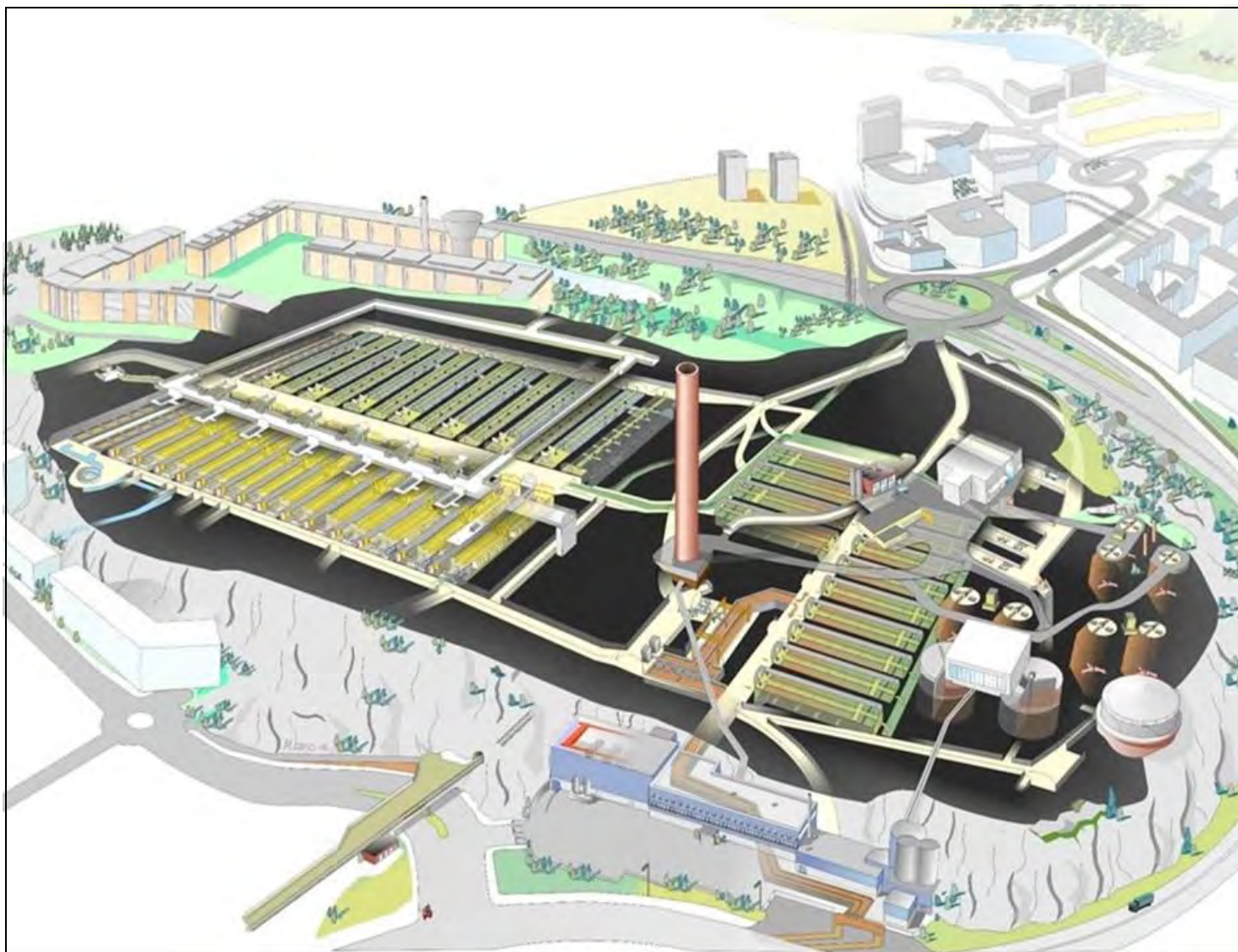




PM Hydrogeologi, Bilaga 6

Tillstånd för befintlig grundvattenbortledning och
rötkammare 8 och 9 vid Henriksdals reningsverk

Stockholm kommun och Nacka kommun

2024-11-06

Tillsammans för världens
mest hållbara stad



STOCKHOLM
VATTEN
OCH AVFALL

© Stockholm Vatten AB 2024
Författare: Sweco

Stockholm Vatten AB
Diarienummer: 24SVOA291
Projektnummer: 500964
Datum: 2024-11-06
Kontaktuppgifter: Stockholm Vatten AB, 106 36 Stockholm
Telefon: 08-522 120 00
Webb: www.svoa.se

Innehåll

1. Inledning	5
2. Syfte	6
3. Avgränsningar	7
4. Terminologi	9
5. Befintlig och planerad anläggning	12
5.1 Höjd- och koordinatsystem	12
5.2 Befintlig bergumsanläggning	12
5.2.1 Orientering	12
5.2.2 Historik	13
5.3 Planerade berganläggningar	14
6. Förutsättningar	15
6.1 Grundvattenmagasin och grundvattenbildning	15
6.2 Grundvattenbortledning kring bergum	16
6.3 Grundvattenbortledning och vattenbalans	18
6.4 Marksättningar	19
6.5 Energibrunnar	20
6.6 Grundvattenbortledning vid Henriksdals bergumsansläggning	20
6.6.1 Inläckande grundvatten	20
6.6.2 Möjligheter att mäta inläckande grundvatten	22
6.6.3 Bortledningspunkter	22
7. Undersöknings- och utredningsmetodik	24
7.1 Utredningsområde	24
7.2 Påverkansområde	25
7.3 Grundvattenmodellering	25
7.4 Inventeringar	27
7.5 Utförda geotekniska, geologiska och hydrogeologiska fältarbeten	28
7.6 Bedömning av påverkan på skyddsobjekt	28
7.6.1 Sättningskänsliga objekt	28
7.6.2 Brunnar	28
7.6.3 Föroreningar	28
8. Platsspecifika förutsättningar	29
8.1 Markanvändning	29
8.2 Övriga anläggningar i området	30
8.3 Topografi	31
8.4 Föroreningar	32
8.5 Berggrund	32
8.5.1 Bergkvalitet	34
8.5.2 Svaghetszoner	34

8.6	Jordlager och jorddjup	35
8.7	Konsolideringsförhållanden	38
8.7.1	Norra Henriksdal & Kvarnholmssvackan	38
8.7.2	Södra Henriksdal & Sickla udde	39
8.8	Hydrogeologiska förhållanden	42
8.8.1	Grundvattnets strömningsriktningar, vattendelare och magasin	44
8.8.2	Grundvattennivåer i jord och berg	46
9.	Beskrivning av grundvattenbortledning	52
9.1	Påverkan på grundvattennivåer och strömningsriktningar	52
9.2	Påverkan på vattenbalansen	57
9.3	Påverkan på marksättningar från befintlig anläggning	58
9.4	Påverkan och effekt på skyddsobjekt från befintlig anläggning	58
9.4.1	Byggnader och andra anläggningar	59
9.4.2	Brunnar	60
9.4.3	Ledningar	60
9.4.4	Infrastruktur	61
9.4.5	Föroreningar	61
9.5	Skyddsåtgärder	63
10.	Grundvattenpåverkan till följd av RK8 och RK9 med tillhörande anläggningar	64
10.1	Skyddsobjekt och påverkan	65
10.2	Skyddsåtgärder	65
11.	Kontrollprogram	66
12.	Referenser	67

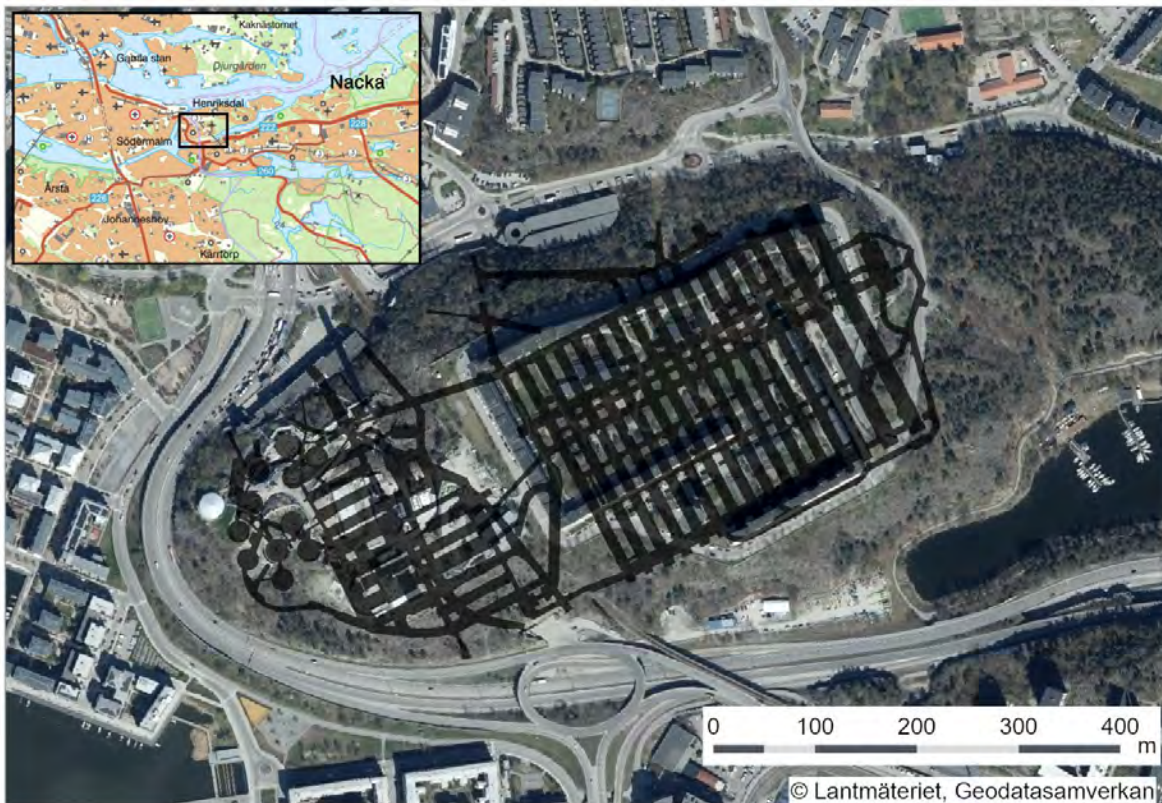
Bilagor

Bilaga 6:1	Hydrogeologisk översiktskarta
Bilaga 6:2	Utförda undersökningar och mätningar
Bilaga 6:3	Grundvattenberoende objekt
Bilaga 6:4	Beräkningar
Bilaga 6:5	Fixpunkt

1. Inledning

Stockholm Vatten AB:s (SVOA) avloppsreningsverk vid Henriksdal är Sveriges största. Henriksdalsanläggningen som är belägen i Henriksdalsberget är en del av reningsverket (Figur 1). Anläggningen vid Henriksdal är till största delen insprängd i berg. Bergrumsanläggningen omfattar en yta om cirka 300 000 m² och omfattar cirka 18 kilometer tunnlar, bergrum och schakt. Bergrumsanläggningens olika delar är anlagda i tre större våningsplan i berg (plan A ligger i marknivå, plan B-D under marknivå). Varje våning omfattar både tunnlar och flertalet bergrum varav många är till del fyllda med avloppsvatten. Till bergrumsanläggningen finns ett flertal avloppstunnlar anslutna, för inkommande och utgående avloppsvatten.

Denna PM Hydrogeologi utgör en del i det tekniska underlag som avser tillståndsansökan för vattenverksamhet enligt 11 kap. miljöbalken för befintlig bergrumsanläggning vid Henriksdalsanläggningen samt för två nya rötkammare (RK8 och RK9) med tillhörande processtunnlar, evakueringsschakt och -tunnel samt arbetstunnel som planeras byggas vid avloppsreningsverket. Vidare omfattar tillståndsansökan dels ansökan om ändringstillstånd för miljöfarlig verksamhet enligt 9 kap. miljöbalken för de tillkommande rötkamrarna med tillhörande anläggningar, dels ansökan om lagligförklaring av befintliga vattenanläggningar (läns-pumpar) med tillhörande anordningar enligt 17 § lag (1998:811) om införande av miljöbalken.



Figur 1. Översiktskarta. Svart yta motsvarar befintliga och planerade bergrumsanläggningar.

2. Syfte

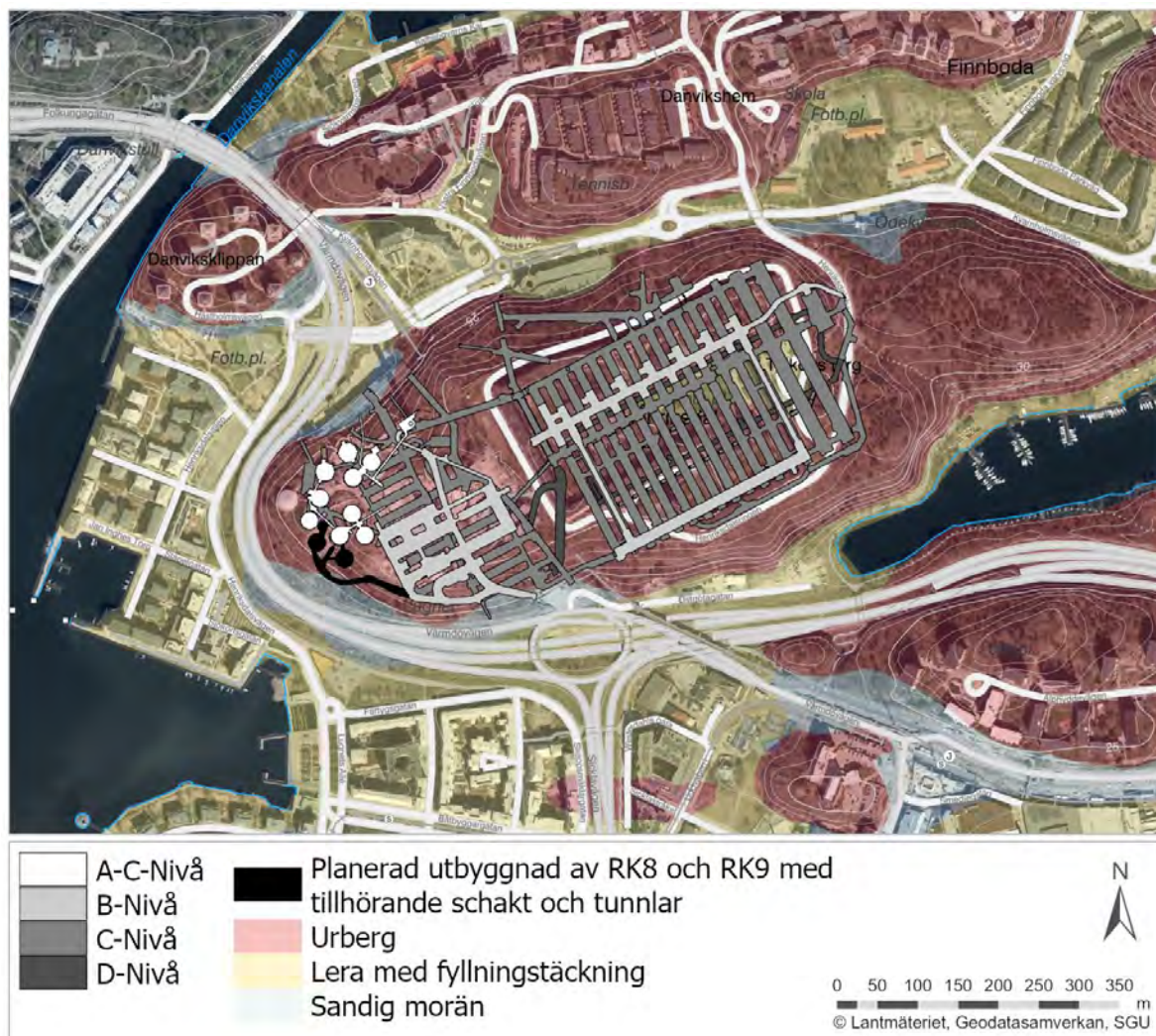
Den befintliga bergrumsanläggningen likväl som den planerade utbyggnaden av RK8 och RK9 med tillhörande tunnlar ligger till del under grundvattennivåer i berg och anslutande jordlager. Detta ger upphov till inläckage av grundvatten till anläggningen som sedan, tillsammans med det renade avloppsvattnet, avleds från anläggningen. Bortledande av grundvatten utgör tillståndspliktig vattenverksamhet enligt 11 kap. miljöbalken (MB).

Syftet med föreliggande PM Hydrogeologi är att utgöra en del av det tekniska underlaget vid SVOA:s ansökan om miljötillstånd för befintlig grundvattenbortledning till följd av bergrumsanläggningen, likväl som den tillkommande grundvattenbortledningen till följd av anläggandet och driften av två nya röt-kammare (RK 8 och RK 9).

I denna PM redovisas de geologiska, geotekniska och hydrogeologiska förutsättningarna liksom den påverkan och effekt som den befintliga och den planerade grundvattenbortledningen utgör på grundvattenförhållandena.

3. Avgränsningar

Denna PM redovisar påverkan och effekter på grundvattenförhållandena som uppstått till följd av den befintliga grundvattenbortledningen från bergrumsanläggningen vid Henriksdal, samt de effekter som förutses av bergschakt för RK8 respektive RK9 med därtill hörande undermarksanläggningar (Figur 2). Den påverkan och effekt som inkommande och utgående tunnlar till bergrumsanläggningen likväl som andra undermarksanläggningar utgör på grundvattensituationen redovisas inte här då de inte hör till denna tillståndsprövning. Dessa undermarksanläggningar är dock införlivade i den grundvattenmodell som upprättats för att kunna beskriva dagens grundvattenförhållanden givet befintliga bergrums- och tunnelanläggningar i området. I denna PM redovisas således den påverkan och effekt som bergrumsanläggningen vid Henriksdal utgör på omgivningen, med hänsyn tagen till de övriga bergrums- och tunnelanläggningarna i området.



Figur 2. Befintlig bergrumsanläggning, RK8 och RK9. Övriga tunnelanläggningar redovisas ej i plankartan på grund av sekretess.

Då bergrumsanläggningen vid Henriksdal är utsprängd i omgångar från 1930-talet är berget kring anläggningen i huvudsak inte tätat med injektering. På grund av den befintliga anläggningens storlek, komplexitet, utbredning och pågående verksamhet är det nu inte praktiskt möjligt att efterinjektera berget. Efterinjektering bedöms inte få någon effekt på inläckagets storlek och därför inte heller påverka grundvattensituationen i omgivningen då sådan åtgärd i första hand nyttjas för att täta punktläckage i annars tätade tunnlar. För de planerade utbyggnationerna av RK8 och RK9 med tillhörande schakt och tunnlar kommer förinjektering av berget att utföras för att minska dess

dränerade effekt på grundvattenförhållandena. De hydrogeologiska modellsimuleringar som utförts utgår från att befintlig bergrumsanläggning i huvudsak inte är tätad.

Pågående grundvattenbortledning, från befintlig bergrumsanläggning, har i all väsentlighet varit densamma de senaste 25 åren. På 70-talet genomfördes den senaste större utbyggnationen. År 1998 genomfördes även en större utbyggnation i anläggningens östra delar. Senare tids uttag av berg, inom ramen för projekt Stockholms Framtida Avloppsrening (SFA; 2015-2024), bedöms inte ha påverkat grundvattennivåerna i området annat än mycket marginellt. De nya bergrummen är mycket små i förhållande till redan befintliga berganläggningar. De bergarbeten som utförts efter 1998 ligger över tidigare lägsta dränerande nivå för anläggningen. Tillkommande delar sedan 1998 har till allra största del tillkommit inom bergrumsanläggningens tidigare utbredning i plan och därför i redan dränerade delar av berget. Detta har tidigare redovisats i SVOA:s tillståndsansökan till Mark- och miljödomstolen avseende projekt SFA (M 3980-15), men utvecklas vidare i denna PM.

Av ovan följer att bergrumsanläggningens påverkan och effekt på grundvattensituationen i all väsentlighet varit densamma i 50 år i de västra delarna av påverkansområdet respektive 25 år i de östliga delarna av påverkansområdet (se vidare nedan).

Inför förestående tillståndsansökan beräknas och redovisas i denna PM Hydrogeologi ett så kallat påverkansområde kring den befintliga bergrumsanläggningen inklusive utbyggnationen av två nya rötkammare med tillhörande utrymmen, vilka utförs inom projektet SFA. I denna PM Hydrogeologi beskrivs utbredningen av påverkansområdet och den beräknade grundvattentrycksänkningen i jord (i den så kallade friktionsjorden) och berg som är effekten av den pågående grundvattenbortledningen. På motsvarande vis beräknas ett påverkansområde för planerade arbeten för RK8 och RK9.

Bedömningar av konsekvens på grundvattenberoende skyddsobjekt har gjorts avseende framtida miljökonsekvenser av 1) pågående grundvattenbortledning i befintlig bergrumsanläggning samt 2) framtida utbyggnation av RK8 och RK9 med tillhörande schakt och tunnlar. Avseende pågående grundvattenbortledning i befintlig bergrumsanläggning (punkt 1) bedöms ingen förändring av dagens grundvattensituation uppkomma, även om förhållandena har ändrats från anläggningens tillkomst för flera decennier sedan.

Härav behandlar denna PM Hydrogeologi likväl som tillhörande MKB de framtida miljökonsekvenserna som är kopplade till den befintliga och pågående grundvattenbortledningen (punkt 1) utifrån dagens situation. Redogörelse görs dock även av historiken kopplat till utbyggnationen av Henriksdals bergrumsanläggning.

Slutligen har behov av skyddsåtgärder bedömts. Kontroll av grundvattennivåer respektive sättningsrörelser inom påverkansområdet har föreslagits (se vidare nedan).

4. Terminologi

I föreliggande kapitel förklaras begrepp som används i denna PM. Naturvetenskapliga termer är huvudsakligen hämtade från SGU eller Grundvattenboken (Sparrenbom & Jeppsson, 2022). Några begrepp utgör legala termer och har hämtats från Vattenförvaltningsförordningen (SFS 2004:660).

Begrepp	Förklaring
Artesiskt grundvatten	Artesiskt grundvatten har en trycknivå som ligger ovan markytans nivå.
Bergrumsanläggningen	Den befintliga del av Henriksdals avloppsreningsverk som inryms till del eller i sin helhet i Henriksdalsberget, exklusive inkommande och utgående avloppstunnlar.
Byggskede	Skedet då byggnation pågår vilket kan ge upphov till bortledningen av grundvatten, till exempel vid bergschakt och injektering. Byggskede upphör när anläggningen tas i drift, det vill säga när anläggningen är slutbesiktigad och överläts till ansvarig driftenhet.
CRS-analys, CRS-försök	Ett opåverkat (ostört) lerprov utsätts för tryck för att kunna bedöma lerans sättningsegenskaper, och hur mycket lerjorden kompakteras vid en dränering av porvattenhalten
Deformationszon	En deformationszon är en svaghetszon där berggrunden på ömse sidor av zonen har rörts i förhållande till varandra.
Driftskede	Skedet som initieras då anläggningen är slutbesiktigad och överläts till driften på Stockholm Vatten AB. I detta skede bedöms ingen förändring av vattenverksamheten uppkomma.
Evapotranspiration	Vatten som avgår till luften från mark eller vattenytor (som evaporation), och från växlighet (som transpiration). Summan kallas evapotranspiration (SGU, 2017).
Friktionsjord	Jord vars hållfasthet till övervägande del beror på friktion mellan kornen. Exempel på friktionsjord är morän, grus och sand.
Fyllningsjord	Utfyllnadsmassor; jord som inte har bildats i naturliga processer på platsen.
Grundvatten	Allt vatten som finns under markytan i den mättade zonen (SFS 2004:660) och där vattentrycket är högre än atmosfärstrycket (Sparrenbom & Jeppsson, 2022). I berg flödar grundvattnet i sprickor.
Grundvattenbildning, naturlig	Grundvattenbildning är den process som leder till påfyllnad av grundvattenmagasinet och som sker genom tillförsel av vatten till grundvattenzonen, via nederbörd, smältvatten eller annat vatten som infiltrerar och perkolerar genom den omättade zonen till den mättade zonen (SGU, 2017).
Grundvattendelare	En gräns för ett grundvattenmagasin. Gränsen kan bero på exempelvis en bergtröskel under mark som delar av ett grundvattenmagasin i jordlagren eller vara topografiskt betingad, så kallad gravitationsvattendelare, som gör att grundvattenströmningen riktas åt olika håll.
Grundvattenmagasin	En avgränsad del av en grundvattenförande geologisk bildning som kan betraktas som en hydraulisk enhet (SGU, 2003). Berggrundens vattengenomsläppliga spricksystem kan även kallas för ett (berg-) grundvattenmagasin.

Grundvattennivå och grundvattnets trycknivå	Grundvattennivå avser grundvattenytans läge i mark där jämvikt med atmosfärstryck råder och tryckpotentialen är noll. Om ett perforerat rör drivs ned i ett öppet magasin kommer vattenytan i röret att finnas på samma nivå som grundvattentrycket i magasinet. Om ett perforerat rör drivs ned i ett slutet magasin, där ett tätskikt förhindrar vattnet från att flöda fritt vertikalt, kan vattenytan i röret stiga till en nivå som överstiger tätskiktets underkant. Detta beror på övertrycket i magasinet. Om tätskiktet inte funnits, skulle vattenytan i röret ha stigit till samma nivå som grundvattnets trycknivå, där jämvikt med atmosfärstrycket råder.
Hydraulisk gradient	Förändring (lutning) i en viss riktning. Avser differensen i grundvattennivå mellan två punkter dividerat med avståndet mellan punkterna (SGU, 2017).
Hydraulisk konduktivitet	Ett mått på jordlagret (berggrundens) förmåga att släppa igenom vatten. Ett grundvattenflöde genom ett visst tvärsnitt beror på konduktiviteten och strömningsgradienten (trycknivå genom tryckskillnad) mellan två punkter.
Injektering	Injektering är en teknik som används för att införa material (cement eller kemiska medel), ofta under tryck, i marken eller strukturer för att förbättra deras egenskaper. Den används vanligtvis inom bygg- och anläggningsprojekt för att förstärka eller täta områden, minska vattenflödet, stabilisera marken eller fylla håligheter.
Kondensvatten	Kondensvatten som bildas i bergrumsanläggningen.
Konsolidering	En volymminskning (komprimering) av (ler)jord på grund av belastning eller minskning av portrycket. Vid belastning av en lerjord pressas vatten ut ur jorden och porvolymen minskar. Om trycknivån sänks i under- eller överliggande jordlager kan lerjordens portryck minska med en konsolidering som följd. En överkonsoliderad jord har tidigare varit utsatt för en större belastning eller grundvattentrycknivåsänkning än dagens förhållanden. En underkonsoliderad lerjord är utsatt för en belastning eller trycknivåsänkning, men har ännu inte anpassats (konsoliderats) för rådande förhållanden. En (ler)jords konsolideringsegenskaper erhålls genom undersökning av ostörda lerprover, så kallade kolvprover, på laboratorium.
Krosszon	Område med krossat berg orsakat av kraftig deformation.
Länshållningsvatten	Vatten som länshålls inom bergrumsanläggningen.
Processvatten	Processvatten är vatten som används inom tillverkning eller industri.
Påverkansområde (för grundvatten)	Påverkansområde definieras som det största område inom vilket ändringen i grundvattennivå får vara större än medgiven ändring i grundvattennivå till följd av grundvattenuttag eller grundvattenbortledning (eller bägge) (SGU, 2020). Gränsen för påverkansområdet har ansatts till 0,3 meter i grundvatten i jord och 1 meter för grundvatten i berg då mindre ändringar inte förväntas ge upphov till någon skada. De fastigheter som faller inom påverkansområdet kan bli sakägare avseende grundvattenbortledningen i målet.
Q-värde	Bergtekniskt mått för att beskriva bergkvaliteten utifrån faktorer som beror av bland annat antalet sprickor och deras struktur i det undersökta berget.
Slutet grundvattenmagasin	Om ett tätt jordlager begränsar grundvattenmagasinet uppåt, bildas ett slutet magasin.
Spolvatten	Spolvatten är det vatten som nyttjas vid bormning, sprängning, sköljning eller dylikt.

Spricka	En generell term som avser varje mekaniskt brott i en bergmassa.
Sprickzon	Ett stråk (1 – 10 km) genom berggrunden med stor frekvens av sprickor.
Svaghetszon	En generell term som avser en zon med dålig bergkvalitet.
Sättning, sättningsrörelse	Markytan sjunker på grund av att underliggande jordlager pressats samman (konsoliderats).
Sättningsbenägen jord	Finjordar, såsom ler- och siltjordar, som konsolideras (trycks ihop) av pålagd last (byggnader, fyllning) eller av sänkning av grundvattnets trycknivå.
Torrskorpelera	Avvattnad, konsoliderad lerjord vid markytan som ofta är uppsprucken.
Utredningsområde	Område inom vilket geologiska, geotekniska och hydrogeologiska förhållanden studerats i syfte att förutse påverkan och effekter av planerad vattenverksamhet, tillika det område som nyttjats för avgränsning av samrådsområdet (se Bilaga 5:1, Samrådsredogörelse). Som del i utredningsarbetet definieras sedan ett påverkansområde (se denna tabell, ovan) som skall vara mindre än utredningsområdet för att säkerställa den sökande (SVOA) har samrått (Bilaga 5:1) med alla de sakägare (Bilaga 7) som kan påverkas av grundvattenbortledningen.
Vattendelare	Gränslinje eller gränszon från vilken vatten strömmar i skilda riktningar. Ytvattendelaren definieras av topografiska höjdryggar som skiljer ett hydrologiskt område från ett annat. Ofta sammanfaller denna med grundvattendelaren på platsen, men geologi och grundvattenuttag kan inverka på detta och förskjuta grundvattendelarens läge (SGU, 2006). Rörliga vattendelare kan förskjutas eller helt utebli om vattentryck eller -nivåer förändras, till exempel vid ett yt- eller grundvattenuttag eller fördämning, eller vid förändrad grundvattenbildning.
Öppet grundvattenmagasin	Om det saknas ett tätt jordlager som begränsar grundvattenmagasinet uppåt är magasinet öppet.

5. Befintlig och planerad anläggning

5.1 Höjd- och koordinatsystem

Höjdsystemet RH 2000 samt plankoordinatsystemet SWEREF 99 18 00 gäller i denna PM om inget annat anges.

