

---

# RAPPORT

---

KVARNHOLMEN UTVECKLING AB

## **Justering av riskbedömning och åtgärdsutredning för Östra Cisternområdet, Kvarnholmen**

UPPDRAGSNUMMER 1270666000

### **ÖSTRA CISTERNOMRÅDET, KVARNHOLMEN**



*Vy mot söder från Östra Cisternområdet, Kvarnholmen, november 2013.*

2015-03-10

### **MALMÖ FÖRORENADE OMRÅDEN & KEMIKAlier**

**NIKLAS TÖRNEMAN**

**MATILDA JOHANSSON**

**JOACHIM ONKENHOUT**

**JANNA SVENSSON**

---

2 (27)

RAPPORT  
2015-03-10

**JUSTERING** AV RISKBEDÖMNING OCH ÅTGÄRDSUTREDNING FÖR  
ÖSTRA CISTERNOMRÅDET, KVARNHOLMEN



## Innehållsförteckning

<b>1</b>	<b>Bakgrund</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Skillnader i förekommande text gentemot rapport daterad 2014-12-16</b>	<b>1</b>
<b>3</b>	<b>Behov av åtgärder</b>	<b>1</b>
<b>4</b>	<b>Utbredning av föroreningar och åtgärdsområden</b>	<b>2</b>
<b>5</b>	<b>Byggnader närmast utanför randzonen</b>	<b>2</b>
<b>6</b>	<b>Riskberäkningar</b>	<b>3</b>
6.1	Inledning	3
6.2	Hus som berörs av riktvärden	3
6.3	Definitioner	4
6.4	Modellval	4
6.5	Föroreningstransport i sprickigt berg	4
6.5.1	Porositet givet heterogena förhållanden	4
6.5.2	Vattenmättnad efter byggnation (p.g.a. torrare förhållanden)	6
6.5.3	Justering av riktvärden p.g.a. ändrad porositet och vattenmättnad	6
6.5.4	Heterogenitet och transport i sprickor	8
6.5.5	Fri-fas begränsning	10
6.5.6	Sammantagen förändring av riktvärden	11
<b>7</b>	<b>Riskscenario efter sanering</b>	<b>14</b>
<b>8</b>	<b>Riktvärden med beaktande av garage</b>	<b>15</b>
<b>9</b>	<b>Försiktiga och ej försiktiga antaganden</b>	<b>15</b>
<b>10</b>	<b>Mätbara åtgärds mål</b>	<b>17</b>
<b>11</b>	<b>Kontrollprogram</b>	<b>17</b>
<b>12</b>	<b>Tekniska skyddsåtgärder</b>	<b>19</b>
<b>13</b>	<b>Väg</b>	<b>19</b>
<b>14</b>	<b>Borrhålstätning</b>	<b>20</b>
<b>15</b>	<b>Sammantagen riskreduktion</b>	<b>20</b>
<b>16</b>	<b>Referenser</b>	<b>21</b>

## **Bilagor**

Bilaga 1 Situationsplan med markering av källzon, randzon och plymzon

Bilaga 2 PM Tekniska skyddsåtgärder, Geosyntec

Bilaga 3 Sektioner med tekniska skyddsåtgärder, Geosyntec



## 1 Bakgrund

16 december 2014 mottog Nacka Kommun, Miljöenheten, en rapport som redovisade miljötekniska undersökningar, en fördjupad riskbedömning samt en åtgärdsutredning för Östra Cisternområdet på Kvarnholmen. Under januari och februari 2015 har en kontinuerlig diskussion förts mellan KUAB, Sweco och Miljöenheten kring det inlämnade materialet.

Föreliggande PM beskriver de förändringar i dessa utredningar som kommunen, KUAB och Sweco ansett vara nödvändiga för att färdigställa materialet så att resultaten kan användas som ett underlag för att godkänna detaljplanen. Föreliggande text baseras på PM som inkommit från kommunens projektstöd (Geosigma) 2015-01-21 och 2015-02-11, Swecos svar i PM daterat 2015-01-27 samt det projektmöte som hölls på Nacka kommun den 2015-02-13. 2015-02-16 inlämnade KUAB och Sweco en punktlista med föreslagna förändringar som i stort godkändes av kommunen (Svar daterat 2015-02-19) med vissa modifieringar. Det är den sistnämnda punktlistan och kommunens svar på denna som utgör de huvudsakliga rubrikerna i föreliggande text. Dock har rubrikerna kastats om för att underlätta förklaringar.

