

2019-06-24

Fabege AB

Miljötekniska markundersökningar
Kvarter Farao och Kairo, Solna stad

Uppdrag: HP180712

Uppdragsgivare

Fabege AB
Box 129
169 27 Solna

Therese Friedman
08-556 747 58
therese.friedman@fabege.se

Lennart Olsson
08-555 148 97
Lennart.olsson@fabege.se

Konsult

Hedenvind Projekt AB
Rottnerosbacken 255
123 48 Farsta

Arnulf Hedenvind
08-684 280 28
arnulf.hedenvind@hedenvindprojekt.se

Sammanfattning

Hedenvind Projekt har på uppdrag av Fabege genomfört miljötekniska markundersökningar inom kvarteren Farao och Kairo i södra Arenastaden, Solna stad. Arbetena har genomförts i flera etapper under 2017 till 2019 där den här rapporten sammanfattar och drar ihop alla undersökningar.

Syftet med genomförda markundersökningar har varit att belägga och identifiera möjliga markföroreningar, att avgränsa dem och om möjligt bedöma deras miljö- och hälsorisker. Ett sekundärt syfte har varit att skatta möjliga schaktmassors fördelning i omhändertagande- eller deponiklasser som underlag för framtida projektering och grundläggning.

Fyllning inom Farao och Kairo är allmänt förorenad av metaller som koppar, bly och zink, PAH och olja. Arsenik, barium och krom förekommer också fläckvis eller inom mindre ytor. Det är främst påförd fyllning som orsakat markföroreningarna. Tidigare färgeri kan ha skapat metallföroreningar men inga föroreningar av klorerade alifater. Några av föroreningarna har spridits ned till underlagrande torrskorpelera i lägre halter utom för koppar och zink som finns i höga halter i norra Farao.

Klorerade alifater som tetrakloreten och dess nedbrytningsprodukter sprids in till Farao och Kairo med grundvattnet i både det övre och under grundvattenmagasinen från föroreningar utanför kvarteren. Några föroreningskällor klorerade alifater inom kvarteren Farao och Kairo har inte påträffats. Spill- eller dagvattenledningar i Pyramidvägen och Dalvägen kan utgöra spridningsväg till området från verksamheter som funnits uppströms i avloppssystemet. Spillvattenledning som går 65 m inom nordvästra Kairo har inte läckt några klorerade alifater utifrån analyser i jord, grundvatten och porgas.

Flera föroreningar kan på lång sikt teoretiskt utgöra en miljö-, hälso- eller spridningsrisk men vi bedömer att det främst gäller långsiktiga hälsorisker för PAH-M. Riskerna kan enkelt reduceras genom begränsad urgrävning av jord inom fyra mindre ytor om marken används till bostadsmark eller en mindre yta om marken används till kontor. Åtgärden kan utföras i samband med övrig grundläggning av framtida byggnader.

För överskottsmassor av fyllning som eventuell uppstår inom Farao och Kairo finns ekonomiskt och miljömässiga vinster att sortera upp massor för omhändertagande. Det finns stora volymer som faller inom mindre än ringa risk och kan därför återvinnas i andra anläggningsprojekt. Dyrare massor med högre halter kan sorteras ut och minimeras. För torrskorpelera inom Farao finns samma ekonomiska och miljömässiga vinster att sortera upp massorna medan de inte finns inom Kairo för torrskorpelera.

Baserat på genomförda markundersökningar och miljö- och hälsoriskbedömning rekommenderar vi att de fyra mindre ytorna (för bostäder) eller den mindre ytan (för kontor) åtgärdas i samband med grundläggning av framtida byggnader. Hantering av överskottsmassor bör struktureras upp ur ett hållbarhetsperspektiv där t.ex. lågförorenade massor kan återvinnas i andra anläggningsprojekt.

Innehållsförteckning

SAMMANFATTNING	3
1 INLEDNING	6
1.1 Bakgrund	6
1.2 Uppdrag, mål och syfte	6
1.3 Organisation för genomförd undersökning	6
1.4 Omfattning	6
1.5 Tidigare utredningar	7
2 OMRÅDESBESKRIVNING	7
2.1 Läge och ägarförhållanden	7
2.2 Markens nuvarande och framtida användning	8
2.3 Recipienter och vattenintressen	10
2.4 Skyddade områden i omgivningen	11
3 MARK OCH VATTENFÖRHÅLLANDEN	11
3.1 Topografi	11
3.2 Berggrund	11
3.3 Jordarter	12
3.4 Grundvattenförhållanden	16
4 VERKSAMHETSHISTORIA	18
5 POTENTIELLA FÖRORENINGSKÄLLOR	19
5.1 Primära föroreningskällor och produkter	19
5.2 Föroreningarnas fysiska egenskaper	20
6 GENOMFÖRDA UNDERSÖKNINGAR	22
7 FÖRORENINGSSITUATION	22
7.1 Metaller	22
7.2 PAH	23
7.3 Olja	24
7.4 Klorerade alifater	25
7.5 Indelning i delområden	28
7.6 Representativa halter	29
8 MILJÖ- OCH HÄLSORISKBEDÖMNING	30
8.1 Förslag på övergripande åtgärds mål	30
8.2 Problembeskrivning och platsspecifika riktvärden	31
8.3 Hälsorisker	33
8.4 Miljörisker	35
8.5 Spridningsrisker till naturresurser	36
8.6 Sammanfattande riskbedömning	37
9 MASSHANERING VID GRUNDLÄGGNING	38
9.1 Kvarteret Farao	38
9.2 Kvarteret Kairo	40
10 SLUTSATSER OCH REKOMMENDATIONER	42
11 REFERENSER	43

Bilagor

Bilaga 1	Verksamheter
Bilaga 2	Genomförda undersökningar
Bilaga 3	Fältprotokoll jord
Bilaga 4	Fältmätningar, grundvatten
Bilaga 5	Jämförelser
Bilaga 6	Sammanställning analyser och mätning
Bilaga 7	Laboratorierapporter

Bilaga 8	Föroreningsutbredning i jord
Bilaga 9	Föroreningsutbredning i grundvattnet
Bilaga 10	Föroreningsutbredning i porgas

Ritning

M-101	Provtagningspunkter i plan - jord, grundvatten och porgas
M-102	Provtagningspunkter i plan – punkter för luft och drängas

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Kvarteren Farao och Kairo ligger i sydvästra Arenastaden, Solna stad. Kvarteret Farao omfattar fastigheterna Farao 15, Farao 16 och Farao 17 medan kvarteret Kairo omfattar fastigheten Kairo 1. Fabege AB planerar att utveckla verksamheterna inom kvarteren med bostäder och kontor motsvarande *detaljplan Solna station kv Farao och Kairo*.

Hedenvind Projekt har på uppdrag av Fabege undersökt markföroreningar inom kvarteret Farao i en orienterande studie och två miljötekniska markundersökningar under 2017 och 2018. Inom Kairo har Hedenvind Projekt genomfört miljötekniska markundersökningar 2018 och 2019.

1.2 Uppdrag, mål och syfte

Hedenvind Projekt har på uppdrag av Fabege reviderat och slagit ihop tidigare undersökningar inom kvarteret Farao från 2017 och 2018 med undersökningen av kvarteret Kairo från 2018 och 2019 till en miljöteknisk markundersökning för båda kvarteren.

Det primära målet är att utreda om det finns föroreningar i marken inom kvarteren Farao och Kairo samt om dessa utgör en miljö eller hälsorisker som behöver åtgärdas och i så fall var och hur saneringen ska utföras. Ett sekundärt mål är att utreda hur projektering och grundläggning av framtida byggnader och anläggningar ska genomföras utifrån förekommande markföroreningar.

Syftet med genomförda markundersökningar har varit att belägga och identifiera möjliga markföroreningar, att avgränsa dem och om möjligt bedöma deras miljö- och hälsorisker. Ett sekundärt syfte har varit att skatta möjliga schaktmassors fördelning i omhändertagande- eller deponiklasser som underlag för framtida projektering och grundläggning.

Den här utredningen anknyter till platsspecifika riktvärden som tagits fram för detaljplanområdet Solna station, Kv Farao och Kairo. De platsspecifika riktvärdena finns sammanställda i separat PM (Hedenvind Projekt AB, 2019). Platsspecifika riktvärden har tagits fram eftersom tidigare utredningar inom området visat att Naturvårdsverkets generella riktvärden både över- och underskattar miljö- och hälsoriskerna.

1.3 Organisation för genomförd undersökning

Undersökningen har genomförts av Arnulf Hedenvind, Hedenvind Projekt med Hifab som underkonsult för några av provtagningarna av grundvatten och porgas. Provtagning av jord samt installation av grundvattenrör och porgasrör har genomförts av ELU Konsult, Alverdens Drilling Solution, Structor Geoteknik Stockholm och Gaia Survey. Laboratorieanalyser har genomförts av ALS Scandinavia.

1.4 Omfattning

Markundersökningarna har omfattat kvarteren Farao och Kairo men inte Pyramidvägen som går mellan kvarteren.

Följande moment har genomförts inom Farao och Kairo:

- Historisk genomgång av ritningar, flygbilder, databaser m.m.
- Framtagande av konceptuell modell
- Provtagningsplan
- Fältarbeten med provtagning av jord, grundvatten, porgas och inomhusluft samt fältmätning av jord, porgas och grundvatten.
- Laboratorieanalyser av jord, grundvatten, porgas och inomhusluft
- Datautvärdering
- Miljö- och hälsoriskbedömning
- Rapportering.

1.5 Tidigare utredningar

Markföroreningar inom kvarteret Farao har undersökts i tre utredningar:

- Orienterande studie, förorenad mark. DP Farao m.fl. Solna stad – samrådshandling. Hedenvind Projekt 2017-03-07.
- Översiktlig miljöteknisk markundersökning, Uarda 4, Farao 8, Farao 14, Farao 15, Farao 16, Farao 17 och Farao 20, Solna stad. Hedenvind Projekt 2017-11-13.
- Kompletterande miljöteknisk markundersökning, Farao 15, Farao 16 och Farao 17, Solna stad. Hedenvind Projekt 2018-02-22.

Markföroreningar har inte tidigare undersökts inom kvarteret Kairo.

Flera geotekniska utredningar har genomförts inom kvarteren Farao och Kairo när nuvarande byggnader byggdes. Inom kvarteret Farao har geotekniska och hydrogeologiska utredningar också genomförts under 2017-2019 för detaljplan Bostäder och kontor vid Dalvägen (tidigare detaljplan Farao m.fl.).

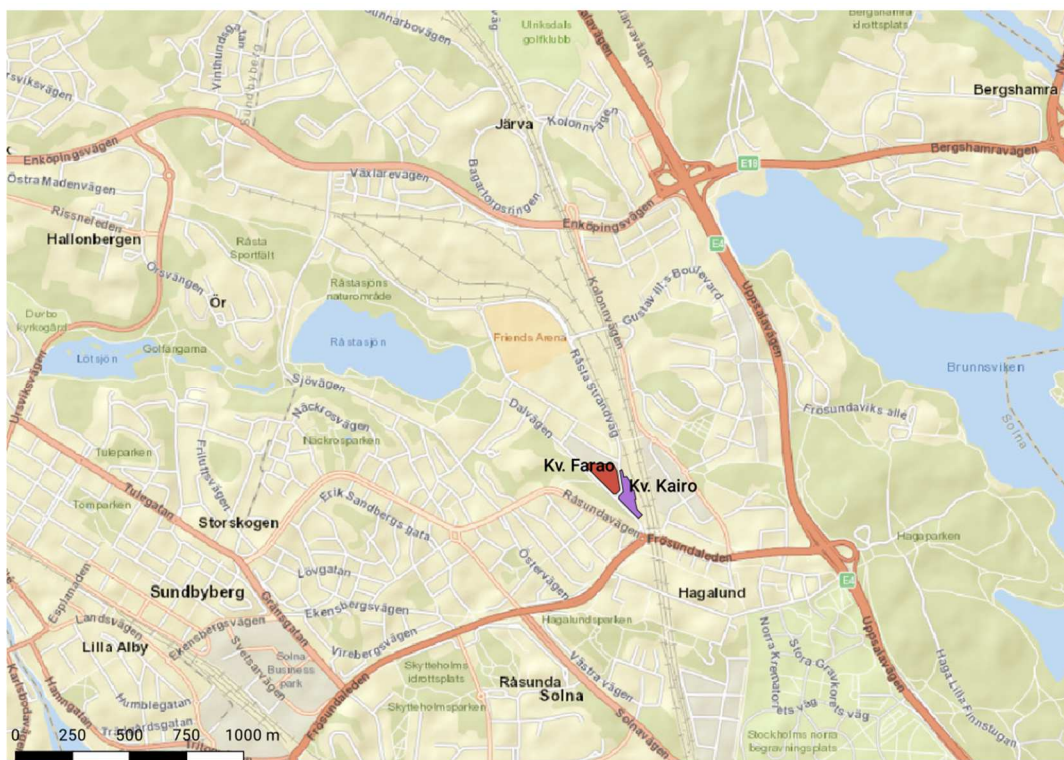
Hydrogeologiska utredningar har genomförts på uppdrag av Stockholms läns landsting för planerad tunnelbana till Arenastaden. Handlingen ingår i ”miljöprovning för tunnelbana till Arenastaden”, Bilaga C, PM hydrogeologi, 2017-01-18, diarienummer FUT 2016-0025. Provtagning och analys av föroreningar i grundvattnet har genomförts norr och söder om kvarteren Farao och Kairo.

2 Områdesbeskrivning

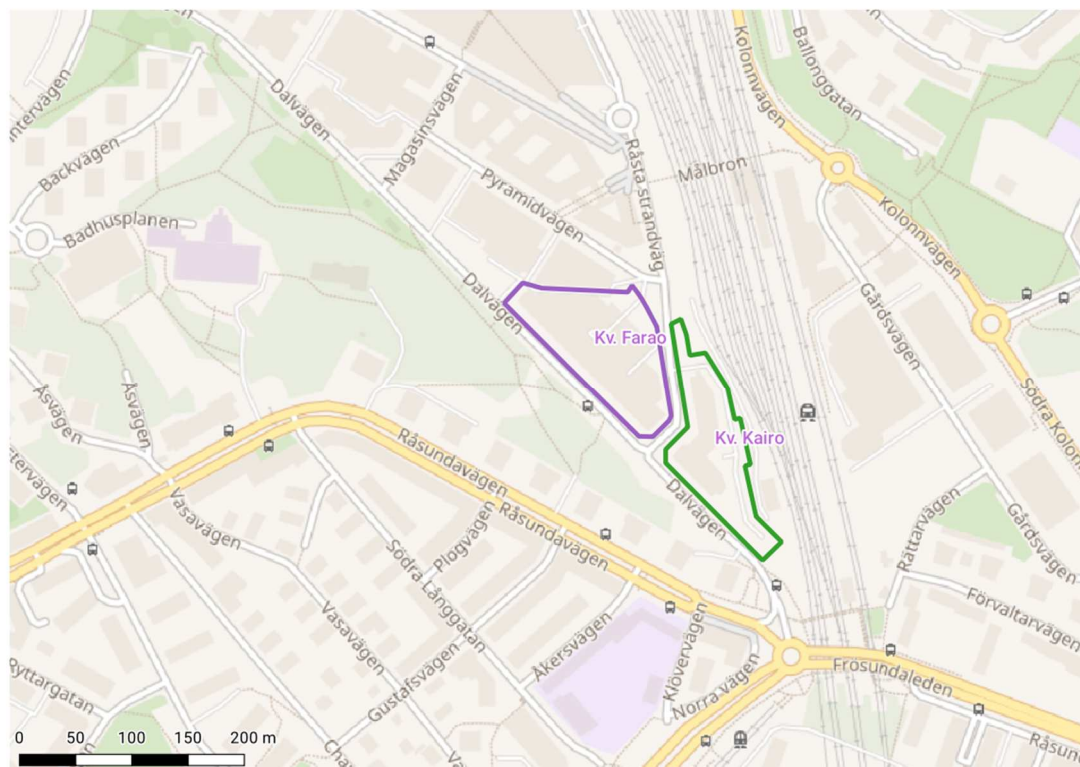
2.1 Läge och ägarförhållanden

Kvarteren Farao och Kairo ligger i södra Arenastaden som i sin tur ligger i östra Solna stad, se Figur 1 och Figur 2. Kvarteret Farao består av fastigheterna Farao 15, Farao 16 och Farao 17. Kvarteret Kairo består av fastigheten Kairo 1. Alla fastigheter ägs av Fabege AB.

Mellan kvarteren går Pyramidvägen som tillhör fastigheten Råsunda 2:23 och som ägs av Solna stad.



Figur 1. Kv Farao och Kairo i östra Solna stad.

