

Filnamn: OLP4-04-025-42000-0_0-0041.docx

Projektnamn	Skapat av (Leverantör)	Godkänt datum	Rev Datum
Ostlänken	Johanna Engelbrektsson, Jonas Pedersen, Alexander Hansen, Linda Jalava, Daniel Erdal	2023-05-23	-
Ärendenummer	Granskat av (Leverantör)	Sidor	Version
TRV 2019/65712	Mattias Fredin Godkänt av (Leverantör) Henrik Tham	1(99)	_.4



OSTLÄNKEN

OLP4 SÖDERTÄLJE - TROSA

LÅNGSJÖN - SILLEKROG

Bandel 506, KM 14+700 - 27+860

Miljöprovning PM yt- och grundvatten 4.2

Bilaga D.2.3 PM Beräkningar grundvatten

Ansökan om tillstånd enligt 11 kap. miljöbalken

MILJÖPRÖVNING



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.....	7
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	Tullgarnstunnelns norra förskärning.....	13
4.1.3	Tullgarnstunneln	15
4.1.4	Tullgarnstunnelns södra förskärning.....	19
4.1.5	Hillestatunneln	21
4.2	Analytiska beräkningar.....	23
4.2.1	Bergtunnlar	23
4.2.2	Övriga anläggningsdelar	30
4.3	Vattenbalansberäkningar	36
4.3.1	Antaganden.....	37
4.3.2	Metodik	37
4.3.3	Vattenbalansområden och beräknad grundvattenbildning	39
5	Resultat.....	48
5.1	Tullgarnstunnelns norra förskärning (VV-ID G15-002).....	48
5.1.1	Påverkansområde	48
5.1.2	Samlad bedömning.....	49
5.2	Tullgarnstunneln (VV-ID G15-003)	50
5.2.1	Påverkansområde	50
5.2.2	Inläckage.....	55
5.2.3	Vattenbalans	58
5.2.4	Samlad bedömning.....	61
5.3	Tullgarnstunnelns södra förskärning (VV-ID G18-001)	64
5.3.1	Påverkansområde	64

Projektnamn	Skapat av (Leverantör)	Godkänt datum	Rev Datum
Ostlänken	Johanna Engelbretsson, Jonas Pedersen, Alexander Hansen, Linda Jalava, Daniel Erdal	2023-05-23	-
Ärendenummer	Granskat av (Leverantör)	Sidor	Version
TRV 2019/65712	Mattias Fredin Godkänt av (Leverantör) Henrik Tham	3(99)	__4



5.3.2	Samlad bedömning.....	66
5.4	Hillestatunneln (VV-ID G24-002).....	67
5.4.1	Påverkansområde	67
5.4.2	Inläckage	68
5.4.3	Vattenbalans	69
5.4.4	Samlad bedömning.....	69
5.5	Påverkansområde övriga anläggningsdelar	72
5.5.1	Grundläggning av brostöd.....	72
5.5.2	Markförstärkningsåtgärder	76
5.5.3	VA-anläggningar	78
5.5.4	Processvattenbrunnar	79
5.5.5	Skärningar för järnvägsanläggning	79
5.5.6	Skärningar för vägar	81
6	Diskussion	82
6.1.1	Påverkansområde	82
6.1.2	Inläckage	84
6.1.3	Vattenbalanser	87
7	Referenser	89
8	Illustrationer av sektioner (SEEP/W)	90
8.1	Tullgarnstunnelns norra förskärning	91
8.2	Tullgarnstunneln.....	93
8.3	Tullgarnstunnelns södra förskärning	97
8.4	Hillestatunneln.....	99

Projektnamn	Skapat av (Leverantör)	Godkänt datum	Rev Datum
Ostlänken	Johanna Engelbrektsson, Jonas Pedersen, Alexander Hansen, Linda Jalava, Daniel Erdal	2023-05-23	-
Ärendenummer	Granskat av (Leverantör)	Sidor	Version
TRV 2019/65712	Mattias Fredin Godkänt av (Leverantör) Henrik Tham	4(99)	_.4



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 Långsjön–Sillekrog.

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 viktigt underlag vid 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 anläggningens grundvattenpåverkan.

Projektnamn	Skapat av (Leverantör)	Godkänt datum	Rev Datum
Ostlänken	Johanna Engelbretksson, Jonas Pedersen, Alexander Hansen, Linda Jalava, Daniel Erdal	2023-05-23	-
Ärendenummer	Granskat av (Leverantör)	Sidor	Version
TRV 2019/65712	Mattias Fredin Godkänt av (Leverantör) Henrik Tham	5(99)	_.4



TRAFIKVERKET

2 Omfattning och förutsättningar

Föreliggande PM redovisar hydrogeologiska beräkningar som utförts för Ostlänkens delsträcka Långsjön–Sillekrog, km 14+700 till 27+860. Delsträckan omfattar bland annat de båda bergtunnlarna Tullgarnstunneln och Hillestatunneln med anslutande betongtunnlar och -tråg, flertalet dränerande väg- och järnvägsskärningar, temporära anläggningsarbeten för brostöd och markförstärkningsåtgärder. Planerade vattenverksamheter i sin helhet samt rådande hydrogeologiska förutsättningar i anslutning till dessa redovisas i 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 samt för ett antal riskexponerade objekt

Påverkansområden har för samtliga anläggningsdelar beräknats analytiskt. För ett urval av anläggningsdelar har även 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 respektive planerad anläggningsdels förmodade grundvattenpåverkan, de platsspecifika hydrogeologiska förutsättningarna samt eventuell förekomst av riskexponerade objekt. Numeriska beräkningar i 2D har utförts med GeoStudios programvara SEEP/W, dels för ett urval av sektioner längs förekommande bergtunnlar, dels för djupa schakter i jord och berg längs hydrogeologiskt komplicerade tunnelförskärningar.

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 i tillståndsansökan 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 vidare ett sammanslaget påverkansområde, vilket innebär att kumulativa effekter från angränsande grundvattenbortledning har beaktats. Över lag har påverkansområdet avgränsats utan hänsyn till skadeförebyggande åtgärder och/eller skyddsåtgärder. Hänsyn har dock tagit till planerad tunneltätning längs Tullgarnstunnelns södra delar (mellan km 17+150 och 18+784), som utförs i syfte att begränsa omgivningspåverkan.

Inläckage till planerade bergtunnlar har beräknats analytiskt. Därtill har numeriska beräkningar av inläckage utförts för de tunnelsektioner som modellerats med SEEP/W. Då resultaten från utförda modelleringar generellt inte är representativa för tunneln i stort, utan enbart för den tunnelsektion de representerar, har resultat från utförda numeriska beräkningar enbart använts som ett stöd i resonemang kring förväntade inläckage, snarare än att utgöra ett helhetsunderlag i tillståndsansökan.

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

Beräkningsresultat som redovisas i denna PM är kopplade till de olika vattenverksamheterna som beskrivs i Bilaga D.2 PM Yt- och grundvatten genom tillämpande av ID-nummer (VV-ID), vilka 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	2023-05-23	-
Ärendenummer	Granskat av (Leverantör)	Sidor	Version
TRV 2019/65712	Mattias Fredin Godkänt av (Leverantör) Henrik Tham	6(99)	__4



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 Långsjön–Sillekrog mellan åren 2016–2021. Fältundersökningar som ligger till grund för denna PM omfattar bland annat

- grundvattennivåmätningar i jord och berg
- slugtester
- provpumpning i jord
- vattenförlustmätningar i kärnbrorhål
- geotekniska sonderingar och provtagningar 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 för bestämning av hydraulisk konduktivitet, 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 insamlade data.

Sammanlagt 19 slugtester har utförts inom Ostlänkens delsträcka Långsjön–Sillekrog i syfte att bestämma hydraulisk konduktivitet i förekommande grundvattenmagasin. Slugtesternas läge i plan framgår av ansökans 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 utförande, utvärdering och sammanställning av resultat finns i *Utvärderings-PM Slugtester* (Trafikverket 2023a).

Resultat från utförda slugtester har tillsammans med resultat från utförd provpumpning, 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 Kumla gård (km 19+200) i närheten av Tullgarnstunnelns södra mynning, där anläggningsarbeten för betongtunnel- och tråg planeras. Provpumpningen pågick mellan 2018-05-21 och 2018-06-01.

Utvärdering av utförd provpumpning har gjorts med hjälp av programvaran AQTESOLV. Den lösningsmodell som tillämpades var Theis (1935)/Hantush (1961).

Provpumpningen beskrivs i sin helhet i *Utvärderings-PM, Provpumpning Kumla gård 4.2* (Trafikverket 2023b).

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

Projektnamn	Skapat av (Leverantör)	Godkänt datum	Rev Datum
Ostlänken	Johanna Engelbrektsson, Jonas Pedersen, Alexander Hansen, Linda Jalava, Daniel Erdal	2023-05-23	-
Ärendenummer	Granskat av (Leverantör)	Sidor	Version
TRV 2019/65712	Mattias Fredin Godkänt av (Leverantör) Henrik Tham	7(99)	_.4



3.1.2 Bergets genomsläplighet

3.1.2.1 Vattenförlustmätningar

Vattenförlustmätningar har utförts i följande åtta kärnborrhål längs bergtunnlar på Ostlänkens delsträcka Långsjön–Sillekrog: OLP4K306, OLP4K308, OLP4K315, OLP4K316, OLP4K317, OLP4K318, OLP4K321 och OLPK027. Urvalet av kärnborrhål som vattenförlustmätts har baserats på föregående sprickkartering av borrhäror. 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 helhålmätning för att få en uppfattning om borrhålets totala flöde. Vid en helhålmätning monteras enbart en övre manchett i foderröret, som blåses upp, varpå hela borrhålet vattenförlustmätts. Efter helhålmätningen gjordes en första 3-meters sektionssmätning 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 manchetterna 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 (m^3/s)

dh = pålagt övertryck (m)

dL = undersökt sektionenslängd (m)

d = borrhålsdiameter (m)

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

Borrhålets totala transmissiviteten, T_{tot} , är summan av samtliga representativa sektionstransmissiviteter, T_i . Borrhålets hydrauliska konduktivitet (aritmetiskt medelvärde) erhålls genom att dividera 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).

Projektnamn	Skapat av (Leverantör)	Godkänt datum	Rev Datum
Ostlänken	Johanna Engelbrektsson, Jonas Pedersen, Alexander Hansen, Linda Jalava, Daniel Erdal	2023-05-23	-
Ärendenummer	Granskat av (Leverantör)	Sidor	Version
TRV 2019/65712	Mattias Fredin Godkänt av (Leverantör) Henrik Tham	8(99)	_.4


TRAFIKVERKET

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, bergborrade brunnar med dokumenterade kapacitetsmätningar belägna inom en radie av 4 kilometer från Ostlänkens längs de båda delsträckorna Gerstaberg–Långsjön samt Långsjön–Sillekrog. Totalt omfattades knappt 900 bergborrade brunnar i SGU:s brunnsarkiv av analysen. Brunnar med angiven kapacitet om 0 m³/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 (m²/s)

Q = brunns kapacitet från kapacitetsbestämning (m³/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 konduktiviteten, K_{eff} , som bäst beskriver berört område i en större skala.

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.

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 utvärderingar 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).

Projektnamn	Skapat av (Leverantör)	Godkänt datum	Rev Datum
Ostlänken	Johanna Engelbretsson, Jonas Pedersen, Alexander Hansen, Linda Jalava, Daniel Erdal	2023-05-23	-
Ärendenummer	Granskat av (Leverantör)	Sidor	Version
TRV 2019/65712	Mattias Fredin Godkänt av (Leverantör) Henrik Tham	9(99)	_.4



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

där

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

σ = 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.

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)
- Tillrinningsområde och bedömd tillrinning till det av SGU identifierade grundvattenmagasinet (magasinsidentitet 250300030) inom magasin Vagnhärad

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

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

Projektnamn	Skapat av (Leverantör)	Godkänt datum	Rev Datum
Ostlänken	Johanna Engelbretsson, Jonas Pedersen, Alexander Hansen, Linda Jalava, Daniel Erdal	2023-05-23	-
Ärendenummer	Granskat av (Leverantör)	Sidor	Version
TRV 2019/65712	Mattias Fredin Godkänt av (Leverantör) Henrik Tham	10(99)	_.4



4 Genomförande- och metodbeskrivning

Analytiska och numeriska beräkningar har utförts i syfte att ligga till grund för avgränsning av påverkansområde för planerade vattenverksamheter. För anläggningsdelar där enbart analytiska beräkningar utförts utgör dessa underlag för vidare tolkning av påverkansområdets utbredning. För de mer komplexa anläggningsdelarna, där kompletterande numeriska beräkningar utförts, har beräkningsresultat från dessa i stället generellt använts som utgångspunkt för vidare tolkning av påverkansområdets utbredning.

Det påverkansområde som redovisas i ansökans Bilaga D.2.1 baseras utöver resultat från utförda beräkningar och tillhörande känslighetsanalyser även på konceptuella hydrogeologiska tolkningar och erfarenhetsmässiga rimlighetsbedömningar. I vissa områden finns flera närliggande anläggningsdelar som kan komma att medföra samtidig påverkan på samma grundvattensystem. Påverkansområden kan då totalt sett bli betydligt större än vad beräkningar för varje enskilda anläggningsdelar föreslår (så kallade *kumulativa effekter*), vilket behöver beaktas vid avgränsningen.

För uppskattning av inläckage till planerade bergtunnlar har analytiska beräkningar utförts. Resultat från de analytiska beräkningarna redovisas i tillståndsansökan och har använts vidare vid vattenbalansberäkningar för bergtunnlar. Inläckage har dock även beräknats numeriskt för det urval av tunnelsektioner som modellerats i SEEP/W i primärt syfte att ta fram underlag för avgränsning av påverkansområde. De numeriska beräkningsresultaten avseende inläckage redovisas inte i tillståndsansökan, utan har enbart använts som ett stöd i resonemang kring förväntade inläckage. Detta eftersom beräkningarna över lag bedöms vara alltför få och enbart gälla i de tunnelsektioner de representerar, vilket medför svårigheter att förutse inläckaget till tunnarna i sin helhet.

4.1 Numeriska beräkningar

För planerade bergtunnlar samt för ett urval djupa schakter i jord och berg längs förskärningar till tunnarna har numeriska beräkningar utförts med GeoStudios programvara SEEP/W. Programmet baseras på finita elementmetoden för modellering av grundvattenflöden i två dimensioner. Resultat från utförda hydrogeologiska och geologiska undersökningar som utförts i tidigare skeden (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 bergschakterna längs förskärningarna norr respektive söder om Tullgarnstunneln har beräknats numeriskt med SEEP/W.

Beräkningar har utförts för totalt fyra sektioner, varav två är lokaliserade längs den norra förskärningen till Tullgarnstunneln och övriga två längs den södra förskärningen. Sektionernas lägen har valts utifrån anläggningens utformning och de hydrogeologiska förutsättningarna för att representera den största grundvattenpåverkan, samt med hänsyn till eventuell förekomst av riskexponerade objekt. Alla modeller är platsspecifika, men generellt är lagerföljden uppifrån och ned lera, friktionsjord (morän), berg. I enskilda fall finns 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 är modellerat som en fri dränering mot atmosfärstryck. Jordmaterialens egenskaper är angivna med materialmodellen "Saturated/unsaturated".

För området där morän går i dagen har en grundvattenbildning på 200 mm/år antagits. Samma värde har tillämpats för områden där berget går i dagen (exempelvis i sektion km 18+900, se kapitel 4.1.4), då avrinning från dessa bergområden antas infiltrera i angränsande moränområden. 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

Projektnamn	Skapat av (Leverantör)	Godkänt datum	Rev Datum
Ostlänken	Johanna Engelbretsson, Jonas Pedersen, Alexander Hansen, Linda Jalava, Daniel Erdal	2023-05-23	-
Ärendenummer	Granskat av (Leverantör)	Sidor	Version
TRV 2019/65712	Mattias Fredin Godkänt av (Leverantör) Henrik Tham	11(99)	_.4



utförda undersökningar, konceptuella tolkningar samt litteraturvärden. Valda värden redovisas i kapitel 4.1.2 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 konduktivitetvärden ofta funnits tillgängliga, samtidigt som det inte är möjligt att kalibrera en 2D-modell för både randvillkor och konduktivitet.

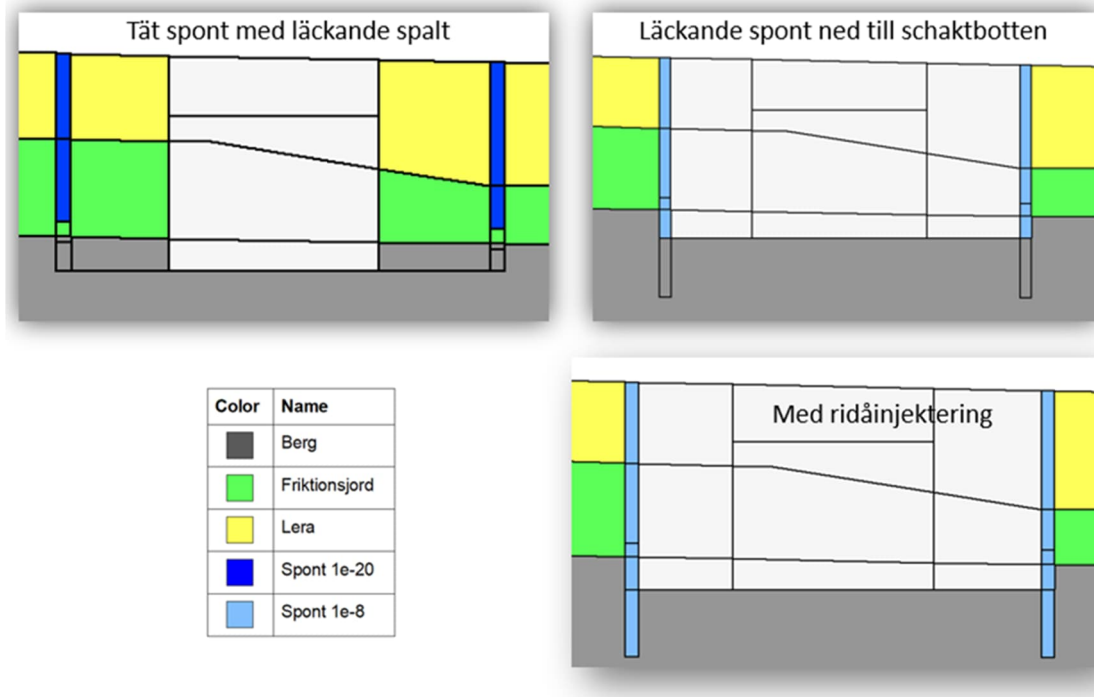
Påverkansavstånd i modellerade sektioner har avlästs som det avstånd från schakt där skillnaden i grundvattenyta mellan utförda simuleringar med respektive utan schakt motsvarar 0,3 m i friktionsjord. I den slutliga bedömningen av påverkansområde har utöver beräkningsresultat hänsyn också tagits till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

I kapitel 4.1.2 och 4.1.4 illustreras området närmst tunnarna för de modellerade sektionerna. I kapitel 8.1 respektive 8.3 finns mer detaljerade illustrationer.

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

- V1: En hydrogeologiskt tät spont, som dock inte sluter tätt mot underliggande berg. Detta innebär att en spalt på 1 m närmst berg förblir "öppen". Sponten har modellerats med ett konduktivitetvärde på 1×10^{-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 konduktivitetvärde för sponten på 1×10^{-8} m/s.
- V3: Som V2, men kompletterat med ridåinjektering. Ridåinjektering har modellerats med en 5 m förlängning av sponten med ett konduktivitetvärde motsvarandes spontens på 1×10^{-8} m/s.

Spont/injektering har i utförda modelleringar antagits ha en tjocklek motsvarande en halv meter. De tre beräkningsfallen illustreras i Figur 4-1 genom ett exempel från sektion i km 18+900. Övriga figurer i denna PM visar fallet V1, vilket motsvarar den lösning som avgränsningar av påverkansområde i ansökans Bilaga D.2.1 baseras på.



Figur 4-1: Illustration (från sektion i km 18+900) som visar de tre utförandena av tätspont/tätskärm som utförda numeriska beräkningar för djupa schakt grundar sig på. V1 till vänster, V2 till höger ovan, V3 till höger nedre. V1 motsvarar den lösning som avgränsningar av påverkansområde i ansökans Bilaga D.2.1 baseras på.

4.1.1.2 Bergtunnlar

Inläckage till planerade bergtunnlar och resulterande påverkansområden har beräknats numeriskt med SEEP/W. Beräkningarna har gjorts för totalt fem tunnelsektioner, varav fyra är lokaliserade inom Tullgarnstunneln (km 15+600, 16+300, 17+800 och 18+700) och en inom Hillestatunneln (km 25+000). 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 4.1.3 respektive 4.1.5.

Grundvattenmodellerna har randvillkor med fixerat tryck (en positiv hydraulisk gräns, s.k. Dirichlet-rand) längs båda sidorna, här satt till närliggande ytvatten. Någon annan kalibrering av nivåer har inte utförts. Inläckaget till bergtunnlar har modellerats som en fri dränering mot atmosfärstryck. Berget är modellerat som ett homogent genomsläppligt medium. För Tullgarnstunneln har modellerna en dräneringsrand 1,5 meter under bergövertytan för att förhindra att trycket i modellen stiger över bergövertytan.

I lägen för modellerade sektioner återfinns generellt berg i dagen eller mindre områden med enbart tunn jordtäcken. För att 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 modellerna bättre, utan snarare introducera nya fel och medföra en svårkontrollerad grundvattenbildning. Jordlager ingår därmed ej i modellerna, utan grundvattenbildning antas ske direkt till berg.

De tunneltvärsnitt som tillämpats i modellerna är anpassade till projekterad anläggning. Huvudspårtunneln representeras av ett rektangulärt tvärsnitt om 12 × 10 meter. Längs Tullgarnstunneln löper också en parallell servicetunnel. Därtill finns en arbetstunnel och en tillfartstunnel. Där servicetunneln berörs av upprättade modeller har de fått representeras av ett rektangulärt tvärsnitt om 6 × 6 meter, medan arbets-/tillfartstunnlar

Projektnamn	Skapat av (Leverantör)	Godkänt datum	Rev Datum
Ostlänken	Johanna Engelbretsson, Jonas Pedersen, Alexander Hansen, Linda Jalava, Daniel Erdal	2023-05-23	-
Ärendenummer	Granskat av (Leverantör)	Sidor	Version
TRV 2019/65712	Mattias Fredin Godkänt av (Leverantör) Henrik Tham	13(99)	..4



representeras av ett rektangulärt tvärsnitt om 8 × 8 meter. Geometrierna skiljer sig något mot projekterad anläggning för att underlätta modelleringsarbetet, men tvärsnittsyorna är likvärdiga. Avståndet mellan huvudspårtunnel och servicetunnel har i upprättade modeller ansatts till 15 meter.

I tillägg till den huvudsakliga modelleringen har en känslighetsanalys utförts avseende modellens känslighet för variation av 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 två typvärden (1×10^{-8} m/s respektive 1×10^{-7} m/s) samt bergets effektiva hydrauliska konduktivitet inom berörd delsträcka längs planerad bergtunnel. För mer information om bergets antagna vattenförande egenskaper inom 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 ju är praxis för berg, ger marginaler för de osäkerheter som finns kopplat till de förhållandevis enkla tvådimensionella modellerna, vilka 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 4.1.3 och 4.1.5 illustreras området närmst tunnlar för de modellerade sektionerna. I kapitel 8.2 respektive 8.4 finns mer detaljerade illustrationer.

4.1.2 Tullgarnstunnelns norra förskärning

Från km 15+130 till km 15+339 sträcker sig Tullgarnstunnelns norra förskärning, där djupa schakt ska utföras inför anläggande av betongtråg och -tunnel. Numerisk modellering har utförts i sektionerna km 15+100 samt 15+300. Bergnivån är varierande, vilket gör att det förekommer såväl berg dagen som områden med större jorddjup. Jordlagren utgörs i huvudsak av lera som underlagras av friktionsjord på berg. Grundvattennivåerna ligger generellt marknära. För en mer detaljerad beskrivning av järnvägsanläggningen och hydrogeologiska förutsättningar hänvisas till Bilaga D.2 PM Yt- och grundvatten.

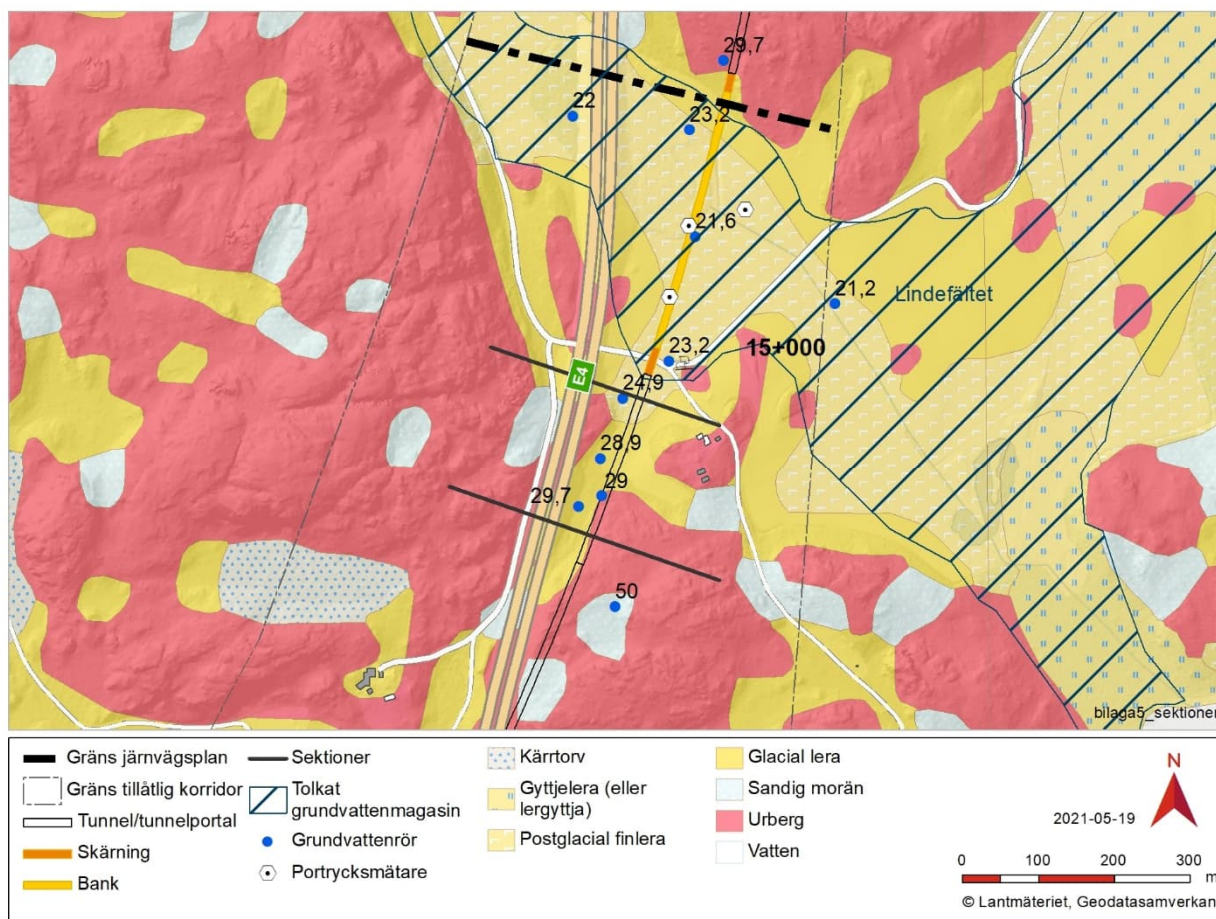
Antaganden om hydrauliska konduktiviteten som tillämpats vid utförd modellering redovisas i Tabell 4-1. Hydraulisk konduktivitet för Magasin Lindefältet, som förekommer i anslutning till modellsektionerna, bedöms utifrån utförda slugtester vara någonstans i storleksordningen 1×10^{-6} m/s. Slugtesterna visar dock på en variation mellan 1×10^{-8} m/s och 4×10^{-6} m/s, där det högsta värdet är noterat i anslutning till där modellsektionerna är belägna. För att erhålla konservativa beräkningsresultat har den hydrauliska konduktiviteten därför antagits till 1×10^{-5} m/s. Hydraulisk konduktivitet för lera har ansatts utifrån litteraturvärden (Freeze & Cherry, 1979), medan bergets genomsläpplighet ansatts konservativt utifrån resultat från utförda fältundersökningar. Spontens och ridåinjekteringens hydrauliska konduktivitet har i utförd modellering antagits i enlighet med de tre beräkningsfallen presenterade i kapitel 4.1.1.1.

Tabell 4-1. Hydraulisk konduktivitet som använts i modellberäkningar vid Tullgarnstunnelns norra förskärning.