## 2 Skillnader i förekommande text gentemot rapport daterad 2014-12-16

Det kan förekomma skillnader i information, riktvärden och tekniska beskrivningar mellan förekommande text och rapporten, "*Miljöteknisk undersökning samt fördjupad riskbedömning och bedömning av åtgärdsbehov*", daterad 2014-12-16 (Sweco 2014). Vid sådana skillnader gäller alltid förekommande text över den tidigare daterade rapporten.

Dessa skillnader kommer att arbetas in i en reviderad version av den tidigare rapporten, så att den i slutändan fullständigt överensstämmer med förekommande text.

Även de kommentarer som har inkommit från Miljöenheten i Nacka Kommun och Geosigma 2015-01-15 och 2015-02-11 kommer att användas vid uppdatering av den tidigare rapporten.

## 3 Behov av åtgärder

De miljötekniska undersökningarna har visat på höga koncentrationer av flyktiga ämnen (klorerade alifater) både ovanför grundvattenytan och längre ner under grundvattnets yta. Givet de höga koncentrationerna och kvarstående osäkerheter vad gäller föroreningar, deras förekomst och bergets egenskaper kan risker med dessa föroreningar inte uteslutas. Därför förordar KUAB tydligt att en sanering av källzonen genomförs för att minska mängd och koncentrationer av dessa ämnen till sådana nivåer att inga risker för människor eller miljö kan förekomma.

## 4 Utbredning av föroreningar och åtgärdsområden

Situationskartan i Bilaga 1 redovisar utbredning för källzon, randzon och plymzon. Hur källzonen har identifierats och avgränsats har beskrivits i bilaga 21 till huvudrapporten (daterad 2014-12-16).

Källzonen utgör den area och volym där saneringsåtgärder kommer att genomföras tillsammans med tekniska skyddsåtgärder för ovanliggande hus. I källzonen kommer dels den omättade delen av berget att saneras vilket definieras som all volym ovanför grundvattenytan till bergytan. Vidare kommer grundvattenzonen, den mättade zonen, att åtgärdas ner till sprickzonen under cisternområdet som ligger ca 25 meter under markytan (ca 10 m under grundvattenytan). Observera att det maximala djupet för åtgärder fastställs vid detaljprojektering av saneringsåtgärder.

Randzonen, som ligger utanför källzonen, definieras som den del av plymen där påträffade halter gör att tekniska skyddsåtgärder implementeras för ovanliggande byggnader. Påträffade halter ligger i intervallet 20 till 150 µm/l.

Inom källzonen planeras byggnaderna N5 och N6 samt låghus mellan N5 och N6. Inom randzonen eller mycket nära denna planeras byggnaderna M5 och M6 inklusive låghus mellan M5 och M6 och låghus mellan N6 och M6 samt byggnaderna L4, L5 och L7.

Utanför randzonen finns en plym som inte är avgränsad men där halterna bedöms vara låga. Inga åtgärder krävs i denna plym.

## 5 Byggnader närmast utanför randzonen

Närmast väster om plymzonen och randzonen återfinns byggnaderna N4, M4 och L6, se bilaga 1. Halter i grundvatten närmast dessa hus redovisas i Tabell 1 nedan.

Hus N4 har två garagevåningar under sig med nedfartsramper och återfinns intill en punkt (punkt 125) med mätningar i grundvatten och ca 20 meter väster om randzonen. Halter i denna punkt är långt under de riktvärden och åtgärdsgränser som tagits fram för grundvatten. Avståndet till källzonen innebär att horisontell ångtransport i den omättade zonen från källzon till hus N4 är osannolik. Vidare återfinns en svacka mellan hus N4 och källzonen vilket innebär att risken för transport av förorening i ångfas i omättad zon är obefintlig. Sammantaget finns således inget behov av tekniska skyddsåtgärder för hus N4.