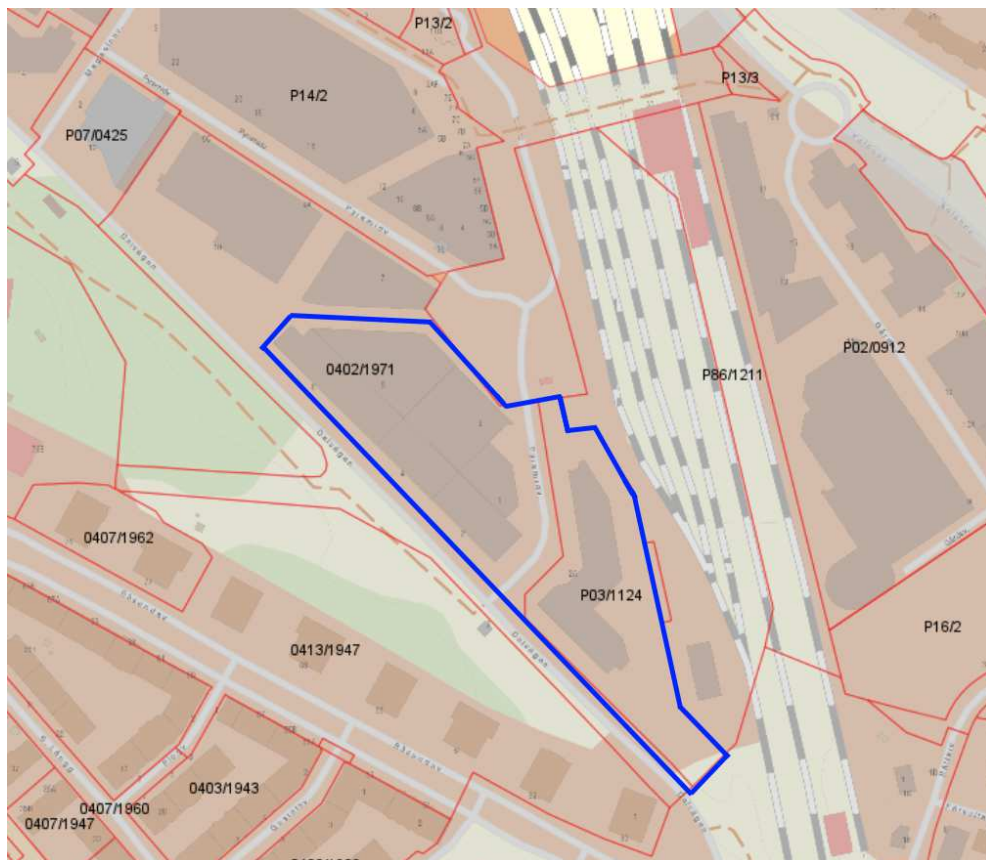


Figur 2. Kvarteret Farao och Kairo i södra Arenastaden.

2.2 Markens nuvarande och framtida användning

Detaljplanområdet *Solna station kv Farao och Kairo* är ett pågående planarbete som omfattas av två gällande detaljplaner. För kvarteret Farao gäller detaljplan Farao med nummer 0402/1971 från 1971 som anger att marken ska användas till

industriändamål. För kvarteret Kairo gäller detaljplan Kairo med nummer P03/1124 från 2003 som anger att marken ska användas till kontor. Kvarteren Farao och Kairo visas i Figur 3.



Figur 3. Gällande detaljplaner för kvarteren Farao och Kairo.

Kvarteren utgörs av byggnader med kontor, lager, restaurang och handel. Inom kvarteret Farao finns parkering samt enklare verkstäder för reparation av bilglas och cyklar. Verkstäderna finns i bottenvåningen som ligger i souterräng. Runt om byggnaderna finns parkering, gångbanor, gräsytor och mindre planteringar med buskar och prydnadsväxter.

Kvarteret Kairo består av en kontorsbyggnad med källare. Runt om byggnaden finns asfalterad parkering och körytor, gångbanor, mindre planteringar samt gräsyta mot Dalvägen i södra delen av kvarteret.

Dalvägen går söder om kvarteren och angränsar mot Vasalundsparken som delvis är ett höjdområde som sträcker sig längs dalgångens västra kant. På höjdområdet ovanför parken finns flerbostadshus längs Råsundavägen.

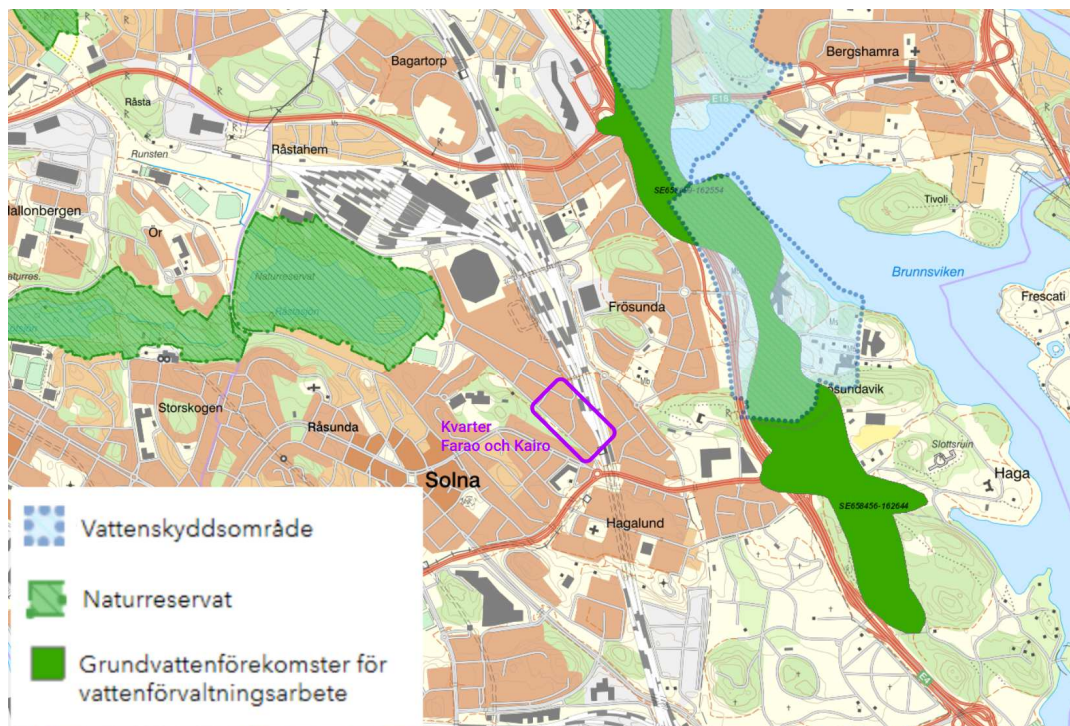
Öster om kvarteret Kairo finns järnvägsspår inom fastigheten Hagalund 4:1. Järnvägsområdet är närmast Kairo sydligaste delen av Hagalunds bangård där det finns ett teknikhus. Därefter följer Ostkustbanan och Arlandabanan.

Norr och nordväst om kvarteret Farao och Kairo fortsätter Arenastaden med lokalgator och fastigheter med kontorsbyggnader.

2.3 Recipienter och vattenintressen

2.3.1 Grundvattenförekomster

Stockholmsåsen går genom Hagaparken längs Brunnsviken. I norra delen är åsen både ett vattenskyddsområde enligt miljöbalken (Frösundavik och Ulriksdals vattenskyddsområden) och grundvattenförekomst enligt Vattenförvaltningsförordningen (Stockholmsåsen-Solna), se Figur 4. Söder om Hagakullen är åsen en grundvattenförekomst (Stockholmsåsen-Haga).



Figur 4. Skyddade grundvattenförekomster och naturreservat (Länsstyrelsen Stockholm, 2019).

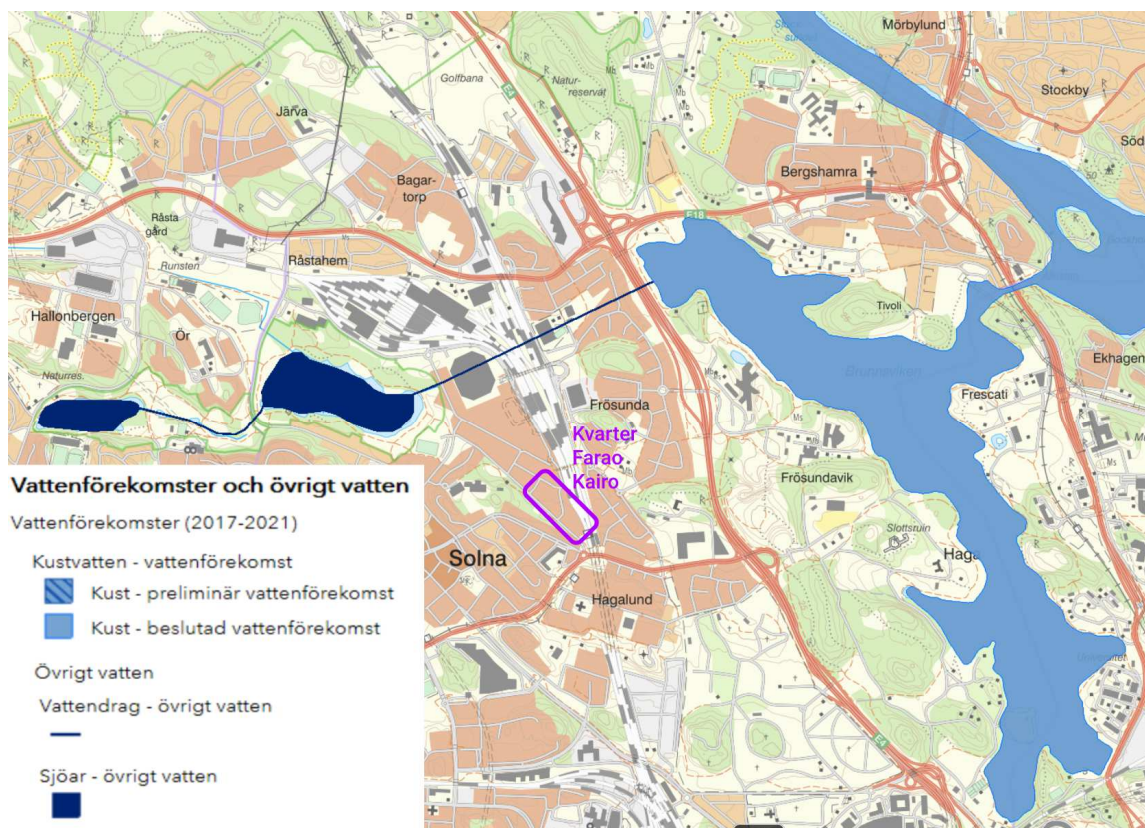
2.3.2 Ytvattenförekomster

Närmaste ytvattenförekomst som kan påverkas av grundvatten eller dagvatten från kvarteren Farao och Kairo är Brunnsviken. Sjön ligger 1,7 km nedström kvarteren, se Figur 5. Brunnsviken klassas som en *ytvattenförekomst* (kustvatten) av Vatteninformationssystem Sverige (VISS¹) och har högt skyddsvärde. Sjöns ekologiska status är otillfredsställande vilket beror av höga nivåer växtplankton och näringsämnen under sommaren. Halterna koppar och zink är också förhöjda i sjön (VISS, 2018).

Brunnsvikens kemiska status är otillfredsställande på grund av föroreningar som kvicksilver, polybromerade difenyletrar (PBDE), PFOS, bly, kadmium, antracen och tributyltenn (TBT). För antracen, bly, kadmium och TBT överskrider gränsvärdet i sediment. PFOS överskrider gränsvärdet i fisk. PBDE antas överskrida gränsvärdet i fisk baserat på en nationell extrapolering, vilket gäller alla svenska sjöar. Kviksilver överskrider gränsvärdet i fisk utifrån regionala provtagningar och nationell extrapolering.

¹ VISS är en databas som har utvecklats av vattenmyndigheterna, länsstyrelserna och Havs och vattenmyndigheten.

Råstaån är ett vattendrag som ligger drygt 650 m nordväst om kvarter Farao och Kairo. Ån avleder vatten från Råstasjön till Brunnsviken och är idag kulverterad under bland annat Friends Arena. Råstaån anges som *vattendrag – övriga vatten* i VISS och har inte klassificerats.



Figur 5. Vattenförekomster enligt VISS - vatteninformationssystem Sverige.

2.4 Skyddade områden i omgivningen

Råstasjöns naturreservat är ett skyddat område som ligger cirka 800 m nordväst om kvarteren Farao och Kairo, se Figur 4.

3 Mark och vattenförhållanden

3.1 Topografi

Kvarteren Farao och Kairo ligger på västra kanten av en relativt bred sprickdal som sträcker sig i nord-sydlig riktning och som inrymmer Arenastaden och Hagalunds bangård. Inom kvarteren finns en naturlig lutning mot öster inom Kairo och mot nordost inom Farao.

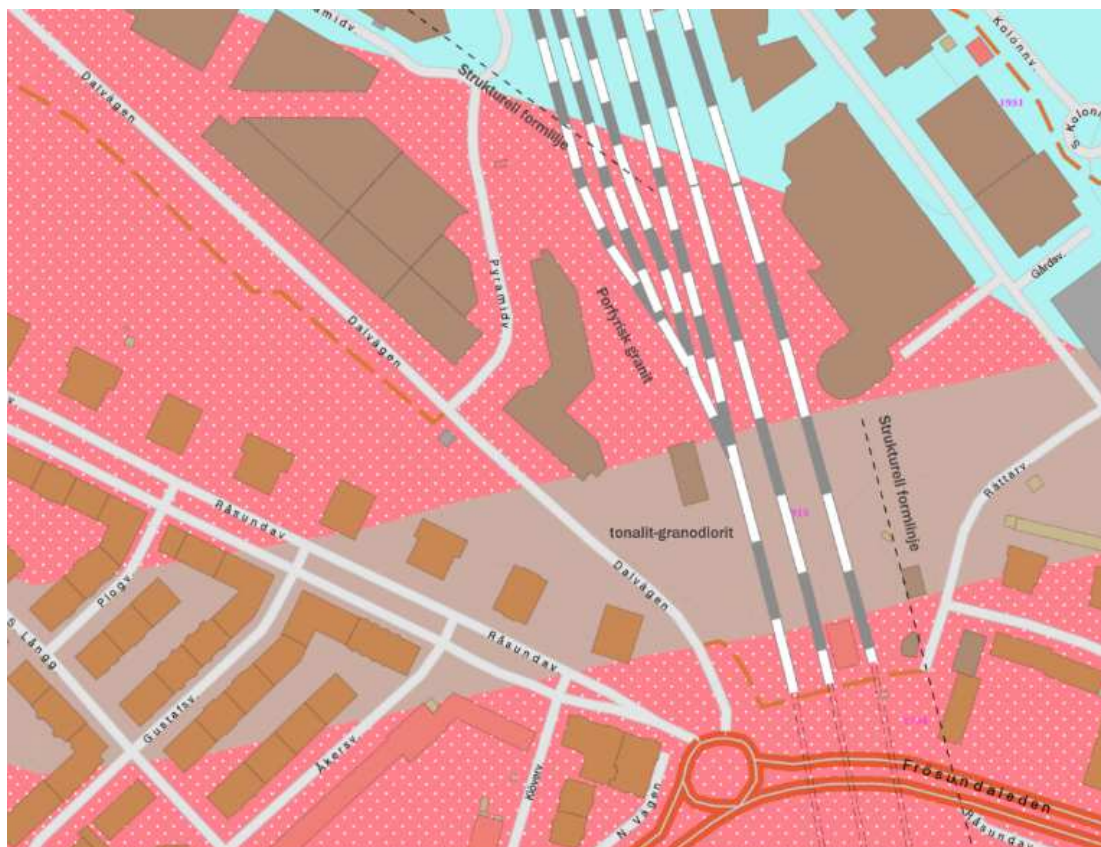
Marknivån är något högre kring +8,5 längs Dalvägen och sprickdalskanten sydväst om fastigheterna. Öster om Farao och norr om Kairo är marknivån som lägst kring +4,5. Byggnaderna inom Farao ligger därför i souterräng med flera meter medan byggnaden inom Kairo ligger i souterräng med en eller ett par meter.

3.2 Berggrund

Berggrunden under kvarteren Farao och Kairo utgörs i huvudsak av porfyrisk granit som ställvis är metamorf, se Figur 6. I södra delen finns ett intrusiv av

metamorf tonalit-granodiorit. Mot norr finns gnejs av kvarts- och fältspatrik sedimentär bergart som sandsten, gråvacka och liknande metasediment.

Det finns ett par plastiska deformationer i nordväst-sydost strax norr om kvarteren och söder om kvarteren, se Figur 6. Någon förhöjd sprickrikedom förväntas inte inom dessa deformationer. Sprickor av olika storlek kan dock förväntas i hela dalgången jämfört med höjdområdena eftersom området är en sprickdal.



Figur 6. Berggrund och strukturella formationer inom och omkring kvarteret Farao och Kairo.

3.3 Jordarter

3.3.1 Generell jordlagerföljd

Den naturliga jordarten inom Farao och Kairo är lera med ett fyllningslager över, Figur 7.



Figur 7. Jordarter inom kvarteret Farao och Kairo och närliggande områden.

Områdets övergripande och allmänna jordlagerföljd syns inte i jordartskartan utan tolkas utifrån jordarterna och allmänna geologiska principer. Vi tolka den allmänna jordlagerföljden vara enligt följande:

- 1) Fyllning
- 2) Lera
- 3) Morän
- 4) Berggrund.

Morän kan förväntas förekomma i centrala delar av sprickdalen men inte mot sprickdalskanterna eftersom det saknas en moränkappa mot de högre områdena med berg i dagen, se Figur 7. Nära sprickdalskanten kan berggrunden förväntas närmare markytan dvs. mot Dalvägen.