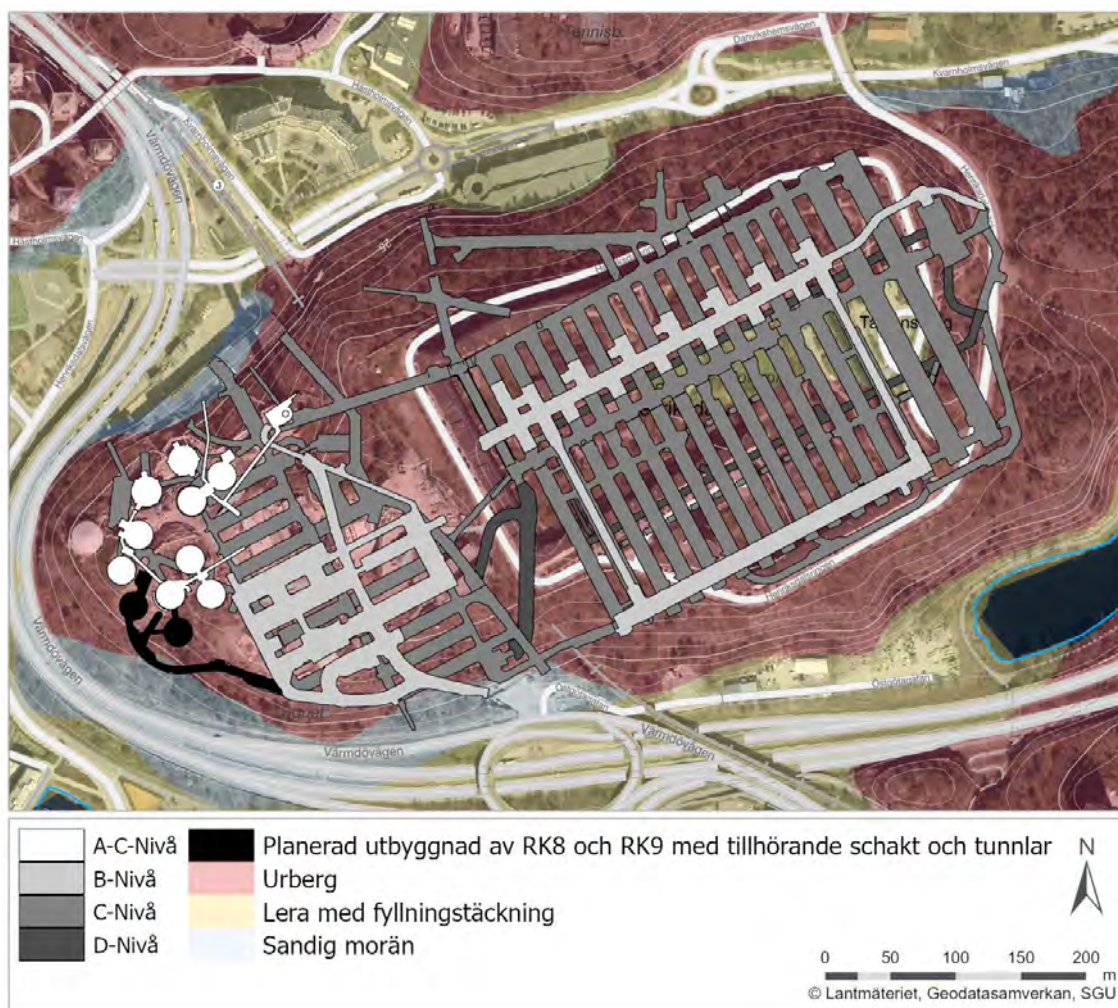
5.2 Befintlig bergrumsanläggning

5.2.1 Orientering

Henriksdalsanläggningen är lokaliserad i området Henriksdal i Stockholm, se Figur 3. De anläggningar som är på berget ligger helt inom Stockholms kommun, men stora delar av anläggningen i berget ligger i både Stockholm och Nacka kommun.

Bergrumsanläggningen utgörs av ett större antal sammanbundna tunnlar och övriga utrymmen i berg. Bergrumsanläggningen, som är stor och komplex, omfattar totalt cirka 18 kilometer tunnlar som perforerar den bergplint som reser sig i området.

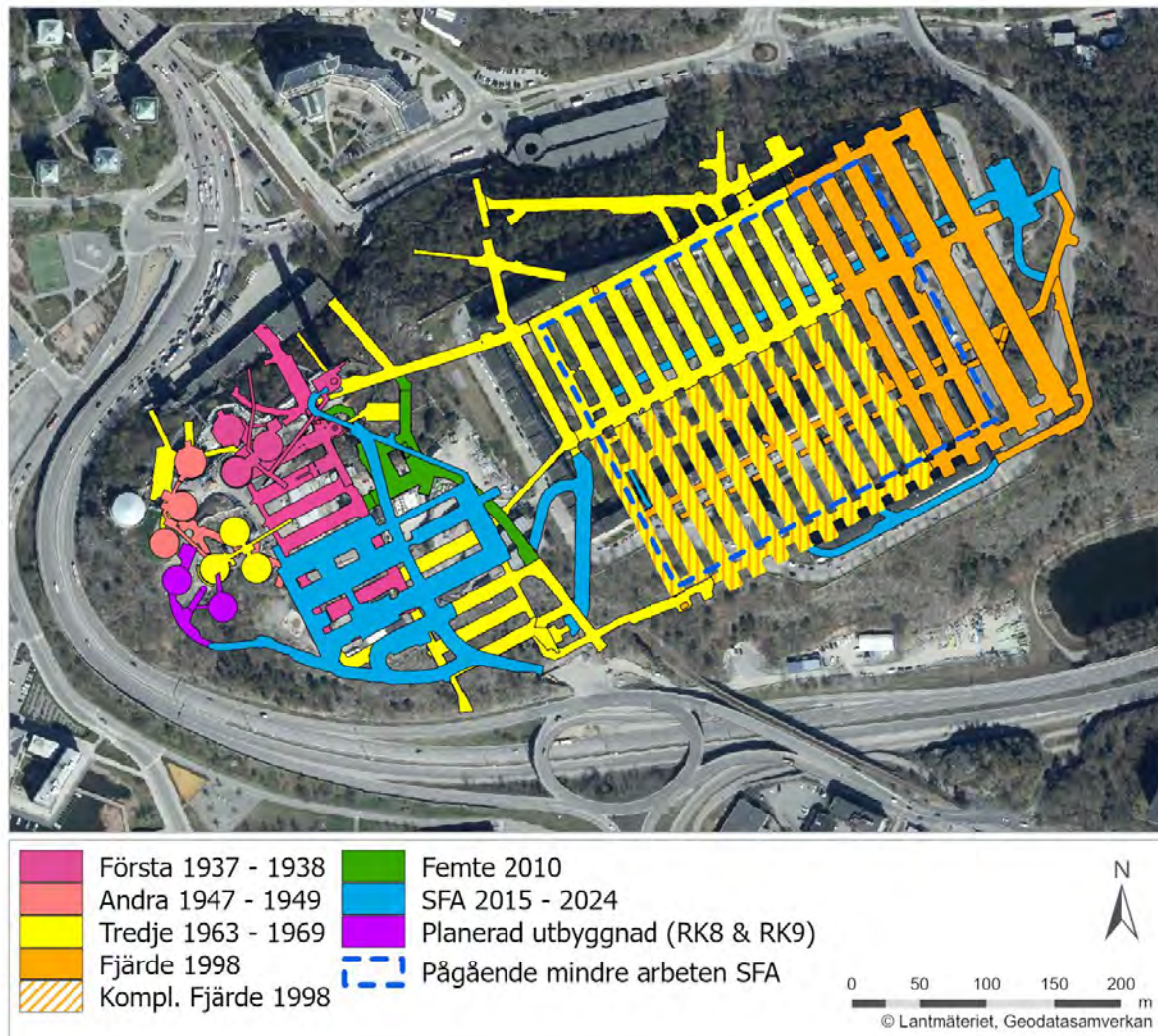
Anläggningen är byggd i fyra plan, eller nivåer (A – D). Inom det översta planet, plan A, ligger anläggningsdelar ovan mark och inom plan B – D finns bergrumsanläggningen. För de senare gäller att varje våningsplan befinner sig cirka 10 meter djupare än nivån ovanför. I bergrumsanläggningen inryms de delar av reningsverket som omfattas av grovrening, försedimentering, luftningsbassänger, eftersedimentering, membranrening, sandfilter, slamhantering och rötning. I bergrumsanläggningen inryms även tekniska delar för blåsmaskiner, el, transport, underhåll, med mera.



Figur 3. Översiktsskarta över Henriksdals reningsverk och bergrumsanläggningen och dess olika delar.

5.2.2 Historik

Henriksdalsanläggningen började byggas på 1930-talet och invigdes år 1941. Sedan dess har anläggningen genomgått flertalet om- och utbyggnationer, se bergrumsanläggningens historia i Figur 4.



Figur 4. Bergrumsanläggningens succesiva utbyggnad fram tills idag. I det skrafferade området utfördes kompletterande fördjupningar av anläggningen i samband med fjärde utbyggnaden. Inom streckad blå linje pågår mindre arbeten med fällning av tak och installationer.

Vid invigningen (första utbyggnaden) bestod Henriksdalsanläggningen i huvudsak av grovrening, sedimenteringsbassänger och två rötkammare, slamhantering samt insamling av rötgas. Bassängerna byggdes i huvudsak inom nivå C (se Figur 3) med lägsta bottennivå på cirka -6. Under den andra utbyggnaden tillkom ytterligare försedimenteringsbassänger inom nivå C med lägsta bottennivå på cirka -9. Även två nya rötkamrar ingick i utbyggnaden.

Under den tredje utbyggnaden av reningsverket försågs verket med biologisk rening. Det biologiska reningssteget byggdes med elva parvis ordnade luftnings- och eftersedimenteringsbassänger på nivå C och anlades med lägsta bottennivå på cirka -4. Anläggningen byggdes ut med ytterligare tre rötkammare, gassystem, ny separat gasklocka samt kraftverk för att tillvarata rötgasen. Under den tredje utbyggnaden tillkom även Sicklaschaktet, vilket utgör anläggningens lägsta bottennivå på cirka -30.

Under år 1998 genomfördes en fjärde utbyggnad inom nivå C för att förbättra kvävereduktion. I utbyggnaden ingick en fördjupning av befintliga luftningsbassänger från -4 till -11 och linjerna utökades med tre nya linjer, vilket ger sju parvis anordnade biolinjer. En servicetunnel för tömning av

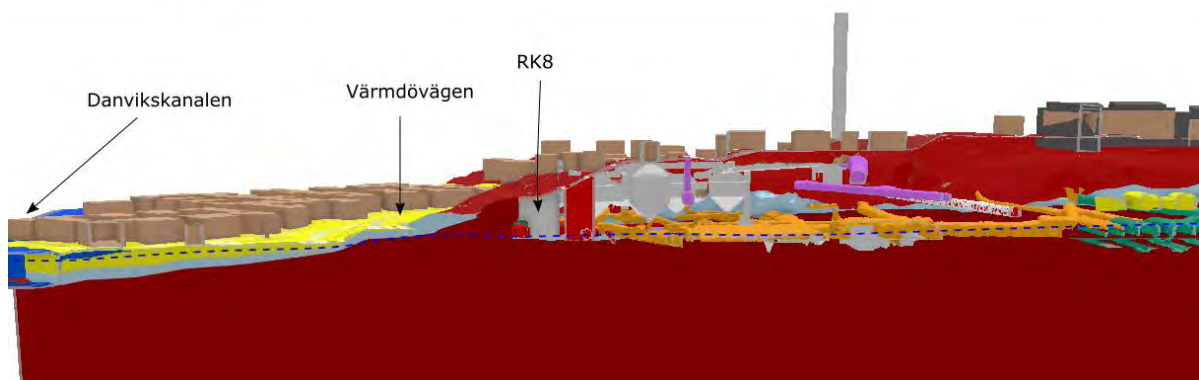
luftningsbassängerna anlades på cirka -20. Det infördes även ett slutfiltreringssteg i form av sandfilter på nivå C. Verket fick ny kraftförsörjning och även en gasmotoranläggning.

Henriksdalsanläggningen genomgick en femte utbyggnad år 2010 med en ny grovrening. Denna byggdes på nivå C med lägsta bottennivå på cirka -4. Mottagningsstation för organiskt material byggdes inne i berget på nivå B.

Sedan år 2015 pågår SFA-projektet. SFA-projektet genomförs i befintlig anläggning och omfattar utbyggnad, renovering och ombyggnation av anläggningen. Nya bergtrum har främst byggts på nivå B, vilket innefattar en tekniktunnel ovanför biolinjerna mellan cirka +17 och +22. Utrymmen för slamhantering, avvattning och slamsilos har även byggts mellan +22 och +40. På nivå C och D har det byggts arbets- och installationstunnlar för ombyggnation av biolinjerna. De bergarbeten som utförts efter 1998 ligger över tidigare lägsta dränerande nivå för anläggningen. Tillkommande delar sedan 1998 har till allra största del tillkommit inom bergtrumsanläggningens tidigare utbredning i plan och därför i redan dränerade delar av berget.

5.3 Planerade berganläggningar

Två nya bergförlagda rötkammare (RK8 och RK9) med tillhörande evakueringsschakt, process- och arbetstunnlar planeras att byggas. RK8 består av en cirka 140 meter lång arbetstunnel i berg, en cylindrisk rötkammare med diameter 22 meter och en cirka 20 meter lång processtunnel mellan planerad rötkammare och befintlig bergtrumsanläggning. Rötkammaren ska schaktas ned cirka 23 – 31 meter under nuvarande markyta (+2). RK9 består av en cirka 20 meter lång arbetstunnel i berg som ansluter till arbetstunneln från RK8, en cylindrisk rötkammare med diameter 22 meter och en cirka 16 meter lång processtunnel mellan den planerad rötkammare och befintlig bergtrumsanläggning. Rötkammaren ska schaktas ned cirka 23 – 34 meter under nuvarande markyta (+2). Båda rökammarna kommer kräva bergschakt. Ett cirka 34 meter djupt utrymningsschakt med 3 meter bredd samt tillhörande tunnlar mellan rötkammaren och befintlig bergtrumsanläggning kommer även anläggas, se Figur 5. Lägsta nivå för dessa anläggningsdelar bedöms till cirka +2.



Figur 5. Principiell översikt RK8 (och RK9) i relation till befintlig bergtrumsanläggning, plan och profil.

6. Förutsättningar

6.1 Grundvattenmagasin och grundvattenbildning

Grundvatten förekommer dels i sprickor och spricksystem i berggrunden, dels i lösa jordlager. Hur mycket vatten som finns i berget är beroende av sprickornas storlek och systemets omfattning. Grundvatten förekommer i alla typer av jord, men det är huvudsakligen i friktionsjordarter som rörligt grundvatten förekommer.

Grundvattenmagasin brukar konceptualiseras hydrogeologiskt som en begränsning av grundvatten utifrån geologiska formationer. I Stockholmsområdet har mänsklig aktivitet påverkat geologin och grundvattenmagasinen så pass att systemen ofta ej motsvarar naturliga förhållanden. Det översta jordlagret i grundvattenmagasin i urbana miljöer består oftast av fyllnadsmaterial och under det brukar lera finnas i dalgångar. Både fyllnadsmaterial och lera brukar avta i mäktighet högre upp i topografin. I fyllningen kan lokala grundvattenmagasin finnas då leran under hindrar stor del av vattnet att infiltrera till djupare belägna jordarter. Dessa mindre magasin brukar inte vara bestående året om. Henriksdalsanläggningen lokaliseras inom Stockholmsområdet där sådan urban miljö råder.

I områden där det inte förekommer grundvatten i den översta delen av leran brukar det översta skiktet vara mer eller mindre uttorkat, vilket ofta kallas torrskorpelera. Torrskorpelera brukar vara påverkat av växlighet och marklevande organismer, något som gör leran mer uppsprucken än djupare liggande lera. Vatten från nederbörd och annan avrinning kan på så vis tränga ned i den översta delen av marken.

Under leran brukar ett friktionsjordlager finnas, ofta bestående av morän. Moränen i Stockholm, likt morän på andra platser samt andra lösa jordar, bildades under den senaste istiden och består av en stor variation av jordfraktioner. Moränen har större kapacitet att transportera och bibehålla grundvatten jämfört med lera. Detta betyder att ett slutet/undre magasin bildas där leran över moränen fungerar som ett lock. Leran är förhållandevis ogenomsläpplig, vilket hindrar en stor del av vattnet från ytan att tränga igenom till moränen. Detta betyder att magasinet under leran enbart har kontakt med atmosfären där friktionsjorden går i dagen. Detta sker oftast vid höjder, vilket kan bilda en zon som kallas randzon. En randzon är det område där störst del av grundvattenbildning till de slutna/undre magasinerna förekommer. Randzonerna är viktiga för påfyllning av grundvattenmagasinen samt reglerar vilken trycknivå som uppstår.

Grundvattenbildningen till berget sker från sprickor i bergpartier där berget går i dagen eller genom kontakt mellan berg och vattenförande jordlager medan grundvattenbildning till jord sker direkt från nederbörd. Grundvattenbildningen till jord och berg är beroende av topografin, jordarternas hydrauliska konduktivitet (K [m/s]), storleken på nederbörden, evapotranspirationens andel av den totala nederbörden och ytavrinningens storlek. Ytavrinningen i sin tur är beroende av topografi, jordartens infiltrationskapacitet och aktuell markanvändning.

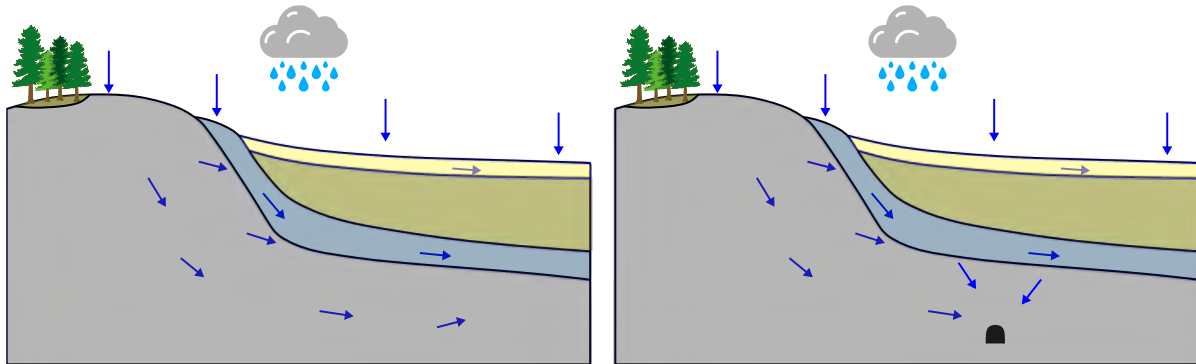
Grundvattenbildningens storlek varierar under året. Vid snösmältningen sker en vattenfyllnad av markvattenzonen så att grundvatten kan bildas. Då temperaturen stiger under våren ökar också avdunstningen och under april – maj är avdunstningen större än nederbörden, vilket innebär att någon grundvattenbildning inte sker annat än vid kraftig nederbörd som kan mätta markvattenzonen. Under hösten minskar avdunstningen igen och grundvatten kan åter bildas. Detta innebär att grundvattennivån ofta varierar med året.

Läckage genom lera utgör normalt ett mycket litet tillskott av grundvatten till det undre magasinet. Likaså utgör läckage genom berg till undre magasin vanligen ett mindre tillskott för magasin med måttlig areell utbredning. Det dominerande tillskottet av grundvatten till det undre magasinet utgörs av strömning genom friktionsjord i randzoner mellan jord och berg. Tillskottet bestäms av den hydrauliska gradienten, vattengenomsläpplighet och tillgången på ytligt vatten för infiltration. Om en trycksänkning sker i det undre grundvattenmagasinet ökar den hydrauliska gradienten, vilket i sin tur ökar grundvattenströmningen. Tillskottet till magasinet från omgivande berg och magasin kan då kompensera för läckaget, tills balans uppnås mellan mängden bortlett vatten och produkten av grundvattenbildning och infiltrationsyta.

Under moränen ligger berget som har varierande genomsläpplighet, vilket främst beror på vattenförande sprickor. Det ytliga berget är generellt mer uppsprucket än det djupare och genomsläppligheten minskar oftast med bergdjupet.

Grundvattnets strömningsriktningar bestäms huvudsakligen av topografin och utgår ifrån grundvattendelarna inom ett avrinningsområdes högsta partier. Över lag befinns dessa på höjdområden, särskilt om de utgörs av bergshöjder med ringa jorddjup. Flödet är riktat från grundvattendelare mot nedströms belägna utströmningsområden, vilka är till stor del Hammarby Sjö, Saltsjön och andra vikar i området kring Henriksdal.

I urbana miljöer fluktuerar grundvattennivåerna i det övre/öppna magasinet förhållandevis lite med årstider då stora delar av de övre magasinerna redan är påverkade av dränerande ledningar och liknande. Den urbana miljön sänker alltså nivåerna samt dämpar de naturliga grundvattennivåvariationerna. Förutom nederbörd styrs de främst av tillskott från otäta VA-ledningar och bortledande formationer såsom väg- och husdränering. Grundvattennivån i undre magasin i berg och morän har däremot en större förutsebar årstidsvariation. De undre magasinerna står främst i kontakt med grundvatten från underliggande bergssprickor, vilket är anledningen till att grundvattennivåer i jord kan påverkas av undermarksanläggningar förlagda i berg, så som Henriksdals reningsverk (Figur 6).



Figur 6. Konceptuell modell över vattenröresler i berg [B] och jord (morän [Mn], lera [Le], torrskorpelera [Let]) med och utan tunnel.

6.2 Grundvattenbortledning kring bergrum

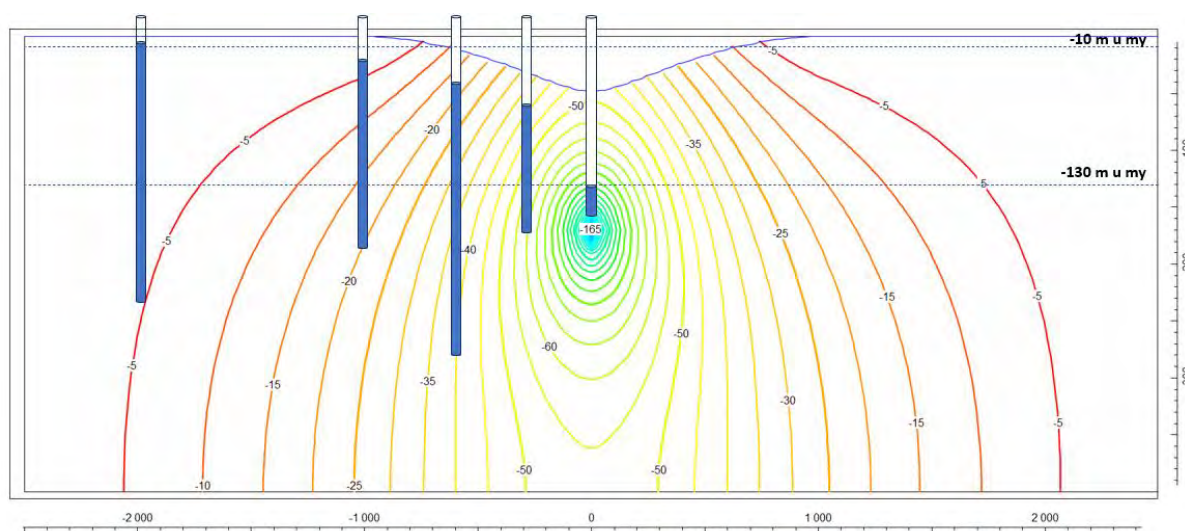
Inläckage till en berganläggning bestäms av vattengenomsläppligheten (hydrauliska konduktiviteten, K [m/s]) i berggrunden och i kontakten mellan berg och jord, men också av mängden tillgängligt vatten, alltså grundvattenmagasinets och grundvattenbildningens storlek. Inläckaget är dessutom beroende av anläggningens djup under grundvattenytan samt eventuell tätning.

Bergrumsanläggningens diameter har en viss men mindre betydelse för inläckagets storlek. Med ett ökat djup till bergrumsanläggningen ökar grundvattentrycket och således inläckaget jämfört med ett ytligare läge, vilket emellertid motverkas något av att bergets hydrauliska konduktivitet minskar något mot djupet. Därmed ökar även påverkansområdet med djupet och grundvattensänkningen i lösa jordlager ovan bergrumsanläggningen. Bergets hydrauliska konduktivitet är beroende av förekomst och egenskaper hos sprickor/krosszoner, som för Stockholmsområdet erfarenhetsmässigt kan förväntas variera mellan 10^{-9} – 10^{-7} m/s med ett medelvärde på cirka 10^{-8} m/s. För en injikerad och tätad anläggning blir den tätade bergmassan kring anläggningen styrande för inläckaget, så länge den är tätare än berget.

För bergrumsanläggningar i Stockholmsområdet gäller oftast att det finns så kallade hängande grundvatten kring och över bergrumsanläggningen. Med det menas att berget och/eller eventuell tätning har så pass låg hydraulisk konduktivitet att grundvattennivån inte sänks av ned till bergrummen utan erhåller i stället en mindre grundvattennivåsänkning ovan och kring anläggningen. Grundvattenbildningen kompenserar helt enkelt dräneringen i viss utsträckning. Den här effekten förstärks ofta över tid vilket erfarenheter från andra bergrumsanläggningar visar. Orsakerna till detta

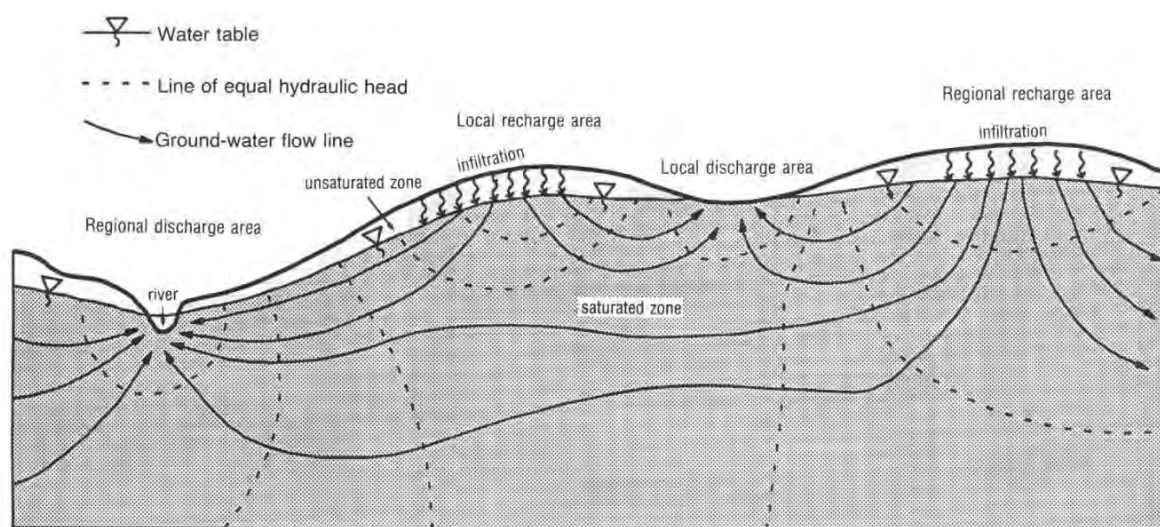
kan bland annat bero på att kemisk utfällning och spänningsomvandling i berggrunden sätter igen vattenförande sprickor helt eller delvis.

För att studera påverkan och effekt på grundvatten kring dränerande bergrumsanläggningar behöver det skiljas på grundvattennivåer och grundvattentryck. Påverkan på grundvattentryck och nivåer kring bergrum förklaras nedan. Grundvattentrycknivåerna runt en anläggning i berg varierar beroende på vilket djup trycket mäts på samt avståndet från anläggningen vilket principiellt illustreras i Figur 7.



Figur 7. Principiell grundvattentrycksänkning runt en tunnel i meter. Tryckminskningen faller med ökande avstånd från bergrumsanläggningen i samtliga riktningar. I ytliga lager är effekten av avsänkningen avsevärt mindre än nära bergrumsanläggningen. I illustrationen redovisas fem schematiska borrhål med respektive grundvattentrycknivå vid olika positioner runt bergrumsanläggningen. Borrhålen ska betraktas som "slutna" med öppen botten, vilket alltså ger ett mått på trycknivån vid positionen för borrhålsbotten.

Det är viktigt att skilja på grundvattennivå och grundvattentryck. Grundvattentryck är den uppmätta vattenpelaren vid ett specifikt läge i berget, medan grundvattenytan utgörs av gränsen mellan mättad och omättad zon, se illustration i Figur 8.



Figur 8. Principiell beskrivning av grundvattennivå och grundvattentryck (Fleming, 1994).

Stockholms berggrund uppvisar en betydande heterogenitet, vilket kan ses i den geologiska beskrivningen i kapitel 8.5. Detta beror på olika faktorer, såsom förekomst, storlek, riktning och

stupning av enskilda sprickor och större svaghetszoner, samt inte minst hur, och om, konduktiva sprickor är kopplade till varandra. Effekten av dessa faktorer på grundvattentrycket och grundvattennivåerna är särskilt märkbar närmast bergrumsanläggningen, där bergens heterogenitet har störst påverkan. Det beror på att enskilda framför allt större och kopplade sprickor kan dräneras i stor utsträckning, vilket kan resultera i att två till synes närliggande bergborrade hål, med samma djup och avstånd från bergrumsanläggningen, påverkas mycket olika. Till exempel kan ett hål vara skuret av en öppen dränerande spricka, medan ett närliggande hål sitter i en solid bergplint. Ju längre från bergrumsanläggningen desto mer jämn blir effekten, eftersom sprickor och spricksystem i en större skala korsar varandra och jämnar ut påverkan. På så sätt uppnås en skaleffekt, där påverkan på grundvattennivåerna utjämnas med avståndet från bergrumsanläggningen.

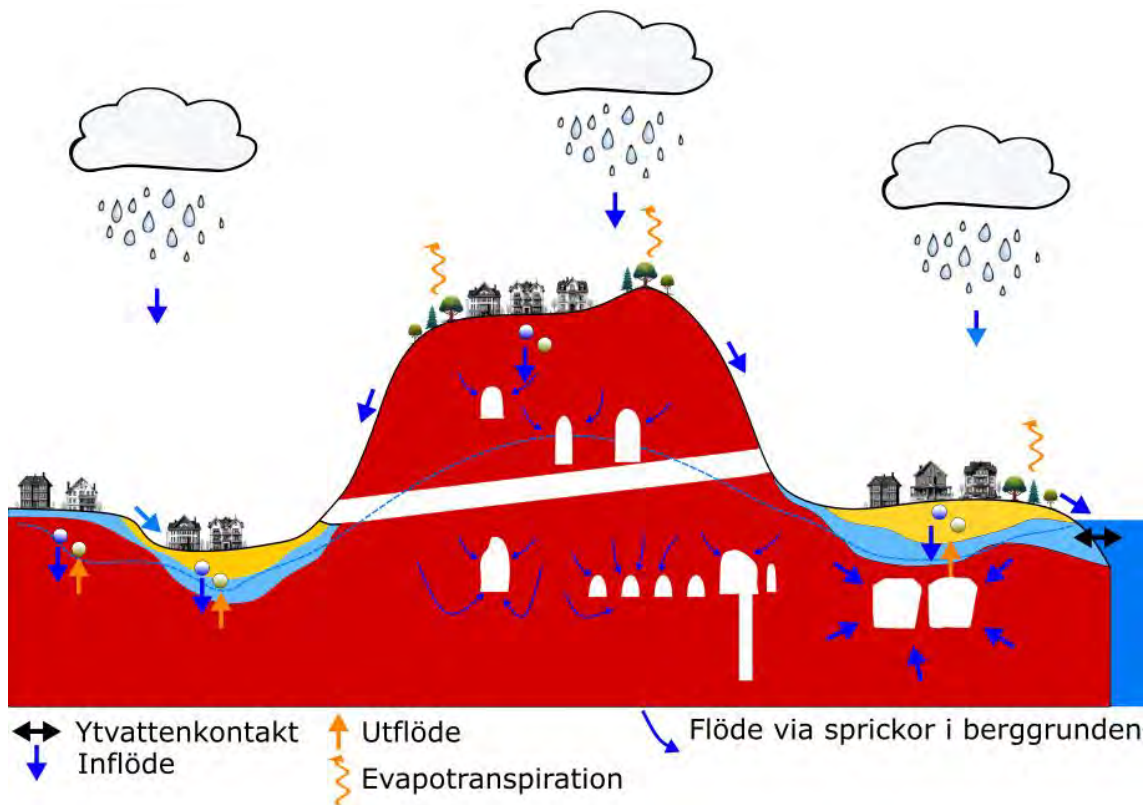
Vid grundvattenmodellering av tunnlar och bergrumsanläggningar kalibreras ofta modellen för att representera genomsnittliga hydrauliska konduktiviteter för större bergvolymen. Påverkan på grundvattentrycket runt bergrumsanläggningarna bör därför betraktas som en genomsnittlig påverkan. Ibland inkluderas större svaghetszoner i modeller för att studera större avvikelser i bergvolymen. Effekten av enskilda sprickor i en bergmassa är svåra att återskapa på nära håll vid en bergrumsanläggning eftersom det inte är realistiskt att erhålla detaljkunskap om varje spricka och dess kontakt med övriga sprickor i bergmassan. I stället betraktas sprickorna som delar av ett stokastiskt kontinuum i en modell som beskriver grundvattenflödet, och inte som diskreta enheter. Det modelleras därför som en sammanhängande bergmassa med stokastiskt varierande egenskaper.

