

Arsenik i dricksvatten

Hälsorisker samt riskbedömning av VA SYDs
vattentäkt vid f.d. Grevie skjutbana

ELLINOR LUNDIN 2018

MVEK02 EXAMENSARBETE FÖR KANDIDATEXAMEN 15 HP
MILJÖVETENSKAP | LUNDS UNIVERSITET



Arsenik i dricksvatten

Hälsorisker samt riskbedömning av VA SYDs
vattentäkt vid f.d. Grevie skjutbana

Ellinor Lundin

2018



LUNDS
UNIVERSITET

Ellinor Lundin

MVEK02 Examensarbete för kandidatexamen 15 hp, Lunds universitet

Intern handledare: Håkan Rosqvist, Geologiska institutionen, Lunds universitet

Extern handledare: Josefin Barup, VA SYD

CEC - Centrum för miljö- och klimatforskning

Lunds universitet

Lund 2018

Abstract

Water is one of our most valuable resources and polluted water is possibly harmful to both humans and the environment. It is hence of great importance to maintain high quality in drinking water to protect human health. A large number of different contaminants and toxins spread in the environment have the potential to contaminate groundwater. One of these pollutants is arsenic originating from ammunition which has been spread from shooting ranges. This study aims to examine what risks arsenic polluted drinking water generally can cause to human health. Furthermore, a risk assessment was performed to investigate whether there is any risk for arsenic to contaminate drinking water wells used by the regional administrator VA SYD. The wells are located close to a former shooting range in Grevie, southern Sweden. The methods used in this study are a literature and document analysis, interviews and a field study.

Results from this study show that exposure to arsenic contaminated drinking water can cause damage to processes and organs in the entire body, which in both long and short terms can lead to death. As arsenic poisoning cannot be cured, risk management focuses on reducing arsenic at the source. Based on prevailing geological and hydrogeological conditions in Grevie, the risk of arsenic reaching VA SYD's raw water was estimated as small to moderate. However, it is important to point out that the risk assessment needs to be supplemented with additional background material in order to confirm the results of this study. In order to ensure continued high quality of raw water, future measures such as analysis of arsenic and careful placement and design of any new drinking water wells, need to be conducted by VA SYD.

Innehållsförteckning

Abstract 3

Innehållsförteckning 5

Ordlista 7

Inledning 9

Föroreningsproblematik vid skjutbanor 9

VA SYD 10

Grevie f.d. skjutbana 10

Arsenik 11

Miljömål 11

Syfte och frågeställningar 12

Hypoteser 12

Avgränsningar 13

Bakgrund 15

Vattenverksamhet i Grevie 15

Geologi 18

Hydrogeologi 19

Föroreningens utbredning och omfattning 23

Jord 24

Grundvatten 25

Ytvatten 25

Metod 27

Litteraturstudie 27

Dokumentgranskning 28

Semistrukturerade intervjuer 29

Fältbesök 29

Resultat 31

Hälsorisker med arsenik i dricksvatten 31

Hudskador 32

Cancer 33

Vaskulära sjukdomar 33

Lungor och luftvägar 33

Mag-tarmkanalen 34

Diabetes 34

Centrala nervsystemet och andra neurologiska funktioner 34

Reproduktion och utveckling 34

Risk för arsenik vid VA SYDs vattentäkt vid f.d. Grevie skjutbana 35

Risk för det djupa grundvattenmagasinet 35

Risk för ytligare grundvattenmagasin 36

Risk för ytvatten 37

Diskussion 39

Hälsorisker med arsenik i dricksvatten 39

Risk för det djupa grundvattenmagasinet 39

Risk för ytligare grundvattenmagasin 40

Risk för ytvatten 41

Framtida åtgärder 41

Brister med metod och material 42

Slutsats 43

Tack 45

Referenser 47

Bilagor 55

Bilaga 1 55

Bilaga 2 56

Bilaga 3 63

Bilaga 4 64

Ordlista

Akuttoxisk - Risk för akuta hälsoeffekter vid intag av giftig substans vid enstaka tillfälle.

Artesiskt tryck - Trycknivå vid vilken grundvattnets nivå är högre än markytan.

Avsänkningsträtt - Vid grundvattenuttag påverkas naturliga grundvattenförhållanden genom att avsänkning av grundvatten sker intill uttagsbrunnen. Avsänkningsträttens form och utbredning varierar med uttagsmängd och hydrogeologiska förhållanden.

Bakgrundshalt - Halt av ett ämne som förekommer naturligt, utan antropogen påverkan. Bakgrundshalten kan variera lokalt och regionalt.

Grundvatten - Vatten som förekommer i jord och berggrund där hålrummen är helt vattenfyllda.

Grundvattendelare - Gränslinje utifrån vilken grundvatten flödar åt olika håll.

Hydraulisk genomsläpplighet/ hydraulisk konduktivitet - Markens genomsläpplighet och förmåga att leda vatten. Anger hur fort vatten transporteras genom ett material (m/s).

Hydraulisk gradient - Grundvattenytans lutning.

Influensområde - Ett område som kan påverka eller påverkas av en aktivitet, i det här fallet grundvattenuttag.

KM - Känslig markanvändning. Riktvärde för förorenad mark där markkvalitén är så pass god att markanvändningen inte begränsas. Risken för exponering för markföroreningar är acceptabel, området kan exempelvis användas till bostäder eller annan bebyggelse där människor vistas permanent.

MIFO - Metod för inventering av förorenade områden.

MKM - Mindre känslig markanvändning. Riktvärde för förorenad mark där markkvalitén påverkar markanvändningen. Risken för exponering för markföroreningar är acceptabel om människor inte vistas permanent på platsen. Området kan till exempel användas till industrier, kontor eller vägar.

PV - Pumpverk.

Råvatten - Grundvatten eller ytvatten som efter beredning kan användas som dricksvatten.

Schaktvatten - Yt- eller grundvatten från grävd provgrop.

SGI - Statens Geotekniska Institut.

SGU - Sveriges Geologiska Undersökning.

Slutet grundvattenmagasin - Grundvattenmagasin som omgärdas av jordarter med låg genomsläpplighet.

SSI - F.d. Statens Strålskyddsinstitut, idag Strålsäkerhetsmyndigheten, SSM.

VA SYD - kommunalförbund bestående av Malmö, Lund, Burlöv och Eslövs VA-verksamheter.

Vattentäkt - En källa från vilken vatten tas med syfte att användas som dricksvatten.

VISS - Vatteninformationssystem Sverige.

WHO - World Health Organisation.

Ytvatten - Vatten som förekommer i hav, sjöar, vattendrag och våtmarker.

Öppet grundvattenmagasin - Grundvattenmagasin som omgärdas av jordarter med hög genomsläpplighet.

Inledning

Vatten är vårt viktigaste livsmedel och efterfrågan på rent dricksvatten blir allt större i takt med en ökande befolkningsmängd. För att skydda människors hälsa är det av stor vikt att dricksvattnet håller god kvalitet. I Sverige är tillgången på rent grundvatten god tack vare rådande klimat och geologiska förutsättningar men en stor mängd föroreningar och gifter som sprids i miljön har potential att förorena grundvattnet. Dessa ämnen kan förekomma naturligt, till exempel i berggrunden, eller ha antropogent ursprung (Naturvårdsverket, 2017b). Det kan till exempel röra sig om utsläpp från industrier och gruvdrift eller föroreningar som härstammar från ammunition som spridits vid skjutbanor och skjutfält.

Föroreningsproblematik vid skjutbanor

Skjutområden kan ge upphov till föroreningar då ammunition och lerduvor sprids över kulfång och målområden. Ammunition innehåller metaller och halvmetaller såsom bly, arsenik och antimon men även övriga ämnen som polycykliska aromatiska kolväten (PAH) (Länsstyrelsen Norrbotten, 2011). Ett förorenat område utgör en risk om människor eller miljö kan exponeras för föroreningen.

“Föroreningen kan också utgöra en risk om den kan försämra kvaliteten på grund- och ytvatten” (Länsstyrelsen Norrbotten, 2011).

Trots omfattande forskning kring föroreningar vid skjutområden råder delade meningar huruvida människor och miljö exponeras för föroreningarna. Föroreningar sprids med olika komplicerade processer där flera faktorer, som ofta är beroende av varandra, inverkar. Föroreningars risk bör därför bedömas från fall till fall (Länsstyrelsen Norrbotten, 2011). År 2008 fanns 4000 registrerade skjutbanor i Sverige samt en mängd mindre banor som används sporadiskt. Av dessa utgör försvarets verksamhet en betydande del av verksamheten. Enligt Länsstyrelsen i Norrbotten (2011) beräknas flera tusentals ton ammunition från skjutbanor ha ackumulerats i naturen under åren.

VA SYD

Denna studie har genomförts i samarbete med VA SYD som är ett kommunalförbund bestående av Malmö, Lund, Burlöv och Eslövs VA-verksamheter. VA SYD levererar både egenproducerat och köpt kvalitetssäkrat dricksvatten till sina medlemskommuner (VA SYD, 2016b). VA SYDs största brunnsanläggning finns i Grevie, söder om Staffanstorp i Skåne. Härifrån levereras vatten till Bulltofta vattenverk som därifrån distribuerar ut vattnet till konsumenter i Malmö stad. Vattnet från Grevie står för ungefär 15-20% av det dricksvatten som konsumeras i Malmö stad, vilket motsvarar ca 4-6 miljoner m³/år (VA SYD, 2016b; Sweco, 2013).

Examensarbetet har tagits fram parallellt med författarens eget arbete i ett av VA SYDs grundvattenrelaterade projekt. Detta har medfört att examensarbetet har kunnat skrivas på plats på VA SYDs dricksvattenavdelning, med tillgång till arkivmaterial och möjlighet att löpande ställa frågor till personal med relevant kompetens.

Grevie f.d. skjutbana

Söder om Grevie i Staffanstorps kommun ligger en före detta privat skjutbana. Här bedrevs mellan 1975-1998 lerduveskytte vid sammanlagt åtta utskjutningsplatser (Golder Associates, 2016). I närheten av den f.d. skjutbanan har VA SYD ett flertal grundvattenbrunnar där vatten tas upp från ca 70 meters djup (VA SYD, 2016a). Den f.d. skjutbanan ligger direkt inom brunnarnas influensområde (Golder Associates, 2016). Vid en markmiljöundersökning utförd på uppdrag av Länsstyrelsen Skåne 2016 framkom det att såväl jord som ytvatten och grundvatten inom undersökningsområdet uppvisar förhöjda halter av arsenik (Golder Associates, 2016). I en inledande MIFO fas 1-utredning är området placerat i riskklass 1 (VattenAtlas, 2017) vilket innebär att området utgör en mycket stor risk för människor och miljö (Naturvårdsverket, 2017a). Ingen av de brunnar som ligger närmast den f.d. skjutbanan är idag i drift men VA SYD planerar att i framtiden, om möjligt med hänsyn till föroreningsituationen, återuppta grundvattenuttaget (VA SYD, 2016a).

Arsenik

Arsenik är sedan länge ett välkänt gift som är hälsoskadligt och miljöfarligt (Naturvårdsverket, 2017b). Hälsoeffekterna vid akut eller långvarig exponering kan vara allvarliga, ämnet är cancerogent och kan ge upphov till tumörer i flera olika organ. Risken för exponering är störst genom intag av dricksvatten (Karolinska Institutet, 2017). Förekomst av arsenik i grundvatten är ett känt problem världen över och hälsoriskerna det medför är väl undersökta genom studier i bland annat Indien, Bangladesh, Vietnam och Argentina (Chakraborti et al., 2017; Statens strålskyddsinstitut, 2008). Livsmedelsverkets gränsvärde för arsenik i dricksvatten är 10 µg/l och vid långtidsexponering av dricksvatten med samma koncentration uppskattas risken för cancer till tre fall per 1000 exponerade personer. Risken klassas som högre än den lågrisknivå som är godtagbar när hälsoriskbaserade riktvärden sätts (Livsmedelsverket, 2017).

Arsenik förekommer i organisk och oorganisk form där den sistnämnda är den giftigaste formen för människor (Livsmedelsverket, 2017). Enligt Livsmedelsverket (2017) är dricksvatten den största exponeringskällan till oorganisk arsenik. Arsenik förekommer naturligt i berggrunden och genom antropogen spridning (Chakraborti et al., 2017), men även om arsenik finns i marken är det inte säkert att det sprids i yt- och grundvatten (Hagström & Rydstedt, 2015). Lösligheten hos arsenik påverkas av olika faktorer som exempelvis pH-värde, där ökat pH ger större löslighet, eller redoxförhållanden där starkt reducerande miljöer ökar lösligheten. I vissa fall kan arsenik frigöras genom grundvattenhöjning (Branzén et al., 2013). Användandet av arsenik har minskat under de senaste decennierna men det finns fortfarande många områden i Sverige som är förorenade med arsenik som kan lösas ut i yt- och grundvatten (Karolinska Institutet, 2017).

Miljömål

Sveriges riksdag har fastställt 16 miljö kvalitetsmål som ska visa vägen för hur miljöarbetet ska bedrivas för att lösa de stora miljöproblemen för nästa generation. Ett av målen är grundvatten av god kvalitet och enligt riksdagens precision ska grundvattnet

“ge en säker och hållbar dricksvattenförsörjning samt bidra till en god livsmiljö för växter och djur i sjöar och vattendrag” (Naturvårdsverket, 2017b).

Kvalitén på grundvatten ska endast med få undantag begränsa dess användning för allmän eller enskild dricksvattenförsörjning (miljömål.se, 2017). I dagens läge beräknas inte målet uppnås till år 2020. För att uppnå miljömålet och säkerställa riskerna för människors hälsa och miljö behövs ökade kunskaper om hur föroreningar transporteras i yt- och grundvatten (miljömål.se, 2017).

Syfte och frågeställningar

Denna studie syftar till att översiktligt redogöra för vilka risker förekomst av arsenik i grundvatten som används som dricksvatten kan medföra för människors hälsa. Studien ämnar även att utföra en riskbedömning för VA SYDs vattentäkt vid f.d. Grevie skjutbana med avseende på risken att arsenik sprids till råvattnet. Riskbedömningen utgår från tre olika scenarier:

- Finns det risk att arsenik sprids till det djupa grundvattenmagasinet där uttaget av vatten sker?
- Finns det risk att arsenik sprids till ytligare grundvattenmagasin och finns det risk att VA SYD får upp det vattnet?
- Finns det risk att arsenik kan förorena råvattnet om ytvatten tränger in i brunnarna?

Frågeställningar som ska besvaras är:

1. Vilka hälsorisker finns det med arsenik i grundvatten som används som dricksvatten?
2. Finns det risk att arsenik kan förekomma i råvattnet som VA SYD tar upp vid f.d. Grevie skjutbana?

Hypoteser

För den andra frågeställningen har hypoteser formulerats enligt följande: Tillrinningsområdet för det djupa grundvattenmagasin vid f.d. Grevie skjutbana, ur vilket VA SYD tar vatten, sammanfaller inte med uttagsområdet. Detta minskar risken att arsenik förorenar upptaget råvatten. Jordlager är dock aldrig 100 procent täta vilket gör att det alltid finns risk att föroreningar kan infiltrera grundvattenmagasin, djupa som ytliga. Området är även drabbat av översvämningar som skulle kunna underlätta spridning av arsenik i ytvatten. Utifrån detta har följande hypoteser ställts upp:

- Risk för det djupa grundvattenmagasinet: Låg.
- Risk för ytligare grundvattenmagasin: Låg - måttlig.
- Risk för ytvatten: Måttlig - hög.

Avgränsningar

Studien har avgränsats till att fokusera på arsenikföroreningen vid f.d. Grevie skjutbana då arsenik är det ämne, bland flera andra som spridits från skjutbanan, som utgör störst risk för att förorena råvattnet. På grund av arbetets inriktning och begränsade omfattning utförs riskbedömningen med grund i geologiska och hydrogeologiska förutsättningar i området, andra aspekter som kan inverka på föroreningens spridning behandlas inte djupgående. I studien undersöks endast risken för arsenikspridning från den f.d. skjutbanan, andra eventuella föroreningskällor i området beaktas inte. Avgränsningar har också satts till att bedöma risken för påverkan på råvatten innan det genomgått reningsprocesser. Vidare kommer studien att fokusera på de hälsorisker arsenik i grundvatten kan medföra för människor. Risker för natur och miljö utelämnas då studien fokuserar på grundvatten som livsmedel.