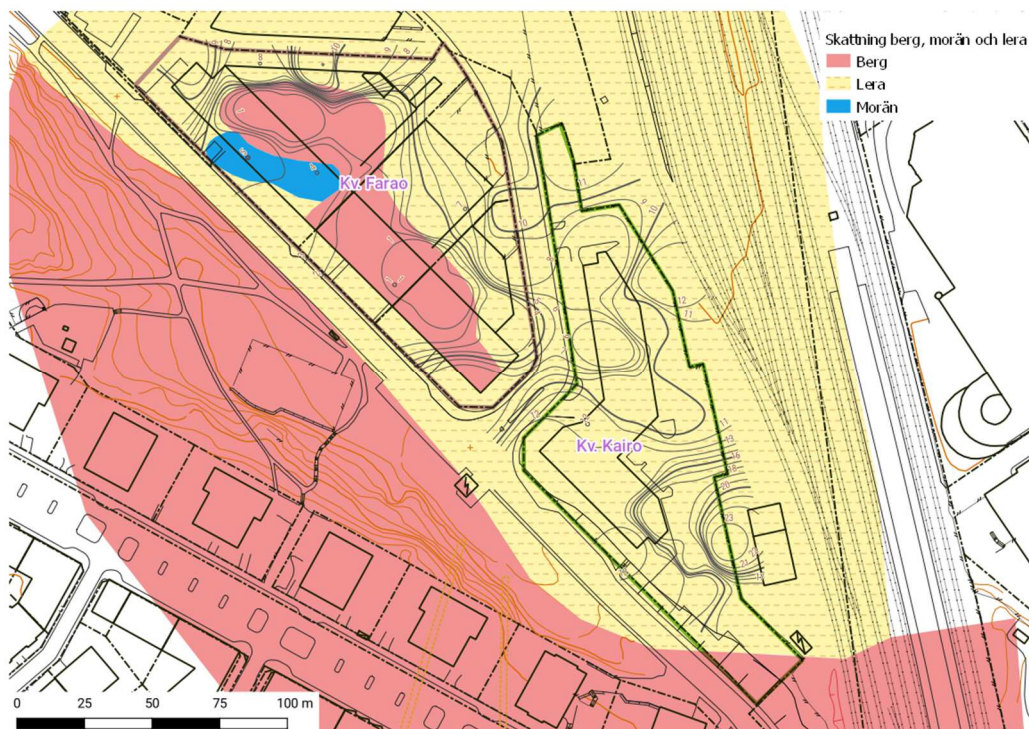
3.3.2 Detaljerad jordlagerföljd

I Figur 8 visas jorddjupen inom kvarter Farao och Kairo baserat på genomförda provtagningar. Inom Farao är jorddjupen i allmänhet mindre. Byggnaderna är grundlagda med berg relativt nära med ett dränerande fyllningslager av grovt material mellan berg och källargolv. Den grova fyllningen kan delvis vara sprängda massor från området. Runt om byggnaderna finns annan fyllning med större innehåll av finare material som sand, silt och ställvis lera. Denna fyllning innehåller rester av tegel, porslin, plast och skrot. Flera olika generationer kan urskiljas utifrån färg och innehåll både i plan och profil. Fyllningen kan ha sitt ursprung i äldre verksamheter innan nuvarande byggnader anlades.



Figur 8. Jorddjup inom Farao och Kairo.

Under större delen av byggnaderna inom Farao saknas lera under fyllningen, se Figur 9. Lera under fyllning finns mot Pyramidvägen mot norr och öster. Leran är ställvis av torrskorpekaraktär i övre delar. Leran vilar direkt på berg eller tunna siltiga finsandslager i områden med tunnare jordlager. Ett tunt moränlager mellan lera och berggrund kan finnas inom mindre områden mot Pyramidvägen där jordlagren är större.



Figur 9. Tolkade jordarter under fyllningen inom Farao och Kairo.

Inom kvarteret Kairo finns överst fyllning följt av lera som i sin tur vilar direkt på berg eller tunna siltiga finsandslager inom områden där jordlagren är tunnare. Där jordlagren är djupare vilar lera på finsandslager som övergår i siltig och sandig morän. I södra Kairo finns ett tråg med mäktigare jordlager som går parallellt med Dalvägen och som sluttar brant ned från Pyramidvägen i östlig riktning mot järnvägen.

3.3.3 Bakgrundshalter

Bakgrundshalter av metaller, PAH och olja (oljeindex) i morän och sedimentjordarter (främst lera) visas i Tabell 1. Bakgrundshalterna antas motsvara halter i morän och sedimentjordart i SGU:s geokemiska karta över östra Mälardalen (SGU, 2007) och fyllning i parkmark i Stockholm (J&W, 2001) och (Geosigma, 2015).

Tabell 1. Bakgrundshalter i morän och sedimentjordarter

mg/kg TS Ämne	NV2009 Morän	SGU, östra Mälardalen		NV1997 Morän	Parkmark Fyllning*
		Morän	Sediment (lera)		
Antimon	0,3	0,1	0,3		
Arsenik	10	7	6		
Barium	80	55	160		
Bly	15	15	20		
Kadmium	0,1	0,1	0,2		
Kobolt	10	9	15		
Koppar	30	20	30		
Krom	30	35	55		
Molybden	1	1	1		
Nickel	25	20	30		
Tenn	-	0,5	0,5		
Zink	70	65	100		
PAH-L					0,1
PAH-M					0,5
PAH-H					0,5
Oljeindex				80	

* Försiktigt skattade från medianhalter vid provtagning av Stockholms parkmarker 2001 och 2015 (J&W, 2001) och (Geosigma, 2015).

Noterbart är att metaller som barium, kobolt, krom och zink är tydligt högre i sedimentjordarter som lera jämfört med morän. Krom i lera ligger vid generella riktvärdet för KM (15 mg/kg TS).

3.3.4 Jordparametrar

I Tabell 2 sammanställs glödförlust, beräknad TOC (total organisk halt) och pH för fyllning och lera. Sammanställning av proverna och analysrapporter visas i Bilaga 6.

Tabell 2. Organiska halt och pH i fyllning och lera

		Glödförlust %	TOC %	pH
Fyllning	Min	0,7	0,41	6,9
	Median	2,3	1,3	8,4
	Medel	3,6	2,1	8,1
	Max	11,2	6,5	8,6
Lera	Min	1,59	0,92	7,4
	Median	3,4	2	7,7
	Medel	3,2	1,9	7,6
	Max	3,9	2,3	7,8

Organiska halten uttryckt som glödförlust och TOC är i allmänhet lika i lera och fyllning med medelvärde kring 2 %. I fyllningen varierar den organiska halten mer med upp mot 6,5 % TOC där kolfragment påträffats.

I fyllningen är pH något basiskt och något högre än i leran där pH är neutralt.

3.4 Grundvattenförhållanden

Inom kvarteren finns det ett övre och undre grundvattenmagasin.

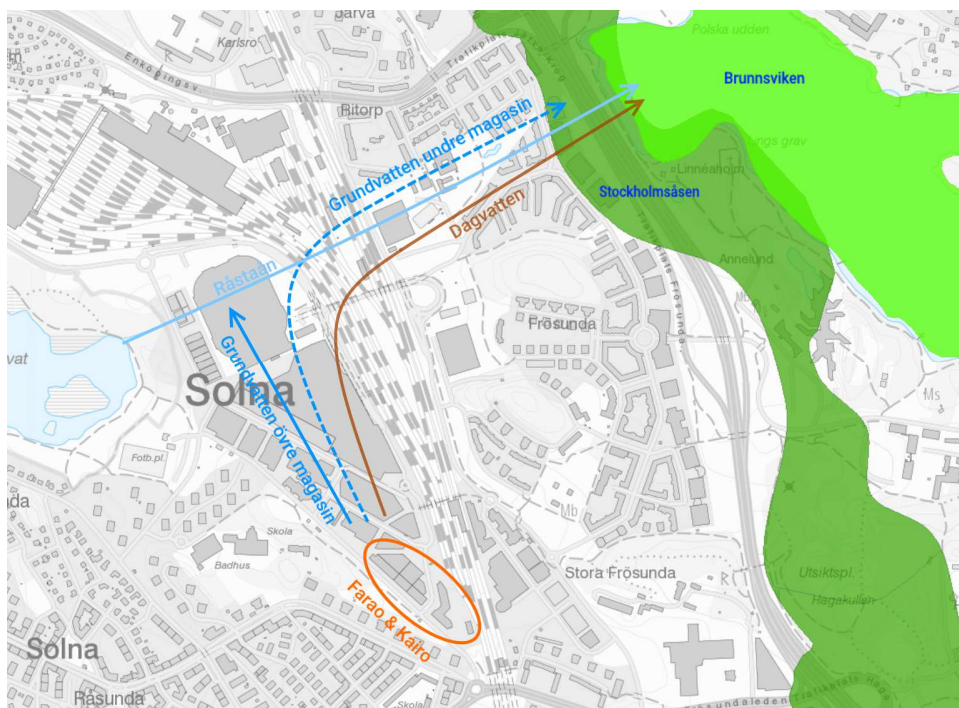
3.4.1 Övre grundvattenmagasinet

Inom delar av kvarteret Farao och mindre område av Kairo har ett övre grundvattenmagasin påträffats. Det övre magasinet är tunt och är någon eller några decimeter i den nedre delen av fyllningen och torrskorpelera. Det övre magasinet består sannolikt av flera mindre hängande magasin som periodvis torkar ut. Det övre grundvattenmagasinet är inget naturligt magasin utan har skapats när området fylldes ut.

Det övre magasinet saknar tydliga in- och utströmningsområden. Sannolikt är grundvattenbildningen liten och förekommer över hela området genom nederbörd som läcker ned i sprickor och otätheter i hårdgjorda ytor samt läckage från spill- och dagvattenledningar. Det finns också små ytor med gräs och planteringar där viss grundvattenbildning kan förekomma under höst och vår. Berggrundvatten kan också strömma ut från sprickdalskanten till det övre magasinet.

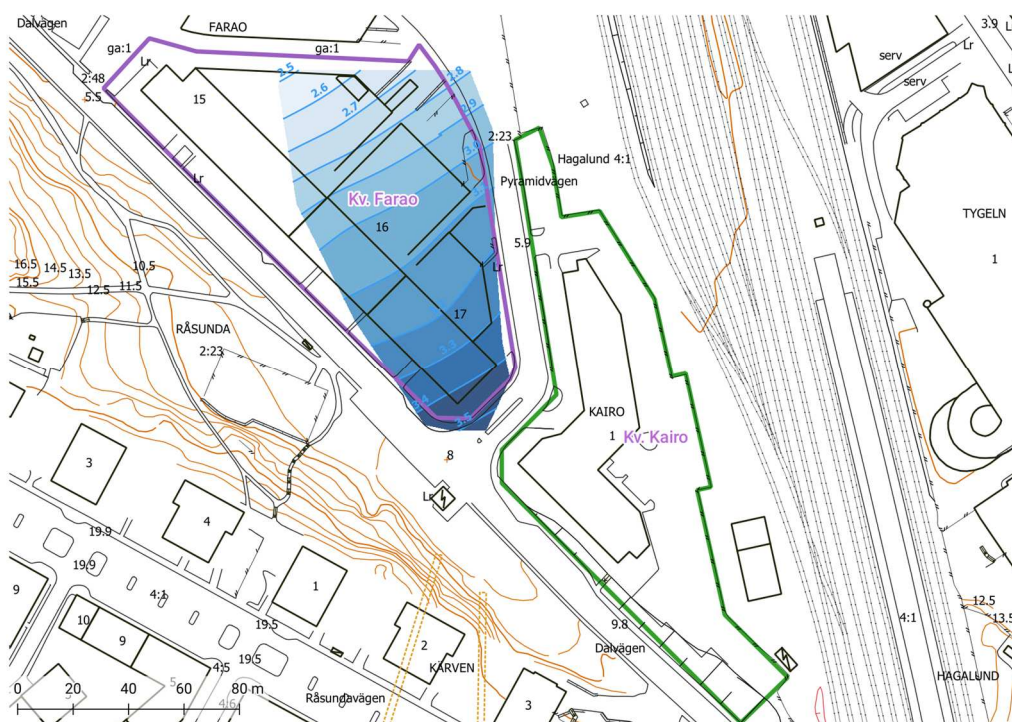
Grundvattennivåerna i de övre magasinerna sjunker sannolikt med tiden i takt med att andelen hårdgjorda ytor ökar inom Arenastaden. Det kan också finnas stora nivåvariationer på korta avstånd eftersom magasinerna är små.

Strömningen i det övre grundvattenmagasinet är sannolikt låg eller förekommer inte alls under delar av året. Flera av de magasinerna kan torka ut under sommaren och tidig höst då nivåerna normalt är som lägst. I den mån det övre grundvattenmagasinet strömmar från området bör den huvudsakliga riktningen vara mot nordväst och vidare mot Råstaån, se Figur 10.



Figur 10. Övergripande grundvattenströmning i det övre och undre grundvattenmagasinen. (grundkarta från Vatteninformationssystem Sverige – VISS, <https://viss.lansstyrelsen.se/Maps.aspx>).

Under östra kvarteret Farao har det påträffats ett övre grundvattenmagasin som strömmar mot norr enligt Figur 11.



Figur 11. Grundvattenströmning i det övre magasinet, maj 2019.

I nordöstra Farao kan det finnas ett separat hängande övre magasin, kring provpunkt 17E1060, som är skilt från magasinet i Figur 11.

Inom Kairo har grundvatten från ett övre magasin bara påträffats i ett rör, 18H03ö, varför det inte går att skatta någon strömningsriktning.

3.4.2 Undre grundvattenmagasinet

Det undre magasinet är naturligt och finns i friktionsjorden under leran. Friktionsjordens jordarter och mäktighet varierar över området. I dalgångens mitt eller där jorddjupen är stora består friktionsjorden av morän. Mot dalgångens kanter och där jorddjupen är små består friktionsjorden av antingen tunna lager finsand med inslag av silt eller så saknas friktionsjord helt och leran vilar direkt på berg. Friktionsjordens tjocklek kan variera mellan 10 m i djupare delar i östra Kairo till att helt saknas under västra Farao.

Det undre grundvattenmagasinet är ett slutet magasin där leran fungerar som akvifug. Leran har mycket lösa egenskaper. Trycknivån för det undre magasinet ligger relativt nära markytan och ligger under det övre i södra delarna av kvarteren men har samma trycknivå som det undre i norra delarna.

Det undre grundvattenmagasinets inströmningsområde är längs sprickdalskanterna där lerlagren är tunna och består av sprickrik torrskorpa. Utströmning av berggrundvatten från höjdområdena längs sprickdalskanten kan också förekomma eftersom sprickdalen antas vara mer sprickrik än höjdområdena.

Det undre grundvattenmagasinets huvudsakliga strömningsriktning är mot nordväst och Friends Arena för att därefter vrida mot öster och antingen strömma ut i Brunnsviken eller Stockholmsåsen, se Figur 10.

Kvarteren Farao och Kairo ligger långt från Stockholmsåsens tillströmningsområde. Grundvattnet från området strömmar långsamt mot åsen eller Brunnsviken med mellan 1 dm till någon meter per år varför grundvattnet från området når åsen eller sjön efter 100- till 1000-tals år. För föroreningar lösta i grundvattnet kommer spridningen att ta ännu längre tid eftersom de retarderas relativt grundvattnet.

Lokalt finns ett undre grundvattenmagasin i östra Farao och inom Kairo. Strömningen verkar vara komplicerad och är under utredning i hydrogeologiska utredningar. Generellt är strömningen vinkelrätt mot berggrundens och markens lutning. Från östra Farao strömmar grundvattnet mot öster och mot Kairo. Från norra Farao strömmar grundvattnet mot norr. Från södra Kairo strömmar grundvattnet mot nordost.

4 Verksamhetshistoria

I Bilaga 1 finns en utförlig beskrivning av områdets verksamhetshistoria. Fram till mitten av 1910-talet var området jordbruksmark inom Frösunda gård. Inom södra delen dvs. kvarteret Kairo anlades kring 1913 godsterminal med spår och lastning och lossning av gods inom Hagalunds södra bangård. Södra delen av Kairo kan ha varit koloniträdgårdar redan då.

Från slutet av 1940-talet eller början av 1950-talet började industriverksamhet etableras inom kvarteret Farao. Färgeri anlades och fanns kvar till nuvarande byggnad uppfördes inom Farao 15 i början av 1980-talet.

I slutet av 1960-talet avvecklades godsterminalen och Kairo användes till upplag fram till början av 1980-talet då nuvarande byggnad anlades. Verksamheten var kontor och lättare industri.

Inom Farao byggdes kontors- och industribyggnad i mitten av kvarteret i slutet av 1960-talet. I mitten av 1970-talet byggdes ett liknande kontors- och

industribyggnad i södra kvarteret Farao (Farao 17). Därefter har verksamheterna varit kontor, lager och enklare verkstäder med garage i källarplan inom Farao och kontor inom Kairo.

5 Potentiella föroreningskällor

5.1 Primära föroreningskällor och produkter

I Tabell 3 visas verksamheter (primära föroreningskällor) som kan ha skapat markföroreningar (dvs. sekundär föroreningskälla) inom kvarteret Farao. Några primära föroreningskällor som fyllning består av jord och är därför också en sekundär föroreningskälla.