Material	Hydraulisk konduktivitet (m/s)
Lera	$1,0 \times 10^{-9}$ (V1, V2 och V3)
Friktionsjord	$1,0 \times 10^{-5}$ (V1, V2 och V3)
Berg	$1,0 \times 10^{-7}$ (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)



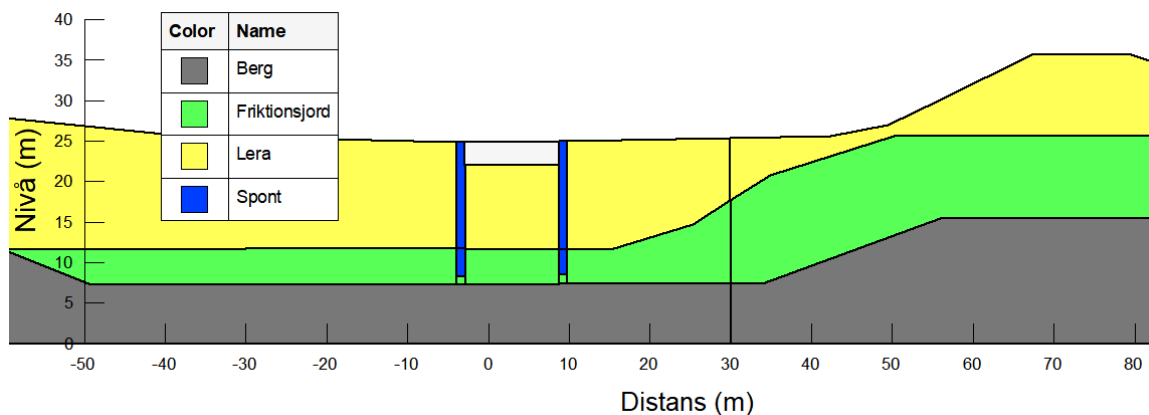
I Figur 4-2 visas modellsektionernas lägen samt medelgrundvattennivåer som uppmätts i berört område. Dessa nivåer har använts för att kalibrera grundvattennivåer i modellberäkningarna.



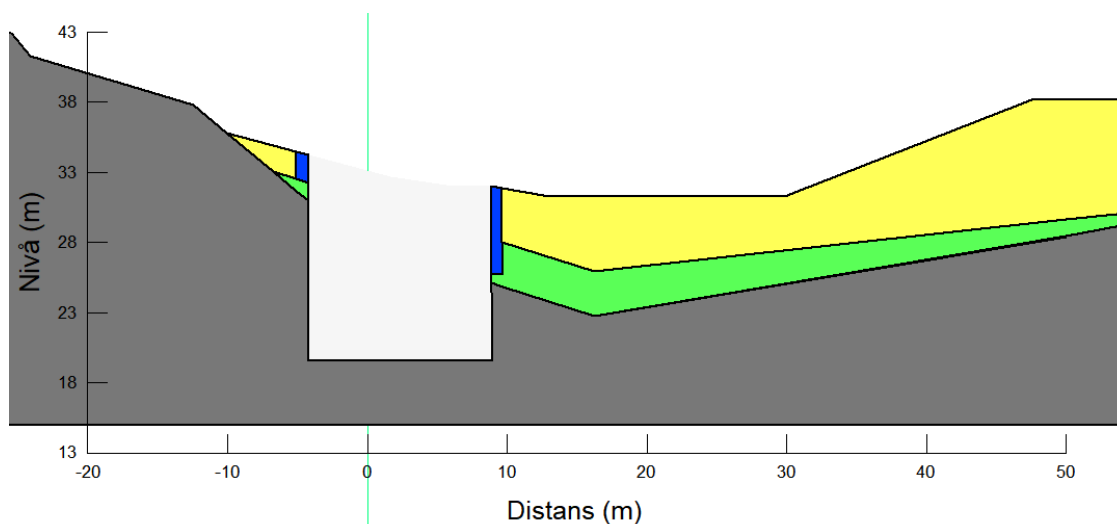
Figur 4-2: Placering av modellsektioner (svarta linjer) vid Tullgarnstunnelns norra förskärning och medelgrundvattennivåer i förekommande observationsrör. Från norr till söder: km 15+100 samt 15+300.

Det ska noteras att ett värde på spontens hydrauliska konduktivitet på 1×10^{-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 påverkansområdets utbredning som inläckaget. Detta blir tydligt i sektion i km 15+300, där det huvudsakliga inläckaget sker via den genomsläppliga friktionsjorden mellan spontfot och berg blir resultatet jämförbart med de från ett öppet schakt utan någon spont oavhängigt vilket värde som väljs avseende hydraulisk konduktivitet.

Information om jordlager i varje tvärsnitt har tolkats utifrån geotekniska fältundersökningar. I Figur 4-3 och Figur 4-4 visas jordlagren för tvärsnitten i km 15+100 och 15+300 närmst planerat schakt. Hela modellsektioner inklusive resulterande grundvattennivåer för V1 redovisas i kapitel 8.1.



Figur 4-3: Tvärsektion vid km 15+100. Sektionen representerar de norra delarna av planerad schakt. Vänligen notera att figuren endast visar området närmast schakt. Vy i riktning med järnvägsanläggningens stigande längdmätning (vänster i bild är mot öst och höger mot väst).



Figur 4-4: Tvärsektion vid km 15+300. 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).

4.1.3 Tullgarnstunneln

Numeriska beräkningar av påverkansområde/inläckage har utförts för tunnelsektioner i km 15+600, 16+300, 17+800 samt 18+700, se Figur 4-5. För beskrivning av planerad anläggning och hydrogeologiska förutsättningar, se Bilaga D.2 PM Yt- och grundvatten.

För Tullgarnstunnelns södra del (km 17+150 – 18+784) har tätning genom tillämpande av konventionell förinjektering med cementbruk föreslagits som en skadeförebyggande åtgärd för att begränsa tunnelns omgivningspåverkan. För att belysa effekten av sådan tätning har numerisk modellering utförts för såväl otätad som tätad tunnel i berörda delar. Den hydrauliska konduktiviteten för den tätade zonen har antagits motsvara en femtiondedel av bergets effektiva hydrauliska konduktivitet inom berörd delsträcka längs tunneln (alltså $K_{eff}/50$), dock med en undre begränsning för hur tätt berget kan förväntas bli om 1×10^{-8} m/s (se bland annat Stille (2015),

Filnamn: OLP4-04-025-42000-0_0-0041.docx

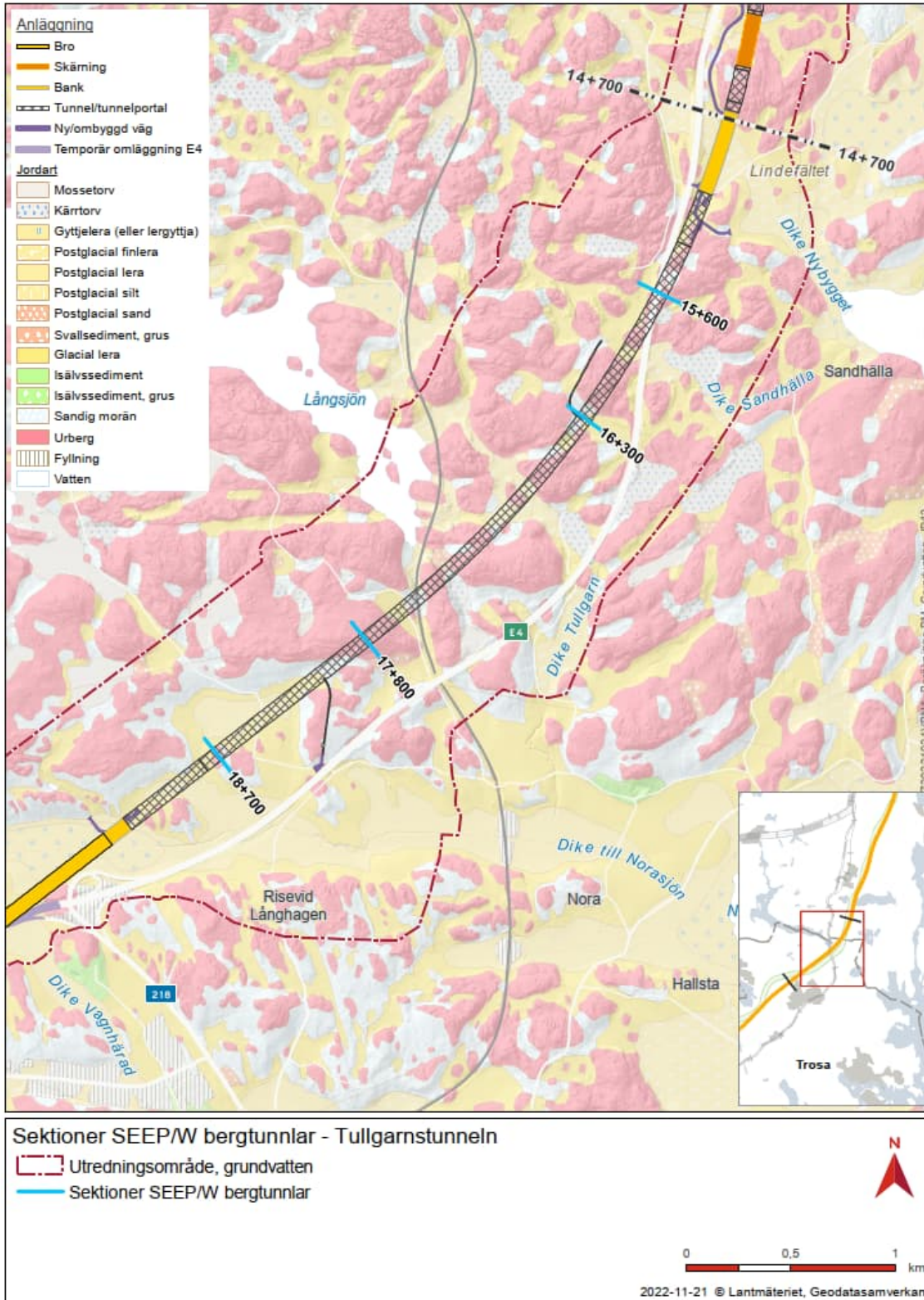
Projektnamn	Skapat av (Leverantör)	Godkänt datum	Rev Datum
Ostlänken	Johanna Engelbrektsson, Jonas Pedersen, Alexander Hansen, Linda Jalava, Daniel Erdal	2023-05-23	-
Ärendenummer	Granskat av (Leverantör)	Sidor	Version
TRV 2019/65712	Mattias Fredin Godkänt av (Leverantör) Henrik Tham	16(99)	_.4



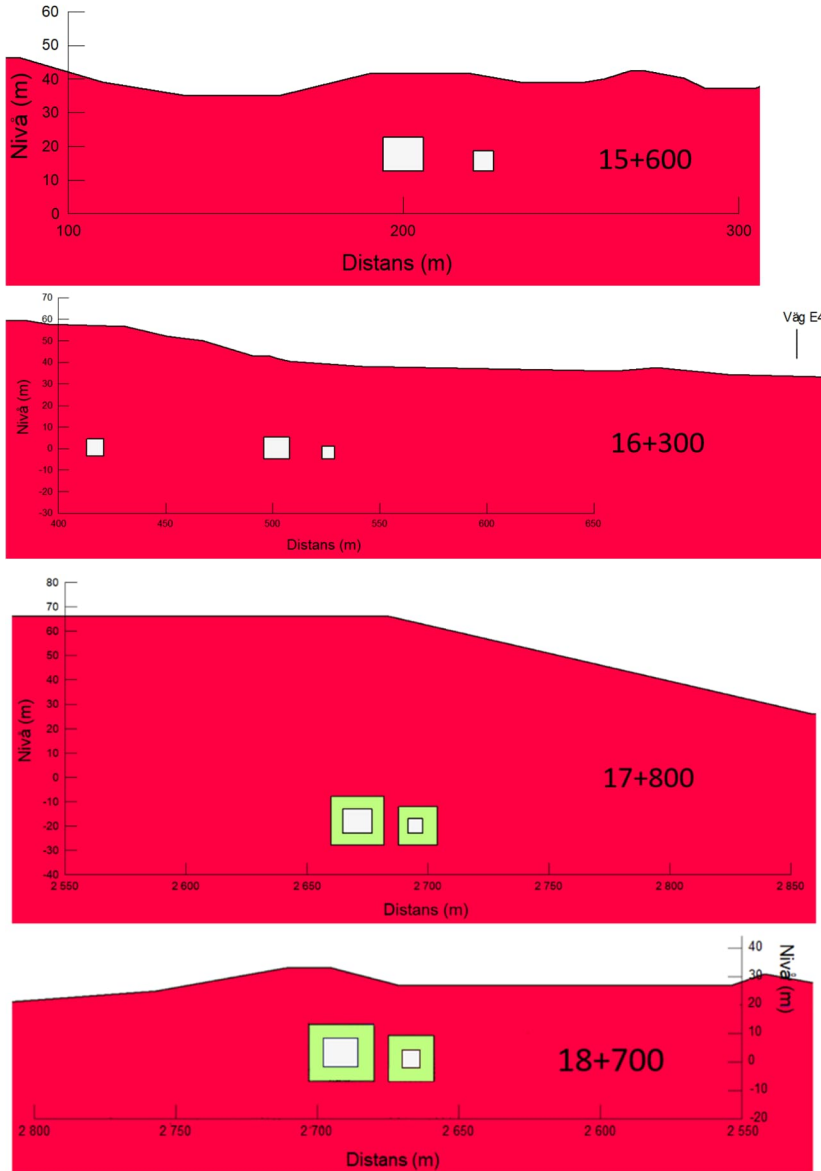
Gustafson (2009) och Trafikverket (2021)). Tjockleken på den injekterade zonen har i utförda modelleringar antagits till 5 meter, vilket är en form av standard med hänsyn till sonderingsborrhålens längd.

Modellerade tunnelsektioner och antagen bergtopografi illustreras i Figur 4-6. Samtliga i figuren redovisade modellsektioner visar tunnelanläggningens planerade utförande avseende tätning. För sektion i km 16+300 ingår utöver huvudspår- och servicetunneln även arbetstunnel Tullgarn norr i modellen.

Mer detaljerade illustrationer redovisas i kapitel 8.2.



Figur 4-5. Lägen i plan för modellerade tunnelsektioner (ljusblåa linjer) längs Tullgarnstunneln.



Figur 4-6: Illustration av modellerade sektioner längs Tullgarnstunneln från SEEP/W. Figuren visar varje sektion i modellen som den ser ut närmast tunneln med bergtopografi och tunnlaras placering (vita rektanglar) samt injikerad zon (grönt) för sektioner i km 17+800 och 18+700. Vänster i illustrationer är mot nordväst och höger mot sydöst. Notera att höjd- och längdskala varierar mellan tunnelsektionerna.

Projektnamn	Skapat av (Leverantör)	Godkänt datum	Rev Datum
Ostlänken	Johanna Engelbrektsson, Jonas Pedersen, Alexander Hansen, Linda Jalava, Daniel Erdal	2023-05-23	-
Ärendenummer	Granskat av (Leverantör)	Sidor	Version
TRV 2019/65712	Mattias Fredin Godkänt av (Leverantör) Henrik Tham	19(99)	_.4


TRAFIKVERKET

I Tabell 4-2 redovisas de i modelleringen antagna värdena för hydraulisk konduktivitet i berg. Den hydrauliska konduktiviteten för den tätade zonen når för de berörda modellsektionerna (km 17+800 samt km 18+700) den undre begränsningen 1×10^{-8} m/s.

Tabell 4-2. Sammanfattning av modellerade sektioner längs Tullgarnstunneln och ansatt hydraulisk konduktivitet i SEEP/W. Bergets effektiva hydrauliska konduktivitet längs berörd del av tunneln är markerad i fetstil. Den hydrauliska konduktiviteten för den tätade zonen redovisas ej i tabellen, men når för berörda modellsektioner då den undre begränsningen 1×10^{-8} m/s.

Sektion (km)	Material	Hydraulisk konduktivitet (m/s)
15+600	Berg	$1 \times 10^{-7} / 5,4 \times 10^{-8} / 1 \times 10^{-8}$
16+300	Berg	$1 \times 10^{-7} / 5,7 \times 10^{-8} / 1 \times 10^{-8}$
17+800	Berg	$3 \times 10^{-7} / 1 \times 10^{-7} / 1 \times 10^{-8}$
18+700	Berg	$3 \times 10^{-7} / 1 \times 10^{-7} / 1 \times 10^{-8}$

4.1.4 Tullgarnstunnelns södra förskärning

Vid km 18+784 övergår bergtunneln till att gå i betongtunnel. Betongtunneln sträcker sig fram till km 19+120, där den i sin tur övergår i tråg fram till km 19+245. Bergskärning övergår till jordskärning vid km 19+160. I området förekommer berg i dagen, men det finns även områden med större jorddjup. För en mer detaljerad beskrivning av järnvägsanläggningen och hydrogeologiska förutsättningar hänvisas till Bilaga D.2 PM Yt- och grundvatten.

Numeriska modeller har upprättats för två sektioner i området, där den ena är utgörs av tvärsektion i km 18+900 och den andra utgörs av en längsgående sektion som sträcker sig mellan km 19+000 och 20+200 (Figur 4-7).

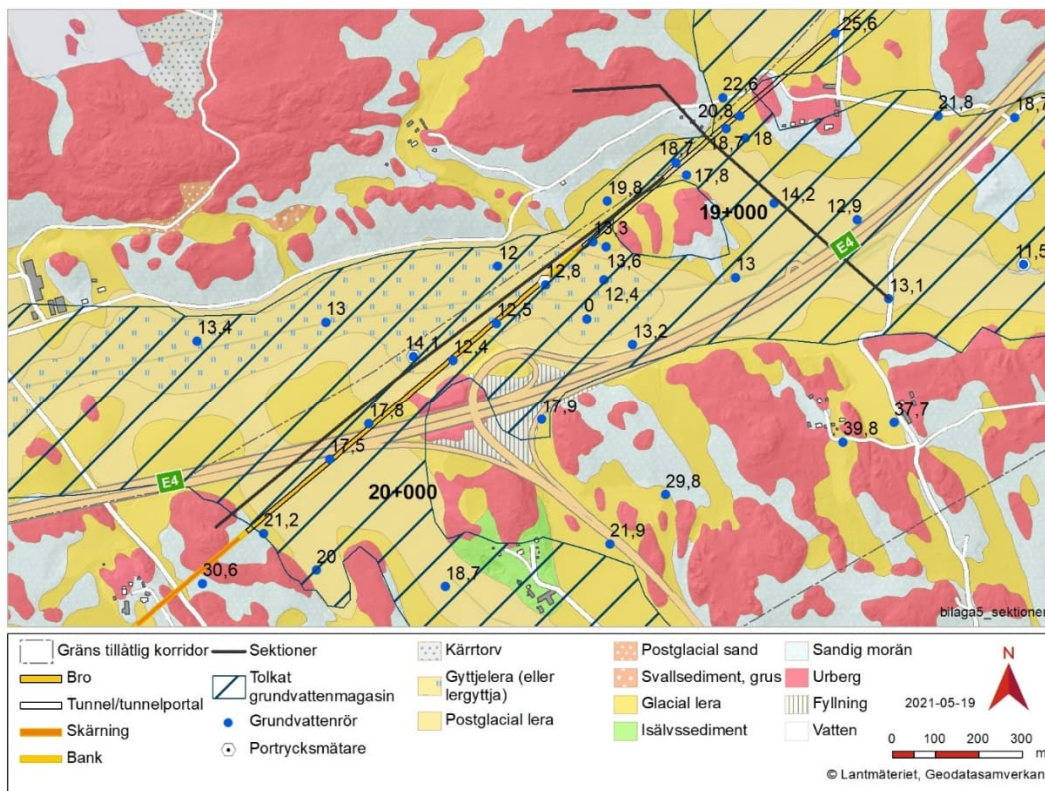
Den hydrauliska konduktiviteten inom Magasin Vagnhärad bedöms vara i någonstans i storleksordningen 1×10^{-5} till 1×10^{-4} m/s baserat på utförd provpumpning och representativa slugtester utförda inom grundvattenmagasinet. I anslutning till modellsektion 18+900 har hydraulisk konduktivitet från ett slugtest noterats i den högre delen av intervallet. Hydraulisk konduktivitet längs med modellprofilen 19+000 – 20+000 är däremot i den lägre delen av intervallet enligt utförda undersökningar. Den hydrauliska konduktiviteten för friktionsjorden har i utförda beräkningar ansatts till 1×10^{-5} – 5×10^{-5} m/s utifrån resultat från hydrogeologiska fältundersökningar samt konceptuella tolkningar. Hydraulisk konduktivitet för lera har uppskattats utifrån litteraturvärden (Freeze & Cherry, 1979), medan bergets genomsläpplighet ansatts konservativt utifrån resultat från närbelägna fältundersökningar och brunnanalys. Spontens hydrauliska konduktivitet har antagits utifrån att materialet bedöms vara i stort helt tätt i spontutförande V1, men något mera genomsläppligt i fallen V2 och V3. Den hydrauliska konduktiviteten som använts i modellberäkningarna redovisas i Tabell 4-3.



Tabell 4-3. Hydraulisk konduktivitet som använts i modellberäkningar vid Tullgarnstunnelns södra förskärning.

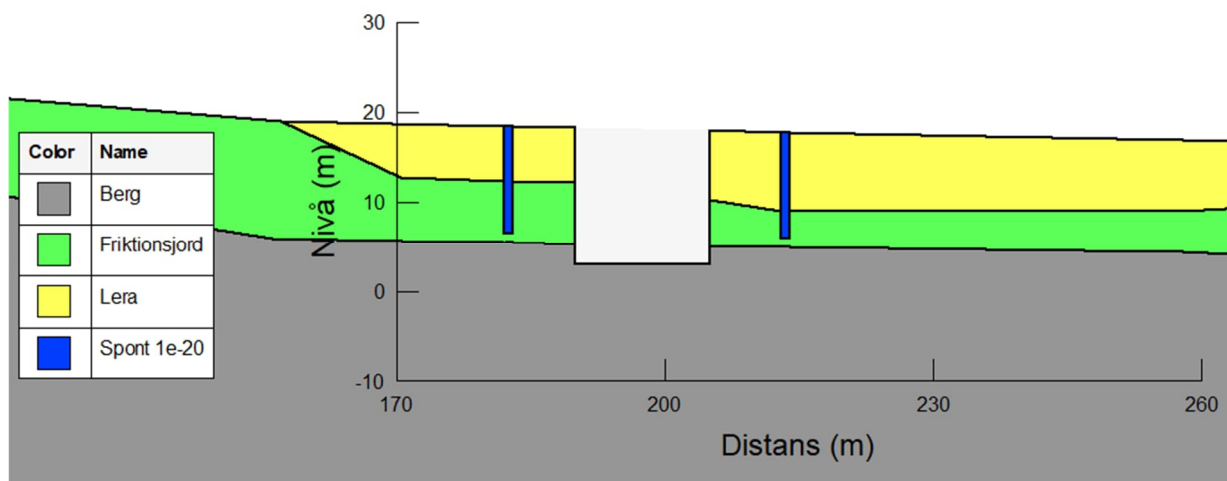
Material	Hydraulisk konduktivitet (m/s)
Lera	$1,0 \times 10^{-9}$ (V1, V2 och V3)
Friktionsjord	
18+900	$5,0 \times 10^{-5}$ (V1, V2 och V3)
19+000–20+200	$1,0 \times 10^{-5}$ (V1 och V2)
Berg	$1,0 \times 10^{-7}$ (V1, V2 och V3)
Spont	$1,0 \times 10^{-20}$ (V1) 1×10^{-8} (V2 och V3)
Ridåinjektering	$1,0 \times 10^{-8}$ (V3)

I Figur 4-7 redovisas modellsektionernas lägen samt 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 18+900 är något böjd, då grundvattenströmningen antas följa topografin i bergmoränområdet i norr. Då modellsektionen ska följa grundvattnets strömning är det principiellt inget problem att modellera en böjd sektion, bara modellen följer flödeslinjerna för området.

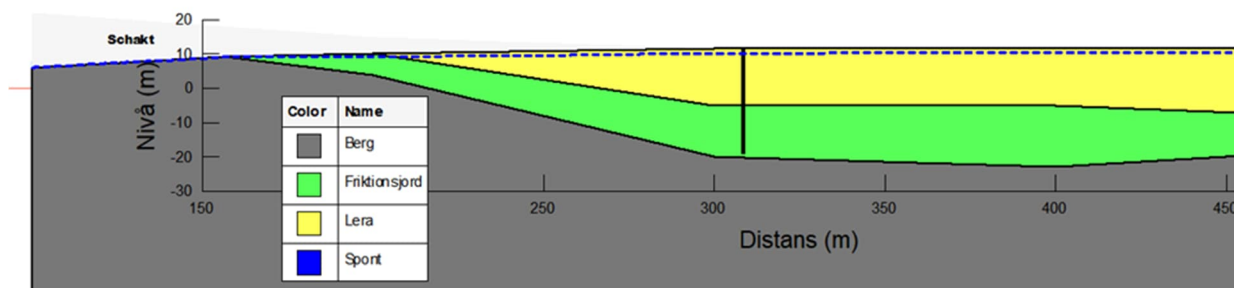


Figur 4-7: Placering av modellsektioner i km 18+900 (tvärsektion) och 19+000–20+200 (längsgående sektion) vid Tullgarnstunnelns södra förskärning och medelgrundvattennivåer i förekommande observationsrör.

Information om jordlager i varje tvärsnitt har tolkats utifrån geotekniska fältundersökningar. I Figur 4-8 och Figur 4-9 visas jordlagren för sektionerna i km 18+900 och 19+000–20+200 med spontutförande V1. Hela modellsektionerna inklusive resulterande grundvattennivåer redovisas i kapitel 8.3 med spontutförande V1.



Figur 4-8: Tvärsnitt vid km 18+900. Vänligen notera att figuren endast visar området närmast schakten. Vy i riktning mot tunnelpåslaget i nordost (vänster i bild är mot nordväst och höger mot sydost).



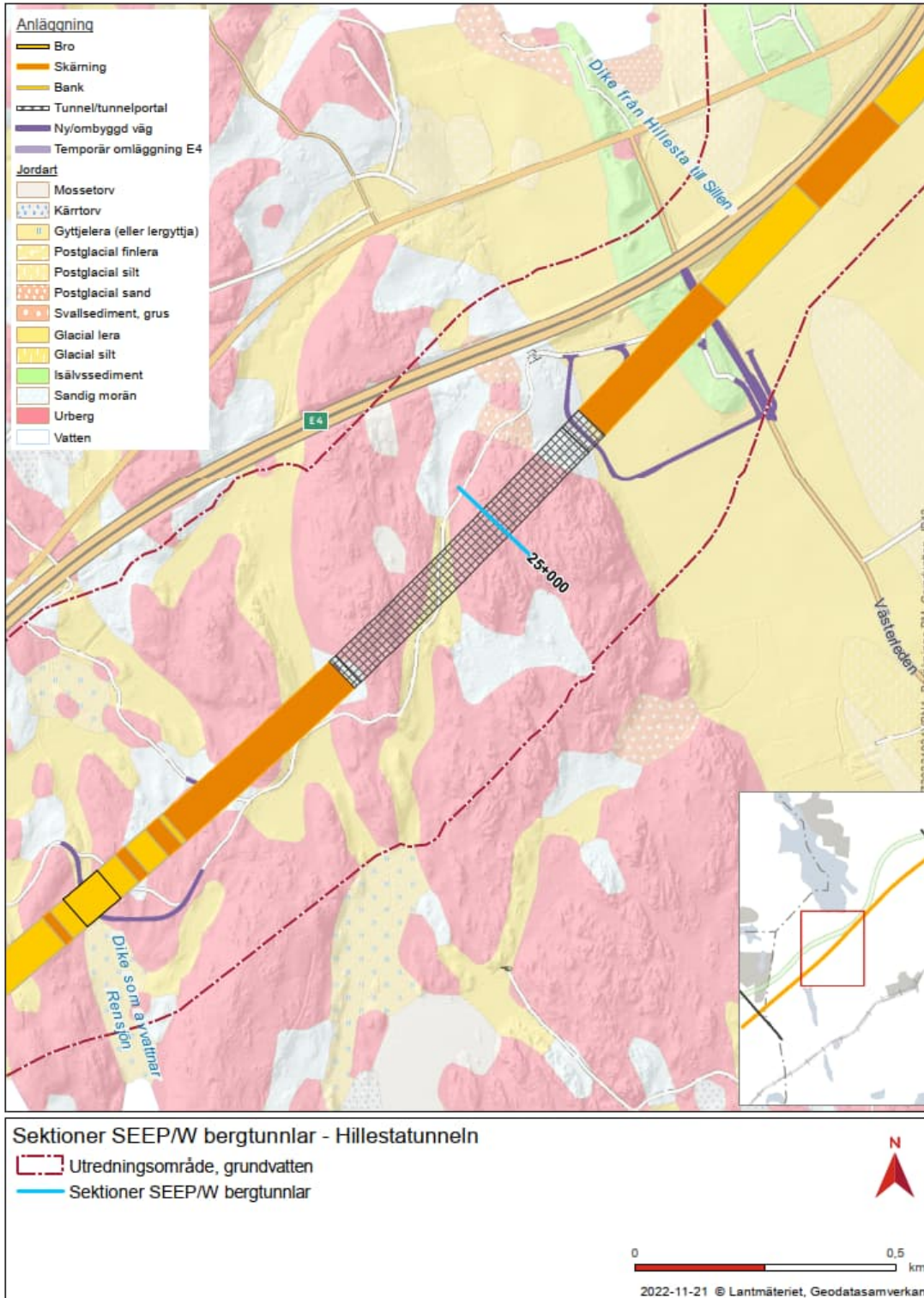
Figur 4-9: Längdssektion vid km 19+000–20+200. Vänligen notera att schaktet ligger längst till vänster i bilden, medan sponten syns i mitten. Vänster i bild är mot nordost och höger är mot sydväst.