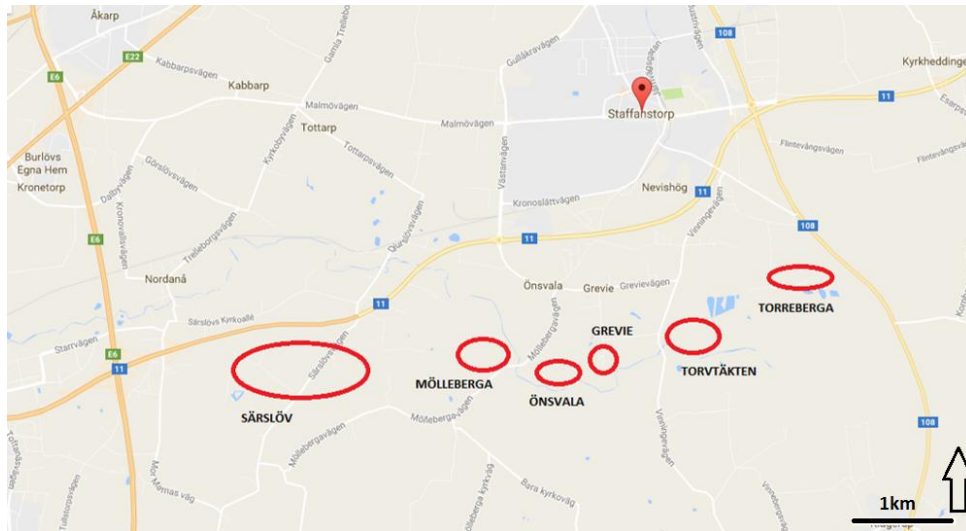
Bakgrund

I kapitlet beskrivs den bakgrundsinformation som krävs för att kunna utföra en riskbedömning för VA SYDs vattentäkt vid f.d. Grevie skjutbana. Här beskrivs vattenverksamheten som bedrivs i Grevie, geologiska och hydrogeologiska förutsättningar i området samt arsenikföreningens utbredning och omfattning.

Vattenverksamhet i Grevie

Grevie vattentäkt är belägen i Staffanstorps kommun, strax söder om orten Staffanstorp. Här har vattenverksamhet bedrivits sedan början av 1900-talet då de första brunnarna anlades i området (Sweco, 2013). Totalt har det funnits ett 30-tal brunnar men idag är endast 13 av dem i drift. Övriga brunnar är tagna ur drift och flera av dem är igengjutna (VA SYD, 2016a; Göransson, 2017). Brunnsanläggningen i Grevie är idag en av Sveriges största för grundvattenuttag (Sweco, 2013). Brunnarna får sitt vatten från ett grundvattenmagasin i den så kallade Alnarpsströmmen, vilken beskrivs närmare i nedanstående kapitel *Geologi* samt *Hydrogeologi*.

Grundvattenuttagen i Grevie varierar från år till år och var som störst omkring 1950 med ett uttag på 12,9 miljoner m³/år. Därefter har uttagen minskat till storleksordningen 4-6 miljoner m³/år med undantag för en topp omkring 1970 då 9 miljoner m³/år togs ut (Sweco, 2013). En vattendom från 1952 reglerar VA SYDs grundvattenuttag ur Alnarpsströmmen. Domen medger ett uttag på 9,2 miljoner m³/år och uttagen ska ske från det grundvattenmagasin som återfinns ca 70 m under markytan (Söderbygdens vattendomstol AD 110/1952 Grevie II, 1952). VA SYDs vattenverksamhet är uppdelad i sex olika brunnsområden, det område som berörs av detta examensarbete är den så kallade Torvtäkten (figur 1).



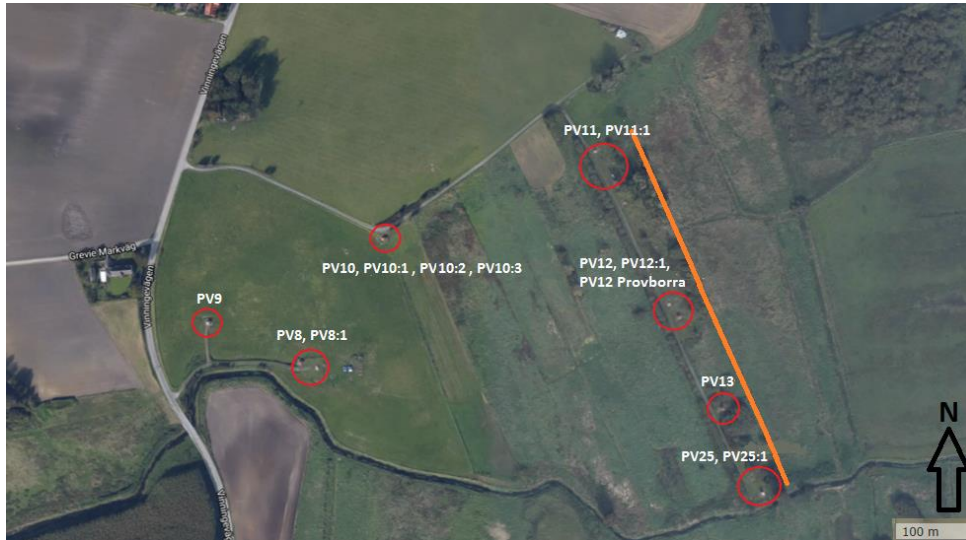
Figur 1

Lokaliseringen av VA SYDs brunnsområden vid Grevie vattentäkt. Torvtäkten syns inringad näst längst till höger. *Bildkälla:* VA SYD 2016a, med ändringar.

Torvtäkten är topografiskt sett lågt belägen och dess omgivning präglas av fuktig ängsmark samt odlingsmark. Direkt väster om brunnarna vid den f.d. skjutbanan (figur 2) löper ett dike vilket i söder mynnar ut i Torrebergabäcken. Ett flertal diken förekommer även i området öster om brunnarna. Vid fältbesök observerades att området var sankt och lerigt. Enligt Göransson (2017), driftreperator på VA SYD, drabbas närområdet ofta av översvämningar under vår och höst. Brunnarna har dock aldrig stått under vatten (Göransson, 2017).

Det finns enligt Söderbygdens vattendomstol (1952) sju stycken tillståndsgivna brunnar i området Torvtäkten, PV8-13 samt PV25 (figur 2; tabell 1). Brunnarna PV11-13 samt PV25 är de som ligger i nära anslutning till den f.d. skjutbanan. Fem av brunnarna har under årens gång ersatts med en ny generation brunnar. PV10 har utöver det ersatts en andra och tredje gång under 2016-2017. Ersättningsbrunnarna har fått nya beteckningar, PV10:1, PV10:2 samt PV10:3 (VA SYD, 2016a; Göransson, 2017).

Vid filmning av PV25 har skador på brunnsröret konstaterats, vilket medfört att vatten strömmat in från 35 m djup (Sweco Viak AB, 2006; VA SYD, 2016a). Enligt Göransson (2017) är troligen även brunnsröret på PV13 skadat då silt förekommit i råvattnet. Vid fältbesök kunde stora mängder silt som förts upp med vattenuttag ur brunnen observeras vid markytan omkring PV13. Under examensarbetets gång har rivningsarbete påbörjats för PV11-13 samt PV25:1. Brunnsrören gjuts igen med en blandning av betong och bentonit och deras överbyggnader rivs (Göransson, 2017).



Figur 2

Placeringen av brunnarna PV8-13 samt PV25 vid Torvtäkten. Orange linje markerar ungefärligt läge för den f.d. skjutbanans utskjutningsplatser. I syd ses Torrebergabäcken. *Bildkälla:* VA SYD 2016a, med ändringar.

Tabell 1

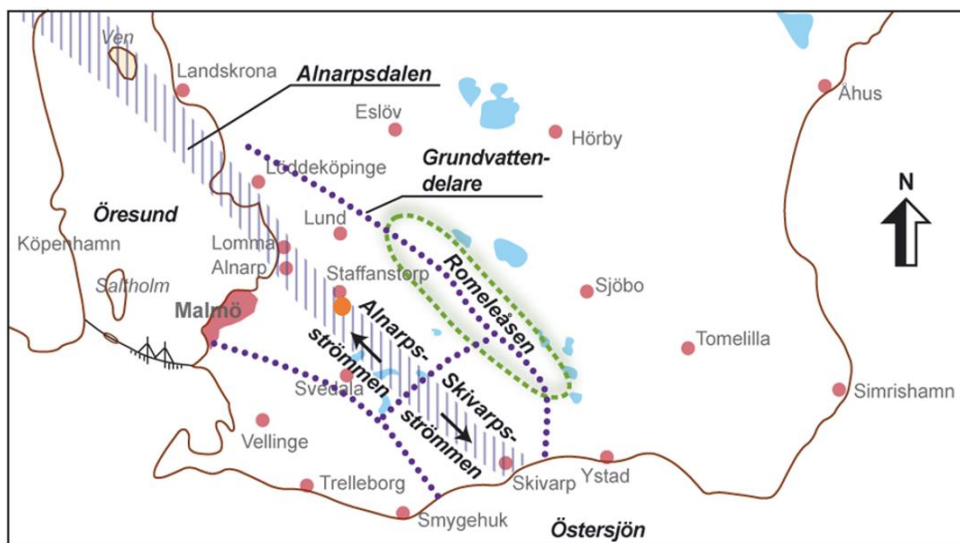
Sammanfattning av brunnarna vid området Torvtäkten.

Brunn	Anläggningsår	Djup (m)	Genomsnittskapacitet (l/s)	Övrigt
PV8	1934	71	15	Avställd. Igengjuten 2017.
PV8:1	1969	72	-	Avställd 1999. Igengjuten 2017.
PV9	1934	75	15	I drift.
PV10	1934	-	-	Avställd 1990. Igengjuten och riven 2014.
PV10:1	Okänt	74	-	Har aldrig varit i drift. Igengjuten.
PV10:2	2012	74	-	Avställd.
PV10:3	2017	74	19	I drift.
PV11	1934	-	-	Avställd 1968. Gjuts igen och rivs november 2017.
PV11:1	1968	74	-	Avställd 2003. Används idag som observationsbrunn.
PV12	1934	-	-	Avställd 1973. Gjuts igen och rivs november 2017.
PV12:1	1974	72	-	Avställd 2009. Gjuts igen och rivs november 2017.

PV12 provborrning	2016	ca 70	-	-
PV13	1926	71	-	Avställd 2013. Igengjuten 2017. Rivs november 2017.
PV25	1943	-	-	Avställd 1969. Igengjuten och riven november 2017.
PV25:1	1974	-	-	Avställd 1994. Igengjuten 2017. Rivs november 2017.

Geologi

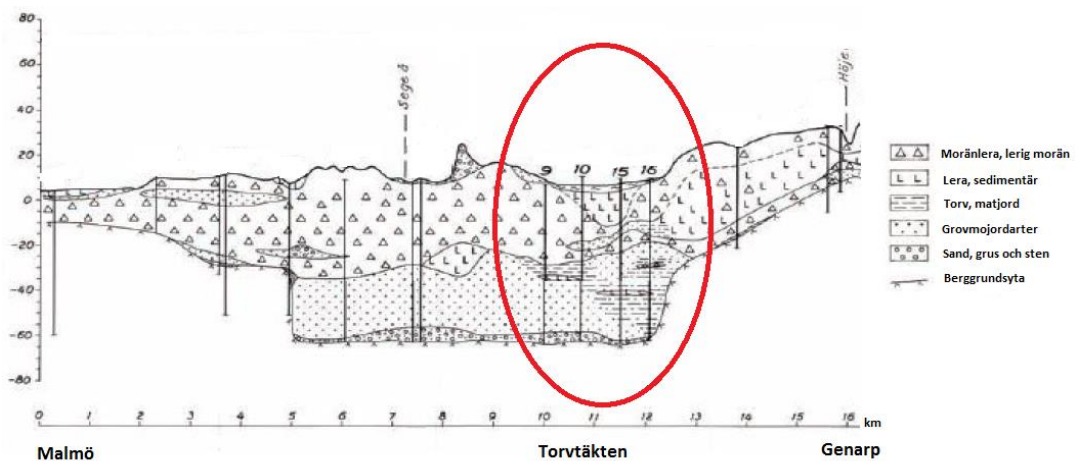
Berggrunden omkring Grevie utgörs av Danienkalksten, en porös kalksten rik på fossil och till viss del flinta. Berggrunden överlagras av sandiga sediment varifrån dricksvattenbrunnarna i Grevie får sitt grundvatten (Sweco, 2013). Sedimenten, så kallade Alnarps sediment, förekommer i den dolda berggrundssänkan Alnarpsdalen. Sänkan sträcker sig diagonalt i nordväst-sydöstlig riktning från kusten väster om Ystad upp till Lomma och därefter vidare under Öresund (figur 3). Dalgången är ca 50 m djup och 60 m bred (Sweco, 2013).



Figur 3

Alnarpsdalens utbredning visas med ljusgrå streck. Svarta pilar visar grundvattnets strömningsriktning i dalen. Grundvattendelare är markerade med prickade linjer. Grevieanläggningens ungefärliga läge är markerat med orange cirkel. Bildkälla: Sweco 2013, med ändringar.

Den generella jordlagerföljden för hela Grevieområdet består av två mäktiga lager lermorän, varvat med två lager intermoräna sediment (grus, sand, silt och lera) vilka har avsatts under perioder då området täcktes av inlandsis (Johansson, 2017; Sweco, 2013). Vid den f.d. skjutbanan består det ytliga jordlagret av torv (WSP, 2016). Jordlagren har deformerats av inlandsisens rörelse och kan förekomma både som horisontella och vertikala avlagringar (Sweco, 2013). Till följd av deformation kan jordlagerföljden variera kraftigt och med kort avstånd (Johansson, 2017), vilket även kan ses vid observation av figur 4 samt borrprofiler från WSP (2016) i bilaga 2. Jordlagrens orientering påverkar i sin tur den hydrauliska genomsläppligheten, vilken också kan variera kraftigt inom området (Sweco, 2013). Jordlagrets mäktighet vid den f.d. skjutbanan varierar mellan 60-70 m (WSP, 2016).



Figur 4

Konceptuell geologisk modell över jordlagerföljden på en sträcka mellan Malmö och Genarp som korsar VA SYDs brunnsområde Torvtäkten, markerat med röd cirkel. *Bildkälla:* Sweco 2013, med ändringar.

Hydrogeologi

I Alnarpsdalen flödar grundvatten som kan delas upp i två strömmar, Alnarpsströmmen och Skivarpsströmmen (Sweco, 2013). Torvtäkten är, liksom alla VA SYDs brunnsområden i Grevie, lokaliserat i ett område som sammanfaller med den förstnämnda (figur 3). Alnarpsströmmen är känd för sin goda grundvattentillgång, enligt VattenAtlas (2017) är uttagsmöjligheterna i

berggrunden i Greve mycket goda. Grundvattenkapaciteten i jord klassas som ovanligt stor (VattenAtlas, 2017).

Flera olika grundvattenmagasin kan avgränsas i Alnarpsströmmen (Sweco, 2013). Johansson (2017), geolog på WSP, förklarar att det i jordlagren vid Torvtäkten kan tänkas finnas tre grundvattenmagasin: ett öppet magasin i det ytliga torvlagret, ett magasin i intermoräna sediment, samt ett slutet magasin i de sandiga och grusiga Alnarpsedimenten närmast berggrunden. Det sistnämnda magasinet är det viktigaste för grundvattenförsörjningen, ur vilket VA SYD har tillstånd att ta ut vatten (Sweco, 2013). Detta grundvattenmagasin är beläget ca 30-60 m under havsytan och har en mäktighet på omkring 30 m (Johansson, 2017). Underliggande kalkberg utgör ett läckande slutet grundvattenmagasin (Sweco, 2013).