Tabell 3. Förorenande verksamheter inom kvarteret Farao

Verksamhet Primär källa	Produkter	Hypotes kring föroreningssituation
Fyllning	Olja PAH Metaller Övrigt?	Diffusa och punktmässiga föroreningar i fyllning som använts i exploateringen av området. Flera fyllningsgenerationer kan förekomma med olika föroreningsinnehåll. Föroreningar kan frigöras till markvattnet och spridas vidare till det övre grundvattenmagasinet som ställvis finns i den nedre delen av fyllningen.
Färgeri	Olja (alifater) Fotogen (alifater) Vax (alifater) Metaller (Cr, Zn, Cu) Lösningsmedel (klorerade alifater) Bekämpningsmedel Formalin (formaldehyd, metanol) Antimögel (pentaklorfenol) Antimalmedel (naftalen)	Diffusa och punktmässiga föroreningar från hantering av färger, färgtryck, maskiner, efterbehandling (appretur) av tyg. Verksamhet bedrevs inom huvudbyggnad. Magasin fanns runt om. Processerna vid markytan och förorenat yttlig jord. Jord från färgeritiden är sannolikt ersatt med grov dräneringsfyllning under byggnader men kan finnas kvar utanför dem.
Upplag högar	Olja PAH Metaller	Både diffus och punktmässiga föroreningar motsvarande fyllning ovan. Kan förekomma i fyllning utanför nuvarande byggnader.
Bilvårdsanläggning	Olja Lösningsmedel Metaller	Punktmässig förorening i jord under golv vid bilvårdsanläggning. Spridning kan också ha förekommit i avlopp från anläggningen till mark under ledning.
Bensin- och slamavskiljare	Olja Metaller	Punktförorening i jord kring avskiljare vid eventuellt läckage
Hissar	Olja	Punktmässiga mindre oljeföroreningar i marken under hissgröpar.

I Tabell 4 visas verksamheter som kan ha skapat markföroreningar inom kvarteret Kairo.

Tabell 4. Förorenande verksamheter inom Kairo

Verksamhet Primär källa	Produkter	Hypotes kring föroreningssituation
Fyllning	Olja PAH Metaller Övrigt?	Diffusa och punktmässiga föroreningar i fyllning som använts i exploateringen av området. Flera fyllningsgenerationer kan förekomma med olika föroreningsinnehåll. Föroreningar kan frigöras till markvattnet och spridas vidare till det övre grundvattenmagasinet som ställvis finns i den nedre delen av fyllningen.

Verksamhet	Produkter	Hypotes kring föroreningsituation
Godsmottagning	Olja Metaller PAH	Diffusa och punktmässiga markföroreningar kan ha skapats i SJ:s godshantering. Vägar och spår kan också ha bidragit till föroreningar som kan förekomma i fyllningen.
Industrispår	Metaller PAH Olja	Linjära och punktmässiga markföroreningar kan ha skapats vid spår, sliprar, vagnar/tåg, växlar m.m.
Koloniträdgård	Växtskyddsmedel (DDT och metaller som arsenik, koppar, zink)	Små punktmässiga markföroreningar i yttlig jord eftersom området varit koloniträdgård. Marken från verksamheten har täckts med fyllning.
Hissar	Olja	Punktmässiga mindre oljeföroreningar i marken under hissgröpar.

Primära föroreningskällor utanför Farao och Kairo som t.ex. kan genom avloppsledningar som gått 65 m inom nordvästra Kairo, se Figur 5 i Bilaga 1, ha spridit föroreningar som i sin tur kan ha skapat markföroreningar i och omkring spillvattenledningen. Uppströms i avloppssystemet finns flera potentiellt förorenande verksamheter enligt länsstyrelsens databas som kemtvättar, gjuteri, bilvårdsanläggningar, grafiska verksamheter, bensinstation m.fl. I Tabell 5 visas vilka markföroreningar som kan ha skapats via spridning och läckage från spillvattenledningen.

Tabell 5. Spillvattenledning som spridningsväg för markföroreningar inom Kairo

Verksamhet	Spridningsväg	Produkter	Hypotes kring föroreningsituation
Kemtvätt?	Spillvattenledning	Tetrakloreten	Punktmässiga eller linjära
Grafisk industri?		(PCE, perkloretylen)	föroreningar kan skapas under och
Bilvårdsanläggning?		Lösningsmedel	omkring spillvattenledning.
Ytbehandling?		Olja	Föroreningar kan vara vätska i fri fas
Gjuteri?		Metaller	eller föroreningar lösta i
Bensinstation?			avloppsvattnet.

5.2 Föroreningarnas fysiska egenskaper

Ämnen i marken inom ett förorenat område har olika fysiska egenskaper vilket innebär att de kommer att uppträda på olika sätt i marken. Föroreningar kan delas in i fyra huvudgrupper:

1. Adsorberande ämnen som metaller, PAH, alifater, aromater m.fl.
2. Flytande icke-vattenlösliga vätskor s.k. LNAPL, light non-aqueous phase liquid, som t.ex. eldningsolja, diesel, spillolja och som kan finnas ned till grundvattenytan.
3. Sjunkande icke-vattenlösliga vätskor s.k. DNAPL, dense non-aqueous phase liquid, som t.ex. kreosotolja, klorerade lösningsmedel (som tetrakloreten) som kan finnas under grundvattenytan
4. Vattenlösliga ämnen, som t.ex. vägsalt, svavelsyra, vissa bekämpningsmedel.

LNAPL och DNAPL är vätskor som finns i fri fas i marken vilket innebär att vätskan fyller ut markens porer. Fri fas kan spridas i marken så länge vätskan fyller ut markporerna. Vartefter den fria fasen rör sig i marken lämnas vätskedroppar kvar i porerna s.k. residualfas. Vätskedropparna har inte kontakt

med varandra och kan därför inte spridas vidare som fri fas. Tillslut har vätskemängden i den fria fasen minskat så mycket att vätskan stannar upp.

Källterm används för jord med fri fas eller färsk residualhalter dvs. kraftiga förorenad volym och som utgör en stor sekundär källa från vilka föroreningar kan spridas.

Inom kvarteren Farao och Kairo har det funnits verksamheter som kan ha skapat ytliga markföroreningar eller föroreningar i de översta jordlagren. Huvuddelen av möjliga föroreningar är adsorberande som metaller, PAH och olja. Vätskor som olja och fotogen kan också ha använts vilka är LNAPL och därför kan förekomma ned till grundvattenytan. Formalin och metanol är vätskor som kan ha använts vilka har hög vattenlöslighet och är blandbara med vatten varför de knappast finns kvar eftersom verksamheter som hanterat vätskorna avvecklades för 45 år sedan. Föroreningar med hög vattenlöslighet och som är blandbara med vatten kommer snabbt att lösas ut i grundvattnet, spädas ut och även brytas ned.

Avlopp som spill- och dagvattenledningar utgör spridningsvägar från primära föroreningskällor som kan ha legat långt bort från Farao och Kairo.

Avloppsledningarna har gått från Råsunda och längs Dalvägen ned genom Pyramidvägen och vidare mot norr förbi Farao och Kairo. Eftersom avloppsledningarna legat djup både invid och under grundvattenytan kan läckage ha skapat djupa sekundära föroreningar under och omkring ledningarna. Längs sträckor med hela ledningar kan marken vara oförorenad men påverkas av förorenat grundvatten som skapats uppströms längs ledningen.

I avloppsledningarna kan både LNAPL och DNAPL ha transporterats som lösningsmedel eller kemtvättskemikalier som tetrakloreten (PCE). PCE som är en DNAPL kan spridas genom sprickor och läckage i ledningen och orsaka stora och små markföroreningar under ledningen och grundvattenytan.

Spridning av fri fas PCE i marken styrs av geologin där täta jordlager eller berggrundsytor kan fånga upp vätskan (skapa ansamlingar eller "pools") medan genomsläppligare jordlager eller sprickor i berggrunden fungerar som spridningsväg. Längs spridningsvägar i jorden skapar den fria fasen en residualfas som också består av höga halter men som inte kan spridas vidare. Fri fas och residualfaser kan skapa källtermer (källzoner) med större föroreningsmängder som skapar höga föroreningshalter i grundvattnet.

PCE som sprids i avloppsrör kan också spridas in i själva rören om de är av plast eller betong. Ledningarna i sig kan därför skapa låga halter i ett omgivande grundvatten och i porgas ovan röret.

PCE kan brytas ned naturliga i marken. Under syrefria förhållanden och med tillgång till organiskt material i grundvattnet kan PCE brytas ned till andra klorerade alifater med successivt färre antal klor, s.k. reduktiv deklorerering. Nedbrytningen sker i grundvattnet i följande ordning: tetrakloreten (PCE) → trikloreten (TCE) → dikloreten (främst cis-1,2-dikloreten, cDCE) → vinylklorid (VC) → eten. De klorerade alifaterna bildar ofta polymer eftersom de visserligen fastläggs i jorden men i relativt liten omfattning jämfört med andra föroreningar som t.ex. PAH. Närmast källan dominerar PCE och längst ut i plymen dominerar VC dvs. den mest nedbrutna formen. Den totala mängden klorerade alifater avtar också längre ut i plymen vartefter föroreningen bryts ned.

6 Genomförda undersökningar

Provtagning har utförts inom kvarteren Farao och Kairo där jord, grundvatten, porgas och inomhusluft har undersökts inom Farao och jord, grundvatten och porgas inom Kairo. Provtagningsstrategier, genomförda fältarbeten och laboratorieanalyser för undersökta medium redovisas i Bilaga 2.

Provtagningspunkter i jord, grundvatten och porgas visas i M101 samt drängas och inomhusluft i M102.

7 Föroreningsituation

I Bilaga 6 visas en sammanställning av samtliga analyser i jord, grundvatten, porgas och luft medan laboratorierapporter visas i Bilaga 7. I Bilaga 8 till Bilaga 10 visas utvärderingar av föroreningar i plan och profil i jord, grundvatten och porgas/drängas.

7.1 Metaller

I markundersökningarna inom Farao och Kairo har metallföroreningar dvs. halter över bakgrundsnivån påträffats i något prov för alla undersökta metaller utom kvicksilver. De flesta metaller förekommer emellertid i låga halter med något eller några prov strax över bakgrundsnivån. För några metaller överskrider dock något prov något av Naturvårdsverkets generella riktvärden. I Tabell 6 visas beskrivande statistik för dessa metaller.

Tabell 6. Beskrivande statistik för metaller inom Farao och Kairo

	KM	MKM	3MKM	Antal	Min	Median	Medel	75:e perc.	Max	SD	CV
As	10	25	75	60	0,25	2,86	5,12	4,55	58,9	8,49	1,7
Ba	200	300	900	21	0,05	54	79,7	71,5	434	89,4	1,1
Cr	80	150	450	60	10,1	25,1	27,9	32,7	91,8	12,5	0,4
Cu	80	200	600	60	9,18	26	45,6	40,2	697	89,8	2
Pb	50	400	1200	60	6,7	20,7	33,1	30,2	308	43,4	1,3
Zn	250	500	1500	60	23,6	76,5	109	103	849	125	1,1

Halter över bakgrundsnivån fetmarkeras.

Koppar, bly och zink utgör allmänna föroreningar i framförallt fyllning eftersom medianhalten överskrider bakgrundshalterna. Den högsta kopparhalten finns dock i torrskorpelera. Kopparhalterna varierar stort vilket syns på den höga variationskoefficienten på 2 vilket kan bero på den höga kopparhalten i ett lerprov. För bly och zink varierar halterna måttligt med CV på 1,1-1,3 vilket tolkas orsakas av skillnader mellan lera och fyllning där fyllningen är förorenad och leran oförorenad.

Enskilda prover är förorenade med avseende på arsenik, barium och krom där de högsta halterna överskrider MKM för arsenik och barium samt KM för krom. Arsenik har hög CV på 1,7 vilket indikerar ett avskilt område med något högre arsenikhalter.

7.1.1 Områden med metallföroreningar

Metallföroreningarna kan delas in i geografiska områden efter olika primära föroreningskällor.

Påförd fyllning inom Farao och Kairo:

Farao och Kairo har fyllts ut i olika omgångar men i all fyllning finns koppar, bly och zink som kan tillföras samma föroreningspopulation där.

Föroreningspopulationer av koppar med halter upp till 115 mg/kg TS, bly 150

mg/kg TS och zink 425 mg/kg TS förekommer i fyllningen dvs. mellan KM och MKM.

Västra Kairo

I västra Kairo finns fläckvis förhöjda arsenikhalter med halter mellan 14 och 24 mg/kg TS dvs. mellan KM och MKM. I södra delen finns också en hotspot av arsenik på 58 mg/kg TS och krom på 91 mg/kg TS. Den primära föroreningskällan kan ha varit ett industrispår som gick i västra Kairo fram till slutet av 1970-talet eller påförd fyllning. Inom västra Kairo finns också bakgrundshalter av arsenik i fyllningen dvs. halter under 7 mg/kg TS.

Norra Farao

I äldre fyllning och lera finns koppar, bly, zink och barium som kan ha sitt ursprung i tidigare färgeri. Koppar förekommer med högst halt i lera på 697 mg/kg TS vilket är 3 ggr MKM (200 mg/kg TS). Övriga prov är också kopparförorenade.

Högsta halten för bly är 118 mg/kg TS dvs. mellan KM (50 mg/kg TS) och MKM (400 mg/kg TS). Övriga prov är också blyförorenade inom Norra Farao.

Högsta halten zink är 849 mg/kg TS dvs. knappt 2 ggr MKM (500 mg/kg TS). Även övriga prov inom Norra Farao är zinkförorenade.

Dräneringsfyllning under byggnader inom Farao

Dräneringsfyllningen under byggnaderna inom Farao innehåller grova fraktioner där barium påträffats över MKM, 434 mg/kg TS men också bly och zink över KM, 58 mg/kg TS respektive 369 mg/kg TS. I dräneringsfyllningen är det bara enstaka prov med högre halter varför större delen av dräneringsfyllningen sannolikt är ren.

7.1.2 Spridning av metaller

Metaller om bly, zink och koppar har påträffats i förhöjda halter i flera prov i torrskorpeleran som underlagrar fyllningen. Arsenik har påträffats i förhöjd halt i något lerprov. Detta visar att dessa metaller har spridits från fyllning till underlagrande jordlager genom lakning och sedan fastläggning i leran. Provtagningen av grundvatten (övre magasinet) visar dock att spridningen från leran med grundvattnet är begränsad eftersom huvuddelen av rören innehållit låga metallhalter. Det kan dock förekomma fläckvis spridning av arsenik, bly och krom som påträffats i förhöjd halt i något grundvattenrör.

7.2 PAH

Beskrivande statistik för analyser av PAH inom Farao och Kairo visas i Tabell 7.

Tabell 7. Beskrivande statistik för PAH inom Farao och Kairo

	KM	MKM	3MKM	Antal	Min	Median	Medel	75:e perc.	Max	SD	CV
PAH-L	3	15	45	54	0,0075	0,011	0,11	0,083	1,6	0,26	2,3
PAH-M	3,5	20	60	54	0,011	0,72	5,24	4,28	80	12,5	2,4
PAH-H	1	10	30	54	0,02	0,84	6,22	5,95	85	13,9	2,2

Halter över bakgrundsnivån fetmarkerats.

För PAH-L utgör endast några prover förorening med halter över bakgrundsnivån. För PAH-M och PAH-H är huvuddelen av fyllningsproverna förorenade. Huvuddelen av proverna är förorenade strax över KM men det finns

områden och sannolikt också hotspots med höga halter PAH-M och -H över 3MKM vilket de höga CV på 2,2 till 2,4 visar.

7.2.1 Områden med PAH-föreningar

PAH kan delas in tre områden med olika föroreningspopulationer.

Påförd fyllning inom Farao och Kairo

Allmän förorening i fyllning inom Farao och Kairo med PAH-L upp till 1 mg/kg TS dvs. under MKM, PAH-M upp till 15 mg/kg TS dvs. strax under MKM och PAH-H upp till 20 mg/kg TS dvs 2 ggr MKM.

Östra Farao och norra Kairo

Östra Farao och norra Kairo där PAH-M och -H utgör en föroreningspopulation som kan ha skapats från påförd fyllning. PAH-H förekommer upp till 35 mg/kg TS dvs. över MKM och PAH-H upp till 50 mg/kg TS dvs. 5 ggr MKM eller i nivå med farligt avfall.

Hotspot i sydvästra Farao

Hotspot i sydvästra Farao där en provpunkt innehåller kreosotförorenad fyllning med halter PAH-M och -H på drygt 80 mg/kg TS dvs. PAH-H över farligt avfallsnivån (50 mg/kg TS). Förutom PAH förekommer kreosotämnen i fyllningen. Vi bedömer att kreosotfyllningen skapats av påförd fyllning eftersom det inte finns någon impregneringsverksamhet inom Farao där kreosot hanterats. Kreosoten i fyllningen är också kraftigt vittrad eftersom PAH-L förekommer i låga halter. PAH-L som naftalen brukar dominera PAH i kreosot men lakas också ut och bryts ned lättare jämfört med PAH-M och -H.

7.2.2 Spridning av PAH

Provtagningen av jord visar att PAH fläckvis har spridits till underlagrande torrskorpelera. Spridningen är inte större där högre halter påträffats. Provtagningen av grundvatten i det övre magasinet visar dock att spridningen av PAH är liten över hela området. Spridning med det övre magasinet kan förekomma fläckvis i den mån det övre magasinet strömmar vidare.

7.3 Olja

Beskrivande statistik för analyser av oljeämnen inom Farao och Kairo visas i Tabell 8.

Tabell 8. Beskrivande statistik för oljeämnen inom Farao och Kairo

	KM	MKM	3MKM	Min	Median	Medel	75:e perc	Max	SD	CV
alifater C16-C35	100	1000	3000	5	26	38,4	45	123	32,9	0,9
oljeindex	500	5000	15000	25	91	154	237	613	166	1,1

Halter över bakgrundsnivån fetmarkeras.

