

De parametrar som generellt är styrande i utförda analytiska beräkningar är grundvattenbildning och hydraulisk konduktivitet. Genom att ansätta dessa parametrar konservativt (det vill säga lägre grundvattenbildning och högre hydraulisk konduktivitet) ges över lag konservativa beräkningsresultat att utgå ifrån vid senare tolkningar av påverkansområdets utbredning.

Vid tolkningen av påverkansområden i plan har gränsen dragits ungefär ut till beräknat avstånd från schakt i de fall en negativ hydraulisk rand inte nåts inom detta avstånd. Om däremot en negativ hydraulisk rand nåts har påverkansområdet i stället avgränsats av denna. Hänsyn har tagits till förekommande riskexponerade objekt, för att hellre inkludera än exkludera sådana.

Tillämpat värde för grundvattenbildning till slutna magasin är något högre ansatt än vad litteraturvärden anger. Värdet är valt delvis mot bakgrund av att planerad grundvattenbortledning generellt är belägen i nära anslutning till randområden med större grundvattenbildning, som därigenom kan komma magasinet till godo. För områden med större lermäktigheter belägna på större avstånd ifrån randområden (såsom exempelvis centrala delar av

Projektnamn	Skapat av (Leverantör)	Godkänt datum	Rev Datum
Ostlänken	Johanna Engelbrektsson, Jonas Pedersen, Alexander Hansen, Linda Jalava, Daniel Erdal	2023-04-27	-
Ärendenummer	Granskat av (Leverantör)	Sidor	Version
TRV 2019/65709	Mattias Fredin Godkänt av (Leverantör) Henrik Tham	75(91)	_.3

grundvattenmagasin Gerstaberget, grundvattenmagasin Järna samt området vid Skillebyån) stämmer det gjorda antagandet potentiellt sämre. Vid tolkning av påverkansområdets utbredning i plan har därför särskild hänsyn tagits för att kompensera för det något höga värdet på grundvattenbildning.

Många av tillämpade ekvationer är avsedda för att gälla under stationära förhållanden. För flertalet anläggningsdelar med enbart temporär grundvattenpåverkan hinner stationära förhållanden sannolikt inte utbildas, vilket innebär att påverkansområdet för sådana anläggningsdelar potentiellt kan ha överskattats i utförda beräkningar.

Beräknat påverkansområde för processvattenuttag i anslutning till Gerstabergetstunnelns norra påslag bedöms vara tillräckligt väl tilltaget för att medge fri placering av brunnar inom arbetsområdet. Detta mot bakgrund av att påverkansområdet beräknats med en vattenbalans som innebär att hela det område som teoretiskt sett kan bidra med vatten till brunnarna utgör påverkansområdet. Påverkansområdet är alltså avgränsat ut till 0 meters avsänkning, i stället för till 0,3 meter (i jord), som i övriga analytiska beräkningar av påverkansområden. Vid avgränsningen av påverkansområde i plan har det vidare antagits att uttaget kan komma att ske från valfri punkt längs berört arbetsområdes yttre gränser. Trots att området är väl tilltaget när det inte ut till det befintliga järnvägsspåret öster om brunnsområdet.

## 6.1.2 Inläckage

### 6.1.2.1 Numeriska beräkningar

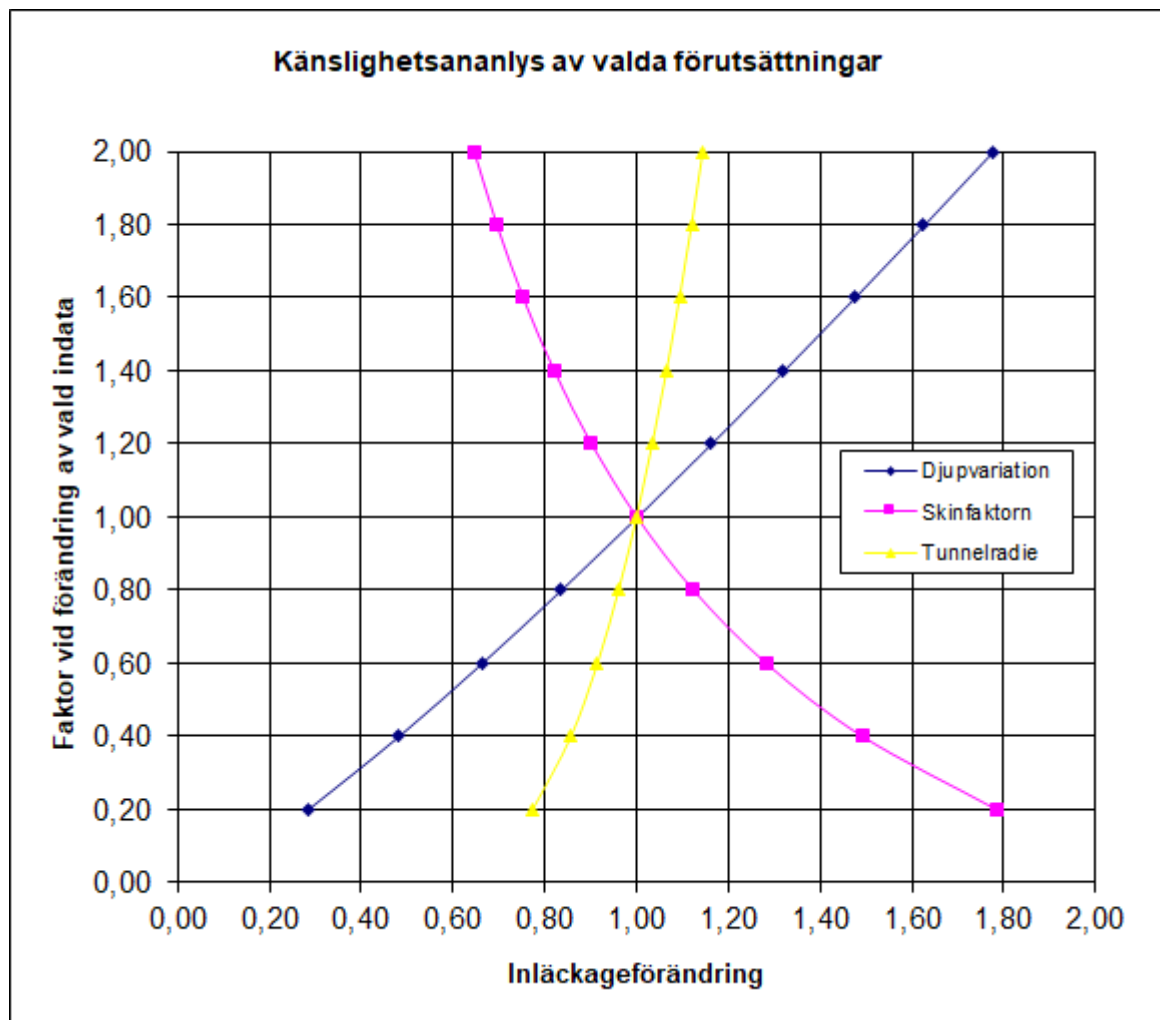
Avseende numeriska inläckageberäkningar gäller i stort samma diskussion/resonemang som för de numeriska påverkansområdesberäkningarna, se kapitel 6.1.1.1.