Hus M4 har en garagevåning under delar av byggnaden. Närmsta punkter med mätningar i grundvatten återfinns ca 15-35 m nordost och öster om närmsta punkt 109 och 110 och ca 50 meter väster om randzonen. Halter i denna punkt är under de riktvärden och åtgärdsgränser som tagits fram för grundvatten. Den omättade zonen under huset är ytterst begränsad (1-2 m) samtidigt som huset inte gränsar till källzonen. Det finns alltså inte någon risk för horisontell transport av förorening i ångfas till detta hus i den omättade zonen. Sammantaget finns således inget behov av tekniska skyddsåtgärder för hus M4.

Hus L6 återfinns ca 40 m sydväst om närmsta punkter med mätningar i grundvatten (punkt 109 och 110) och ca 50 meter väster om randzonen. Halter i dessa punkter är långt under de riktvärden och åtgärdsgränser som tagits fram för grundvatten. Den omättade zonen under huset är ytterst begränsad (1-2 m) samtidigt som huset inte gränsar till källzonen. Det finns alltså inte någon risk för lateral ångtransport till detta hus i den

2 (21)

RAPPORT  
2015-03-10

JUSTERING AV RISKBEDÖMNING OCH  
ÅTGÄRDSUTREDNING FÖR ÖSTRA CISTERNOMRÅDET,  
KVARNHOLMEN



omättade zonen. Sammantaget finns således inget behov av tekniska skyddsåtgärder för hus L6.

Utöver att ovanstående byggnader i nuläget återfinns utanför randzonen kommer risken att dessa byggnader kommer påverkas av föroreningar kraftigt minska då källzonen åtgärdas.

Tabell 1. Uppmätta halter i närheten av byggnaderna N4, M4 och L6 (mg/l).

Byggnad	Ungefärligt avstånd till närmaste grundvattenrör (m)		Halter i punkt närmast hus (mg/l)			
			PCE	TCE	Cis-DCE	VC
N4	Intill punkt 125	125, 47 m	0,10	0,038	0,060	0,0023
M4	15-35 m från 109 och 110	109, 8 m	0,022	0,015	0,32	0,043
		109, 34 m	0,95	0,19	0,45	0,095
		110, 10 m	0,025	0,0082	0,054	0,0062
		110, 50 m	1,5	0,31	0,76	0,13
L6	Ca 50 m från 109 och 110	109, 8 m	0,022	0,015	0,32	0,043
		109, 34 m	0,95	0,19	0,45	0,095
		110, 10 m	0,025	0,0082	0,054	0,0062
		110, 50 m	1,5	0,31	0,76	0,13

## 6 Riskberäkningar

### 6.1 Inledning

Geosigma inkom med en PM (2015-02-11) där ett antal relevanta frågeställningar togs upp. Dessa redovisas nedan tillsammans med förslag till justering av riktvärden samt en bättre motivering till föreslagna riktvärden.

### 6.2 Hus som berörs av riktvärden

Nedan beräknas riktvärden för "källzonen" och "kajen". I källzonen återfinns de hus som ska byggas upp på berget, d.v.s. hus N5 och N6 samt låghus mellan dessa. På kajen återfinns hus M5 och M6 inklusive låghus mellan M5 och M6 och låghus mellan N6 och M6, samt husen L4, L5 och L7.

För hus på kajen har det vid beräkning av riktvärden för grundvatten antagits att det är 1,5 m från bottenplatta till grundvatten vilket baseras på husen längst ut mot vattnet, L4, L5 och L7. Bottenplattan för hus M5 och M6 inklusive låghus däremellan återfinns 2-3 m högre vilket innebär en något lägre risk. Därför kan samma riktvärden för grundvatten, baserat på ett avstånd mellan grundvatten och bottenplatta på 1,5 m, användas för alla hus på kajen.

### 6.3 Definitioner

Riktvärden för porluft/sprickluft under hus anges för ett visst antal meter under markytan (m u m y). Med detta menas *m under bergyta under byggnad*.

Med riktvärden för porluft direkt under hus menas porluft *under bottenplattan*.