Markundersökningarna av oljeanalyser som oljeindex och alifater C16-C35 inom Farao och Kairo visar att oljeföreningar förekommer allmänt i jorden inom kvarteren eftersom medianen överskrider bakgrundshalterna. De högsta halterna överskrider KM något. De måttliga variationskoefficienterna kring 1 visar att det sannolikt inte går att avskilja några speciellt oljeförorenade områden utan att olja förekommer allmänt i jorden.

Utbredningen i plan och i profil i Bilaga 8 visar att det främst är fyllningen som är förorenad medan underlagrande torrskorpelera förekommer under bakgrundshalterna. Oljeföroeningen bedöms ha sitt ursprung i pålagrad fyllning och inte någon verksamhet inom Farao eller Kairo eftersom halterna förekommer allmänt inom hela området.

Den låga oljehalten i torrskorpeleran visar att olja inte sprids nedåt i jordlagerföljden. Provtagning av grundvatten verifierar den låga spridningen eftersom huvuddelen av vattenproverna underskrider rapporteringsgränserna. Fläckvis kan dock små oljemängder spridas (ev. kolloidalt) vilket visas av att en låg halt alifater C16-C35 påträffats i ett av undersökta grundvattenrör.

7.4 Klorerade alifater

Beskrivande statistik för klorerade alifater i jord inom Farao och Kairo visas i Tabell 9.

Tabell 9. Beskrivande statistik för klorerade alifater inom Farao och Kairo

	KM	MKM	3MKM	Antal	Min	Median	Medel	75:e perc.	Max	SD	CV
tetrakloreten	0,4	1,2	3,6	23	0,01	0,01	0,026	0,024	0,17	0,042	1,6
trikloreten	0,2	0,6	1,8	23	0,005	0,005	0,013	0,005	0,06	0,016	1,3
cis-1,2-dikloreten				22	0,005	0,005	0,026	0,01	0,38	0,078	3

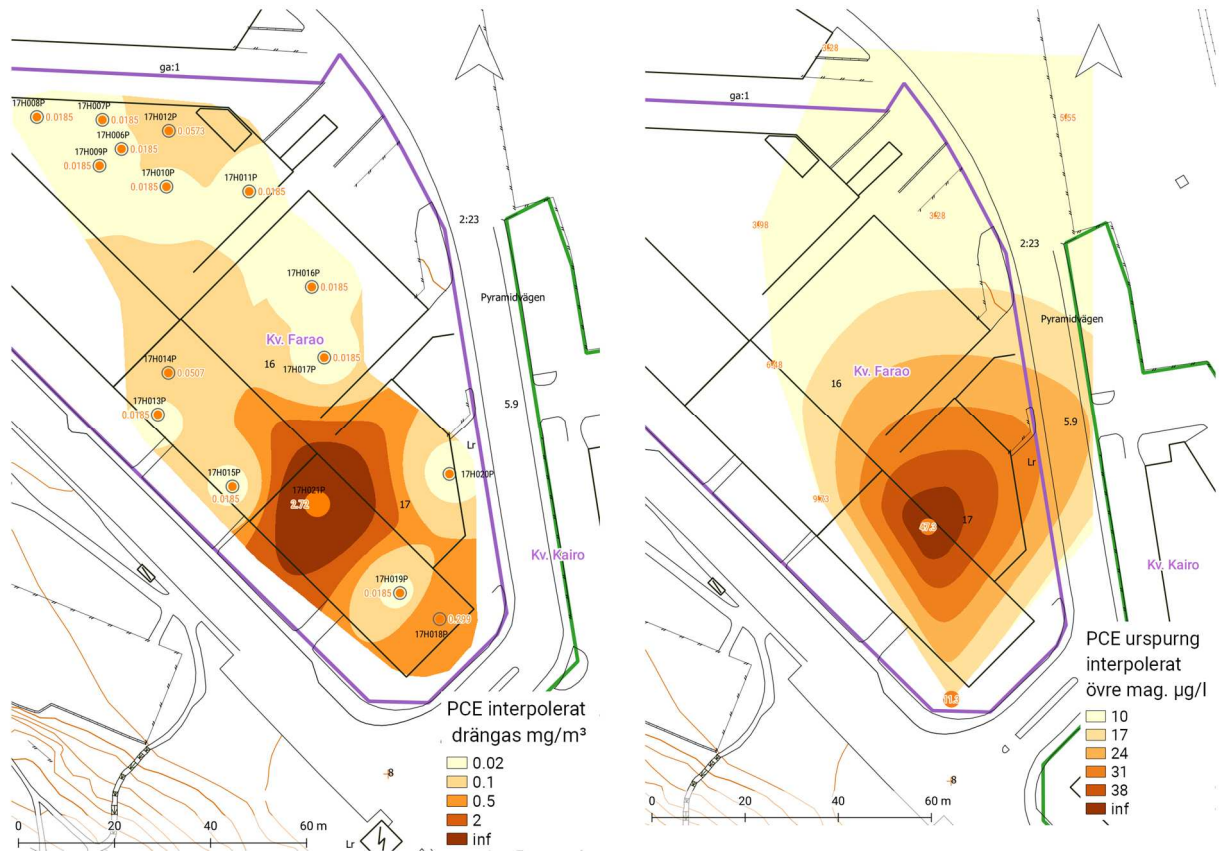
Halter över bakgrundsnivån fetmarkerats.

Inga halter har påträffats över riktvärdena för KM och MKM. Enstaka prover överskrider rapporteringsgränserna där de relativt högre halterna finns i djupa leriga och siltiga prov under grundvattennivån. Haltnivåerna och förekomsten samt sammansättningen korresponderar väl med påträffade halter i grundvattenprover varför vi bedömer att halterna i jorden skapats genom fastläggning från föroreningar i grundvattnet.

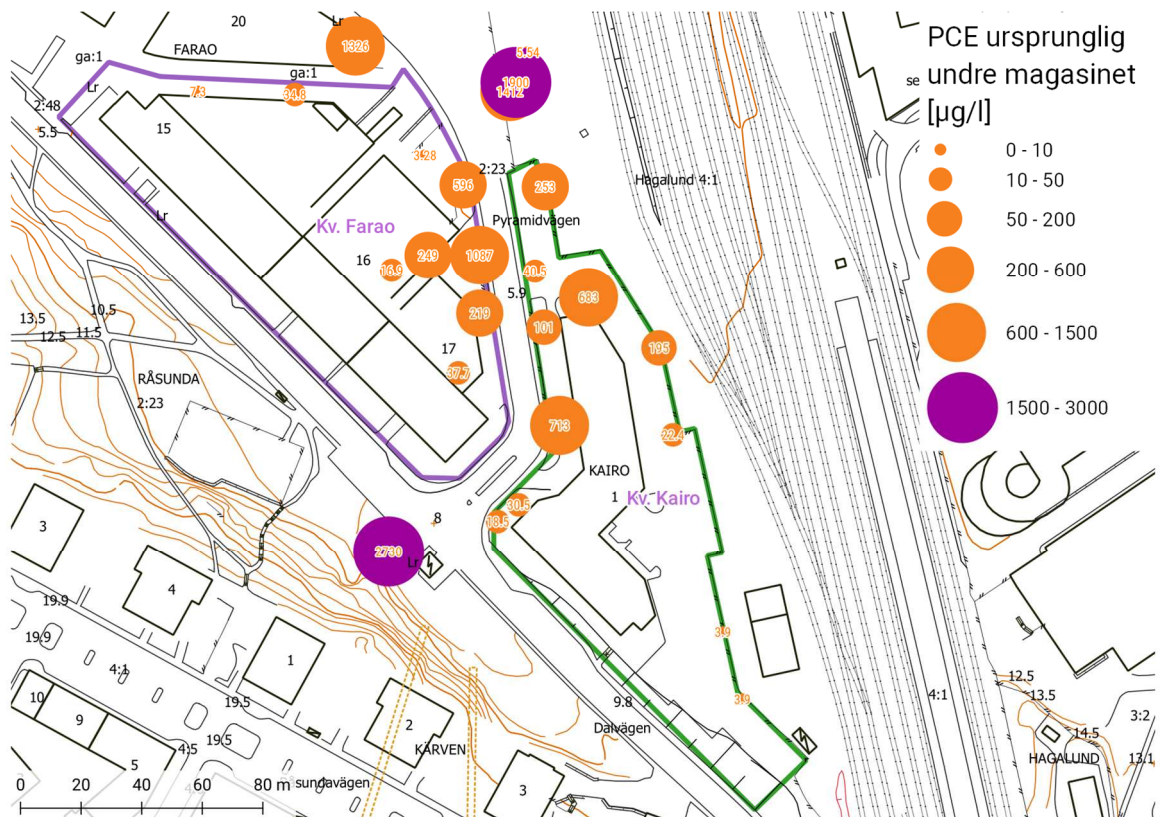
De miljötekniska markundersökningarna inom Farao och Kairo visar att det inte funnits några verksamheter (primära källor) som kan ha skapat föroreningar av klorerade alifater utifrån halterna i jord, grundvatten och porgas. Inom området för tidigare färgeriet som låg inom Farao 15 i norra kvarteret Farao visar enstaka låga halter klorerade alifater i porgas som korresponderar med påträffade låga halter i grundvattnet från det övre magasinet som strömmar in över fastigheten.

Klorerade alifater sprids däremot in till Farao och Kairo genom förorenat grundvatten i både det övre och undre magasinet. Grundvattnet har sannolikt förorenats av spill- eller dagvattenledningarna som går i Dalvägen och Pyramidvägen och som i sin tur utgör spridningsväg från verksamheter (primära föroreningskällor) som legat uppströms i avloppssystemet. Avloppsledningarna kommer från Råsunda där det funnits flera kemtvättar men även grafisk industri och ytbehandlingsindustri (Länsstyrelsen Stockholm, 2019) där klorerade alifater kan ha använts.

I det övre grundvattenmagasinet sprids låga halter av främst PCE från Dalvägen/Pyramidvägen. Spridningen sker i en plym från söder mot norr med successivt sjunkande halter, se Bilaga 9. Från plymen frigörs PCE, TCE och cDCE till markens porgas som sedan sprids till drängas under källargolvet. Halterna i drängasen är låga och stämmer väl överens med föroreningsplymens utbredning och halterna i grundvattnet, se Figur 12.

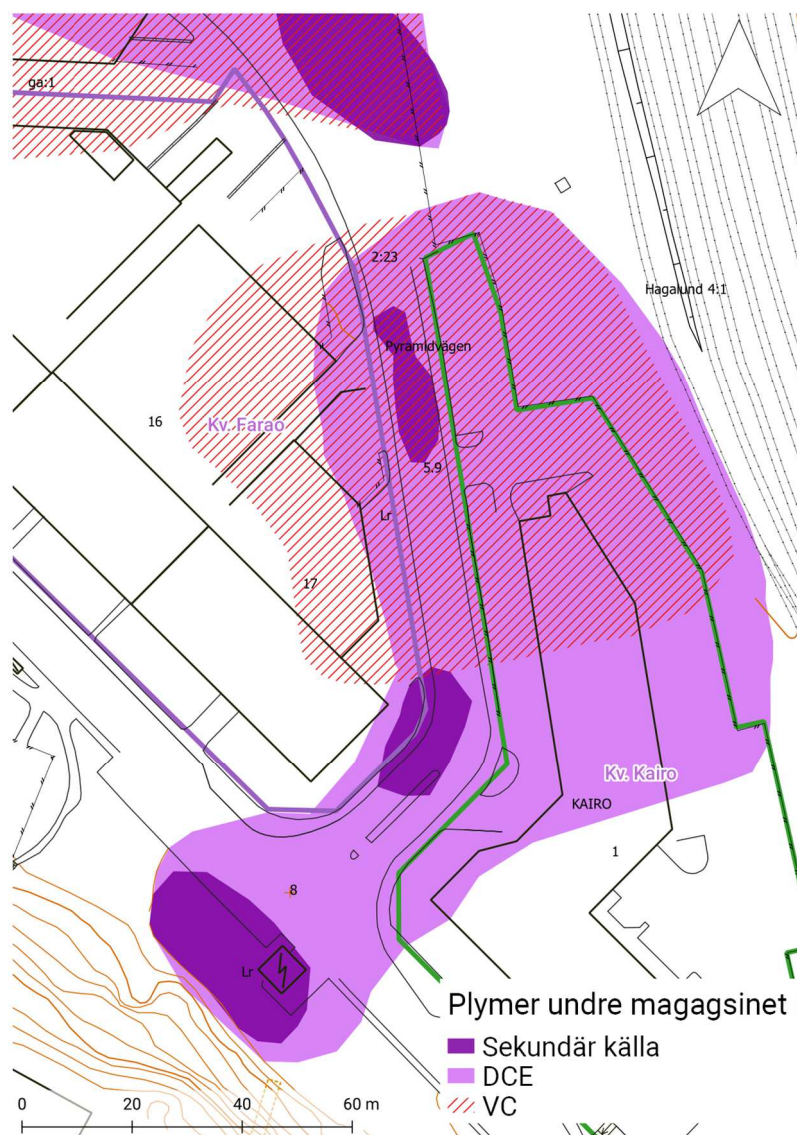


Figur 12. Drängashalter och grundvattenhalter övre magasinet för PCE -tetrakloreten.



Figur 13. Beräknade ursprunglig PCE-halter från PCE och dess nedbrytningsprodukter.

Provtagning av det undre grundvattenmagasinet norr och söder om Farao och Kairo visar halter PCE som indikerar fri fas i närheten (lila prickar), se Figur 13. Halterna PCE inom Farao och Kairo nära Pyramidvägen är också höga men indikerar inte fri fas i närheten utan mer halter i nivå med MKM (1,2 mg/kg TS) eller 3MKM. Högsta halterna inom Farao och Kairo är också närmast Pyramidvägen för att sedan sjunka längre bort från vägen, se Figur 13. Detta visar att PCE skapats vid spill- och dagvattenledningar längs Pyramidvägen och sedan sprids i en eller flera plymer in mot Kairo och Farao, se Figur 14, där de totala halterna klorerade alifater minskar eftersom de bryts ned och späds ut.



Figur 14. Möjliga sekundära källor i under spill- eller avloppsledningar samt plymer av DCE och VC. Utbredningarna är tolkade från förekommande grundvattenhalter.

Längs nordvästra Kairo har spillvattenledningen längs Pyramidvägen tidigare gått längs en sträcka av 65 m. Provtagning av jord, grundvatten och porgas i tre punkter längs ledningen visar att spillvattenledningen inte läckt någon fri fas PCE längs sträckan. Låga halter i jorden har påträffats vilka bedöms ha sitt ursprung i det förorenade grundvattnet. I porgasprover över spillvattenledningen har inga rapporterbara halter av PCE eller dess nedbrytningsprodukter påträffats.

7.5 Indelning i delområden

Baserat på föroreningssituationen inom Farao och Kairo samt geografiska avgränsningar har kvarteren delats in i sju delområden:

- A) Norra Farao
- B) Jord runt om byggnader Farao
- C) Dräneringslager under byggnader Farao
- D) Hotspot med kreosotfyllning Farao
- E) Västra Kairo
- F) Jord runt om byggnader Kairo
- G) Dräneringslager under byggnader Kairo

A – Norra Farao

Fyllning och torrskorpelera har påverkats av äldre verksamheter som färgeriet. Metallföroreningar förekommer som koppar, zink, bly och barium.

B – Jord runt om byggnader Farao

Delområdet består främst av fyllning som är allmänt förorenad av koppar, bly, zink, olja och PAH. Inom Farao inkluderas även separat föroreningspopulation av PAH som finns i östra kvarteret och gör över till norra Kairo.

C – Dräneringslager under byggnader Farao

Delområdet består av grova jordarter som använts till dränering av nuvarande byggnader. Barium, bly och zink har påträffat i förhöjda halter i enstaka prov.

D – Hotspot med kreosotfyllning Farao

Delområdet är litet och omfattar sydvästra Farao där PAH och andra kreosotämnen påträffats i höga halter som skiljer ut sig från övriga PAH-föroreningar inom Farao.