Mellan de olika grundvattenmagasinen sker utbyte av vatten. Hur stort utbytet blir beror delvis på hur stor tryckskillnad som råder mellan magasinen. Tryckskillnader styr även åt vilket håll utbytet sker då vattnet transporteras från högt tryck till lågt tryck (Johansson, 2017). Innan vattenverksamhet började bedrivas i Greve stod vattenytan över marknivån inom stora områden på grund av högt tryck i vattenförande lager (Sweco, 2013). I takt med ökade vattenuttag sänktes trycket i Alnarpsedimenten vilket medförde en nedåtriktad hydraulisk gradient. Till följd av detta sker ett nedåtriktat vattenläckage i vissa områden. Storleken på läckaget beror dels på jordlagrens genomsläpplighet, dels på nivåskillnader mellan magasinen (Sweco, 2013).

Grundvattentrycket i det djupa grundvattenmagasinet är artesiskt (Johansson, 2017), vilket även kunde observeras vid fältbesök då grundvatten självrann ur provborringsrör intill PV12 med konstant flöde på ca 3 l/s (figur 5 t.v.). Göransson (2017) konstaterar även att grundvatten vid tillfällen med högt vattenstånd flödat ur PV13 som idag är igengjuten. Vid tillfället för igengjutning var vattentrycket så högt att brunnsröret fick förlängas med 6 m ovanför markytan för att arbetet skulle kunna utföras, likväl för att inte översvämma närområdet (figur 5 t.h.).

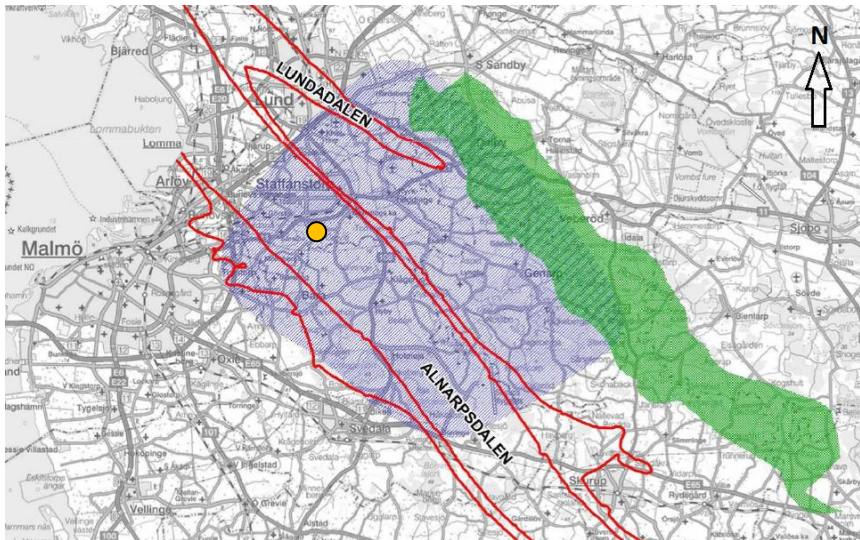


Figur 5

Till vänster ses hur grundvatten självrinner ur provborringsrör intill f.d. Grevie skjutbana. Till höger ses brunnsröret vid PV13 som fått förlängas för att förhindra att grundvatten tränger upp och översvämmar närområdet. *Bildkälla: Lundin 2017.*

Tillrinningsområdet för brunnarna vid Torvtäkten sträcker sig uppströms (sydost) mot en naturlig grundvattendelare och avgränsas i nordost av en topografisk vattendelare, Romeleåsen (figur 6) (Sweco, 2013). Topografiska vattendelare förekommer även i sydväst och sydost. Då grundvattennivån sänks till följd av grundvattenuttag bildas kring brunnarna en så kallad avsänkningstratt, där vattnet flödar in mot brunnarna. Grundvattenuttaget har medfört att det naturliga flödesmönstret har störts så pass mycket att det i nordväst har bildats en hydraulisk grundvattendelare (Johansson, 2017). Grundvattnet som tas upp i Grevie beräknas ha en transporttid i storleksordningen 30 år eller mer från infiltrationsområdet innan det når brunnområdet (Johansson, 2017). Infiltrationsområdet för det djupa grundvattenmagasinet sammanfaller därmed inte med uttagsområdet (Johansson, 2017).

Avrinningen i Alnarpsströmmen sker under naturliga förhållanden mot nordväst (Sweco, 2013). Ytavrinningen följer områdets topografi vilken sluttar mot Torrebergabäcken precis söder om Torvtäkten (figur 7) (VattenAtlas, 2017). Bäckens rinner ungefär tre kilometer väst om Torvtäkten ut i Sege å (VattenAtlas, 2017).



Figur 6
Tillrinningsområdet för Torvtäkten syns markerat med lila. Brunnens ungefärliga läge är markerat med orange cirkel. Grönt område visar Romeleåsens utbredning. Bildkälla: Sweco 2013, med ändringar.

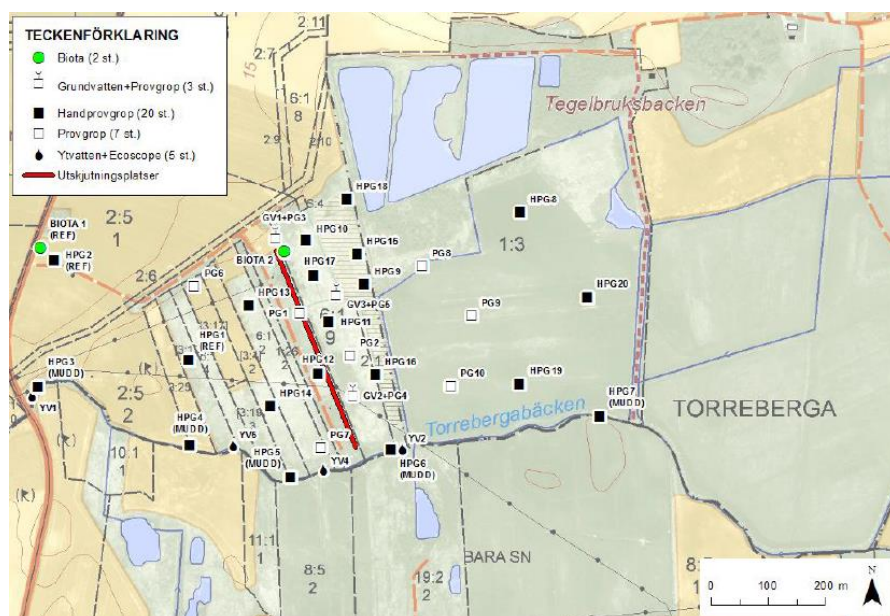


Figur 7
Områdets ytavrinning sker mot Torrebäckabäcken strax söder om brunnens område och markeras med blå linjer och pilar. Torrebäckabäcken rinner i väster ut i Sege å (ej i bild). Brunnarnas läge har markerats med röda cirklar. Bildkälla: VattenAtlas 2017, med ändringar.

Förorenings utbredning och omfattning

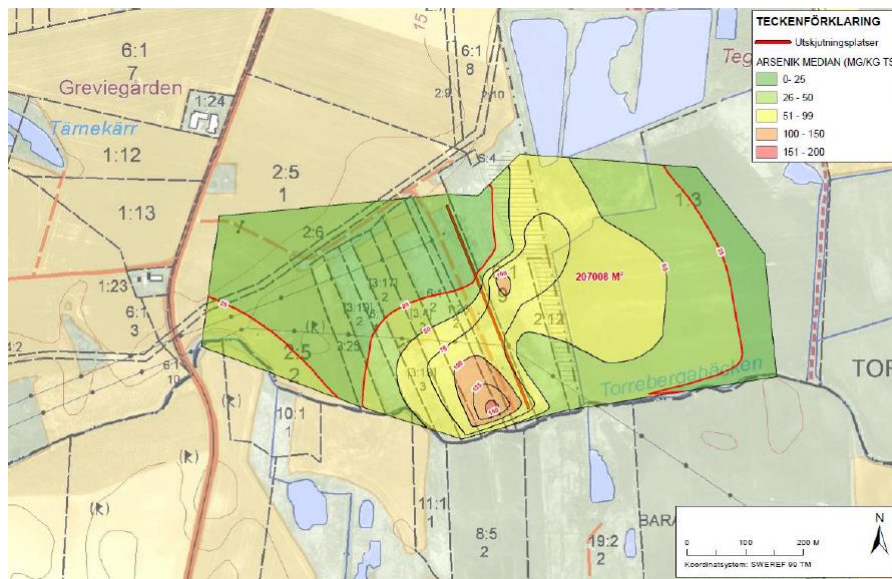
Vid f.d. Greve skjutbana bedrevs lerduveskytte mellan 1975-1998 (Golder Associates, 2016). Skjutbanan hade totalt 8 utskjutningsplatser längs en sträcka på omkring 400 m i nord-sydlig riktning (figur 8). Utskjutning ska huvudsakligen ha skett åt öster, men enligt uppgifter även i NNV-SSO riktning från den väg som går norr om brunnsområdet (Golder Associates, 2016). Som ammunition användes blyhagel, vilket även innehöll arsenik som hårdgörare. Majoriteten av ammunitionen beräknas ha fallit ned omkring 125-175 m från utskjutningsplatsen (Golder Associates, 2016).

Golder Associates genomförde 2015 en markundersökning i området på uppdrag av Länsstyrelsen i Skåne. Vid undersökningen utfördes provtagning av grundvatten, ytvatten, jord och gräs vid flera provpunkter (figur 8; bilaga 3). Resultatet visade att kraftigt förhöjda halter av arsenik förekommer i det ytliga jordlagret inom hela undersökningsområdet (figur 9) (Golder Associates, 2016). Arsenikhalter på upp till 400 mg/kg har detekterats, vilket kraftigt överskrider det regionala bakgrundsvärdet på 4,5-10,2 mg/kg (Golder Associates, 2016). Analysresultat redovisas i bilaga 4.



Figur 8

Provtagningspunkter inom undersökningsområdet. Röd linje markerar skjutbanans läge. Orange streckad linje strax väster om skjutbanan markerar sträckan utmed vilken brunnsarna PV11-13 samt PV25 är placerade. Bilden presenteras i större format i bilaga 3. Bildkälla: Golder Associates 2016.



Figur 9

Arsenikföreningens utbredning och koncentration i ytliga jordlager. Den f.d. skjutbanans läge visas med röd linje. Orange streckad linje strax väster om skjutbanan markerar sträckan utmed vilken brunnarna PV11-13 samt PV25 är placerade. Bildkälla: Golder Associates 2016.

Jord

Provtagning av jord i handgrävda provgropar visade att framförallt HPG9 och HPG11 (figur 8) innehöll höga halter av arsenik, >100 mg/kg TS, vilket överskrider riktvärdet för akuttoxicitet. I dessa provpunkter observerades mycket stora mängder ammunitionsrester i form av hagel, hylsor och lerduvor (Golder Associates, 2016). Vidare visade undersökningarna att de kraftigaste föreningarna av arsenik förekommer i de ytliga jordlagren, 0-0,2 meter under markytan. Här utmärker sig halterna i PG2 där de uppgår till >100 mg/kg TS. I övriga provgropar är föroreningshalterna relativt låga med undantag för den djupa profilen, 0,3-1,0 meter under markytan, i PG7 där halten arsenik var 270 mg/kg TS (Golder Associates, 2016). Direkt intill Torrebergabäcken, i HPG3-7, detekterades arsenikhalter på 16-64 mg/kg TS (vilket överskrider Naturvårdsverkets riktvärden för känslig markanvändning, KM, likaså mindre känslig markanvändning, MKM) (Golder Associates, 2016). Golder Associates (2016) konstaterar att de förhöjda arsenikhalterna är direkt kopplade till den f.d. skjutbaneverksamheten i området.

Grundvatten

Ytligt grundvatten provtogs genom två grundvattenrör, GV1 och GV3, vilka installerats i provgrop PG3 och PG5 (figur 7). Efter montering låg rörens underkant ca tre meter under markytan (Golder Associates, 2016). Schaktvatten provtogs från PG2 (figur 7). Analyser visar att förhöjda arsenikhalter i förhållande till jämförvärden (SGU:s bedömningsgrunder för dricksvatten) förekommer i GV1 och GV3 (tabell 2) (Golder Associates, 2016).

Tabell 2

Koncentrationer av arsenik i grundvatten (schaktvatten) från undersökningsområdet. I tabellen redovisas även SGU:s bedömningsgrunder vilka används för att klassa grundvattnets tillstånd. SGU-1 innebär högst kvalitet och SGU-5 lägst kvalitet

Provpunkt	Koncentration As (µg/l)	SGU-1 (µg/l)	SGU-2 (µg/l)	SGU-3 (µg/l)	SGU-4 (µg/l)	SGU-5 (µg/l)
GV1	9,6	<1	1-2	2-5	5-10	>10
GV3	8,5	<1	1-2	2-5	5-10	>10
PG2	1,1	<1	1-2	2-5	5-10	>10

Ytvatten

Gällande förekomst av arsenik i ytvatten visar analyser även här på förhöjda halter (bilaga 4) (Golder Associates, 2016). Samtliga vattenprov av ytvatten från Torrebergabäcken innehöll arsenikkoncentrationer vilka överskred Naturvårdsverkets nationella bakgrundsvärden för svenska sjöar och vattendrag (0,37 µg/l) (Golder Associates, 2016). Högst halter detekterades uppströms, med avtagande koncentration nedströms. Vad som orsakat de högre koncentrationerna uppströms är inte konstaterat men möjliga teorier är att skjutbaneverksamhet tidigare bedrivits även uppströms eller att bakgrundshalterna av arsenik är förhöjda i området (Golder Associates, 2016).

Metod

Studien har delats in i två delar där den första delen ämnar beskriva hälsorisker med arsenik i dricksvatten. Den andra delen utgörs av en fallstudie av VA SYDs vattentäkt vid f.d. Greve skjutbana. Nedan beskrivs de metoder som använts.

Litteraturstudie

Inledningsvis utfördes en översiktlig litteraturstudie. Detta möjliggjorde en sammanställning av de risker arsenik i grundvatten utgör för människors hälsa baserat på tidigare forskning inom området. I litteraturstudien inhämtades även information om hur arsenik transporteras i mark, yt- och grundvatten. Sökmotorer som användes var huvudsakligen Web of Science Core Collection men även LUBSearch och Google Scholar användes. Följande sökordskombinationer användes: *Arsenic AND groundwater, Arsenic AND drinking water, Arsenic AND contamination, Arsenic AND contamination AND groundwater, Arsenic AND contamination AND drinking water, Arsenic AND health risk, Arsenic AND distribution* samt *Arsenic AND distribution AND groundwater*.

För att välja ut de mest relevanta artiklarna från ett stort antal sökträffar gjordes vissa avgränsningar. Vetenskapliga artiklar som inhämtades är peer reviewed och publicerade mellan år 2000-2017 för att få så relevant och aktuell information som möjligt. Artiklarna sorterades till att visas efter relevans där artiklar med högst relevans visades först. I ett andra urval lästes abstract och slutsats för artiklar med relevant rubrik. De som innehöll information av betydelse för denna studie gick vidare till ett tredje urval där hela artikeln lästes. Artiklar med information av intresse valdes ut till studien, övriga sållades bort. Snöbollsmetoden har tillämpats i de fall en artikel refererat till en annan artikel som verkat relevant för denna studie.

Dokumentgranskning

För att få information om föreningens utbredning samt vilka geologiska och hydrogeologiska förutsättningar som råder vid f.d. Greve skjutbana har dokument från bland annat myndigheter, konsultföretag och VA SYD granskats. Dessa dokument har huvudsakligen tillhandahållits direkt av VA SYD men de har också hittats genom sökningar på myndigheters hemsidor. Då examensarbetet skrevs på VA SYD, med tillgång till arkivmaterial, fanns möjlighet att göra ett eget urval i större utsträckning än vad som annars hade varit möjligt. Granskade dokument redovisas i tabell 3.

Tabell 3

Sammanställning av granskade dokument.