4.1.5 Hillestatunneln

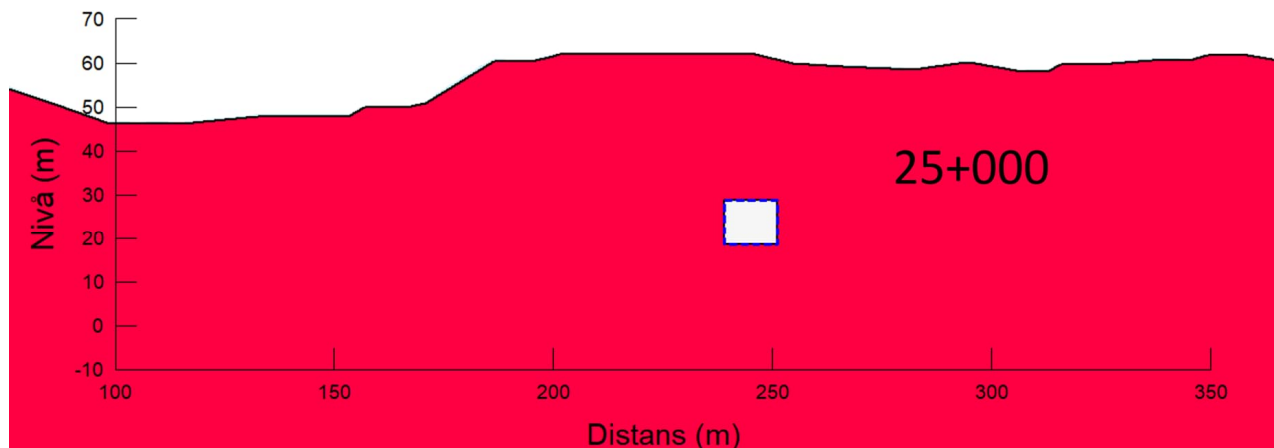
Numerisk beräkning av påverkansområde/inläckage har utförts för en tunnelsektion i km 25+000, se Figur 4-10. För beskrivning av planerad anläggning och hydrogeologiska förutsättningar, se Bilaga D.2 PM Yt- och grundvatten.

Modellerade tunnelsektioner och antagen bergtopografi illustreras i Figur 4-11. I Tabell 4-4 redovisas ansatta värden för hydraulisk konduktivitet i berg.

Mer detaljerade illustrationer redovisas i kapitel 8.4.



Figur 4-10. Läge i plan för modellerad tunnelsektion (ljusblå linje) längs Hillestatunneln.



Figur 4-11: Illustration av simulerad sektion för Hillestatunneln från SEEP/W. Figuren visar modellen som den ser ut närmast tunneln med bergtopografi och tunnelns placering (vit kvadrat). Vänster i bild är mot nordväst och höger är mot sydöst.

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

Område	Sektion (km)	Material	Hydraulisk konduktivitet (m/s)
Hillestatunneln	25+000	Berg	$1 \times 10^{-7} / 1 \times 10^{-8} / 9,4 \times 10^{-9}$

4.2 Analytiska beräkningar

Påverkansområden för samtliga anläggningsdelar med bedömd grundvattenpåverkan längs Ostlänken, delen Långsjön–Sillekrog, har beräknats analytiskt.

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

4.2.1 Bergtunnlar

4.2.1.1 Påverkansområde

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

$$q(0) = \frac{q}{\pi H}$$

Ekvation (4.1)

Där

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

q [(m³/s)/m] Inläckage till tunnel per längdmeter

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

Projektnamn	Skapat av (Leverantör)	Godkänt datum	Rev Datum
Ostlänken	Johanna Engelbretsson, Jonas Pedersen, Alexander Hansen, Linda Jalava, Daniel Erdal	2023-05-23	-
Ärendenummer	Granskat av (Leverantör)	Sidor	Version
TRV 2019/65712	Mattias Fredin Godkänt av (Leverantör) Henrik Tham	24(99)	_.4



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 cirka 5 gånger avståndet mellan tunneldjupet 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 påverkansavstånd 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 uppstickande höjdområden har dock platsspecifika 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 verifierat 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 vid utförda vattenförlustmätningarna verifierats vara vattenförande.

Ekvationer och antaganden - typinläckage

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

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

där

q [(m³/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

ξ Skinfaktor

Ekvation 4.2 gäller 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.

Projektnamn	Skapat av (Leverantör)	Godkänt datum	Rev Datum
Ostlänken	Johanna Engelbrektsson, Jonas Pedersen, Alexander Hansen, Linda Jalava, Daniel Erdal	2023-05-23	-
Ärendenummer	Granskat av (Leverantör)	Sidor	Version
TRV 2019/65712	Mattias Fredin Godkänt av (Leverantör) Henrik Tham	25(99)	_.4



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

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 de olika delsträckorna 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. Km-tal för tillfarts- respektive arbetstunnel tillhörandes Tullgarnstunneln utgår från egna längdmätningssystem. Arbetstunnel Tullgarn norrs placering i förhållande till spårlinjens längdmätning är ca km 16+000–16+375, medan motsvarande placering för tillfartstunnel Tullgarn syd är ca km 18+100–18+440. Dess utbredning i plan framgår av Figur 4-5.

Tunnel/delsträcka, km-tal	Effektiv hydraulisk konduktivitet, K_{eff} [m/s]	Ursprung
Tullgarnstunneln inkl. servicetunnel		
15+339 - 15+950	$5,4 \times 10^{-8}$	Vattenförlustmätning (OLP4K306)
15+950 -16+330	$5,7 \times 10^{-8}$	Brunnsanalys
16+330 - 17+150	$2,0 \times 10^{-8}$	Vattenförlustmätning (OLP4K315)
17+150 - 17+450	$1,9 \times 10^{-7}$	Vattenförlustmätning (OLP4K317)
17+450 - 17+570	1×10^{-7}	Antaget värde
17+570 - 18+784	$3,0 \times 10^{-7}$	Vattenförlustmätning (OLP4K321)
Arbetstunnel Tullgarn norr		
0+045 - 0+534	$5,7 \times 10^{-8}$	Brunnsanalys
Tillfartstunnel Tullgarn syd		
0+017 - 0+424	$3,0 \times 10^{-7}$	Vattenförlustmätning (OLP4K321)
Hillestatunneln		
24+780 - 24+950	$9,6 \times 10^{-8}$	Brunnsanalys
24+950 - 25+339	$9,4 \times 10^{-9}$	Vattenförlustmätning (OLP4K027)

Projektnamn	Skapat av (Leverantör)	Godkänt datum	Rev Datum
Ostlänken	Johanna Engelbrektsson, Jonas Pedersen, Alexander Hansen, Linda Jalava, Daniel Erdal	2023-05-23	-
Ärendenummer	Granskat av (Leverantör)	Sidor	Version
TRV 2019/65712	Mattias Fredin Godkänt av (Leverantör) Henrik Tham	27(99)	_.4


TRAFIKVERKET

För delsträckan km 17+450 - 17+570 bör det noteras att det tillämpade värdet utgår från ett antaget typvärde om 1×10^{-7} m/s. Utvärdering av data från utförd vattenförlustmätning i kärnborrhål OLP4K318 visar annars på en avsevärt lägre effektiv hydraulisk konduktivitet om $1,7 \times 10^{-9}$ m/s. Det har noterats att det aktuella kärnborrhålet kan ha avslutats i en vattenförande zon. Spolförlusterna var vidare stora i samband med borring, varför det erhållna värdet från utvärderingen kan vara missvisande (underskattat). Som ett konservativt antagande har därför ett typvärde för effektiv hydraulisk konduktivitet, i samma storleksordning som för angränsande tunnelsträckor, tillämpats vid utförda beräkningar.

För Tullgarnstunnelns södra del (km 17+150–18+784) har tätning genom tillämpande av konventionell förinjektering med cementbruk föreslagits som en skadeförebyggande åtgärd i syfte att begränsa tunnelns omgivningspåverkan. För att belysa effekten av sådan tätning har analytiska beräkningar utförts för såväl otätad som tätad tunnel. Den hydrauliska konduktiviteten för den tätade injekterade bergmassan (K_g) har antagits motsvara en femtionedel av bergets effektiva hydrauliska konduktivitet inom berörd delsträcka längs tunneln (alltså $K_{eff}/50$), samtidigt som en undre begränsning för hur tätt berget kan bli med denna typ av injektering ansatts till 1×10^{-8} m/s (se bland annat Stille (2015), Gustafson (2009) och Trafikverket (2021)).

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.

Tunnelradie

Ekvationerna för inläckageberäkningar förutsätter ett cirkulärt tunneltvärsnitt, där ekvivalent tunnelradie i utförda beräkningar ansatts till 7 meter, vilket motsvarar en tvärsnittsarea om 154 m^2 . Huvudspårtunneln har projekterats med en total tvärsnittsarea om 120 m^2 , medan servicetunneln, som löper parallellt med Tullgarnstunnelns spårtunnel, har projekterats med en tvärsnittsarea om 34 m^2 , vilket innebär att tillämpat tvärsnitt motsvarar projekterad anläggning i Tullgarnstunnelns fall och är något större än projekterat tunneltvärsnitt i Hillestatunnelns fall.

För Tullgarnstunnelns arbets- respektive tillfartstunnel har en tunnelradie om 4,4 meter antagits, vilket motsvarar en tvärsnittsarea om 60 m^2 .

Grundvattentryck

Grundvattennivån har i utförda beräkningar antagits ligga på samma nivå som 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]
Tullgarnstunneln inkl. servicetunnel		
15+339–15+950	25	16–30
15+950–16+330	45	28–50
16+330–17+150	50	36–65
17+150–17+450	52	42–64
17+450–17+570	47	39–50
17+570–18+784	50	15–78
Arbetstunnel Tullgarn norr		
0+045 - 0+534	25	5–50
Tillfartstunnel Tullgarn syd		
0+017 - 0+424	30	5–78
Hillestatunneln		
24+780–24+950	30	10–35
24+950–25+339	25	11–37

Tjocklek på injekterad zon

Tjockleken på den injekterade zonen har vid beräkningar av inläckage till tätat tunnel antagits till 5 meter, vilket motsvarar allmän praxis.

Ekvationer och antaganden - zoninläckage

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

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

Ekvation (4.3)

Projektnamn	Skapat av (Leverantör)	Godkänt datum	Rev Datum
Ostlänken	Johanna Engelbrektsson, Jonas Pedersen, Alexander Hansen, Linda Jalava, Daniel Erdal	2023-05-23	-
Ärendenummer	Granskat av (Leverantör)	Sidor	Version
TRV 2019/65712	Mattias Fredin Godkänt av (Leverantör) Henrik Tham	29(99)	..4



där

q_{zon} [m ³ /s]	Inläckage till tunnel via zon
K_{zon} [m/s ²]	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}) multiplicerat 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 utförda 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 Tullgarnstunneln och två längs Hillestatunneln.

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 verifierade zoner framgår tillsammans med övriga zoner enligt den ingenjörsgesologiska prognosen i Figur 29 och 30 (Tullgarnstunneln) respektive Figur 48 (Hillestatunneln) i ansökans Bilaga D.2 PM Yt- och grundvatten.

Tabell 4-7. Verifierade vattenförande zoner längs Tullgarnstunneln och Hillestatunneln. Utbredning i förhållande till spårinjen, 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 ² /s]	K_{zon} [m/s]	Aktuellt borrhål/data
Tullgarnstunneln							
#84	15+760	15+790	30	25	$1,30 \times 10^{-6}$	$4,3 \times 10^{-8}$	OLP4K308
#167	17+280	17+290	10	42	$1,50 \times 10^{-6}$	$1,5 \times 10^{-7}$	OLP4K316
#166	17+465	17+485	20	47	$1,40 \times 10^{-7}$	$7,0 \times 10^{-9}$	OLP4K318
Hillestatunneln							
#120	25+105	25+125	20	25	$1,60 \times 10^{-6}$	$8,0 \times 10^{-8}$	OLP4K027
#121	25+105	25+145	40	25	$1,60 \times 10^{-6}$	$4,0 \times 10^{-8}$	OLP4K027

För zon #166 har det i samband med utvärderingar noterats att det finns en zon i änden av borrhålet som inte är helt genomborrad, vilket innebär viss risk för att genomsläppligheten för zonen i fråga är underskattad. Ämnet diskuteras vidare i kapitel 5.2.4.

Projektnamn	Skapat av (Leverantör)	Godkänt datum	Rev Datum
Ostlänken	Johanna Engelbrektsson, Jonas Pedersen, Alexander Hansen, Linda Jalava, Daniel Erdal	2023-05-23	-
Ärendenummer	Granskat av (Leverantör)	Sidor	Version
TRV 2019/65712	Mattias Fredin Godkänt av (Leverantör) Henrik Tham	30(99)	_.4



För Tullgarnstunnelns södra del (km 17+150–18+784) har tätning genom tillämpande av konventionell förinjektering med cementbruk föreslagits som en skadeförebyggande åtgärd för att begränsa tunnelns grundvattenpåverkan gentemot omgivningen. För att belysa effekten av sådan tätning har beräkningar utförts för såväl otätad som tätad tunnel. Den hydrauliska konduktiviteten för den tätade zonen har antagits motsvara en femtiondedel av den otätade zonens tolkade hydrauliska konduktivitet, alltså $K_{zon}/50$, samtidigt som en undre begränsning för hur tätt berget kan bli med denna typ av injektering ansatts till 1×10^{-8} m/s (se bland annat Stille (2015), Gustafson (2009) och Trafikverket (2021)).

4.2.2 Övriga anläggningsdelar

Olika typer av analytiska beräkningar har utförts för övriga anläggningsdelar. De analytiska beräkningarna omfattar påverkansavstånd från grundläggning av brostöd, utförande av markförstärkningsåtgärder, VA-anläggningar, processvattenbrunnar samt skärningar för järnvägsanläggningen samt 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.

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

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

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

där

Q = Grundvattenflöde (m³/s)

K = Hydraulisk konduktivitet (m/s)

dh/dr = Grundvattenytans lutning (enhetslös)

P = Grundvattenbildning (m/s)

r₀ = Avstånd från schaktmitt vid h₀, dvs avstånd från schaktmitt till opåverkad grundvattennivå (m)

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

h₀ = Avstånd mellan opåverkad grundvattennivå och grundvattenmagasinets botten vid r₀ (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 överskattad 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 har det antagits en temporär avsänkning till en halv meter under schaktbottennivå, medan det i beräkningar för driftskede antagits en permanent avsänkning till precis schaktbottennivå.

Projektnamn	Skapat av (Leverantör)	Godkänt datum	Rev Datum
Ostlänken	Johanna Engelbretsson, Jonas Pedersen, Alexander Hansen, Linda Jalava, Daniel Erdal	2023-05-23	-
Ärendenummer	Granskat av (Leverantör)	Sidor	Version
TRV 2019/65712	Mattias Fredin Godkänt av (Leverantör) Henrik Tham	31(99)	_.4



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 respektive 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 (m³/s)

D = Grundvattenmagasinets mäktighet (m)

K = Hydraulisk konduktivitet (m/s)

dh/dr = Grundvattenytans lutning (enhetslös)

P = Grundvattenbildning (m/s)

r₀ = Avstånd från schaktmitt vid h₀, dvs avstånd från schaktmitt till opåverkad grundvattennivå(m)

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

h₀ = Avstånd mellan opåverkad grundvattennivå och grundvattenmagasinets botten vid r₀ (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 alltså vara användbara för att erhålla uppskattning av möjligt påverkansområde. För byggskede har det antagits en temporär avsänkning till en halvmeter under schaktbottennivå, medan det i beräkningar för driftskede antagits en permanent 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 r₀ 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)

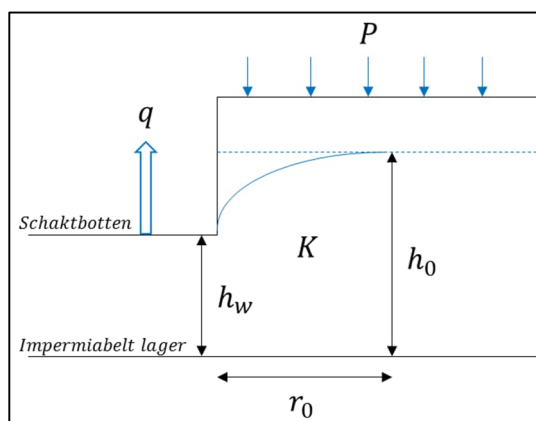
Q = Grundvattenflöde (från ena sidan av den linjära schakten) (m³/(s×m))

h_0 = 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 4-12 visas en principskiss för beräkningsmetoden.



Figur 4-12: 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.

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

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

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

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

Projektnamn	Skapat av (Leverantör)	Godkänt datum	Rev Datum
Ostlänken	Johanna Engelbrektsson, Jonas Pedersen, Alexander Hansen, Linda Jalava, Daniel Erdal	2023-05-23	-
Ärendenummer	Granskat av (Leverantör)	Sidor	Version
TRV 2019/65712	Mattias Fredin Godkänt av (Leverantör) Henrik Tham	33(99)	_.4



där

Q = Grundvattenflöde ($m^3/(s \times m)$)

P = Grundvattenbildning (m/s)

A = Area (m^2)

r = Avstånd (radie) från uttagpunkt 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 grundvattenbortledning/inflöde (Q) och grundvattenbildning inom området. Förenklat innebär det att när dessa två tar ut varandra erhålls påverkansområdets utbredning. Antsett 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 (grovt material). I utförda beräkningar för öppna magasinsförhållanden har en grundvattenbildning till friktionsjord/morän antagits till 200 mm/år. Sett till spannet i stort är siffran relativt lågt antagits 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 magasinsförhållanden antagits till 50 mm/år. Värdet är relativt högt antagits 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 magasinsförhållanden 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) antagits i de fallen till 150 mm/år och grundvattenbildning till berg 50 mm/år
- Hydraulisk konduktivitet (K) har antagits utifrån utförda hydrogeologiska undersökningar/analyser i kombination med en bedömning utifrån förekommande jordart/berg. Värdet har valts konservativt för att inte underskatta påverkansområdets utbredning. Hydraulisk konduktivitet är generellt i beräkningarna satt till 1×10^{-6} - 1×10^{-5} m/s för morän och friktionsjord, 1×10^{-9} - 1×10^{-8} m/s för silt och lera och 1×10^{-7} m/s för berg

Projektnamn	Skapat av (Leverantör)	Godkänt datum	Rev Datum
Ostlänken	Johanna Engelbrektsson, Jonas Pedersen, Alexander Hansen, Linda Jalava, Daniel Erdal	2023-05-23	-
Ärendenummer	Granskat av (Leverantör)	Sidor	Version
TRV 2019/65712	Mattias Fredin Godkänt av (Leverantör) Henrik Tham	34(99)	_.4



- 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

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 motsvarande 4 meter under markytan, såvida inget annat anges kapitel 5.5.1. I de fall en grundvattensänkning större än 4 meter under markytan har bedömt erfordras (till exempel på grund av risk för bottenuppträckning) har avsänkningens storlek anpassats därefter.

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

Resultat från beräkningar för brostöd med jämförbara beräkningsförutsättningar redovisas gemensamt.

För sammanställning av beräkningsförutsättningar och beräknade påverkansområden se Tabell 5-23 – Tabell 5-29.

4.2.2.4 Markförstärkningsåtgärder

Vid utförande av markförstärkningsåtgärder såsom utskiftning kan det komma att erfordras tillfällig grundvattensänkning i byggskedet. Utbredning av tillfälligt 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 5-30.

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

Projektnamn	Skapat av (Leverantör)	Godkänt datum	Rev Datum
Ostlänken	Johanna Engelbrektsson, Jonas Pedersen, Alexander Hansen, Linda Jalava, Daniel Erdal	2023-05-23	-
Ärendenummer	Granskat av (Leverantör)	Sidor	Version
TRV 2019/65712	Mattias Fredin Godkänt av (Leverantör) Henrik Tham	35(99)	_.4



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

För sammanfattning av beräkningsförutsättningar se Tabell 5-31 och Tabell 5-32.

4.2.2.6 Processvattenbrunnar

Uttag av processvatten från bergborrhade brunnar i anslutning till Tullgarnstunnelns norra och södra påslag, arbetstunnel Tullgarn norr samt Hillestatunnelns södra påslag bedöms komma att medföra grundvattenpåverkan i byggskedet. Brunnarna kommer att anläggas inom planerade etableringsytor. Utbredning av påverkansområde under byggskede har beräknats med Ekvation 4.13 - 4.16 för att erhålla det område som krävs för att balansera det planerade vattenuttaget på respektive plats (se Tabell 4-8). Grundvattenbildningen till berg har i utförda beräkningar antagits uppgå till 50 mm/år.

Tabell 4-8. Lägen för planerat för processvattenuttag, uppskattat antal brunnar per läge, planerat grundvattenuttag samt antagen grundvattenbildning till berg.

Läge för processvattenuttag	Antal brunnar	Totalt planerat uttag [l/h]	Antagen GV-bildning [mm/år]
Tullgarnstunneln, norra påslaget km 15+250	3	2 080	50
Tullgarnstunneln, arbetstunnel km 15+850	4	2 080	50
Tullgarnstunneln, södra påslaget km 18+800	6	4 170	50
Hillestatunneln, Södra påslaget km 25+400	4	2 580	50

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 5-33.

4.2.2.7 Skärningar för järnvägsanläggningen

Permanent påverkansområde för sträckor där järnvägen går i skärning under grundvattenytan 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 justerats för detta (markerat i Tabell 5-34). 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 5-34.

Projektnamn	Skapat av (Leverantör)	Godkänt datum	Rev Datum
Ostlänken	Johanna Engelbretsson, Jonas Pedersen, Alexander Hansen, Linda Jalava, Daniel Erdal	2023-05-23	-
Ärendenummer	Granskat av (Leverantör)	Sidor	Version
TRV 2019/65712	Mattias Fredin Godkänt av (Leverantör) Henrik Tham	36(99)	_.4



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 5-35 anges beräkningpunkts läge som en koordinat tillsammans med vägens ungefärliga läge i förhållande till järnvägens längdmätning.

För sammanställning av beräkningsförutsättningar se Tabell 5-35.

4.2.2.9 Överslagsberäkningar vid jord-bergschakt

Vid de djupa jord-bergschakten längs Tullgarnstunnelns norra och södra förskärning har överslagsberäkningar av påverkansområden utförts med ekvationerna 4.4 – 4.8 (olika beroende på om grundvattensänkningen huvudsakligen bedöms ske i öppna eller i slutna magasinsförhållanden).

För sammanställning av beräkningsförutsättningar se Tabell 5-2. Sammanställning av antagna beräkningsförutsättningar och beräknat påverkansavstånd (utan skyddsåtgärder) för överslagsberäkningar vid norra förskärningen till Tullgarnstunneln. Tabell 5-2 respektive Tabell 5-17.

4.3 Vattenbalansberäkningar

Vattenbalansberäkningar har utförts inom påverkansområden för de planerade bergtunnlarna Tullgarnstunneln respektive Hillestatunneln. Därtill har lokala vattenbalanser upprättats, dels för området där Tullgarnstunneln passerar under befintlig järnvägsanläggning Nyköpingsbanan (km 17+500), dels för ett av SGU identifierat grundvattenmagasin (med magasinsidentitet 250300030) inom magasin Vagnhärad.

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

ΔS = Magasinsförändring

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

Projektnamn	Skapat av (Leverantör)	Godkänt datum	Rev Datum
Ostlänken	Johanna Engelbrektsson, Jonas Pedersen, Alexander Hansen, Linda Jalava, Daniel Erdal	2023-05-23	-
Ärendenummer	Granskat av (Leverantör)	Sidor	Version
TRV 2019/65712	Mattias Fredin Godkänt av (Leverantör) Henrik Tham	37(99)	_.4



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 mängden bortlett grundvatten 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 tunnarnas påverkan gentemot förekommande riskexponerade objekt.

4.3.1 Antaganden

Följande antaganden ligger till grund för utförda vattenbalansberäkningar:

- 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 tillämplad 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 generellt 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 tunnarnas 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 Tullgarnstunneln respektive Hillestatunneln motsvarar i stort bergtunnlarnas påverkansområden. För Tullgarnstunneln har vattenbalansberäkningar utförts dels för otätad tunnel, dels för tunnel i planerat utförande, det vill säga med tätning mellan km 17+150 och 18+784. Vid utförande av tunneltätning påverkas såväl vattenbalansområdets utbredning som inläckaget till tunneln längs berörd tunnelsträckning. För Hillestatunneln har vattenbalansberäkning endast gjorts för otätad tunnel.

Det lokala vattenbalansområdet för området där Tullgarnstunneln passerar under befintlig järnvägsanläggning Nyköpingsbanan (km 17+500) omfattar en mindre del av Tullgarnstunnelns påverkansområde som avgränsats

Projektnamn	Skapat av (Leverantör)	Godkänt datum	Rev Datum
Ostlänken	Johanna Engelbrektsson, Jonas Pedersen, Alexander Hansen, Linda Jalava, Daniel Erdal	2023-05-23	-
Ärendenummer	Granskat av (Leverantör)	Sidor	Version
TRV 2019/65712	Mattias Fredin Godkänt av (Leverantör) Henrik Tham	38(99)	_.4


TRAFIKVERKET

topografiskt mot väst respektive öst genom analys i ArcHydro. Mot söder har gränsen dragits mot en bedömd trång sektion för grundvattenflöde i höjd med E4. Mot norr har gränsen dragit mot Långsjöns strandlinje.

Det lokala vattenbalansområde som tillämpats för det av SGU identifierade grundvattenmagasinet, med magasinidentitet 250300030, inom magasin Vagnhärad motsvarar det tillrinningsområde som avgränsats av SGU. Från SGU har även uppgifter avseende bedömd tillrinning till magasinet inhämtats.

Inom upprättade vattenbalansområden (undantaget det av SGU identifierade magasinet inom magasin Vagnhärad) 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 beräknades därefter i 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 för respektive ytjordartshuvudgrupp redovisas i Tabell 4-9 och har valts utifrån nedan 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 har 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 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 (grov jord): Enligt Rodhe et al. (2006)

Projektnamn	Skapat av (Leverantör)	Godkänt datum	Rev Datum
Ostlänken	Johanna Engelbrektsson, Jonas Pedersen, Alexander Hansen, Linda Jalava, Daniel Erdal	2023-05-23	-
Ärendenummer	Granskat av (Leverantör)	Sidor	Version
TRV 2019/65712	Mattias Fredin Godkänt av (Leverantör) Henrik Tham	39(99)	_.4



Tabell 4-9. Ansatta värden för grundvattenbildning till olika jordarter kopplat till respektive vattenbalansområde.

Vattenbalansområde	Grundvattenbildning (mm/år)				
	Morän	Berg	Lera	Organisk jord (torv)	Sand
Tullgarnstunneln	200	200	50	0	300
Korsande järnvägsanläggning Nyköpingsbanan (km 17+500)	200	200	50	0	300
Hillestatunneln	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 till otätade bergtunnlar och beräknad grundvattenbildning inom vattenbalansområden för otätade tunnlar. I Tullgarnstunnelns fall har jämförelsen även gjorts för ett planerat tätat utförande, då tätning föreslagits som en skadeförebyggande åtgärd i dess södra delar (km 17+150 – 18+784).