E – Västra Kairo

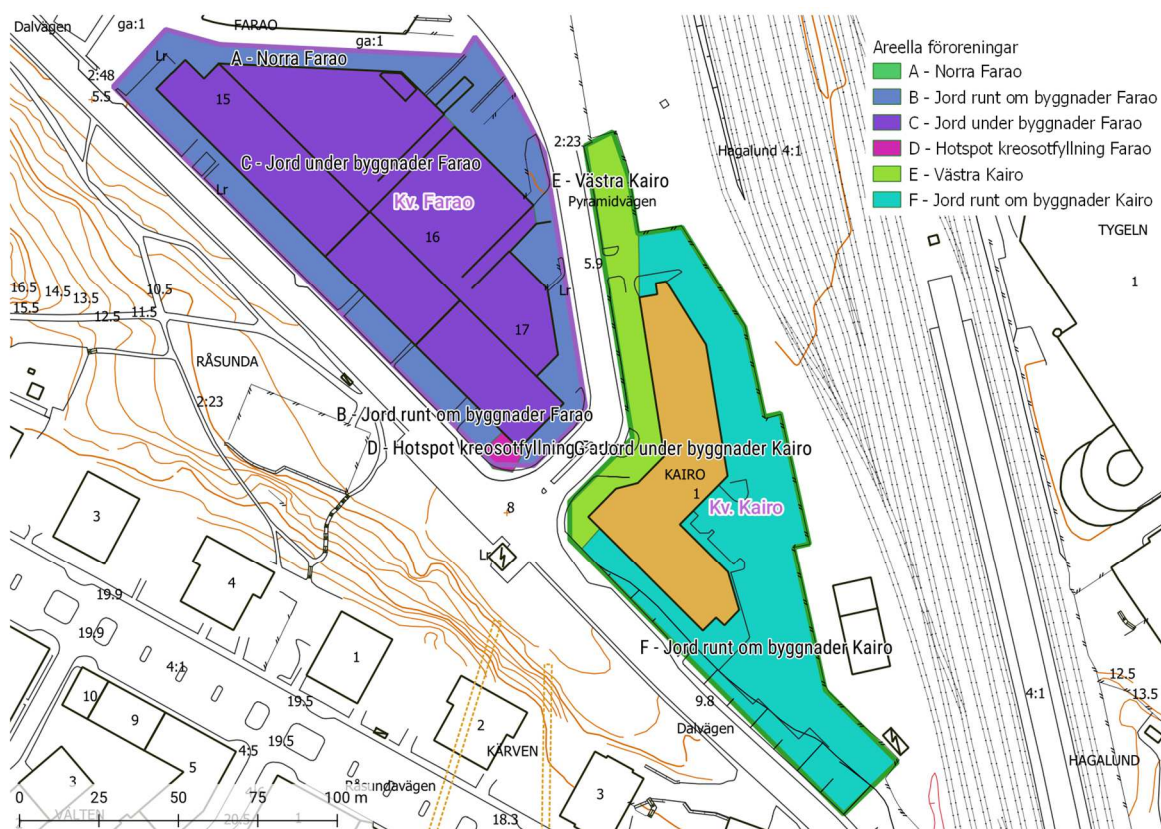
Delområdet omfattar västra Kairo mot Pyramidvägen där högre arsenikhalter påträffats jämfört med övrig fyllning där bakgrundshalter förekommer. Norra delen utgör egentligen en egen föroreningspopulation av PAH som sträcker sig över till östra Farao med som inkluderas i Västra Kairo eftersom det tillhör Kairo.

F – Jord runt om byggnader Kairo

Delområdet består av fyllning som är förorenad av koppar, bly, zink, olja och PAH.

G – Dräneringslager under byggnader Kairo

Området har inte undersökts och omfattar troligt dräneringslager. Föroreningssituationen är okänd med kan likna C – jord under byggnader inom Farao.



Figur 15. Delområden A-G inom Farao och Kairo.

7.6 Representativa halter

7.6.1 Jord

Representativa halter motsvarar den halt som bäst företräder risksituationen i det förorenade mediet utan att risken underskattas. Representativa halter tas fram för delområdena med syfte att jämföras mot riktvärden.

I Tabell 10 visas beräknade representativa halter för delområdena A-F för ämnen som överskridit KM i något prov inom delområdet. Representativa halter för oljeämnen som oljeindex och alifater C16-C35 har inte beräknats eftersom endast några prov överskrider KM. All fyllning inom Farao och Kairo är dock förorenad av låga halter oljeämnen.

För delområde G kan inga representativa halter tas fram eftersom inga jordprover undersökts.

Tabell 10. Representativa halter för delområde A till F

Delområde	Antal	Median	Medel	Representativ halt	Metod
A – Norra Farao					
Bly - Pb	5	25,4	53,9	96,2	95% Student's-t UCL
Koppar - Cu	5	61,3	180	456	90:e percentilen
Zink - Zn	5	163	322	628	95% Student's-t UCL
PAH-M	5	0,32	1,11	2,63	95% Student's-t UCL
PAH-H	5	0,5	1,71	4,23	95% Student's-t UCL
B – Jord runt om byggnader Farao					
Arsenik – As	8	2,3	4,0	12,8	95% H-UCL
Bly – Pb	8	19,9	23,1	31,7	95% Student's-t UCL
Koppar - Cu	8	20,3	40,6	110	95% H-UCL
PAH-M	6	0,26	6,4	29,8	95% Chebyshev(Mean, Sd) UCL
PAH-H	6	0,36	8,8	42,2	95% Chebyshev(Mean, Sd) UCL

Delområde	Antal	Median	Medel	Representativ halt	Metod
C – Dräneringslager under byggnader Farao					
Barium – Ba	1	-	-	434	Högsta halt
Bly - Pb	3	16,4	28,8	38	75:e percentil
Zink - Zn	3	89	169	229	75:e percentil
D – Hotspot med kreosotfyllning Farao					
PAH-M	1	-	-	80	Högsta halt
PAH-H	1	-	-	85	Högsta halt
E – Västra Kairo					
Arsenik – As	22	3,3	8,4	15,8	95% H-UCL
Bly – Pb	22	21,5	45,7	106	95% Chebyshev(Mean, Sd) UCL
Koppar - Cu	22	28,2	33,6	40,1	95% Student's-t UCL
Zink - Zn	22	79,2	101	122	95% H-UCL
PAH-M	19	1,55	4,8	9,78	95% Adjusted Gamma UCL (n<50)
PAH-H	19	1,95	5,39	10,5	95% Adjusted Gamma UCL
F – Jord runt om byggnader Kairo					
Koppar - Cu	21	25,4	28,7	35,4	95% H-UCL
PAH-M	17	0,7	3,18	7,29	95% Adjusted Gamma UCL
PAH-H	17	0,7	4,21	9,88	95% Adjusted Gamma UCL

De representativa halterna har beräknats med hjälp av ProUCL v.5.1 (US EPA, 2016) och representerar prover från fyllning och torrskorpelera. För delområden och ämnen där bara en analys finns har denna halt använts vilket ger osäkra haltnivåer. För ämnen inom delområden där 3 och ibland 5 prover finns har 75:e eller 90:e percentilen använts.

För beräkning av representativa halter har olika fördelningsmodeller använts där följande representerar olika modeller:

- Student's-t UCL = normalfördelning
- Chebyshev(mean, sd) UCL = fördelningsfri
- Adjusted Gamma UCL = gammafördelning
- H-UCL = lognormalfördelning.

7.6.2 Grundvatten

I Tabell 11 visas representativa halter för klorerade alifater i det övre grundvattenmagasinet som sprids in till kvarter Farao. Halterna redovisas som ett intervall mellan det högsta och lägsta analyserade värdet eftersom halterna förekommer i en plym.

Tabell 11. Representativa halter för grundvatten i det övre grundvattenmagasinet inom kvarter Farao

Ämne	Representativ halt µg/l
PCE - tetrakloreten	<r.g. - 45
TCE - trikloreten	<r.g. - 1,3
DCE - dikloreten	<r.g. - 3,0
VC - vinylklorid	<r.g. - 2,0

Klorerade alifater som sprids in till kvarteren Farao och Kairo i det undre grundvattenmagasinen bedöms inte kunna spridas till det övre grundvattenmagasinet genom nuvarande lerlager.

8 Miljö- och hälsoriskbedömning

8.1 Förslag på övergripande åtgärds mål

Förslag på övergripande åtgärds mål för kvarteren Farao och Kairo är enligt följande:

- A) Marken inom området ska kunna användas till bostads- eller kontorsändamål enligt gällande detaljplan. Eventuella risker ska vara på lågrisknivå för yrkesverksamma som vistas dagligen eller människor som vistas tillfälligt inom fastigheten.
- B) Ett markekosystem ska kunna utvecklas i jorden inom området motsvarande markanvändningen och förekommande jordarters förutsättningar.
- C) Markföroreningar från området ska inte spridas till närliggande grund- eller ytvattenförekomster i sådan omfattning att de orsakar begränsningar av nyttjandet av naturresurserna avseende akvatiskt liv eller grundvatten som dricksvattenresurs.

8.2 Problembeskrivning och plats specifika riktvärden

8.2.1 Jord

Riskbedömningens problembeskrivning med konceptuell modell och beräkning av plats specifika riktvärden (PSRV) för detaljplanområde Solna station kv. Farao och Kairo redovisas i separat handling (Hedenvind Projekt, 2019). PSRV har tagits fram för två markanvändningsalternativ - Bostad och Kontor. Riktvärdena för Bostad baseras på modellparametrar motsvarande KM och Kontor motsvarande MKM i Naturvårdsverket generella riktvärden i jord. Justeringar har gjorts för flera plats specifika förhållanden som exponeringstider, det förorenade områdets storlek m.m. (Hedenvind Projekt, 2019).

Bostad

I Tabell 12 visas de plats specifika riktvärdena för Bostad jämfört med Naturvårdsverkets generella riktvärden för KM (känslig markanvändning). Det plats specifika riktvärdet består av det lägsta av riktvärdena för hälsa, markmiljö och spridning till Naturresurser som grund- och ytvattenförekomster.

Tabell 12. Plats specifika riktvärden för Bostad jämfört mot generella riktvärden för KM

[mg/kg TS]	Hälsa		Markmiljö riktvärden	Spridningsriktvärden			PSRV Bostad	KM
	riktvärden	Styrande envägs koncentration		Fri fas	Grundvatten	Ytvatten		
Antimon	2 100	Intag jord	40	beaktas ej	beaktas ej	14	15	12
Arsenik	24	Intag jord, hudkontakt	40	beaktas ej	beaktas ej	160	25	10
Barium	8 100	Intag jord	300	beaktas ej	beaktas ej	21 000	300	200
Bly	580	Intag jord	400	beaktas ej	beaktas ej	1 600	400	50
Kadmium	56	Intag jord	12	beaktas ej	beaktas ej	7,1	7	0,8
Kobolt	570	Intag jord	35	beaktas ej	beaktas ej	110	35	15
Koppar	100 000	Inandning damm, intag jord	200	beaktas ej	beaktas ej	1 100	200	80
Krom	600 000	Intag jord	150	beaktas ej	beaktas ej	800	150	80
Kvicksilver	0,44	Inandning ånga	10	beaktas ej	beaktas ej	1,1	0,4	0,25
Molybden	4 200	Intag jord	150	beaktas ej	beaktas ej	43	40	40
Nickel	2 500	Inandning damm, intag jord	120	beaktas ej	beaktas ej	530	120	40
Vanadin	3 700	Intag jord	200	beaktas ej	beaktas ej	890	200	100
Zink	130 000	Intag jord	500	beaktas ej	beaktas ej	4 300	500	250
PAH-L	29	Inandning ånga	15	500	beaktas ej	58	15	3
PAH-M	3,5	Inandning ånga	40	250	beaktas ej	44	3,5	3,5
PAH-H	15	Hudkontakt, Intag jord	10	50	beaktas ej	42	10	1
Aromat C8-C10	84	Inandning ånga	50	1 000	beaktas ej	290	50	10
Aromat C10-C16	2 200	Inandning ånga	15	500	beaktas ej	210	15	3
Aromat C16-C35	2 500	Inandning ånga, hudkontakt, intag jord	40	250	beaktas ej	26	25	10
Alifat C5-C8	23	Inandning ånga	200	700	beaktas ej	160	25	25
Alifat C8-C10	22	Inandning ånga	500	700	beaktas ej	1 300	20	25
Alifat C10-C12	210	Inandning ånga	500	1 000	beaktas ej	23 000	200	100
Alifat C12-C16	940	Inandning ånga	500	1 000	beaktas ej	400 000	500	100
Alifat C16-C35	270 000	Inandning ånga, intag jord, hudkontakt	1 000	2 500	beaktas ej	530 000	1 000	100
Triklören	2,2	Inandning ånga	10	1 000	0,28	24	0,3	0,2

[mg/kg TS]	Hälsa		Markmiljö riktvärden	Spridningsriktvärden			PSRV Bostad	KM
Ämne	riktvärden	Styrande envägs-koncentration		Fri fas	Grundvatten	Ytvatten		
Tetrakloreten	6,4	Inandning ånga	10	500	0,6	53	0,6	0,4

De platsspecifika riktvärdena för Bostad är generellt högre än generella riktvärden för KM utom för alifater C8-C10 där PSRV är något lägre på grund av något lägre organisk halt i jorden. För molybden, alifater C5-C8 och PAH-M är det PSRV de samma som KM.

Hälsoriktvärdena för organiska ämnena styrs främst av inandning av föroreningsångor inomhus och för de mindre flyktiga ämnena också av hudkontakt och direkt intag av jord.

Kontor

I Tabell 13 visas de platsspecifika riktvärdena (PSRV) för Kontor jämfört med Naturvårdsverkets generella riktvärden för MKM (mindre känslig markanvändning). Det PSRV består av det lägsta av riktvärdena för hälsa, markmiljö och spridning (som i sin tur består av tre riktvärden).

Tabell 13. Platsspecifika riktvärden för Kontor jämfört mot generella riktvärden för MKM

[mg/kg TS]	Hälsa riktvärde	Styrande envägs-koncentrationer	Markmiljö riktvärde	Spridningsriktvärden			PSRV Kontor	MKM
Ämne				Fri fas	Grundvatten	Ytvatten		
Antimon	11 000	Intag jord	40	beaktas ej	beaktas ej	14	15	30
Arsenik	110	Intag jord, hudkontakt	40	beaktas ej	beaktas ej	160	40	25
Barium	42 000	Intag jord	300	beaktas ej	beaktas ej	21 000	300	300
Bly	3 000	Intag jord	400	beaktas ej	beaktas ej	1 600	400	400
Kadmium	280	Intag jord	12	beaktas ej	beaktas ej	7,1	7	12
Kobolt	3 000	Intag jord	35	beaktas ej	beaktas ej	110	35	35
Koppar	520 000	Inandning damm, intag jord	200	beaktas ej	beaktas ej	1 100	200	200
Krom	ej begr.	Intag jord	150	beaktas ej	beaktas ej	800	150	150
Kvicksilver	2,5	Inandning ånga	10	beaktas ej	beaktas ej	1,1	1	2,5
Molybden	22 000	Intag jord	150	beaktas ej	beaktas ej	43	40	100
Nickel	13 000	Inandning damm, intag jord	120	beaktas ej	beaktas ej	530	120	120
Vanadin	19 000	Intag jord	200	beaktas ej	beaktas ej	890	200	200
Zink	650 000	Intag jord	500	beaktas ej	beaktas ej	4 300	500	500
PAH-L	160	Inandning ånga	15	500	beaktas ej	58	15	15
PAH-M	19	Inandning ånga	40	250	beaktas ej	44	20	20
PAH-H	69	Hudkontakt, intag jord	10	50	beaktas ej	42	10	10
Aromat C8-C10	470	Inandning ånga	50	1 000	beaktas ej	290	50	50
Aromat C10-C16	13 000	Inandning ånga, intag jord, hudkontakt	15	500	beaktas ej	210	15	15
Aromat C16-C35	15 000	Inandning ånga, intag jord, hudkontakt	40	250	beaktas ej	26	25	30
Alifat C5-C8	130	Inandning ånga	200	700	beaktas ej	160	130	150
Alifat C8-C10	120	Inandning ånga	500	700	beaktas ej	1 300	120	120
Alifat C10-C12	1 200	Inandning ånga	500	1 000	beaktas ej	23 000	500	500
Alifat C12-C16	5 300	Inandning ånga	500	1 000	beaktas ej	400 000	500	500
Alifat C16-C35	ej begr.	Intag jord, inandning ånga, hudkontakt	1 000	2 500	beaktas ej	530 000	1 000	1000
Triklloreten	12	Inandning ånga	10	1 000	0,28	24	0,3	0,6
Tetrakloreten	35	Inandning ånga	10	500	0,6	53	0,6	1,2

Huvuddelen av de PSRV för Kontor styrs av riktvärdet för Markmiljö och motsvarar MKM. PSRV för kvicksilver, molybden, kadmium och aromater C16-C35 styrs av spridning till ytvatten. Klorerade alifater som tri- och tetrakloreten styrs av spridning till skyddat dricksvatten. För PAH-M och alifater C5-C10 styrs PSRV av hälsoriktvärdet och inandning av ångor inomhus.

8.2.2 Grundvatten

Grundvatten är normalt ett spridningsmedium där hälsorisker hanteras i riktvärdena för jord. Eftersom klorerade alifater sprids in till Farao och Kairo lösta i grundvattnet har riktvärden för grundvatten tagits fram. Dessa omfattar bara hälsorisker och inandning av föroreningsångor inomhus motsvarande bostäder

dvs. exponering dagligen under en livstid. Riktvärdena baseras på samma spridningsmodell till inomhusluft som riktvärden i jord utifrån att grundvattnet finns under en byggnad och ett dräneringslager på 0,35 m. De platsspecifika riktvärdena i grundvattnet visas i Tabell 14.

Tabell 14. Platsspecifika hälsoriktvärden (PSRV) i grundvatten

	PSRV – hälsa i grundvatten
PCE - tetrakloreten	1 500 µg/l
TCE - trikloreten	900 µg/l
DCE - dikloreten	1 600 µg/l
VC - vinylklorid	35 µg/l

8.3 Hälsorisker

8.3.1 Hälsorisker vid enskilda exponeringstillfällen

Hälsorisker vid korttidsexponering

Långsiktiga hälsorisker från enskilda exponeringstillfällen (korttidsexponering) kan uppkomma för känsliga personer som barn om de exponeras för höga halter av t.ex. bly och PAH-H genom direkt intag av jord vid enstaka tillfällen.

Naturvårdsverket har tagit fram nivåer för denna korttidsexponering där PAH-H är 300 mg/kg TS och bly på 600 mg/kg TS (Naturvårdsverket, 2018). Exponering av höga halter bly eller PAH-H vid enstaka tillfällen kan leda till att det tolerabla intaget sett över ett år blir oacceptabelt höga om ett barn på 10 kg får i sig 10 g förorenad jord.