### 6.1.2.2 Analytiska beräkningar

#### *Typinläckage*

Utförda beräkningar av inläckage till bergtunnlar bygger på en analytisk beräkningsmodell som beskriver en förenkling av verkligheten. Genom att ansätta ingående parametrar utifrån ett konservativt förhållningssätt kan dock risken att underskatta tunnlaras grundvattenpåverkan begränsas.

En enklare känslighetsanalys, som visar hur typinläckaget till en bergtunnel påverkas vid en förändring av vald indata för olika parametrar, redovisas i Figur 6-1.



Figur 6-1. Känslighetsanalys av valda förutsättningar vid beräkning av typinläckage till bergtunnlar.

Nedan följer resonemang kring gjorda antaganden, dess rimlighet och påverkan på slutresultatet.

#### Hydraulisk konduktivitet

Osäkerheterna kopplat till bergets hydrauliska egenskaper i detalj kan betraktas som relativt stor och finns i flera led, från vattenförlustmätningar i fält till teoretiska antaganden vid tolkning och bearbetning av resultat.

Vattenförlustmätningar, som primärt legat till grund för bedömning av bergmassans storskaliga genomsläpplighet, ger i allmänhet högupplöst information för den undersökta delen av bergmassan. Över lag har vattenförlustmätningar utförts i ett fåtal punkter som generellt är belägna i anslutning till förmodat sämre berg. Resultaten har sedan fått representera bergets genomsläpplighet även i mellanliggande områden, där bergkvaliteten generellt kan förväntas vara bättre, vilket ger konservativa beräkningsförutsättningar. Vidare har, i de fall det utförts flera vattenförlustmätningar inom en och samma delsträcka längs tunneln, resultat från den mätning som gav det mest vattenförande berget tillämpats i beräkningar, vilket också bidrar till konservativa beräkningsförutsättningar. I de fall representativ data från fältundersökningar bedömts saknas för en delsträcka längs en bergtunnel har värden avseende bergets hydrauliska konduktivitet i stället valts utifrån utförd brunnsanalys. Erhållna värden från brunnsanalysen är antingen högre eller i samma storleksordning som värden

Projektnamn	Skapat av (Leverantör)	Godkänt datum	Rev Datum
Ostlänken	Johanna Engelbrektsson, Jonas Pedersen, Alexander Hansen, Linda Jalava, Daniel Erdal	2023-04-27	-
Ärendenummer	Granskat av (Leverantör)	Sidor	Version
TRV 2019/65709	Mattias Fredin Godkänt av (Leverantör) Henrik Tham	77(91)	_.3

från vattenförlustmätningar längs närbelägna delsträckor, vilket innebär att konservativa antaganden gjorts i områden där brist på representativ data från utförda fältundersökningar föreligger.

Genom att bergets genomsläpplighet i praktiken inte kommer att vara konstant inom en och samma delsträcka kommer variationer i inläckagets storlek finnas, vilka inte återges av utförda beräkningar av typinläckage.

Den skaljustering som gjorts avseende hydraulisk konduktivitet se kapitel 3.1.2.3 innebär visserligen att ett lägre värde än beräknat aritmetiskt medelvärde tillämpas, men detta bedöms samtidigt som högst rimlig med hänsyn till den storskaliga tillämpningen i fråga.

### *Skinfaktor*

Den lågt ansatta skinfaktorn (1) för normalberg medför att beräkningar av typinläckage utgår ifrån att berget är av genomsläpplig typ. Siffran är troligtvis överskattad, dels utifrån det faktum att berget i allmänhet sannolikt är av bättre kvalitet än vad som antagits, dels för att mindre sprickor i berget med hänsyn till bergart, mineralinnehåll, grundvattnets egenskaper och sammansättning kan "självläka" och tätas med tiden.

Som illustreras i Figur 6-1 påverkas inläckageberäkningarna relativt mycket av valet av skinfaktorns storlek.

### *Tunnelradie*

I utförda beräkningar har den ekvivalenta tunnelradien ansatts till 7 meter, vilket motsvarar en total tvärsnittsarea om 154 m<sup>2</sup>. Huvudspårtunneln är projekterad med en total tvärsnittsarea om 120 m<sup>2</sup>, medan servicetunneln, som löper parallellt med Gerstabergrstunnelns spårtunnel, är projekterad med en tvärsnittsarea om 34 m<sup>2</sup>. Det i beräkningarna tillämpade tvärsnittet motsvarar således projekterad anläggning i Gerstabergrstunnelns fall, samt är något större än projekterat tunneltvärsnitt i Edebyttunnlarnas fall (där servicetunnel saknas).

Eventuellt tillkommande inläckage till exempelvis tvärtunnlar, teknikutrymmen med mera bedöms inrymmas i utförda beräkningar utifrån de förenklingar och antaganden som gjorts.

Som illustreras i Figur 6-1 har ansatt tunnelradie relativt liten påverkan på det beräknade inläckaget.