Titel	Dokumenttyp	Utgivare och årtal	Källa
<i>Brunnar Greve. Brunnarnas status och förslag till åtgärder</i>	Rapport	Sweco Viak AB för VA-verket Malmö, 2006	VA SYD
<i>Framtida brunnar i Greve Förutsättningar för vattenuttag i de olika brunnsområdena – ett diskussionsunderlag</i>	Rapport	VA SYD, 2016	VA SYD
<i>Föreningensproblematik vid skjutbanor och skjutfält samt redogörelse för erfarenheter avseende tillsynsmyndigheternas krav på utredningar och åtgärder</i>	PM	Länsstyrelsen Norrbotten, 2011	VA SYD
<i>Genomgång av lagerföljder från borrhningar vid Greve vattentäkt och bedömning av geologiska förutsättningar för framtida vattenuttag</i>	Rapport	WSP för VA SYD, 2016	VA SYD
<i>Greve vattenskyddsområde - revidering av vattenskyddsområde för Greve grundvattenanläggning</i>	Tekniskt underlag	Sweco för VA SYD, 2013, rev. 2016	VA SYD
<i>Markmiljöundersökning och riskbedömning - Greve skjutbana, Staffanstorp</i>	Rapport	Golder Associates för Länsstyrelsen i skåne, 2016	VA SYD
<i>Naturligt radioaktiva ämnen, arsenik och andra metaller i dricksvatten från enskilda brunnar</i>	Rapport	SSI, 2008	SGU
<i>Utvärdering av grundvattenprovtagning för pH- och redoxkänsliga ämnen</i>	Publikation	SGI, 2013	SGI
<i>VA SYD Vattenlaboratoriet - Analyssvar</i>	Rapporter	VA SYD, 2016-2017	VA SYD
<i>Vattendom AD 110/1952 Greve II</i>	Dom	Söderbygdens Vattendomstol, 1952	VA SYD

Semistrukturerade intervjuer

Information samlades även in genom intervjuer med personal på VA SYD samt konsultföretaget WSP. Håkan Göransson arbetar som driftreparatör på VA SYD (tidigare Malmö VA-verk) sedan år 1999 med inriktning på vattentäcker och särskilt ansvar för vattenverksamheten i Grevie. Mattis Johansson är geolog på WSP. Johansson har mer än 20 års erfarenhet av arbete som berör Grevie och har bland annat arbetat med att ta fram dess vattenskyddsområde. Personerna som intervjuades valdes ut på grund av deras kompetens och goda kunskaper om VA SYDs verksamhet i Grevie respektive geologiska och hydrogeologiska förhållanden i området, vilket gör att deras svar anses trovärdiga.

Intervjuerna utfördes med semistrukturerad karaktär där frågorna var öppna. Denna intervjumetod valdes då den låter respondenterna svara fritt och inte lika strikt som vid en strukturerad intervju, vilket ger möjligheter att inhämta relevant information (Bryman, 2001). Metoden gör också att intervjun hålls öppen för eventuella följdfrågor. Intervjuerna utfördes vid personliga möten, vilket enligt Bryman (2001) är en fördel då intervjuaren kan läsa av respondentens kroppsspråk och därmed inkludera detta i tolkningen av erhållna svar. Under skrivandets gång gavs respondenterna möjlighet att läsa delar av rapporten för att kunna korrigera eventuella tolkningsfel eller otydligheter. Göransson och Johansson har utöver intervjutillfällena varit tillgängliga och behjälpliga med att svara på frågor som dykt upp under arbetets gång. Frågorna som ställdes vid intervjuerna redovisas i bilaga 1.

Fältbesök

Ett fältbesök i Grevie genomfördes den 18/10-2017 i samband med intervjun med Håkan Göransson. Detta gav möjlighet att få en bild av produktionsbrunnarna och deras omgivning. Samtidigt kunde Göransson svara på frågor som dök upp på plats och visa i praktiken. Vid fältbesöket togs även ett vattenprov på vatten som via ett rör leds bort från brunnen PV25 till intilliggande dike. Vattnet samlades upp i en PET-flaska vid rörets utlopp. Flaskan fick sedan stå orörd i en vecka för att låta sediment sjunka till botten. Sedimenten kunde därefter granskas.

Syftet med provtagningen var att utföra en enkel okulär observation av hur rent vattnet från brunnen var, med avseende på sediment, då det kan säga något om brunnsrörets skick. Grumligt vatten med sedimentförekomster kan tyda på att brunnsröret inte är helt och därav tar in vatten från andra djup, där siltiga jordarter förekommer, än det som är tillåtet för grundvattenuttag i Grevie. Utöver fältbesök har vattenprov tagits från PV12 med assistans av Göransson. Vattenprovet har därefter analyserats av VA SYDs dricksvattenlaboratorium med avseende på arsenik.

Resultat

I kapitlet besvaras uppsatta frågeställningar och hypoteser (se sida 12-13). Först presenteras resultatet av litteraturstudien i vilken hälsorisker med arsenik i dricksvatten undersöktes. Därefter presenteras resultatet av riskbedömningen för VA SYDs brunnar vid Grevie f.d. skjutbana uppdelat på de tre hypoteserna.

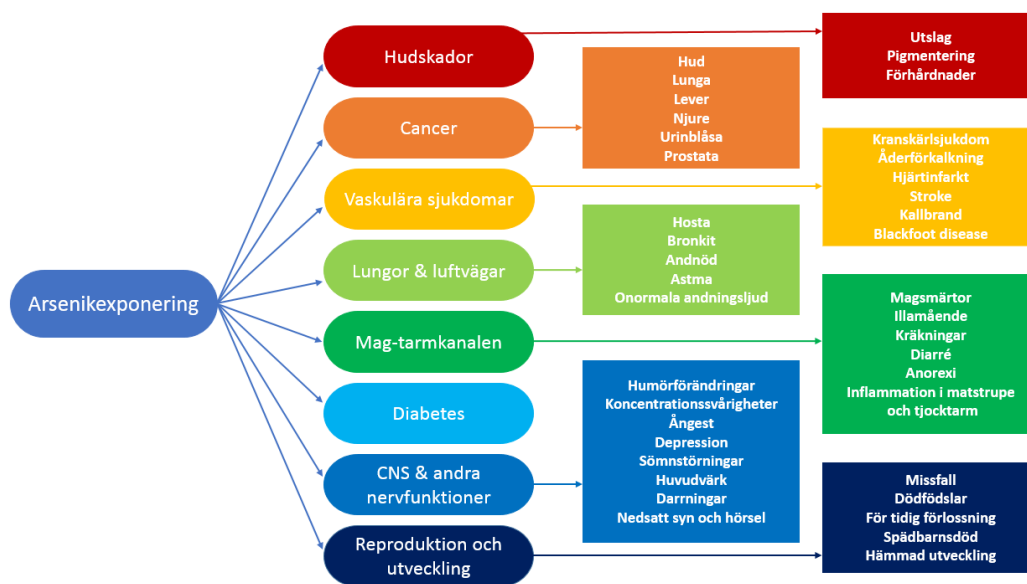
Hälsorisker med arsenik i dricksvatten

Arsenikförgiftning kan vara av akut eller kronisk karaktär (Chakraborti et al., 2017). Vid akut förgiftning visas symptom direkt vid exponering för ämnet, vanligtvis genom magsmärtor, illamående, kräkningar och diarré, tätt följt av domningar, kramper och skador på blodkärl (Tchounwou et al., 2003). Vid kronisk exponering för arsenik i dricksvatten visas kliniska symtom först en längre tid efter intag (Abdul et al., 2015), ofta uppstår skador på flera av kroppens system samtidigt (Chakraborti et al., 2017). Såväl akut som kronisk arsenikförgiftning kan leda till dödsfall till följd av kraftiga skador på inre organ och kroppens funktioner (Abdul et al., 2015).

Studier visar att kronisk exponering av arsenik i dricksvatten kan ge upphov till ett flertal hälsoproblem av varierande karaktär (figur 10) (Abdul et al., 2015; Chakraborti et al., 2017; Tchounwou et al., 2003). Vilka hälsoeffekter som uppstår beror dels på hur stor mängd arsenik som intagits samt under hur lång tid exponeringen skett, där större mängder och längre exponeringstid leder till allvarligare konsekvenser (Chakraborti et al., 2017). Det är också av betydelse vilken form av arsenik exponeringen sker för. Oorganisk arsenik utsöndras långsammare och har längre uppehållstid i kroppen och är därav mer skadligt än organisk arsenik (Mandal & Suzuki, 2002).

Enligt Hong et al. (2014) sprids arsenik relativt konstant i kroppen. I hud, lungor, njurar och lever är spridningen vidare utbredd, därav löper dessa organ större risk för hälsoeffekter till följd av arsenikexponering (Hong et al., 2014). Abdul et al. (2015) och Chakraborti et al. (2017) beskriver att exponering för oorganisk arsenik förstör funktioner hos enzym, anjoner och katjoner samt stör viktiga cellprocesser vilket kan leda till direkta eller indirekta skador. Hälsoeffekterna drabbar både barn och vuxna, barn är dock känsligare för exponering då deras kroppar är känsligare (Chakraborti et al., 2017). Vidare

beskriver Chakraborti et al. (2017) att barns inre organ påverkas kraftigt när kroppen försöker göra sig av med arsenik, vilket kan leda till hämmad fysisk och mental utveckling.



Figur 10

Schematisk bild över några av de hälsoeffekter exponering för arsenik i dricksvatten kan ge upphov till.

Hudskador

Ett av de första symtomen som vanligen framträder vid långtidsexponering för oorganisk arsenik är hudåkommor, ofta i form av utslag, pigmentering och förhårnader på handflator och fotsulor (Liu et al., 2002; Mazumder et al., 1998; Rahman et al., 2009; WHO, 2017). Symtom visas generellt efter minst fem års exponeringstid men vid exponering för höga koncentrationer (1000 µg/l) kan hudutslag uppkomma inom ett halvår (Chakraborti et al., 2017). Enligt Abdul et al. (2015) och Chakraborti et al. (2017) kan dessa symtom utgöra ett förstadium till hudcancer.

Cancer

Arsenik är klassat som ett cancerogent ämne (Kligerman & Tennant, 2007; WHO, 2017). Vid konsumtion av en liter arsenikförorenat vatten (50 µg/l) dagligen antas 13 av 1000 personer drabbas av cancer (Smith et al., 2002). Förutom hudcancer kan exponering ge upphov till cancer och tumörbildning i lunga, lever, njure, urinblåsa och prostata (Chakraborti et al., 2017; Liu et al., 2002; Mandal et al., 2001; Smith et al., 2002). Kraftiga hudutslag och Bowens, ett förstadium till hudcancer, är en indikator på att flera former av cancer kan förekomma hos den drabbade (Chakraborti et al., 2017).

Vaskulära sjukdomar

Vaskulära sjukdomar, vilket innefattar funktionsnedsättningar på blodkärl (vener, artärer och kapillärer) och hjärtat, är vanligt förekommande effekter av arsenikexponering (Abdul et al., 2002; Srivastava et al., 2009). Dessa sjukdomar kan delas upp i två typer: perifera vaskulära sjukdomar samt kardiovaskulära sjukdomar. Den förstnämnda drabbar små blodkärl i bland annat hud, armar och fötter medan den sistnämnda drabbar större artärer och hjärtat (Abdul et al., 2015). Vidare nämner Abdul et al. (2015) ett antal kardiovaskulära sjukdomar, exempelvis kranskärlssjukdom, åderförkalkning, högt blodtryck, hjärtstopp, hjärtinfarkt, stroke och kallbrand, vilka kan uppstå vid kronisk arsenikexponering. Black foot disease är en specifik form av perifer vaskulär sjukdom som kan uppstå vid långtidsexponering för arsenik (Tseng et al., 2005). Sjukdomen som innebär allvarliga skador på blodkärl och leder till kallbrand förekommer endast i vissa delar av Taiwan (Tseng et al., 2005; WHO, 2017). Enligt WHO (2017) är det möjligt att näringsbrist bidrar till sjukdomens utveckling.

Lungor och luftvägar

Flera studier har visat att långtidsexponering för oorganisk arsenik kan leda till problem med luftvägar och lungor. Hosta, bronkit, andnöd och onormala andningsljud är vanligt förekommande symtom (Bhattacharyya et al., 2014; De et al., 2004; Ghosh, 2013). Das et al. (2014) har även visat att astma förekommer oftare hos personer som exponerats för högre arsenikhalter (11-50 µg/l) än de hos de som exponerats för lägre halter (<50 µg/l). Dessa hälsoeffekter blir mer framträdande vid intag av vatten med högre arsenikkoncentrationer (Mazumder et al., 1998).

Mag-tarmkanalen

Förutom de akuta symtom som nämns i kapitlets början kan även kronisk exponering för arsenik ge upphov till skador på mag-tarmkanalen. Vid kronisk exponering för arsenik i lägre koncentrationer uppstår eller visas inte alltid tydliga symtom på skador på mag-tarmkanalen (Tchounwou et al., 2003). Vaga symtom som inflammation i matstrupen, magkatarr, anorexi, viktnedgång, inflammation i tjocktarmen samt problem med matsmältning och näringsupptag (Mukherjee et al., 2005; Tchounwou et al., 2003).

Diabetes

Kronisk exponering för arsenik i dricksvatten antas kunna orsaka diabetes typ 2 (Coronado-González et al., 2007; Makris et al., 2012; Tseng et al., 2000). Kapaj et al. (2006) visar i en studie att arsenik redan vid låga koncentrationer (0,4 µg/l) kan verka hormonstörande och orsaka genskador. Vidare beskriver Khan et al. (2017) att genskador till följd av arsenikexponering kan orsaka förändringar i glukostransport samt hämma utsöndrandet av insulin, vilket i sin tur kan inducera diabetes.

Centrala nervsystemet och andra neurologiska funktioner

Mukherjee et al. (2003; 2005) har observerat påverkan på centrala nervsystemet och andra neurologiska funktioner vid arsenikexponering. Vanliga symtom hos de exponerade är humörförändringar, irritabilitet, koncentrationssvårigheter, ångest, depression och sömnstörningar, symtom som i sin tur har negativ påverkan på både arbetsliv och privatliv (Mukherjee et al., 2003). Andra neurologiska effekter som observerats av Mukherjee et al. (2003; 2005) är huvudvärk, darrningar, muskelsvaghet, nedsatt syn och hörsel.

Reproduktion och utveckling

Kronisk exponering för arsenik kan påverka reproduktionsförmågan negativt (Ahamed et al., 2006; Chakraborti et al., 2003; Mukherjee et al., 2005). Enligt Milton et al. (2005) och Mukherjee et al. (2005) är spontana missfall, för tidig förlossning, dödfödslar och spädbarnsdöd direkt kopplat till intag av dricksvatten med hög arsenikkoncentration (0–1710 µg/l). Von Ehrenstein et al. (2006) har visat att risken för dödfödslar ökar med sex gånger vid exponering för arsenik (≥ 200 µg/l) under graviditeten. Då arsenik transporteras över livmodern kan det ackumuleras i fostret (Concha, 1998). Foster som exponeras för arsenik riskerar

försämrad mental och fysisk utveckling samt löper större risk att utveckla sjukdomar i senare livsstadier (Recio-Vega et al., 2014; Steinmaus et al., 2014).

Sammanfattningsvis orsakar arsenik skador på alla kroppens processer och organ, vilket kan leda till dödsfall både på kort och lång sikt (Abdul et al., 2015). Det finns inga medicinska botemedel mot kronisk arsenikförgiftning, istället läggs fokus på att minimera risken för arsenikexponering vid dess källa (Chakraborti et al., 2017).

Risk för förekomst av arsenik vid VA SYDs vattentäkt vid f.d. Grevie skjutbana

Risk för det djupa grundvattenmagasinet

Vid VA SYDs (2016c-k; 2017) analyser av råvatten från PV8-13 samt PV25 kunde inga förhöjda halter av arsenik detekteras (tabell 4). Totalt har 10 vattenprover analyserats med avseende på arsenik mellan år 2016-2017. Samtliga uppmätta halter ligger med god marginal under Livsmedelsverkets gränsvärde (10µg/l) för arsenik i dricksvatten (VA SYD, 2016c-k; VA SYD, 2017).

Tabell 4

Koncentrationer av arsenik som uppmätts i råvatten från brunnar vid Torvtäkten. I tabellen redovisas även SGUs bedömningsgrunder för dricksvatten (endast klass 1-2 av 5).