De högsta halterna bly och PAH-H har därför skattats inom Farao och Kairo. Inom Farao och Kairo är den högsta blyhalten som påträffats 133 mg/kg TS. Det förekommer dock sannolikt högre blyhalter än de analyserade eftersom provtagningen representerar stickprov av en föroreningspopulation. De högsta blyhalterna i fyllning inom Kairo och Farao har därför beräknats som 99:e percentilen och USL (upper simultaneous limit) som är den övre gränsen för det högsta värdet i föroreningspopulationen (US EPA, 2016). Beräkningarna har gjorts med amerikanska Naturvårdsverkets statistikprogramvara ProUCL v.5.1. Beräkningarna för blypopulationen i fyllningen är följande:

- 99:e percentilen = 115 mg/kg TS
- USL = 163 mg/kg TS

Eftersom både 99:e percentilen och USL tydligt underskrider 600 mg/kg TS bedömer vi att *korttidsexponering av bly utgör en låg hälsorisk för barn vid enstaka intag av förorenad jord.*

De högsta halterna PAH-H inom Farao och Kairo är 85 mg/kg TS. Högre halter förekommer sannolikt i fyllningen varför vi har beräknat 99:e percentilen och USL för PAH-H i fyllningen utifrån halter över 1,6 mg/kg TS som kan antas utgöra en föroreningspopulation av PAH-H. Beräkningarna för PAH-H populationen i fyllningen är följande:

- 99:e percentilen = 84 mg/kg TS
- USL = 91 mg/kg TS

Eftersom både 99:e percentilen och USL tydligt underskrider 300 mg/kg TS bedömer vi att PAH-H i fyllningen utgör en låg hälsorisk för barn genom korttidsexponering vid enstaka intag av förorenad jord.

Akuttoxiska hälsorisker

Akuttoxiska effekter kan uppkomma för föroreningar som arsenik och cyanid genom att människor får i sig förorenad jord vid enstaka tillfällen (Naturvårdsverket, 2009a). Cyanid misstänks inte förekomma inom Farao och Kairo medan arsenik förekommer naturligt. Förhöjda arsenikhalter har främst påträffats i fyllningen inom västra Kairo längs, se Bilaga 8.

Naturvårdsverkets har tagit fram en halt på 100 mg/kg TS där akuttoxiska effekter kan uppträda för ett barn på 10 kg som äter 5 g jord. De högsta arsenikhalterna inom området finns i västra Kairo där arsenikprov på 58,5 mg/kg TS påträffats. Halten är tydligt under den akuttoxiska nivån men eftersom provtagningen gjorts som stickprov av en arsenikpopulation kan högra halter förekomma. Vi har därför beräknat arsenikpopulationens 99:e percentil och USL dvs. övre gräns för populationens högsta värde. Beräkningarna för arsenikpopulationen i västra Kairo är följande:

- 99:e percentilen = 89 mg/kg TS
- USL = 78 mg/kg TS

Eftersom halterna underskrider 100 mg/kg TS bedömer vi att risken är låg att akuttoxiska halter arsenik förekommer inom kvarteren Farao och Kairo.

8.3.2 Långsiktiga hälsorisker

Föroreningar i jord

I Tabell 15 jämförs representativa halter för huvudföroreningar inom respektive delområde mot de platsspecifika hälsoriktvärdena för Bostad och Kontor.

Tabell 15. Platsspecifika hälsoriktvärden för Bostad och Kontor jämfört med representativa halter för delområden

Delområde mg/kg TS	Representativ halt	PSRV-Hälsa Bostad	PSRV-Hälsa Kontor
A – Norra Farao			
Bly - Pb	96,2	580	3 000
Koppar - Cu	456	100 000	520 000
Zink - Zn	628	130 000	650 000
PAH-M	2,63	3,5	20
PAH-H	4,23	15	70
B – Jord runt om byggnader Farao			
Arsenik – As	12,8	24	110
Bly – Pb	31,7	580	3 000
Koppar - Cu	110	100 000	520 000
PAH-M	29,8	3,5	20
PAH-H	42,2	15	70
C – Dräneringslager under byggnader Farao			
Barium – Ba	434	8 100	42 000
Bly - Pb	38	580	3 000
Zink - Zn	229	130 000	650 000
D – Hotspot med kreosotfyllning Farao			
PAH-M	80	3,5	20
PAH-H	85	15	70
D – Västra Kairo			
Arsenik – As	15,8	24	110
Bly – Pb	106	580	3 000

Delområde mg/kg TS	Representativ halt	PSRV-Hälsa Bostad	PSRV-Hälsa Kontor
Koppar - Cu	40,1	100 000	520 000
Zink - Zn	122	130 000	650 000
PAH-M	9,78	3,5	20
PAH-H	10,5	15	70
<u>E – Jord runt om byggnader Kairo</u>			
Koppar - Cu	35,4	100 000	520 000
PAH-M	7,29	3,5	20
PAH-H	9,88	15	70

PAH-M och PAH-H bedöms kunna orsaka långsiktiga negativa hälsoeffekter på inom alla delområden utom Norra Farao om marken används till Bostäder i framtiden eftersom de representativa halterna överskrider hälsoriktvärdena. Negativa effekter med PAH-M skulle kunna uppstå om ytorna med PAH-förorening i framtiden byggs över och ångor frigörs från marken och sprids in till inomhusluften och på så sätt exponerar boende via inandning av ångorna.

För PAH-H skulle negativa hälsoeffekter kunna uppträda om ytorna blottläggs och ligger nära markytan och på så sätt frigörs till luften genom damning där ett direkt intag av stora dammpartiklar kan förekomma eller damm som fastnar på hud. Vi bedömer att detta är ett osannolikt scenario eftersom området planeras vara stadsläk med hårdgjorda ytor mellan kvarteren.

Används marken istället till kontor är det bara delområdet Hotspot med kreasotfyllning i sydvästra Farao och Jordan runt om byggnaderna inom Farao som ovan beskrivna negativa hälsoeffekter skulle kunna uppstå för PAH-M och PAH-H.

Föroreningar i grundvatten

Grundvatten förorenat med klorerade alifater strömmar in över kvarteret Farao i det övre grundvattenmagasinet. I Tabell 16 jämförs de representativa halterna mot PSRV för grundvatten. Ingen av de representativa halterna överskrider grundvattenriktvärdena varför vi bedömer att det förorenade grundvattnet utgör en låg risk både om Farao byggs över med bostäder eller kontor.

Tabell 16. Representativa halter klorerade alifater i det övre grundvattenmagasinet inom Farao jämfört mot PSRV för grundvatten

Ämne µg/l	Representativ halt	PSRV grundvatten
PCE	<r.g. - 45	1 500 µg/l
TCE	<r.g. - 1,3	900 µg/l
DCE	<r.g. - 2,0	1 600 µg/l
VC	<r.g. - 2,0	35 µg/l

8.4 Miljörisker

I Tabell 17 jämförs representativa halter inom respektive delområde mot de plats specifika miljöriktvärdena.

Tabell 17. PSRV-miljöriktvärden för Bostad och Kontor jämfört mot representativa halter

Delområde mg/kg TS	Representativ halt	PSRV-Miljö Bostad	PSRV-Miljö Kontor
<u>A – Norra Farao</u>			
Bly - Pb	96,2	400	400
Koppar - Cu	456	200	200
Zink - Zn	628	500	500

Delområde mg/kg TS	Representativ halt	PSRV-Miljö	
		Bostad	Kontor
PAH-M	2,63	40	40
PAH-H	4,23	10	10
B – Jord runt om byggnader Farao			
Arsenik – As	12,8	40	40
Bly – Pb	31,7	400	400
Koppar - Cu	110	200	200
PAH-M	29,8	40	40
PAH-H	42,2	10	10
C – Dräneringslager under byggnader Farao			
Barium – Ba	434	300	300
Bly - Pb	38	400	400
Zink - Zn	229	500	500
D – Hotspot med kreosotfyllning Farao			
PAH-M	80	40	40
PAH-H	85	10	10
D – Västra Kairo			
Arsenik – As	15,8	40	40
Bly – Pb	106	400	400
Koppar - Cu	40,1	200	200
Zink - Zn	122	500	500
PAH-M	9,78	40	40
PAH-H	10,5	10	10
E – Jord runt om byggnader Kairo			
Koppar - Cu	35,4	200	200
PAH-M	7,29	40	40
PAH-H	9,88	10	10

Koppar, zink, barium, PAH-M och PAH-H bedöms kunna orsaka negativa miljöeffekter på lång sikt inom alla delområden eftersom de representativa halterna överskrider miljöriktvärdena. Vi bedömer dock att negativa miljöeffekter för dessa ämnen kan uppstå först om ytorna i framtiden anläggs med park, grönyta eller liknande eftersom markmiljön därmed skulle kunna exponeras för föroreningarna. Idag är samtliga ytor hårdgjorda vilket förhindrar exponering.

Delområdena utgörs också av fyllning som i sig inte kan upprätthålla normala markökologiska funktioner eftersom jordarten har ofördelaktig textur, lågt näringsinnehåll, liten organisk halt och dåliga fukthållande egenskaper. Om grönyta, plantering eller likande i framtiden ska anläggas bör fyllningen därför i alla fall skiftas till mer ändamålsenlig jordart.

8.5 Spridningsrisker till naturresurser

I Tabell 18 jämförs representativa halter för huvudföroreningar inom respektive delområde mot de platsspecifika spridningsriktvärdena.

Tabell 18. Representativa halter jämfört mot PSRV-spridningsriktvärden för Bostad och Kontor

Delområde mg/kg TS	Representativ halt	PSRV-Spridning Bostad		PSRV-Spridning Kontor	
		Fri fas	Ytvatten	Fri fas	Ytvatten
A – Norra Farao					
Bly - Pb	96,2	Beaktas ej	1 600	Beaktas ej	1 600
Koppar - Cu	456	Beaktas ej	1 100	Beaktas ej	1 100
Zink - Zn	628	Beaktas ej	4 300	Beaktas ej	4 300
PAH-M	2,63	250	44	250	44
PAH-H	4,23	50	42	50	42
B – Jord runt om byggnader Farao					
Arsenik – As	12,8	Beaktas ej	14	Beaktas ej	14
Bly – Pb	31,7	Beaktas ej	1 600	Beaktas ej	1 600
Koppar - Cu	110	Beaktas ej	1 100	Beaktas ej	1 100
PAH-M	29,8	250	44	250	44
PAH-H	42,2	50	42	50	42
C – Dräneringslager under byggnader Farao					
Barium – Ba	434	Beaktas ej	21 000	Beaktas ej	21 000
Bly - Pb	38	Beaktas ej	1 600	Beaktas ej	1 600
Zink - Zn	229	Beaktas ej	4 300	Beaktas ej	4 300

Delområde mg/kg TS	Representativ halt	PSRV-Spridning Bostad		PSRV-Spridning Kontor	
		Fri fas	Ytvatten	Fri fas	Ytvatten
<u>D – Hotspot med kreosotfyllning Farao</u>					
PAH-M	80	250	44	250	44
PAH-H	85	50	42	50	42
<u>D – Västra Kairo</u>					
Arsenik – As	15,8	Beaktas ej	160	Beaktas ej	160
Bly – Pb	106	Beaktas ej	1 600	Beaktas ej	1 600
Koppar - Cu	40,1	Beaktas ej	1 100	Beaktas ej	1 100
Zink - Zn	122	Beaktas ej	4 300	Beaktas ej	4 300
PAH-M	9,78	250	44	250	44
PAH-H	10,5	50	42	50	42
<u>E – Jord runt om byggnader Kairo</u>					
Koppar - Cu	35,4	Beaktas ej	1 100	Beaktas ej	1 100
PAH-M	7,29	250	44	250	44
PAH-H	9,88	50	42	50	42

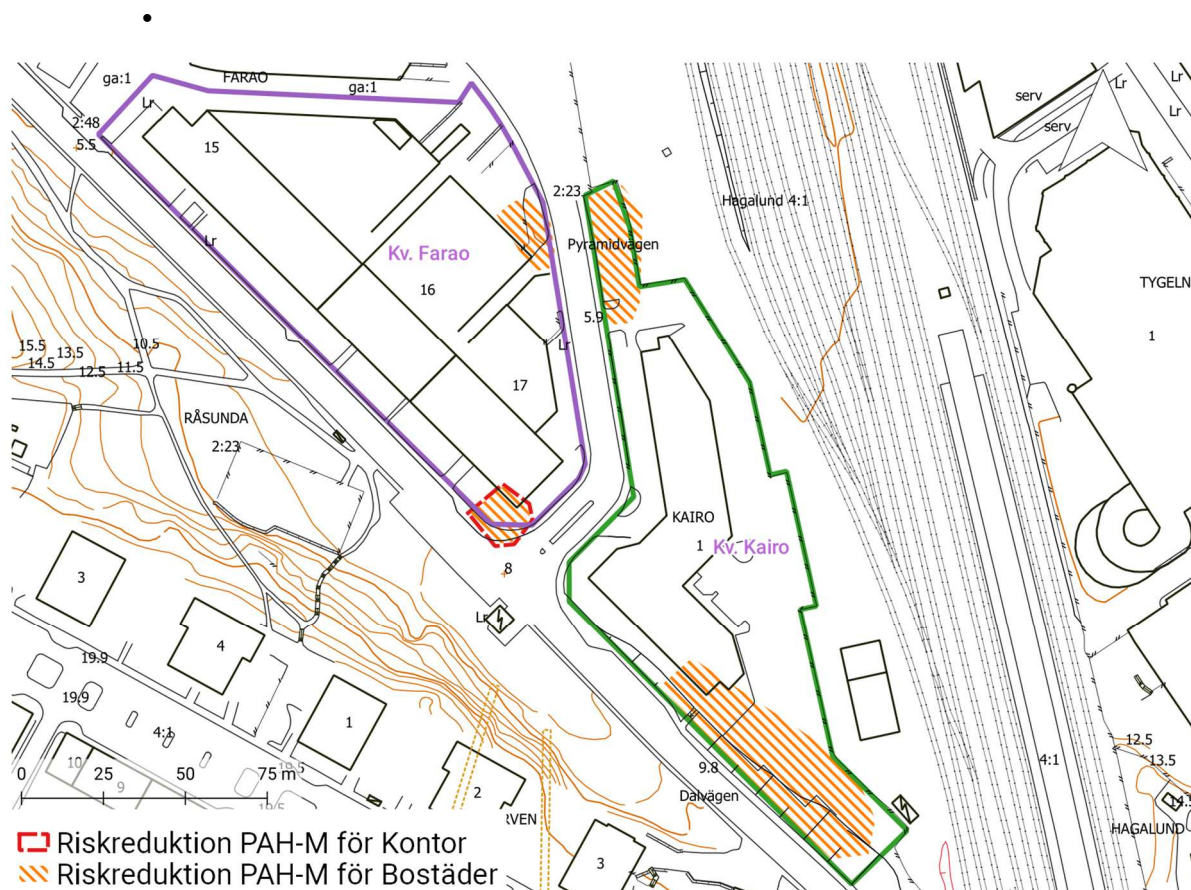
PAH-M och PAH-H bedöms på lång sikt kunna orsaka spridning till ytvatten som naturresurs inom delområdena Jord runt byggnader inom Farao och Hotspot med kreosotfyllning i sydvästra Farao eftersom de representativa halterna överskrider det platsspecifika riktvärdena. Spridningen bedöms inte förekomma idag med anledning av att grundvattnet i det övre magasinet inom Farao generellt har låga halter PAH och att det är osäkert om det övre magasinet överhuvudtaget strömmar från området. I takt med att Arenastaden fortsätter att utvecklas till ännu mer stadslig stadsplan kommer också det övre magasinet att minska och kanske till och med försvinna helt. Vi bedömer därför att risken för spridning av PAH-M och PAH-H till ytvatten som naturresurs i praktiken är lägre och acceptabel.

I Hotspot med kreosotfyllning överskrider riktvärdet för fri fas för PAH-H. Vid provtagning fanns inga indikationer om fri fas i jordlagerföljden. Det kan däremot ha funnits fri fas PAH-H som t.ex. kreosotrester längre tillbaka i tiden vid anläggningstillfället. Den låga halten av PAH-L i hotspoten visar att föroreningen är starkt nedbruten eftersom PAH-L är den dominerande PAH-fraktionen i färsk kreosot.

8.6 Sammanfattande riskbedömning

Miljö- och hälsoriskbedömningen visar att flera föroreningar kan utgöra miljö-, hälso- och spridningsrisker i flera av delområdena inom kvarteren Farao och Kairo utifrån representativa halter och de platsspecifika riktvärdena. I riskkarakteriseringen framgår att riskerna överskattas utifrån att kvarteren i framtiden kommer att bli ännu mer stadslig och därmed minska tillgängligheten av markföroreningarna och deras spridningsmöjligheter.

Hälsorisker avseende inandning av PAH-M i framtida inomhusmiljö i både bostäder och kontor bör dock reduceras genom att minska medelhalterna inom alla delområdena utom Norra Farao om bostäder byggs. Om kontor byggs bör riskerna reduceras inom Hotspot med kreosotfyllning i sydvästra Farao. Medelhalterna reduceras lämpligast genom att jordvolymen med de högsta halterna PAH-M schakta ur inom ytor som visas i Figur 16 till medelhalten sjunkit till under 3,5 mg/kg TS inom hela delområdet för bostäder och 20 mg/kg TS för kontor. Åtgärden kan genomföras i samband med övriga markarbeten i framtida grundläggning av byggnader.



Figur 16. Områden med behov av att reducera hälsorisker med PAH-M.