### *Grundvattentryck*

Grundvattentrycket ovan tunnel har i utförda beräkningar antagits motsvara avståndet mellan tunnelmitt och markytan genom ansättandet av en typhöjd inom respektive delsträcka längs tunneln. Antagandet om att grundvattennivån motsvarar marknivån är generellt konservativt, men stämmer relativt väl för nuläget (utan tunnel) i områden med marknära grundvattennivåer, samt under de perioder på året då nybildningen av grundvatten är stor.

Genom att grundvattentrycket ovan tunneln i praktiken inte är konstant inom en delsträcka kommer variationer i inläckagets storlek finnas inom de olika delsträckorna. Som illustreras i Figur 6-1 har förändringar i grundvattentrycket stor inverkan på storleken av det beräknade inläckaget. Noterade variationer i grundvattentryck inom de olika delsträckorna längs planerade tunnlar redovisas i Tabell 4-6.

En viktig begränsning som är värd att poängtera kopplat till den analytiska beräkningsmodellen är att den förutsätter en konstant grundvattennivå ovan tunneln, det vill säga att den inte tar hänsyn till eventuellt begränsad mängd tillgängligt vatten. När de planerade bergtunnlarna byggs är det troligt att grundvattennivån ovan dem sänks av (lägre grundvattentryck), vilket i sin tur skulle kunna medföra att inläckagen blir lägre än vad de analytiska beräkningarna visar.

Projektnamn	Skapat av (Leverantör)	Godkänt datum	Rev Datum
Ostlänken	Johanna Engelbrektsson, Jonas Pedersen, Alexander Hansen, Linda Jalava, Daniel Erdal	2023-04-27	-
Ärendenummer	Granskat av (Leverantör)	Sidor	Version
TRV 2019/65709	Mattias Fredin Henrik Tham	78(91)	_.3

## Zoninläckage

Utförda beräkningar av zoninläckage omfattar enbart de zoner, enligt Ingenjörsgelogisk prognos (IP), som verifierats i samband med fältundersökningar (geofysik, lineamentstolkning och/eller kärnkartering av borrhärlar) samt ansetts vara av betydelse för vattentransporten i berget. Detta innebär att övriga potentiella zoner som beskrivs i IP inte omfattas av utförda zoninläckageberäkningar.

Svaghetszoner i berggrunden innehåller generellt en högre sprickfrekvens än omgivande berg. Detta måste dock inte nödvändigtvis innebära att de vattenförande egenskaperna för en zon är större än för omgivande berg (via enskilda sprickor). Omvandling av bergmassan inom eller i anslutning till svaghetszoner, samt olika sprickfyllnader har stor betydelse för hydrogeologiska egenskaper genom att zonernas vattenförande förmåga begränsas.

Vattenförlustmätningar som utförts har visat dels på att det inte förekommer några större vattenförande sprickzoner längs planerade bergtunnlar, dels på att enbart drygt hälften av de undersökta zonerna är mer vattenförande än omgivande berg. Det är alltså lika vanligt att en enskild spricka står för större delen av uppmätt vattenförlust i ett kärnborrhål som att zonen gör det. På tunnelövergripande nivå innebär detta att zoner inte står för en betydande del av den totala vattentransporten i berget, utan att det snarare är enskilda sprickor som styr.

Att urvalet av zoner i utförda beräkningar begränsats till de som verifierats med fältundersökningar bedöms med hänsyn till de konservativa antagandena som gjorts i beräkningar av typinläckage vara av underordnad betydelse. Exempelvis har den effektiva hydrauliska konduktiviteten i beräkningar av typinläckage i huvudsak baserats på vattenförlustmätningar som utförts i anslutning till förmodade svaghetszoner, vilket i praktiken innebär att omgivande berg i det närmaste likställs med zonberg. Inläckage från zoner bedöms därigenom i stor utsträckning redan vara inkluderat i utförda beräkningar av typinläckage. Inläckage från undersökta zoner som påvisats ha en högre vattengenomsläpplighet än omgivande berg har därtill beaktats vid uppskattning av totala inläckage till planerade bergtunnlar.

### 6.1.3 Vattenbalanser

Utförda beräkningar av grundvattenbildning inom upprättade vattenbalansområden baseras på ett flertal antaganden. Sammantaget resulterar antagandena i en grov bedömning av grundvattenbildning tillgänglig för inläckage, vilket behöver beaktas vid tillämpning och värdering av resultat från utförda vattenbalansberäkningar. Exempelvis finns det många olika sätt att bestämma avrinning/grundvattenbildning till olika jordarter, och beroende av valt sätt kan stora skillnader avseende den beräknade grundvattenbildningen förväntas. Tillämpandet av grundvattenbildning till typjordar som gjorts innebär en kraftig förenkling av verkligheten genom att förekommande ytjord delas in i sex huvudgrupper, vilka tilldelas litteraturvärden för grundvattenbildning. I verkligheten varierar jordtyperna och deras vattenförande egenskaper självklart betydligt mer. Huvudgrupperna ska sedan översättas till jordarter som förekommer i SGU:s jordartskarta. Denna kan i sig självt innehålla felaktigheter avseende information om exempelvis olika jordarters utbredning.

Sammantaget finns det faktorer som kan medföra att beräknad grundvattenbildning kan vara något högt skattad, bland annat:

- Antagandet om att magasinens storlek inte utgör en begränsning för grundvattenbildningen stämmer troligtvis inte särskilt väl inom upprättade vattenbalansområden, då större grundvattenmagasin i praktiken saknas och mättnadsgraden kan förväntas öka snabbt i perioder med stor grundvattenbildning. Detta kan innebära att en inte obetydlig andel av beräknad grundvattenbildning i stället avrinner på markytan via dräneringsdiken under ostörda förhållanden. Mest troligt kommer dock grundvattenbildningen i dessa områden ändå att öka under störda förhållanden på bekostnad av den ytliga avrinningen
- Vid beräkning av grundvattenbildning har ingen hänsyn tagits till topografiska förutsättningar. I själva verket påverkar topografin grundvattenbildningen genom att den till exempel minskar i områden med kraftig lutning

Projektnamn	Skapat av (Leverantör)	Godkänt datum	Rev Datum
Ostlänken	Johanna Engelbrektsson, Jonas Pedersen, Alexander Hansen, Linda Jalava, Daniel Erdal	2023-04-27	-
Ärendenummer	Granskat av (Leverantör)	Sidor	Version
TRV 2019/65709	Mattias Fredin Godkänt av (Leverantör) Henrik Tham	79(91)	_.3