Provtagningsplats	Arsenikhalt (µg/l)	SGU-1 (µg/l)	SGU-2 (µg/l)	Provtagningsdatum
PV8	0,43	<1	1-2	2016-03-30
PV9	0,44	<1	1-2	2016-03-30
PV10	1,4	<1	1-2	2016-03-30
PV11 avslutad brunn	0,76	<1	1-2	2016-12-12
PV12:1 avslutad brunn	1,4	<1	1-2	2016-12-12
PV12 provborrning	1,0	<1	1-2	2016-03-30
PV12 provborrning	0,68	<1	1-2	2017-11-17
PV13 avslutad brunn	0,84	<1	1-2	2016-12-12
PV25	1,9	<1	1-2	2016-03-30
PV25:1 avslutad brunn	1,5	<1	1-2	2016-12-12

De största grundvattenuttagen i Greve sammanfaller inte med användningstiden för den f.d. skjutbanan utan inträffade närmare 20-30 år tidigare (Sweco, 2013; Golder Associates, 2016). Det vill säga att arsenikföreningen inte existerade då sänkningen av grundvattennivån var som störst. Då grundvattenuttaget minskat sedan 50-talet strävar grundvattennivån efter att återgå till sin ursprungliga högre nivå (Sweco, 2013), därav kan ett uppåtriktat grundvattenflöde förväntas i området (Johansson, 2017).

Vid betraktande av de geologiska förutsättningar som råder vid Torvtäkten ses att det djupa grundvattenmagasinet överlagras av flera lager moränlera med olika mäktighet (figur 4; bilaga 2). Moränlera utgör tätande skikt och fungerar som bromsande lager mot föroreningar (Johansson, 2017). Enligt Johansson (2017) utgör dock det uppåtriktade vattenflödet bättre skydd mot föroreningsspridning än lerlagren. Lång infiltrationstid samt att tillrinningsområdet inte sammanfaller med brunnområdet utgör också ett skydd mot att arsenik från skjutbanan når det djupa grundvattenmagasinet (Johansson, 2017).

Slutsats: Risken för att arsenik når VA SYDs råvatten via det djupa grundvattenmagasinet bedöms därav som liten.

Risk för ytligare grundvattenmagasin

Golder Associates (2016) analyser av grundvatten visar på förhöjda arsenikhalter. Uppmätta koncentrationer är med mycket liten marginal (0,4 µg/l) under Livsmedelsverkets gränsvärde för arsenik i dricksvatten. Ytliga grundvattenmagasin, förutom det allra ytligaste i torvlagret, överlagras också av tätande moränlera, om än inte i lika många lager som det djupa grundvattenmagasinet (WSP, 2016). Moränlera utgör ändå ett skydd mot föroreningsspridning till ytliga grundvattenmagasin, även om det inte är lika stort som för det djupa grundvattenmagasinet. Grundvattentrycket och vattnets flödesriktning bedöms även här till största del vara uppåtriktat (Johansson, 2017).

VA SYD (2016a) har konstaterat förekomst av hål på brunnsröret till PV25, vilket även styrks vid observation av vattenprov som togs vid fältbesök. Vattenprovet innehöll silt vilket är ett tydligt tecken på att vatten från ytligare grundvattenmagasin, omgärdade av siltiga jordarter, tagit sig in i brunnsröret (Göransson, 2017). Risken för att arsenik når råvattnet via ytligare grundvattenmagasin ökar om hål förekommer på brunnsrören (Göransson, 2017; Johansson, 2017).

Slutsats: Risken för att arsenik når VA SYDs råvatten genom ytliga grundvattenmagasin bedöms därav som liten till måttlig.

Risk för ytvatten

Ytvatten från Torrebergabäcken innehåller förhöjda arsenikhalter (Golder Associates, 2016). Även i ytliga jordlager förekommer höga halter av arsenik som potentiellt kan lakas ut till ytvatten (Golder Associates, 2016). Uppåtriktat grundvattentryck i området förhindrar dock infiltration av föroreningar till ytliga som djupa grundvattenmagasin (Johansson, 2017). Därav löper föroreningar snarare större risk att transporteras med ytvattenavrinning till recipienten Torrebergabäcken (Johansson, 2017). Om området kring brunnarna översvämmas, eller om förorenat ytvatten sipprar ner längs brunnsrörens utsida och når eventuella hål på dessa, kan föroreningar teoretiskt sett nå råvattnet.

Slutsats: Risken för att arsenik når VA SYDs råvatten via ytvatten bedöms därav som liten till måttlig.

Diskussion

Hälsorisker med arsenik i dricksvatten

De hälsoeffekter som kan uppstå vid akut eller kronisk exponering för arsenik i dricksvatten har visat sig vara många och komplexa (Abdul et al., 2015; Chakraborti et al., 2017; Tchounwou et al., 2003). Studier som bedrivits har dock främst observerat hälsoeffekter som uppstått vid långtidsexponering för betydligt högre arsenikhalter än de som uppmätts i grund- och råvatten vid f.d. Grevie skjutbana (Das et al., 2014; Mazumder et al., 1998; Mukherjee et al., 2005). Arsenikkoncentrationen i det råvatten som VA SYD tar upp i området ligger långt under Livsmedelsverkets gränsvärde, vilket talar för att eventuella hälsorisker vid intag av detta vatten är mycket låga med avseende på arsenik (Livsmedelsverket, 2017).

Det är även viktigt att beakta att råvattnet som tas ut vid Torvtäkten späds ut av råvatten från ett flertal andra brunnar i Grevieområdet (VA SYD, 2016a). Råvatten som inkommer till VA SYDs vattenverk i Bulltofta kommer därav ha lägre arsenikkoncentration än råvatten från Torvtäkten, såvida inte råvatten från andra brunnsområden innehåller högre koncentrationer. Om VA SYD anlägger nya brunnar vid Torvtäkten och utökar vattenuttaget i området finns dock risk att det blir en procentuell ökning av arsenikkoncentrationen i råvatten som inkommer till Bulltofta vattenverk.

Risk för det djupa grundvattenmagasinet

Resultatet har visat att den första hypotesen (se sida 12-13) kan bekräftas. Även om risken för att arsenik från den f.d. skjutbanan ska nå det djupa grundvattenmagasinet i nuläget bedöms som låg går det inte att helt utesluta framtida risk. Grundvattenmagasinet överlagras av relativt mäktiga jordlager genom vilka föroreningen måste transporteras för att utgöra en risk (Johansson, 2017; Sweco, 2013). SGU (1997) bedömer att ett fyra meter mäktigt lager lera utgör ett fullgott skydd mot föroreningsspridning. Vidare beskriver Naturvårdsverket (1999) att spridningsförutsättningar är låga i leriga moräner och moränleror. Enligt borrhöjningar (bilaga 2) överlagras det djupa grundvattenmagasinet av lerlager med större mäktighet än fyra meter, vilket

därmed styrker bedömningen att risken för arsenik i det djupa grundvattenmagasinet är liten. Det är dock känt att inga jordlager någonsin är helt täta, dessa kan enbart bromsa upp föroreningens spridningshastighet (Bovin et al., 2015; Johansson, 2017).

Förekomsten av vertikala avlagringar bidrar också till att det kan förekomma partier i jordlagren där genomsläppligheten är stor och nedåtriktad transport av förorenat vatten kan ske snabbare än vid passage genom tätare lerlager (Sweco, 2013). Vatten strävar efter att flöda längs den snabbaste transportvägen. Påträffas ett jordlager med låg konduktivitet innebär det inte ett definitivt stopp för förorenat vatten, vilket istället kan spridas horisontellt om omgivningen består av mer genomsläppliga lager (Bovin et al., 2015; Sweco, 2013). För att kunna bedöma risken för horisontell spridning behöver jordlagerföljden kartläggas mer detaljerat.

Om VA SYD utökar sitt vattenuttag i området och på så sätt skapar nya avsänkningstrattar kring brunnar finns risk att förorenat vatten, både ytvatten och ytligare grundvatten, får en nedåtriktad spridning med ökad hastighet (Johansson, 2017). Vidare går det att spekulera kring risker för fortsatt spridning ifall arsenik faktiskt når ner till det djupa grundvattenmagasinet. Föroreningar kan då antas spridas med Alnarpsströmmens flödesriktning (NV) mot området runt PV8-10 (Johansson, 2017). Det skulle i så fall finnas en teoretisk möjlighet till förhöjda arsenikhalter i råvatten från dessa brunnar.

Risk för ytligare grundvattenmagasin

Resultatet har visat att den andra hypotesen kan bekräftas. För ytligare grundvattenmagasin gäller samma geologiska och hydrogeologiska principer som diskuterats i ovanstående stycke, med undantag att dessa magasin inte överlagras av lika mäktiga jordlager samt färre lager bromsande lera. Risk för att arsenik når VA SYDs råvatten via ytligare grundvattenmagasin kan inte heller uteslutas och risken antas vara högre än för det djupa grundvattenmagasinet.

Riskbedömningen för mellanliggande grundvattenmagasin försvåras då få analyser från dessa finns tillgängliga. Högst arsenikkoncentration har uppmätts i råvatten från PV25 (VA SYD, 2016g). Det går inte att utesluta att den marginellt högre koncentrationen beror på inläckage av förorenat vatten från ytligare grundvattenmagasin till följd av perforerat brunnsrör (Göransson, 2017). Samtidigt är det svårt att bekräfta då det inte varit möjligt att provta råvatten från olika nivåer i brunnen. Att arsenikhalten i PV25 är något högre än i övriga brunnar kan också ha orsakats av högre bakgrundshalt vid brunnen.

Både PV13 och PV25 har nyligen gjutits igen och således minskar spridningsrisken genom brunnsröret till andra grundvattenmagasin (Göransson, 2017). Om VA SYD anlägger nya brunnar i området, istället för att använda äldre

brunnar med defekta brunnsrör, minimeras risken att grundvatten tränger in från andra nivåer genom perforerade brunnsrör. Skador på nya brunnsrör kan förekomma men risken har minskat väsentligt med de helsvetsade brunnsrör som används idag (Göransson, 2017).

Risk för ytvatten

Resultatet har visat att den tredje hypotesen i sin helhet inte kan bekräftas. Risken för spridning av arsenik är troligen störst via ytvatten (Golder Associates, 2016; Johansson, 2017). Det är däremot inte säkert att förorenat ytvatten når råvattnet. Uppåtriktat vattentryck samt ytavrinning mot Torrebergabäcken kan förhindra infiltration av förorenat ytvatten till underliggande grundvattenmagasin, men samtidigt ökar risken för föroreningsspridning via ytvatten (Branzén et al., 2013; Johansson, 2017). Störst risk löper troligtvis området kring PV25 där arsenikhalterna i jord är som högst samt mot vilken ytavrinning sker (Johansson, 2017).

Brunnarnas konstruktion är av betydelse för att förhindra föroreningsspridning, om de är ordentligt tätade mellan markyta och brunnsrör minskar risken att ytvatten sipprar ner längs brunnsrörets utsida (Göransson, 2017). Huruvida brunnarna vid Torvtäkten var ordentligt tätade gick inte att observera innan brunnarna gjöts igen. Igengjutning kan förhindra att arsenik sprids till råvatten via ytvatten i händelse av översvämning, däremot förhindrar det inte spridning via rörets utsida (Göransson, 2017).

Även här är det svårt att med säkerhet bedöma risken till följd av bristande bakgrundsmaterial. Ytvattenprov är endast tagna från Torrebergabäcken vilket inte ger en helt sanningsenlig bild över hur förorenat ytvatten är vid brunnarna.

Framtida åtgärder

Framtiden lämnar mer att önska och för att garantera en fortsatt god kvalitet på råvattnet behöver åtgärder vidtas både av VA SYD och Staffanstorps kommun eller Länsstyrelsen i Skåne. För VA SYDs del behövs bättre övervakning av arsenikhalter i råvatten. I nuläget ingår inte arsenik i VA SYDs standardanalyser av råvatten. Ett förslag är att upprätta ett kontrollprogram för provtagning vid Torvtäkten där arsenik provtas regelbundet, till en början med tätare intervall tills referensvärde tagits fram (Göransson, 2017). Johansson (2017) föreslår att en kontinuerlig mätning av trycket i brunnarna under en tidsperiod hade varit bra för att säkrare kunna bedöma risken för vattentäkten.

Vid anläggande av nya brunnar bör VA SYD överväga både placering och utformning. Nya brunnar bör placeras högt topografiskt sett för att undvika översvämning och så långt bort från föroreningskällan som möjligt för att undvika att dra ner föroreningen djupare i marken. Ett lämpligt läge att placera nya brunnar torde därför vara i området kring PV8-10. Brunnarna bör också vara upphöjda för att undvika att de svämmas över, något som kan vara bra att gardera sig mot då klimatförändringar kan innebära större framtida risk för översvämningar samt ändrade vattenflöden (Jimenez-Cisneros et al., 2014). Översvämningensrisken kan också minskas genom rensning av diken samt annat markunderhåll. Ett förslag som diskuteras av VA SYD är att vid provborring för nya brunnar ta jordprover från olika djup och analysera dessa med avseende på tungmetaller. På så sätt erhålls en bättre bild av hur djupt eventuella föroreningar spridit sig.

För Staffanstorps kommun och länsstyrelsens del går det att diskutera om sanering av det förorenade området är ett alternativ (Golder Associates, 2016). Det är inte heller känt hur föroreningssituationen ser ut söder om Torrebergabäcken, ett ärende för Svedala kommun att utreda. Vidare hade det varit av intresse att undersöka andra eventuella föroreningskällor i området. Det går inte att utesluta att de höga arsenikkoncentrationerna vid PV25 enbart har sitt ursprung i skjutbaneverksamheten. Högst arsenikkoncentrationer har uppmätts i ett område runt PV25 mot vilket utskjutning huvudsakligen inte skett (Golder Associates, 2016). En möjlig teori är att det finns fler föroreningskällor vid Torvtäkten. För att bekräfta eller förkasta antagandet behövs ytterligare markmiljöundersökning i området.

Brister med metod och material

VA SYD jobbar aktivt med brunnarna i området, situationen vid Torvtäkten har därför förändrats kontinuerligt under skrivandets gång. Därav blev det svårare att dra slutsatser utifrån ett specifikt förhållande. Det bakgrundsmaterial som funnits tillgängligt vid skrivandet av denna uppsats utgör inte ett tillräckligt underlag för att med säkerhet bedöma risken för VA SYDs vattentäkt. Underlag från i ovanstående avsnitt föreslagna utredningar och provtagningar hade här varit till hjälp. Provtagning av grundvatten i fler provpunkter och på andra djup hade varit aktuellt om examensarbetet varit mer omfattande. Geokemi och andra faktorer som påverkar spridning och fastläggning av arsenik hade också beaktats om tid och utrymme funnits.

Slutsats

Denna studie har visat att arsenikexponering orsakar skador på alla kroppens processer och organ, vilket kan leda till dödsfall både på kort och lång sikt. Då arsenikförgiftning inte går att bota medicinskt är det viktigt att vidta åtgärder vid exponeringskällan. Utifrån de geologiska och hydrogeologiska förhållanden som idag råder vid f.d. Greve skjutbana bedöms risken för att arsenik ska nå VA SYDs råvatten via grundvatten eller ytvatten som liten till måttlig. Det är dock viktigt att påpeka att riskbedömningen behövt kompletteras med ytterligare bakgrundsmaterial, i form av nya undersökningar och provtagningar av VA SYD, Staffanstorps kommun och Länsstyrelsen i Skåne, för att säkrare kunna fastställa riskerna. För att säkerställa en fortsatt god kvalitet på råvatten behöver framtida åtgärder såsom analyser av arsenik samt noggrann placering och utformning av eventuella nya dricksvattenbrunnar vidtas av VA SYD.

Tack

Först och främst vill jag rikta ett stort tack till mina handledare Josefin Barup på VA SYD och Håkan Rosqvist på Lunds Universitet som hjälpt mig att styra examensarbetet i rätt riktning. Ett extra stort tack till Håkan Göransson på VA SYD och Mattis Johansson på WSP som tagit sig tid och delat med sig av sina kunskaper. Tack Anders Lindström på VA SYD för hjälp med såväl nya som gamla råvattenanalyser. Tack också till övriga kollegor på VA SYD samt vänner och familj som hejat på och stöttat under hela skrivprocessen.