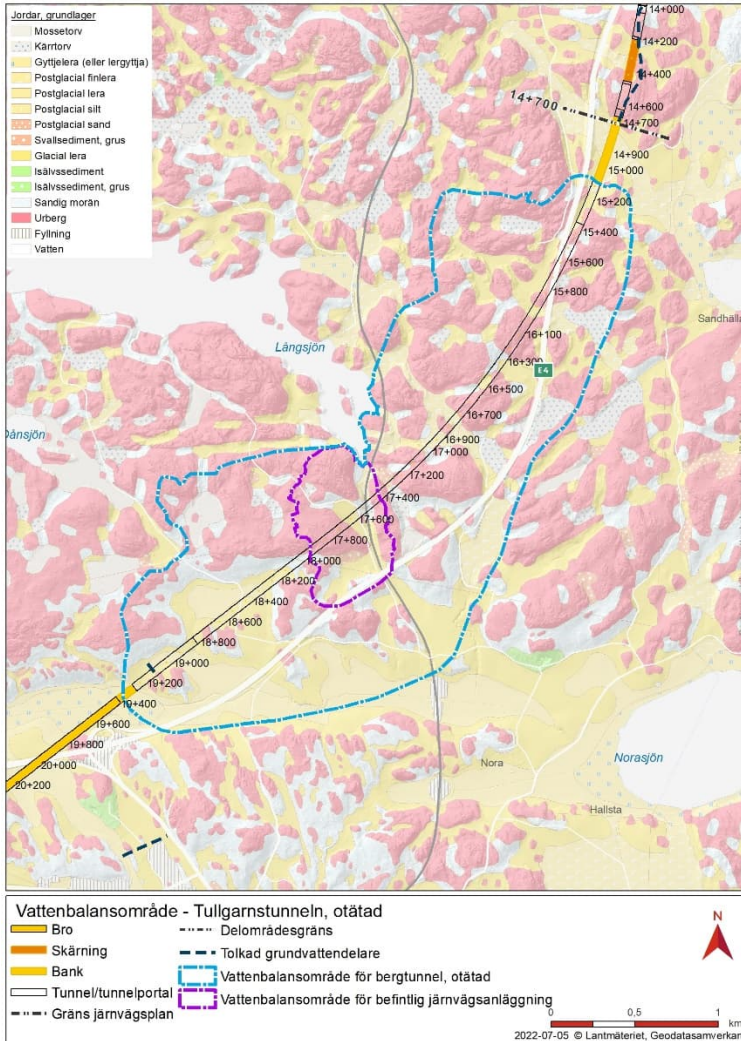
Endast inläckage till bergtunnlar har studerats i utförda vattenbalansberäkningarna. Eventuellt dränering via förekommande skärningar inom upprättade vattenbalansområden ingår således inte i analysen.

4.3.3 Vattenbalansområden och beräknad grundvattenbildning

4.3.3.1 Tullgarnstunneln, otätat utförande

Vattenbalansområdet för Tullgarnstunneln i otätat utförande är drygt 5 km² stort och utgörs mestadels av obebyggd skogsmark och en mindre andel jordbruksmark. Området angränsar mot Långsjön i norr. Geologiskt dominerar berg i dagen eller berg som täcks med enbart tunna moränjordlager. Längs dalstråk förekommer lera.

Geografisk utbredning av vattenbalansområdet redovisas i Figur 4-13.



Figur 4-13. Vattenbalansområde för Tullgarnstunneln i otätad utförande, samt vattenbalansområde för den korsande befintliga järnvägsanläggningen Nyköpingsbanan vid km 17+500.

Grundvattenbildningen till vattenbalansområdet har beräknats enligt metodik beskriven i kapitel 4.3.2. Grundvattenbildning och motsvarande grundvattenflöde (årsmedelvärde) redovisas i Tabell 4-10.

Projektnamn	Skapat av (Leverantör)	Godkänt datum	Rev Datum
Ostlänken	Johanna Engelbretsson, Jonas Pedersen, Alexander Hansen, Linda Jalava, Daniel Erdal	2023-05-23	-
Ärendenummer	Granskat av (Leverantör)	Sidor	Version
TRV 2019/65712	Mattias Fredin Godkänt av (Leverantör) Henrik Tham	41(99)	_.4



Tabell 4-10. Förekommande jordarter med uppskattade arealer, antagen grundvattenbildning och beräknat grundvattenflöde inom vattenbalansområde för Tullgarnstunnelns i otätat utförande.

Jordart	Areal (m ²)	Grundvattenbildning (mm/år)	Grundvattenflöde (m ³ /år)	Grundvattenflöde (l/min)
Berg	2 170 353	200	434 071	826
Lera	1 822 291	50	91 115	173
Organisk jord	276 192	0	0	0
Sand	23 213	300	6 964	13
Morän	705 474	200	141 095	268
Summa				1 300

Utöver den lokala grundvattenbildningen, som sker inom vattenbalansområdet och som omfattas av vattenbalansberäkningen i Tabell 4-10, går det inte utesluta att tillskott av vatten från angränsande områden då Långsjön kan komma fungera som en positiv hydraulisk rand.

Inom avgränsat vattenbalansområde finns följande planerade anläggningar med grundvattenbortledning:

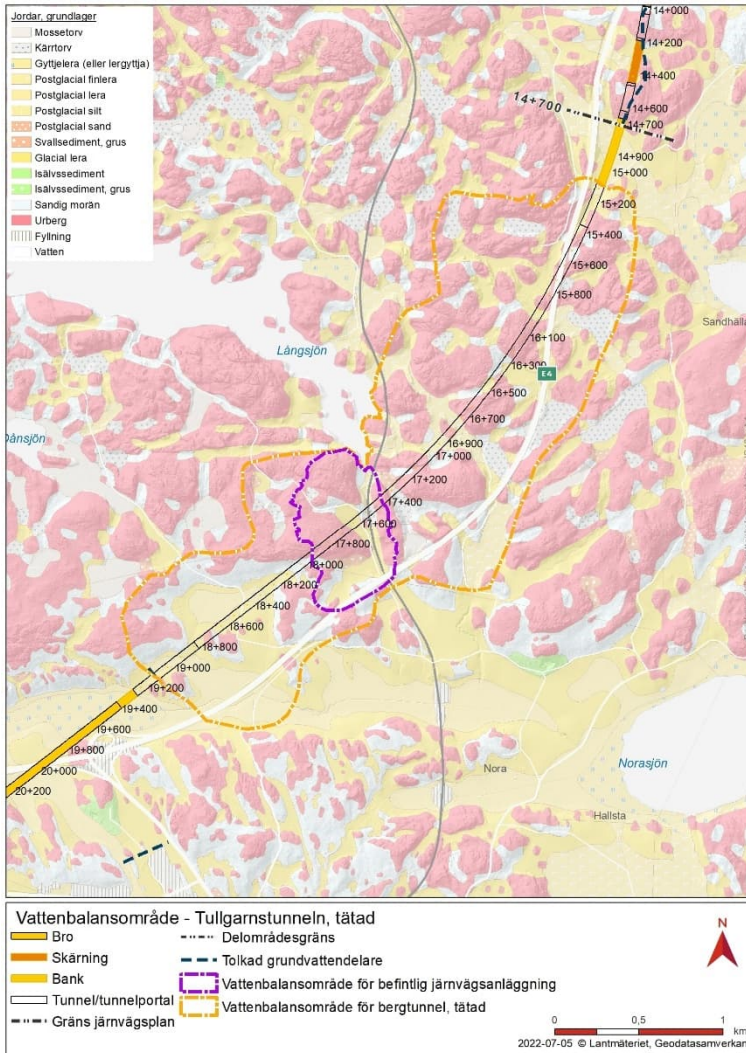
- Tullgarnstunneln (inklusive servicetunnel), km 15+339 – 18+784
- Arbetstunnel Tullgarn Norr, km 0+045 - 0+534
- Tillfartstunnel Tullgarn Syd, km 0+017 - 0+424

Observera att km-tal för tillfarts- respektive arbetstunnel utgår från egna längdmätningssystem.

4.3.3.2 Tullgarnstunneln, med föreslagen tätning

Vattenbalansområdet för Tullgarnstunneln med föreslagen tätning i de södra delarna (km 17+150 – 18+784) är drygt 4 km² stort och utgörs mestadels av obebyggd skogsmark och en mindre andel jordbruksmark. Området angränsar mot Långsjön i norr. Geologiskt dominerar berg i dagen eller berg som täcks med enbart tunna moränjordlager. Längs dalstråk förekommer lera.

Geografisk utbredning av vattenbalansområdet redovisas i Figur 4-14.



Figur 4-14. Vattenbalansområde för Tullgarnstunneln med föreslagen tätning i de södra delarna (km 17+150 – 18+784), samt vattenbalansområde för den korsande befintliga järnvägsanläggningen Nyköpingsbanan vid km 17+500.

Grundvattenbildningen till vattenbalansområdet har beräknats enligt metodik beskriven i kapitel 4.3.2. Grundvattenbildning och motsvarande grundvattenflöde (årsmedelvärde) redovisas i Tabell 4-11.



Tabell 4-11. Förekommande jordarter med uppskattade arealer, antagen grundvattenbildning och beräknat grundvattenflöde inom vattenbalansområde för Tullgarnstunneln med föreslagen tätning i de södra delarna (km 17+150 – 18+784).

Jordart	Areal (m ²)	Grundvattenbildning (mm/år)	Grundvattenflöde (m ³ /år)	Grundvattenflöde (l/min)
Berg	1 971 426	200	394 285	750
Lera	1 293 600	50	646 80	123
Organisk jord	229 854	0	0	0
Sand	23 213	300	6 964	13
Morän	589 954	200	117 991	224
Summa				1 100

Utöver den lokala grundvattenbildningen, som sker inom vattenbalansområdet och som omfattas av vattenbalansberäkningen i Tabell 4-11, går det inte utesluta att tillskott av vatten från angränsande områden då Långsjön kan komma fungera som en positiv hydraulisk rand.

Inom vattenbalansområdet finns följande planerade anläggningar med grundvattenbortledning:

- Tullgarnstunneln (otätat/tätat utförande), km 15+339 – 18+784
- Arbetstunnel Tullgarn Norr (otätat utförande), km 0+045 - 0+534
- Tillfartstunnel Tullgarn Syd (tätat utförande), km 0+017 - 0+424

Observera att km-tal för tillfarts- respektive arbetstunnel utgår från egna längdmätningssystem

4.3.3.3 Korsande järnvägsanläggning Nyköpingsbanan, km 17+500

Vattenbalansområdet för den befintliga korsande järnvägsanläggningen Nyköpingsbanan vid km 17+500 utgör del av Tullgarnstunnelns påverkansområde. Området är ca 0,4 km² stort och utgörs främst av obebyggd skogsmark och en mindre andel jordbruksmark. Området angränsar mot Långsjön i norr. Geologiskt dominerar berg i dagen i höjdområdena och lera längs dalstråk.

Geografisk utbredning av vattenbalansområdet redovisas tillsammans med Tullgarnstunnelns vattenbalansområde i Figur 4-14.

Grundvattenbildningen till vattenbalansområdet har beräknats enligt metodik beskriven i kapitel 4.3.2. Grundvattenbildning och motsvarande grundvattenflöde (årsmedelvärde) inom redovisas i Tabell 4-12.

Projekt Ostlänken	Skapat av (Leverantör) Johanna Engelbrektsson, Jonas Pedersen, Alexander Hansen, Linda Jalava, Daniel Erdal	Godkänt datum 2023-05-23	Rev Datum -
Ärendenummer TRV 2019/65712	Granskat av (Leverantör) Mattias Fredin Godkänt av (Leverantör) Henrik Tham	Sidor 44(99)	Version _4



Tabell 4-12 Förekommande jordarter med uppskattade arealer, antagen grundvattenbildning och beräknat grundvattenflöde inom vattenbalansområde för den korsande befintliga järnvägsanläggningen Nyköpingsbanan vid km 17+500.

Jordart	Areal (m ²)	Grundvattenbildning (mm/år)	Grundvattenflöde (m ³ /år)	Grundvattenflöde (l/min)
Berg	235 496	200	47 099	90
Lera	96 767	50	4 838	9
Organisk jord	12 087	0	0	0
Sand	11 948	300	3 585	7
Morän	56 067	200	11 213	21
Summa				130

Utöver den lokala grundvattenbildningen som sker inom vattenbalansområdet och som omfattas av vattenbalansberäkningen i Tabell 4-12 går det inte utesluta att tillskott av vatten från angränsande områden, då Långsjön kan komma fungera som en positiv hydraulisk rand.

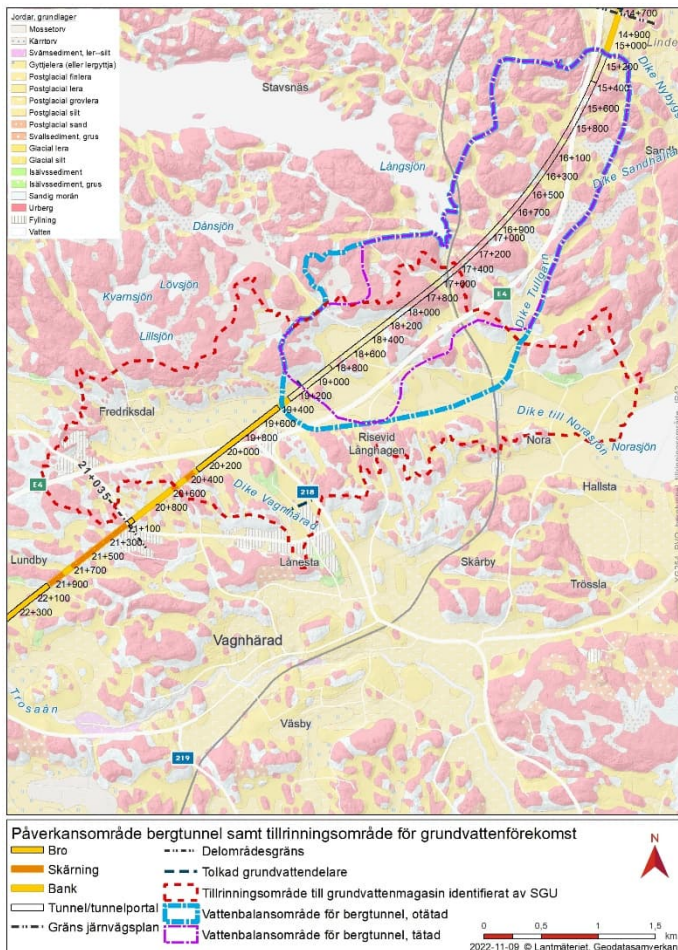
Inom vattenbalansområdet finns följande planerade anläggningar/tunnelsträckor med grundvattenbortledning:

- Tullgarnstunneln, km 17+400–17+800

4.3.3.4 Grundvattenmagasin identifierat av SGU

Det vattenbalansområde som använts vid vattenbalansberäkningar för det av SGU identifierade grundvattenmagasinet (med magasinidentitet 250300030) inom magasin Vagnhärad motsvarar det tillrinningsområde som avgränsats av SGU. Vattenbalansområdet, tillika tillrinningsområdet, redovisas tillsammans med Tullgarnstunnelns vattenbalansområde i Figur 4-15.

Projektnamn	Skapat av (Leverantör)	Godkänt datum	Rev Datum
Ostlänken	Johanna Engelbrektsson, Jonas Pedersen, Alexander Hansen, Linda Jalava, Daniel Erdal	2023-05-23	-
Ärendenummer	Granskat av (Leverantör)	Sidor	Version
TRV 2019/65712	Mattias Fredin Godkänt av (Leverantör) Henrik Tham	45(99)	_.4



Figur 4-15. Tillrinningsområde (avgränsning enligt SGU) tillika vattenbalansområde för det av SGU identifierade grundvattenmagasinet (magasinsidentitet 250300030) inom magasin Vagnhärad, samt vattenbalansområdena för Tullgarnstunneln i otätad respektive tätad utförande (tätning med konventionell förinjektering från km 17+150 fram till södra tunnelpåslaget).

Tillrinningsområdet, tillika vattenbalansområdet, för grundvattenmagasinet som identifierats av SGU är ca 7 km² stort och utgörs främst av obebyggd skogsmark och jordbruksmark. Geologiskt dominerar berg i dagen i de kuperade höjdområdena och lera i den väst-östliga dalgången mot Norasjön. Nybildning av grundvatten sker företrädesvis längs dalgångens ränder, där genomsläppliga moränjordar går i dagen. Tillrinningen uppgår enligt SGU till drygt 410 l/min.

Inom vattenbalansområdet förekommer följande planerade anläggningar/tunnelsträckor med grundvattenbortledning:

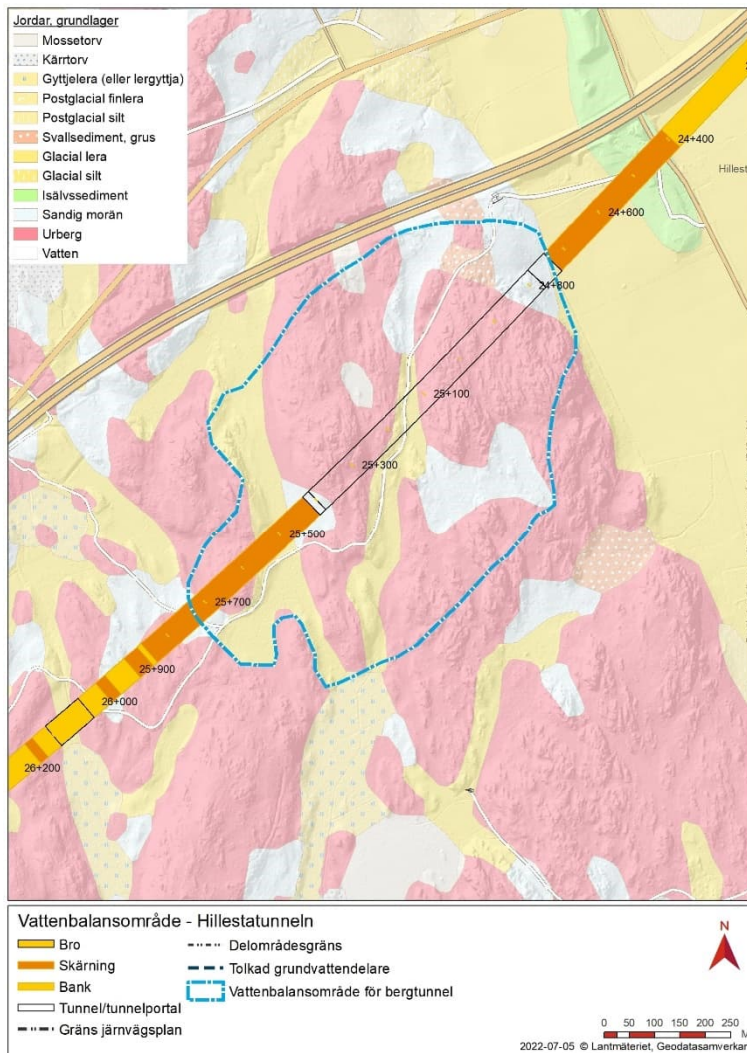
- Tullgarnstunneln, km 17+375 – 18+784
- Tillfartstunnel Tullgarn Syd, km 0+017 – 0+424

Observera att km-tal för tillfartstunneln utgår från eget längdmätningssystem.

4.3.3.5 Hillestatunneln

Vattenbalansområdet för Hillestatunneln uppgår till drygt 0,5 km² och utgörs till stor del av obebyggt skogsmark. Geologiskt dominerar berg i dagen eller berg som täcks med enbart tunna moränjordlager. Längs dalstråk förekommer lera.

Geografisk utbredning av vattenbalansområdet presenteras i Figur 4-16.



Figur 4-16. Vattenbalansområde för Hillestatunneln (otätat utförande).

Grundvattenbildningen har beräknats enligt metodik beskriven i kapitel 4.3.2. Grundvattenbildning och motsvarande grundvattenflöde (årsmedelvärde) för Hillestatunnelns vattenbalansområde redovisas i Tabell 4-13.



Tabell 4-13. Förekommande jordarter med uppskattade arealer, antagen grundvattenbildning och beräknat grundvattenflöde inom vattenbalansområde för Hillestatunneln (otätat utförande).

Jordart	Areal (m ²)	Grundvattenbildning (mm/år)	Grundvattenflöde (m ³ /år)	Grundvattenflöde (l/min)
Berg	288 348	200	57 670	110
Lera	96 889	50	4 844	9
Organisk jord	6 709	0	0	0
Sand	6 420	300	1 926	4
Morän	77 330	200	15 466	29
Summa				150

Till vattenbalansområdet kopplas följande anläggningar med grundvattenbortledning:

- Hillestatunneln (otätat utförande), km 24+780 – 25+339

Projektnamn	Skapat av (Leverantör)	Godkänt datum	Rev Datum
Ostlänken	Johanna Engelbrektsson, Jonas Pedersen, Alexander Hansen, Linda Jalava, Daniel Erdal	2023-05-23	-
Ärendenummer	Granskat av (Leverantör)	Sidor	Version
TRV 2019/65712	Mattias Fredin Godkänt av (Leverantör) Henrik Tham	48(99)	_.4



5 Resultat

5.1 Tullgarnstunnelns norra förskärning (VV-ID G15-002)

5.1.1 Påverkansområde

Numeriska beräkningar

Resultat från beräkningar av påverkansavstånd för valda sektioner längs Tullgarnstunnelns norra förskärning redovisas i Tabell 5-1.

Tabell 5-1. Beräknat påverkansavstånd i studerade sektioner längs norra förskärningen till Tullgarnstunneln (redovisat som meter från järnvägslinjen). Spontutföranden V1-V3 beskrivs i kapitel 4.1.1.1.

Sektion (km-tal)	Spontutförande	Påverkansavstånd mot väst (m)	Påverkansavstånd mot öst (m)
15+100	V1	Försumbart	Försumbart
	V2	Försumbart	Försumbart
	V3	Försumbart	Försumbart
15+300	V1	200 (till rand)	200 (till rand)
	V2	200 (till rand)	200 (till rand)
	V3	200 (till rand)	200 (till rand)

Spontutförande V1, V2 och V3 redovisar utbredning av påverkansavstånd vid olika spont- och tätningsutförande kring schakten, där V1 motsvarar den lösning som avgränsningen av påverkansområde i ansökans Bilaga D.2.1 baseras på. Minskad påverkan från de olika utförandena syns dock ej i påverkansavståndets utbredning, utan ligger i att avsänkningen vid en vald punkt minskar.

Analytiska beräkningar

I Tabell 5-2 redovisas antagna beräkningsförutsättningar samt resultat från utförda överslagsberäkningar av påverkansavstånd (angivna som meter från schaktmitt) utan skyddsåtgärder för Tullgarnstunnelns norra förskärning.

Projektnamn	Skapat av (Leverantör)	Godkänt datum	Rev Datum
Ostlänken	Johanna Engelbrektsson, Jonas Pedersen, Alexander Hansen, Linda Jalava, Daniel Erdal	2023-05-23	-
Ärendenummer	Granskat av (Leverantör)	Sidor	Version
TRV 2019/65712	Mattias Fredin Godkänt av (Leverantör) Henrik Tham	49(99)	_.4


TRAFIKVERKET

Tabell 5-2. Sammanställning av antagna beräkningsförutsättningar och beräknat påverkansavstånd (utan skyddsåtgärder) för överslagsberäkningar vid norra förskärningen till Tullgarnstunneln.

Sektion (Km)	Magasins-hållanden	Jordart	Schakt radie (m)	K (m/s)	Magasins-måktighet (m)	Gv.nivå (RH2000)	Underkant magasin (RH2000)	Dränerande nivå (RH2000)	Påverkans-avstånd (m)
15+100	Slutet	Fr	10	1×10^{-5}	3,1	24,9	9,5	22,1	110
15+300	Slutet	Fr	10	1×10^{-5}	3,2	31,5	22,8	22,8	240

5.1.2 Samlad bedömning

Utifrån beräkningsresultaten kan det konstateras att de numeriskt och analytiskt beräknade påverkansavstånden tydligt skiljer sig åt vid km 15+100. De analytiska beräkningarna visar på ett påverkansavstånd som är strax över 100 meter, medan den numeriska modelleringen (för det jämförbara fallet V1) inte ger någon märkbar påverkan. Skillnaden beror på att påverkansavståndet i den analytiska beräkningen utförts alltför konservativt samt utan hänsyn till exempelvis det vattenförande jordlagrets begränsade utbredning. Detta kan återges bättre av den numeriska beräkningsmodellen, som således bedöms ge ett mer tillförlitligt beräkningsresultat.

Vid km 15+300 visar de analytiska och numeriska beräkningarna på i stort sett likvärdiga resultat. Den analytiska beräkningen avser avsänkning i friktionsjord medan det numeriska avser avsänkning i såväl friktionsjord som berg. Således är resultaten inte direkt jämförbara även om de visar samma siffror. Det numeriskt beräknade påverkansavståndet når ut till modellens rand, vilket förefaller rimligt att anta med hänsyn till planerad anläggning och de platspecifika förutsättningarna.

Utöver den grundvattensänkning som orsakas av själva förskärningen finns även andra anläggningsdelar som kan ge upphov till samtida grundvattenpåverkan kring Tullgarnstunnelns norra förskärning. Dessa delar omfattar den anslutande Tullgarnstunneln i söder (se kapitel 5.2.1), en vägskärning, uttag av processvatten via bergborrade brunnar samt anläggande av en brandvattendamm (se kapitel 5.5).

Avgränsat påverkansområde kring Tullgarnstunnelns norra förskärning baseras på resultat från utförda numeriska beräkningar tillsammans med konceptuella bedömningar av områdets hydrogeologiska förhållanden (topografi, grundvattendelare, grundvattenmagasinens utbredning och känslighet). Påverkansområdet har därtill anpassats med hänsyn till kumulativa effekter från angränsande anläggningsdelar med grundvattenpåverkan samt med hänsyn till förekommande riskexponerade objekt. På detta sätt har det justerats för beräkningsmetodernas begränsningar, och påverkansområdet bedöms utifrån gjorda bedömningar vara väl avgränsat.

Som helhet bedöms påverkansområdet omfatta hela den jordfyllda svacka som sträcker sig längs förskärningen. Påverkansområdet begränsas av omgivande berg i dagen mot öst, väst samt söderut. Mot norr begränsas påverkansområdet av grundvattenmagasin Lindefältet, där den stora tillgången på vatten bidrar till att motverka vidare grundvattensänkning.

Kartor med avgränsning av tolkat påverkansområde redovisas i ansökans Bilaga D.2.1.

Filnamn: OLP4-04-025-42000-0_0-0041.docx

Projektnamn	Skapat av (Leverantör)	Godkänt datum	Rev Datum
Ostlänken	Johanna Engelbretsson, Jonas Pedersen, Alexander Hansen, Linda Jalava, Daniel Erdal	2023-05-23	-
Ärendenummer	Granskat av (Leverantör)	Sidor	Version
TRV 2019/65712	Mattias Fredin Godkänt av (Leverantör) Henrik Tham	50(99)	_.4



5.2 Tullgarnstunneln (VV-ID G15-003)

5.2.1 Påverkansområde

Numeriskt beräknat

Resultat från beräkningar av påverkansavstånd för modellerade tunnelsektioner i otätat utförande, inklusive känslighetsanalys, redovisas i Tabell 5-3. Motsvarande resultat för ett tätat utförande redovisas för de sektioner som berörs av planerad tätning i Tabell 5-4.



Tabell 5-3. Beräknade påverkansavstånd för modellerade bergtunnelsektioner längs med Tullgarnstunneln, otätat utförande. Påverkansavstånd visas för 9 olika kombinationer av grundvattenbildning och konduktivitetvärden per sektion. Resultatet redovisas som avstånd från närmsta tunneln (huvud- eller servicetunnel) mot öst respektive väst. Bergets effektiva hydrauliska konduktivitet inom berörd delsträcka är fetmarkerad i kursivstil.

km 15+600		Mot nordväst			Mot sydost		
		Grundvattenbildning (mm/år)			Grundvattenbildning (mm/år)		
		150	50	10	150	50	10
K-berg (m/s)	$1,0 \times 10^{-8}$	20	40	430	20	60	120
	$5,4 \times 10^{-8}$	50	460	1 460	90	120	1 350
	$1,0 \times 10^{-7}$	310	1 460	1 460	100	1 300	1 350
km 16+300		Mot nordväst			Mot sydost		
		Grundvattenbildning (mm/år)			Grundvattenbildning (mm/år)		
		150	50	10	150	50	10
K-berg (m/s)	$1,0 \times 10^{-8}$	150	300	1 280	50	160	440
	$5,7 \times 10^{-8}$	510	1 280	1 290	280	460	1 830
	$1,0 \times 10^{-7}$	1 270	1 290	1 290	330	690	1 850
km 17+800		Mot nordväst			Mot sydost		
		Grundvattenbildning (mm/år)			Grundvattenbildning (mm/år)		
		150	50	10	150	50	10
K-berg (m/s)	$1,0 \times 10^{-8}$	90	310	850	80	160	500
	$1,0 \times 10^{-7}$	850	1 080	2 470	450	800	2 260
	$3,0 \times 10^{-7}$	1 080	2 470	2 550	800	1 540	2 280
km 18+700		Mot nordväst			Mot sydost		
		Grundvattenbildning (mm/år)			Grundvattenbildning (mm/år)		
		150	50	10	150	50	10
K-berg (m/s)	$1,0 \times 10^{-8}$	50	110	410	20	60	90
	$1,0 \times 10^{-7}$	260	720	950	90	740	1 750
	$3,0 \times 10^{-7}$	720	930	970	740	1 750	1 750



Tabell 5-4. Beräknade påverkansavstånd för modellerade bergtunnelsektioner längs med Tullgarnstunneln som omfattas av planerad tätning. Påverkansavstånd visas för 9 olika kombinationer av grundvattenbildning och konduktivitetvärden per sektion. Resultatet redovisat som avstånd från närmsta tunnel (huvud- eller servicetunnel) mot öst respektive väst. Bergets effektiva hydrauliska konduktivitet inom berörd delsträcka är fetmarkerad i kursivstil.

km 17+800		Mot nordväst			Mot sydost		
		Grundvattenbildning (mm/år)			Grundvattenbildning (mm/år)		
		150	50	10	150	50	10
K-berg (m/s)	$1,0 \times 10^{-8}$	90	310	850	80	160	500
	$1,0 \times 10^{-7}$	460	1 070	2 470	450	560	2 190
	$3,0 \times 10^{-7}$	1 070	2 470	2 500	450	910	2 270
km 18+700		Mot nordväst			Mot sydost		
		Grundvattenbildning (mm/år)			Grundvattenbildning (mm/år)		
		150	50	10	150	50	10
K-berg (m/s)	$1,0 \times 10^{-8}$	50	110	410	20	60	90
	$1,0 \times 10^{-7}$	190	410	930	60	80	1 730
	$3,0 \times 10^{-7}$	260	750	940	70	90	1 740



Analytiskt beräknat

I Tabell 5-5 respektive Tabell 5-6 redogörs för antagna beräkningsförutsättningar samt beräknade påverkansavstånd för huvudspårtunneln respektive tillfartstunneln för Tullgarnstunneln (otätad utförande).