Av samma anledning är det svårt att använda enskilda bergborrade brunnar nära bergrumsanläggningen till att erhålla en representation för grundvattentrycknivåerna i den större bergvolymen. För att få en representativ bild av såväl nivåer som bergets genomsläpplighet krävs ett antal brunnar. Ofta används därför information om inläckage från andra anläggningar tillsammans med information från SGU:s brunnsarkiv, där ett stort antal brunnar ger en spridning av den hydrauliska konduktiviteten i det aktuella området. Information från SGU:s brunnsarkiv har nyttjats för detta projekt (Bilaga 6:4) medan möjligheterna att mäta inläckaget till bergrumsanläggningen saknas (se vidare kapitel 6.6.2).

I en förstudie (BeFo, 2012) gällande bergrums inverkan på grundvattenförhållanden konstateras det att det generellt sker en överprognostisering av förväntat inläckage till bergrummen. Detta går att koppla till att prognoser ofta inkluderar osäkerhetsmarginaler för att undvika underskattning av potentiella effekter.

6.3 Grundvattenbortledning och vattenbalans

Påverkan och effekt på grundvattentrycknivåer kring en dränerande bergrumsanläggning beror på bergets och anslutande jordlayers vattenförande egenskaper. Omgivningspåverkan beror även på den hydrauliska kontakten mellan det trycksänkta området i berg och undre magasin i jord i kombination med grundvattentillgång, det vill säga om det finns förutsättningar för grundvattenbildning till det trycksänkta området. Figur 9 visar en schematisk skiss över vattenbalans i det studerade hydrauliska systemet.



Figur 9. Konceptuell vattenbalansbeskrivning. Grundvattenbildning sker genom tillförsel av nederbörd och läckage från VA. Den faktiska grundvattenbildningen är vad som kvarstår efter yttlig avrinning, läckage till dränerande konstruktioner (bergrum, tunnlar, VA, med mera) och evapotranspiration.

Om grundvattentrycket i berggrunden minskar, till följd av inläckage till och bortledning från en anläggning, kan grundvattnets trycknivå sjunka i det ovanliggande jordlagret. I lerområden blir grundvattenavsänkningen generellt mer utbredd, då tätande jordlager medför liten nybildning av grundvatten. I randzoner mellan jord och berg som generellt finns i utkanten av lerområdena bidrar strömning genom friktionsjord till ett dominerande tillskott av grundvatten. Om en trycksänkning sker i det undre grundvattenmagasinet kan den hydrauliska gradienten öka och därmed även grundvattenströmningen. Således ökar tillskottet till det undre magasinet från omgivande berg och övre magasin om trycknivån i det undre magasinet sänks. Detta har beräknats med hjälp av en platsspecifik grundvattenmodell, se Bilaga 6:4.

6.4 Marksättningar

Marksättningar, som är beroende av grundvattentrycket i jordmagasin, påverkas av variationer i grundvattennivåer. En meters sänkning av grundvattennivån motsvarar praktiskt taget en pålastning av 10 kPa, vilket grovt kan jämföras med en uppfyllnad av cirka 0,5 meter lösa jordmassor. Sättningsförloppet är inte reversibelt; om sättningar uppstår kommer dessa att bestå. Sättningarna kan medföra skador på hus, vägar och ledningar i mark. Sättningsprocessen sker dock under lång tid, upp till 100 år, ofta med en snabbare inledande fas som sedan avtar.

Marksättningar kan uppkomma av olika orsaker, vanligtvis på grund av uppfyllnad av massor på lerjord vilket ökar belastningen. Marksättning kan även uppstå vid grundvattensänkning i det undre grundvattenmagasinet. Marksättningar kan också pågå vid naturliga förhållanden. Grundvattensänkning i de undre magasinen i Stockholms stadsmiljö beror på hårdgörning av ytor som minskar grundvattenbildningen, dränering från ledningsstråk, källarplan samt undermarksanläggningar såsom tunnlar och bergrum, med mera. Grundvattensänkningar i det övre magasinet ger generellt sett inte upphov till sättningar.

Sättningar kan även utbildas utan grundvattensänkning där vanliga orsaker till utbildande av sättningar i stadsmiljö är till exempel belastningsökning från uppfyllning av mark. Ytliga jordlager,

som belastas vid uppfyllning, kan innehålla organiskt material som långsamt bryts ned, vilket medför sättningar. Sättningens storlek beror av andelen och mäktigheten av organiskt material. Organiskt material antas förekomma lokalt och bedöms bli av underordnad betydelse jämfört med primärkonsolidering av lera.

Vid en grundvattensänkning i ett undre magasin sänks porttrycket i leran. Under porttryckutjämningen sker en konsolidering av leran, vilket medför deformation genom volymminskning. I lera skiljer man mellan primär och sekundär konsolidering. Med primär konsolidering avses den hydrodynamiska delen av volymminskningen. Med sekundär konsolidering avses volymminskning genom krypning i "jordskelettet", det vill säga när lerans kornskelett komprimeras. Primär och sekundär konsolidering sker i praktiken i stort sett samtidigt och är därför svåra att särskilja. Däremot kan de sekundära sättningarna pågå under många tiotals år.

Jord som tidigare varit belastad eller haft avsänkt grundvattennivå får en viss överkonsolidering. Konsolideringsgraden framgår av laboratorieutvärderingen av jordprover. Detta innebär att jorden tål en viss belastning utan att primärkonsolidering sker.

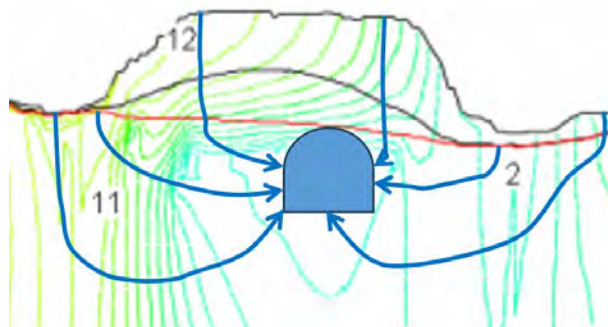
6.5 Energibrunnar

I Stockholm förekommer energibrunnar i berg. Dessa är normalt mellan cirka 150 och 300 m djupa. Anläggning av tunnlar och andra anläggningar i berg som dränerar grundvatten kan medföra att vattennivån i energibrunnar påverkas. En reducerad vattennivå i brunnen kan resultera i minskat energiutbyte mellan kollektorn och det omgivande berget. Konsekvensen blir ett lägre effektuttag från energibrunnen. Med tanke på att energibrunnar ofta är djupa, är den procentuella förlusten av vattenpelaren generellt liten i relation till hela brunnens vattenpelare. Det är även värt att notera att påverkansområdet i berg från bergrumsanläggningar ofta är djupare och att avsänkningen minskar närmare bergets överkant på grund av att trycksänkningen sker radiellt från bergrummen (se kapitel 6.2).

6.6 Grundvattenbortledning vid Henriksdals bergrumsansläggning

6.6.1 Inläckande grundvatten

Grundvattenbortledning från bergrumsanläggningen i Henriksdal sker genom de sprickor som finns i bergrumsanläggningens tak, golv och väggar på alla våningsplan. Dessa sprickor kan vara mer eller mindre omfattande beroende på deras egenskaper och hur väl de står i kontakt med andra vattenförande sprickor (se kapitel 8.5 för mer detaljer). Inläckande grundvatten kommer in i tunnlar och bergrum från alla håll – tak, väggar och ibland även från botten (Figur 10).

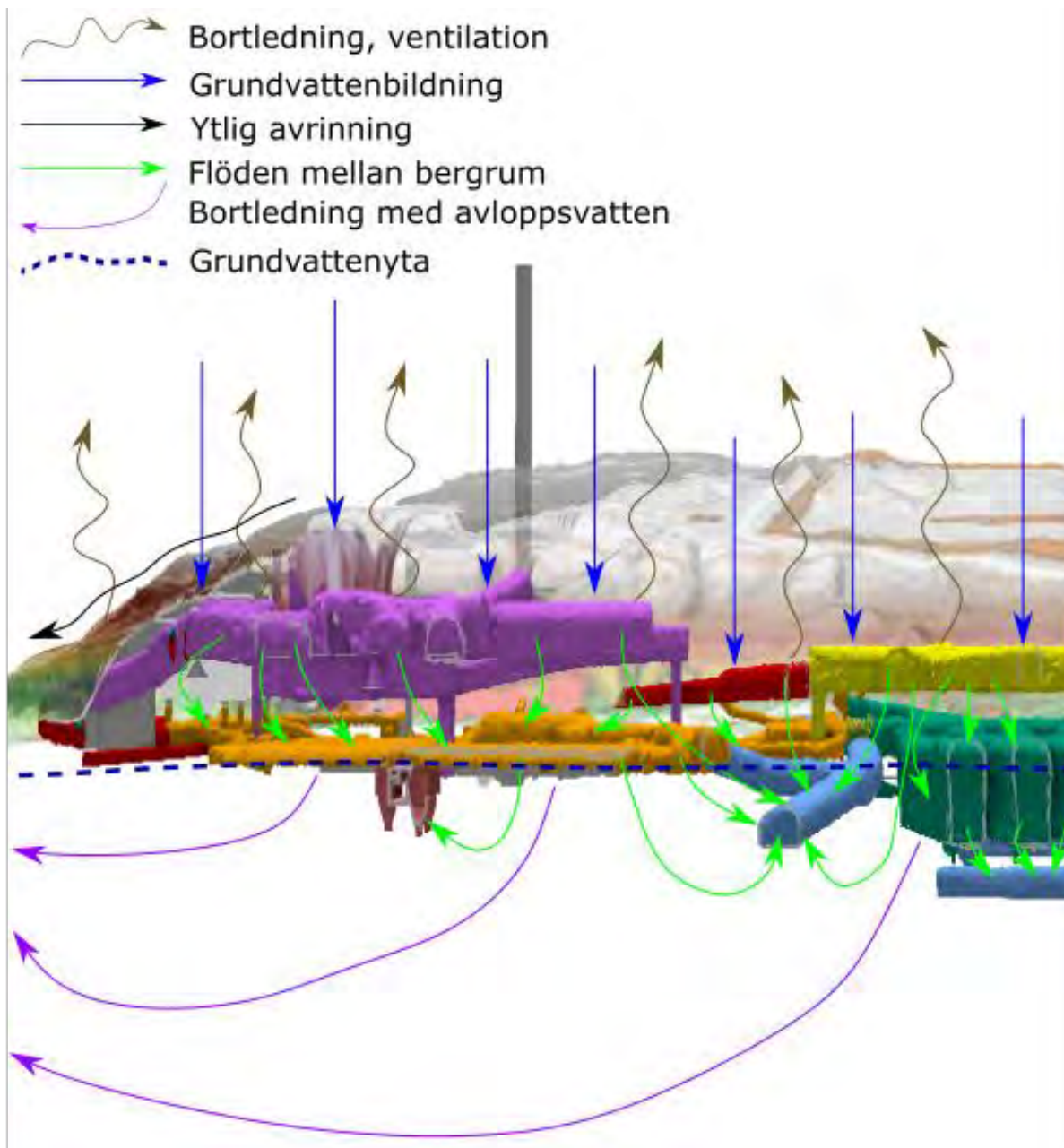


Figur 10. Illustration av inläckage av grundvatten till bergrum vid Henriksdal. Grundvattnets strömningsriktning är radiellt mot de isolinjer (gul och cyan färg) som representerar grundvattnets trycknivå i berget. Svart linje representerar ursprunglig grundvattennivå innan bergrummet sprängdes ut och den röda nuvarande grundvattennivå.

Storleken på inläckaget är ett resultat av bergrumsanläggningens dimensioner och geometri, läge i förhållande till omgivningen, vattenfyllda bergrum och dränerande nivåer i olika anläggningsdelar samt berggrundens genomsläpplighet, grundvattentrycket i och -bildningen till berget. Inläckagets storlek påverkas även av den tätning som gjorts i nyare delar av bergrumsanläggningen samt av de

betongkonstruktioner i bergrummen vari avloppsreningen sker. Beräkningar av inläckage till den befintliga bergrumsanläggningen beskrivs i kapitel 9 och i Bilaga 6:4.

I de helt eller delvis vattenfyllda delar av anläggningen där avloppsvatten hanteras, blandas det inläckande grundvattnet med det avloppsvatten som behandlas (Figur 11). Vatten ansamlas i flera lågpunkter i anläggningen och leds oftast via länsppumpgropar till närmsta bassäng, eller via uppsamlingsrör till inkommande tunnlar.



Figur 11. Principiell beskrivning av grundvattentransporten vid bergrumsanläggningen via bortledning genom, ventilation, dropp och kondensvatten. Bergrumsanläggningen är överdriven i vertikalled för bättre synlighet. Blå pilar illustrerar tillskott på vatten genom nederbörd, gröna pilar redovisar vatten som läcker genom berget och rör sig mellan olika bergrum, lila pilar redovisar vatten som avleds ut från anläggningen, bruna pilar motsvarar vatten som dunstar och avgår via ventilation och svart pil är den andel av nederbörden som avrinner yttligt på berget.

För att hantera dropp från tak har droppskålar och/eller tunnelduk monterats. Vattnet från dessa avdunstar och leds ut med ventilationsluften (temperaturen i bergrummet är cirka 17°C) eller leds via

golvrännor till bassänger där det blandas med avloppsvatten. På nivå C finns också bassänger där dropp från taket samlas och behandlas.

Berget i bergrummet är vanligtvis täckt av konstruktioner som väggbeläggning eller sprutbetong, vilket gör en fullständig okulär inspektion av läckageytor svår. Ursprunget till det uppsamlade vattnet är svårt att bestämma exakt och kan utgöras av inläckande grundvatten, kondens och/eller läckage av processvatten mellan olika delar av bergrumsanläggningen via sprickor.

6.6.2 Möjligheter att mäta inläckande grundvatten

Det faktiska inläckaget i bergrumsanläggningen är i praktiken omöjligt att verifiera med mätningar. Det finns flera skäl till detta. Bland de mest uppenbara och framträdande orsakerna kan nämnas bergrummens storlek och komplexitet. Bergrummen är uppbyggda i flera våningsplan med en mycket stor total area av blottat berg. En betydande andel av detta är inklätt i sprutbetong, asfalt eller är täckt av andra orsaker. Det finns därtill utrymmen som av säkerhetsskäl är oåtkomliga. Det går därför inte att observera alla ytor där ett inläckage av grundvatten skulle kunna ske.

Med tanke på den omfattande längden på bergrumstunnlarna, som sträcker sig över cirka 18 kilometer, är det inte praktiskt genomförbart att övervaka alla potentiella inläckagepunkter. Det finns heller ingen gemensam lågpunkt i bergrumsanläggningen. Idag blandas spolvatten, kondensvatten och grundvatten i olika länsppumpgropar som sedan pumpar vattnet till olika behandlingsbassänger.

En ytterligare försvårande omständighet för att bedöma storleken på inläckaget är den förmodade kortslutningseffekten som går att beskriva med att ett visst utbyte av processvatten kan förväntas mellan olika våningsplan och anläggningsdelar genom otätheter i berggrunden, genomföringar för installationer med mera. Det går således inte att verifiera hur stor andel av det totala vattnet i omlopp som är ett processvatten och vilken andel som är ett inläckande grundvatten.

En del bergväggar är fuktiga, men det är svårt att avgöra om det är pga. inträngande av grundvatten eller kondens från ventilationsluften eller avdunstning från de mängder avloppsvatten som hanteras i bergrumsanläggningen. Bergrummens ventilation och en konstant inomhustemperatur på ungefär 17° C bidrar till kondensbildning på de kallare bergväggarna, speciellt under sommaren då luftfuktigheten utomhus är högre. Detta kondensvatten, som också måste avledas, lägger till en ytterligare variabel som komplicerar möjligheten att mäta inläckande grundvatten.

Det finns också praktiska svårigheter med att utföra själva mätningen. Det finns 16 länsppumpar som i viss mån pumpar inläckande grundvatten vidare genom bergrumsanläggningen. Länsppumparna pumpar blandvatten, det vill säga en blandning av grundvatten, spolvatten, takdropp, kondensvatten från blåsmaskiner, dräneringsvatten av okänd härkomst (*eventuell överläckning mellan bergrum*), produktionsvatten eller dylikt. Det går inte att särskilja grundvattnet från övrigt vatten. Vidare sker inläckage av grundvatten till vattenfyllda delar av bergrumsanläggningen.

Länsppumparna är utrustade med nivåvipor och aktiveras endast vid behov.

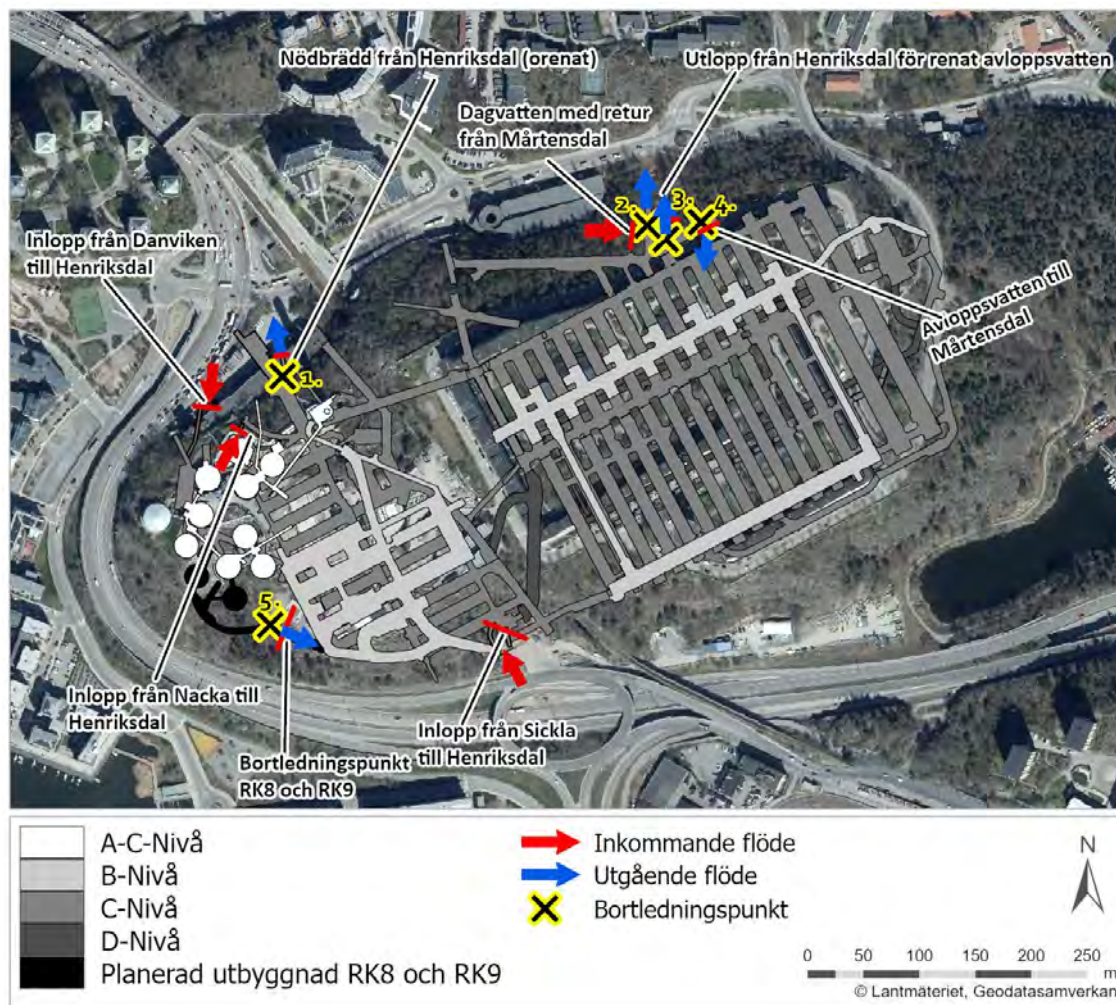
En delmängd av det inläckande grundvatten som tillkommer bergrummen kan även förväntas dunsta innan det når bassängerna, vilket ytterligare introducerar osäkerheter i en flödesbedömning.

Det har av ovan nämnda skäl inte bedömts möjligt att mäta det inläckande grundvattnet till bergrumsanläggningen. Inläckaget av grundvatten har i stället bestämts med stöd av en grundvattenmodell som upprättats för bergrumsanläggningen med omgivning, se vidare kapitel 7.3. Det bedöms vidare som omöjligt att mäta inläckage av grundvatten till befintlig bergrumsanläggning eftersom reningsverket inte kan stängas av då det fyller en mycket viktig samhällsfunktion.

6.6.3 Bortledningspunkter

I bergrumsanläggningen blandas det inläckande grundvattnet med avloppsvatten i de olika reningsstegen och förs sedan vidare in i den övergripande reningsprocessen för att slutligen släppas till recipienten Saltsjön. Utsläppspunkter för vatten som kan innehålla grundvatten redovisas nedan samt i Figur 12.

1. Nödbredd för orenat avloppsvatten som används när hydrauliska kapaciteten i reningsverket överskrids.
2. Västra utloppstunneln för renat avloppsvatten.
3. Östra utloppstunneln för renat avloppsvatten.
4. Tunnel för bortledning av renat avloppsvatten till värmeutvinning hos extern aktör i Mårtensdal. Det renade avloppsvattnet leds efter värmeutvinning tillbaka till reningsverket och ut i östra och/eller västra utloppstunnlarna för renat avloppsvatten.
5. Bortledningspunkt för grundvatten under byggtiden för utbyggnation av RK8 och RK9 med tillhörande tunnlar.



Figur 12. Henriksdals berggrunsanläggning och utloppspunkter för grundvatten.

7. Undersöknings- och utredningsmetodik

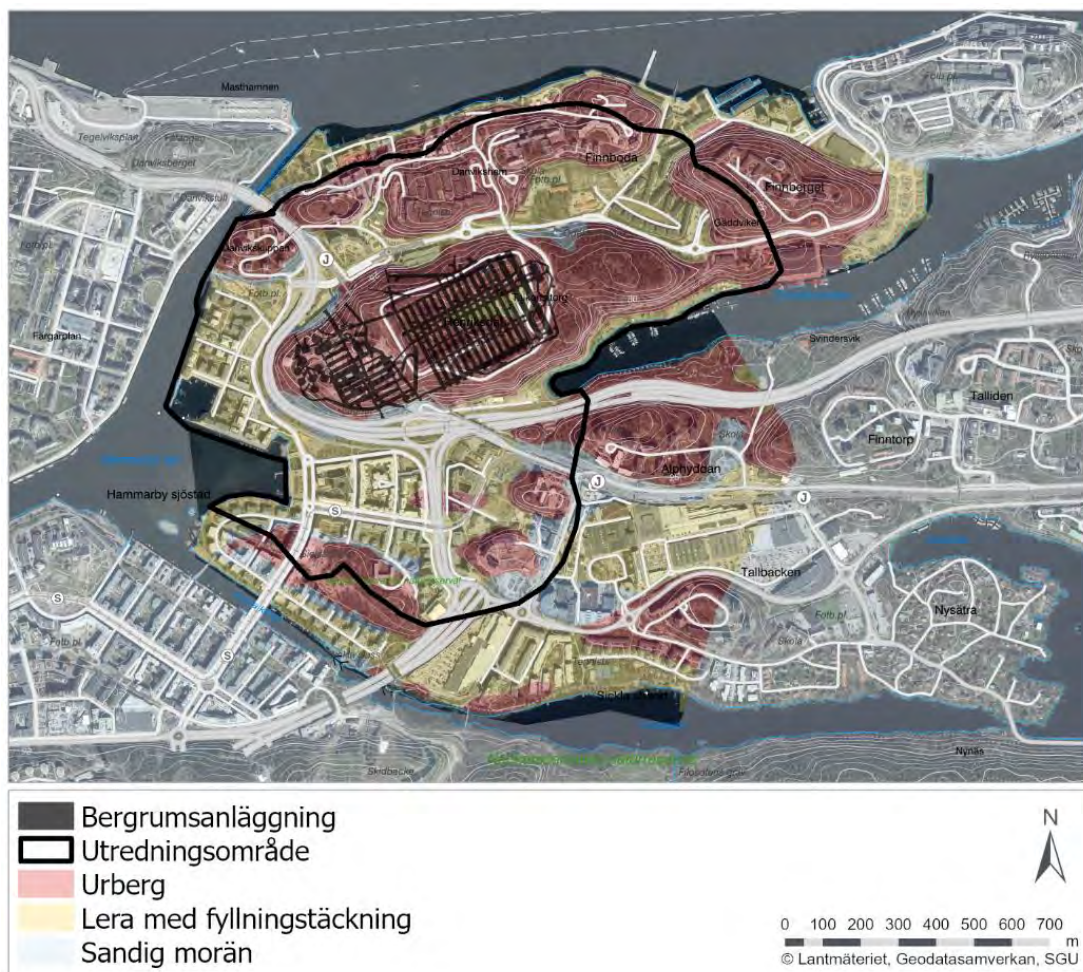
Den befintliga bergrumsanläggningen i Henriksdalsberget ligger till viss del under befintliga grundvattennivåer i berg och anslutande jordlager. Detta ger upphov till inläckage av grundvatten som avleds från bergrumsanläggningen. Grundvattenbortledningen påverkar redan idag grundvattennivåer ovan och omkring bergrumsanläggningen. Vidare kommer planerade anläggningsarbeten för RK8 och RK9 med tillhörande anläggningar till viss del ske under befintliga grundvattennivåer i berg och anslutande jordlager. Detta innebär att grundvatteninläckaget i teorin ökar. Befintlig bortledning av grundvatten samt tillkommande inläckande grundvatten till planerade anläggningar kommer att tillståndsprövas tillsammans.

För att utreda verksamhetens påverkan på grundvattenförhållanden har utredningen avgränsats enligt två principer; ett utredningsområde samt ett påverkansområde. Dessa presenteras i föreliggande kapitel.

7.1 Utredningsområde

Utredningsområdet är det område inom vilket geologiska och hydrogeologiska förhållanden studeras i syfte att förutse påverkan och effekter av nuvarande och planerad vattenverksamhet.

Utredningsområdet, se Figur 13, har tagits fram genom studier av områdets hydrogeologiska förutsättningar, vattendelare, jordartsinformation samt läget för den befintliga och planerade grundvattenbortledningen. Det framtagna utredningsområdet är väl tilltaget och baseras på fasta vattendelare som karterats med hjälp av underlagsinformation från SGU och Lantmäteriet samt tidiga modelleringsresultat.



Figur 13. Utredningsområde för befintlig bergrumsanläggning och tillkommande rötkamrar (RK8 och RK9) med tillhörande anläggningar.

7.2 Påverkansområde

Inom utredningsområdet har hydrogeologiska beräkningar och analyser utförts vilka resulterat i ett påverkansområde för grundvatten. Detta påverkansområde är mindre än, och ryms i sin helhet inom, utredningsområdet för att säkerställa att den sökande (SVOA) har samrått (Bilaga 5:1) med alla de sakägare (Bilaga 7) som kan påverkas av grundvattenbortledningen.

Påverkansområdet för grundvatten i jord och berg definieras som det område där en förutsebar skadlig påverkan på grundvattennivåerna eventuellt skulle kunna uppkomma till följd av inläckage till befintliga och planerade berganläggningar.

Påverkansområde är således det största område inom vilket ändringen i grundvattennivå får vara större än medgiven ändring i grundvattennivå till följd av grundvattenuttag eller grundvattenbortledning (eller bägge) (SGU, 2020). Gränsen för påverkansområdet har ansatts till 0,3 meter (R_{03}) i jord och 1 meter (R_1) för grundvatten i berg då mindre ändringar inte förväntas ge upphov till någon skada eller är svåra att urskilja från naturliga grundvattennivåvariationer.

Inom påverkansområdet kan således en grundvattenavsänkning om 0,3 meter eller mer uppstå i jorden och/eller en avsänkning om 1 meter eller mer i berget. Påverkansområdets utbredning och grundvattenavsänkningens storlek i berg och jord påverkas av hur tätt berget är, berganläggningarnas tätning och djup samt grundvattenbildningen och vattenbalansen i området.

Eftersom en bergborrad brunn i praktiken endast är ett öppet borrhål i bergmassan kommer trycket i borrhålet jämnas ut genom ett vattenflöde från sprickor i de delar längs borrhålet med högst tryck till delar med lägre tryck tills en jämvikt erhålls. Således kommer grundvattennivåavsänkningen bli mindre än den maximalt beräknade trycknivåavsänkningen som erhålls kring en dränerande bergrumsanläggning. Som underlag för framtagande av påverkansområdets utbredning i berg har projektet därför valt, med stöd av grundvattenmodelleringen (Bilaga 6:4), avståndet mellan bergrumsanläggningen och den punkt där 1 meter trycknivåavsänkning erhålls i en bergborrad brunn.

Påverkansområdet för grundvattenpåverkan i jord och berg har simulerats med hjälp av den numeriska koden MODFLOW6 (Langevin, o.a., 2022) i programvaran ModelMuse 5.2.0 (Winston, 2022). Simuleringarna beskriver dels nuvarande grundvattenförhållanden, det vill säga med befintlig bergrumsanläggning, samt dels förutsebar förändring av grundvattenförhållanden till följd av den planerade vattenverksamheten från RK8 och RK9 med tillhörande schakt och tunnlar. Metod och resultat beskrivs i Bilaga 6:4. Objekt som är känsliga för grundvattenpåverkan jämte bedömt behov för skyddsåtgärder för att minska risken av skador beskrivs under kapitel 9, 9.5 och 10.