- Grundvattenbildningen inom lerområden har ansatts relativt högt i förhållande till litteraturvärden, men bedöms ändå som representativ under påverkade förhållanden som medför ökad grundvattenbildning

Det finns även faktorer som bidrar till att grundvattenbildningen skulle kunna vara något lågt skattad, bland annat:

- Grundvattenbildningen inom moränområden har ansatts relativt lågt i förhållande till litteraturvärden och det faktum att det inom stora delar kommer råda störda förhållanden. Eftersom grundvattenbildning från områden med berg i dagen tolkas som morän påverkas även dessa relativt omfattande arealer inom vattenbalansområdena av antagandet.
- Det har i utförda beräkningarna antagits att torvjordar inte bidrar till grundvattenbildning. I praktiken spelar torvområdets funktion som in- eller utströmningsområden en avgörande stor roll för dess bidrag till grundvattenbildningen. Att torvområden genomgående tolkats som utströmningsområden är ett konservativt antagande och kan för enskilda torvområden vara felaktigt. Vidare kan torvområden som idag utgör utströmningsområden komma att ändras till att i stället bli inströmningsområden. Eftersom torvområdenas andel av de totala arealerna inom upprättade vattenbalansområden är relativt begränsade bedöms antagandet ha liten påverkan på slutresultatet

Det kan även finnas hydrauliska kontakter mellan grundvatten och ytavrinning i diken, vilka kan innebära såväl plus- som minusposter för den totala grundvattenbildningen. I stora vattenbalansområden, som är fallet här, bedöms dock dessa poster över lag ta ut varandra.

Med hänsyn till vattenbalansberäkningens överslagsmässiga natur bedöms ovan upptagna felkällor till utförda uppskattningar av grundvattenbildning vara inom acceptabla gränser.

Vattenbalanser utförs i allmänhet i syfte att studera relationen mellan grundvattenbildning och bortlett grundvatten ur ett längre tidsperspektiv, där naturliga variationer över tid elimineras. Utifrån de resonemang som ges i kapitel 6.1.2.2 avseende att analytiskt beräknade inläckage till bergtunnlar inte tar hänsyn till begränsad tillgång på vatten och därmed kan komma att avta över tid, bedöms vattenbalanser som redovisas i denna PM vara konservativt beräknade.

Projektnamn	Skapat av (Leverantör)	Godkänt datum	Rev Datum
Ostlänken	Johanna Engelbrektsson, Jonas Pedersen, Alexander Hansen, Linda Jalava, Daniel Erdal	2023-04-27	-
Ärendenummer	Granskat av (Leverantör)	Sidor	Version
TRV 2019/65709	Mattias Fredin Godkänt av (Leverantör) Henrik Tham	80(91)	_.3

## 7 Referenser

### Underlag framtaget inom program OLP4

Trafikverket (2023a). Utvärderings-PM Sluttester. OLP4 delen Gerstabergr – Långsjön. OLP4-04-025-41000-0\_0-0042

Trafikverket (2023b). Utvärderings-PM Provpumpning passage E4. OLP4 delen Gerstabergr – Långsjön. OLP4-04-025-41000-0\_0-0043

Trafikverket (2023c). Beräknings-PM K-värden i berg. OLP4 delen Gerstabergr – Långsjön. OLP4-04-025-41000-0\_0-0044

Trafikverket (2021). Teknisk PM Bergteknik 4.0 – Bilaga 3: Utformning av typinjektering. OLP4-17-025-40000-0\_0-0005

### Övriga källhänvisningar

Fetter, C. W. (2001). *Applied Hydrogeology* Fourth Edition, Prantice-Hall. Inc.

Freeze RA, Cherry JA. (1979). *Groundwater*. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N.J. 07632

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

Hvorslev, M.J. (1951). Time Lag and Soil Permeability in Ground-Water Observations, Bull. No. 36, Waterways Exper. Sta. Corps of Engrs, U.S. Army, Vicksburg, Mississippi, s. 1-50.

Rodhe, A., Lindström, G., Rosberg, J. & Pers, C. (2006) Grundvattenbildning i svenska typjordar – översiktlig beräkning med en vattenbalansmodell. . Institutionen för geovetenskap, Uppsala universitet: rapport serie A nr 66.

Ryd, E. (2017) Samband mellan kapacitet vid borrning och transmissivitet i kristallint och sedimentärt berg. Uppsala universitet.

SMHI. Delavrinningsområde, SUBID: 40787, 40813 och 40825. Hämtad 2021-04-20 från:  
<https://vattenwebb.smhi.se/modelarea/>

Stille, H. (2015): Rock grouting – theories and applications. BeFo publication.

Sveriges geologiska undersökning, SGU (2017). *Grundvattenbildning och grundvattentillgång i Sverige*. RR 2017:09. Hämtad från SGU: <http://resource.sgu.se/produkter/regeringsrapporter/2017/RR1709.pdf>

von Brömssen, U. (1968). Grundvattenbildning I geologiskt olika terrängavschnitt: Försök till bestämning av infiltrationskoefficienter, Metod-Teknik-Analys, Stockholm.



Projektnamn	Skapat av (Leverantör)	Godkänt datum	Rev Datum
Ostlänken	Johanna Engelbrektsson, Jonas Pedersen, Alexander Hansen, Linda Jalava, Daniel Erdal	2023-04-27	-
Ärendenummer	Granskat av (Leverantör)	Sidor	Version
TRV 2019/65709	Mattias Fredin Godkänt av (Leverantör) Henrik Tham	81(91)	_.3

## 8 Illustrationer av sektioner (SEEP/W)

I följande kapitel redovisas illustrationer av modelldomäner som de är modellerade i SEEP/W för bergtunnlar och djupa jord-bergschakt.

I illustrationerna för bergtunnlarna visas grundvattenytan i opåverkat läge som tunna blå streckade linjer, och efter det att stabilt läge uppnåtts med tunnel som tjocka streckade linjer. Alla illustrationer av sektioner är separerade i tre delar, där den övre visar området närmast tunneln, den undre hela sektionen och den mittersta ett mellanläge. För bergtunnlar är alla illustrationer gjorda för det fall (enligt utförda känslighetsanalyser) där bergets genomsläpplighet ansatts till den effektiva hydrauliska konduktiviteten inom berörd delsträcka längs tunneln och grundvattenbildningen ansatts till 50 mm/år. För illustrationer av bergtunnlar motsvarar höger i figuren öster ut och vänster åt väster.