Referenser

Dokument och rapporter

Bovin, K., Vikberg, E., Morén, I. 2015. *Tätande jordlager - en kunskapssammanställning*. Sveriges Geologiska Undersökning, SGU-rapport 2015:32, Uppsala.

Branzén, H., Vestin, J., Berggren Kleja, D. 2013. *Utvärdering av grundvattenprovtagning för pH- och redoxkänsliga ämnen*. Statens Geotekniska Institut, SGI. Publikation 5, Linköping.

Golder Associates. 2016. *Markmiljöundersökning och riskbedömning - Grevie skjutbana, Staffanstorp*. Framställd för Länsstyrelsen i Skåne. Uppdragsnummer: 1529051.

Länsstyrelsen Norrbotten. 2011. *Föroreningsproblematik vid skjutbanor och skjutfält samt redogörelse för erfarenheter avseende tillsynsmyndigheternas krav på utredningar och åtgärder*. Länsstyrelsens rapportserie nr 16/2011.

Naturvårdsverket. 1999. *Metod för inventering av förorenade områden*. Naturvårdsverket Rapport 4918, Värnamo, 2002.

SGU. 1997. *Grundvatten i Stockholm. Tillgång, Sårbarhet, Kvalitet*. Dokumentnummer: 30694.

Statens strålskyddsinstitut. 2008. *Naturligt radioaktiva ämnen, arsenik och andra metaller i dricksvatten från enskilda brunnar*. SSI Rapport 2008:15.

Sweco. 2013. *Grevie vattenskyddsområde - revidering av vattenskyddsområde för Grevie grundvattenanläggning*. Tekniskt underlag, för VA SYD, (rev. 2016). Uppdragsnummer 1240357.400. Malmö: Sweco Environment AB.

Sweco Viak AB. 2006. *Brunnar Grevie - brunnarnas status och förslag till åtgärder*. Koncept för Malmö Stad. Uppdragsnummer: 1240366000. Malmö: Sweco Viak AB.

VA SYD. 2016 (a). *Framtida brunnar i Grevie*
Förutsättningar för vattenuttag i de olika brunnsområdena – ett
diskussionsunderlag [internt material]. Malmö: VA SYD.

WSP. 2016. *Genomgång av lagerföljder från borrhningar vid Grevie vattentäkt*
och bedömning av geologiska förutsättningar för framtida vattenuttag. Koncept
för VA SYD. Uppdragsnummer 10233122. Malmö: WSP Environmental.

Domstolsbeslut

Söderbygdens vattendomstol AD 110/1952 Grevie II, 1952.

Internetkällor

Karolinska Institutet. 2017. *Arsenik*. <http://ki.se/imm/arsenik>. Hämtad 17-09-18.

Livsmedelsverket. 2017. *Arsenik*. <https://www.livsmedelsverket.se/livsmedel-och-innehall/oonskade-amnen/metaller1/arsenik>. Hämtad 17-09-11.

Miljömål.se. 2017. *Grundvatten av god kvalitet*.
<http://www.miljomal.se/Miljomalen/9-Grundvatten-av-god-kvalitet/>. Hämtad 17-09-13.

Naturvårdsverket, 2017 (a). *Att inventera förorenade områden*.
<http://www.naturvardsverket.se>. Hämtad 17-09-13.

Naturvårdsverket. 2017 (b). *Fakta om arsenik och arsenikföreningar*.
<http://www.naturvardsverket.se/Sa-mar-miljon/Manniska/Miljogifter/Metaller/Arsenik-As/>. Hämtad 17-09-13.

Naturvårdsverket. 2017 (c). *Grundvatten av god kvalitet*.
<http://www.naturvardsverket.se/Miljoarbete-i-samhallet/Sveriges-miljomal/Miljokvalitetsmalen/Grundvatten-av-god-kvalitet/>. Hämtad 17-09-11.

VA SYD. 2016 (b). *Om VA SYD*. <http://www.vasyd.se/Artiklar/Om-VA-SYD/Om-VA-SYD>. Hämtad 17-11-29.

VattenAtlas. 2017. *Grundvattenkapacitet, ytavrinning och potentiellt förorenade områden*. VattenAtlas.se. Hämtad 17-10-10.

WHO. 2017. *Arsenic*. <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs372/en/>. Hämtad 17-12-01.

Muntliga källor

Göransson, Håkan; driftreperatör på VA SYDs dricksvattenavdelning. 2017. Intervju 18 oktober.

Johansson, Mattis; Geolog på WSP Malmö. 2017. Intervju 7 november.

Råvattenanalyser

VA SYD. 2017. *Vattenlaboratoriet Provnr 17-1570-0*. Uppdragsgivare: VA SYD.

VA SYD. 2016 (c). *Vattenlaboratoriet Provnr 16-1149-2*. Uppdragsgivare: VA SYD.

VA SYD. 2016 (d). *Vattenlaboratoriet Provnr 16-1149-3*. Uppdragsgivare: VA SYD.

VA SYD. 2016 (e). *Vattenlaboratoriet Provnr 16-1149-4*. Uppdragsgivare: VA SYD.

VA SYD. 2016 (f). *Vattenlaboratoriet Provnr 16-1149-5*. Uppdragsgivare: VA SYD.

VA SYD. 2016 (g). *Vattenlaboratoriet Provnr 16-1149-8*. Uppdragsgivare: VA SYD.

VA SYD. 2016 (h). *Vattenlaboratoriet Provnr 16-3802-1*. Uppdragsgivare: VA SYD.

VA SYD. 2016 (i). *Vattenlaboratoriet Provnr 16-3802-2*. Uppdragsgivare: VA SYD.

VA SYD. 2016 (j). *Vattenlaboratoriet Provnr 16-3802-3*. Uppdragsgivare: VA SYD.

VA SYD. 2016 (k). *Vattenlaboratoriet Provnr 16-3802-4*. Uppdragsgivare: VA SYD.

Vetenskaplig litteratur

Abdul, K.S.M., Jayasinghe, S.S., Chandana, E.P., Jayasumana, C., De Silva, P.M.C. 2015. *Arsenic and human health effects: a review*. *Environmental Toxicology and Pharmacology*. 40(3): 828–846. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.etap.2015.09.016>.

Ahamed, S., Sengupta, M.K., Mukherjee, A., Hossain, M.A., Das, B., Nayak, B., Pal, A., Mukherjee, S.C., Pati, S., Dutta, R.N. 2006. *Arsenic groundwater contamination and its health effects in the state of Uttar Pradesh (UP) in upper and middle Ganga plain, India: a severe danger*. *Science of The Total Environment*. 370(2-3): 310–322. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2006.06.015>.

Bhattacharyya, P., Sen, P., Ghosh, A., Saha, C., Pp, B., Das, A., Majumdar, K., Mazumder, D.G. 2014. *Chronic lung disease and detection of pulmonary artery dilatation in high resolution computerized tomography of chest in chronic arsenic exposure*. *Journal of Environmental Science and Health*. 49(31): 1453–1461. Doi:10.1080/10934529.2014.937157.

Bryman, Alan. 2001. *Samhällsvetenskapliga metoder*. 1. uppl., Malmö: Liber AB. 502 s.

Chakraborti, D., Mukherjee, S.C., Pati, S., Sengupta, M.K., Rahman, M.M., Chowdhury, U.K., Lodh, D., Chanda, C.R., Chakraborti, A.K., Basu, G.K. 2003. *Arsenic groundwater contamination in Middle Ganga Plain, Bihar, India: a future danger?* *Environmental Health Perspectives*. 111(9): 1194-1201.

Chakraborti, D., Rahman, M.M., Mahmudur, M., Das, B., Chatterjee, A., Das, D., Nayak, B., Pal, A., Kumar Chowdhury, U., Ahmed, S., Kumar Biswas, B., Kumar Sengupta, M., Hossain, A., Samanta, G., Roy, M.M., Nath Dutta, R., Chandra Saha, K., Chandra Mukherjee, S., Pati, S., Bijoy Kar, P., Mukherjee, A., Kumar, M. 2017. *Groundwater arsenic contamination and its health effects in India*. *Hydrogeology Journal*. 25(4): 1165–1181. Doi: <https://doi-org.ludwig.lub.lu.se/10.1007/s10040-017-1556-6>.

Concha, G., Vogler, G., Lezeano, D., Nermell, B., Vahter, M. 1998. Exposure to inorganic arsenic metabolites during early human development. *Toxicological Sciences*. 44(2): 185–190. Doi: <https://doi-org.ludwig.lub.lu.se/10.1093/toxsci/44.2.185>.

Coronado-González, J.A., Del Razo, L.M., García-Vargas, G., Sanmiguel-Salazar, F., Escobedo-de la Peña, J. 2007. *Inorganic arsenic exposure and type 2*

diabetes mellitus in Mexico. Environmental Research. 104(3): 383–389. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2007.03.004>.

Das, D., Bindhani, B., Mukherjee, B., Saha, H., Biswas, P., Dutta, K., Prasad, P., Sinha, D., Ray, M.R. 2014. *Chronic low-level arsenic exposure reduces lung function in male population without skin lesions*. International Journal of Public Health. 59(4): 655–663. Doi: <https://doi-org.ludwig.lub.lu.se/10.1007/s00038-014-0567-5>.

De, B., Mazumdar, D., Sen, S., Guru, S., Kundu, S. 2004. *Pulmonary involvement in chronic arsenic poisoning from drinking contaminated ground water*. The Journal of the Association of Physicians of India. 52: 395–400.

Ghosh, A. 2013. *Evaluation of chronic arsenic poisoning due to consumption of contaminated ground water in West Bengal, India*. International Journal of Preventive Medicine. 4(8): 976–979.

Hagström, A., Rydstedt, A. 2015. *A hydrochemical investigation and socioeconomic assessment in Rio Zapomeca river basin focusing on arsenic contamination*. Thesis work for Master of Science, Lund University, Faculty of Engineering, LTH. <http://lup.lub.lu.se/luur/download?func=downloadFile&recordOId=8229481&fileOId=8229494>. Hämtad 17-09-11.

Hong, Y.S., Song, K.H., Chung, J.Y. 2014. *Health effects of chronic arsenic exposure*. Journal of Preventive Medicine and Public Health. 47(5): 245-252. Doi: [10.3961/jpmph.14.035](https://doi.org/10.3961/jpmph.14.035).

Jimenez-Cisneros, B.E., Oki, T., Arnell, N.W., Benito, G., Cogley, J.G., Doll, P., Jiang, T., Mwakalila, S.S. 2014. *Freshwater resources*. I: Field, C.B., Barros, V.R., Dokken, D.J., Mach, K.J., Mastrandrea, M.D., Bilir, T.E., Chatterjee, M., Ebi, K.L., Estrada, Y.O., Genova, R.C., Gimma, B., Kissel, E.S., Levy, A.N., MacCracken, S., Mastrandrea, P.R., White, L. L. (red.) Climate Change 2014: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 229-269.

Kapaj, S., Peterson, H., Liber, K., Bhattacharya, P. 2006. *Human health effects from chronic arsenic poisoning: a review*. Journal of Environmental Science and Health. 41(10): 2399–2428. Doi: <https://doi-org.ludwig.lub.lu.se/10.1080/10934520600873571>.

Khan, F., Momtaz, S., Niaz, K., Hassan, F.I., Abdollahi, M. 2017. *Epigenetic mechanisms underlying the toxic effects associated with arsenic exposure and the development of diabetes*. Food and Chemical Toxicology. 107(Part A): 406-417. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.fct.2017.07.021>.

Kligerman, A., Tennant, A. 2007. *Insights into the carcinogenic mode of action of arsenic*. Toxicology and Applied Pharmacology. 222(3): 281-288. Doi: [10.1016/j.taap.2006.10.006](https://doi.org/10.1016/j.taap.2006.10.006).

Liu, J., Zheng, B.S., Aposhian, H.V., Zhou, Y.S., Chen, M.L., Zhang, A.H., Waalkes, M.P. 2002. *Chronic arsenic poisoning from burning high-arsenic-containing coal in Guizhou, China*. Journal of the Peripheral Nervous System. 7(3): 208. Doi: [10.1046/j.1529-8027.2002.02026_12.x](https://doi.org/10.1046/j.1529-8027.2002.02026_12.x).

Makris, K.C., Christophi, C.A., Paisi, M., Etinger, A.S. 2012. *A preliminary assessment of low level arsenic exposure and diabetes mellitus in Cyprus*. BMC Public Health. 12: 334. Doi: <https://doi-org.ludwig.lub.lu.se/10.1186/1471-2458-12-334>.

Mandal, B.K., Suzuki, K.T. 2002. *Arsenic round the world: a review*. Talanta. 58(1): 201-235. Doi: [https://doi.org/10.1016/S0039-9140\(02\)00268-0](https://doi.org/10.1016/S0039-9140(02)00268-0).

Mandal, B.K., Ogra, Y., Suzuki, K.T. 2001. *Identification of dimethylarsinous and monomethylarsonous acids in human urine of the arsenic-affected areas in West Bengal, India*. Chemical Research in Toxicology. 14(4): 371-378. Doi: [10.1021/tx000246h](https://doi.org/10.1021/tx000246h).

Mazumder, D., Das, G.J., Santra, A., Pal, A., Ghose, A., Sarkar, S. 1998. *Chronic arsenic toxicity in west Bengal: the worst calamity in the world*. Journal of the Indian Medical Association. 96(1): 4-7.

Milton, A.H., Hasan, Z., Shahidullah, S., Sharmin, S., Jakariya, M., Rahman, M., Dear, K., Smith, W. 2004. *Association between nutritional status and arsenicosis due to chronic arsenic exposure in Bangladesh*. International Journal of Environmental Health Research. 14(2): 99–108. Doi: <https://doi-org.ludwig.lub.lu.se/10.1080/0960312042000209516>.

Mukherjee, S.C., Saha, K.C., Pati, S., Dutta, R.N., Rahman, M.M., Sengupta, M.K., Ahamed, S., Lodh, D., Das, B., Hossain, M.A. 2005. *Murshidabad: one of the nine groundwater arsenic-affected districts of West Bengal, India, part II—dermatological, neurological, and obstetric findings*. *Clinical Toxicology*. 43(7): 835–848. Doi: 10.1080/15563650500357495.

Mukherjee, S.C., Rahman, M.M., Chowdhury, U.K., Sengupta, M.K., Lodh, D., Chanda, C.R., Saha, K.C., Chakraborti, D. 2003. *Neuropathy in arsenic toxicity from groundwater arsenic contamination in West Bengal, India*. *Journal of Environmental Science and Health*. 38(1): 165-183. Doi: 10.1081/ESE-120016887.

Rahman, M.M., Ng, J.C., Naidu, R. 2009. *Chronic exposure of arsenic via drinking water and its adverse health impacts on humans*. *Environmental Geochemistry and Health*. 31 (Suppl. 1): 189-200. Doi: 10.1007/s10653-008-9235-0.

Recio-Vega, R., Gonzalez-Cortes, T., Olivas-Calderon, E., Lantz, R.C., Gandolfi, A.J., Alba, C.G. *In utero and early childhood exposure to arsenic decreases lung function in children*. *Journal of Applied. Toxicology*. 35(4): 358–366. Doi: <http://dx.doi.org/10.1002/jat.3023>.

Smith, A.H., Lopipero, P.A., Bates, M.N., Steinmaus, C.M. 2002. *Arsenic epidemiology and drinking water standards*. *Science* 296(5576): 2145–2146. Doi: 10.1126/science.1072896.

Srivastava, S., Vladykovskaya, E.N., Haberzettl, P., Sithu, S.D., D'Souza, S.E., States, J.C. 2009. *Arsenic exacerbates atherosclerotic lesion formation and inflammation in ApoE^{-/-} mice*. *Toxicology and Applied Pharmacology*. 241(1): 90-100. Doi: 10.1016/j.taap.2009.08.004.

Steinmaus, C., Ferreccio, C., Acevedo, J., Yuan, Y., Liaw, J., Durán, V., Cuevas, S., García, J., Meza, R., Valdés, R., Valdés, G., Benítez, H., Van Der Linde, V., Villagra, V., Cantor, K.P., Moore, L.E., Perez, S.G., Steinmaus, S., Smith, A.H. 2014. *Increased lung and bladder cancer incidence in adults after in utero and early-life arsenic exposure*. *Cancer Epidemiology Biomarkers and Prevention*. 23(8): 1529-1538. Doi: 10.1158/1055-9965.EPI-14-0059.