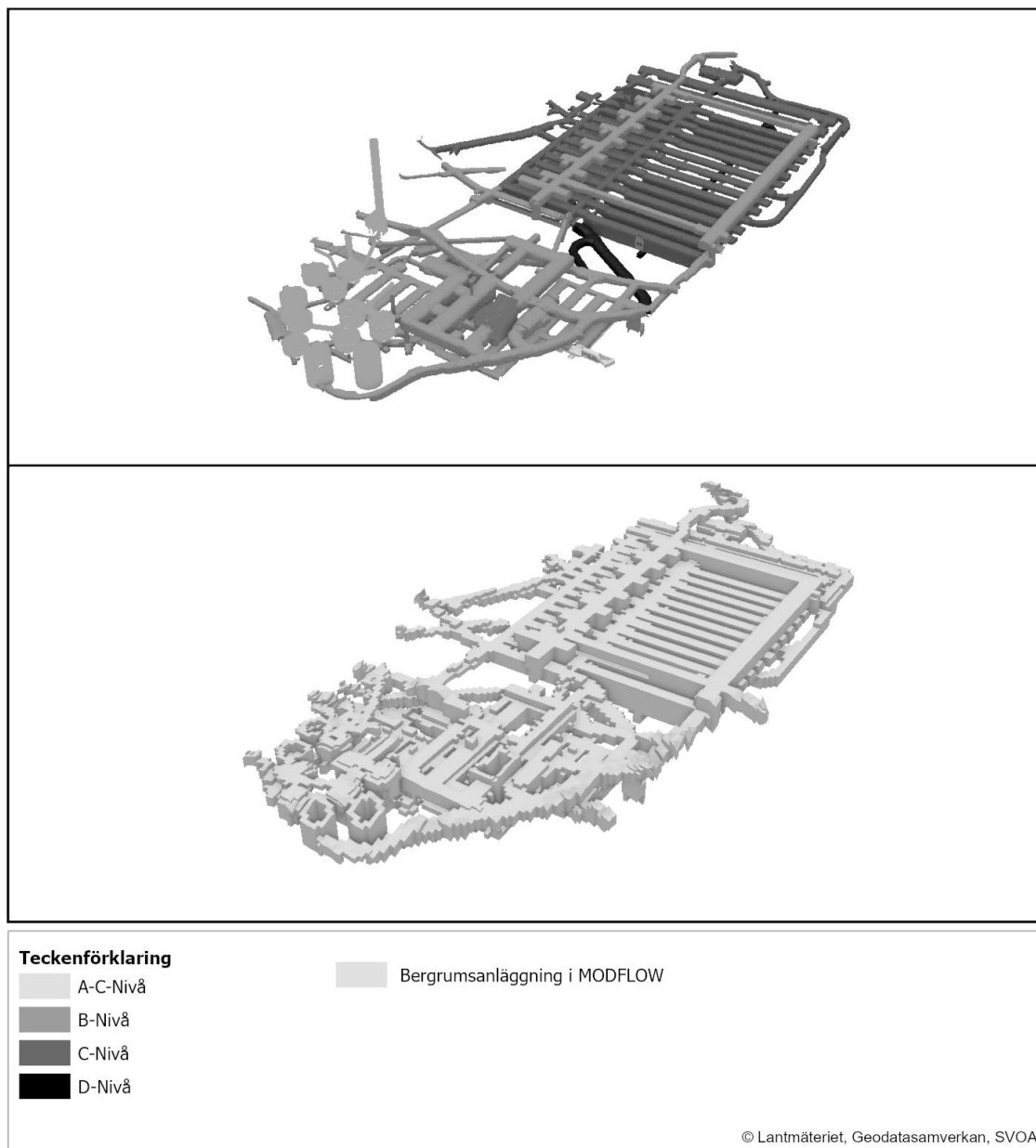
Påverkansområdet överlappar påverkansområdet för SVOA:s projekt Nya Östbergatunneln. När det påverkansområdet fastställdes togs dock hänsyn till den befintliga påverkan som Henriksdalsanläggningen utgör på grundvattensituationen. Det påverkansområde som nu tas fram tar på motsvarande sätt hänsyn till Nya Östbergatunnelns prognostiserade påverkan. Ingen ytterligare, kumulativ påverkan förväntas.

7.3 Grundvattenmodellering

Grundvattenmodelleringen för Henriksdals reningsverk har genomförts för att studera effekterna på grundvattennivåerna till följd av den historiska utbyggnaden av verket samt uppförandet av två nya rötkammare med tillhörande process- och arbetstunnlar. Modelleringen har utförts i flera steg, där det första steget innebar att upprätta en konceptuell modell som representerar det hydrogeologiska systemet i området. Denna modell beskriver de viktigaste fysiska, meteorologiska och geologiska processerna och egenskaperna som interagerar inom området och ger en grundläggande förståelse för hur grundvattnet rör sig och påverkas av olika faktorer.

I den konceptuella modellen definierades hydrogeologiska gränser, huvudsakliga flödesriktningar, hydrauliska egenskaper, infiltrationsmöjligheter och nederbörd, samt källor till mänsklig påverkan (som stadsbebyggelse, befintliga berggrum, med mera) och lägen för interaktion med ytvatten. Denna modell utgör grunden för den projektspecifika numeriska modellen som byggdes upp med hjälp av programvaran ModelMuse och den numeriska koden MODFLOW6. Modellen består av en tredimensionell cellmatris som parametreras med randvillkor och egenskaper baserade på den

konceptuella modellen och observationsdata. I modellen är även bergrumsanläggningen representerad, se Figur 14. Bergrumsanläggningen innefattar även tillkommande RK8 och RK9 med tillhörande evakueringsschakt, process- och arbetstunnlar.



Figur 14. Henriksdals bergrumsanläggning såsom representerad i upprättad grundvattenmodell. I modellen ingår De tillkommande RK8 och RK9 med tillhörande evakueringsschakt, process- och arbetstunnlar som går att urskilja längst ner i bild. A-nivån är inte redovisad bilden då denna är ovan jord.

Kalibreringen av den numeriska modellen justerades så att simulerade grundvattennivåer och flöden överensstämde med observerade data. Efter kalibrering användes modellen för hydrogeologiska prognossimuleringar för att bedöma effekterna av befintliga och planerade anläggningar på grundvattennivåerna. Resultaten visade de förväntade förändringarna i grundvattennivåer, vilket används för att bedöma den omgivningspåverkan som befintlig- och planerad bergrumsanläggning utgör.

Modellen inkluderade kända anläggningar som påverkar grundvattensituationen, såsom VA-tunnlar och vägtunnlar, samt öppna vattendrag. Randvillkor tillämpades för att representera dessa element, och kalibreringsmål sattes för att säkerställa att modellen korrekt representerar kända flöden till dessa anläggningar.

En viktig del av modelleringen var en robust hantering av osäkerheter. Modellen kalibrerades i en ensemblebaserad miljö där parametrar varierades för att studera deras effekter på kalibreringsmålen. Detta angreppssätt minskar risken för avvikelser mellan modellresultaten och verkliga förhållanden.

Modellen strävar inte efter att representera enskilda sprickor i bergmatrisen, eftersom skaleffekter utjämnar effekterna med ökat avstånd från anläggningen. Effekten på grundvattentryck och nivåer är störst närmast bergrummen, där bergets heterogenitet har störst betydelse. På längre avstånd jämnas effekten ut av sprickors korsning och spricksystem. Syftet är att beskriva verksamhetens effekter och möjliggöra en konsekvensbedömning för ansökan om vattenverksamhet.

Storleken på en trycknivåavsänkning korrelerar inte alltid direkt med mängden inläckande vatten, eftersom lika stor trycksänkning kan skapas i tätare jord som i mer genomsläpplig jord, vilka ger olika resulterande inflöde, trots samma avsänkning. Skillnader i magasinsoefficient kan även innebära att mindre flöden av inläckande vatten kan orsaka betydande förändringar i grundvattennivåerna. Detta gäller särskilt när det inläckande vattnet interagerar med en begränsad porvolym i närheten av ett observationsrör. Därför kan små mängder inläckage leda till signifikanta förändringar i de lokalt uppmätta trycknivåerna, exempelvis när slutna förhållanden råder i ett undre magasin överlagrat av lera. På en annan plats kan dock motsatt förhållande råda.

Sammanfattningsvis har grundvattenmodelleringen varit en omfattande process som inkluderat noggrann planering, konceptuell modellering, numerisk modellkonstruktion, kalibrering och prognossimuleringar. Modelleringen är avgörande för att förstå och hantera de hydrogeologiska effekterna, med fokus på storleksordningen av nuvarande och tillkommande grundvatteninläckage samt associerad påverkan och påverkansavstånd. En mer utförlig beskrivning av arbetet med modellen och de utmaningar som hanteras återfinns i Bilaga 6.4.

7.4 Inventeringar

Inom ramen för SVOA:s pågående arbeten med projekt Stockholms framtida avloppsrening, SFA (Mark- och miljödomstolens dom M 3980-15) och projekt Nya Östbergatunneln, NÖT (Mark- och miljödomstolens dom M 2606-20), har SVOA redan ett stort och för denna tillståndsansökan relevant dataunderlag. Inventering har även utförts via Förvaltning för utbyggd tunnelbana, FUT. Vidare pågår kontrollmätningar avseende grundvattennivåer i jord och berg likväl som sättningsmätningar i de områden som är av intresse för den här aktuella tillståndsansökan. Nedan sammanställs kortfattat det underlag som nyttjats för utredningsarbetet:

- Inventering av befintliga grundvattenobservationsrör med syftet att erhålla representativa grundvattennivåer kring befintlig och planerad anläggning samt för identifiering av för projektet relevanta kontrollrör (NÖT, FUT).
- Inventering av grundläggningar från tidigare utredningar av Stockholm Vatten och Avfall (projekt NÖT samt kompletterande inventering inom ramen för den aktuella tillståndsansökan).
- Inventering av ledningar från tidigare utredningar av Stockholm Vatten och Avfall (NÖT).
- Inventering av föroreningar från EBH-kartan, Länsstyrelsen (Stockholm).
- Inventering av naturmiljöer från tidigare utredningar av Stockholm Vatten och Avfall (projekt NÖT samt kompletterande inventering inom ramen för den aktuella tillståndsansökan).
- Inventering av undermarksanläggningar.
- Inventering av tidigare utförda geotekniska och bergtekniska markundersökningar i jord och berg (projekt NÖT samt kompletterande inventering inom ramen för den aktuella tillståndsansökan).
- Inventering av brunnar från SGU:s brunnssdatabas.
- Inventering av sättningsmätningar (projekt NÖT).
- Inventering av tidigare eventuella skadeärenden kopplade till den pågående grundvattenbortledningen som rapporterats till Stockholm Vatten och Avfall AB (dylika skadeärenden saknas).
- Inventering av sonderingar och lerprovtagningar som nyttjats för utvärdering av jordens egenskaper och sättningsberäkningar (projekt NÖT).

7.5 Utförda geotekniska, geologiska och hydrogeologiska fältarbeten

Ett mycket stort utredningsunderlag har gjorts tillgängligt från SVOA:s pågående arbeten med projekt SFA och NÖT. Inför tillståndsansökan för befintlig anläggning samt byggandet av planerade rötkammare har följande undersökningar utförts för att komplettera det befintliga underlaget:

- Geotekniska sonderingar i samband med installation av grundvattenrör och hammarborrhål.
- Installation av tre grundvattenrör i jord i undre magasin.
- Installation av sex hammarborrhål i berg.
- Mätningar av grundvattennivå i jord och berg, delvis med automatiska mätare.

I Bilaga 6:1 redovisas förekommande grundvattenmagasin i jord och i Bilaga 6:2 redovisas utförda undersökningar (grundvattenrör, med mera) inom utredningsområdet. I kapitel 8.8 beskrivs de hydrogeologiska förhållandena.

7.6 Bedömning av påverkan på skyddsobjekt

7.6.1 Sättningskänsliga objekt

Byggnader och anläggningar kan vara känsliga för grundvattenavsänkning på främst två sätt; på grund av sättningar till följd av sänkta grundvattentrycknivåer i undre magasin inom områden med sättningskänslig mark, eller till följd av nedbrytning av trägrundläggning till följd av sänkta grundvattennivåer i öppna övre magasin. Byggnader och anläggningar kan även vara känsliga för höjning av grundvatten då inläckage till källare kan ske.

Inom påverkansområdena för jord samt berg har inventering av potentiella skyddsobjekt utförts. Skyddsobjekten i denna utredning omfattar endast objekt som är grundvattenberoende och som kan påverkas av förändringar i grundvattentryck, -nivå eller -flöde. Dessa skyddsobjekt utgörs i huvudsak av byggnader, ledningar samt annan infrastruktur på sättningsbenägen jord.

För att beskriva förekommande lerområdets sättningskänslighet har de s.k. konsolideringsförhållandena bestämts, se kapitel 8.7. Vidare har pågående sättningsmätningar inhämtats. Därtill har lerans mäktighet bestämts utifrån en mängd geotekniska undersökningar, likväl som den mättade lerans mäktighet. Det senare då det är den som styr en eventuell framtida påverkan från den sökta verksamheten.

Med kännedom av delområdenas sättningskänslighet, pågående sättningar, skyddsobjektens läge och känslighet samt lerområdenas mäktighet har sedan en påverkansbedömning, på förekommande skyddsobjekt, genomförts.

7.6.2 Brunnar

Brunnar används generellt för två olika syften, antingen som dricksvattenbrunn eller som energibrunn. Båda dessa anläggningar kan påverkas negativt av en grundvattensänkning. För en dricksvattenbrunn blir konsekvensen en minskad vattentillgång, och för energibrunnarna försämrar möjligheten till att transportera värme/kyla.

Förekommande brunnar har därför inventerats. Typ av brunn, datum för dess installation, läge och djup har dokumenterats. Med stöd av förekommande grundvattenmodellering har sedan en bedömning avseende påverkan på grundvattennivåer gjorts. Avseende den påverkansbedömning som gjorts så har hänsyn tagits till om brunnarna är installerade före- eller efter det att trycksänkningar i berg uppstått, som ett resultat av den befintliga bergrumsanläggningen.

7.6.3 Föroreningar

Förändrade grundvattennivåer och -flöden kan medföra att vissa föroreningar mobiliseras inom förorenade markområden och förflyttas till idag oförorenade områden. Grundvatten som läcker in i anläggningarna kan därav, om föroreningarna är lättflyttiga och om förhållandena är ogynnsamma, medföra förflyttning av föroreningar som finns i mark och/eller vatten.

Utifrån kunskap om riskklassning av objekt i EBH-registret, förekommande föroreningar, grundvattenförhållanden, jordlagerföljder, grundvattengradienter och -strömningsförhållanden har

sedan en samlad riskbedömning avseende påverkan på förekommande objekt gjorts. Härvidlag har särskilt riskklassningen samt de aktuella föroreningarnas möjlighet till mobilisering i markvattenmatrisen samt grundvattengradienter beaktats.

8. Platsspecifika förutsättningar

I föreliggande delkapitel beskrivs markanvändning, topografi, föroreningar, berggrund, jordlager och jorddjup, geotekniska och hydrogeologiska förhållanden samt övriga relevanta anläggningar inom utredningsområdet.

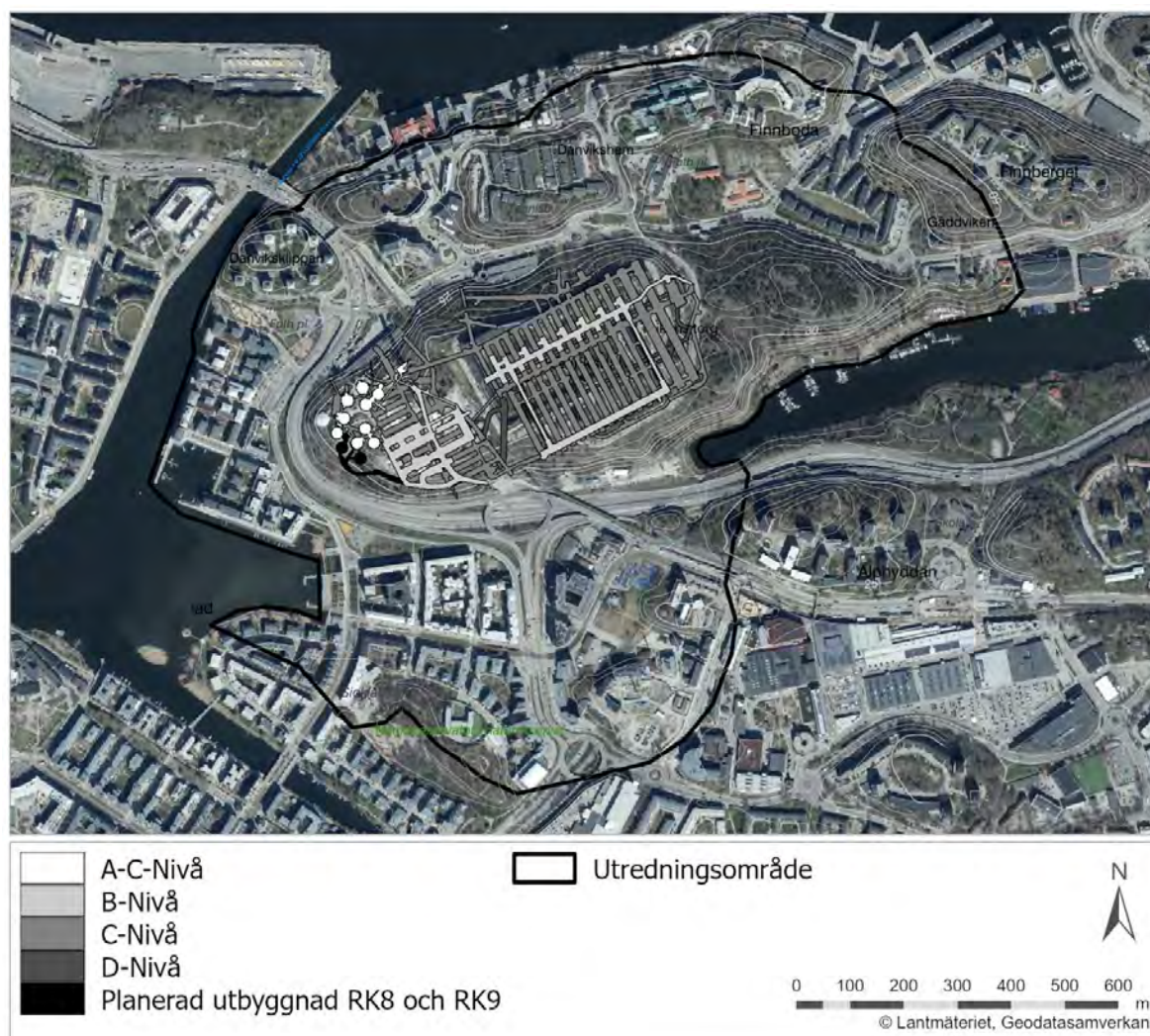
I Figur 15 redovisas en planöversikt med benämningar av områden som på olika ställen beskrivs i texten.



Figur 15. Översikt med områdesbenämningar.

8.1 Markanvändning

Utredningsområdet består till störst del av bebyggda ytor, Figur 16. Omkring Henriksdalsberget går två större vägar; Kvarnholmsvägen och Värmdövägen (väg 222). Söder om Henriksdalsberget går även Södra länken, men endast en liten del av Södra länken är inom utredningsområdet. Genom berget vid Henriksdal går Saltsjöbanan.



Figur 16. Flygfoto och bergumsanläggningen.

Inom utredningsområdet finns även naturmark såsom Trolldalen uppe på Henriksdalsberget. Detta är ett skogsområde i vilket enstaka skyddade träd och trädmiljöer pekats ut (Stockholms stad, 2006). I de östra delarna av utredningsområdet, längs med Svindersviken och vid Danvikens begravningsplats, finns det områden med skyddsvärda trädmiljöer samt några enstaka skyddsvärda träd.

Öster om Henriksdalsanläggningen finns planer på vägdragning för framtida Östlig förbindelse som ska knyta ihop Södra och Norra länken. Den östliga förbindelsen kommer till stor del att gå under mark och går inom utredningsområdet i nordsydlig riktning (Trafikverket, 2022).

8.2 Övriga anläggningar i området

Utöver bergumsanläggningen vid Henriksdal finns ett antal anläggningar inom utredningsområdet som anses vara av betydelse för utredningen då de bedöms påverka grundvattensituationen. De olika anläggningarna listas nedan, varav vissa korsar befintliga och planerade berganläggningar. Av sekretessskäl redovisas inte läget av alla tunnlar.

- Äldre avloppstunnel Södermalm till Henriksdal
- Äldre utlopp i Saltsjön
- Spillvattentunnlar från Södermalm till Henriksdal
- Spill- och dagvattentunnlar från Sickla till Henriksdal
- Tillloppstunnel från Mårtensdal
- Utloppstunnlar från Henriksdal till Saltsjön
- Saltsjöqvarns tunnelgata (vägtunnel)

- Finnbergstunneln (vägtunnel)
- Södra länken (vägtunnel)
- Nya Östbergatunneln, NÖT (dagvattentunnel, pågående anläggningsarbeten)
- Saltsjöbanan (spårtunnel)

8.3 Topografi

Topografin inom utredningsområdet varierar mellan +0 och +57, se Figur 17. Marknivån är som högst uppe på Henriksdalsberget på cirka +57. Berget liknar en plåtå med kraftiga sluttningar i samtliga väderstreck.

I norra delen av utredningsområdet, mellan Henriksdalsberget och Finnboda, finns ett större bergsområde vilket avskiljs av en dalgång längs med Kvarnholmsvägen. I Hammarby sjöstad och Sickla Udde ligger även ett större lågområde med en marknivå som varierar mellan cirka +1 och +5.

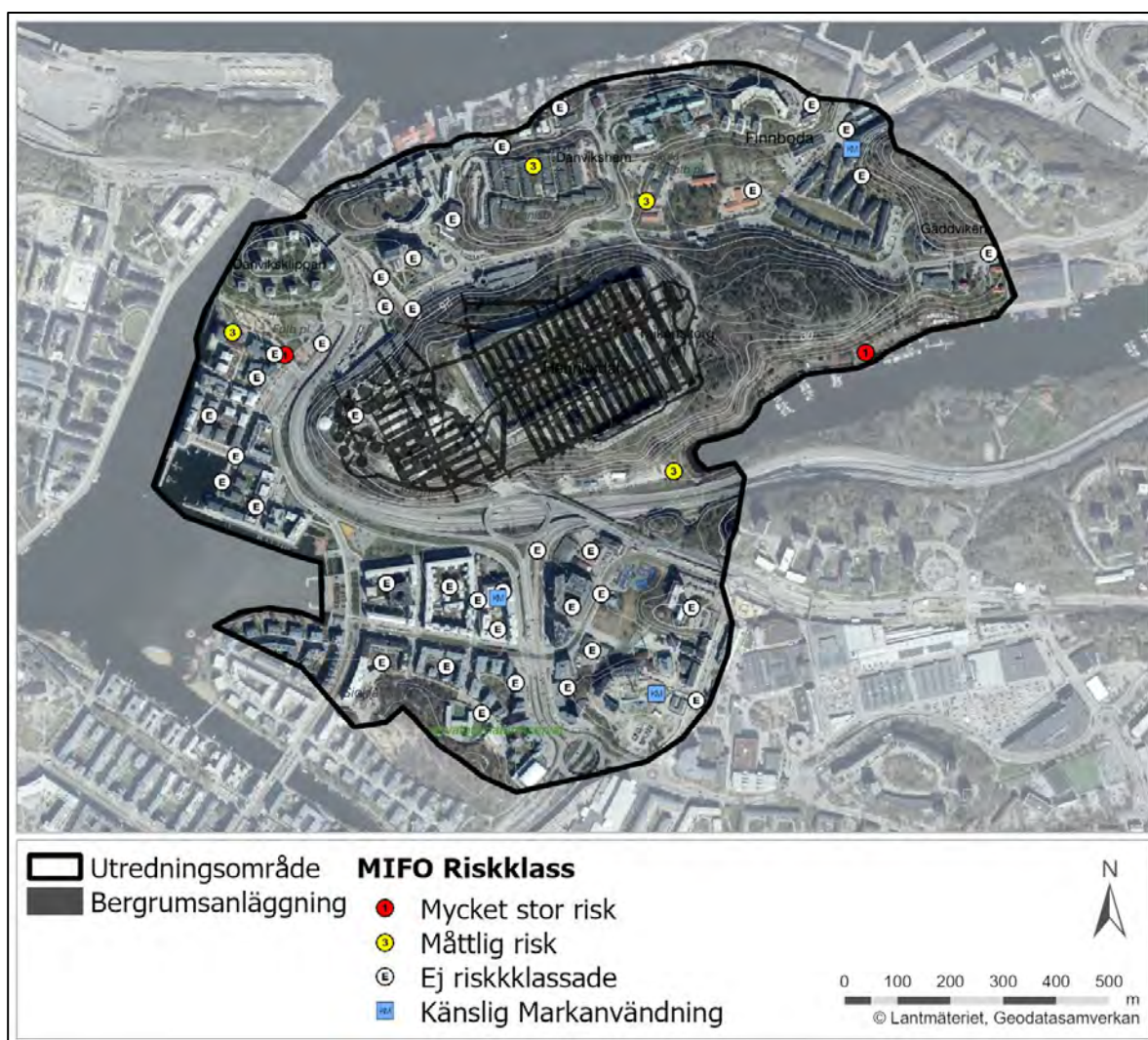


Figur 17. Karta över topografi och markering utav utredningsområde.

8.4 Föroreningar

Enligt EBH-registret finns 44 stycken registrerade MIFO-objekt inom utredningsområdet, se Figur 18. Objekten är klassificerade utefter risk (1 – hög risk till 4 – låg risk) alternativt om objektet är åtgärdat. En hög riskklassning enligt MIFO innebär inte nödvändigtvis att föroreningen är lätttrörlig med grundvatten eller att den riskerar att föras med grundvattnet i samband med planerad vattenverksamhet.

- Klass 1: Mycket stor risk för människors hälsa och miljö
- Klass 2: Stor risk
- Klass 3: Måttlig risk
- Klass 4: Liten risk
- Ej riskklassade



Figur 18. MIFO-objekt inom utredningsområdet. Inga objekt med klass 2 förekommer inom utredningsområdet.

8.5 Berggrund

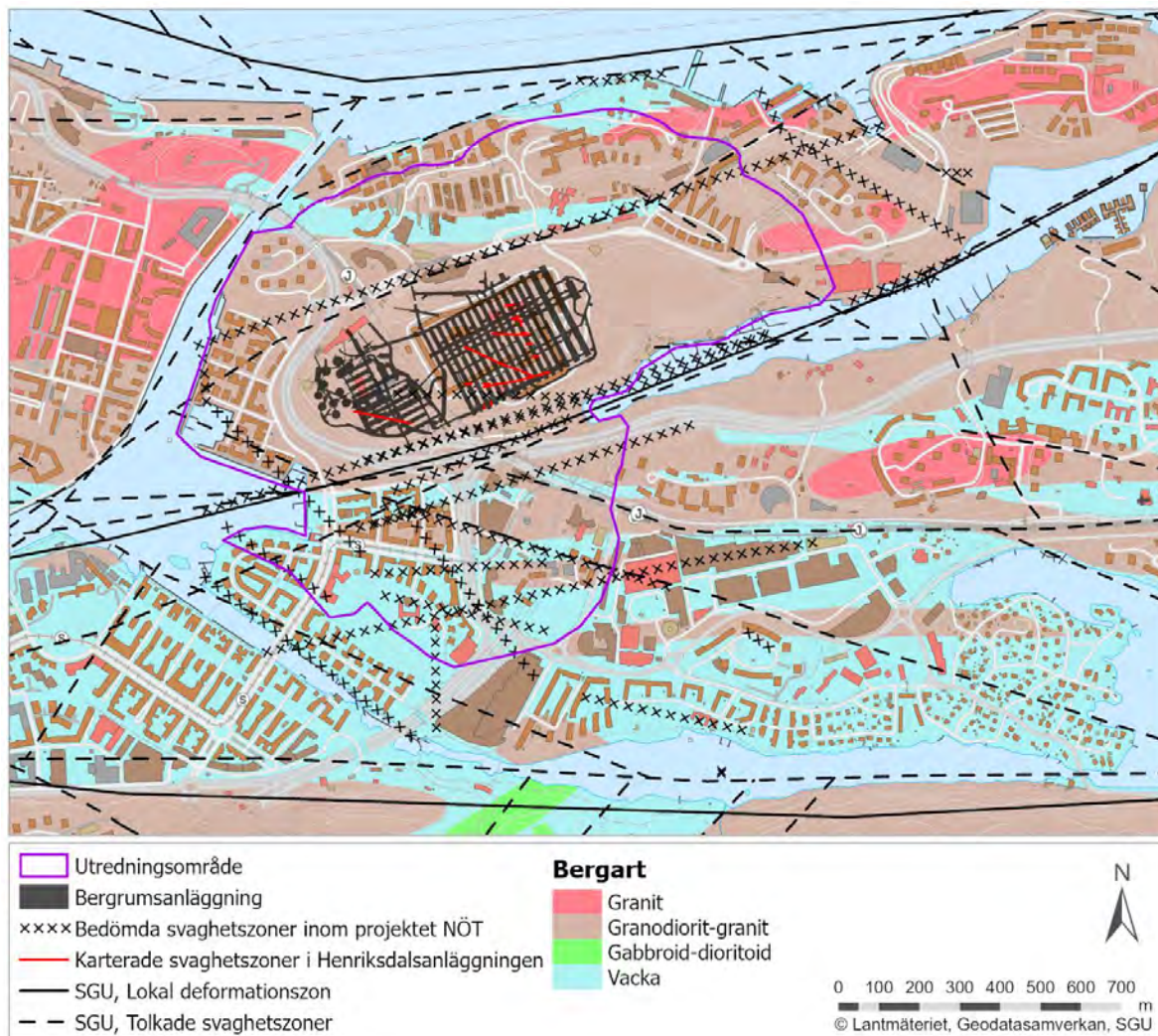
Stockholmsområdet utgörs av ett sprickdalslandskap med stora hållområden och lerfyllda dalar. Svaghetszonerna i berggrunden är generellt belägna i dalarna.

Stockholmstraktens berggrund utgör en liten del av den vidsträckt, nu kraftigt nedvittrade svekokarelska bergkedjezon, som omfattar hela östra Sverige och delar av västra Finland.

Berggrunden är storskaligt mjukt veckad och även lokalt förekommer veckstrukturer. Det finns tre regionala sprickgrupper som stryker i NV – SO, NO – SV och V – O (SGU, 2001). De mest framträdande sprickplanen visar sig främst som lerfyllda dalar och långsträckta sjöar. Dessa sprickgrupper återfinns även på lokal nivå. Spricklängder varierar, men spricklängder uppemot 10 meter är vanligt. Sprickplanen i bergmassan är generellt vattenförande. I sprickorna är sprickfyllnader av kalcit, klorit, och lera vanligt förekommande.

Stockholms berggrund består till största delen av gnejsig granit till granodiorit varvad eller inlagrad med metasediment, se Figur 19. De näst vanligaste bergarterna är metabasit och yngre granit. Metabasit (så kallade grönstenar) är en basisk magmatisk bergart (till exempel diabas, gabbro) som undergått metamorfos.