9 Masshantering vid grundläggning

Inom kvarteren Farao och Kairo finns föroreningar i både fyllning och torrskorpelera. Eftersom hanteringen av dessa jordarter är olika separeras klassificeringen i olika deponi- eller hanteringsklasser för de olika jordarterna.

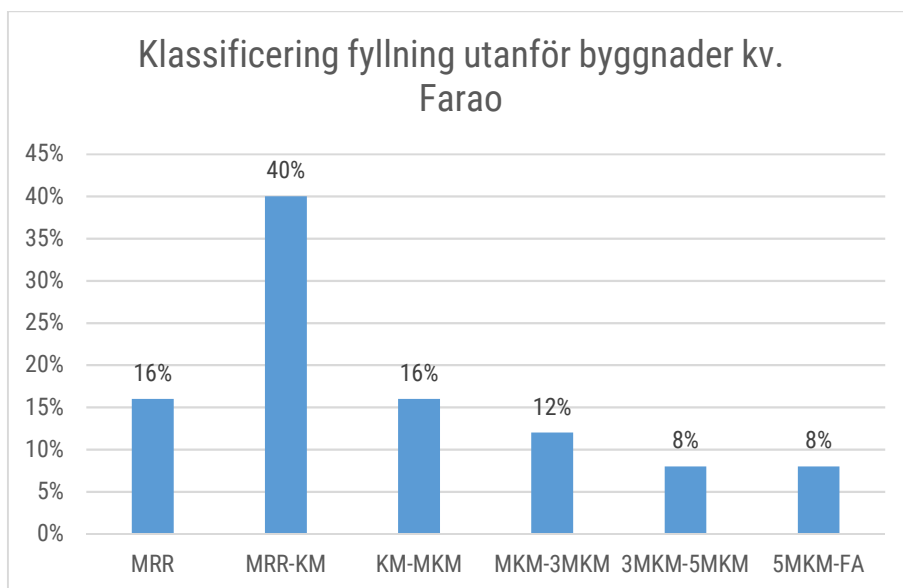
Klassificeringarna baseras på genomförda provtagningar och ska ses som översiktlig och ge en fingervisning om masshanteringsklasser. Genomförd provtagning har gjorts med annat syfte och med metod som inte är lämplig för hantering av stora jordvolymmer för omhändertagande enligt avfallsförordningen. Klassificering efter utökad provtagning eller med annan provtagningsmetodik kan därför ge ett annorlunda resultat.

9.1 Kvarteret Farao

Inom kvarteret Farao kan fyllning och torrskorpelera delas in i jord utanför byggnaderna och under byggnaderna där det finns grov dräneringsfyllning. Torrskorpelera finns inom stora delar av utanför byggnaderna men saknas under byggnaderna där fyllningen i stora delar vilar direkt på berg.

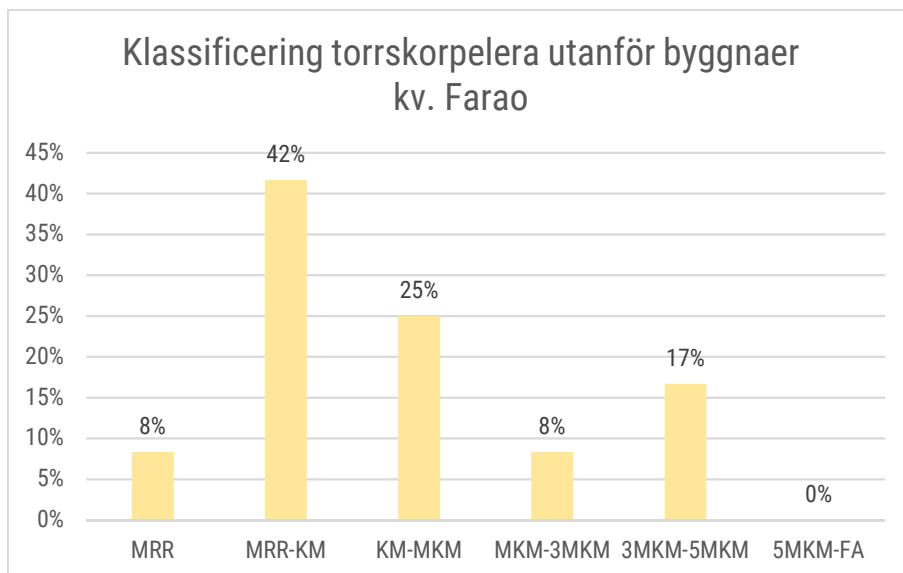
I Figur 17 visas fördelningen av olika omhändertagande- eller deponiklasser för fyllning utanför byggnaderna inom Farao. Förorenade massor dvs. massor över MRR är 84 % medan 16 % underskider MRR och kan alltså återvinnas i andra anläggningsarbeten (utan anmälan till tillsynsmyndighet) under förutsättning att massorna klarar lakkraven för MRR. Den stora bredden på olika klasser

indikerar att det finns en ekonomisk vinst i att sortera upp överskottsmassorna. Omkring 40 % är lågföreorenade mellan MRR och KM.



Figur 17. Fördelning av fyllning i olika klasser i jord utanför byggnader inom Farao.

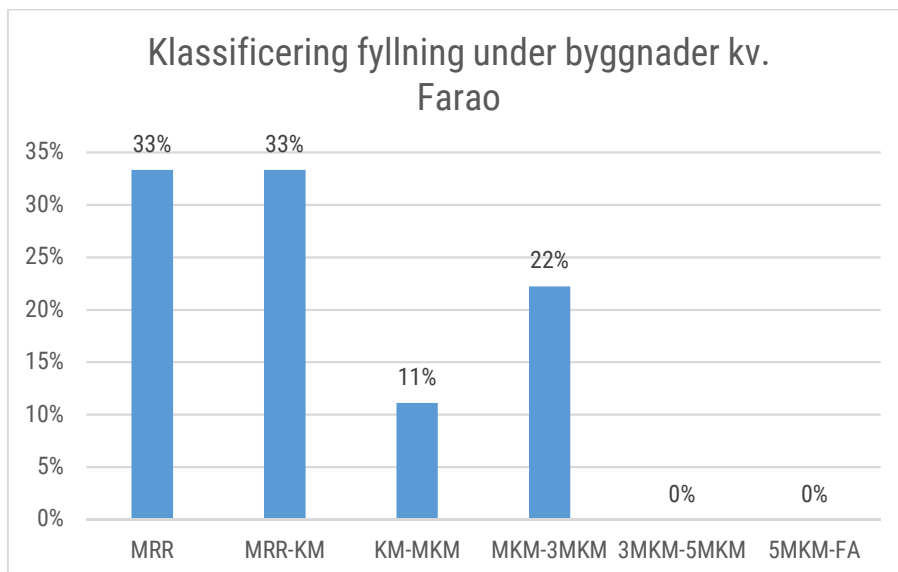
I Figur 18 visas fördelningen av torrskorpelera i olika omhändertagandeklasser i fyllning utanför byggnader i Farao. Endast 8 % underskrider MRR vilket sannolikt beror av att flera metaller har naturligt högre halter i leran. Lera som faller inom MRR-KM skulle därför också kunna återvinnas i andra anläggningsprojekt om lakkraven för MRR uppfylls och om det finns något anläggningsprojekt med underskott av lera (vilket sällan förekommer). Fördelningen i flera möjliga klasser visar att leran också bör sorteras upp i flera omhändertagande- eller deponiklasser för att minimera de små volymerna av kostsamma massor om överskottsmassor av leran uppstår.



Figur 18. Fördelning av lera i olika klasser utanför byggnader inom Farao.

I Figur 19 visas fördelningen av fyllning i olika omhändertagandeklasser för fyllning under byggnaderna inom Farao. Endast 8 % underskrider MRR vilket sannolikt beror av att flera metaller har naturligt högre halter i fyllningen. Fyllning som faller inom MRR-KM skulle därför också kunna återvinnas i andra

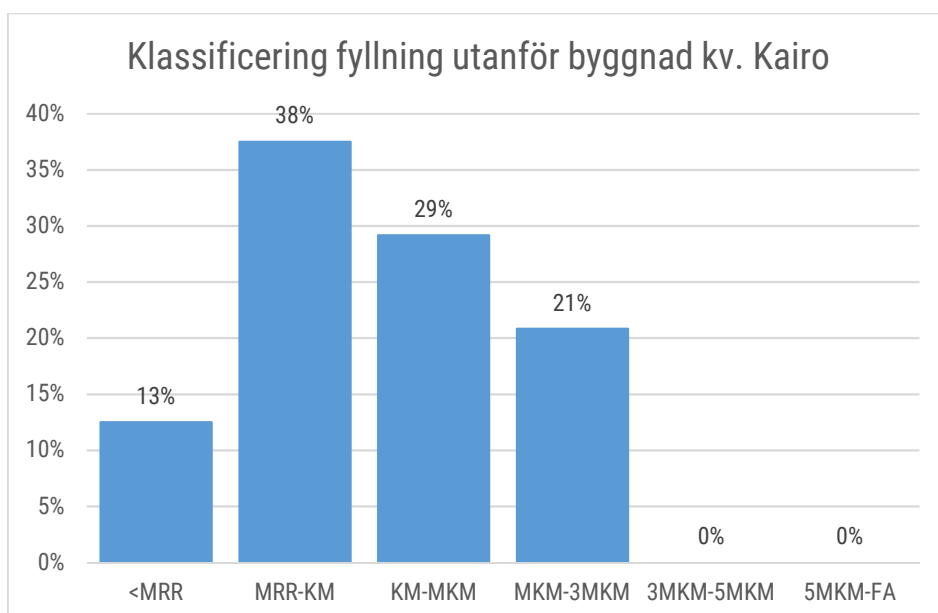
anläggningsprojekt om lakkraven för MRR uppfylls och om det finns något anläggningsprojekt med underskott av fyllning. Fördelningen i flera möjliga klasser visar att överskottsmassor av fyllningen bör sorteras upp i klasser för att minska omhändertagandekostnader.



Figur 19. Fördelning av fyllning i olika klasser i fyllning under byggnader inom Farao.

9.2 Kvarteret Kairo

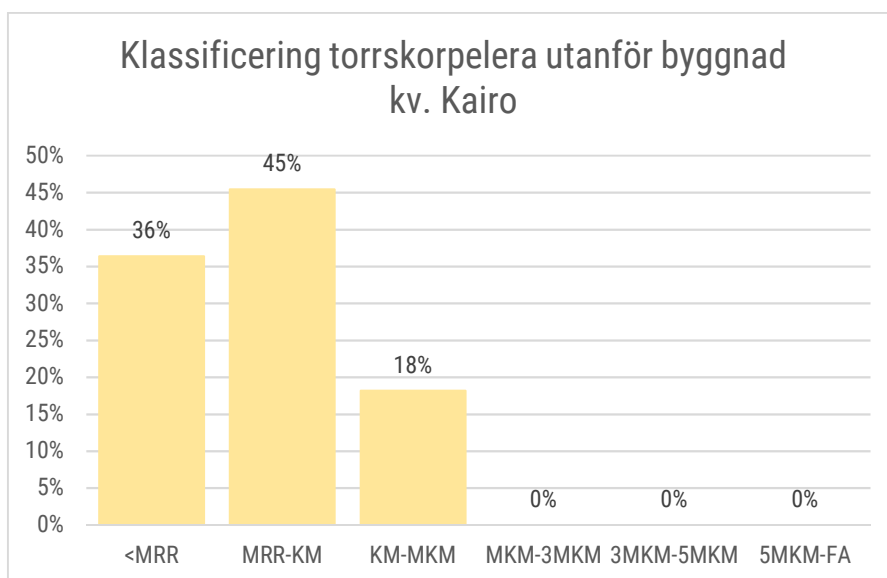
I Figur 20 visas fördelningen av fyllningen inom kvarteret Kairo i olika möjliga hanterings- eller omhändertagandeklasser utanför byggnaden. Omkring 13 % av massorna är inte förorenade, underskrider MRR, och kan återvinnas i andra anläggningsarbeten under förutsättning att de klarar lakkraven för MRR och att det finns ett behov av massorna i annat anläggningsarbete. Omkring 87 % är förorenade massor. Fördelningen i relativt få klasser visar att alla överskottsmassor eventuellt skulle kunna hanteras som en klass. Det kan också finnas ekonomisk vinst att dela upp i olika klasser. Hanteringen beror av omhändertagandeanläggning.



Figur 20. Fördelning av fyllning i olika klasser utanför byggnad inom Kairo.

I Figur 21 visas möjlig klassificering av torrskorpeleran inom kvarteret Kairo. Skattningen är sannolikt något för hög eftersom metaller som koppar, krom och eventuellt bly förekommer i något förhöjd halt där naturliga halter hamnar i klassen MRR-KM. Styrande förorening i torrskorpeleran är dock PAH och främst fraktionen PAH-H. De få förekommande klasserna visar att all överskottslera kan hanteras som en klass.

Provtagning har inte genomförts av dräneringsfyllning under byggnaden inom Kairo varför omhändertagandeklasser inte kan tas fram.



Figur 21. Fördelning av lera i olika klasser utanför byggnad inom Kairo.

10 Slutsatser och rekommendationer

De miljötekniska markundersökningarna inom kvarteren Farao och Kairo har visat följande:

- Fyllning inom Farao och Kairo är allmänt förorenad av metaller som koppar, bly och zink, PAH och olja. Arsenik, barium och krom förekommer också fläckvis eller inom mindre ytor. Det är främst påförd fyllning som orsakat markföroreningarna. Tidigare färgeri kan ha skapat metallföroreningar fyllning och torrskorpelera. Några av föroreningarna har spridits ned till underlagrande torrskorpelera i lägre halter utom för koppar och zink som finns i höga halter i norra Farao.
- Klorerade alifater som tetrakloreten och dess nedbrytningsprodukter sprids in till Farao och Kairo med grundvattnet i både det övre och under grundvattenmagasinen från föroreningar utanför kvarteren. Några föroreningskällor klorerade alifater inom kvarteren Farao och Kairo har inte påträffats. Spill- eller dagvattenledningar i Pyramidvägen och Dalvägen kan utgöra spridningsväg till området från verksamheter som funnits uppströms i avloppsystemet. Spillvattenledning som går 65 m inom nordvästra Kairo har inte läckt några klorerade alifater utifrån analyser i jord, grundvatten och porgas.
- Flera föroreningar kan på lång sikt teoretiskt utgöra en miljö-, hälso- eller spridningsrisk men vi bedömer att det främst gäller långsiktiga hälsorisker för PAH-M. Riskerna kan enkelt reduceras genom begränsad urgrävning av jord inom fyra mindre ytor för bostadsmark eller en mindre yta för kontor. Åtgärden kan utföras i samband med övrig grundläggning av framtida byggnader.
- För överskottsmassor av fyllning som eventuell uppstår inom Farao och Kairo finns ekonomiskt och miljömässiga vinster att sortera upp massor för omhändertagande. Det finns stora volymer som faller inom mindre än ringa risk och kan därför återvinnas i andra anläggningsprojekt. Dyrare massor med högre halter kan sorteras ut och minimeras. För torrskorpelera inom Farao finns samma ekonomiska och miljömässiga vinster att sortera upp massorna medan de inte finns inom Kairo för torrskorpelera.

Baserat på genomförda markundersökningar och miljö- och hälsoriskbedömning rekommenderar vi att de fyra mindre ytorna (för bostäder) eller den mindre ytan (för kontor) åtgärdas i samband med grundläggning av framtida byggnader. Hantering av överskottsmassor bör struktureras upp ur ett hållbarhetsperspektiv där t.ex. lågförorenade massor kan återvinnas i andra anläggningsprojekt.

Stockholm den 24:e juni 2019

Hedenvind Projekt AB



Arnulf Hedenvind

11 Referenser

- Geosigma. (2015). *Översiktlig miljöteknisk markundersökning av Parkmarker i Stockholm.*
- Hedenvind Projekt. (2019). *PM Platsspecifika riktvärden, detaljplanområde Solna station kv. Farao och Kairo.* Farsta: Hedenvind Projekt .
- Hedenvind Projekt AB. (2019). *Detaljplanområde Solna station, Kv Farao och Kairo. Platsspecifika riktvärden.* Farsta: Hedenvind Projekt AB.
- J&W. (2001). *Undersökning av föroreningar i park och naturmark i Stockholm.*
- Länsstyrelsen Stockholm. (den 31 05 2019). *Karttjänster (webbGIS).* Hämtat från <https://ext-geoportal.lansstyrelsen.se/standard/?appid=d1b3761e5e944f129a698acc7e7ed183>
- Naturvårdsverket. (2009a). *Rapport 5976. Riktvärden för förorenad mark. Modellbeskrivning och vägledning.* Stockholm: Naturvårdsverket.
- Naturvårdsverket. (den 15 08 2018). *Riktvärden för förorenad mark.* Hämtat från <http://www.naturvardsverket.se/Stod-i-miljoarbetet/Vagledning/Foroarenade-omraden/Riktvarder-for-foroarenad-mark/>
- SGU. (2007). *K77: Geokemiska kartan. Markgeokemi. Metaller i morän och andra sediment. Östra Mälardalen med Stockholm.* Uppsala: SGU.
- US EPA. (2016). *ProUCL Version 5.1 Technical Guide. Statistical Software for Environmental Applications for Data Sets with and without Nondetect Observations.* Washington, DC 20460.: U.S. Environmental Protection Agency. Office of Research and Development.
- VISS. (den 10 07 2018). *Vatteninformationssystem Sverige.* Hämtat från <http://www.viss.lansstyrelsen.se/>