Tchounwou, P.B., Patlolla, A.K., Centeno, J.A. 2003. *Carcinogenic and systemic health effects associated with arsenic exposure: a critical review*. *Toxicologic Pathology*. 31(6): 575–588. Doi: <https://doi-org.ludwig.lub.lu.se/10.1080/01926230390242007>.

Tseng, C.H., Huang, Y.K., Huang, Y.L., Chung, C.J., Yang, M.H., Chen, C.J., Hsueh, Y.M. 2005. *Arsenic exposure, urinary arsenic speciation, and peripheral vascular disease in blackfoot disease-hyperendemic villages in Taiwan*. *Toxicology and Applied Pharmacology*. 206(39): 299-308. Doi: 10.1016/j.taap.2004.11.022.

Tseng, C.H., Tai, T.Y., Chong, C.K., Tseng, C.P., Lai, M.S., Lin, B.J., Chiou, H.Y., Hsueh, Y.M., Hsu, K.H., Chen, C.J. 2000. *Long-term arsenic exposure and incidence of non-insulin-dependent diabetes mellitus: A cohort study in arseniasis-hyperendemic villages in Taiwan*. *Environmental Health Perspectives*. 108(9): 847-851.

von Ehrenstein, O., Mazumder, D.G., Hira-Smith, M., Ghosh, N., Yuan, Y., Windham, G., Ghosh, A., Haque, R., Lahiri, S., Kalman, D. 2006. *Pregnancy outcomes, infant mortality, and arsenic in drinking water in West Bengal, India*. *American Journal of Epidemiology*, 163(7): 662–669. Doi: <https://doi-org.ludwig.lub.lu.se/10.1093/aje/kwj089>.

Bilagor

Bilaga 1

1a. Intervjufrågor till Håkan Göransson

Vilka av brunnarna är i drift?

Vilka åtgärder planerar VA SYD att vidta för de brunnar som inte är i drift?

Vilka av brunnarna som inte är i drift har gjutits igen?

Vad är känt om brunnarnas skick?

Kan du berätta om PV13? Varför är brunnsröret förlängt?

Hur har eventuella konsekvenser av hål på brunnsrör märkts i praktiken?

Är området ofta drabbat av översvämningar?

Har någon av brunnarna stått under vatten vid översvämning?

Har VA SYD pekat ut någon del av området vid Torvtäkten där eventuella nya brunnar kan placeras?

1b. Intervjufrågor till Mattis Johansson

Kan du berätta lite om de hydrogeologiska förhållandena vid Torvtäkten?

Hur många grundvattenmagasin finns det vid Torvtäkten?

Sker vattenutbyte mellan dessa?

Vad har grundvattenmagasinen för mäktighet och djup?

För vilka grundvattenmagasin råder artesiska förhållanden?

Vad vet man om grundvattnets flödesriktningar och variationer av dessa?

Hur kan flödesriktningar påverka föroreningsspridning?

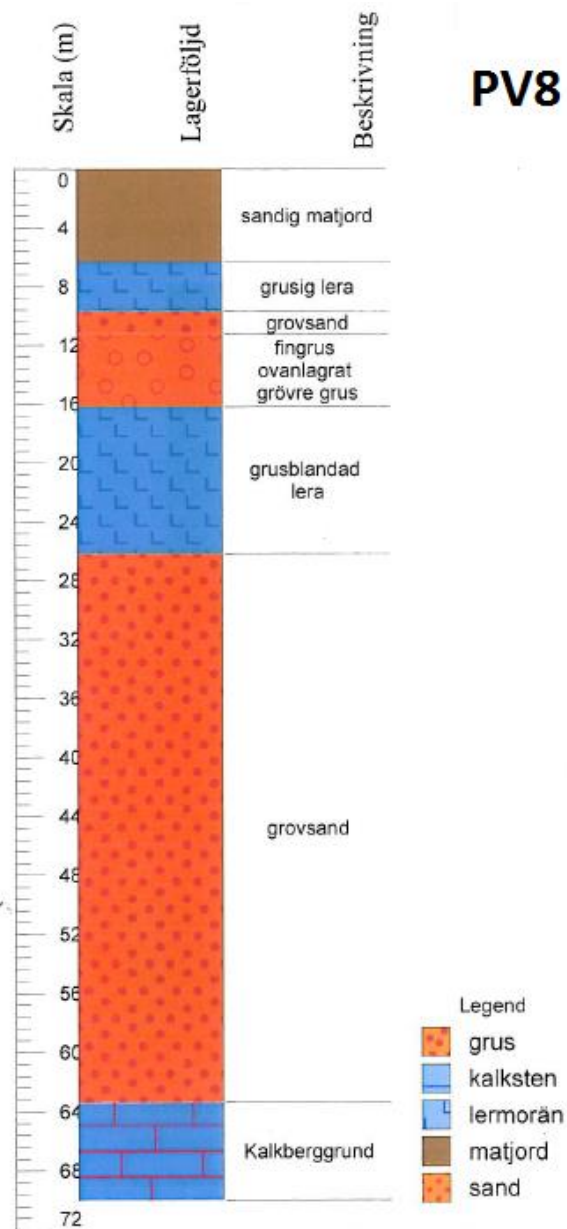
Om grundvattenflödet är uppåtriktat, kan det innebära förhöjd risk för föroreningsspridning via ytvatten?

Om grundvattenflödet istället är nedåtriktat, kan det innebära en förhöjd risk att föroreningar sprider sig till djupare grundvattenmagasin?

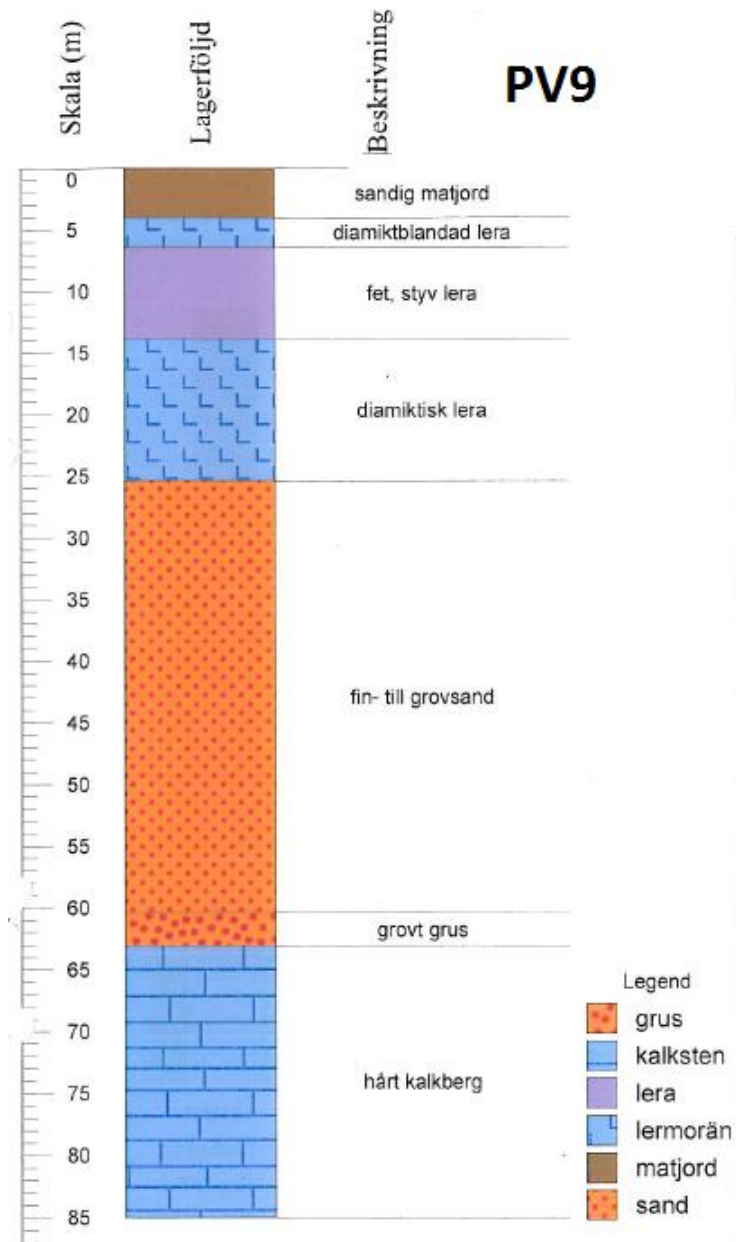
Hur påverkar förekomsten av linser med mer genomsläppliga jordarter risken för föroreningsspridning?

Hur kan avslutat eller utökat grundvattenuttag påverka risken för föroreningsspridning?

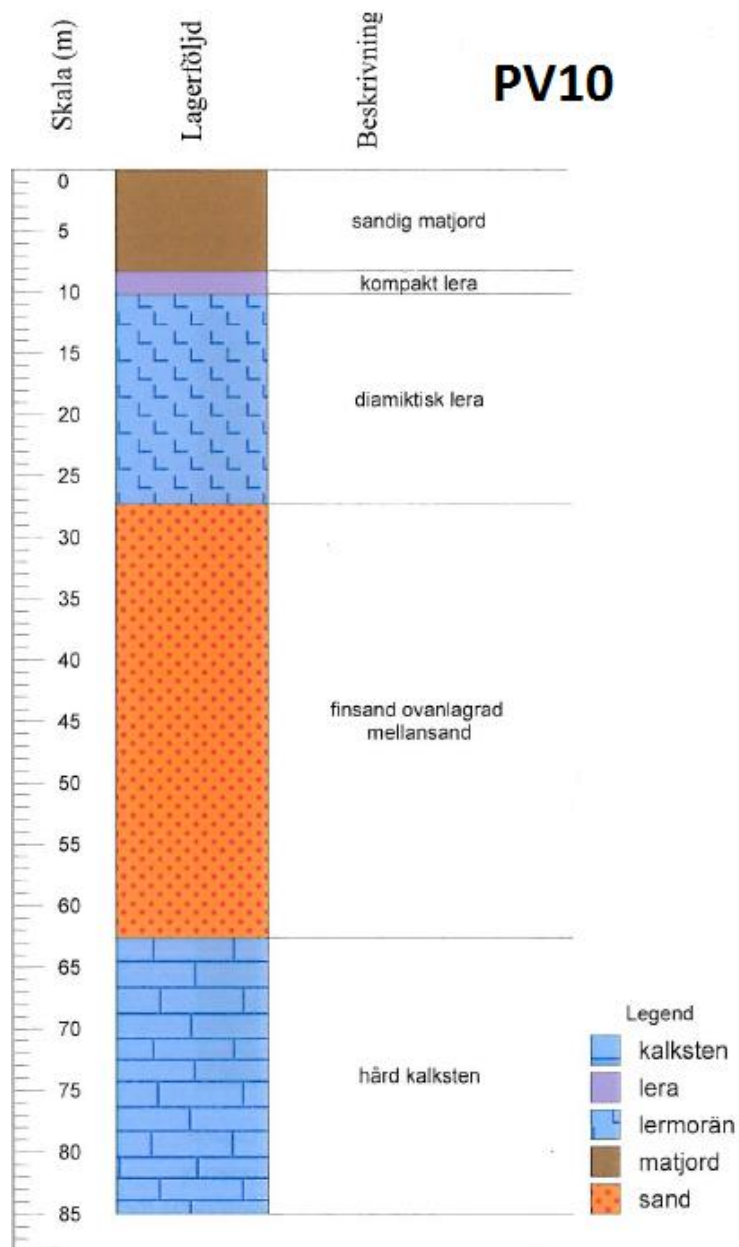
Bilaga 2



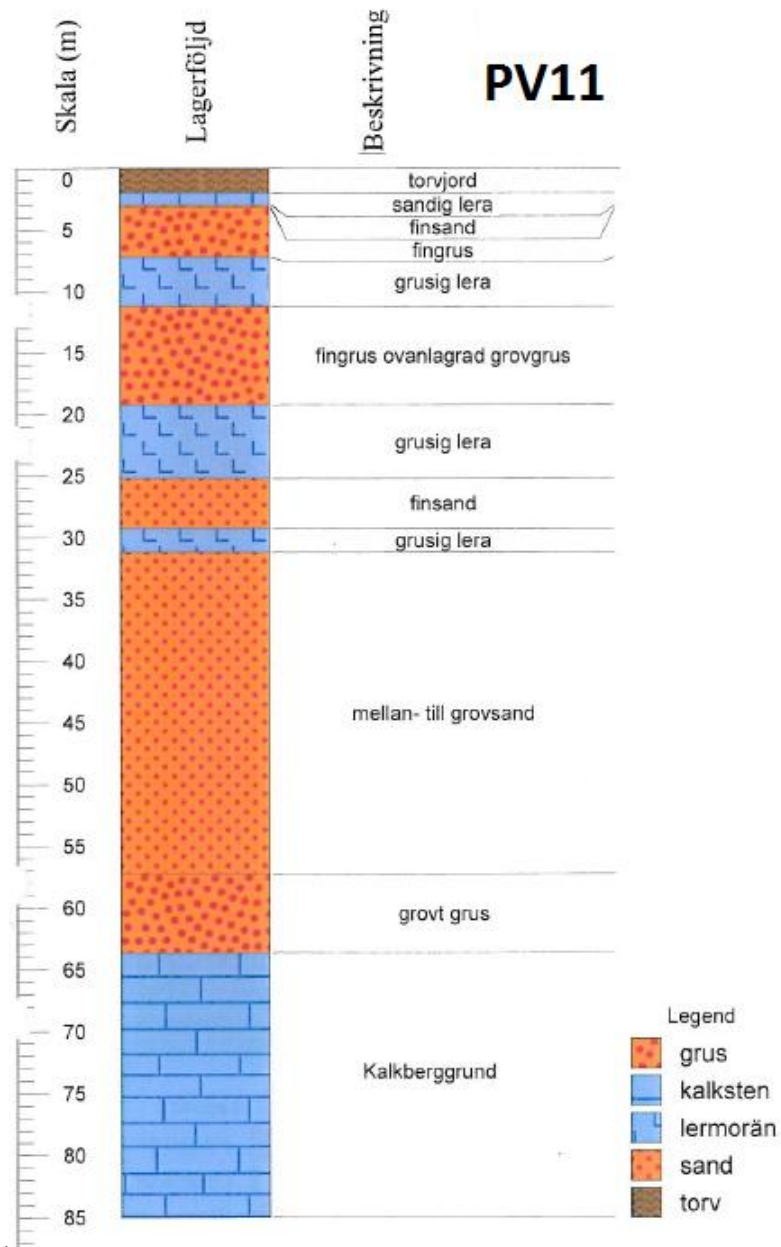
Figur 11
Borrprofil för PV8. Bildkälla: WSP 2016.