Tabell 5-5. Sammanställning av antagna beräkningsförutsättningar och beräknat påverkansavstånd för huvudspårtunneln Tullgarnstunneln (otätad utförande). Påverkansavståndet angivet som meter från tunnelmitt vid en viss längdsektion.

Sektion (km-tal)	Marknivå (RH 2000)	RÖK (RH2000)	Antagen grundvattennivå (RH 2000)	Tunneldjup under grundvattenytan (m)	Påverkansavstånd (m)
15+330	39	21,1	38	19	100
15+400	53	19,5	46	28	140
15+500	44	17,1	43	28	140
15+600	40	14,6	39	27	140
15+700	41	12,1	40	30	160
15+800	42	10	41	33	170
15+900	33	7,1	32	27	140
16+000	50	4,6	45	42	210
16+100	59	2,1	46	46	230
16+200	51	-0,4	46	48	240
16+300	40	-2,9	39	44	230
16+400	45	-5,4	44	51	260
16+500	50	-7,9	48	58	290
16+600	60	-10,4	48	60	300
16+700	37	-12,9	36	51	260
16+800	30	-15,1	29	46	240
16+900	27	-17,0	26	45	230
17+000	50	-18,6	37	58	290
17+100	43	-19,9	38	60	300
17+200	46	-20,8	38	61	300
17+300	30	-21,4	29	52	270
17+400	45	-21,7	37	61	300
17+500	24	-21,6	23	47	240
17+600	31	-21,3	30	54	270
17+700	56	-20,6	41	64	320



Sektion (km-tal)	Marknivå (RH 2000)	RÖK (RH2000)	Antagen grundvattennivå (RH 2000)	Tunneldjup under grundvattenytan (m)	Påverkansavstånd (m)
17+800	64	-19,6	41	63	310
17+900	55	-18,2	41	61	310
18+000	45	-16,6	41	60	300
18+100	35	-14,6	34	51	260
18+200	29	-12,3	28	42	220
18+300	27	-9,8	26	38	190
18+400	27	-7,3	26	35	180
18+500	26	-4,8	25	32	170
18+600	25	-2,3	24	29	150
18+700	31	0,2	30	32	170
18+770	22	1,9	21	21	110

Tabell 5-6. Sammanställning av antagna beräkningsförutsättningar och beräknat påverkansavstånd för tillfartstunneln till Tullgarnstunneln (otätat utförande). Påverkansavstånd angivet som meter från tunnelmitt vid beräkningspunkt som anges.

Sektion (km-tal)	Marknivå (RH 2000)	RÖK (RH2000)	Antagen grundvattennivå (RH 2000)	Tunneldjup under grundvattenytan (m)	Påverkansavstånd (m)
0+010	26	20,0	25	6	34
0+060	36	15,8	35	20	106
0+110	41	11,3	40	30	154
0+160	47	6,8	46	40	205
0+210	49	2,3	48	47	239
0+260	49	-2,2	48	52	263
0+310	50	-6,7	49	57	288
0+360	43	-11,2	42	55	278
0+410	37	-15,1	36	512	265

Filnamn: OLP4-04-025-42000-0_0-0041.docx

Projektnamn	Skapat av (Leverantör)	Godkänt datum	Rev Datum
Ostlänken	Johanna Engelbrektsson, Jonas Pedersen, Alexander Hansen, Linda Jalava, Daniel Erdal	2023-05-23	-
Ärendenummer	Granskat av (Leverantör)	Sidor	Version
TRV 2019/65712	Mattias Fredin Godkänt av (Leverantör) Henrik Tham	55(99)	_.4



5.2.2 Inläckage

Numeriskt beräknat

Resultat från beräkningar av inläckage i modellerade bergtunnelsektioner, inklusive känslighetsanalys, redovisas i Tabell 5-7. Resultaten redovisas för ett otätat utförande, men för de tunnelsektioner som omfattas av planerad tätning redovisas resultat också för planerat tätat tunnelutförande. De beräknade inläckagen utgör årsmedelvärden under stationära förhållanden.



Tabell 5-7. Beräknade inläckage för bergtunnelsektioner längs med Tullgarnstunneln i otätat respektive tätat utförande (obs, enbart de som omfattas av planerad tätning). 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.

km 15+600		Otätat utförande					
		Grundvattenbildning (mm/år)					
		150	50	10			
K-berg (m/s)	1,0 × 10 ⁻⁸	3	3	2			
	5,4 × 10 ⁻⁸	10	10	3			
	1,0 × 10 ⁻⁷	13	13	4			
km 16+300		Otätat utförande					
		Grundvattenbildning (mm/år)					
		150	50	10			
K-berg (m/s)	1,0 × 10 ⁻⁸	6	3	2			
	5,7 × 10 ⁻⁸	15	8	4			
	1,0 × 10 ⁻⁷	19	11	5			
km 17+800		Otätat utförande			Tätat utförande		
		Grundvattenbildning (mm/år)			Grundvattenbildning (mm/år)		
		150	50	10	150	50	10
K-berg (m/s)	1,0 × 10 ⁻⁸	9	6	3	9	6	3
	1,0 × 10 ⁻⁷	36	21	8	27	17	7
	3,0 × 10 ⁻⁷	62	33	15	35	23	11
km 18+700		Otätat utförande			Tätat utförande		
		Grundvattenbildning (mm/år)			Grundvattenbildning (mm/år)		
		150	50	10	150	50	10
K-berg (m/s)	1,0 × 10 ⁻⁸	3	2	1	3	2	1
	1,0 × 10 ⁻⁷	11	8	3	7	5	2
	3,0 × 10 ⁻⁷	24	12	7	9	7	4



Analytiskt beräknat

Resultat från utförda beräkningar av inläckage för olika delsträckor längs Tullgarnstunnelns samt arbets- och tillfartstunnel redovisas i Tabell 5-8. Resultaten redovisas för ett otätat utförande, men för de tunnelsektioner som omfattas av planerad tätning redovisas resultat också för planerat tätat tunnelutförande. Vänligen notera att inläckage från delsträcka km 17+450 – 17+570 är beräknat utifrån ett typvärde (1×10^{-7} m/s) då det värde som erhöles vid utvärdering av vattenförlustmätning bedömts underskatta bergets vattenförande förmåga.

Tabell 5-8. Beräknade typ-, zon- och totalt inläckage (summan av typ- och zoninläckage) för delsträckor längs Tullgarnstunneln samt arbets- och tillfartstunnel. Resultaten redovisas för såväl otätat som tätat utförande (obs, enbart de som omfattas av planerad tätning). Längdmätningen för arbetstunnlarna i tabellen är satt utifrån respektive arbetstunnels sträckning. Dess lokalisering i förhållande till huvudspåret är: arbetstunnel Tullgarn norr km 16+000–16+375, tillfartstunnel Tullgarn syd km 18+100–18+440. Vänligen notera att inläckage från delsträcka km 17+450 – 17+570 är beräknat utifrån ett typvärde (1×10^{-7} m/s) då det värde som erhöles vid utvärdering av vattenförlustmätning bedömts underskatta bergets vattenförande förmåga.

	Delsträcka (km-tal)	Sträcka(m)	Typinläckage (l/min×100 m)		Zoninläckage (l/min)			Totalt inläckage (l/min)	
			Otätat	Tätat	Zon- ID	Otätat	Tätat	Otätat	Tätat
Tullgarns- tunneln	15+339– 15+950	611	17*	-	#84	6*	-	111*	-
	15+950- 16+330	380	27*	-	-	-	-	103*	-
	16+330- 17+150	820	10*	-	-	-	-	85*	-
	17+150- 17+450	300	100	28*	#167	10	2*	310	86*
	17+450- 17+570	120	49	21*	#166	1	1*	60	26*
	17+570- 18+784	1 214	157	29*	-	-	-	1 900	357*
Arbets- tunnel Tullgarn norr	0+045 - 0+534	489	16*	-	-	-	-	76*	
Tillfarts- tunnel Tullgarn syd	0+017 - 0+424	407	95	13*	-	-	-	386	54*

*Resultat som erhålls med planerat utförande, det vill säga föreslagen tätning i de södra delarna (km 17+150–18+784)

En sammanställning av totala inläckage (summan av typ- och zoninläckage) till Tullgarnstunneln respektive Tullgarnstunneln inklusive arbets- och tillfartstunnel redovisas i Tabell 5-9. Sammanställningen avser dels inläckage i otätat utförande, dels inläckage med planerat utförande, där planerat utförande omfattar tätning av tunnelanläggningens södra delar mellan km 17+150 och 18+784 utifrån omgivningspåverkans behov.

Projektnamn	Skapat av (Leverantör)	Godkänt datum	Rev Datum
Ostlänken	Johanna Engelbrektsson, Jonas Pedersen, Alexander Hansen, Linda Jalava, Daniel Erdal	2023-05-23	-
Ärendenummer	Granskat av (Leverantör)	Sidor	Version
TRV 2019/65712	Mattias Fredin Godkänt av (Leverantör) Henrik Tham	58(99)	_.4


TRAFIKVERKET

Tabell 5-9. Sammanställning av totalt inläckage (summan av typ- och zoninläckage) till Tullgarnstunneln respektive Tullgarnstunneln inklusive arbets- och tillfartstunnel med otätat respektive planerat utförande. Planerat utförande omfattar tätning av tunnelanläggningens södra delar mellan km 17+150 och 18+784 utifrån omgivningspåverkans behov.

	Totalt inläckage (l/min)		Totalt inläckage (l/min×100 m)	
	Otätat utförande	Planerat utförande	Otätat utförande	Planerat utförande
Tullgarnstunneln	2 570	770	75	22
Tullgarnstunneln inklusive arbets- och servicetunnel	3 030	900	70	21

5.2.3 Vattenbalans

5.2.3.1 Tullgarnstunneln, otätat utförande

Resultat från utförd vattenbalansberäkning för Tullgarnstunneln (otätad utförande) redovisas i Tabell 5-10.

Tabell 5-10. Resultat från utförd vattenbalansberäkning för Tullgarnstunneln, otätat utförande. Antaget inläckage motsvarar analytiskt beräknat inläckage (summan av typ- och zoninläckage) till otätad tunnel mellan km 15+339 och 18+784 samt arbets- respektive tillfartstunnlar.

Grundvattenbildning inom vattenbalansområde (l/min)	1 300
Totalt inläckage, Otätat utförande (l/min)	3 030
Inläckagets andel av grundvattenbildningen, otätat utförande	240 %

5.2.3.2 Tullgarnstunneln, med föreslagen tätning

Resultat från utförda vattenbalansberäkningar för Tullgarnstunneln med föreslagen tätning i de södra delarna (km 17+150 –18+784) redovisas i Tabell 5-11.

Projektnamn	Skapat av (Leverantör)	Godkänt datum	Rev Datum
Ostlänken	Johanna Engelbrettsson, Jonas Pedersen, Alexander Hansen, Linda Jalava, Daniel Erdal	2023-05-23	-
Ärendenummer	Granskat av (Leverantör)	Sidor	Version
TRV 2019/65712	Mattias Fredin Godkänt av (Leverantör) Henrik Tham	59(99)	_.4



Tabell 5-11. Resultat från utförd vattenbalansberäkning för Tullgarnstunneln, med föreslagen tätning. Antaget inläckage motsvarar analytiskt beräknat inläckage (summan av typ- och zoninläckage) mellan km 15+339 och 17+150 (otätat utförande för huvudspårtunnel samt arbetstunnel fram till km 17+150, därefter tätat utförande för huvudspårtunnel och tillfartstunnel fram till km 18+784).

Grundvattenbildning inom vattenbalansområde (l/min)	1 100
Totalt inläckage, med föreslagen tätning (l/min)	900
Inläckagets andel av grundvattenbildningen, föreslaget tätat utförande	80 %

5.2.3.3 Korsande järnvägsanläggning Nyköpingsbanan, km 17+500

Resultat från utförda vattenbalansberäkningar för den korsande befintliga järnvägsanläggningen Nyköpingsbanan vid 17+500 redovisas i Tabell 5-12 (otätat utförande av Tullgarnstunneln) och Tabell 5-13 (med föreslagen tätning av Tullgarnstunneln).

Tabell 5-12. Resultat från utförda vattenbalansberäkningar för korsande befintlig järnvägsanläggning Nyköpingsbanan vid km 17+500, otätat utförande av Tullgarnstunneln. Antaget inläckage motsvarar analytiskt beräknat inläckage (summan av typ- och zoninläckage) till otätad tunnel mellan km 17+400 och 17+800.

Grundvattenbildning inom vattenbalansområde (l/min)	130
Totalt inläckage, Otätat utförande (l/min)	470
Inläckagets andel av grundvattenbildningen, otätat utförande	370 %

Projektnamn	Skapat av (Leverantör)	Godkänt datum	Rev Datum
Ostlänken	Johanna Engelbrektsson, Jonas Pedersen, Alexander Hansen, Linda Jalava, Daniel Erdal	2023-05-23	-
Ärendenummer	Granskat av (Leverantör)	Sidor	Version
TRV 2019/65712	Mattias Fredin Godkänt av (Leverantör) Henrik Tham	60(99)	_.4



Tabell 5-13. Resultat från utförda vattenbalansberäkningar för korsande befintlig järnvägsanläggning Nyköpingsbanan vid km 17+500, med föreslagen tätning av Tullgarnstunneln. Antaget inläckage motsvarar analytiskt beräknat inläckage (summan av typ- och zoninläckage) till tätad tunnel mellan km 17+400 och 17+800.

Grundvattenbildning inom vattenbalansområde (l/min)	130
Totalt inläckage, med föreslagen tätning (l/min)	110
Inläckagets andel av grundvattenbildningen, med föreslagen tätning	85 %

5.2.3.4 Grundvattenmagasin identifierat av SGU

Resultat från utförda vattenbalansberäkningar för det av SGU identifierade grundvattenmagasinet (med magasinsidentitet 250300030) inom magasin Vagnhärad redovisas i Tabell 5-14 (otätat utförande av Tullgarnstunneln) och Tabell 5-15 (med föreslagen tätning).

Tabell 5-14. Resultat från utförda vattenbalansberäkningar för det av SGU identifierade grundvattenmagasinet (med magasinsidentitet 250300030) inom magasin Vagnhärad, otätat utförande av Tullgarnstunneln och tillfartstunnel. Antagen grundvattenbildning motsvarar SGU:s bedömda tillrinning. Antaget inläckage motsvarar analytiskt beräknat inläckage (summan av typ- och zoninläckage) till otätade tunnlar mellan km 17+375 och 18+784.

Grundvattenbildning inom vattenbalansområde (l/min)	410
Totalt inläckage, Otätat utförande (l/min)	2 600
Inläckagets andel av grundvattenbildningen, otätat utförande	640 %

Projektnamn	Skapat av (Leverantör)	Godkänt datum	Rev Datum
Ostlänken	Johanna Engelbrektsson, Jonas Pedersen, Alexander Hansen, Linda Jalava, Daniel Erdal	2023-05-23	-
Ärendenummer	Granskat av (Leverantör)	Sidor	Version
TRV 2019/65712	Mattias Fredin Godkänt av (Leverantör) Henrik Tham	61(99)	_.4


TRAFIKVERKET

Tabell 5-15. Resultat från utförda vattenbalansberäkningar för vattenbalansberäkningar för det av SGU identifierade grundvattenmagasinet (med magasinsidentitet 250300030) inom magasin Vagnhärad, med föreslagen tätning av Tullgarnstunneln. Antagen grundvattenbildning motsvarar SGU:s bedömda tillrinning. Antaget inläckage motsvarar analytiskt beräknat inläckage (summan av typ- och zoninläckage) till tätad tunnel mellan km 17+375 och 18+784.

Grundvattenbildning inom vattenbalansområde (l/min)	410
Totalt inläckage, med föreslagen tätning (l/min)	500
Inläckagets andel av grundvattenbildningen, med föreslagen tätning	120 %

5.2.4 Samlad bedömning

Påverkansområde

Påverkansområde för Tullgarnstunneln har beräknats numeriskt såväl som analytiskt för otätat respektive tätat utförande (obs, enbart de tunneldelar som omfattas av planerad tätning). Påverkansområdet för arbetstunnel Tullgarn norr bedöms inrymmas i påverkansområdet för huvudtunneln. För tillfartstunnel Tullgarn syd har däremot en separat analytisk beräkning gjorts, då dess sträckning väsentligt avviker från järnvägslinjen längs huvudspårtunneln.

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 därtill anpassats med hänsyn till kumulativa effekter från angränsande anläggningsdelars grundvattenbortledning samt förekommande riskexponerade objekt, för att i gränsfall snarare inkludera än exkludera sådana.

Numeriska modeller har upprättats i fyra sektioner längs Tullgarnstunneln, 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 2 kilometer (till modellens rand). För de fall de plats specifika 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. I anslutning till svaghetszoner med vattenförande spricksystem kan dock grundvattenbildningen vara betydligt större.

De numeriska beräkningarna, antaget bergets effektiva hydrauliska konduktivitet inom berörd delsträcka längs tunneln och en genomsnittlig grundvattenbildning till berg om 50 mm/år, ger genomgående för modellerade sektioner längs Tullgarnstunneln relativt stora påverkansområden, medan de analytiska beräkningarna ger betydligt mer begränsade påverkansområden. De analytiska beräkningarna har framför allt gjorts som en inledande överslagsberäkning, och har mot bakgrund av sin enkelhet främst använts för att uppskatta rimligheten av de numeriska beräkningsresultaten, snarare än att utgöra underlag för bedömning av påverkansområdets utbredning.

Projektnamn	Skapat av (Leverantör)	Godkänt datum	Rev Datum
Ostlänken	Johanna Engelbrektsson, Jonas Pedersen, Alexander Hansen, Linda Jalava, Daniel Erdal	2023-05-23	-
Ärendenummer	Granskat av (Leverantör)	Sidor	Version
TRV 2019/65712	Mattias Fredin Godkänt av (Leverantör) Henrik Tham	62(99)	_.4


TRAFIKVERKET

Kring km 17+500 korsar tunneln en verifierat vattenförande svaghetszon (#166). Utförd vattenförlustmätning tyder här på ett berg med relativt begränsade vattenförande egenskaper. Mätningen är dock förknippad med vissa osäkerheter, se 4.2.1.2. Svaghetszonen sträcker sig i nord-sydlig riktning längs den befintliga järnvägsanläggningen Nyköpingsbanan och vidare ner mot E4 i söder. I avgränsningen av påverkansområdet har det tagits höjd för att zonen skulle kunna vara mer vattenförande än vad utvärderingen av vattenförlustmätningen visar, samt att berget skulle kunna stå i hydraulisk kontakt med grundvattenmagasin i jord. Då tillrinningsområdet till den lerfyllda svackan som följer svaghetszonen är relativt litet bedöms det finnas risk för stor grundvattenpåverkan längs dalstråket. Påverkansområdets utbredning kan dock komma att begränsas vid hydraulisk kontakt med ytvattnet i Långsjön.

Utöver den grundvattenpåverkan som orsakas av Tullgarnstunneln med tillfarts- och arbetstunnel finns andra närbelägna anläggningsdelar som också kan komma att ge upphov till grundvattenpåverkan. Dessa omfattar främst norra och södra tunnelförskärningen (se kapitel 5.1 respektive 5.3) samt uttag av processvatten (se kapitel 5.5). Kumulativa effekter har beaktats genom att lägga på marginaler till påverkansområdet i området närmst norr om tunneln mot magasin Lindefältet, där den stora tillgången på grundvatten dock bedöms begränsa vidare utbredning mot norr. Extra marginaler har också adderats i området kring tunnelns allra sydligaste delar (från km 18+000 och vidare mot sydväst), så att större delen av den lerfyllda dalgång som utgör magasin Vagnhärad, inklusive E4 samt stora delar av det av SGU identifierade grundvattenmagasinet inom, inryms.

Tätning av berget har föreslagits som en skadeförebyggande åtgärd inom Tullgarnstunnelns södra delar (km 17+150–18+784). Tätningens påverkan på påverkansområdets utbredning bedöms vara relativt begränsad, eftersom topografin i många fall är styrande för påverkansområdets utbredning. Däremot kommer inläckaget till tunneln, liksom storleken på avsänkningarna, troligtvis kunna begränsas i betydande omfattning.

Kartor med avgränsning av slutgiltigt bedömda påverkansområden, med hänsyn till föreslagen tätning av samtliga bergförlagda anläggningsdelar längs sträckan km 17+150–18+784, redovisas i ansökans Bilaga D.2.1. Genom att genomgående i beräkningsarbetet och bedömningar utgå från konservativa förhållningssätt är den samlade bedömningen att redovisat påverkansområde är generöst avgränsat för att inte underskatta påverkan.

Inläckage

Inläckage till Tullgarnstunneln med anslutande anläggningsdelar har beräknats numeriskt såväl som analytiskt för otätat respektive tätat utförande (det senare avser de tunneldelar som omfattas av planerad tätning).

Resultat från analytiska inläckageberäkningar till otätad tunnel visar på relativt stora inläckage, vilket främst beror på konservativa antaganden om bergets genomsläpplighet i kombination med antaget vattentryck ovan tunneln. De största specifika inläckagen (l/min×100 m) förväntas ske inom den sydligaste delsträckan längs tunneln (km 17+570 och 18+784), där beräknat inläckage till otätad tunnel uppgår till över 150 l/min per 100 meter tunnel. Beräkningarna visar även på stora inläckage om upp emot 100 l/min per 100 meter tunnel mellan km 17+150 och 17+450.

Inom de flesta delsträckor ligger vattenförlustmätningar till grund för antagen effektiv hydraulisk konduktivitet. Som regel har vattenförlustmätningarna utförts i områden med förmodat sämre bergkvalitet, där den beräknade hydrauliska konduktiviteten sedan fått representera hela delsträckan, vilket sammantaget ger allmänt konservativa beräkningsförutsättningar (se kapitel 6.1.2.2). För sträckan km 16+330–17+150 var dock inte tilltänkta kärnborrhål i områden med förmodat sämre berg tillgängliga för vattenförlustmätningar på grund av inras, vilket inneburit att den vattenförlustmätning som bergets effektiva hydrauliska konduktivitet inom delsträckan grundar sig på möjligen inte representerar den sämsta bergkvaliteten inom delsträckan. Zoner identifierades dock ändå i undersökt kärnborrhål, och den effektiva hydrauliska konduktiviteten bedöms ändå vara tillförlitlig för delsträckan i sin helhet, om än möjligen något mindre konservativ i jämförelse med ansatt värde för övriga delsträckor.

På sträckan km 17+450-17+570 korsar tunneln en verifierat vattenförande svaghetszon (#166). Det har noterats att utförd kärnbörning kan ha avslutats mitt i en zon, som då inte inkluderats i sin helhet i utvärderingen av

Projektnamn	Skapat av (Leverantör)	Godkänt datum	Rev Datum
Ostlänken	Johanna Engelbrektsson, Jonas Pedersen, Alexander Hansen, Linda Jalava, Daniel Erdal	2023-05-23	-
Ärendenummer	Granskat av (Leverantör)	Sidor	Version
TRV 2019/65712	Mattias Fredin Godkänt av (Leverantör) Henrik Tham	63(99)	..4


TRAFIKVERKET

vattenförlustmätningen. För att ta höjd för osäkerheterna som detta medför har ett typvärde för K_{eff} (1×10^{-7} m/s) tillämpats för delsträckan i fråga.

De analytiska beräkningarna av inläckage till arbetstunnel Tullgarn Norr respektive tillfartstunnel Tullgarn Syd har gjorts oberoende av påverkan från huvudspårtunneln, och vice versa. Troligt är att inläckagen tunnarna emellan i det längre perspektivet kommer att begränsas av närheten till varandra. Detta genom att de till stora delar påverkar samma områden och konkurrerar om samma vatten, varför de beräknade inläckagen för såväl arbetstunnel, tillfartstunnel och närliggande delar av huvudspårtunneln kan vara överskattade.

Längs Tullgarnstunneln planeras på flera platser uttag av grundvatten som processvatten till tunneldrivning. Uttagen planeras dels i anslutning till tunnelns norra och södra påslag, dels i anslutning till arbetstunnel Tullgarn norr. I byggskedet kan uttagen av processvatten komma att påverka inläckaget till berörda delar av bergtunneln genom att mängden tillgänglig vatten för inläckage reduceras. De planerade processvattenuttagen uppgår till ca 35 l/min invid norra påslaget och lika mycket vid arbetstunneln, vilket kan jämföras med berörda tunneldelars (analytiskt) beräknade specifika inläckage enligt Tabell 5-8 (17 l/min per 100 meter tunnel vid norra påslaget respektive 27+16 l/min per 100 meter tunnel vid arbetstunneln). Vid det södra påslaget planeras ett uttag om ca 70 l/min, vilket kan jämföras med ett specifikt inläckage om 29 l/min per 100 meter tunnel (med föreslagen tätning).

Endast en mindre andel av det totala analytiskt beräknade inläckaget utgörs av zoninläckage. En vattenförande zon i den norra delen av tunneln (#84), mellan km 15+760 och 15+790, svarar enligt beräkningarna för majoriteten av tunnelns beräknade zoninläckage sett till planerat utförande.

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 verifierat 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 fyra sektioner längs Tullgarnstunneln. Resultaten från dessa representerar främst förhållandena närmst desamma och används enbart i jämförande syfte och för resonemang. De numeriska beräkningarna ger, för samtliga modellerade sektioner längs Tullgarnstunneln och för i stort sett alla kombinationer i utförd känslighetsanalys, klart lägre specifika inläckage i jämförelse med de analytiska beräkningarna. Den främsta orsaken till detta bedöms vara att de numeriska beräkningarna, till skillnad från de analytiska, tar hänsyn till (den begränsade) tillgången på vatten. Då vattentillgången är begränsad skapas en grundvattennivåsenkning runt tunneln i modellen, som i många fall når ut till modellens rand. 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 ett fåtal sektioner som de representerar har dock resultaten inte tillämpats som ett heltäckande underlag för bedömning av inläckage till Tullgarnstunneln i stort. De kan däremot ses som en indikation på att de uthålliga inläckagen i områden där vattentillgången är begränsad kan vara betydligt mindre än vad de analytiska beräkningarna visar.

För Tullgarnstunnelns södra del (km 17+150 – 18+784) har tunneltätning föreslagits som en skadeförebyggande åtgärd för att begränsa tunnelns omgivningspåverkan. I områden där tunneln passerar bedömt vattenförande berg kan den tätning som förutsatts enligt de analytiska beräkningarna ge god effekt. Det totala inläckaget till de delar av Tullgarnstunneln (inklusive tillfartstunnel Tullgarn syd) som omfattas av planerade tätningsåtgärder skulle, enligt utförda analytiska beräkningar, kunna reduceras med 50–90 % vid tillämpande av föreslagen konventionell förinjektering.

Vattenbalanser

I vattenbalansen för Tullgarnstunneln, otätat utförande, uppgår den beräknade grundvattenbildningen till drygt 1 300 l/min och beräknat inläckage (enligt analytiska beräkningar) till drygt 3 030 l/min, vilket ger att bergtunneln i otätat utförande leder bort drygt 240 % av den grundvattenbildning som bedöms vara tillgänglig för inläckage. I motsvarande vattenbalans med föreslagen tätning blir siffran i stället drygt 80 %. Siffrorna är höga och tyder på att tillgången på vatten kan vara begränsande för inläckaget på tunnelövergripande nivå, då det enligt utförda

Projektnamn	Skapat av (Leverantör)	Godkänt datum	Rev Datum
Ostlänken	Johanna Engelbrektsson, Jonas Pedersen, Alexander Hansen, Linda Jalava, Daniel Erdal	2023-05-23	-
Ärendenummer	Granskat av (Leverantör)	Sidor	Version
TRV 2019/65712	Mattias Fredin Godkänt av (Leverantör) Henrik Tham	64(99)	_.4



beräkningar över tid inte nybildas grundvatten i den takt som förväntad grundvattenbortledning sker. Utöver den beräknade grundvattenbildning som sker direkt till genomsläppliga jordar via nederbörd kan dock även närhet till större grundvattenmagasin eller ytvatten bidra med vatten tillgängligt för inläckage, vilket inte utförd vattenbalansberäkning tar hänsyn till. Långsjön, som är belägen 200–300 meter norr om Tullgarnstunneln mellan km 17+400 och 17+500, skulle kunna utgöra en positiv hydraulisk rand, som om den står i hydraulisk kontakt med planerad bergtunnel kan bidra med ett stort tillskott av grundvatten tillgängligt för inläckage kring Tullgarnstunnelns mellersta delar. Därmed bedöms inläckage som överstiger beräknad grundvattenbildning ändå kunna vara teoretiskt möjlig, åtminstone längs delar av tunnelns sträckning.