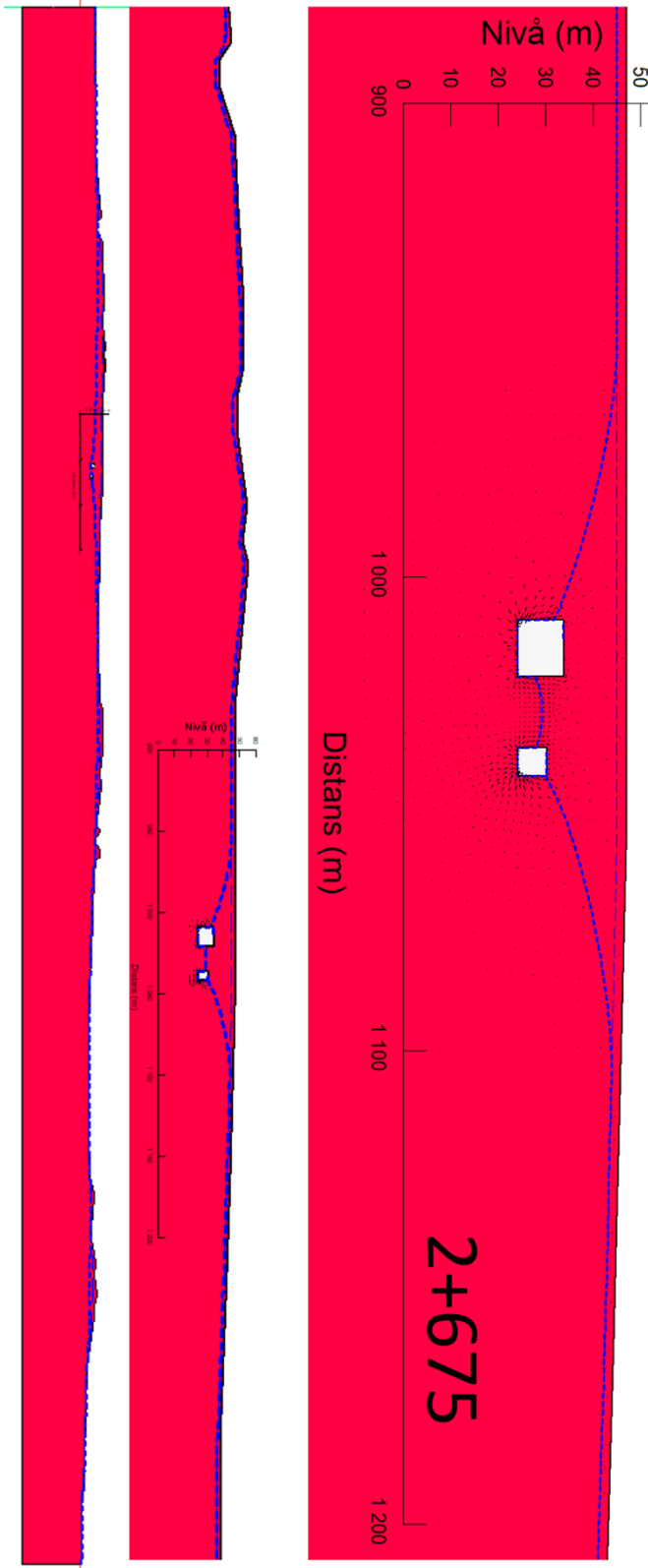
I illustrationerna för djupa jord-bergschakt visas grundvattenytan efter tre år som tjocka streckade linjer, medan den modellerade originalytan utan schakt visas som tunna streckade linjer. Observera att förändring av grundvattenytans läge inte är samma som tryckavsänkning i friktionsjorden och det som redovisas som påverkansavstånd i kapitel 5.2.1 och 5.3.1. Figurerna visas för fallet med en hydrogeologiskt tät spont, som dock inte sluter tätt mot underliggande berg, (V1) som beskrivs i kapitel 4.1.1.1. För driftskedet med en planerad tid på 120 år ses inga skillnader mot de presenterade resultatet för 3 år.

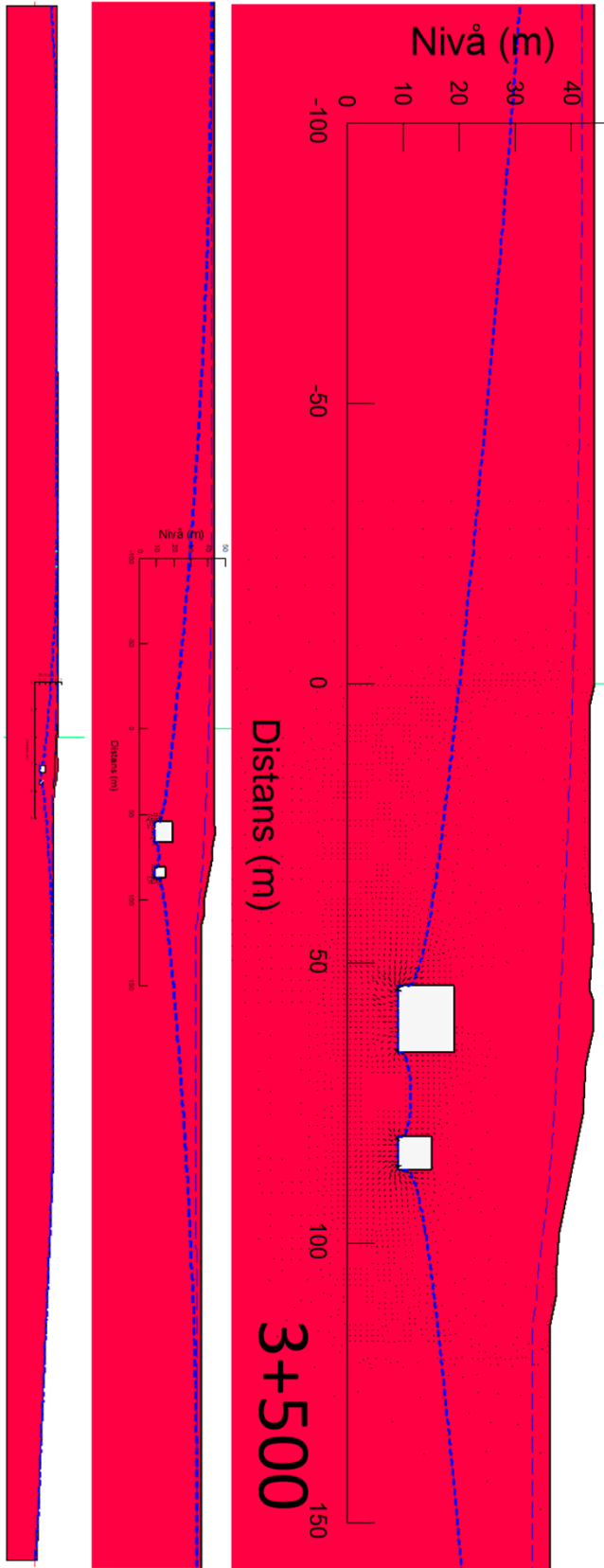
Alla illustrationer av djupa jord-bergschakt är separerade i två delar för att få bättre plats i A4-formatet. Noteras bör att de två delarna inte nödvändigtvis är i samma skala även om de visar samma domän. Illustrationernas orientering framgår av figurerna.