### 6.4 Modellval

Beräkning av platsspecifika riktvärden för Kvarnholmen har gjorts med en excelmodell baserad på Johnson och Ettingers matematiska beskrivning av ångtransport i porösa media. Johnson och Ettingers modell baseras på empiriska data och är inte framtagen för beräkning/beskrivning av ångtransport i sprickiga media. Liknande modellverktyg för sprickiga media saknas. Därför används modellen även för sprickiga media med antaganden som anpassar modellen för den platsspecifika situationen.

### 6.5 Föroreningstransport i sprickigt berg

Den stora skillnaden mellan transport i porösa media (jord) och i sprickiga media (berg) är att transporten i porösa media sker genom hela matrisen i de sammanhängande porerna medan transporten i sprickiga media sker i diskreta sprickor och inte i själva matrisen. Porerna i porösa media är förhållandevis jämt fördelade och matrisen är därmed homogen. Sprickorna är däremot diskreta och mer eller mindre sammanhängande och ger upphov till en inhomogen struktur. Detta ger upphov till ett antal viktiga frågeställningar vad gäller föroreningstransport till hus och risker vilka diskuteras nedan.

#### 6.5.1 Porositet givet heterogena förhållanden

Vid de inledande modellberäkningarna för riktvärden har en homogen porositet på 0,2 % använts för berget. Frågor har väckts om den använda porositeten är för låg och om avsaknad av sprickzoner (icke homogena förhållanden) medför en svaghet i beräkningarna.

Den valda porositeten beräknades som sprickporositet från borrhålsundersökningar (borrhåls-TV och kärnkartering). Genom att använd väl tilltagna konservativa antaganden samt att använda bulkporositet (karterade och antagna spricköppningar) bedömdes detta vara en rimligt konservativ bestämning av denna parameter.

Vid granskningen efterfrågades bland annat en bestämning av bergets effektiva porositet. Effektiv porositet (eller flödesporositet) är en mindre del av den totalt sprickporositeten (enligt Singhal m fl (2010) kan den vara så låg som 0,005 %).

Med ledning av granskningskommentarer har nya beräkningar av bergets porositet genomförts. Vid beräkningar har följande varit utgångspunkten:

- Bergets effektiva porositet beräknas på en skala anpassad för en huskropp (husarea 10x30 m)
- Beräkningar bygger på in-situmätningar
- Hänsyn ska tas till större inhomogeniteter i berget (sprickzoner)

Beräkning av bergets effektiva porositet görs genom att utvärdera de genomförda hydrauliska testerna. Den hydrauliska transmissiviteten,  $T_f$ , som beräknats från testerna har en koppling till bergets effektiva porositet genom den sk kubiska lagen:

$$T_f = \frac{\rho g b^3}{\mu_{12}} \quad (\text{Gustafson, 2009})$$

Där  $b$  är den hydrauliska sprickvidden som motsvarar effektiv porositet. Parametrar  $\rho$ ,  $\mu$  och  $g$  definierar vätskans egenskaper och är densitet, viskositet samt tyngdaccelerationen.

Hydraulisk sprickvid beräknas för varje borrhålssektion där hydrauliska tester genomförts. Tester genomfördes som injektionstester med enkelmanschett under kort tid. Enkelmanschettmätning innebär att testsektioner överlappar varandra och underliggande berg mäts upprepat vid varje nytt test. Varje sektionens transmissivitet har därmed erhållits genom att subtrahera de överliggande testerna. Detta medför vissa felkällor, som att de riktigt små sprickorna inte aktiveras, det kan medföra negativa värden vid den sektionssvisa beräkning. I dessa fall (två av arton sektioner) antas en mycket låg transmissivitet på  $1 \times 10^{-9} \text{ m/s}^2$ . Korttidsmätningar mäter genomsläppligheten i borrhålets omedelbara närhet och medför vanligen en överskattning av mätvärden. Dessa felkällor medför en överskattning av bergets genomsläpplighet och bidrar därmed till en konservativ beräkning av porositeten.