Större morfologiska linjer i terrängen, så kallade lineament, korsar hela Stockholmsområdet. Lineament är en bra indikator av förmodade tektoniska zoner, så kallade svaghetszoner i berggrunden, vilka påträffas framför allt i svackor i terrängen. Bergplintarna mellan svackorna är med stor sannolikhet opåverkad av plastisk eller spröd deformation. I berggrunden finns svaghetszoner där rörelser i berggrunden kan ske eller har skett. Vissa av dessa svaghetszoner är läkta med kisel och/eller kalcit och består i dag av fast berg. Andra svaghetszoner är uppspruckna och av sämre bergkvalitet.



Figur 19. Berggrundskarta med kända svaghetszoner.

8.5.1 Bergkvalitet

Den befintliga bergrumsanläggningen är insprängd i en större bergplint av i huvudsak god bergkvalitet. I samband med utbyggnader har undersökningar och karaktärisering av berget gjorts. Bland annat konstateras i en rapport över de ingenjörsgelogiska förhållandena från 1991 att berggrunden huvudsakligen har en god kvalitet. Förekommande svaghetszoner och bergsprickor är i allmänhet brantstående med låg vittringsgrad (J&W, 1991). Några större svaghetszoner inom den befintliga bergrumsanläggningen påträffades inte vid karteringen. Detta stämmer överens med den konceptuella bilden av bergplinten mellan två dalgångar som förväntas utgöra lokala krosszoner och dessutom bekräftas av Figur 19. I allmänhet är berget för en uppstickande bergplint av bättre kvalitet och lämpas därmed för den här typen av anläggningar.

I senare undersökningar har bergets kvalitet beskrivits med hjälp av den modell som tagits fram av norska geotekniska institutet (NGI, 2022). Metoden kategoriserar berget i olika kvalitetsklasser (A – G) utifrån Q-värden. Berget kan därefter beskrivas som Exceptionally good (>400), Extremely good (>100), Very good (>40), Good (>10), Fair (>4), Poor (>1), Very poor ($>0,1$), Extremely poor ($>0,01$) eller Exceptionally poor ($<0,01$).

I en sammanfattande beskrivning av Henriksdalsanläggningen bedöms bergkvaliteten i anläggningen som allmänt bra där cirka 60 % av bergmassan bedöms som Qbas 4 – 10 och resterande 40 % som Qbas 1–4 (Chang, Sandstedt, & Indridason, 2020).

I en ytterligare ingenjörsgelogisk prognos som togs fram till systemhandlingen för RK8 konstateras vidare att berget vid läget för de planerade rötkamrarna håller en generellt god kvalitet med förhållandevis låg sprickbildning (Sweco, 2021). I prognosen konstateras att av utvärderade bergkärnor hade 80 % av berget vid de föreslagna rötkamrarna ett Qbas-värde >10 , 15 % hade $4 < Qbas < 10$ och 5 % med $Qbas < 4$.

Sammanfattningsvis bedöms bergrumsanläggningen i huvudsak vara anlagd i berg av god kvalitet. Dessutom är den kvarstående bergplinten i sig ett tecken på god kvalitet, jämfört med omgivande avgränsningar.

8.5.2 Svaghetszoner

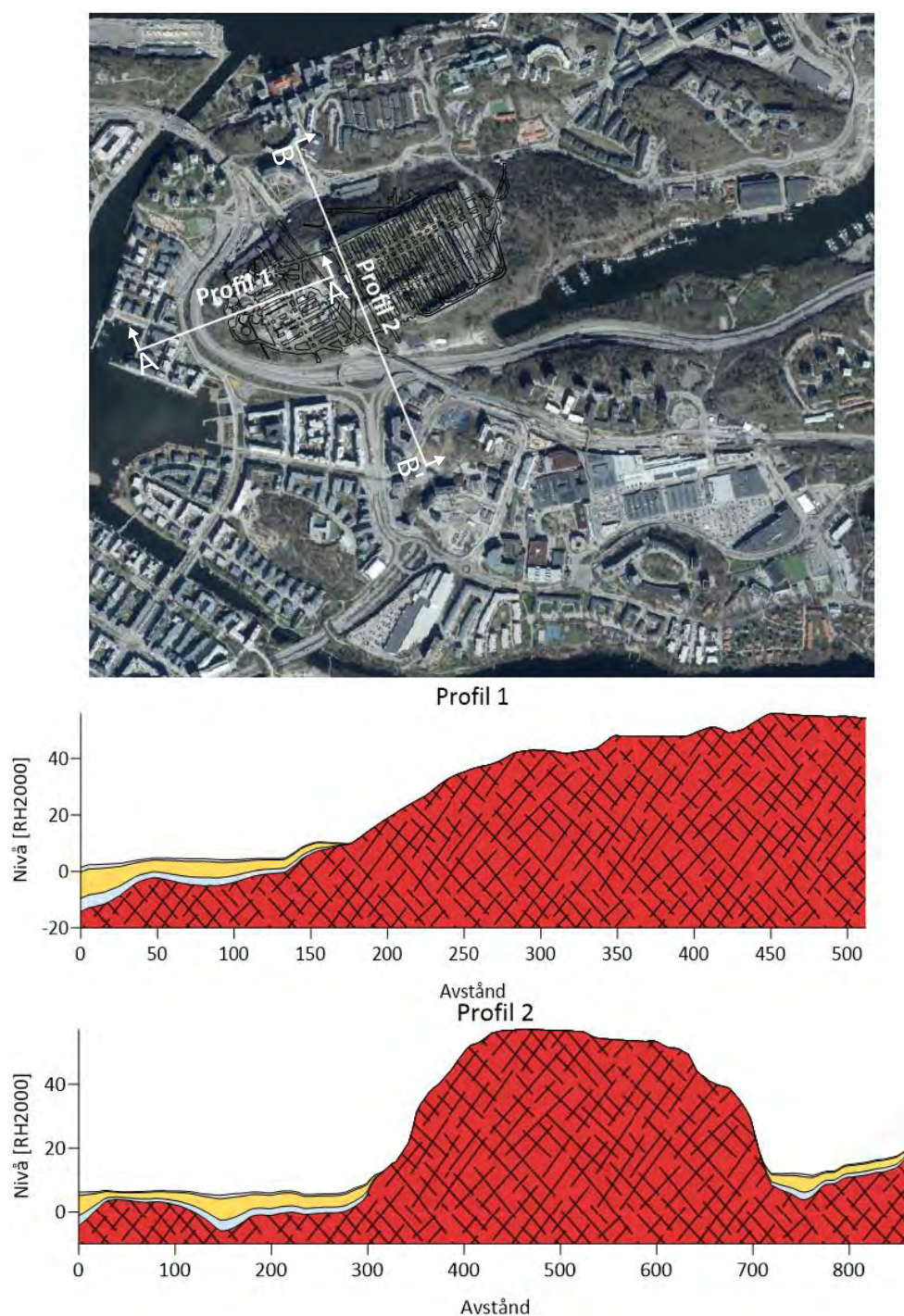
Svaghetszoner i berggrunden är områden där berggrunden är mer benägen att spricka eller deformeras på grund av naturliga svagheter eller geologiska processer. Dessa svaghetszoner kan vara sprickor, förkastningar, veck eller andra strukturella avvikelser i berget. De kan uppstå på grund av tektoniska rörelser, vulkanisk aktivitet, erosion eller annan geologisk påverkan. I allmänhet är svaghetszoner partier som med hydrogeologiska mått beskrivs som sämre berg som har en vattenförande potential.

En cirka 5 meter bred svaghetszon genomkorsar slamutlastningsschaktet i anläggningens östra del med riktningen sydost-nordväst (Chang, Sandstedt, & Indridason, 2020). Vidare konstateras att det i den befintliga anläggningen ställvis uppträder mindre svaghetszoner (mäktighet <2 meter) i bergmassan (Sweco, 2021). Svaghetszonerna är generellt orienterade med en östvästlig strykning och brant till subvertikal stupning. Det förekom även ett antal zoner i sydost – nordvästlig strykning. I den västra delen av befintlig anläggning noterades svaghetszoner med mäktighet >2 meter. Ytterligare en utpekad svaghetszon med en estimerad bredd motsvarande 1 – 2 meter identifierades och bedöms skära anläggningen vid slamavvattningen, strax öster om planerad RK8 och RK9 (SVOA, 2017).

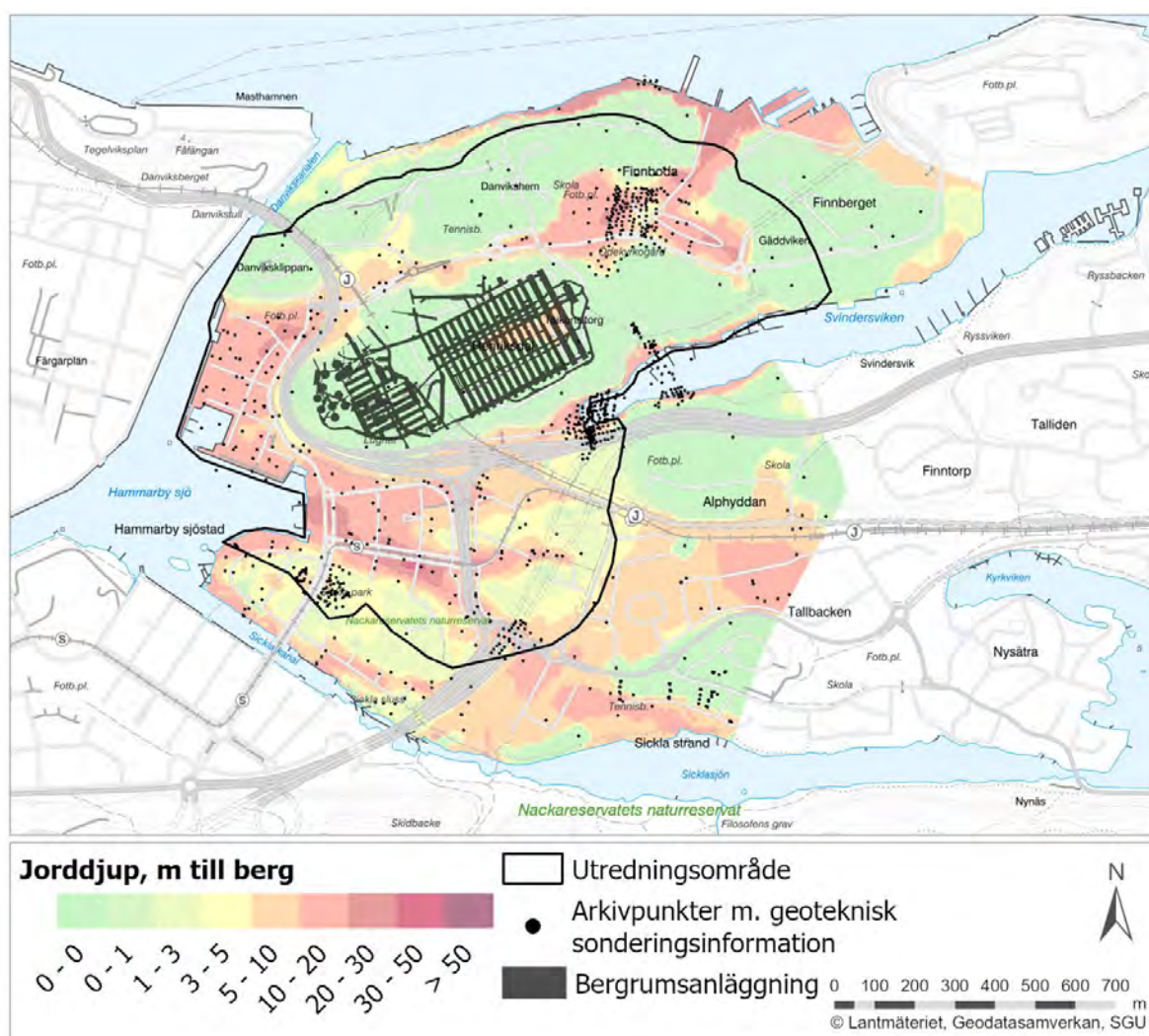
De inom utredningsområdet mer framträdande och observerade zonerna redovisas i Figur 19. tillsammans med zoner som beskrivits inom ramen för projektet med NÖT och SGU:s berggrundskarta.

8.6 Jordlager och jorddjup

I utredningsområdet domineras jordarterna av fyllning som vilar på morän eller lera, vilket illustreras i Figur 20. Under leran förekommer i allmänhet ett lager av morän som ligger direkt på berggrunden. Olika jordmaterials utbredning har antagits med utgångspunkt i SGU:s jordartskarta i kombination med Stockholms stads byggnadsgeologiska karta. Justeringar av jordlagrens utbredning har gjorts med hjälp av sonderingsinformation som funnits tillgänglig i öppna databaser och arkiv, bland annat Stockholm stads geoarkiv.



Figur 20. Tvärsnitt genom Henriksdalsberget. Skalan är förvrängd av visualiseringsskäl. Bildkälla: ©Lantmäteriet, Geodatasamverkan



Figur 22. Jorddjupskarta över utredningsområdet baserat på SGU:s jorddjupsmodell och sonderingar.

8.7 Konsolideringsförhållanden

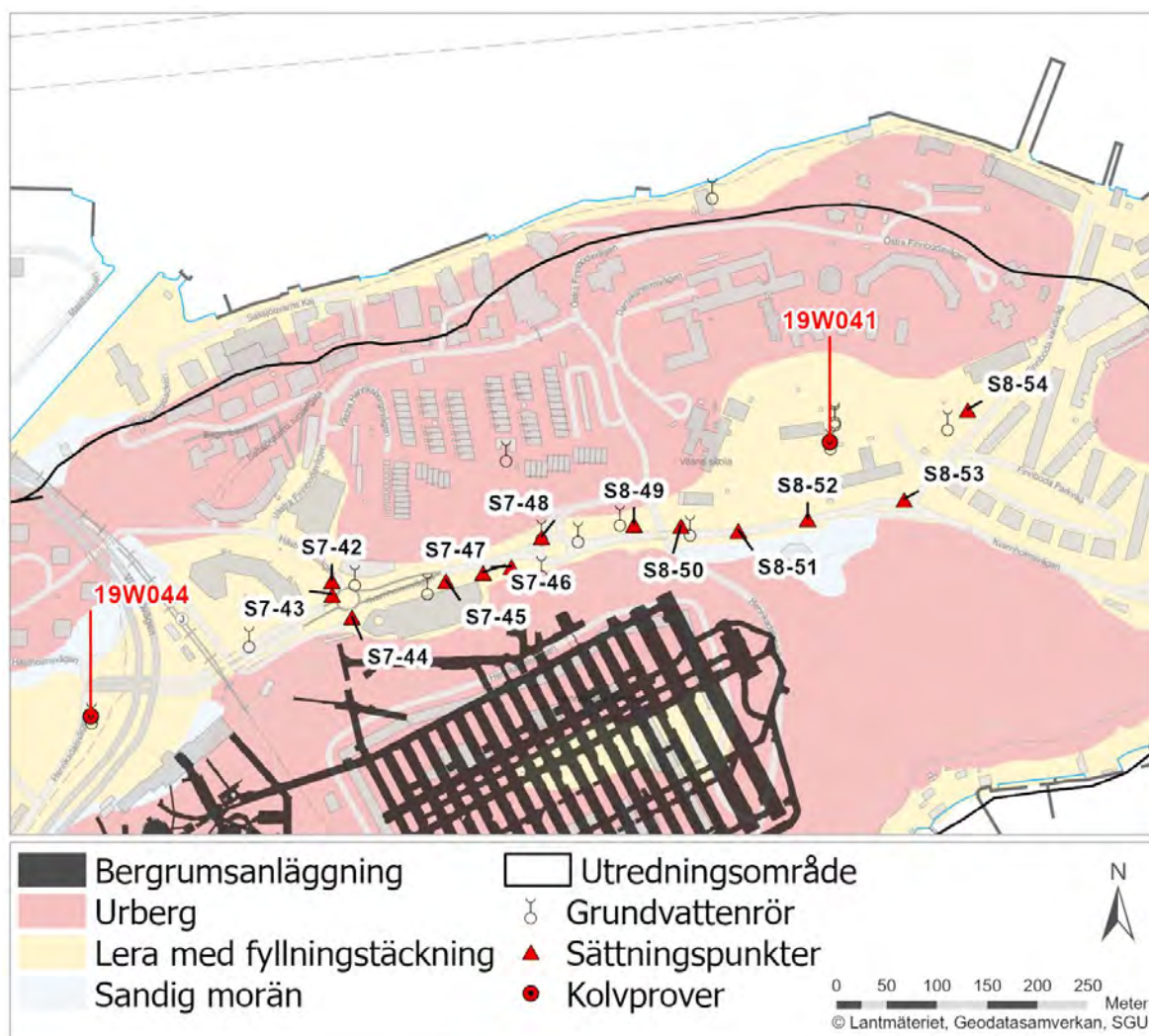
8.7.1 Norra Henriksdal & Kvarnholmssvackan

Lerområdet i Henriksdal sträcker sig i en dalgång mellan fastmarks- och höjdpartierna vid Danvik och Henriksdal. Lerområdet är långsmalt och går i sydvästlig till nordöstlig sträckning, mellan Henriksdalshamnen och Finnboda hamn. Värmdövägen (väg 222), Kvarnholmssvagen och Saltsjöbanan går igenom området.

Vid tidigare installation av grundvattenrör har ostörd lerprovtagning (så kallad kolvprovtagning) utförts i två punkter, 19W041 och 19W044, vilket redovisas i Figur 23 (SVOA 2020).

Leran i området vid undersökningspunkterna 19W041 och 19W044 bedöms inte vara konsoliderad för jordens rådande spänningssituation. Detta innebär att marksättningar bedöms pågå i området. Leran inom området är sättningskänslig och vid en grundvattensänkning kommer sättningar att uppstå.

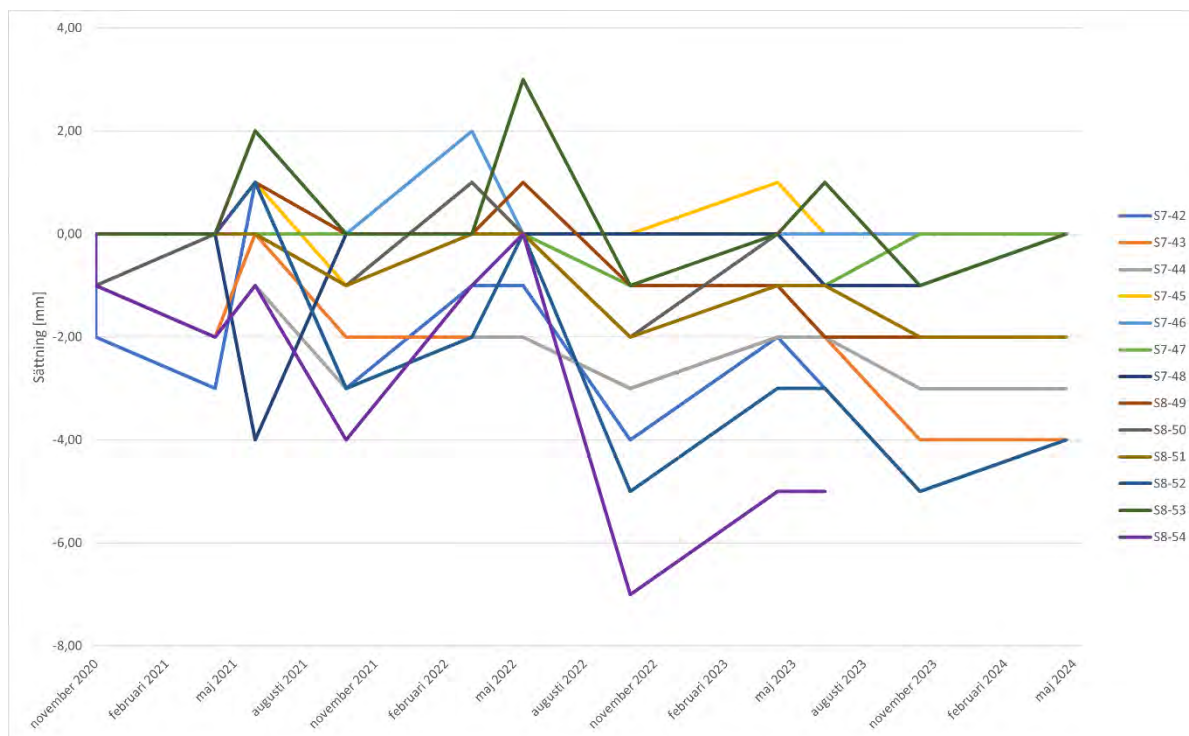
I området vid undersökningspunkt 19W044 förekommer större mäktighet fyllningsjord (6 meter i beräkningspunkten) ovan den naturliga jorden, vilket bedöms ha orsakat den pågående konsolideringsprocessen och sättningarna.



Figur 23. Grundvattenrör, sättningsmätningar och kolvprover.

Inom ramen för SVOA:s pågående utbyggnad av NÖT utförs sättningsmätningar sedan 2020 inom projekt NÖT:s påverkansområde för grundvatten. Mätningar utförs cirka tre gånger per år. De senaste sättningsmätningarna gjordes i maj/juni 2024. Mätningarna visar ingen pågående väsentlig

trend med markrörelser i området (Figur 23 och 24), men eventuellt finns indikationer på att det pågår sättningar i mindre omfattning i de östra delarna av Kvarnholmssvackan. Projekt NÖT bedömer att de totala sättningarna vid dessa punkter uppgår mellan mätstart och den senaste mätningen till ca 4 mm, vilket motsvarar en sättningstakt i storleksordning 1 mm/år. Samtidigt påbörjades rörelserna i området innan Nya Östbergatunneln nådde berört magasin och visar således ingen påverkan från tunneldrivningen. Mätpunkten S8-54 har sedan maj 2023 utgått från kontrollprogrammet.



Figur 24. Sättningsmätningar, Kvarnholmssvackan.

8.7.2 Södra Henriksdal & Sickla udde

Lerområdet i Sickla udde breder ut sig mellan fastmarks- och höjdpartierna vid Henriksdal, Hammarby sjöstad och Sickla. Genom området sträcker sig Sicklavägen (väg 260), Värmdövägen (väg 222) och Saltsjöbanan. Södra länken passerar i områdets östra del, huvudsakligen under mark. I området finns huvudsakligen byggnader för bostäder och verksamheter.

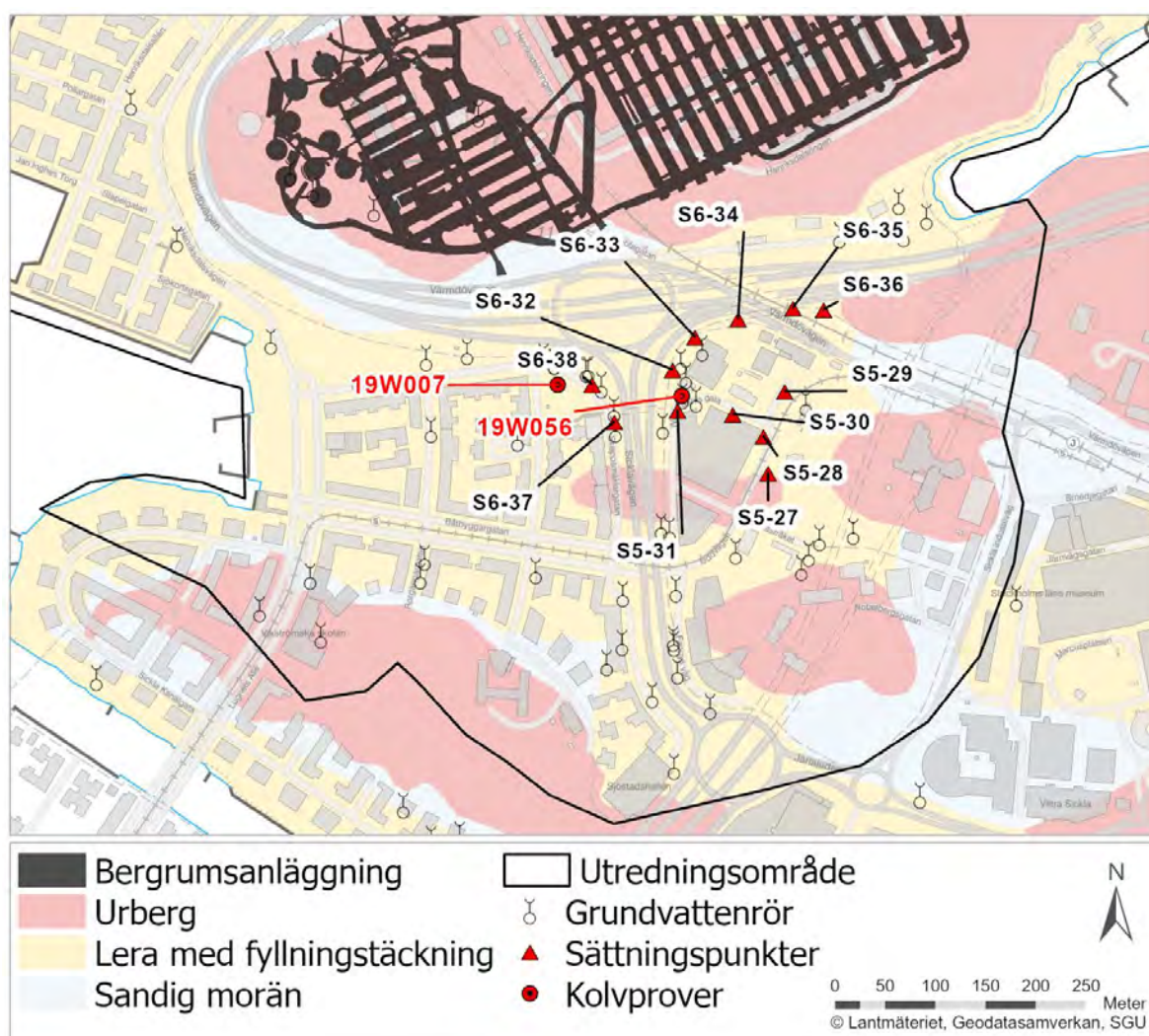
Vid tidigare installation av grundvattenrör har ostörd lerprovtagning utförts i två punkter, 19W007 och 19W056, vilket redovisas i Figur 25.

Leran i området vid undersökningspunkt 19W007 bedöms inte vara konsoliderad för jordens rådande spänningssituation. Detta innebär att marksättningar bedöms pågå i området. Leran inom området är sättningskänslig och vid en grundvattensänkning kommer sättningar att uppstå.

I området vid punkt 19W007 ligger en större mäktighet fyllningsjord (8 meter i undersökningspunkten) ovan den naturliga jorden vilket bedöms orsakat den pågående konsolideringsprocessen och sättningarna.

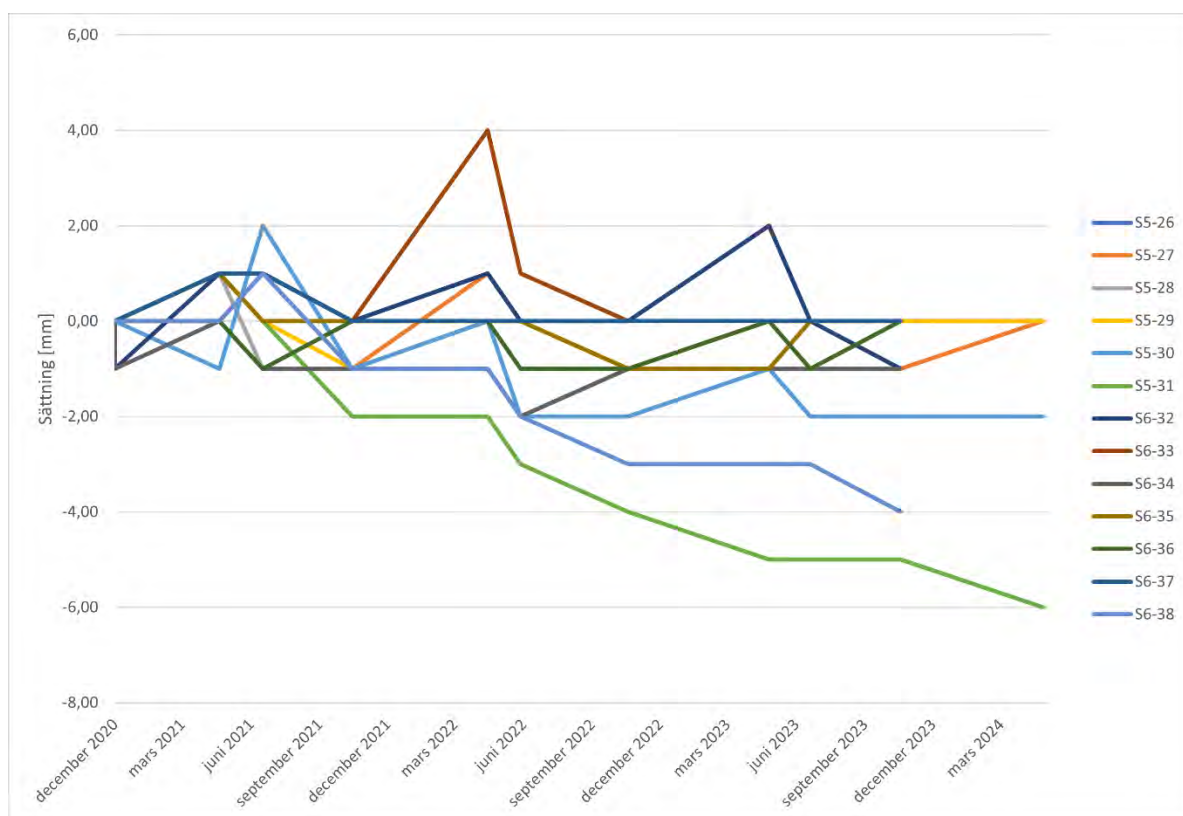
I punkt 19W056 bedöms leran vara normalkonsoliderad för jordens rådande spänningssituation.

Enligt FUT uppgår beräknade sättningar vid 3,0 meter grundvattensänkning till mellan 1 och 14 centimeter efter 2 år samt mellan 5 och 34 centimeter efter 50 år. Risk för pågående sättningar noteras för områdets västra och södra delar.



Figur 25. Grundvattenrör, sättningsmätningar och kolvprover.