I västra delen av sektion vid km 3+900 sjunker grundvattenytan initialt, för att sedan återhämta sig snabbt när friktionsjorden går djupt, men sedan sjunka igen när jorden åter går ytligare. Återhämtningen i mitten kommer sig av grundvattenbildningen i leran, och har ett typiskt utseende för en grundvattenyta med infiltration mellan två lägre tryckpunkter. Då detta är en tolkning i 2D av ett tredimensionellt system, ska denna återhämtning tolkas med viss försiktighet.



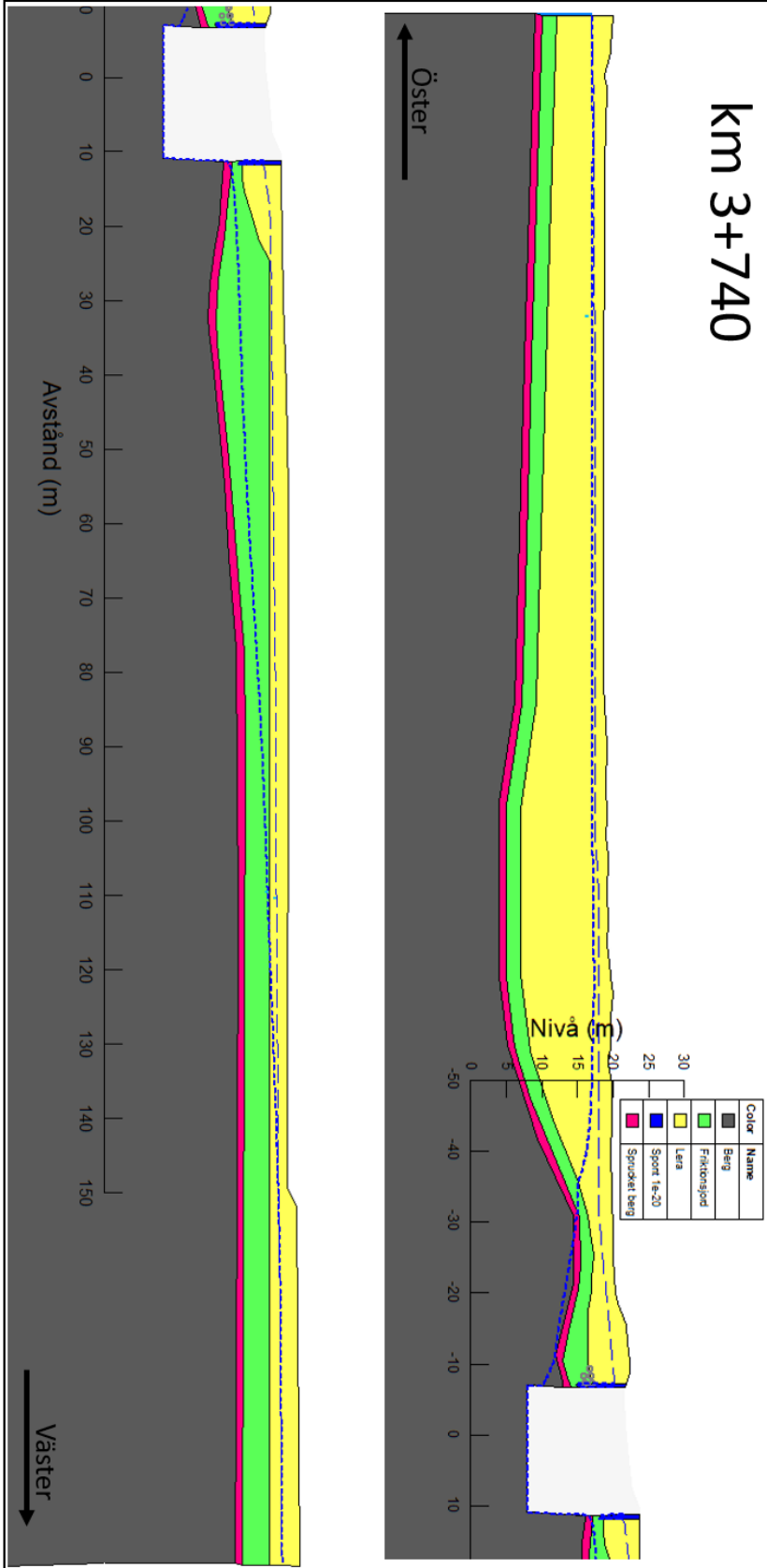
## 8.1 Gerstabergrstunneln

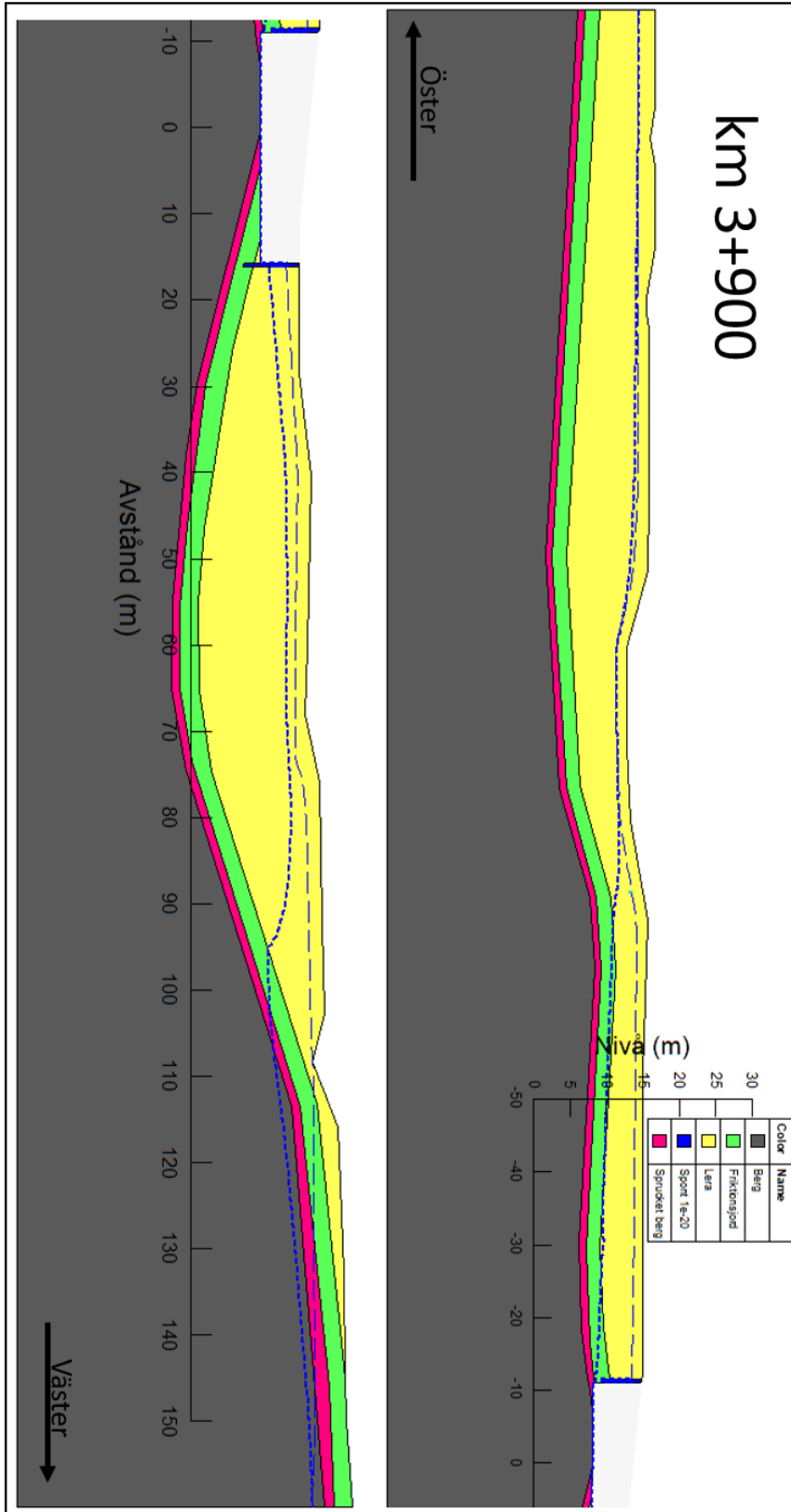




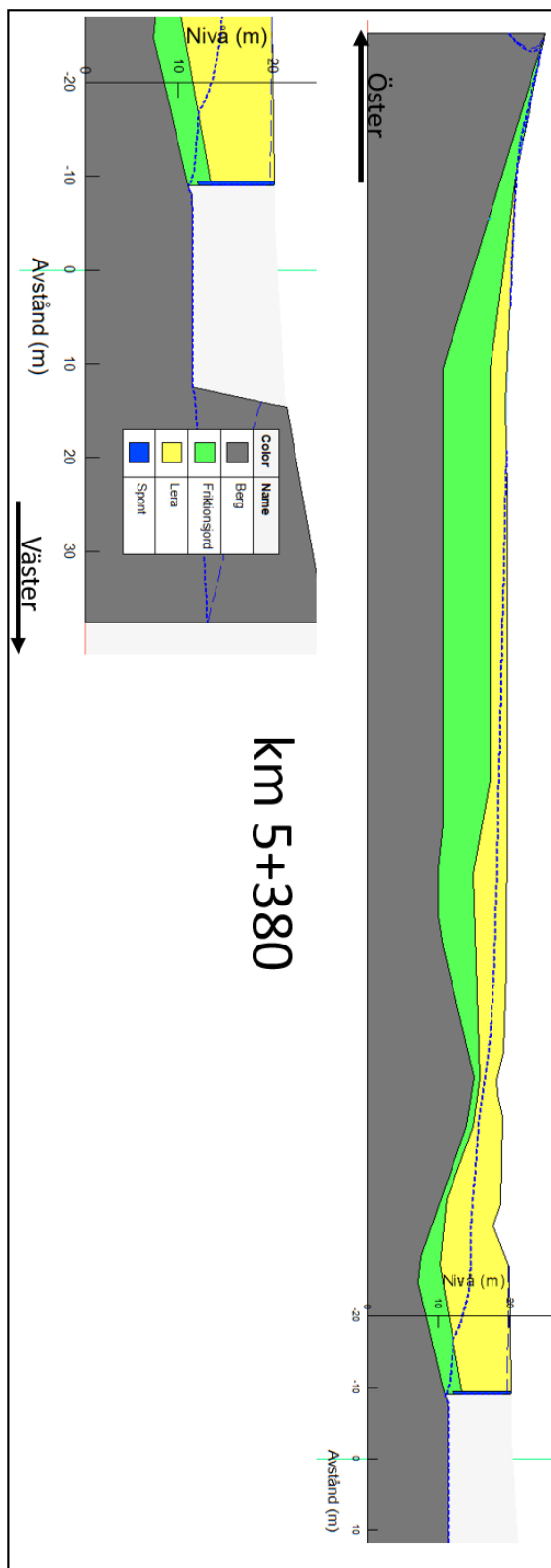
## 8.2 Södra påslaget Gerstabergrstunneln