Eftersom genomsläppligheten är proportionell mot kuben av sprickvidden får sprickvidden en mycket stor inverkan. Den sektionssvisa transmissiviteten behöver fördelas på att antal sprickor, om det inte görs antas därmed att allt flöde går i en sprick och en orimligt hög porositet beräknas. En sprickfrekvens på en spricka per meter antas vid dessa beräkningar.

Bergets genomsläpplighet, här definierat som, Transmissiviteten  $T$ , varierar stort i berg och därmed antas att även den effektiva porositeten varierar. En beskrivning med statistiska mått varierar beroende på skala där värdet ska användas. I större skalor, för större berganläggningar eller bergområden beskrivs genomsläppligheten bäst med det geometriska medelvärde och det aritmetiska medelvärde är mer giltig för mindre skalor (Gustafson, 2009). Genom att använda en aritmetisk medelvärdesberäkning av effektiv porositet tas hänsyn till den något mindre skala som en byggarea för ett hus medför, jämfört med hela östra cisternområdet

Porositet för husskalan består av dels en bakgrundsporositet, beräknat medelvärde från hydrauliska tester, samt att en 1-3 meter bred sprickzon antas passera under ett hus.

Resultat från beräkning av effektiv porositet:

Bergets effektiva porositet,  $n_b$ , beräknat som det aritmetiska medelvärde (skala är av storleksordningen 1-10 m) = 0,17 %.

Effektiv porositet sprickzon,  $n_s$ , högsta flödande sektion används = 1 %.

Sprickzon antas vara 1-3 meter bred, och vertikalt stående (zonens "ytarea" antas utgöra ca 10 % av en husgrund).

Bergets porositet i husskala blir då 0,25 %. I modellberäkningar avrundas det beräknade värdet uppåt och en porositet på 0,3 % används istället för den tidigare valda porositeten på 0,2 %.

Påförda säkerhetsmarginaler:

- All mätdata tyder på att den omättade zonen har lägre porositet än den mättade zonen och den effektiva porositeten beräknas med data från mättad zon.
- Att räkna med sprickzon ger ytterligare säkerhetsmarginaler då "bakgrunds"-porositeten,  $n_b$ , motsvarar bergets porositet i husskala samt att det inte finns någon karterad sprickzon av denna dignitet i den omättade zonen.
- Det beräknade värdet i husskala avrundas uppåt.

#### 6.5.2 Vattenmättnad efter byggnation (p.g.a. torrare förhållanden)

Geosigma har uttryckt att det finns ett behov att utvärdera om riktvärdesberäkningen tar hänsyn till de torrare förhållanden som kan uppstå i den omättade zonen under byggnader pga minskad infiltration.

Genom att den mesta grundvattenbildningen (nederbörd som penetrerar marken och inte avdunstar eller evaporera från ytan) rinner av på bergytan så är känsligheten för att ta bort en del genom hårdgörning/byggnation förhållandevis liten. Med nuvarande förhållanden finns ett stort vattenöverskott som inte tillgodogörs grundvattenbildningen till berget. Det är till största delen detta överskott som kommer att minska vid den planerade utbyggnaden.

Vidare är berget tätt med till största delen tunna sprickor och har därmed en hög fukthållande förmåga i omättad zon vilket innebär begränsad avdunstning av vatten i sprickor. Dessutom har man fuktillförsel underifrån från ett "oändligt" grundvattenmagasin samt vertikal vattenspridning in i sprickor under källzonen vilket förstärks av att det finns högpunkter bredvid byggnaderna.

Givet ovanstående är ett mycket försiktigt antagande en vattenmättnad på 20% som ett genomsnitt för hela bergsvolymen och hela året. Detta är troligen en underskattning av vattenmättnaden. Vid modellberäkningarna används dessutom ett antagande om fullständigt torra förhållanden för den förenklade modellen som sedan är styrande för valda riktvärden.

Hur förändringar i antagande om vattenmättnad påverkar beräkning av riktvärden redovisas i avsnitt nedan.

Givet att den använda vattenmättnaden är konservativt vald finns inget direkt behov att infiltrera vatten från hårdjorda ytor i berget för att uppnå en minskad föroreningstransport. Däremot är det positivt om sådan infiltration genomförs.