I vattenbalansområdet för den korsande befintliga järnvägsanläggningen Nyköpingsbanan (km 17+500) uppgår den beräknade grundvattenbildningen till drygt 130 l/min, medan beräknat inläckage till de delar av tunneln som ligger inom vattenbalansområdet (se Figur 4-13) uppgår till drygt 470 l/min i otätat utförande. Jämförelsen ger att drygt 370 % av beräknad grundvattenbildning kan komma att ledas bort. Med föreslagen tätning blir siffran markant lägre, knappa 85 %. Värt att beakta är att Långsjöns funktion som potentiell positiv hydraulisk rand även här skulle kunna ha en avgörande roll för hur stora inläckage som erhålls och även för hur stor den resulterande grundvattenpåverkan längs järnvägen blir.

Grundvattenbildningen inom vattenbalansområdet för det av SGU identifierade grundvattenmagasinet (med magasinidentitet 250300030) inom magasin Vagnhärad uppgår enligt SGU till 410 l/min, medan beräknat inläckage till den del av Tullgarnstunneln (otätat utförande) som passerar inom vattenbalansområdet uppgår till drygt 2 600 l/min. Beräknad grundvattenbortledning via inläckage till bergtunneln är således mer än sex gånger större än beräknad grundvattenbildning. Med föreslagen tätning av Tullgarnstunneln motsvarar bortledningen i det närmaste SGU:s bedömda tillrinning. Utifrån det faktum att påverkansområdet för Tullgarnstunneln, med föreslagen tätning, geografiskt sett enbart överlappar drygt 20 % av tillrinningsområdet till grundvattenmagasinet bedöms det dock inte som troligt att bergtunneln skulle påverka tillrinningen i den omfattning som denna beräkning visar på, vilket diskuteras mer ingående i Bilaga D.2 PM Yt- och grundvatten.

5.3 Tullgarnstunnelns södra förskärning (VV-ID G18-001)

5.3.1 Påverkansområde

Numeriska beräkningar

Resultat från beräkningar av påverkansavstånd för sektioner längs Tullgarnstunnelns södra förskärning redovisas i Tabell 5-16.

Projektnamn	Skapat av (Leverantör)	Godkänt datum	Rev Datum
Ostlänken	Johanna Engelbrektsson, Jonas Pedersen, Alexander Hansen, Linda Jalava, Daniel Erdal	2023-05-23	-
Ärendenummer	Granskat av (Leverantör)	Sidor	Version
TRV 2019/65712	Mattias Fredin Godkänt av (Leverantör) Henrik Tham	65(99)	_.4



Tabell 5-16. Beräknat påverkansavstånd i studerade sektioner längs norra förskärningen till Tullgarnstunneln (redovisat som meter från järnvägslinjen för sektion vid km 18+900 och från schaktkant för sektion vid km 19+000->20+200). Spontutföranden V1-V3 beskrivs i kapitel 4.1.1.1.

Sektion (km-tal)	Spontutförande	Påverkansavstånd mot norr (m)	Påverkansavstånd mot söder (m)
18+900	V1	120	570 (till rand)
	V2	200	570 (till rand)
	V3	Dämning	570 (till rand)
19+000->20+200	V1	1100 (trycksänkning inom hela lerområdet) *	
	V2	1100 (trycksänkning inom hela lerområdet) *	

* Sektion vid km 19+000->20+200 följer järnvägen i längsgående riktning. I modellen är schaktet beläget i modellens ena kant (km 19+000) vilket ger att påverkansavstånd som omfattar hela lerområdet i modellen.

Spontutförande V1, V2 och V3 redovisar utbredning av påverkansavstånd vid olika spont- och tätning utförande kring schakten, där V1 motsvarar den lösning som avgränsningen av påverkansområde i ansökans Bilaga D.2.1 baseras på. Minskad utbredning av påverkansavstånd från de olika utförandena syns ej för samtliga fall i tabellen, utan ligger i så fall i att avsänkningen vid en vald punkt minskar.

Projektnamn	Skapat av (Leverantör)	Godkänt datum	Rev Datum
Ostlänken	Johanna Engelbrektsson, Jonas Pedersen, Alexander Hansen, Linda Jalava, Daniel Erdal	2023-05-23	-
Ärendenummer	Granskat av (Leverantör)	Sidor	Version
TRV 2019/65712	Mattias Fredin Godkänt av (Leverantör) Henrik Tham	66(99)	_.4


TRAFIKVERKET

Analytiska beräkningar

I Tabell 5-17 redovisas antagna beräkningsförutsättningar samt resultat från utförda överslagsberäkningar av påverkansavstånd (angivna som meter från schaktmitt) utan skyddsåtgärder för Tullgarnstunnelns södra förskärning.

Tabell 5-17. Sammanställning av antagna beräkningsförutsättningar och beräknat påverkansavstånd (utan skyddsåtgärder) för Tullgarnstunnelns södra förskärning.

Sektion (km-tal)	Magasins-hållanden	Jordart	Schaktradie (m)	K (m/s)	Magasins-mäktighet (m)	Gv.nivå (RH2000)	Underkant magasin (RH2000)	Dränerande nivå (RH2000)	Påverkans-avstånd (m)
18+900	Slutet	Fr	12	5×10^{-5}	4,1	19,0	5,9	5,9	660

5.3.2 Samlad bedömning

Resultat från utförda analytiska och numeriska beräkningar (för det jämförbara beräkningsfallet V1) vid km 18+900 visar på påverkansavstånd i jämförbar storleksordning mot söder, medan avståndet mot norr skiljer sig med ungefär 500 m. Skillnaden beror på att den analytiska beräkningen inte tar hänsyn till platsspecifika variationer i det vattenförande jordlagrets mäktighet och topografi. Numeriska beräkningsresultat bedöms därför bättre representera grundvattenpåverkan mot norr vid km 18+900.

Numerisk beräkning för längdsektionen mellan km 19+000 och 20+200 visar att en trycksänkning inom det slutna magasinet potentiellt kan få en omfattande utbredning som omfattar hela det omgivande lerområdet närmst skärningen.

Utöver den grundvattensänkning som orsakas av anläggningsarbeten för tråg och betongtunnel längs förskärningen finns även andra anläggningsdelar som kan ge upphov till samtida grundvattenpåverkan kring Tullgarnstunnelns södra förskärning. Dessa omfattar Tullgarnstunneln (se kapitel 5.2.1), uttag av processvatten via bergborrade brunnar (se kapitel 5.5.4) samt grundläggning av brostöd (se kapitel 5.5.1).

Det avgränsade påverkansområde kring Tullgarnstunnelns södra förskärning baseras på resultat från utförda numeriska beräkningar tillsammans med konceptuella bedömningar av områdets hydrogeologiska förhållanden (topografi, grundvattendelare, grundvattenmagasinens utbredning och känslighet). Påverkansområdet har därtill anpassats med hänsyn till kumulativa effekter från angränsande anläggningsdelar med grundvattenpåverkan samt med hänsyn till förekommande riskexponerade objekt. På detta sätt har det justerats för beräkningsmetodernas begränsningar, och påverkansområdet bedöms utifrån gjorda bedömningar vara väl avgränsat.

Det samlade påverkansområdet bedöms utan vidtagande av skyddsåtgärder kunna bli omfattande, och inrymmer därför stora delar av det angränsande låglänta lerområde som inrymmer grundvattenmagasin Vagnhärad. Störst avsänkningar till följd av förskärningen kan dock förvänta närmst schakt. Sydost om förskärningen har påverkansområdet avgränsats mot Noradikets dalgångs centrala delar, där tillströmning av vatten från uppströms belägna delar bedöms begränsa vidare utbredning.

Kartor med avgränsning av tolkat påverkansområde redovisas i ansökans Bilaga D.2.1.



5.4 Hillestatunneln (VV-ID G24-002)

5.4.1 Påverkansområde

Numeriska beräkningar

Resultat från beräkningar av påverkansavstånd för modellerade tunnelsektioner (i otätat utförande), inklusive känslighetsanalys, redovisas i Tabell 5-18.

Tabell 5-18. Beräknat påverkansavstånd för bergtunnelsektioner längs med Hillestatunneln (otätat utförande). Påverkansavstånd visas för 9 olika kombinationer av grundvattenbildning och konduktivitetsvärden per sektion. Resultatet redovisas som avstånd från tunnel mot nordväst respektive sydost. Bergets effektiva hydrauliska konduktivitet inom berörd delsträcka är fetmarkerad i kursivstil.

km 25+000		Mot nordväst			Mot sydost		
		Grundvattenbildning (mm/år)			Grundvattenbildning (mm/år)		
		150	50	10	150	50	10
K-berg (m/s)	<i>9,4 × 10⁻⁹</i>	15	80	460	20	120	505
	1,0 × 10 ⁻⁸	60	90	550	30	120	510
	1,0 × 10 ⁻⁷	130	910	1 150	370	850	2 230

Analytiska beräkningar

I Tabell 5-19 redogörs för antagna beräkningsförutsättningar samt beräknade påverkansavstånd för Hillestatunneln.

Tabell 5-19. Sammanställning av antagna beräkningsförutsättningar och beräknat påverkansavstånd (angivet som meter från tunnelmitt vid en viss längdsektion) för permanent grundvattensänkning i anslutning till Hillestatunneln.

Sektion (m)	Mark-nivå (RH2000)	RÖK (RH2000)	Antagen grundvatten-nivå (RH200)	Tunneldjup under grundvattenytan (m)	Påverkans-avstånd (m)
24+800	40	18,1	39	23	120
24+900	59	19,2	52	35	170
25+000	62	20,7	52	33	170
25+100	53	22,5	51	31	150
25+200	55	24,6	53	30	150
25+300	59	27,1	55	30	150
25+390	49	29,3	48	30	110



5.4.2 Inläckage

Numeriskt beräknat

Resultat från beräkningar av inläckage i modellerade tunnelsektioner (otätat utförande), inklusive känslighetsanalys, redovisas i Tabell 5-20. De beräknade inläckagen utgör årsmedelvärden under stationära förhållanden.

Tabell 5-20. Beräknade inläckage för bergtunnelsektion vid 25+000, Hillestatunneln (otätat utförande). Inläckaget anges som l/min×100 m tunnel. Inläckagen visas för 9 olika kombinationer av grundvattenbildning och konduktivitetvärden. Bergets effektiva hydrauliska konduktivitet inom berörd delsträcka är fetmarkerad i kursivstil.

km 25+000		Grundvattenbildning (mm/år)		
		150	50	10
K-berg (m/s)	<i>9,4 × 10⁻⁹</i>	4	3	1,6
	1,0 × 10 ⁻⁸	5	3	2
	1,0 × 10 ⁻⁷	21	11	3

Analytiskt beräknat

Resultat från utförda beräkningar av inläckage för olika delsträckor längs Hillestatunneln redovisas i Tabell 5-21.

Tabell 5-21. Beräknade typ-, zon- och totalt inläckage (summan av typ- samt zoninläckage) för delsträckor längs Hillestatunneln samt totalt inläckage för hela tunneln.

Delsträcka (km-tal)	Sträcka (m)	Typinläckage (l/min och 100 m)	Typinläckage (l/min)	Zoninläckage		Totalt inläckage	
				Zon-ID	(l/min)	Delsträcka (l/min)	Hela tunneln (l/min)
24+780-24+950	170	34	59	-	-	59	86
24+950-25+339	389	3	12	120, 121	15	27	

Projektnamn	Skapat av (Leverantör)	Godkänt datum	Rev Datum
Ostlänken	Johanna Engelbrektsson, Jonas Pedersen, Alexander Hansen, Linda Jalava, Daniel Erdal	2023-05-23	-
Ärendenummer	Granskat av (Leverantör)	Sidor	Version
TRV 2019/65712	Mattias Fredin Godkänt av (Leverantör) Henrik Tham	69(99)	_.4



5.4.3 Vattenbalans

Resultat från utförd vattenbalansberäkning för Hillestatunneln (otätat utförande) redovisas i Tabell 5-22.

Tabell 5-22. Resultat från utförda vattenbalansberäkningar för Hillestatunneln, otätat utförande.

Gv-bildning inom vattenbalansområde (l/min)	150
Totalt inläckage, Otätat utförande (l/min)	86
Inläckagets andel av grundvattenbildningen, otätad tunnel	56 %

5.4.4 Samlad bedömning

Påverkansområde

Påverkansområdet för Hillestatunneln (otätat utförande) har beräknats numeriskt såväl som analytiskt.

Resultat från utförda beräkningar och känslighetsanalyser har använts som stöd i bedömningen av påverkansområdets utbredning i kombination med konceptuella tolkningar och erfarenhetsmässiga rimlighetsbedömningar. Påverkansområdet yttre gräns har också anpassats med hänsyn till kumulativa effekter från angränsande anläggningsdelars grundvattenbortledning samt förekommande riskexponerade objekt, för att i gränsfall snarare inkludera än exkludera sådana.

En numerisk modell har upprättats i sektion km 25+000, och resultaten från denna representerar således främst förhållandena närmst denna. 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 till 2 kilometer.

Numeriska beräkningsresultat som baseras på sträckans effektiva hydrauliska konduktivitet ($9,4 \times 10^{-9}$ m/s) i kombination med en grundvattenbildning till berg om 50 mm/år har 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.

Värt att notera är att upprättad modellsektion är belägen endast cirka 50 meter från gränsen till den kortare, nordligare delsträckan, som i brist på representativ platsspecifik data har en antagen hydraulisk konduktivitet som är drygt 10 gånger högre ($9,6 \times 10^{-8}$ m/s) baserat på utförd brunnsanalys. En sådan genomsläpplighet skulle enligt utförd känslighetsanalys kunna resultera i ett påverkansområde som sträcker sig betydligt längre ut från tunnellinijen inom tunnelns nordligaste delar. Ett avsevärt större påverkansavstånd inom de nordligaste 170 metrarna förefaller dock inte vara rimligt utifrån tunneldjup och platsspecifika hydrogeologiska förutsättningar, varför påverkansområdet även längs tunnelns nordligaste del i stort avgränsats utifrån samma villkor som den södra delen.

De analytiska överslagsberäkningarna visar på påverkansavstånd som i de djupaste delarna uppgår till som mest ca 170 m. De analytiska beräkningarna har gjorts som en inledande överslagsberäkning, och har mot bakgrund av sin enkelhet använts främst för att uppskatta rimligheten av de numeriska beräkningsresultaten, snarare än att utgöra underlag för bedömning av påverkansområdets utbredning.

Projektnamn	Skapat av (Leverantör)	Godkänt datum	Rev Datum
Ostlänken	Johanna Engelbrektsson, Jonas Pedersen, Alexander Hansen, Linda Jalava, Daniel Erdal	2023-05-23	-
Ärendenummer	Granskat av (Leverantör)	Sidor	Version
TRV 2019/65712	Mattias Fredin Godkänt av (Leverantör) Henrik Tham	70(99)	..4


TRAFIKVERKET

Mot nordost har påverkansområdets utbredning bedömts begränsas topografiskt, eftersom tunneln ligger högre relativt omgivande terräng och grundvattennivån i magasin Tunsätter. Mot nordväst, sydost samt sydväst bedöms påverkansområdets utbredning komma att begränsas av lokala grundvattendelare samt förekomst av grundvattenmagasin i jord.

Utöver den grundvattenpåverkan som orsakas av Hillestatunneln finns också andra närbelägna anläggningsdelar som kan komma att ge upphov till grundvattenpåverkan. Dessa omfattar Hillestatunnelns södra förskärning samt uttag av processvatten via bergborrade brunnar (se kapitel 5.5). Eventuella kumulativa effekter har beaktats genom att addera extra marginaler i området närmst sydväst om tunneln, så att även förekommande lerfyllda svackor omfattas.

Kartor med avgränsning av slutgiltigt bedömda påverkansområden redovisas i ansökans 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 Hillestatunneln (otätat utförande) har beräknats numeriskt såväl som analytiskt.

Resultat från utförda analytiska beräkningar ger att drygt två tredjedelar av det totala inläckaget sker från en kortare sträcka i de norra delarna av tunneln. En indelning av Hillestatunneln har gjorts i två delsträckor, där gjorda antaganden om bergets vattenförande egenskaper blir styrande för inläckaget. Inom den södra delsträckan baseras antagandet på utförd vattenförlustmätning, medan det inom den kortare norra delsträckan i avsaknad av representativa vattenförlustmätningar baseras på utförd brunnsanalys. Eftersom utförd vattenförlustmätning tyder på ett avsevärt tätare berg ($9,4 \times 10^{-9}$ m/s) i jämförelse med den mer övergripande brunnsanalysen ($9,6 \times 10^{-8}$ m/s) blir skillnaderna i beräknat inläckage mellan de båda delsträckorna noterbar.

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 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).

Längs Hillestatunneln planeras för uttag av grundvatten som processvatten till tunnelndrivning. I byggskedet kan uttaget av processvatten komma att påverka inläckaget till bergtunneln genom att mängden tillgänglig vatten för inläckage reduceras. Det planerade processvattenuttagets storlek uppgår till ca 43 l/min, vilket kan jämföras med tunnelns (analytiskt) beräknade totala inläckage om 86 l/min.

Som ett komplement till de analytiska inläckageberäkningarna har en numerisk modellsektion upprättats i km 25+000. Resultaten från den numeriska beräkningen representerar främst förhållandena närmst densamma. Utförd känslighetsanalys för den numeriska beräkningen visar att modellresultat varierar mellan 1,6 och 21 l/min och 100 meter tunnel beroende på hur den hydrauliska konduktiviteten och grundvattenbildningen till berg ansätts. Den numeriska beräkningen ger, med bergets effektiva hydrauliska konduktivitet inom berörd delsträcka längs tunneln ($9,4 \times 10^{-9}$ m/s) och en grundvattenbildning om 50 mm/år ett begränsat inläckage. Värt att beakta är att den upprättade modellsektionen är belägen endast 50 meter från gränsen till den kortare, nordligare delsträckan, med en avsevärt högre antagen hydraulisk konduktivitet som kommer från utförd brunnsanalys ($9,6 \times 10^{-8}$ m/s). Det är därför också intressant att se till resultat från utförd känslighetsanalys antaget samma grundvattenbildning (50 mm/år) men med en högre genomsläpplighet. Inläckaget blir med dessa förutsättningar något större, men ändå betydligt mindre i jämförelse med den analytiska beräkningen för den norra delsträckan. Den främsta orsaken till detta bedöms vara att de numeriska beräkningarna, till skillnad från de analytiska, tar till hänsyn till (den begränsade) tillgången på vatten. Då berget är genomsläppligt och vattentillgången begränsad skapas en grundvattennivåsänkning runt tunneln i modellen, som når ut till dess rand. 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 den numeriska

Filnamn: OLP4-04-025-42000-0_0-0041.docx

Projektnamn	Skapat av (Leverantör)	Godkänt datum	Rev Datum
Ostlänken	Johanna Engelbrektsson, Jonas Pedersen, Alexander Hansen, Linda Jalava, Daniel Erdal	2023-05-23	-
Ärendenummer	Granskat av (Leverantör)	Sidor	Version
TRV 2019/65712	Mattias Fredin Godkänt av (Leverantör) Henrik Tham	71(99)	_.4



TRAFIKVERKET

beräkningen enbart är utförda för en sektion, som den representerar, har dock resultatet inte tillämpats som ett heltäckande underlag för bedömning av inläckage till Hillestatunneln. Det kan däremot ses som en indikation på att de uthålliga inläckagen i områden där vattentillgången är begränsad kan vara avsevärt lägre än vad de analytiska beräkningarna visar.

Vattenbalans

I vattenbalansen för Hillestatunneln uppgår den beräknade grundvattenbildningen till drygt 150 l/min, medan den beräknade inläckaget till otätade tunnlar uppgår till drygt 86 l/min. Jämförelsen ger att planerade bergtunnlar i otätat utförande leder bort lite mer än hälften av den tillgängliga grundvattenbildningen inom vattenbalansområdet, medan resterande del kommer att fortsätta att avrinna som grundvatten.

Vattenbalansen verifierar att vattentillgången i sig inte är begränsande för inläckaget på tunnelövergripande nivå.

Projektnamn	Skapat av (Leverantör)	Godkänt datum	Rev Datum
Ostlänken	Johanna Engelbrektsson, Jonas Pedersen, Alexander Hansen, Linda Jalava, Daniel Erdal	2023-05-23	-
Ärendenummer	Granskat av (Leverantör)	Sidor	Version
TRV 2019/65712	Mattias Fredin Godkänt av (Leverantör) Henrik Tham	72(99)	_.4



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.

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

Cl = lera

Si = silt

Ti = morän

Fr = friktionsjord

De i tabellerna redovisade värdena avseende hydraulisk konduktivitet är baserade på platspecifika fältundersökningar. Ansatta dränerande nivåer motsvarar för de flesta beräkningar schaktbottennivå eller motsvarande.

Påverkansområden som redovisas i ansökans bilaga D.2.1 baseras på beräknade påverkansavstånd (utan vidtagna skyddsåtgärder) tillsammans med konceptuella tolkningar av områdets hydrogeologiska förutsättningar (topografi, grundvattendelare och grundvattenmagasinens utbredning) och erfarenhetsmässiga rimlighetsbedömningar. Kumulativa effekter från närbelägna anläggningsdelar som kan komma att ge upphov till grundvattenpåverkan har beaktats. Påverkansområden har också anpassats med hänsyn till förekomst av riskexponerade objekt, för att hellre inkludera än exkludera sådana. På detta sätt har det kompenseras 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 5-23 till Tabell 5-29 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. Den eventuella påverkan på beräkningsresultaten bedöms dock inrymmas i de osäkerheter som finns i stort kopplat till den analytiska beräkningsmetoden, och resultaten bedöms således ändå vara tillförlitliga nog att använda som utgångsvärde vid avgränsning av påverkansområde.

Bro 424 11 Järnvägsbro över E4, intill Trafikplats Vagnhärad, km 19+370–20+256 (VV-ID G19-003)

I Tabell 5-23 redovisas beräkningsförutsättningar och resulterande påverkansavstånd utan skyddsåtgärder. I beräkningar har det antagits en grundvattensänkning på 4 m under markytan eller mer.



Tabell 5-23. Sammanställning av antagna beräkningsförutsättningar och beräknat påverkansavstånd (utan skyddsåtgärder) för järnvägsbro över E4, intill Trafikplats Vagnhärad. Magasinsmäktighet anges för slutna magasin.

Brostöd (Nr)	Sträcka (km-tal)	Magasins-hållanden	Jordart	K (m/s)	Magasins-mäktighet (m)	Gv-nivå (RH 2000)	Underkant magasin (RH2000)	Dränerande nivå (RH2000)	Påverkansavstånd (m)
1-3	19+370-19+443	Slutet	Fr	2×10^{-5}	19,7	12,4	-24,0	7,6	440
4-6	19+483-19+567	Slutet	Fr	2×10^{-5}	2,5	12,7	-9,1	7,7	200
7	19+611	Slutet	Fr	2×10^{-5}	19,0	12,9	-7,7	8,9*	370
8-11	19+655-19+787	Slutet	Fr	2×10^{-5}	1,0	12,8	-2,3	8,1	130
12-13	19+837-19+892	Slutet	Fr	2×10^{-5}	2,3	19,5	12,7	14,0*	210
14-17	19+947-20-107	Slutet	Fr	2×10^{-5}	6,6	17,5	4,7	13,2	260
18-20	20+151-20+227	Slutet	Fr	2×10^{-5}	0,3	19,3	16,2	13,3*	100
21	20+256	Öppet	Fr	1×10^{-6}	-	26,4	25,2	23,0	30

*Dränerande nivå är lägre än nivå ovankant vattenförande friktionsjord.

I Tabell 5-24 redovisas beräkningsförutsättningar och resulterade påverkansavstånd för ett scenario med ett alternativt tillvägagångsätt 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 5-24 har följande antagits:

- Brostöd nr 1 till 5 grundläggs med pålning. Schakt för pålning bedöms ej kräva någon grundvattensänkning, varför brostöd 1-5 därmed inte redovisas
- Schakt för brostöd nr 6-10 samt 12-18 utförs inom vattenfyllda sponter, vartefter gjutning av så kallad tätka i betong utförs. Vattnet inom sponten pumpas bort och bottenplattorna kan anläggas. Detta förfarande medför inget behov av grundvattensänkning, varför brostöd 6-10 och 12-18 inte redovisas

Projektnamn	Skapat av (Leverantör)	Godkänt datum	Rev Datum
Ostlänken	Johanna Engelbrektsson, Jonas Pedersen, Alexander Hansen, Linda Jalava, Daniel Erdal	2023-05-23	-
Ärendenummer	Granskat av (Leverantör)	Sidor	Version
TRV 2019/65712	Mattias Fredin Godkänt av (Leverantör) Henrik Tham	74(99)	_.4



TRAFIKVERKET

Tabell 5-24. Sammanställning av antagna beräkningsförutsättningar och beräknat påverkansavstånd som baseras på tänkbara grundläggningssätt och skyddsåtgärder för järnvägsbro över E4, intill Trpl Vagnhärad. Magasinsmäktighet anges för slutna magasin.

Brostöd (Nr)	Sektion (km-tal)	Magasins-hållanden	Jordart	K (m/s)	Magasins-mäktighet (m)	Gv-nivå (RH2000)	Underkant magasin (RH2000)	Dränerande nivå (RH2000)	Påverkans-avstånd (m)
11	19+787	Slutet	Fr	2×10^{-5}	0,5	17,8	16,7	16,7*	40
19	20+191	Slutet	Fr	2×10^{-5}	0,3	19,3	16,2	13,3*	100
20	20+227	Slutet	Fr	2×10^{-5}	0,5	20,9	20,2	17,4*	90
21	20+256	Öppet	Fr	1×10^{-6}	-	26,4	25,2	23,0	30

*Dränerande nivå är lägre än nivå ovankant vattenförande friktionsjord.

Bro 424 12 Järnvägsbro över Kalkbruksvägen, km 20+975–21+015 (VV-ID G20-003)

Tabell 5-25. Sammanställning av antagna beräkningsförutsättningar och beräknat påverkansavstånd (utan skyddsåtgärder) för järnvägsbro över Kalkbruksvägen.

Brostöd (Nr)	Sträcka (km-tal)	Magasins-hållanden	Jordart	K (m/s)	Gv-nivå (RH 2000)	Underkant magasin (RH2000)	Dränerande nivå (RH2000)	Påverkans-avstånd (m)
1–4	20+975–21+014	Öppet	Fr/Ti	5×10^{-5}	33,0	27,5	29,0	140

Bro 424 13 Järnvägsbro över Trosaåns dalgång och Stationsvägen, km 21+920–23+640 (VV-ID G21-004)

Vid brostöd nr 12–14 samt nr 38–40 är grundvattenytan lägre än 4 meter under markytan och schakt för brostöd bedöms därmed ej medföra något behov av grundvattensänkning.



Tabell 5-26. Sammanställning av antagna beräkningsförutsättningar och beräknat påverkansavstånd (utan skyddsåtgärder) för järnvägsbro över Trosaåns dalgång och Stationsvägen. Magasinsmäktighet anges för slutna magasin.

Brostöd (Nr)	Sträcka (km-tal)	Magasins-hållanden	Jordart	K (m/s)	Magasins-mäktighet (m)	Gv-nivå (RH2000)	Under-kant magasin (RH2000)	Dränerande nivå (RH2000)	Påverkans-avstånd (m)
1-3	21+920-21+982,2	Slutet	Fr	1×10^{-5}	2,0	26,0	23,0	20,1*	160
4-5	22+027,2-22+072,2	Öppet	Berg	1×10^{-7}	-	26,0	22,0	23,0	20
6-11	22+117,2-22+342,2	Slutet	Fr/Ti	1×10^{-5}	6,0	22,5	14,0	19,3*	160
15-17	22+522,2-22+612,2	Slutet	Fr	1×10^{-5}	6,5	20,5	12,0	19,5	60
18-27	22+657,2-23+063,7	Slutet	Fr/Ti	1×10^{-5}	5,0	11,0	-3,5	7,0	170
28-34	23+109,7-23+370,5	Slutet	Fr/Ti	1×10^{-5}	2,0	11,5	7,0	9,0	90
35-37	23+418,5-23+510,5	Öppet	Fr	1×10^{-5}	-	18,0	16,0	16,5	30

*Dränerande nivå är lägre än nivå ovankant vattenförande friktionsjord.