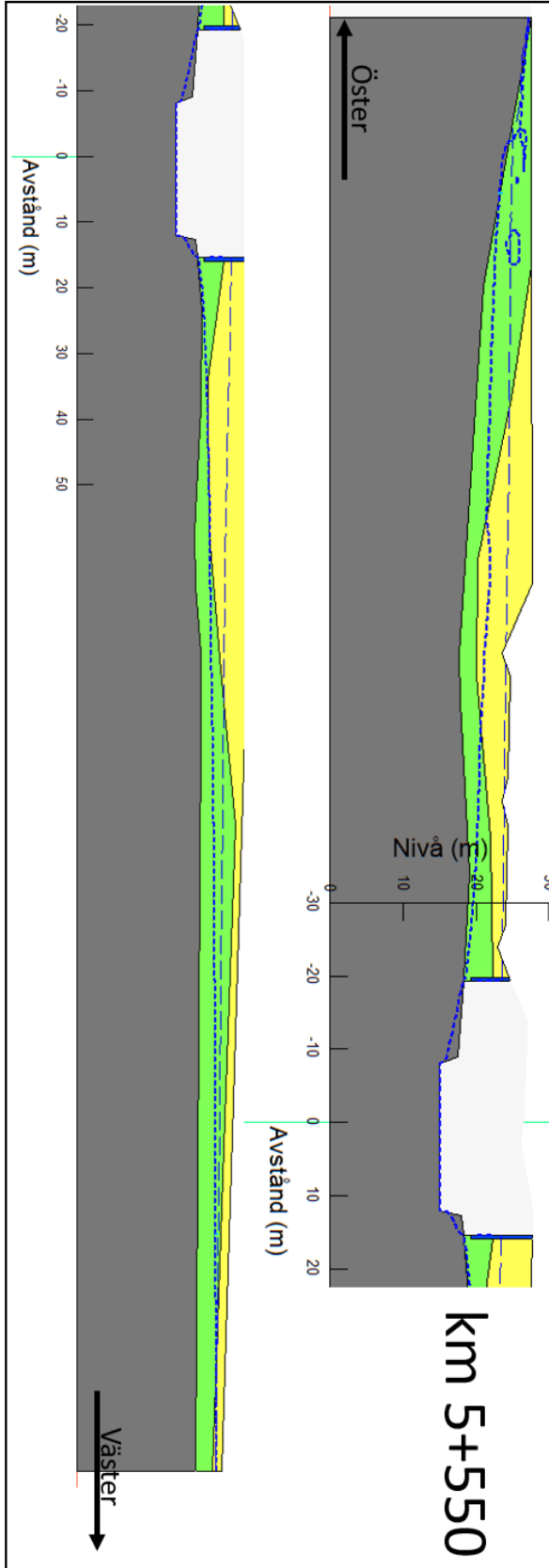




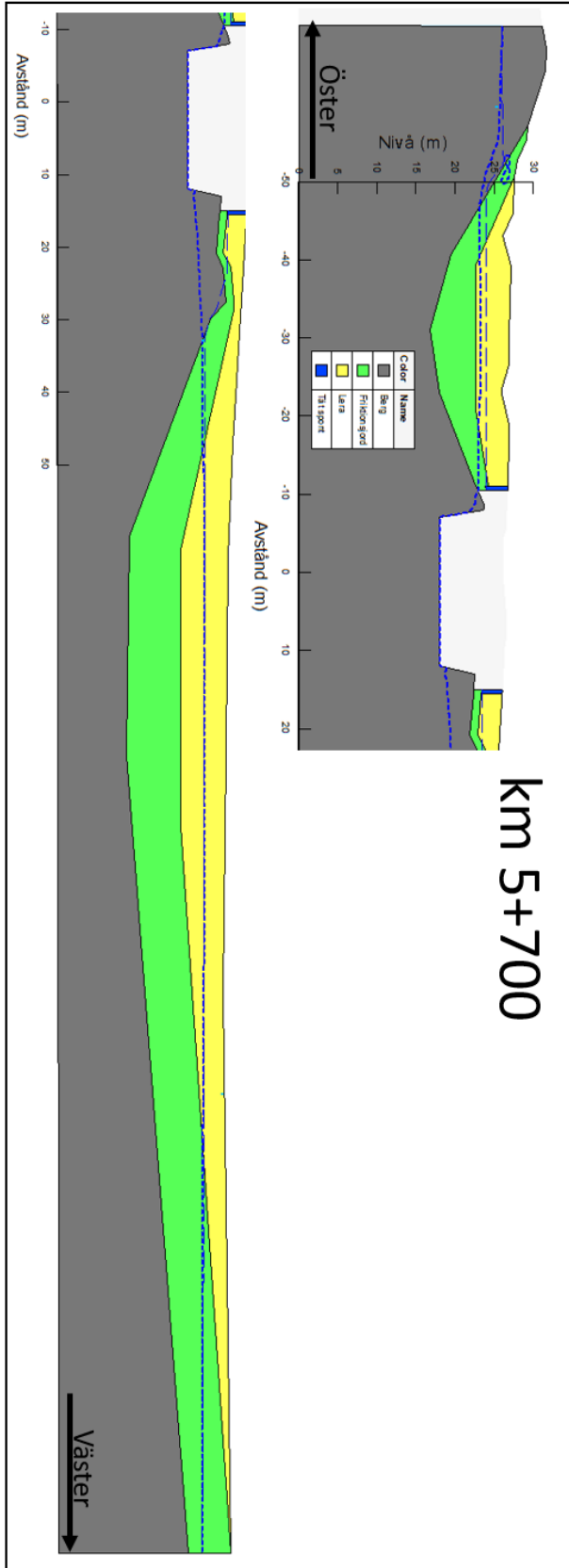


### 8.3 Passage E4 vid Järnaslätten









## 8.4 Edebyttunnlarna