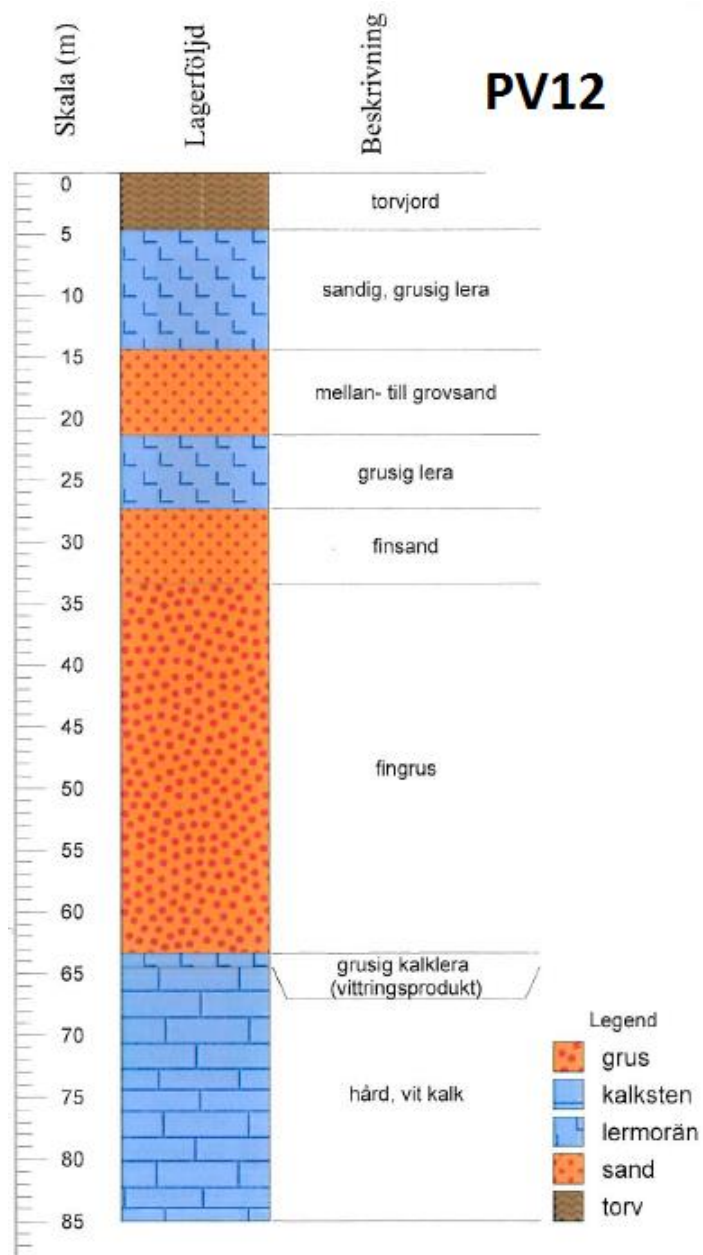
Figur 12
Borrprofil för PV9. Bildkälla: WSP 2016.



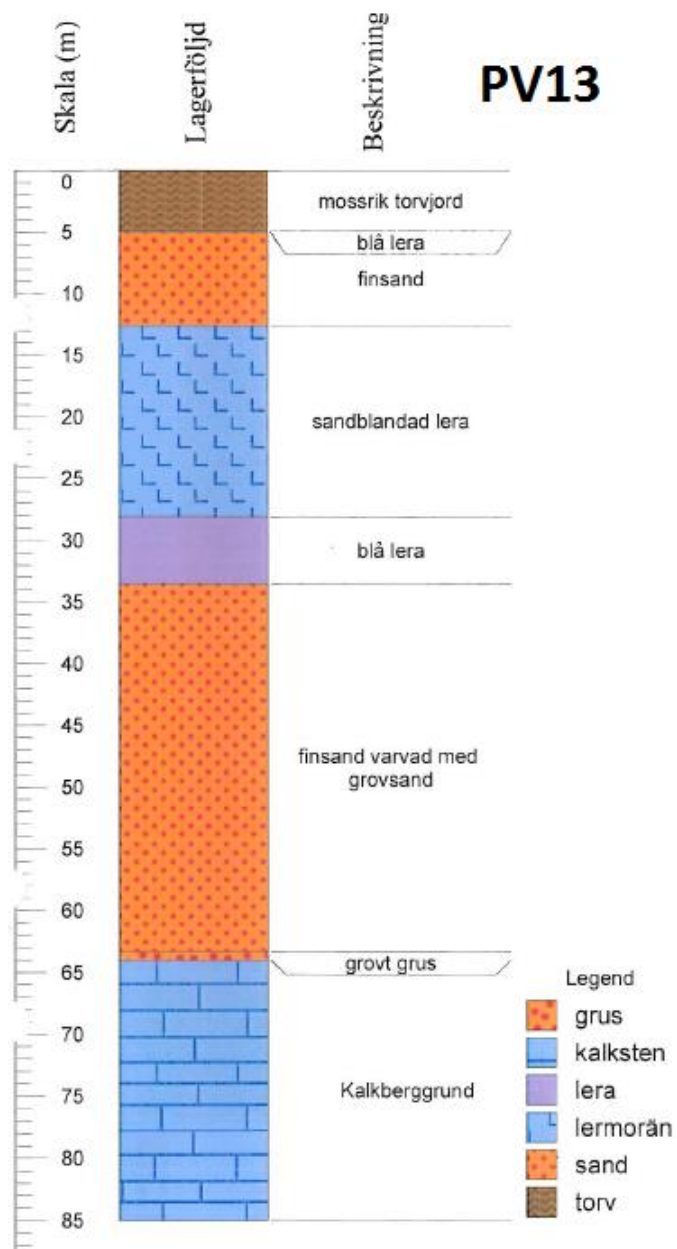
Figur 13
Borrprofil för PV10. Bildkälla: WSP 2016.



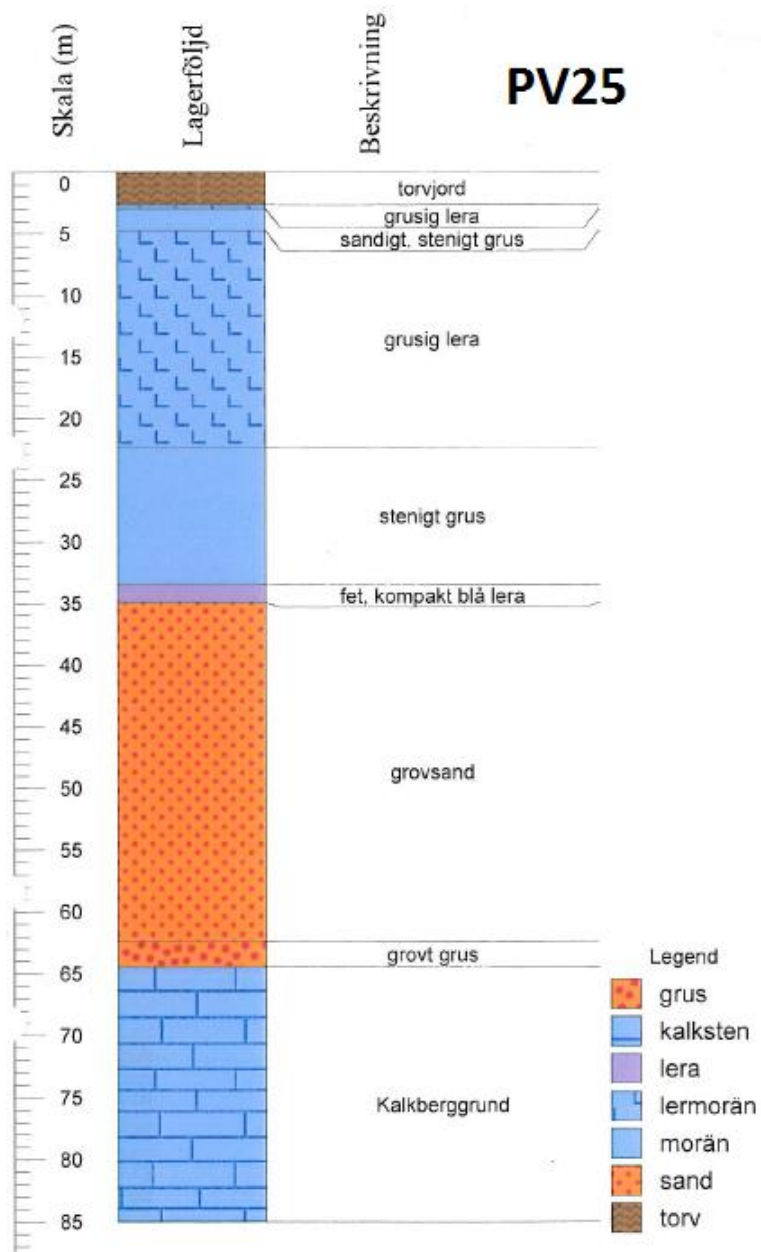
Figur 14
Borrprofil för PV11. Bildkälla: WSP 2016.



Figur 15
Borrprofil för PV12. Bildkälla: WSP 2016.

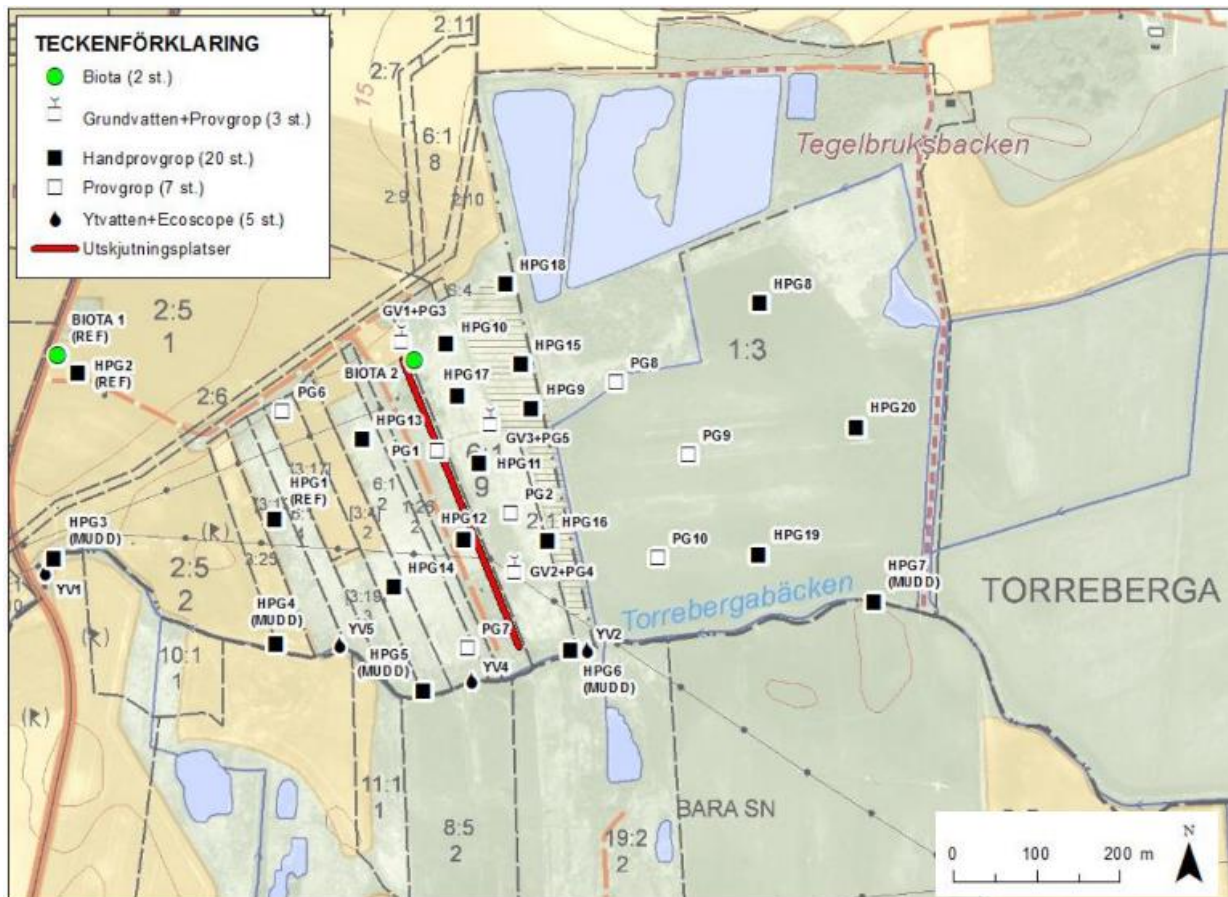


Figur 16
Borrprofil för PV13. Bildkälla: WSP 2016.



Figur 17
Borrprofil för PV25. Bildkälla: WSP 2016.

Bilaga 3



Figur 18

Samtliga provpunkter inom provtagningsområdet vid Greve f.d. skjutbana. Bildkälla: Golder Associates 2016, med ändringar.

Bilaga 4

Tabell 5

Koncentrationer av arsenik i jord från provgröpar (PG1-9) (Golder Associates, 2016).

Provgröpar	Djup (m)	Arsenikhalt (mg/kg TS)	<MKM (mg/kg TS)	KM-MKM (mg/kg TS)	MKM-3*MKM (mg/kg TS)	>3*MKM (mg/kg TS)
PG1	0-0,1	2,4	<10	10-25	25-75	75-1000
PG1	0,1-0,2	2,6	<10	10-25	25-75	75-1000
PG1	0,2-0,3	3,7	<10	10-25	25-75	75-1000
PG1	0,3-0,4	4,8	<10	10-25	25-75	75-1000
PG1	0,4-0,5	4	<10	10-25	25-75	75-1000
PG1	0,5-0,6	3,4	<10	10-25	25-75	75-1000
PG1	0,6-0,7	4,1	<10	10-25	25-75	75-1000
PG1	0,7-0,8	4,5	<10	10-25	25-75	75-1000
PG1	0,8-0,9	3,2	<10	10-25	25-75	75-1000
PG1	0,9-1	2,9	<10	10-25	25-75	75-1000
PG2	0-0,1	140	<10	10-25	25-75	75-1000
PG2	0,1-0,2	440	<10	10-25	25-75	75-1000
PG2	0,2-0,3	66	<10	10-25	25-75	75-1000
PG2	0,3-0,4	53	<10	10-25	25-75	75-1000
PG2	0,4-0,5	67	<10	10-25	25-75	75-1000
PG2	0,5-0,6	17	<10	10-25	25-75	75-1000
PG3	0-0,3	8,3	<10	10-25	25-75	75-1000
PG4	0-0,3	45	<10	10-25	25-75	75-1000
PG4	0,3-1	8,3	<10	10-25	25-75	75-1000
PG5	0-0,3	37	<10	10-25	25-75	75-1000
PG6	0-0,3	6,8	<10	10-25	25-75	75-1000
PG7	0-0,3	44	<10	10-25	25-75	75-1000
PG7	0,3-1	260	<10	10-25	25-75	75-1000
PG8	0-0,3	52	<10	10-25	25-75	75-1000
PG9	0-0,3	65	<10	10-25	25-75	75-1000
PG9	0,3-1	53	<10	10-25	25-75	75-1000
PG10	0-0,3	60	<10	10-25	25-75	75-1000

Tabell 6

Koncentrationer av arsenik i handgrävda provgröpar i förhållande till bakgrundshalten (HPG1 och HPG2) samt Naturvårdsverkets riktvärden för MKM och KM (Golder Associates, 2016).

Provgrop	Djup (m)	Arsenikhalt (mg/kg TS)	<MKM (mg/kg TS)	KM-MKM (mg/kg TS)	MKM-3*MKM (mg/kg TS)	>3*MKM (mg/kg TS)
HPG1	0-0,3	19	<10	10-25	25-75	75-1000
HPG1	0,3-0,4	4,8	<10	10-25	25-75	75-1000
HPG2	0-0,3	4	<10	10-25	25-75	75-1000
HPG3	0-0,3	38	<10	10-25	25-75	75-1000
HPG4	0-0,3	23	<10	10-25	25-75	75-1000
HPG5	0-0,3	64	<10	10-25	25-75	75-1000
HPG6	0-0,3	27	<10	10-25	25-75	75-1000
HPG7	0-0,3	16	<10	10-25	25-75	75-1000
HPG8	0-0,3	16	<10	10-25	25-75	75-1000
HPG9	0-0,3	100	<10	10-25	25-75	75-1000
HPG10	0-0,3	4,8	<10	10-25	25-75	75-1000
HPG11	0-0,3	120	<10	10-25	25-75	75-1000
HPG12	0-0,3	99	<10	10-25	25-75	75-1000
HPG14	0-0,3	88	<10	10-25	25-75	75-1000
HPG18	0-0,3	63	<10	10-25	25-75	75-1000
HPG20	0-0,3	8,5	<10	10-25	25-75	75-1000

Tabell 7

Koncentrationer av arsenik i filtrerade ytvattenprov från Torrebergabäcken. YV3 anger bakgrundsvärde och Medel NV anger Naturvårdsverkets nationella bakgrundshalter i svenska sjöar och vattendrag (Golder Associates, 2016).

Ytvattenprov	Arsenikhalt (µg/l)	Medel NV (µg/l)
YV1	3,1	0,37
YV2	2,8	0,37
YV3	3,3	0,37
YV4	2,9	0,37
YV5	2,8	0,37



LUNDS
UNIVERSITET

WWW.CEC.LU.SE
WWW.LU.SE

Lunds universitet

Miljövetenskaplig utbildning
Centrum för miljö- och
klimatforskning
Ekologihuset
223 62 Lund