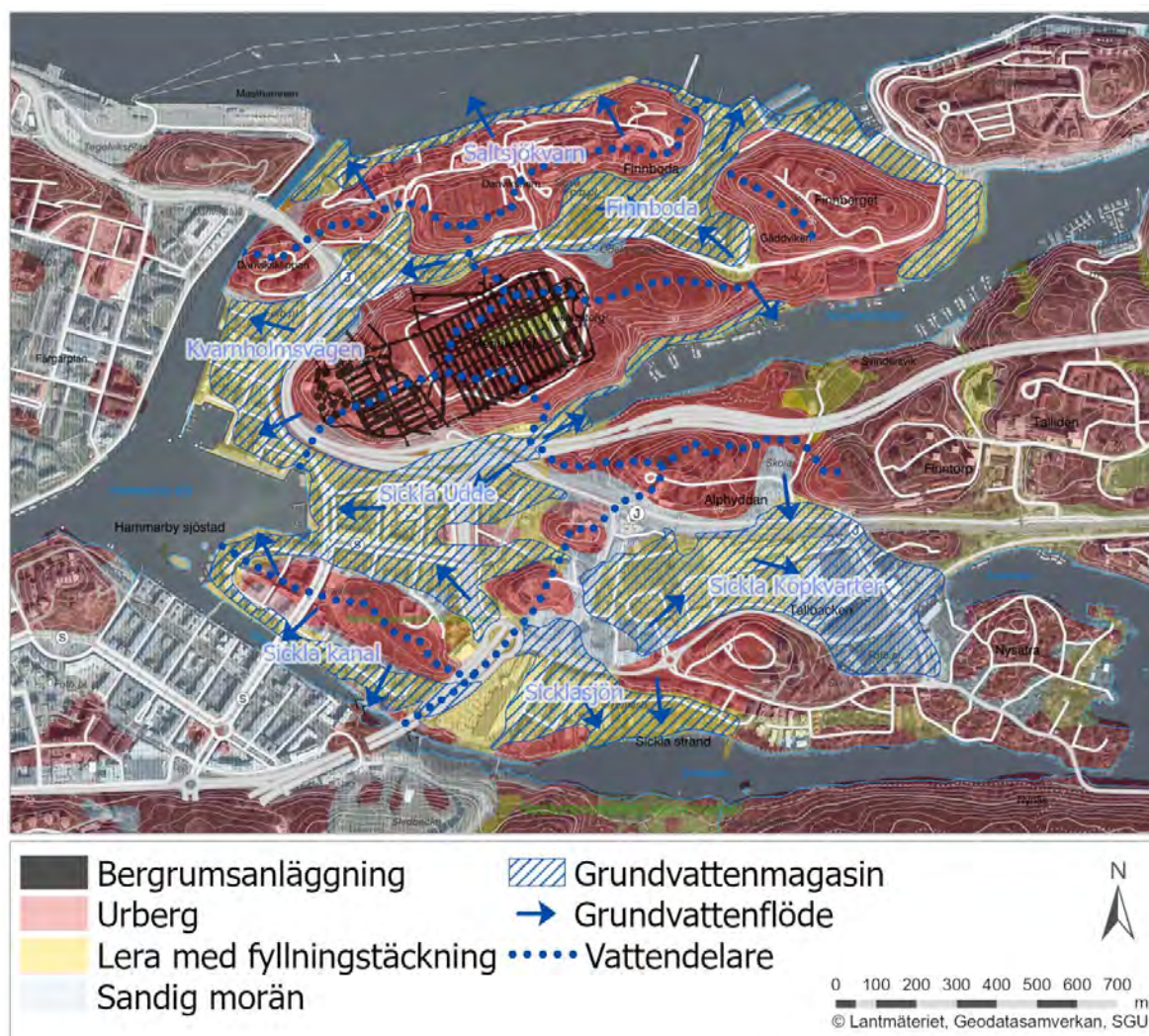
Inom ramen för SVOA:s pågående utbyggnad av NÖT utförs sättningsmätningar sedan 2020 inom projekt NÖT:s påverkansområde för grundvatten, mätningar utförs cirka tre gånger per år. Mätningarna visar ingen pågående trend med markrörelser i området i stort, men två dubbar tyder på pågående sättningar; S6–38 och S5–31 (se Figur 25 för placering och Figur 26 för trend). Samtidigt påbörjades rörelserna i området innan Nya Östbergatunneln nådde berört magasin och visar således ingen påverkan från tunneldrivningen.



Figur 26. Sättningsmätningar, Sickla.

8.8 Hydrogeologiska förhållanden

De hydrogeologiska förhållandena beskrivs utifrån dagens situation, det vill säga inklusive den påverkan som sker från den befintliga bergrumsanläggningen vid Henriksdals avloppsreningsverk likväl som den påverkan som övriga berg- och tunnelanläggningar utgör på grundvattenförhållandena (Figur 27).



Figur 27. Hydrogeologisk översikt.

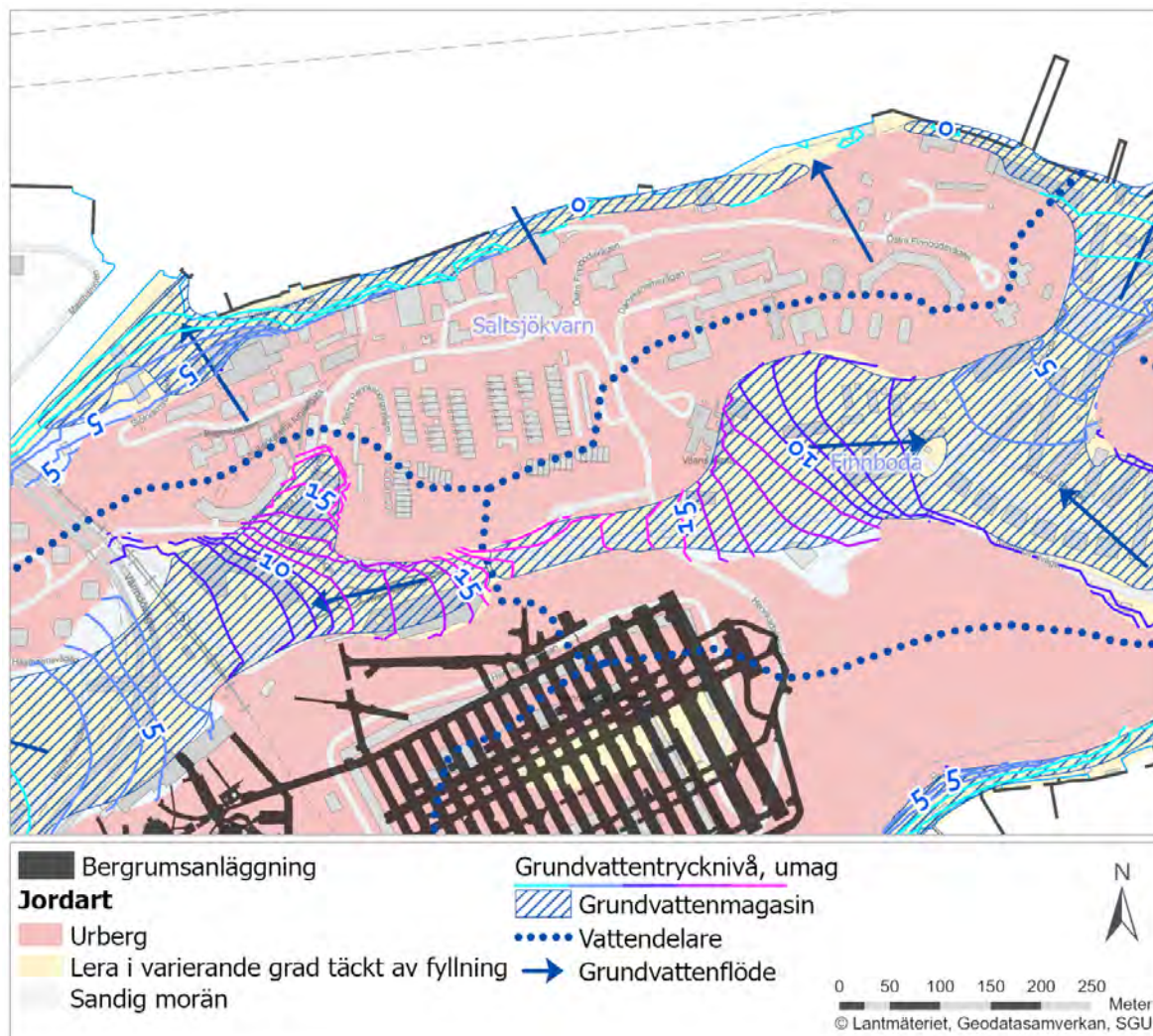
Den mättade zonens mäktighet i jord enligt modellberäkningarna redovisas i Figur 28, vilket bekräftar magasinsindelningen ovan.



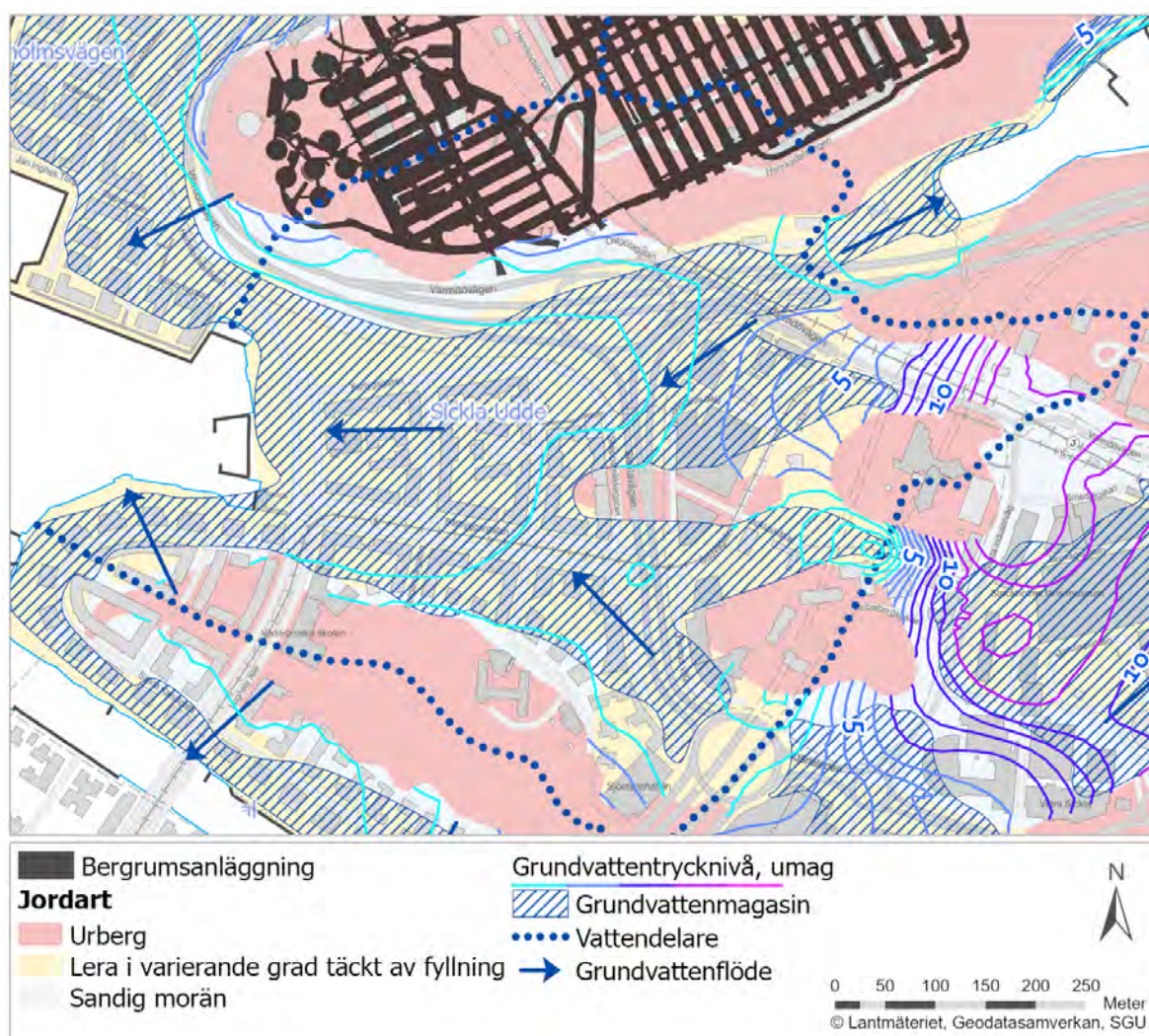
Figur 28. Den mättade zonens mäktighet i jord.

8.8.1 Grundvattnets strömningsriktningar, vattendelare och magasin

Grundvattnets flödesriktningar i större skala och grundvattendelare i området kring Henriksdals reningsanläggning har antagits utifrån observationer av grundvattennivå, topografi, jorddjup och sonderingar. I Figur 29 och 30 visas grundvattnets trycknivåer i friktionsjord och dess isolinjer i området omkring Henriksdals reningsanläggning.



Figur 29. Grundvattnets trycknivåer i friktionsjord samt dess isolinjer i området norr om Henriksdals reningsanläggning.



Figur 30. Grundvattnets trycknivåer i friktionsjord samt dess isolinjer i området söder om Henriksdals reningssanläggning.

8.8.2 Grundvattennivåer i jord och berg

Grundvattenbildningen och topografin varierar inom utredningsområdet. Grundvattennivåerna skiljs därav åt till viss del inom utredningsområdet. Grundvattennivåerna har påverkats av den mycket exploaterade marken i området. Nedan redovisas grafer för grundvattenobservationsrör där SVOA, inom ramen för sina kontrollprogram för grundvatten, kontinuerligt mäter grundvattennivåer. En översikt över alla observationspunkter som inventerats eller installerats inom ramen för utredningen ges av Figur 31.



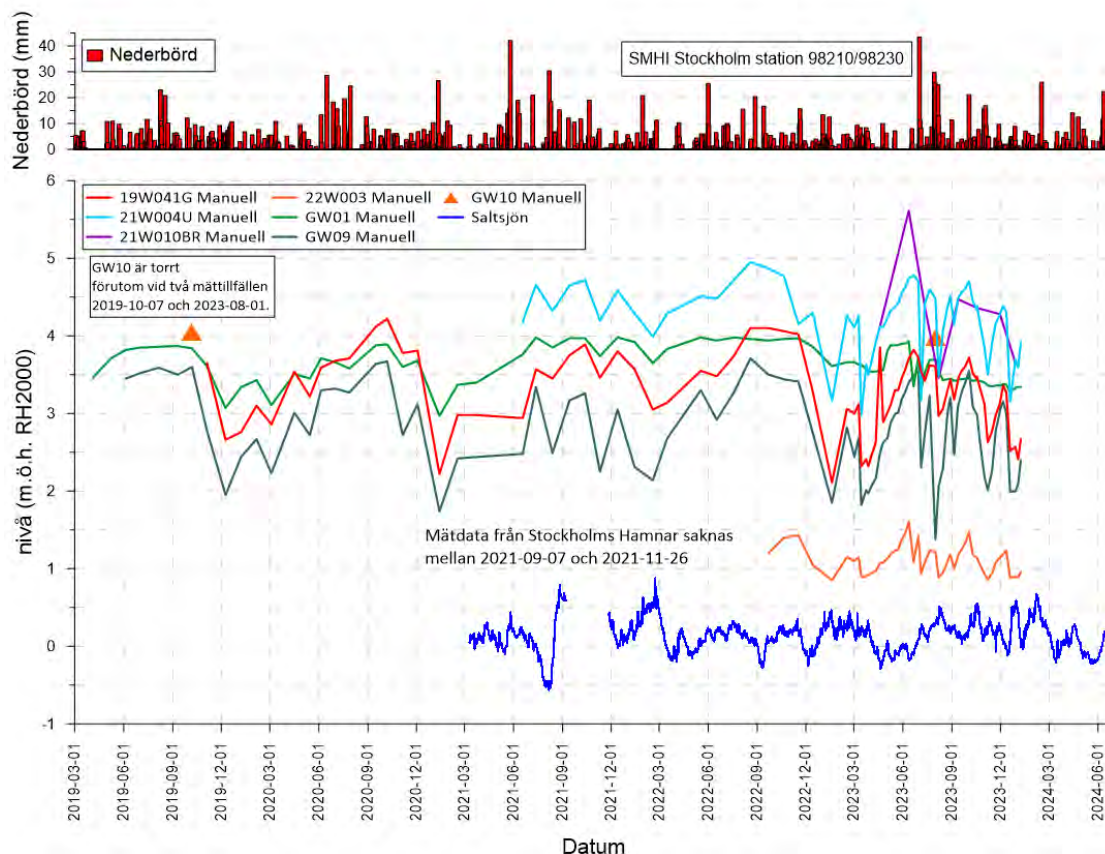
Figur 31. Grundvattenobservationsrör som inventerats eller installerats inom ramen för utredningen.

8.8.2.1 Norra Henriksdal & Kvarnholmssvackan

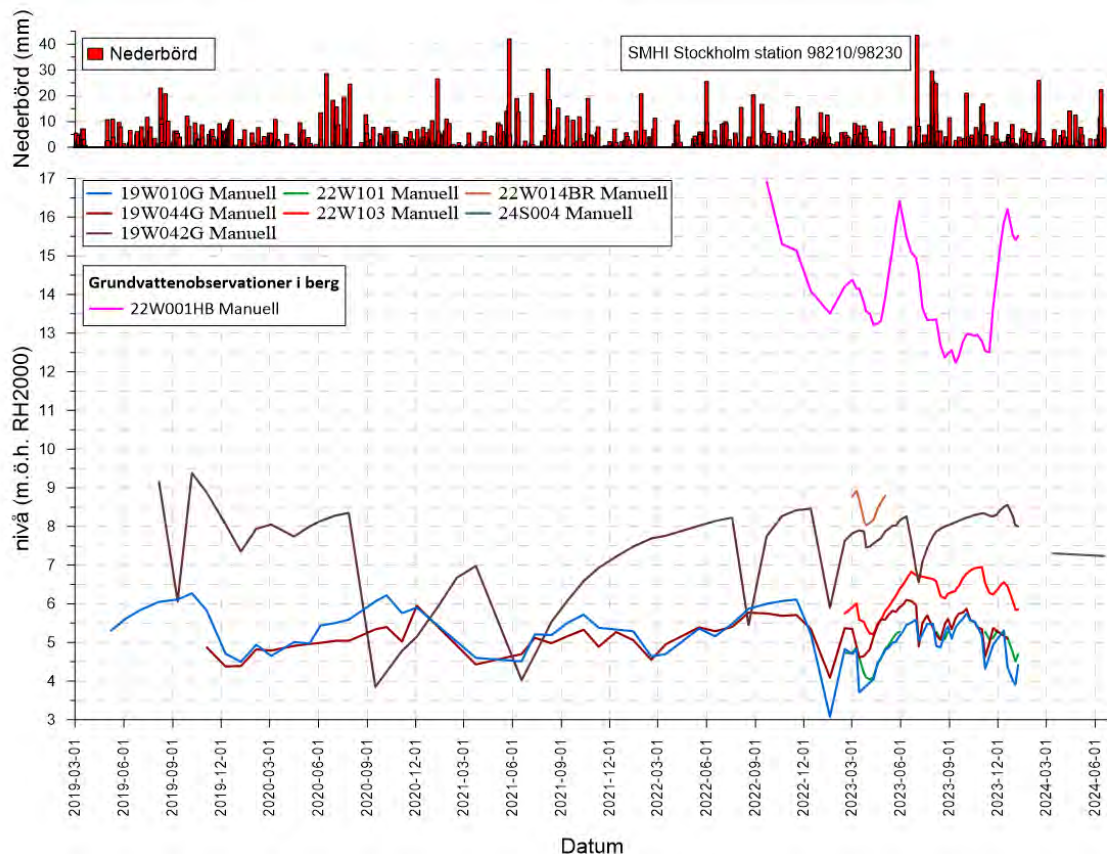
Norr om Henriksdals bergrumsanläggning finns ett grundvattenmagasin vid Kvarnholmsvägen. Det är ett smalt grundvattenmagasin i lersvackan vilket är beläget mellan två bergshöjder. Avrinningen sker både nordöst och sydväst varvid en grundvattendelare finns någonstans mitt i svackan. Vattendelarens läge förväntas variera beroende på grundvattennivån i området. Magasinet vid Saltsjökvärn, mellan bergshöjden och Saltsjön, bedöms vara utanför det befintliga bergrumsanläggnings påverkansområde.

Figur 32 och 33 visar grundvattennivåerna norr om bergrumsanläggningen under de senaste 5 åren. Under dessa år har grundvattennivån i jord legat mellan cirka +1 och +8 i området. Grundvattennivåerna norr om Henriksdalsberget är, på grund av den kraftiga exploateringen i området (bland annat Kvarnholmsvägen, bebyggelse, reningsverket), sannolikt avsänkta. Avsänkningen härstammar troligtvis från den sammantagna påverkan från den urbana miljön och inte nödvändigtvis till stor del eller endast från bergrumsanläggningen, se avsnitt 9.1. Nivåerna

fluktuerar en till två meter med undantag för ett observationsrör. Inga trender avseende sjunkande nivåer kan observeras. I figuren redovisas även grundvattennivån i det hammarborrhål (22W001HB) som borrats i berg norr om Henriksdalsberget.



Figur 32. Grundvattennivåer norr om Henriksdals reningsverk (2019-03-01 – 2024-06-19), del 1.



Figur 33. Grundvattennivåer norr om Henriksdals reningsverk (2019-03-01 – 2024-06-19), del 2.

Mätningar av grundvattennivåer i jord visade på nivåer mellan +3 och +9. Generellt varierade nivåerna i jord med cirka 2 meter utom för ett av observationsrören.

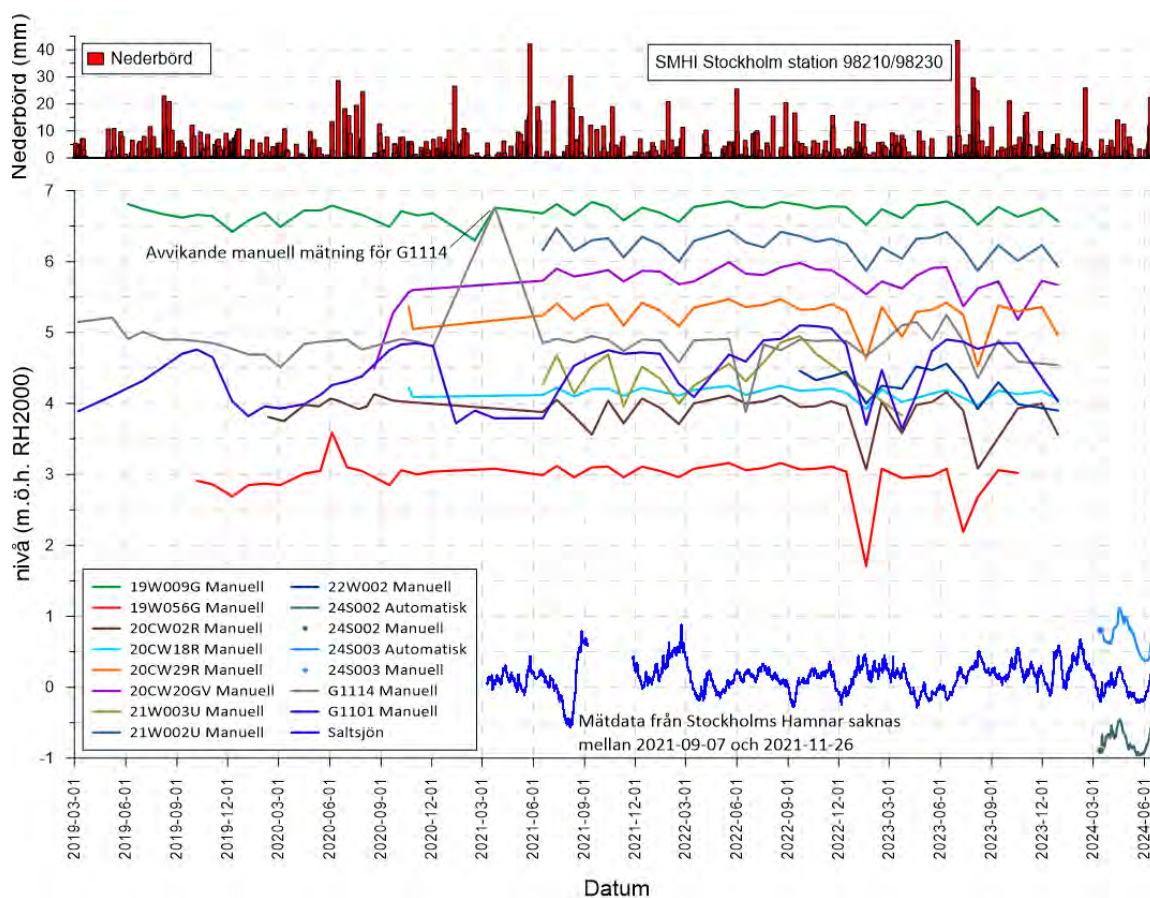
Trots en noterad avsänkning i berg (Kvarnholmsringen, 22W001HB) som kan vara orsakad av inläckage till tunneln visar inga mätpunkter inom det norra påverkansområdet någon tydlig påverkan på grundvattennivåer i jord från tunneldrivningen (Figur 27).

8.8.2.2 Södra Henriksdal & Sickla udde

Söder om Henriksdals bergrumsanläggning finns ett större grundvattenmagasin i friktionsjorden. I magasinet går grundvattengradienten främst västerut och avrinningen sker till stor del ut mot Hammarby sjö. I de sydöstra delarna sker troligen en viss avrinning ner mot Södra länken.

Figur 34 visar grundvattennivåerna söder om reningsverket under de senaste 5 åren. Under dessa år har grundvattennivån legat mellan +3 och +7 i området. Grundvattennivåerna söder om Henriksdalsberget är, på grund av den kraftiga exploateringen i området (bland annat Värmdövägen, Södra länken, bebyggelse och bergrumsanläggningen), sannolikt avsänkta. Avsänkningen härstammar troligtvis från den sammantagna påverkan från den urbana miljön och inte nödvändigtvis till stor del eller endast från bergrumsanläggningen. Nivåerna fluktuerar en till två meter. Inga trender avseende sjunkande nivåer kan observeras.

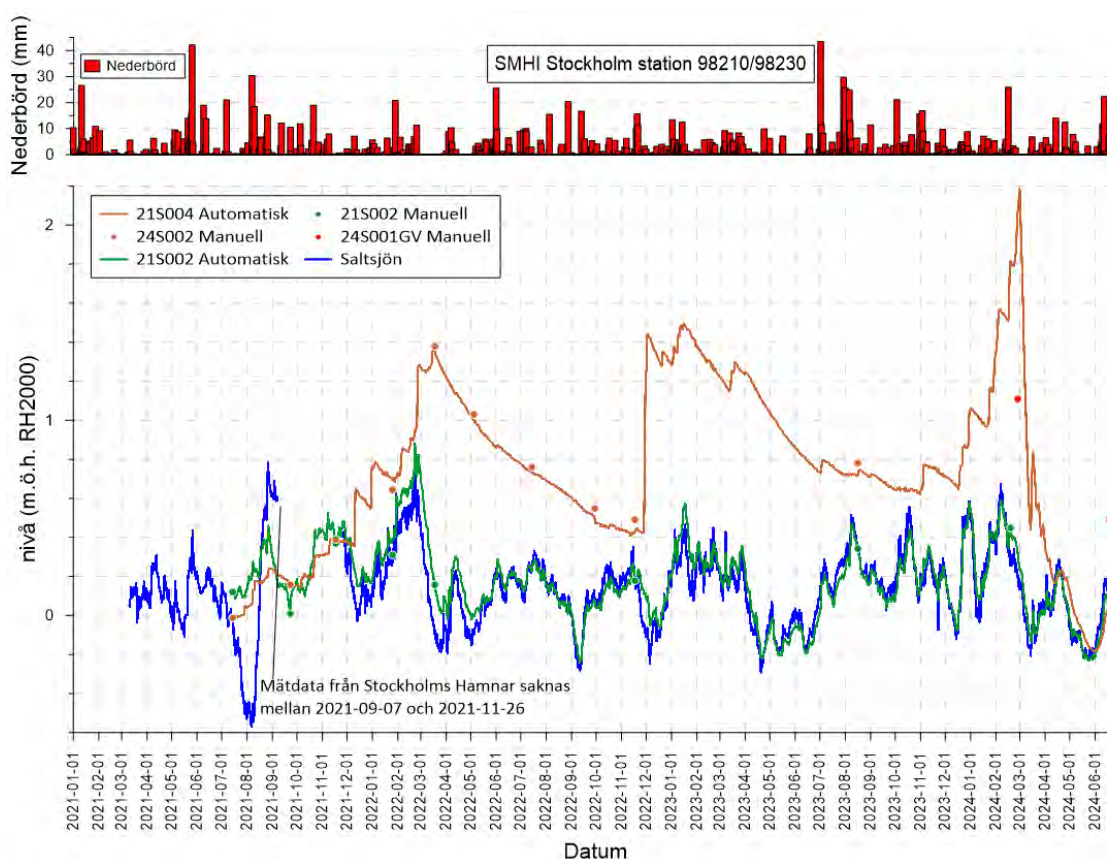
Trots att mätserien är kort är det tydligt att grundvattennivån i 24S003 samvarierar väl med Saltsjön. Grundvattenmagasinet sydöst om anläggningen bedöms därför ha god hydraulisk kontakt med Svindersviken.



Figur 34. Grundvattennivåer söder om Henriksdals reningsverk (2019-03-01 – 2024-06-19).

8.8.2.3 Västra Henriksdal

Figur 35 visar grundvattennivåerna väster om bergrumsanläggningen under de senaste 3 åren. Under dessa år har grundvattennivån legat mellan +0 och +2 i området. Väster om Henriksdals reningsanläggning finns ett större område med ett grundvattenmagasin i friktionsjord som bedöms ha god hydraulisk kontakt med Hammarby sjö. Detta då grundvattennivån i grundvattenrör 21S002 och 24S002 samvarierar nästintill identiskt med vattennivåer i Saltsjön.

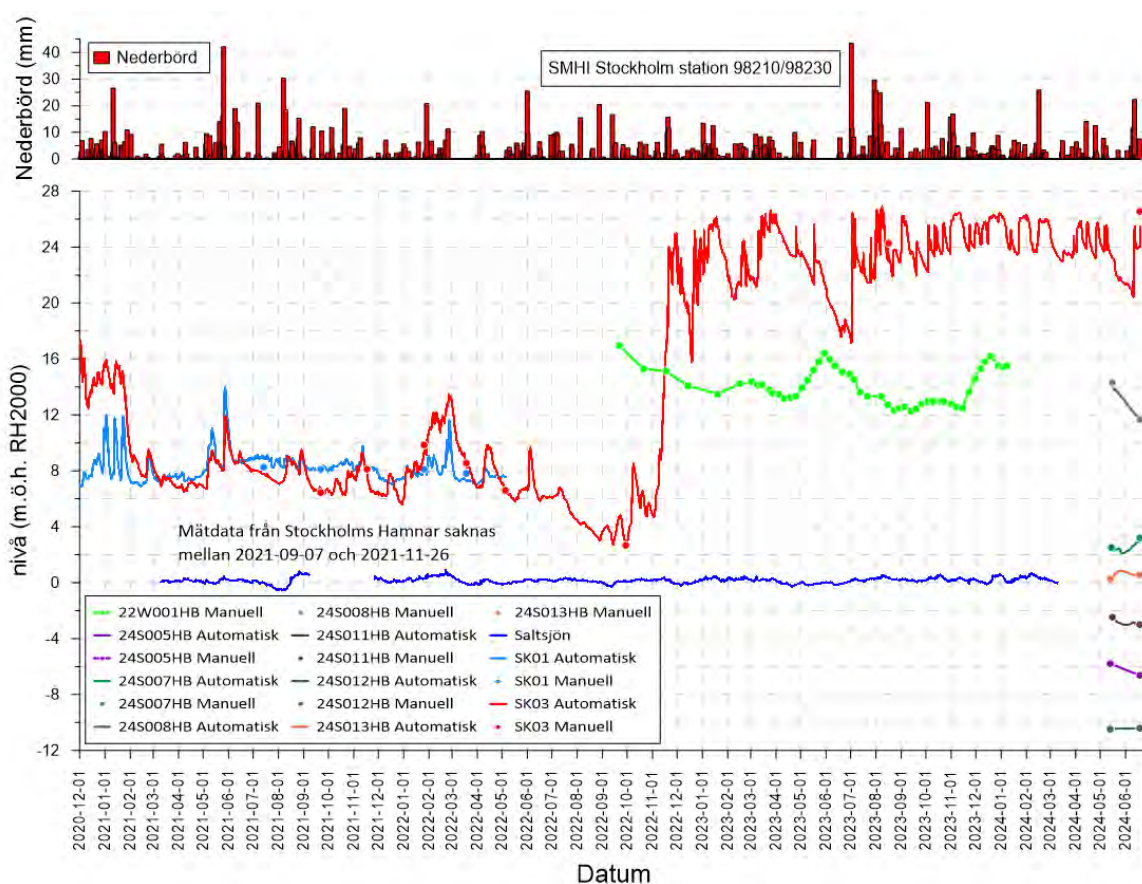


Figur 35. Grundvattennivåer väster om Henriksdals reningsverk (2021-01-01 – 2024-06-19).