Bro 424 15 Järnvägsbro över Gamla landsvägen, km 26+022-26+095 (VV-ID G26-001)

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

Brostöd (Nr)	Sträcka (km-tal)	Magasins-hållanden	Jordart	K (m/s)	Magasins-mäktighet (m)	Gv-nivå (RH2000)	Under-kant magasin (RH2000)	Dränerande nivå (RH2000)	Påverkans-avstånd (m)
1-5	26+022-26+094,9	Slutet	Fr/Ti	1×10^{-6}	4,5	39,0	26,5	34,5	80

Projekt Ostlänken	Skapat av (Leverantör) Johanna Engelbrektsen, Jonas Pedersen, Alexander Hansen, Linda Jalava, Daniel Erdal	Godkänt datum 2023-05-23	Rev Datum -
Ärendenummer TRV 2019/65712	Granskat av (Leverantör) Mattias Fredin Godkänt av (Leverantör) Henrik Tham	Sidor 76(99)	Version _4



Bro 424 16 Järnvägsbro över Björnängen, Hillesta, km 27+120–27+340 (VV-ID G27-002)

Tabell 5-28. Sammanställning av antagna beräkningsförutsättningar och beräknat påverkansavstånd (utan skyddsåtgärder) för järnvägsbro över Björnängen. Magasinsmäktighet anges för slutna magasin.

Brostöd (Nr)	Sträcka (km-tal)	Magasins-hållanden	Jordart	K (m/s)	Magasins-mäktighet (m)	Gv-nivå (RH2000)	Under-kant magasin (RH2000)	Dränerande nivå (RH2000)	Påverkans-avstånd (m)
1–4	27+120–27+200	Slutet	Fr/Ti	1×10^{-6}	1,0	39,0	27,0	34,0	50
5–9	27+230–27+340	Slutet	Fr/Ti	1×10^{-6}	1,0	39,0	31,0	31,4*	60

*Dränerande nivå är lägre än nivå ovankant vattenförande friktionsjord.

Bro 424 51 Vägbro för väg 782 Västerleden, km 24+425

Tillfällig grundvattensänkning bedöms ej erfordras vid grundläggning av brostöd på grund av grundvattennivåer i området är på större djup än ca 7 m under markytan.

Bro GC-bro över Vagnhärad station, km 20+778 (VV-ID G20-006)

Tabell 5-29. Sammanställning av antagna beräkningsförutsättningar och beräknat påverkansavstånd (utan skyddsåtgärder) för GC-bro över Vagnhärad station.

Brostöd (Nr)	Sektion (km-tal)	Magasins-hållanden	Jordart	K (m/s)	Gv-nivå (RH2000)	Under-kant magasin (RH2000)	Dränerande nivå (RH2000)	Påverkans-avstånd (m)
1–2	20+778	Öppet	Fr/Ti	1×10^{-5}	32,0	28,0	28,5	60

5.5.2 Markförstärkningsåtgärder

I Tabell 5-30 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 gjorts i berörd resultattabell. Den eventuella påverkan på beräkningsresultaten bedöms dock inrymmas i de osäkerheter som finns i stort kopplat till den analytiska beräkningsmetoden, och resultaten bedöms således ändå vara tillförlitliga nog att använda som utgångsvärde vid avgränsning av påverkansområde.

Samtliga utskiftningar/markförstärkningsåtgärder i Tabell 5-30 görs för järnväg, undantaget tre markerade sektioner som gäller för ersättningsvägar.



Tabell 5-30. Sammanställning av antagna beräkningsförutsättningar och beräknat påverkansavstånd för tillfällig grundvattensänkning vid utskiftning i byggskede. Mag.förhållanden = Magasinsförhållande. Magasinsmäktighet anges för slutna magasin. UK magasin = underkant av grundvattenmagasinet. Drän.nivå = dränerande nivå.

Sträcka (Start km - slut km)	VV-ID	Sektion (km-tal)	Mag.för- hållanden	Jord- art	K (m/s)	Magasins- mäktighet (m)	Gv-nivå (RH 2000)	UK magasin (RH2000)	Schakt -radie (m)	Drän.- nivå (RH2000)	Påverkans- avstånd (m)
20+630– 20+730	G20-002	20+660	Slutet	Fr	$6,1 \times 10^{-5}$	3,0	33,2	29,0	20	31,0*	210
20+740– 20+770	G20-011	20+760	Slutet	Fr	$6,1 \times 10^{-5}$	1,9	33,1	31,0	20	32,0*	100
20+780– 20+830	G20-012	20+800	Slutet	Fr	$6,1 \times 10^{-5}$	2,4	31,4	23,7	20	29,0	210
20+840– 20+850	G20-013	20+840	Öppet	Ti	1×10^{-6}	-	32,1	23,3	20	31,0	40
20+860– 20+890	G20-014	20+880	Slutet	Fr	$6,1 \times 10^{-5}$	3,0	32,2	28,2	20	30,0*	210
20+900– 20+940	G20-015	20+920	Öppet	Ti	1×10^{-6}	-	34,6	30,9	20	34,0	30
21+015– 21+030	G21-011	21+020	Slutet	Fr	$6,1 \times 10^{-5}$	4,0	34,7	27,0	15	30,6*	350
21+675– 21+685	G21-005	21+680	Slutet	Fr	5×10^{-6}	4,0	35,4	28,5	10	31,5*	120
21+710– 21+725	G21-008	21+710	Slutet	Fr	5×10^{-6}	1,0	35,4	30,4	10	31,4	80
26+100- 26+140	G26-002	26+120	Slutet	Fr	1×10^{-5}	1,1	41,6	40	16	40,6*	50
26+140- 26+180	G26-002	26+160	Slutet	Fr	1×10^{-5}	0,5	45,5	44,1	10	44,1*	40
26+180- 26+470	G26-002	26+320	Slutet	Fr	1×10^{-5}	1	41,9	38,2	20	39,2	110
26+640- 26+900	G26-003	26+660	Slutet	Fr	1×10^{-5}	0,5	49,3	47,7	10	48,2	40
27+000– 27+035 ^a	G27-007	27+020	Slutet	Fr	1×10^{-5}	3,5	38,1	32,4	12	33,7*	160
27+030– 27+090	G27-008	27+060	Slutet	Fr	1×10^{-5}	1,5	38,2	34,2	2	33,7*	120
27+090– 27+120	G27-006	27+100	Slutet	Fr	1×10^{-5}	2,0	37,8	32,3	8	32,0*	150
27+305– 27+315 ^a	G27-010	27+305	Slutet	Fr	1×10^{-5}	1	38,5	31,7	7	34,7	230

Sträcka (Start km - slut km)	VV-ID	Sektion (km-tal)	Mag.för- hållanden	Jord- art	K (m/s)	Magasins- mäktighet (m)	Gv-nivå (RH 2000)	UK magasin (RH2000)	Schakt- radie (m)	Drän.- nivå (RH2000)	Påverkans- avstånd (m)
27+310– 27+325 ^b	G27-011	-	Slutet	Fr	1 × 10 ⁻⁵	3	38,6	32,8	6	34,9*	130
27+325– 27+345	G27-009	27+325	Slutet	Fr	1 × 10 ⁻⁵	1	38,3	33,2	11	34,2	90
27+400– 27+460	G27-003	27+400	Slutet	Fr	1 × 10 ⁻⁵	1,6	42,2	39,0	18	39,4*	90

^a Utskiftning för ersättningsväg, norr om spår

^b Utskiftning för ersättningsväg, söder om spår

*Dränerande nivå är lägre än nivå ovkant vattenförande friktionsjord.

5.5.3 VA-anläggningar

I Tabell 5-31 och Tabell 5-32 redovisas beräkningsförutsättningar samt resulterande påverkansavstånd för tillfällig respektive permanent grundvattenbortledning från VA-anläggningar såsom fördröjnings- och brandvattenmagasin.

Tabell 5-31. Sammanställning av antagna beräkningsförutsättningar och beräknat påverkansavstånd för VA-anläggningar i byggskede. Magasinsmäktighet anges för slutna magasin.

Objekt	VV-ID	Sektion (km-tal)	Mag.för- hållanden	Jord- art	K (m/s)	Magasins- mäktighet (m)	Gv-nivå (RH 2000)	UK magasin (RH2000)	Schakt- radie (m)	Drän.- nivå (RH 2000)	Påverkans- avstånd (m)
Brand- vatten- magasin	G15-009	15+130	Slutet	Fr	1 × 10 ⁻⁵	3,1	25,5	12,8	10	19,3	190
Fördr.- magasin	G20-010	20+990	Öppet	Ti	1 × 10 ⁻⁵	-	31,2	27,2	2	29,66	40

Tabell 5-32. Sammanställning av antagna beräkningsförutsättningar och beräknat påverkansavstånd för VA-anläggningar i driftskede.

Objekt	VV-ID	Sektion (km-tal)	Mag.för- hållanden	Jord- art	K (m/s)	Gv-nivå (RH 2000)	UK magasin (RH2000)	Schakt- radie (m)	Drän.- nivå (RH 2000)	Påverkans- avstånd (m)
Fördr. magasin	G20-010	20+990	Öppet	Ti	1 × 10 ⁻⁵	31,2	27,2	2	29,66	40

Projektnamn	Skapat av (Leverantör)	Godkänt datum	Rev Datum
Ostlänken	Johanna Engelbrektsson, Jonas Pedersen, Alexander Hansen, Linda Jalava, Daniel Erdal	2023-05-23	-
Ärendenummer	Granskat av (Leverantör)	Sidor	Version
TRV 2019/65712	Mattias Fredin Godkänt av (Leverantör) Henrik Tham	79(99)	_.4



5.5.4 Processvattenbrunnar

I Tabell 5-33 redovisas beräkningsförutsättningar samt resulterande påverkansavstånd för tillfällig grundvattenbortledning i byggskedet i samband med grundvattenuttag i processvattenbrunnar.

Tabell 5-33. Sammanställning av antagna beräkningsförutsättningar och beräknat påverkansavstånd för processvattenbrunnar.

Objekt	VV-ID	Sektion (km-tal)	Grundvattenbildning (berg) (mm/år)	Planerat uttag (l/h)	Påverkansavstånd (m)
Processvattenbrunn, Tullgarnstunneln norr	G15-008	15+250	50	2 080	340
Processvattenbrunn, Tullgarn arbetstunnel	G15-006	15+850	50	2 080	340
Processvattenbrunn, Tullgarnstunneln söder	G19-008	19+000	50	4 170	480
Processvattenbrunn, Hillestatunneln	G25-001	25+400	50	2 580	380

5.5.5 Skärningar för järnvägsanläggning

I Tabell 5-34 redogörs för beräkningsförutsättningar samt beräknade påverkansavstånd från områden där järnvägens dränerande nivå är belägen under grundvattenytan. Notera att de sektioner som påverkansområden beräknats för ej alltid täcker hela sträckan som anges i "Skärning". Detta eftersom en sträcka kan gå i skärning utan att hela sträckans dränerande nivå är belägen under bedömd grundvattennivå.



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

Sträcka (Start km till slut km)	VV-ID	Sektion (km)	Jordart	K (m/s)	Grund- vattennivå (RH2000)	Underkant grundvatten- magasin (RH2000)	Dränerande nivå (RH2000)	Påverkans- avstånd (m)
20+290– 20+590	G20-009	20+350	Berg	1×10^{-7}	38,7	32,2 (Bergschakt)	33,2	20
		20+450	Fr	1×10^{-5}	35,0	32,0	34,1	40
		20+500	Berg	1×10^{-7}	38,9	33,4 (Bergschakt)	34,4	20
21+040– 21+910	G21-009	21+100	Fr/Berg	$1 \times 10^{-5}/$ 1×10^{-7}	41,0	39,0 & 35,4 (Bergschakt)	36,4	40 (Jord) 20 (Berg)
		21+200	Berg	1×10^{-7}	43,6	35,6 (Bergschakt)	36,6	30
		21+300	Berg	1×10^{-7}	45,0	35,6 (Bergschakt)	36,6	40
		21+400	Berg	1×10^{-7}	44,7	35,3 (Bergschakt)	36,3	40
		21+500	Fr/Ti	1×10^{-5}	40,7	35,7	35,9	130
		21+600	Fr/Berg	$1 \times 10^{-5}/ 1 \times$ 10^{-7}	40,9	38,4 & 34,5 (Bergschakt)	35,5	60 (Jord) 20 (Berg)
	G21-010	21+800	Berg	1×10^{-7}	41,9	33,7 (Bergschakt)	34,7	30
		21+900	Fr/Ti	1×10^{-5}	36,3	31,3	34,3	90
25+400– 26+010	G24-002	25+400	Cl/Berg	$1 \times 10^{-9} /$ 1×10^{-7}	45,7	44,9 & 26,2 (Bergschakt)	27,2	10 (Jord) 110 (Berg)
		25+500	Fr/Berg	$1 \times 10^{-5} /$ 1×10^{-7}	41,7	38,7 & 28,7 (Bergschakt)	29,7	170 (Jord) 60 (Berg)
		25+600	Berg	1×10^{-7}	46,3	31,2 (Bergschakt)	32,2	80
		25+700	Berg	1×10^{-7}	42,6	33,7 (Bergschakt)	34,7	40
		25+800	Berg	1×10^{-7}	42,9	36,2 (Bergschakt)	37,2	20
27+460– 27+820	G27-004	27+500	Berg	1×10^{-7}	52,5	48,9 (Bergschakt)	49,9 (Drän- ledning)	10
		27+600	Berg	1×10^{-7}	53,3	49,1 (Bergschakt)	50,1 (Drän- ledning)	10
		27+700	Berg	1×10^{-7}	53,0	49,3 (Bergschakt)	50,3 (Drän- ledning)	10
		27+800	Berg	1×10^{-7}	52,7	49,6 (Bergschakt)	50,6	10



5.5.6 Skärningar för vägar

I Tabell 5-35 redovisas beräkningsförutsättningar samt resulterande påverkansavstånd för permanent grundvattenbortledning för vägsärningar där dränerande nivå är under grundvattenytan.

Marken vid byggväg, väster om spår i km ca 15+900 kommer efter byggskedet att återställas och vägens dränerande effekt kommer därmed att upphöra. Övriga vägar bedöms ha kvarstående dränerande effekt även efter byggskedet.

Tabell 5-35. Sammanställning av antagna beräkningsförutsättningar och beräknat påverkansavstånd för temporär och permanent grundvattensänkning där vägnas dränerande nivå är under grundvattenytan.

Objekt, km-tal	VV-ID	X	Y	Jord-art	K (m/s)	GV-nivå (RH2000)	Underkant grundvattenmagasin (RH2000)	Drän. nivå (RH2000)	Sträcka under GV-nivå (m)	Påverkansavstånd (m)
Ersättningsväg Öster om spår, 15+200	G15-004	123452	6541708	Ti	1×10^{-6}	34,7	28,9	29,9	55	50
Byggväg, Väster om spår, 15+900	G15-005	122883	6541193	Ti	1×10^{-6}	36,5	27,5	28,5	50	80
Ersättningsväg Norr om spår, 20+500	G20-007	119559	6538245	Si/Cl	1×10^{-8}	28,2	24,9	25,9	65	10
Ersättningsväg Söder om spår, 20+500	G20-008	119630	6538097	Ti	1×10^{-6}	41,8	34,1	35,1	40	70
Ersättningsväg 21+000	G21-007	119141	6537902	Ti	1×10^{-6}	35,5	33,6	34,6	140	10

Projektnamn	Skapat av (Leverantör)	Godkänt datum	Rev Datum
Ostlänken	Johanna Engelbrektsson, Jonas Pedersen, Alexander Hansen, Linda Jalava, Daniel Erdal	2023-05-23	-
Ärendenummer	Granskat av (Leverantör)	Sidor	Version
TRV 2019/65712	Mattias Fredin Godkänt av (Leverantör) Henrik Tham	82(99)	_.4



6 Diskussion

6.1.1 Påverkansområde

6.1.1.1 Numeriska beräkningar

Bergtunnlar/Djupa schakt

Numerisk tvådimensionell modellering har utförts för att beräkna påverkansområden längs 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.

De troligtvis största osäkerheterna är påverkan från grundvattenflöden inom modellområden som sker vinkelrätt in mot upprättade modellsektioner, då denna inte kan fångas upp med tvådimensionella modeller. 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 (störda förhållanden) 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 i olika grad för olika modellerade anläggningsdelar och enskilda tvärsnitt. 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 konduktivitetvärden 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 utförda 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, vilket kan påverka slutresultatet i viss utsträckning. I utförd modellering längs bergtunnlar har ingen kalibrering utförts gentemot uppmätta grundvattennivåer. Detta på grund av begränsad omfattning av mätpunkter att kalibrera mot. Grundmodellerna är dock upprättade så att opåverkad grundvattennivå är relativt marknära för att inte underskatta avsänkningen.

Även den tvådimensionella modellen i sig 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.

Påverkansavstånd som beräknats för bergtunnlar avser en avsänkt grundvattenyta (gäller både analytiska och numeriska beräkningar). Kring bergtunnlar kan det dock vara en skillnad i avsänkt grundvattenyta och grundvattnets trycknivå mätt i en punkt någonstans i magasinet. Detta innebär att nivån i exempelvis en bergborrad brunn, som når ner nära tunneln, kan vara mycket lägre än den avsänkta grundvattenytan uppmätt vid markytan. I redovisat påverkansområde framgår ej denna skillnad, men vid bedömningar av påverkan på enskilda objekt som redogörs för i ansökans bilaga D.2.1 PM Yt- och grundvatten har det beaktats att det kan förekomma skillnad mellan avsänkt grundvattenyta och trycknivå i en punkt någonstans i magasinet.

Projektnamn	Skapat av (Leverantör)	Godkänt datum	Rev Datum
Ostlänken	Johanna Engelbrektsson, Jonas Pedersen, Alexander Hansen, Linda Jalava, Daniel Erdal	2023-05-23	-
Ärendenummer	Granskat av (Leverantör)	Sidor	Version
TRV 2019/65712	Mattias Fredin Godkänt av (Leverantör) Henrik Tham	83(99)	_.4


TRAFIKVERKET

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 om 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 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 ytligare 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 bergborrhade 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 till exempel hydraulisk konduktivitet och mäktighet av jordlager är i den högre delen av intervallen för att inte underskatta påverkansområdets möjliga utbredning.

Sammanfattningsvis finns ett flertal större osäkerheter kopplat till modellresultat som är viktiga att vara medveten om, men också viktig information gällande potentiella naturliga trösklar/ränder för utbredningen av påverkan. Beräkningsresultat ska därför inte tolkas som en sanning, utan som ett kvalificerat stöd vid bedömningar av påverkan tillsammans med uppgifter från bland annat känslighetsanalyser, analytiska beräkningar, hydrogeologiska förutsättningar och rimlighetsbedömningar.

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 rimlighetsskattningar 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 platsspecifika förhållandena. Av denna anledning är det värt att nämna att beräknade påverkansavstånd i många fall enbart ger en grov uppskattning av det påverkansområde som faktiskt kommer att uppstå 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 bedömning av utbredning.

Projektnamn	Skapat av (Leverantör)	Godkänt datum	Rev Datum
Ostlänken	Johanna Engelbrektsson, Jonas Pedersen, Alexander Hansen, Linda Jalava, Daniel Erdal	2023-05-23	-
Ärendenummer	Granskat av (Leverantör)	Sidor	Version
TRV 2019/65712	Mattias Fredin Godkänt av (Leverantör) Henrik Tham	84(99)	_.4

**TRAFIKVERKET**

Vid tolkningen av påverkansområden i plan har gränsen dragits ut till beräknat värde i de fall en hydraulisk rand inte nåtts inom detta avstånd. Om en hydraulisk rand däremot nåtts har påverkansområdet i stället avgränsats utefter dess ränder. Detta medför att beräknade påverkansområden redovisade i resultatkapitlet ovan representerar det största potentiella påverkansområdet, medan det redovisade påverkansområdet i flertalet fall blir märkbart mindre på grund av hydrogeologiska avgränsningar.

Värde för grundvattenbildning genom lera till morän/friktionsjord, som använts vid beräkningar av påverkansavstånd i slutna magasinsförhållanden, är något högre ansatt än vad litteraturvärden anger. Värdet är valt mot bakgrund av att planerad grundvattenbortledning i områden med slutna magasin generellt är belägna i nära anslutning till randområden med större grundvattenbildning, som därigenom kan komma magasinet till godo. För områden med större lermäktigheter på längre avstånd från randområden (exempelvis Vagnhärad och Trosaåns dalgång) stämmer således detta generella antagande sämre. Avgränsning av påverkansområdet i plan har dock gjorts med hänsyn till hydrogeologiska förutsättningar 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.

Beräknade påverkansområden från processvattenuttag bedöms vara tillräckligt väl tilltagna 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 tolkningen av påverkansområde i plan har det vidare antagits att uttaget kan komma att ske från valfri punkt längs berört arbetsområdes yttre gränser.

I samtliga beräkningar av påverkansområde för processvatten har det konservativt antagits att hela uttaget av processvattnet sker från berg. I fallet vid Tullgarnstunnelns södra påslag planeras uttag av processvatten delvis ske från vattenförande jordlager, vilket medför att mängden vatten som behöver tas från berg kan komma att bli mindre än vad som antagits i utförda beräkningar. Således kan det beräknade påverkansområdet vara något överskattat i detta fall.

6.1.2 Inläckage

6.1.2.1 Numeriska beräkningar

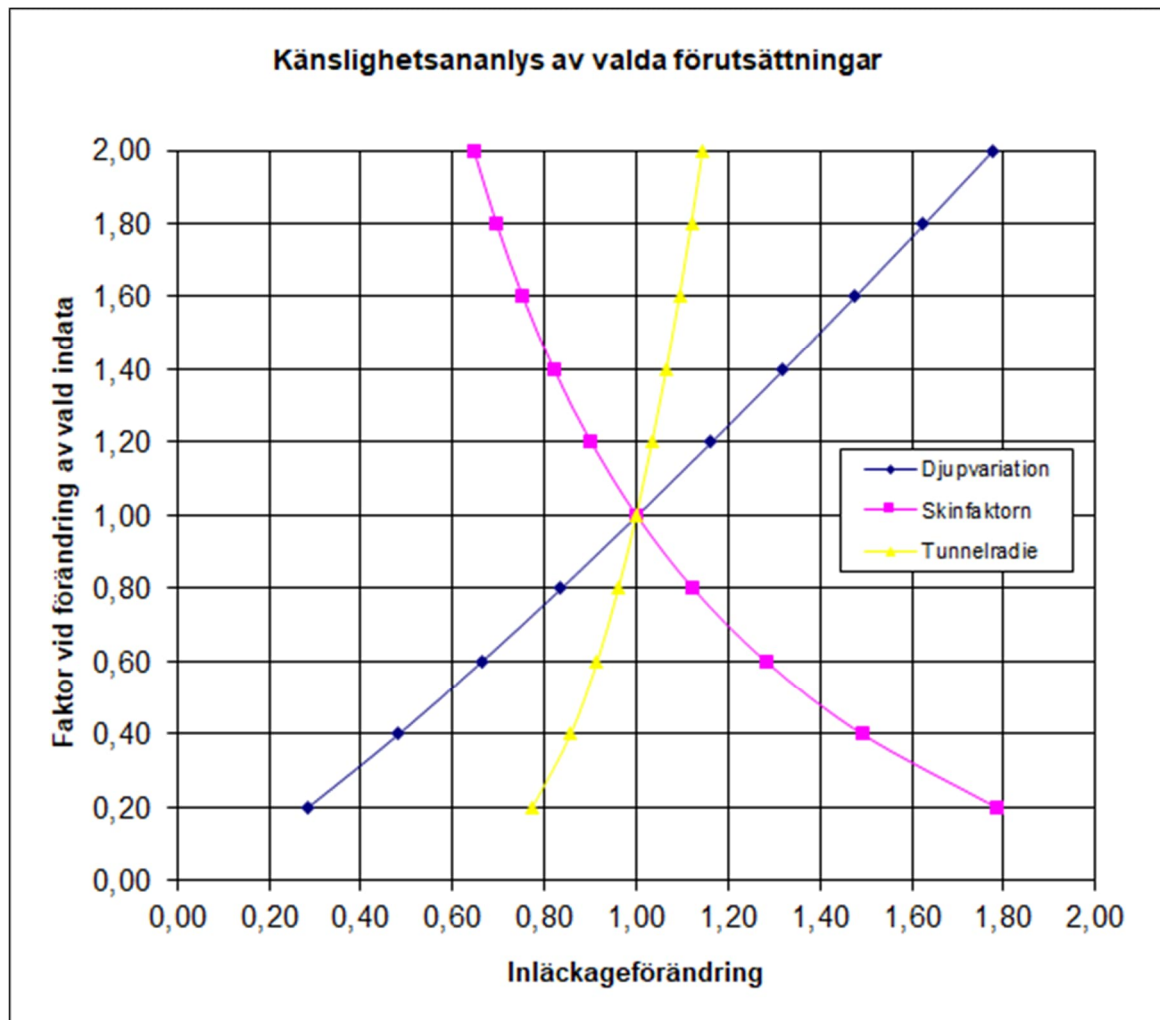
Avseende numeriska inläckageberäkningar gäller i stort samma diskussion/resonemang som för de numeriska påverkansområdesberäkningarna, se kapitel 6.1.1.1.

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 (eventuella avsteg från detta redogörs för i kapitel 5.2.4 och 5.4.4). 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, resultat från den mätning som gav det mest vattenförande berget tillämpats i beräkningar, vilket också medför konservativa beräkningsförutsättningar. I de fall representativ data från fältundersökningar bedömts saknas för en delsträcka längs tunnel har värden avseende bergets hydrauliska konduktivitet i stället valts utifrån

Projektnamn	Skapat av (Leverantör)	Godkänt datum	Rev Datum
Ostlänken	Johanna Engelbrektsson, Jonas Pedersen, Alexander Hansen, Linda Jalava, Daniel Erdal	2023-05-23	-
Ärendenummer	Granskat av (Leverantör)	Sidor	Version
TRV 2019/65712	Mattias Fredin Godkänt av (Leverantör) Henrik Tham	86(99)	_.4



utförd brunnsanalys. Erhållna värden från brunnsanalysen är i samtliga fall högre än de från vattenförlustmätningar längs närbelägna delsträckor, vilket bedöms innebära att konservativa antaganden generellt 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 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 skinfaktor.

Tunnelradie

I utförda beräkningar har den ekvivalenta tunnelradien ansatts till 7 meter, vilket motsvarar en total tvärsnittsarea om 154 m². Huvudspår-tunneln är projekterad med en total tvärsnittsarea om 120 m², medan servicetunneln, som löper parallellt med Tullgarnstunnelns spår-tunnel, är projekterad med en tvärsnittsarea om 34 m². Det i beräkningarna tillämpade tvärsnittet motsvarar således projekterad anläggning i Tullgarnstunnelns fall, samt är något större än projekterat tunneltvärsnitt i Hillestatunneln 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 planerade tunnlar. 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 specifik 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 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 byggts 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 antyder.

Projektnamn	Skapat av (Leverantör)	Godkänt datum	Rev Datum
Ostlänken	Johanna Engelbrektsson, Jonas Pedersen, Alexander Hansen, Linda Jalava, Daniel Erdal	2023-05-23	-
Ärendenummer	Granskat av (Leverantör)	Sidor	Version
TRV 2019/65712	Mattias Fredin Godkänt av (Leverantör) Henrik Tham	87(99)	_.4



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 borrhäna) 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 behöver 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 på att det dels 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 uppskattning av grundvattenbildning tillgänglig för inläckage till bergtunnlar, 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 Engelbretsson, Jonas Pedersen, Alexander Hansen, Linda Jalava, Daniel Erdal	2023-05-23	-
Ärendenummer	Granskat av (Leverantör)	Sidor	Version
TRV 2019/65712	Mattias Fredin Godkänt av (Leverantör) Henrik Tham	88(99)	_.4



- Grundvattenbildningen inom lerområden har ansatts relativt högt i förhållande till litteraturvärden, men bedöms vara representativ under de 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 små bedöms antagandet ha liten påverkan på slutresultatet

Vidare finns osäkerheter i form av möjliga hydrauliska kontakter mellan grundvatten och ytavrinning i diken, vilka kan innebära såväl plus- som minusposter för den totala grundvattenbildningen. Långsjön kan potentiellt utgöra en sådan betydande pluspost, men i övrigt har posterna i stort bedömts 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 Engelbretsson, Jonas Pedersen, Alexander Hansen, Linda Jalava, Daniel Erdal	2023-05-23	-
Ärendenummer	Granskat av (Leverantör)	Sidor	Version
TRV 2019/65712	Mattias Fredin Godkänt av (Leverantör) Henrik Tham	89(99)	_.4



7 Referenser

Underlag framtaget inom program OLP4

Trafikverket (2023a). Utvärderings-PM Slugtester. OLP4 delen Långsjön–Sillekrog. OLP4-04-025-42000-0_0-1262

Trafikverket (2023b). Utvärderings-PM Provpumpning Kumla gård. OLP4 delen Långsjön–Sillekrog. OLP4-04-025-42000-0_0-1263

Trafikverket (2023c). Beräknings-PM K-värden i berg. OLP4 delen Långsjön–Sillekrog. OLP4-04-025-42000-0_0-0046

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 terrängavsnitt: försök till bestämning av infiltrationskoefficienter, Teknik-Metod-Analys, Orrje & Co sid 33–110.

Projektnamn	Skapat av (Leverantör)	Godkänt datum	Rev Datum
Ostlänken	Johanna Engelbrektsson, Jonas Pedersen, Alexander Hansen, Linda Jalava, Daniel Erdal	2023-05-23	-
Ärendenummer	Granskat av (Leverantör)	Sidor	Version
TRV 2019/65712	Mattias Fredin Godkänt av (Leverantör) Henrik Tham	90(99)	_.4



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 visar alla illustrationer 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.

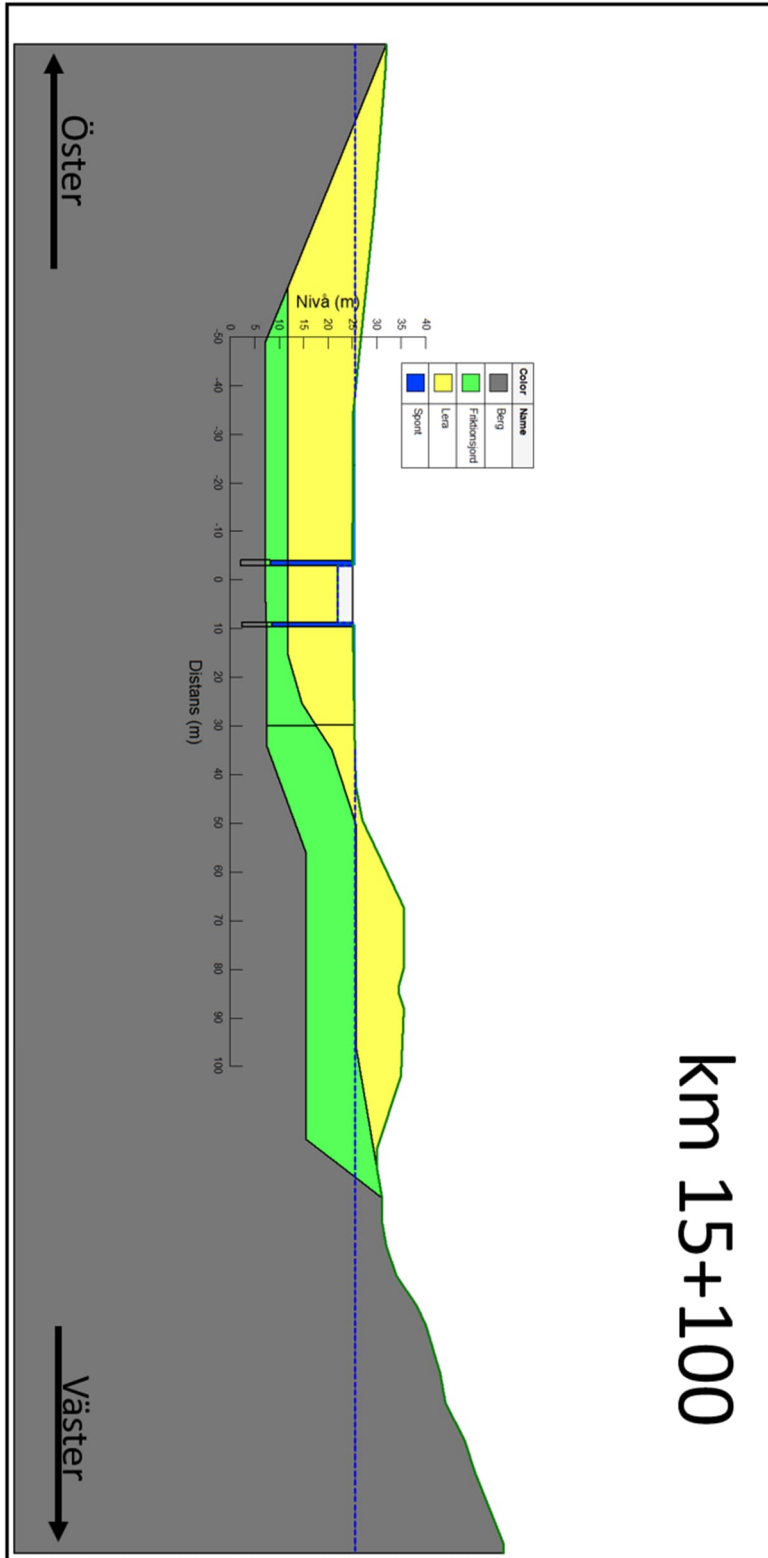
För Tullgarnstunneln har beräkningar av påverkansavstånd och inläckage utförts med och utan tätning. Den gröna "ramen" kring tunneln i sektionerna vid km 17+800 och 18+700 illustrerar den tätade zonen kring tunneln.

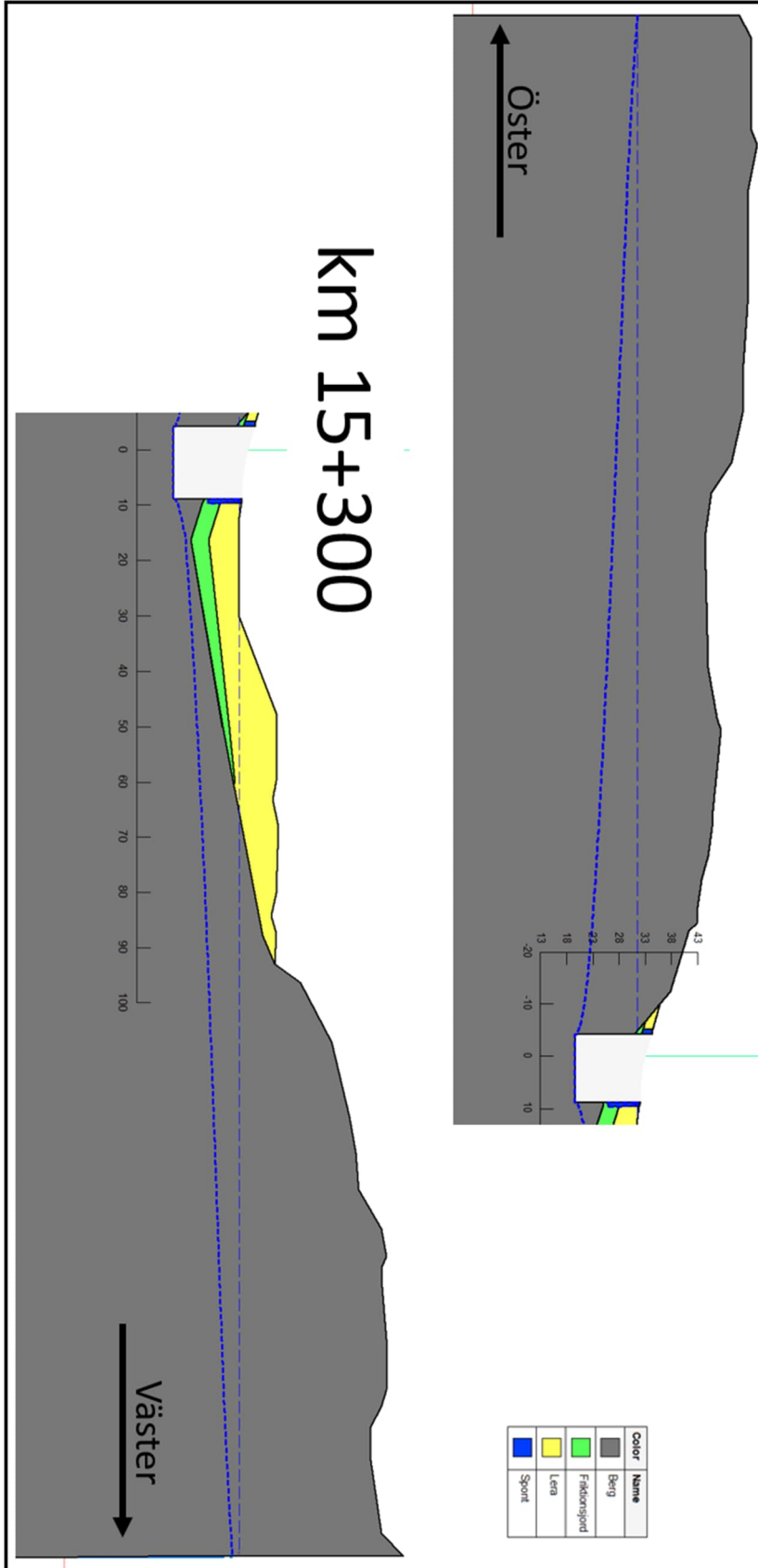
För illustrationer av Tullgarnstunneln motsvarar höger i figurer öster och vänster väster. För illustrationer av Hillestatunneln motsvarar höger i figuren sydost och vänster nordväst.

I illustrationerna för djupa jord-bergschakt visas grundvattenytans läge efter tre år som tjocka streckade linjer, medan den modellerade originalytan utan schakt visas som tunna streckade linjer. Observera att förändringen av grundvattenytans läge inte är detsamma som tryckförändringen i friktionsjorden och det som redovisas som påverkansavstånd i kapitel 5.1.1 och 5.3.1. Figurerna visas för utförande V1, med en hydrogeologiskt tät spont som dock inte sluter tätt mot underliggande berg. De olika beräkningsfallet beskrivs mer ingående i kapitel 4.1.1.1. För driftskedet med en planerad tid på 120 år ses inga skillnader mot de redovisade resultatet efter 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.

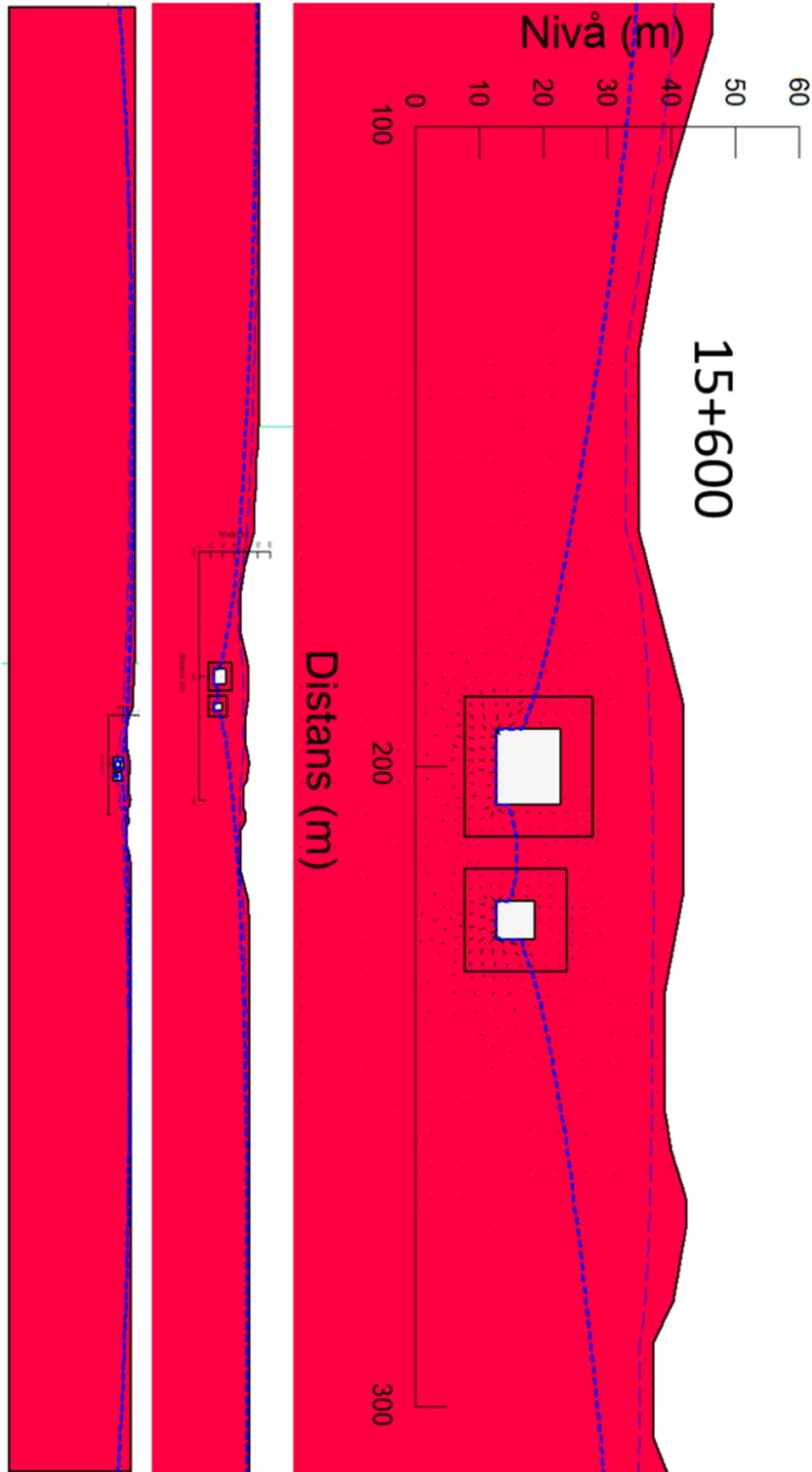
8.1 Tullgarnstunnelns norra förskärning

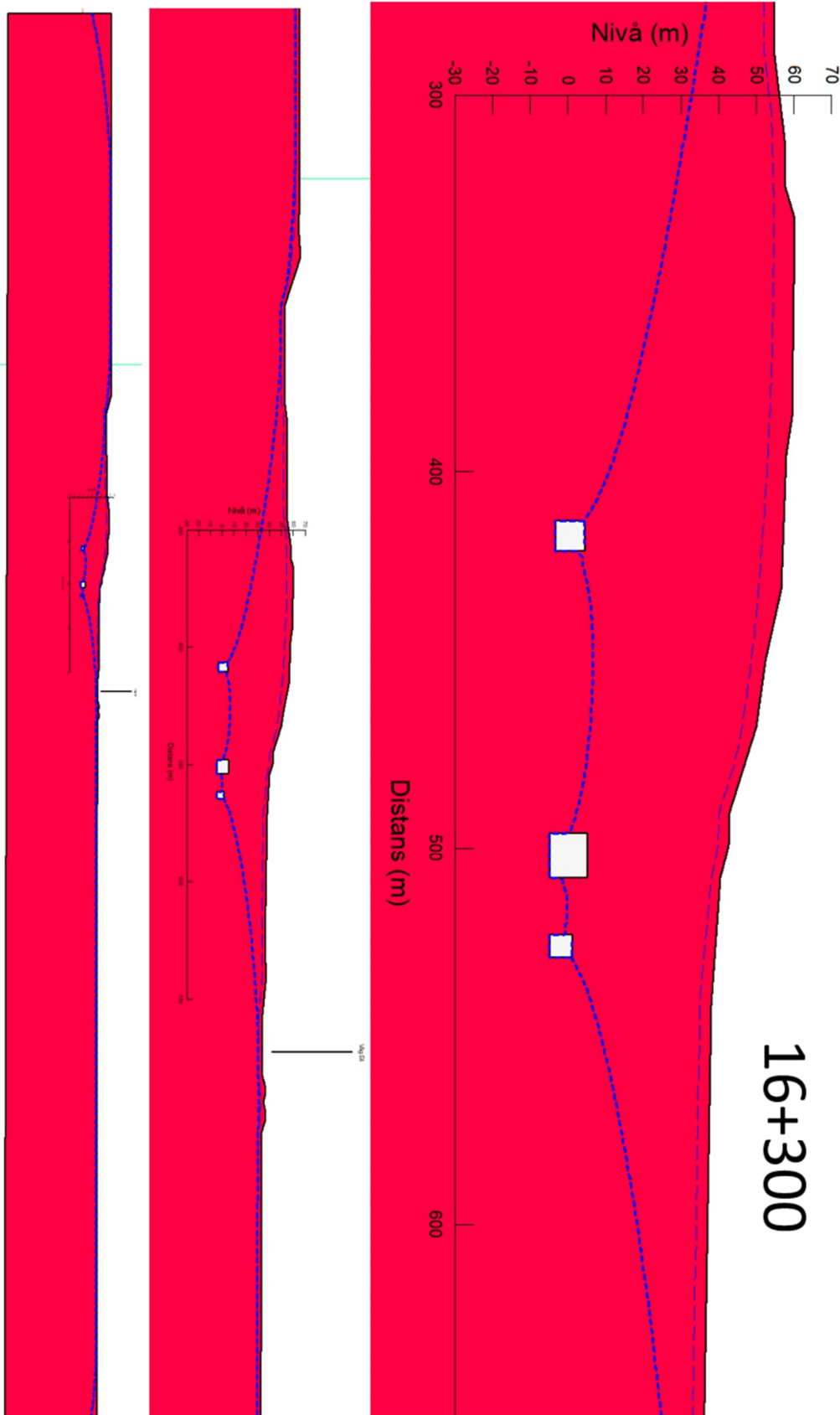


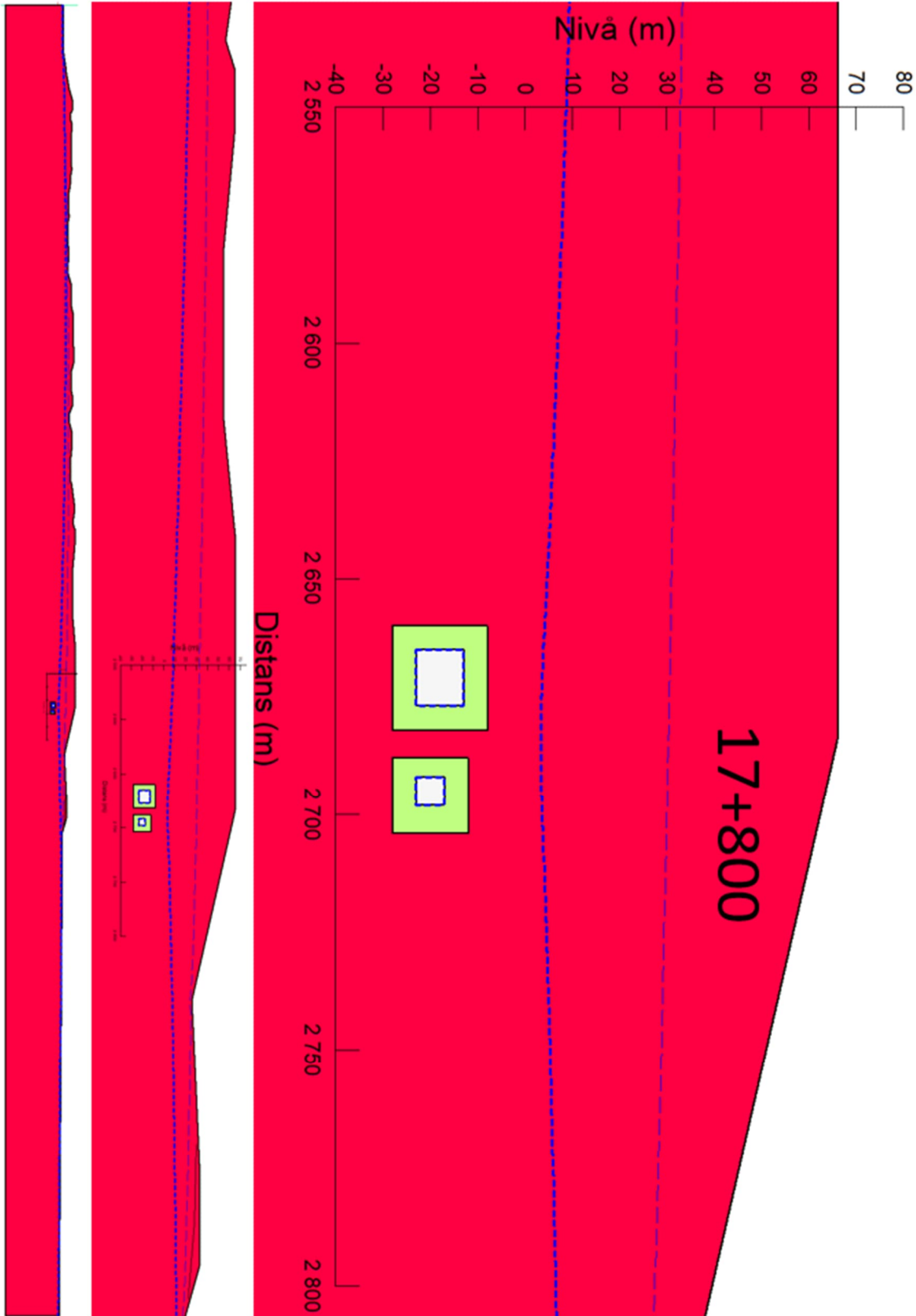


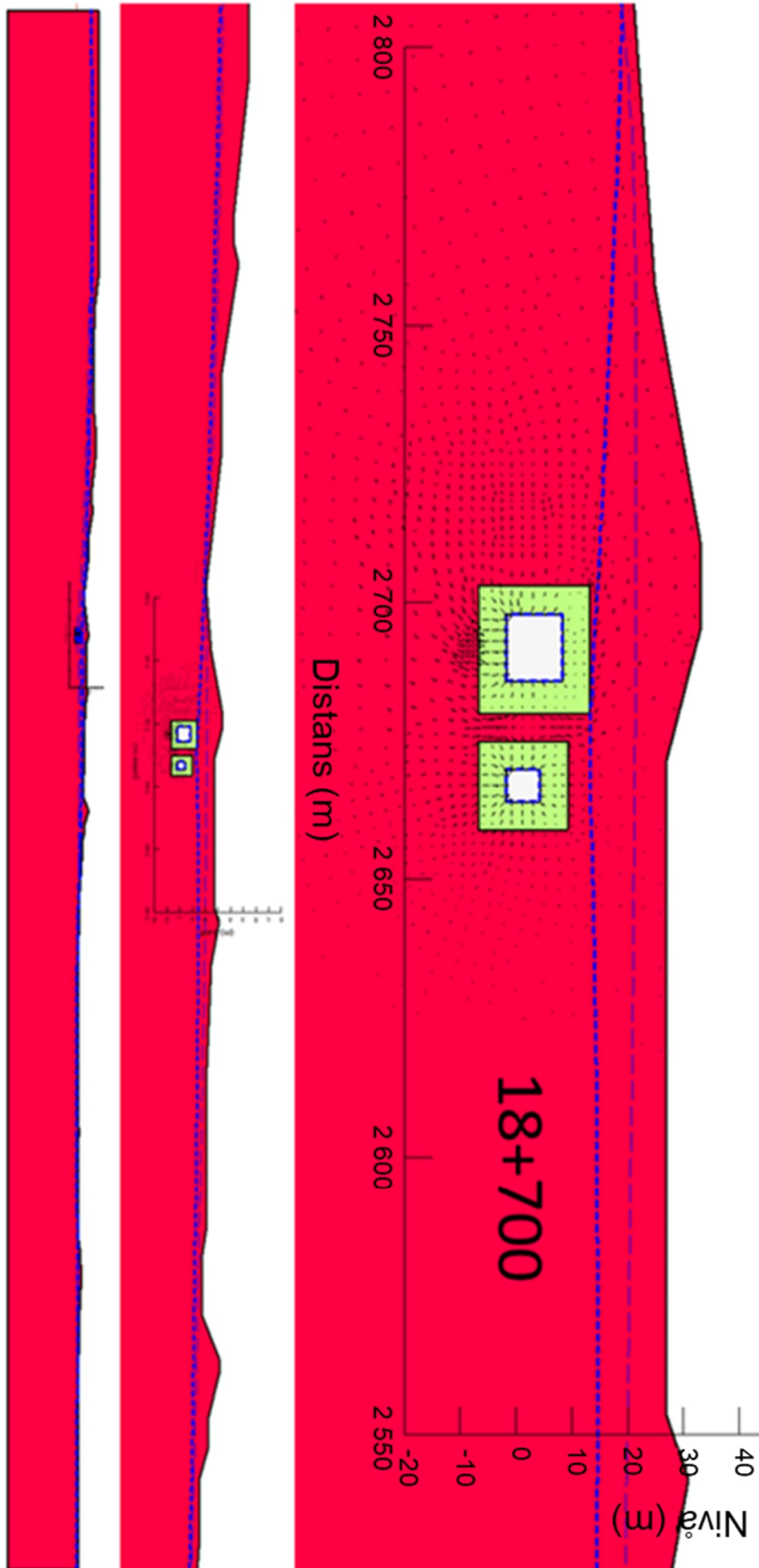


8.2 Tullgarnstunneln



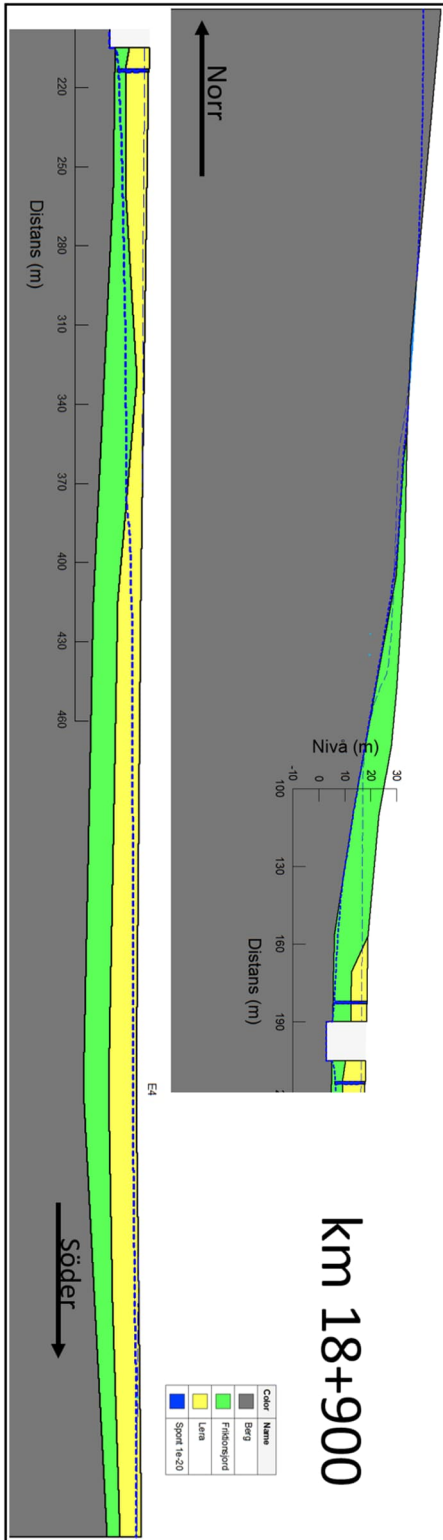


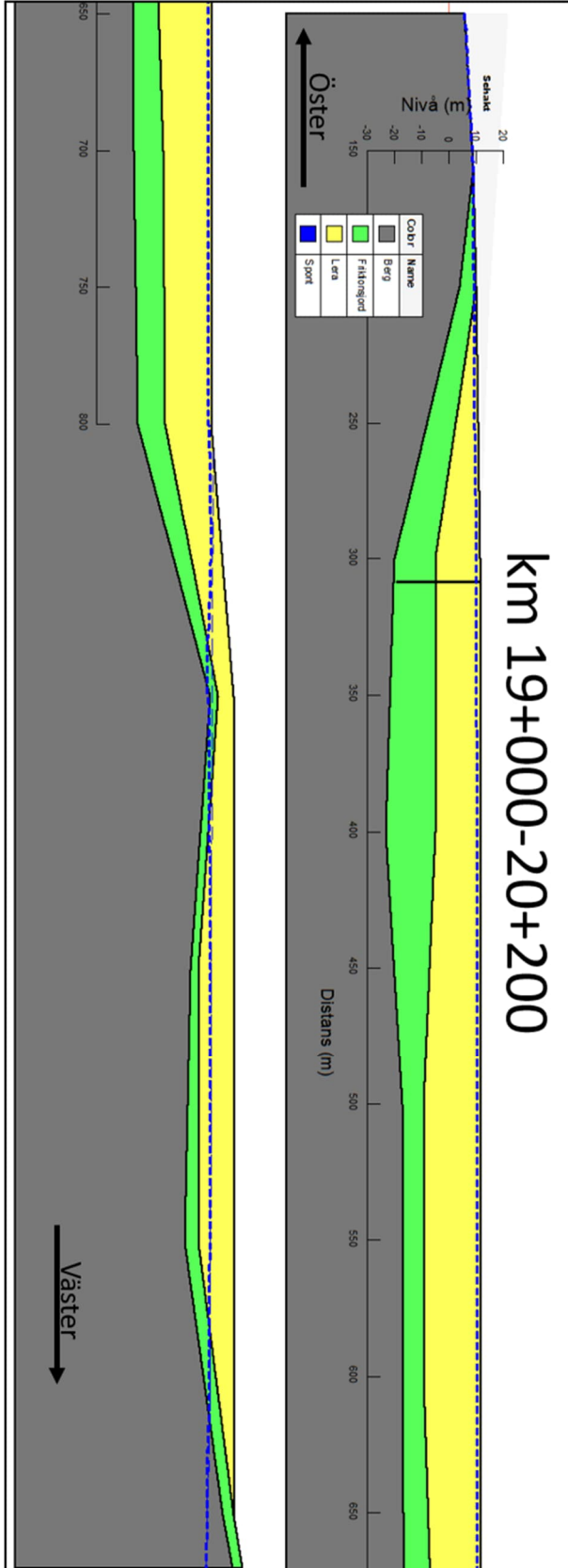






8.3 Tullgarnstunnelns södra förskärning







8.4 Hillestatunneln