I samma figur illustreras grundvattennivåer erhållna från grundvattenrör 21S004. Nivåvariationerna speglar inte det naturliga för det undre magasinet, vilket är att samvariera väl med sjön. Grundvattenrörets filter har installerats i ett tätare jordlager, något som inte är representativt för det undre magasinet. Se Bilaga 6:2 för installationsuppgifter för samtliga grundvattenrör.

8.8.2.4 Henriksdalsberget

Henriksdalsberget består nästan helt av berg i dagen och det finns således inget grundvattenmagasin i friktionsjord på platsen. I berget förekommer grundvatten i spricksystem. Figur 36 visar grundvattennivåerna i Henriksdalsberget de senaste cirka 3,5 åren.



Figur 36. Grundvattennivåer erhållna från hammarborrhål installerade i Henriksdalsberget (2020-12-02 – 2024-06-19).

De längsta mätserierna för grundvattennivå i Henriksdalsberget har erhållits från borrhål benämnda SK01 och SK03. Dessa observationspunkter installerades i syfte att undersöka grundvattnets trycknivåer där RK8 och RK9 planeras att byggas. Mätningar i SK01 erhöles under cirka 1,5 år innan punkten övertäcktes med massor och snö. SK03 är fortfarande åtkomlig och mätdata erhålls än idag från observationspunkten. Strax före årsskiftet 2022/2023 steg grundvattennivån med cirka 20 meter. Grundvattnets trycknivå i punkten har varierat +15 och +27 sedan dess. Skälet till stigningen är inte fastslagen, men troligtvis har borrhålet påverkats och mist sin funktion.

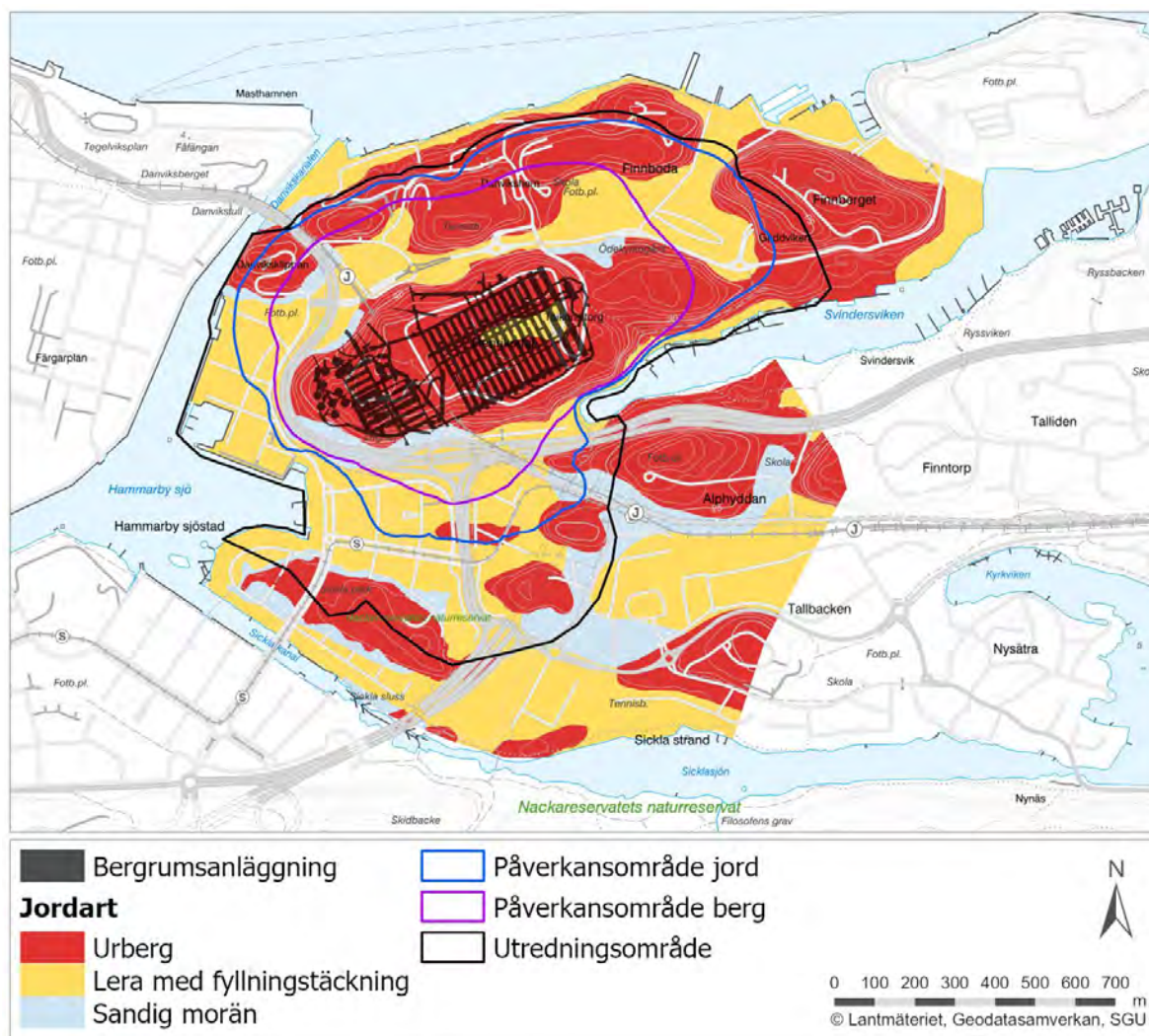
Fem nya observationspunkter installerades under våren 2024. Mätningar i dessa indikerar att grundvattennivåerna är avsänkta i berget där Henriksdalsanläggningen är belägen. Mitt i anläggningen är trycknivåerna lägre än +0 och utåt anläggningen (österut) avtar avsänkningen och grundvattennivåerna stiger.

9. Beskrivning av grundvattenbortledning

9.1 Påverkan på grundvattennivåer och strömningsriktningar

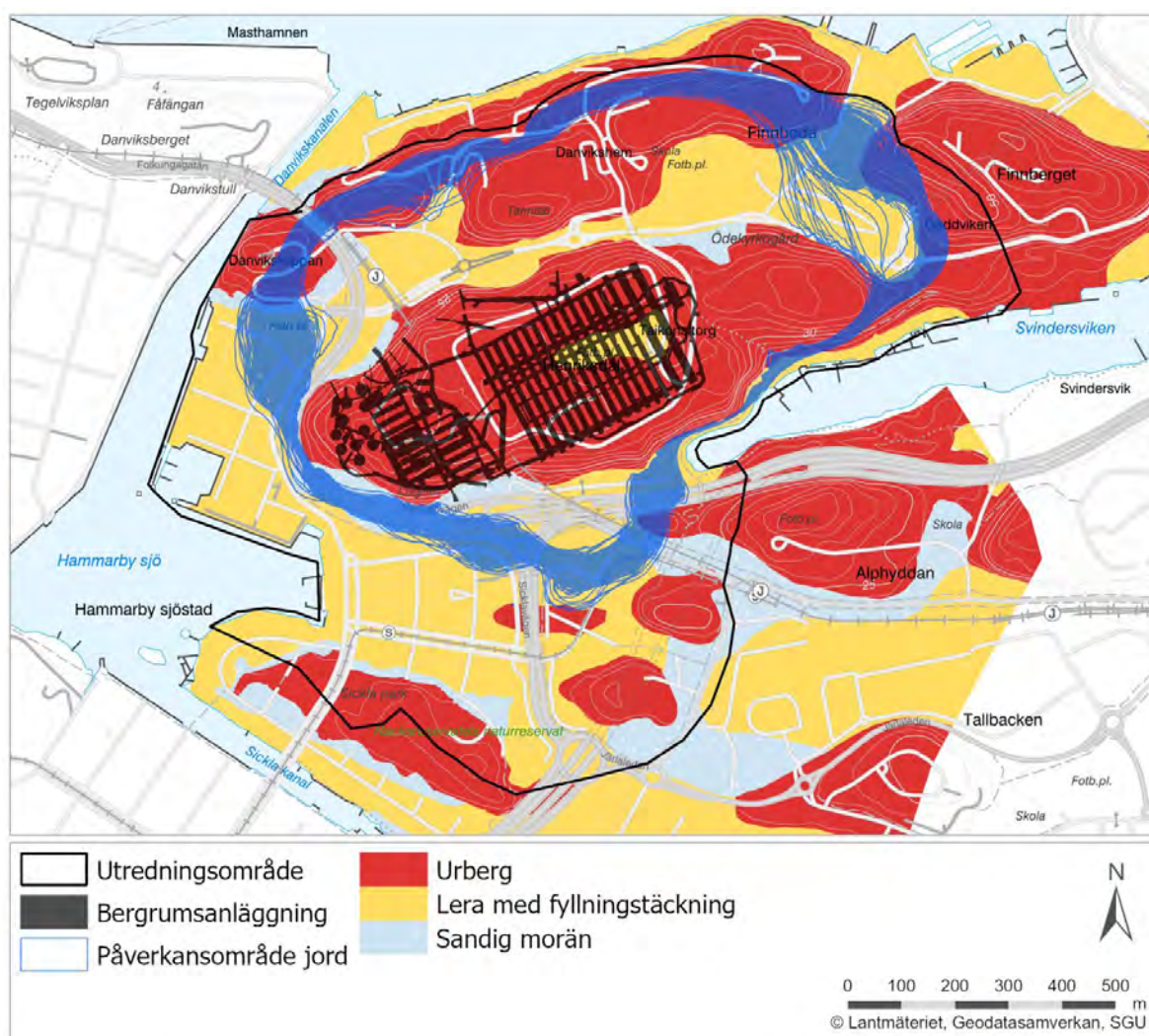
Bergrumsanläggningen dränerar omgivningen genom bergets sprickor, och påverkan fortplantar sig genom den förväntade kontakten mellan ytligt berg och ett huvudsakligen slutet undre grundvattenmagasin. En tredimensionell numerisk grundvattenmodell har använts för att undersöka storleken på påverkan, som enligt beräkningsmodellen breder ut sig cirka 400 meter från bergrumsanläggningen i jord och cirka 300 meter i berg. I Figur 37 redovisas påverkansområdet i jord och berg som orsakas av bergrumsanläggningen. I figuren presenteras utbredningen av det påverkansområde som har utvecklats från anläggningens uppförande till dagens situation. En påverkan som alltså anses ha uppkommit för mer än cirka 25 år sedan.

Den befintliga bergrumsanläggningen har medfört att trycknivån och grundvattennivån i berg har sjunkit jämfört med nivåerna innan anläggningen sprängdes ut. Påverkan från den befintliga bergrumsanläggningen på grundvattentrycket och nivåerna i berg bedöms ha varit konstant i de västra delarna av påverkansområdet i 50 år, respektive 25 år i de östra delarna. Det bedöms att grundvattentrycket i berg har stabiliserats. Ytterligare sänkning av grundvattentrycket i berg förväntas endast i direkt anslutning till nyare utsprängda delar. Detta eftersom de delar som sprängts ut efter 1998 har anlagts inom tidigare definierade gränser för bergrumsanläggningen och/eller över tidigare dränerade nivåer. Mot denna bakgrund bedöms att påverkan på grundvattentrycket utanför den bergplint som utgör Henriksdalsberget inte har ökat efter 1998. Därför bedöms grundvattentrycket i jord inom påverkansområdet ha stabiliserats i de västra delarna under minst 50 år och i de östra delarna under 25 år. Det förväntas ingen framtida förändring av grundvattensituationen till följd av den befintliga bergrumsanläggningen.

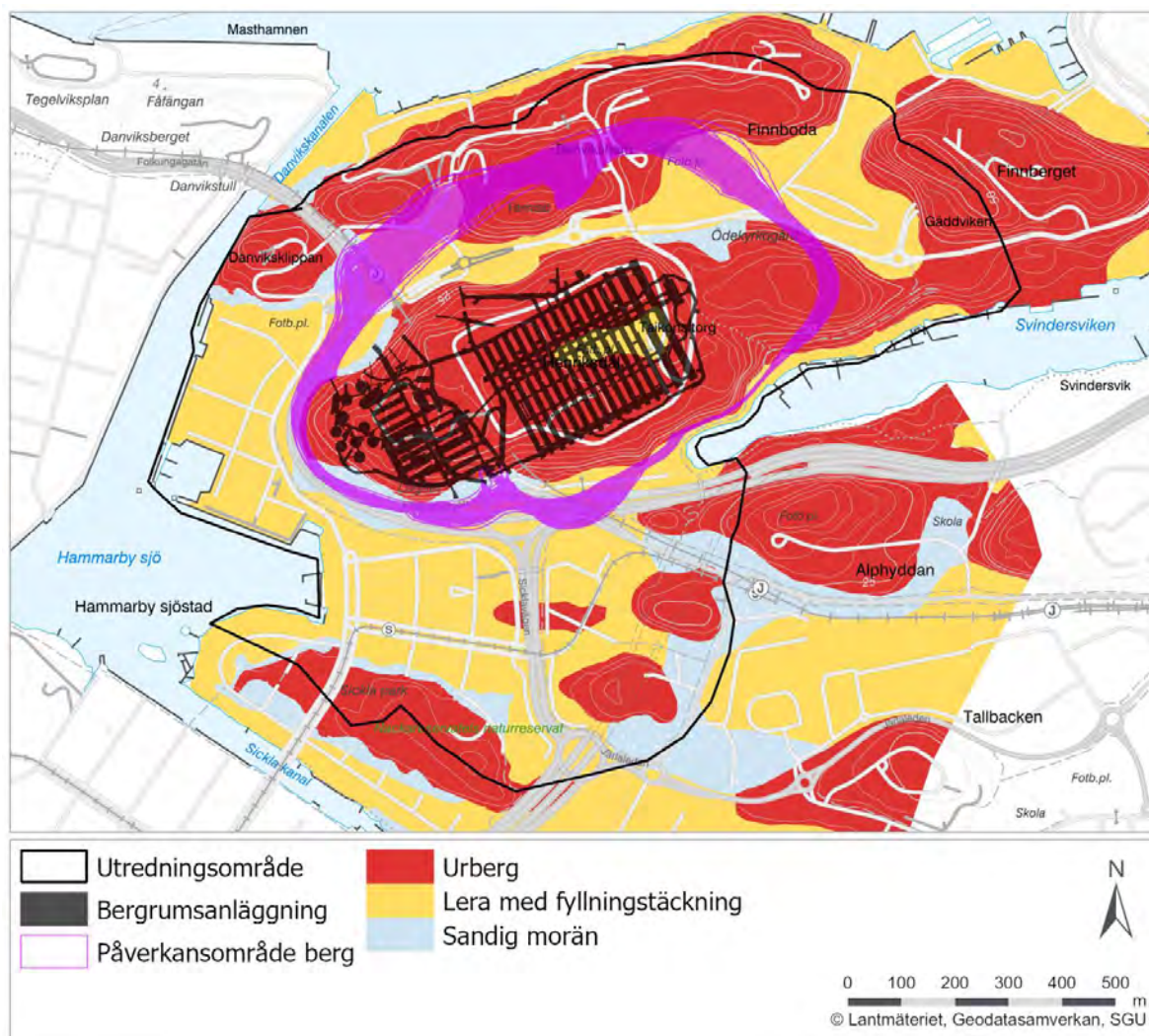


Figur 37. Bedömt påverkansområde i jord och berg för hela anläggningen inklusive påverkan till följd av RK8 och RK9.

I Figur 38 och 39 redovisas samtliga isolinjer som beskriver beräknade påverkansområden för hela modellensembelen. Det innebär att påverkansområdet redovisas som totalt 351 kalibrerade utfall avseende påverkan i jord och berg. Det av projektet bedömda påverkansområdet har valts som den yttre gränsen av de samlade påverkansområdena i figuren vilket därmed inrymmer den osäkerhet som förknippas med varje modellutfall.



Figur 38. Blå linjer markerar gränsen för påverkansområdet i jord (R_{03}). I figuren ingår totalt 351 olika kalibrerade modellsimuleringar som resulterar i varsitt beräknat påverkansområde.



Figur 39. Lila linjer markerar gränsen för påverkansområdet i berg (R_1). I figuren ingår totalt 351 olika kalibrerade modellsimuleringar som resulterar i varsitt beräknat påverkansområde.

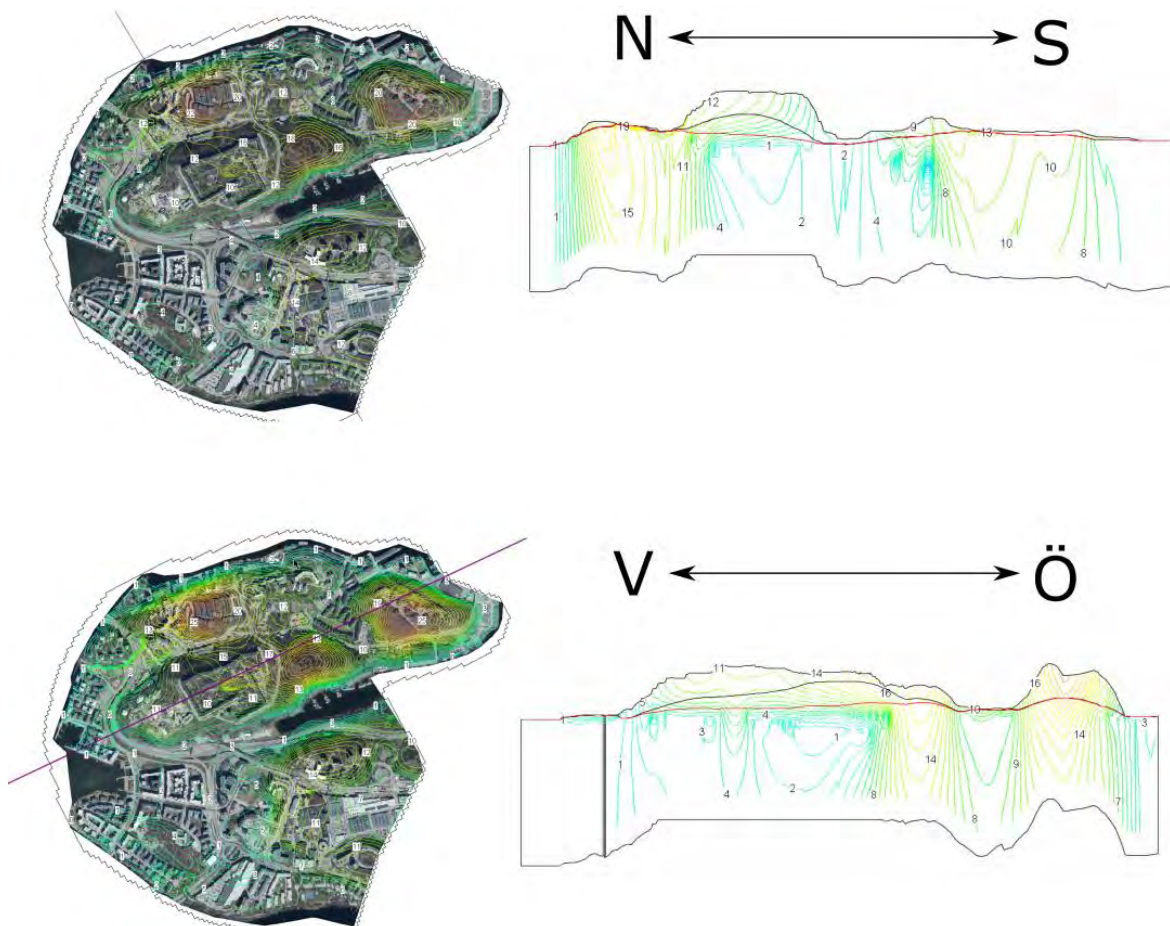
Modellen bedöms överdriva utbredningen av grundvattenpåverkan i jord. I verkligheten finns ingen jord i stora delar av området, varför det snarare bör ses som en trycksänkning i ytligt berg

En tydligare representation av grundvattentrycksänkningen i undre magasin i jord erhålls i stället i Figur 40. I figuren har områden med berg i dagen exkluderats och redovisad påverkan avser därmed endast påverkan på jordmagasinet.



Figur 40. Grundvattentrycksänkning i undre magasin i meter enligt grundvattenmodell. Bildkälla: Lantmäteriet.

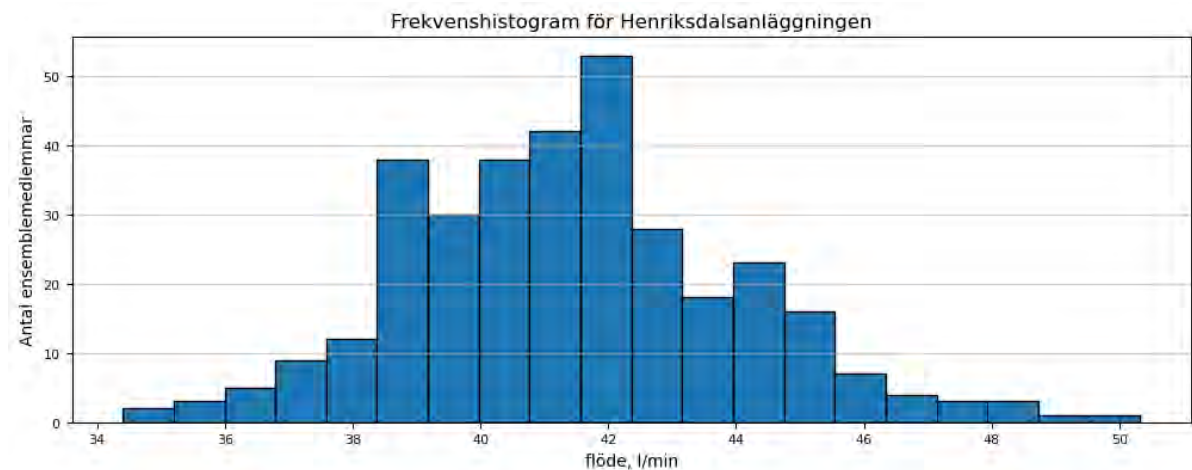
En redovisning av grundvattentrycknivåerna för två utvalda tvärsnitt genom anläggningen går att se i Figur 41. Det framgår av figuren att grundvattentrycket avtar närmare anläggningens djupa delar men att det trots detta förekommer en grundvattenyta över anläggningsnivå. Den fria grundvattenytan representeras av en svart linje för det historiska fallet där anläggningen inte finns representerad i simuleringen. Röd linje markerar den fria vattenytan för det avsänkta fallet, eller dagens situation. Skillnaden mellan röd och svart linje beskriver alltså avsänkningen till följd av bergrumsanläggningen.



Figur 41. Grundvattentrycknivåer enligt grundvattenmodellering. Redovisas som isolinjer en meters ekvidistans för två valda tvärsnitt genom anläggningen.

9.2 Påverkan på vattenbalansen

Det samlade inläckaget till bergrumsanläggningen, inklusive utbyggnaden av RK8 och RK9, uppgår enligt modellberäkningen till mellan cirka 35 – 50 l/min, se Figur 42. En översiktlig vattenbalans över Henriksdalsberget gör gällande att med en grundvattenbildning som konservativt antas uppgå till 100 mm/år ger ett samlat tillgängligt flöde motsvarande cirka 80 l/min, genom produkten av grundvattenbildning och area. Detta skulle innebära att cirka 40 – 60 % av det tillgängliga vattnet avleds till bergrumsanläggningen. I praktiken kan en lägre grundvattenbildning förväntas över berget i medeltal då stora delar av området är brantstående och blottat berg i kombination med vissa partier av tätande jordarter vars infiltrationskapacitet är begränsad. Det går därför att anta att en betydande andel av de 100 millimeter tillgängliga i vattenbalansberäkningen rinner av ytligt och inte kommer bergets spricksystem till godo.



Figur 42. Simulerade grundvatteninläckage till bergrumsanläggningen inklusive RK8 och RK9 (Bilaga 6:4). Osäkerhetsintervallet för inläckaget är cirka 35 – 50 l/min.

9.3 Påverkan på marksättningar från befintlig anläggning

Mindre marksättningar bedöms pågå i Kvarnholmssvackan. Enligt de mätningar som SVOA genomfört är storleken på sättningarna mellan 0 och 5 millimeter under tidsperioden 2020 – 2024. För området söder om Henriksdal och Sickla Udde har 0 och 6 millimeter marksättningar registrerats under samma tidsperiod. I de flesta mätpunkterna har ingen sättning registrerats under de senaste fyra åren. Baserat på satellitmätningar¹ finns det indikationer på pågående mindre marksättningar i området kring Värmdövägen och Saltsjöbanan norr om Henriksdalsberget. Dessa mätningar är dock behäftade med stor osäkerhet, särskilt på individuell nivå då mätpunkternas representativitet för området inte är garanterad på motsvarande vis som när de vägs av. Sammanfattningsvis kan konstateras att det pågår mindre marksättningar, ställvis runt Henriksdalsberget. De pågående marksättningarna är ett resultat av att leran inte är konsoliderad för jordens rådande spänningssituation.

Området på och omkring Henriksdalsberget är kraftigt exploaterat, avvattnat och hårdgjort, vilket minskat grundvattenbildningen. Detta i kombination med flertalet förekommande dränerande tunnel- och bergrumsanläggningar i området (kapitel 8.2 och 9.1) har resulterat i dagens grundvattennivåer. Den avsänkning av grundvattennivåer som exploatering i kombination med befintliga dränerande anläggningar resulterat i bedöms ha orsakat pågående marksättningar. Dessutom är områdena i Kvarnholmssvackan och söder om Henriksdalsberget utfyllda med mäktiga lager av fyllningsjord (upp till 8 meter) vilka också bedöms orsaka de pågående sättningarna.

Mot bakgrund av ovanstående bedöms den pågående grundvattenbortledningen från den befintliga bergrumsanläggningen, givet bergrumsanläggningens påverkan på grundvattentrycket i jord varit densamma i minst 25 år, orsakat försumbara sättningar, särskilt då uppmätta marksättningar är små (någon upp till några mm/år).

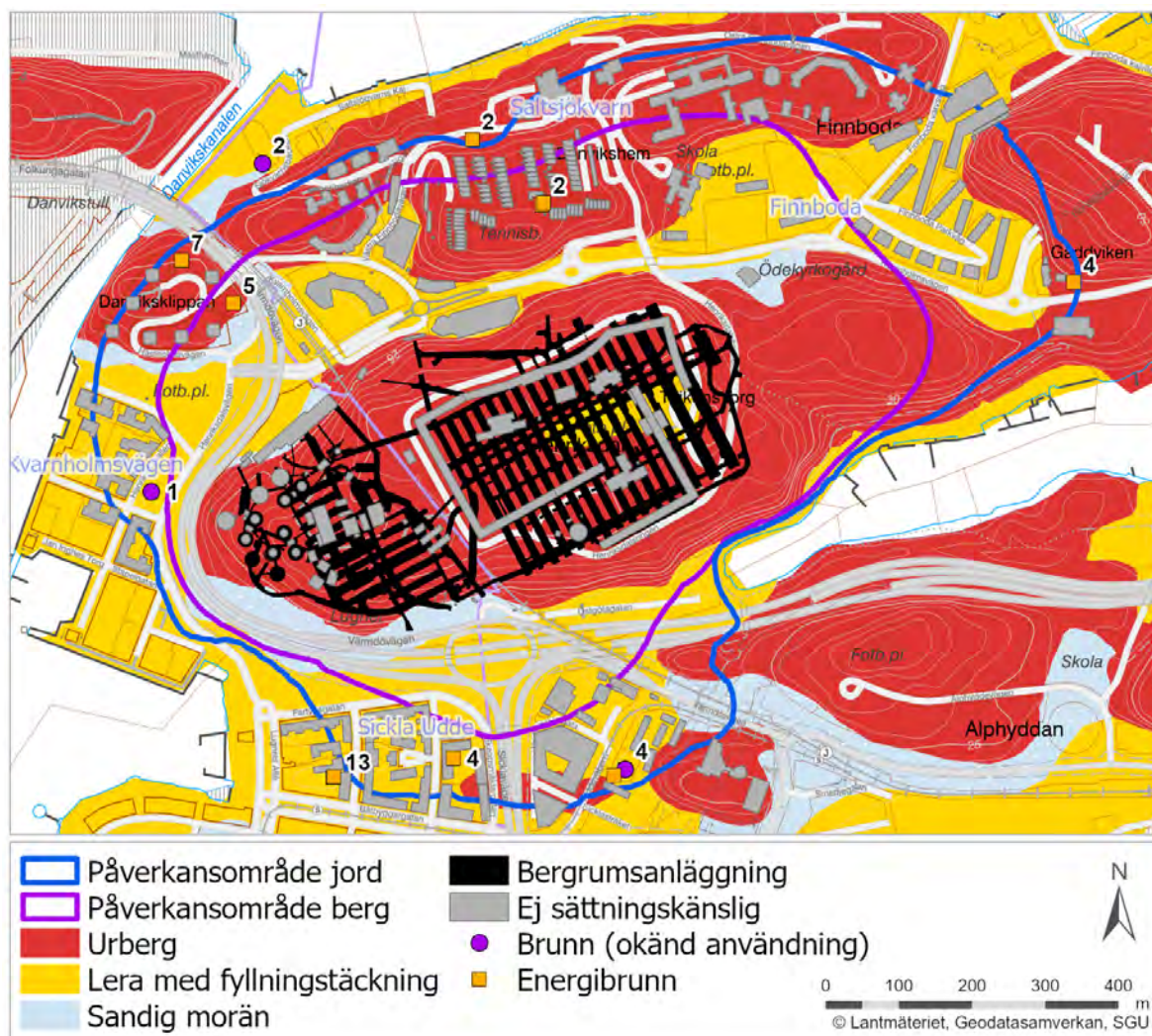
9.4 Påverkan och effekt på skyddsobjekt från befintlig anläggning

Inom påverkansområden för jord samt berg har inventering av potentiella skyddsobjekt utförts. Skyddsobjekten i denna utredning omfattar endast objekt som är grundvattenberoende och som kan påverkas av förändringar i grundvattentryck, -nivå eller -flöde. I föreliggande kapitel presenteras grundvattenberoende skyddsobjekt inom påverkansområdet från Henriksdals befintliga

¹ Interferometric synthetic aperture radar (Tekniken InSAR) är en teknik för fjärranalys, som använder satelliter, vilka mäter jordens yta några tusen gånger per sekund. Tack vare detta dataunderlag kan en bild av jordytan skapas, när så satelliterna återkommer i samma position upprepas mätningarna. På så vis erhålls ett mått på hur mycket jordytan har rört sig mellan mätningarna. Det är viktigt att förstå att de rörelse hastigheter och mätpunkter som redovisas är uppskattningar och ej kan analyseras individuellt (Sättningskartan 2024), särskilt då individuella punkter som mäts in, till exempel stolpar, kan flyttas av andra skäl än att marken sätter sig.

bergrumsanläggning. Vidare redovisas bedömningar av effekt på dessa grundvattenberoende skyddsobjekt avseende framtida miljökonsekvenser av den pågående grundvattenbortledningen i befintlig bergrumsanläggning.

I Figur 43 redovisas inventerade skyddsobjekt som förekommer inom påverkansområdet.



Figur 43. Inventerade skyddsobjekt inom påverkansområdet från den befintliga bergrumsanläggningen. Siffran intill varje brunn representerar det totala antalet brunnar som finns på respektive plats.

9.4.1 Byggnader och andra anläggningar

Baserat på föreliggande utredning samt SVOA:s tidigare utredningar för tillståndsansökan NÖT samt hydrogeologiska utredningar genomförda under 2023 inför utbyggnation av RK8 och RK9 konstateras att de flesta byggnader, vägar och Tvärbanan är grundlagda på pålar eller påldäck. Vid inventeringen har följande samlade bedömningar gjorts:

- Norr om Henriksdals bergrumsanläggning förekommer inga kända sättningskänsliga byggnader eller anläggningar. Ett antal byggnader där grundläggningsinformation saknas förekommer i området, dessa är belägna på höjdområden där sättningskänslig jord saknas och bedöms därför inte vara sättningskänsliga.
- Söder om Henriksdals reningsanläggning förekommer inga kända sättningskänsliga byggnader eller anläggningar. Ett större antal byggnader där grundläggningsinformation saknas finns i området, en del inom lerområden. Inom samtliga fastigheter med byggnader som saknar grundläggningsinformation finns byggnader som har identifierats med icke

sättningskänslig grundläggning och som byggts år 2003–2005. Andra byggnader inom samma fastigheter bedöms grundlagda med samma metod och är därmed inte sättningskänsliga.

- Söder om bergrumsanläggningen, men öster om leden mellan trafikplats Sickla och Lugnet, finns olika typer av industribyggnader, samt mindre komplementbyggnader och anläggningar. Inga byggnader eller anläggningar inom detta område har bedömts sättningskänsligt.
- Byggnader och anläggningar väster om Henriksdals reningsanläggning bedöms stå på berg och anses inte kunna påverkas av grundvattenavsänkning. De byggnader som ligger väst och sydväst om anläggningen är grundlagda med betong- eller stålplåtar och bedöms inte påverkas.

Den pågående grundvattenbortledningen i den befintliga bergrumsanläggningen bedöms inte orsaka pågående eller framtida marksättningar annat än i försumbar omfattning (kapitel 9.3). Befintlig bergrumsanläggning bedöms därför innebära **försumbara negativa effekter** för byggnader och andra anläggningar inom påverkansområdet för jord.

9.4.2 Brunnar

Inom påverkansområdet från befintlig bergrumsanläggning finns 39 kända energibrunnar samt 5 brunnar med okänd användning (Figur 43). Av dessa brunnar ligger sju stycken inom påverkansområdet för berg. Vid ett bostadsområde norr om Henriksdalsanläggningen finns två av dessa brunnar (installerade år 2012) och fem av dessa ligger väster ut vid Danviksbron (installerade år 2007). En brunn med okänd användning från 1898 har även identifierats inom påverkansområdet. Denna bedöms dock inte nyttjas idag.

De trycksänkningar i berg som den befintliga bergrumsanläggningen resulterat i bedöms ha stabiliserats i området sedan minst 25 år, det vill säga före anläggandet av de här identifierade energibrunnarna. Det förutses heller ingen framtida förändring av grundvattensituationen till följd av den befintliga grundvattenbortledningen. Då alla de identifierade energibrunnarna är anlagda efter det att grundvattennivåerna stabiliserats bedöms de inte lida någon skada av den fortsatta grundvattenbortledningen i bergrumsanläggningen.

Befintlig bergrumsanläggning bedöms **inte innebära några negativa effekter** för befintliga energibrunnar inom påverkansområdet för berg.

9.4.3 Ledningar

Enligt SVOA:s tidigare utredning (tillståndsansökan NÖT) finns sättningskänsliga ledningar inom påverkansområdet norr om Henriksdals anläggning. Även söder om anläggningen har större områden med sättningskänsliga ledningar identifierats. I lerområden generellt finns en viss sättningskänslighet för ledningar.

Ledningarna ägs av bland annat av Nacka Vatten och Avfall, Nacka Energi, Skanova och Stockholm Exergi.

Den pågående grundvattenbortledningen i den befintliga bergrumsanläggningen bedöms inte orsaka pågående eller framtida marksättningar annat än i försumbar omfattning (kapitel 9.3). Befintlig bergrumsanläggning bedöms därför innebära **försumbara negativa effekter** för ledningar inom påverkansområdet för jord.

9.4.4 Infrastruktur

Väg 222 (Värmdövägen) går väster och söder om Henriksdalsberget. Enligt ett utlåtande från 1970 är leden grundlagd på bland annat bankpålning med tryckbankar och på friktionsjord och berg. Detta innebär att en avsänkning av grundvattenyta inte medför skadlig påverkan på vägen. Projekt NÖT har dock redovisat sträckan mellan Henriksdalsverkets huvudbyggnad och Danviksklippan (ca 150 m) som sättningskänslig.

Det förekommer en större vägbro vid Trafikplats Lugnet från 1970-talet som, enligt SVOA:s tidigare utredning (tillståndsansökan NÖT), saknar tydlig grundläggningsinformation. Lerdjupet vid bron är dock ringa och det förekommer redan sättningar i området, vilket gör det sannolikt att bron är grundlagd till fast botten. Om grundläggningen skulle vara annorlunda skulle sättningsskador på anläggningen redan ha skett.

Den pågående grundvattenbortledningen i den befintliga bergrumsanläggningen bedöms inte orsaka pågående eller framtida marksättningar annat än i försumbar omfattning (kapitel 9.3).
Befintlig bergrumsanläggning bedöms därför innebära **försumbara negativa effekter** för infrastruktur inom påverkansområdet för jord.

9.4.5 Föroreningar

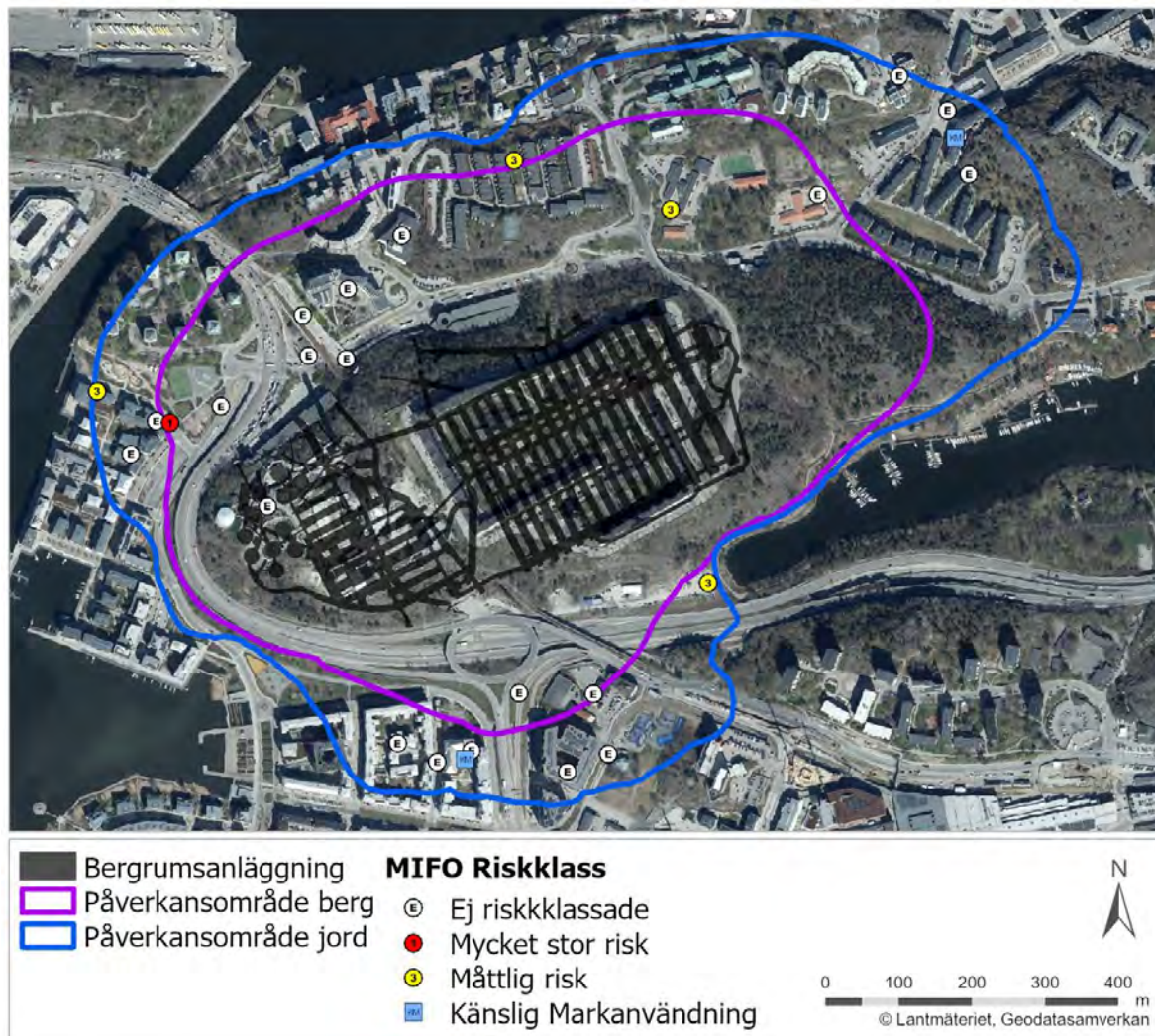
Enligt Länsstyrelsens EBH-register finns 27 registrerade MIFO-objekt inom påverkansområdet från befintlig bergrumsanläggning i jord. Av dessa finns ett MIFO-objekt vilket klassas inom kategorin "mycket stor risk" samt fyra som "måttlig risk". Resterande MIFO-objekt inom påverkansområdet är ej riskklassade. Följande punkter beskriver de fem MIFO-objekt som klassificerats med en risk inom påverkansområdet från befintlig bergrumsanläggning i jord (Figur 44):

- Ett objekt med "mycket stor risk" finns beläget i den västra delen av påverkansområdet i berg från befintlig anläggning. Detta var en relativt stor träimpregneringsverksamhet där arsenik är den största orsaken till klassificeringen. Den aktuella föroreningen bedöms vara svårriktlig med grundvatten i förekommande jord. Vidare är objektet beläget inom ett område där grundvattnet i jord bedöms ha god hydraulisk kontakt med Saltsjön. Jordens hydrauliska konduktivitet bedöms vara minst cirka 100 till 1000 gånger högre än bergets varför en eventuell mobilisering av föroreningen skulle resultera i att denna skulle transporteras med grundvattnet mot Saltsjön. Av dessa anledningar bedöms risken för transport av föroreningar från detta objekt mot bergrumsanläggningen som försumbar.
- Ett objekt med "måttlig risk" är beläget väster om anläggningen, i direkt anslutning till Saltsjön och Danvikskanalen. Objektet är inventerad som "Hamnar - fritidsbåtshamn, båtuppställningsplats". Detta objekt bedöms ligga utanför tillrinningsområdet för bergrumsanläggningen, det vill säga utanför det område där nederbörden kan tillföras bergrumsanläggningen. Jordens hydrauliska konduktivitet bedöms vara minst cirka 100 till 1000 gånger högre än bergets varför en eventuell mobilisering av föroreningen skulle resultera i att denna skulle transporteras med grundvattnet mot Saltsjön. Det grundvatten som leds bort från bergrumsanläggningen härstammar i allra största mån från området inom och i direkt närhet till anläggningen. Påverkansområdet är dock större än det område där grundvatten kan tillföras bergrumsanläggningen. Då objektet ligger så pass perifert inom påverkansområdet bedöms därför risken för transport av föroreningar från detta objekt mot bergrumsanläggningen som försumbar och ingen föroreningsspridning vid detta objekt bedöms uppkomma till följd av pågående grundvattenbortledning.
- Ett objekt med "måttlig risk" är beläget norr om anläggningen. Objektet är inventerad som en "övrig organisk kemisk industri" med halogenerade lösningsmedel som sekundär bransch. Detta objekt bedöms ligga utanför tillrinningsområdet för bergrumsanläggningen, det vill säga utanför det område där nederbörden kan tillföras bergrumsanläggningen. Det grundvatten som leds bort från bergrumsanläggningen härstammar i allra största mån från området inom

och i direkt närhet till anläggningen. Påverkansområdet är dock större än det område där grundvatten kan tillföras bergrumsanläggningen. Då objektet ligger så pass perifert inom påverkansområdet bedöms därför risken för transport av föroreningar från detta objekt mot bergrumsanläggningen som försumbar och ingen föroreningsspridning vid detta objekt bedöms uppkomma till följd av pågående grundvattenbortledning.

- Ett objekt med "måttlig risk" är beläget nordöst om anläggningen. Objektet är en plantskola där en förstudie är genomförd. Objektet är beläget på ett avstånd om drygt 100 m från bergrumsanläggningen, inom påverkansområdet för såväl jord som berg. Jorden på platsen har en hydraulisk konduktivitet som bedöms vara cirka 100 till 1000 gånger högre, eller ännu högre än bergets. En tydlig grundvattengradient i det undre grundvattenmagasinet, från bergrumsanläggningen mot nordöst och Saltsjön har bestämts med stöd av både grundvattennivåmätningar och den genomförda grundvattenmodelleringen. Dessa förhållanden är gällande trots den pågående grundvattenbortledningen. Således bedöms risken för en eventuell mobilisering av föroreningar från plantskolan i huvudsak röra sig med grundvattnet i jord mot Saltsjön. Ett eventuellt tillskott till bergrumsanläggningen, med hänsyn tagen till fastläggning i både jord och berg är därför försumbar.
- Ett objekt med "måttlig risk" är beläget nära Svindersviken (sydöst). Detta objekt är en gammal oljedepå där en förstudie är genomförd. Den aktuella föroreningen bedöms vara relativt svårörlig med grundvatten i förekommande jord. Vidare är objektet beläget i en lågt liggande del av området där grundvattnet, i jord, bedöms ha god hydraulisk kontakt med Saltsjön. Jordens hydrauliska konduktivitet bedöms vara minst cirka 100 till 1000 gånger högre än bergets varför en eventuell mobilisering av föroreningen skulle resultera i att denna skulle transporteras med grundvattnet mot Saltsjön. Av dessa anledningar bedöms risken för transport av föroreningar från detta objekt mot bergrumsanläggningen som försumbar.

Den pågående grundvattenbortledningen i den befintliga bergrumsanläggningen bedöms inte vara orsak till annat än försumbar föroreningstransport med grundvatten mot bergrumsanläggningen. Befintlig bergrumsanläggning bedöms därför **inte innebära några negativa effekter** med avseende på föroreningsspridning inom påverkansområdena.



Figur 44. Identifierade kända potentiellt förorenade objekt inom påverkansområdet.

9.5 Skyddsåtgärder

Den pågående grundvattenbortledningen i den befintliga bergrumsanläggningen bedöms inte resultera i pågående eller framtida marksättningar annat än i försumbar omfattning. Pågående sättningar är relativt små och andra omständigheter såsom kraftig exploatering, avvattning, hårdgörning av infiltrationsytor, andra dränerande tunnel- och bergrumsanläggningar samt utfyllnader av fyllnadsjord har bidragit till historiska och pågående sättningar. Den befintliga bergrumsanläggningen bedöms inte innebära annat än försumbara, framtida, negativa effekter för byggnader, infrastruktur och andra anläggningar inom påverkansområdet för jord. Det finns inte, till dags datum, några registrerade skadeärenden hos SVOA kopplade till marksättningar eller grundvattenförhållanden kring Henriksdalsberget.

Marksättningar är en irreversibel process, dvs den går inte att vända. Den pågående grundvattenbortledningen i den befintliga bergrumsanläggningen bedöms inte vara orsak till pågående, eller resultera i framtida, marksättningar annat än i försumbar omfattning. Grundvattenbortledningen och påverkan på grundvattennivåer från den befintliga bergrumsanläggningen har vidare i all väsentlighet legat på samma nivå de senaste 25 åren. Då en skyddsinfiltation idag inte kan påverka tidigare uppkomna marksättningar skulle en sådan åtgärd inte ge någon effekt. Sammantaget, utifrån utförda bedömningar av den sökta verksamhetens framtida miljökonsekvenser, bedöms det inte finnas något behov av vare sig skyddsinfiltation eller annan skyddsåtgärd, såsom till exempel efterinjektering.

Detta till skillnad från SVOA:s pågående projekt Nya Östbergatunneln (NÖT), där skyddsinfiltration har blivit aktuellt bland annat på grund av grundvattennivåer som understigit åtgärdsnivåer enligt projektets kontrollprogram. Projekt NÖT har haft den befintliga grundvattenbortledningen från Henriksdalsanläggningen som förutsättning för de bedömningar som genomförts för det projektets omgivningspåverkan, varför påverkan från projekt NÖT bedömts utifrån gällande, redan påverkad, grundvattensituation. Således kan det finnas skäl för projekt NÖT att nyttja skyddsinfiltration för att säkerställa att ingen negativ omgivningspåverkan uppstår från det projektet. Vidare kan det inom ramen för det projektet finnas skäl att motverka framtida marksättningar, vilket utifrån bedömd framtida påverkan inte är fallet för den nu sökta vattenverksamheten för Henriksdalsanläggningen.

SVOA har dock för avsikt att med relevant frekvens fortsätta mäta grundvattennivåer och marksättningar i utvalda observationsrör i berg och jord samt i mätpunkter för sättningsmätning. Genom att systematiskt samla och tillägna sig kunskap om grundvattensituationen och pågående sättningsrörelser kring bergrumsanläggningen kan SVOA, om så krävs, bygga ut bergrumsanläggningen och samtidigt säkerställa att framtida utbyggnation inte resulterar i negativ påverkan i framtiden.

Även föreslaget kontrollprogram syftar till att övervaka och dokumentera grundvattentrycknivåerna och dess variation i området runt bergrumsanläggningen för att säkerställa att ingen påverkan utöver den bedömda sker.

10. Grundvattenpåverkan till följd av RK8 och RK9 med tillhörande anläggningar

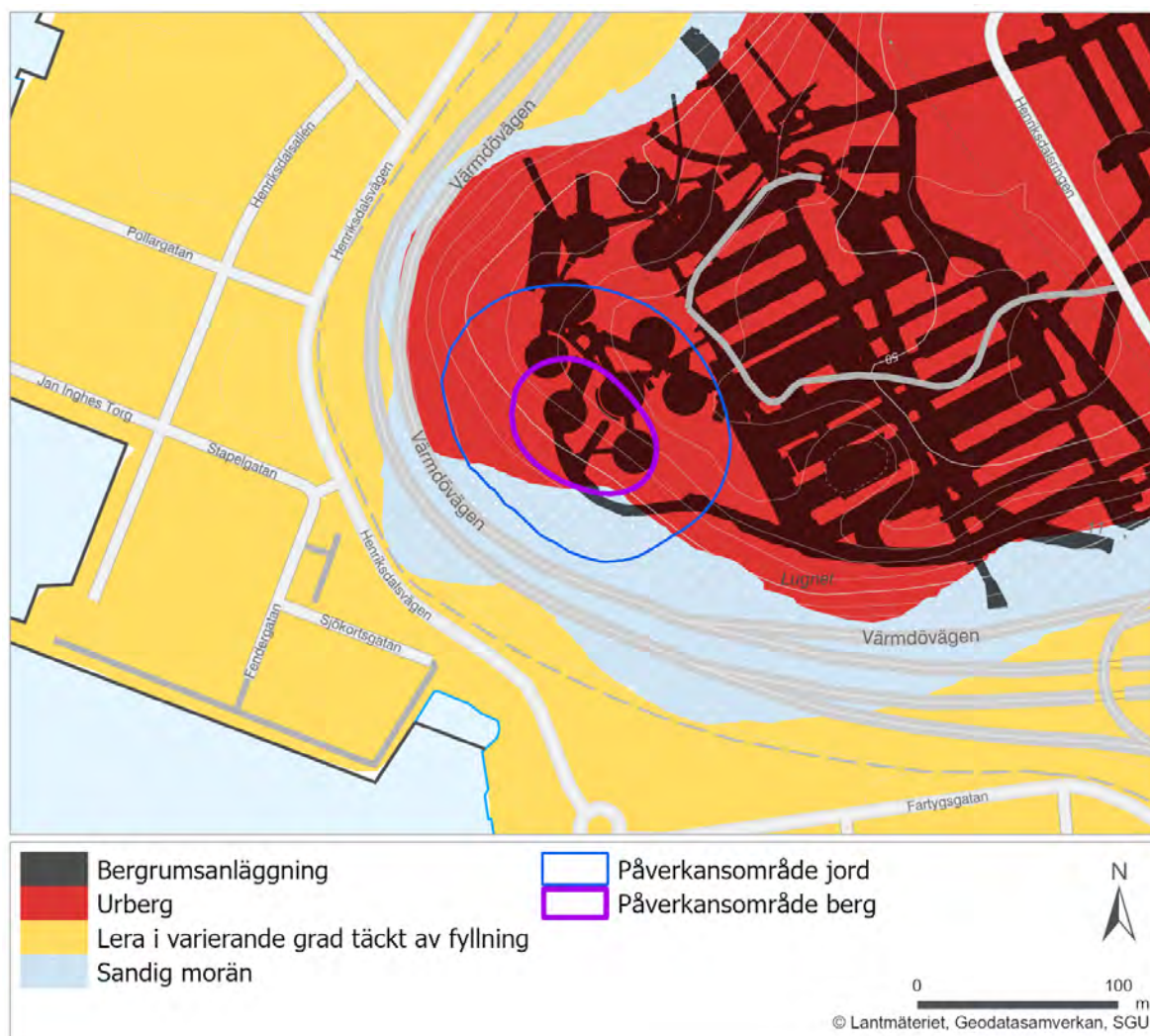
Anläggandet av de nya rötkastrarna RK8 och RK9 samt tillhörande schakt och tunnlar kommer delvis att utföras under de befintliga grundvattennivåerna i berg och angränsande jordlager. Detta bedöms ge upphov till behov av grundvattenbortledning.

För en detaljerad beskrivning av inläckaget till de planerade rötkastrarna med tillhörande schakt och tunnlar hänvisas till Bilaga 6:4, där hydrogeologiska beräkningar presenteras. Grundvattentrycknivån bedöms påverkas mycket lokalt kring planerade anläggningar. Vidare har mätningar från hammarborrhål vid de framtida rötkastrarnas placering, redovisade i Bilaga 6:2, visat att den uppskattade medelgrundvattentrycknivån ligger på cirka +8. Med en planerad dräneringsnivå på cirka +2 kommer detta att resultera i en trycksänkning i berg på ungefär +6.

För att minska risken för vatteninträngning kommer berget att tätas med förinjektering vid specifika sektioner i arbetstunneln och övriga tunnlar. Denna åtgärd förväntas leda till en minskning av inläckaget genom att täta sprickzoner, vilket bidrar till mindre grundvattenpåverkan i omgivningen. RK8 och RK9 avses inte att injekteras. Inläckaget antas vara som mest omfattande under byggnationen, men förväntas minska över tid när injekteringen har fullbordats och naturliga processer såsom utfällning och igensättning av sprickor bidrar till tätningen.

Dräneringsvattnet, som delvis utgörs av grundvatten, kommer att samlas upp i botten av rötkastrarna. Vattnet som finns mellan berget och rötkastraväggarna kommer också att ledas till Nackatunneln som i sin tur leds direkt in i avloppsreningsverket.

Figur 45 redovisar det beräknade påverkansområdet som kopplas till RK 8 och RK9 med tillhörande schakt och tunnlar. Påverkansområdet beskriver alltså den förändringen i grundvattentryck som förväntas uppstå, utöver den idag rådande situationen, vid byggnation av anläggningens nya delar.



Figur 45. Förväntat påverkansområde vid de planerade RK8 och RK9.

10.1 Skyddsobjekt och påverkan

Inom påverkansområdet i jord och berg från de planerade rötammarna RK8 och RK9 med tillhörande schakt och tunnlar förekommer inga skyddsobjekt i form av byggnader, anläggningar, ledningar eller brunnar. Det finns inte heller några naturvärden som kan påverkas.

Den framtida grundvattenbortledningen för RK8 och RK9 bedöms inte vara orsak till några marksättningar som leder till skada. Befintlig bergrumsanläggning bedöms därför **inte innebära några negativa effekter** för byggnader, infrastruktur, ledningar eller andra anläggningar inom varken påverkansområdet för jord eller berg.

10.2 Skyddsåtgärder

Inventering och bedömning av skyddsobjekt inom påverkansområdet för RK8 och RK9 med tillhörande schakt och tunnlar visar att det inte finns några skyddsobjekt och därav inget behov av skyddsåtgärder.

11. Kontrollprogram

Ett kontrollprogram kommer att upprättas utifrån villkor i den kommande miljödomen. Grunden i kontrollprogrammet föreslås vara fortsatta mätningar av grundvattennivå i jord och berg samt sättningsmätningar. Inläckande grundvatten i samband med byggnationen av RK8 och RK9 med tillhörande schakt och tunnlar bedöms inte kunna mätas under byggtiden. Detta beror på att det vatten som produktionen genererar har olika ursprung, bland annat inkluderar det grundvatten, nederbörd och processvatten som används till maskiner och bergproduktion. Eftersom grundvattenkomponenten sannolikt är mycket liten och inte kan urskiljas från övriga vattenkällor samt att inga skyddsobjekt har identifierats inom påverkansområdet för de planerade berganläggningarna bedöms inläckagemätningar inte fylla någon praktisk nytta för uppföljning av verksamheten. Inläckagemätningar under drifttiden av RK8 och RK9 med tillhörande schakt och tunnlar bedöms inte kunna utföras då inga separata uppsamlingskärl för grundvatten kommer att finnas.

Förutom de kommande villkoren för de här tillståndsansökta verksamheterna kommer ett antal mätpunkter samt mätfrekvens att bestämmas utifrån SVOAs egna behov att systematiskt samla och tillskansa sig kunskap om grundvattensituationen och pågående sättningsrörelser kring bergrumsanläggningen. Genom detta kan SVOA, om så krävs, bygga ut bergrumsanläggningen och samtidigt säkerställa att framtida utbyggnation inte resulterar i negativ påverkan i framtiden.

12. Referenser

- BeFo. (2012). *Effekter på Grund- och vattenförhållandena vid grundvattenbortledning från berganläggningar (BeFo Rapport 117)*. Stockholm: Stockholm.
- Chang, Y., Sandstedt, H., & Indridason, H. (2020). *Reningsverk i berg, ombyggnad i Henriksdal och ny anläggning i Sickla. Komlicerade bergprojekt i Stockholm*. Stockholm: BeFo.
- Fleming, A. H. (1994). *The hydrogeology of Allen County, Indiana - a geologic and ground-water atlas: Indiana Geological Survey Special Report 57, 111 p., 10 pls*. Bloomington: Indiana Geological and Water Survey.
- J&W. (1991). *Rapport över de ingenjörsgelogiska förhållandena för planerad utbyggnad av Henriksdals avloppsreningsverk, Nacka*. Stockholm: J&W.
- J&W. (2002). *Rapport över bergbesiktning av anläggning under jord*. Stockholm: J&W.
- Langevin, C., Hughes, J., Provost, A., Russcher, M., Niswonger, R., Panday, S. M., . . . Banta, E. (2022). *MODFLOW 6 Modular Hydrologic Model version 6.4.1: U.S. Geological Survey Software Release, 9 December 2022*. Reston, VA: USGS.
- NGI. (2022). *Using the Q-system, Rock mass classification and support design (Handbook)*. Oslo: Norwegian Geotechnical Institute (NGI).
- SGU. (2001). *Berggrundskartan 10I Stockholm, skala 1:100 000. Sveriges geologiska undersökning Ba 60*. Stockholm: SGU.
- Stockholm Vatten och Avfall. (2024a). *Avloppsreningsverk*. Hämtat från <https://www.stockholmvattenochavfall.se/kunskap/sahar-renas-vatten-och-avlopp/avloppsrening/avloppsreningsverk/>
- Stockholm Vatten och Avfall. (2024b). *Om oss*. Hämtat från <https://www.stockholmvattenochavfall.se/om-oss/om-oss/om-bolaget/om-oss/>
- Stockholms stad. (den 31 December 2006). *Ekdatabasen - Kärnområden*. Hämtat från Dataportalen: <https://dataportalen.stockholm.se/dataportalen/GetMetaDataById?id=74cfd75f-125c-4e44-b7fa-690311103fc4>
- SVOA. (2017). *Ingenjörsgelogisk Prognos B01, SFAH*. Stockholm: SVOA.
- SVOA. (2020). *Nya Östbergatunneln, Bilaga G PM Hydrogeologi*. Stockholm: SVOA.
- SVOA. (2023). *Promemoria - Inventering läns-pumpar*. Stockholm: SVOA.
- Sweco. (2021). *Stockholms framtida avloppsrening Reningsverk SFAR, Ingenjörsgelogisk prognos Röt-kammare 8*. Stockholm: SVOA.
- Trafikverket. (den 28 september 2022). *Trafikverket.se*. Hämtat från Östlig förbindelse - Precisering av riksintresse kommunikation Nacka och Stockholms kommuner, Stockholms län, Slutversion 2022-09-28 Ärendenummer: TRV 2018/125435: <https://trafikverket.diva-portal.org/smash/get/diva2:1700959/FULLTEXT01.pdf>
- Winston, R. (2022). *ModelMuse version 5.1.1: U.S. Geological Survey Software Release*. Reston, VA: USGS.



Stockholm Vatten och Avfall är en samhällsbyggare i framkant som driver och utvecklar vatten- och avfallstjänster med miljöfokus. Varje dag, året runt förser vi 1,5 miljoner stockholmare med rent och gott kranvatten, renar avloppsvatten och ser till att avfallet tas om hand. Tillsammans med invånare, företag och andra intressenter arbetar vi för att Stockholm ska bli världens mest hållbara stad.

Stockholm Vatten och Avfall
Tel 08-522 120 00
kund@svoa.se
www.svoa.se

En del av Stockholms stad