#### 6.5.3 Justering av riktvärden p.g.a. ändrad porositet och vattenmättnad

Precis som i de tidigare riktvärdesberäkningarna har två olika modeller använts, en modell anpassad för porösa media och en förenklad modell för beskrivning av transport i sprickor. Den förenklade modellen baseras på diffusion i fri luft. Resultaten när de nya

6 (21)

RAPPORT  
2015-03-10

JUSTERING AV RISKBEDÖMNING OCH  
ÅTGÄRDSUTREDNING FÖR ÖSTRA CISTERNOMRÅDET,  
KVARNHOLMEN

värdena på porositet används i de båda modellerna redovisas tillsammans med rekommenderade riktvärden i Tabell 2 för grundvatten och i Tabell 3 för luft i sprickor.

Vid beräkning med modellen för porösa media har andelen vattenfyllda porer satts till 20 % (se avsnitt 6.5.2 ovan) av den totala effektiva porositeten d.v.s. 0,06 %. Djupet till grundvattenytan har satts till 15 m.

Den förenklade modellen baseras på diffusion i fri luft och förutsätter alltså att sprickorna är helt torra. Diffusionsavståndet har satts till 30 m vid beräkning av riktvärden för grundvatten, vilket motsvarar att den verkliga transportsträckan i bergets spricksystem är dubbelt så lång som avståndet från grundvattenytan. På samma sätt har diffusionssträckan satts till 10 m vid beräkning av riktvärden för porluft 5 m under markytan (källzonen) samt 3,5 m vid beräkning av riktvärden för porluft 1,8 m under markytan (hus M5 och M6).

De rekommenderade riktvärdena nedan har baserats på den förenklade sprickmodellen. I den förenklade modellen förutsätts att jämvikt råder mellan grundvatten och porluft, samt att övergången mellan vatten och gas sker momentant. De grundvattenriktvärden som beräknats med den förenklade modellen har därför höjts med en faktor 10 för att modellen överskattar<sup>1</sup> övergången mellan vatten och luft. För vinylklorid har ytterligare en faktor 2 använts för att till del beakta nedbrytning under transporten. Riktvärdena för porluft har endast avrundats.

Särskilda riktvärden för grundvatten har beräknats för byggnaderna på kajen eftersom grundvattenytan där är närmare markytan. Avståndet till grundvattnet har satts till 1,5 m, alltså en faktor 10 lägre än för byggnaderna uppe på berget. Detta innebär att grundvattenriktvärdena för kajen är en faktor 10 lägre. Riktvärdena redovisas i Tabell 8.

Tabell 2. Tidigare och nya beräknade riktvärden för grundvatten. Halter i mg/l.

	Tidigare beräknade riktvärden (Sweco 2014)			Nya beräknade riktvärden		
	Porösa media*	Förenklad modell	Rekommenderat riktvärde	Porösa media	Förenklad modell	Rekommenderat riktvärde
PCE	25 600	320	3 000	15 000	210	2 000
TCE	5 700	89	900	3 500	56	600
DCE	7 500	200	2 000	4 900	130	1 000
VC	490	1,6	30	175	1,0	20

\*Andelen vattenfyllda porer var 80 % vid den tidigare beräkningen av riktvärden.

\*\*Det slutliga riktvärdet justerades med avseende på ämnets löslighet.

<sup>1</sup> Modellen förutsätter jämvikt mellan halter i grundvatten och halter i porluft, vilket sällan uppnås. Geosyntec bedömer att modellen överskattar de verkliga halterna i luft vid grundvattenytan med minst en faktor 10.

Tabell 3. Tidigare och nya beräknade riktvärden för luft i sprickor 5 respektive 1,8 m under bergytan under byggnaden. Halter i mg/m<sup>3</sup>.

	Tidigare beräknade riktvärden (Sweco 2014)			Nya beräknade riktvärden Luft i sprickor 5 m under bergytan		
	Porösa media	Förenklad modell*	Rekommenderat riktvärde	Porösa media	Förenklad modell	Rekommenderat riktvärde
PCE	192 000	34 000	30 000	110 000	23 000	20 000
TCE	40 300	5 600	6 000	24 000	3 700	4 000
DCE	56 400	5 800	6 000	33 000	3 900	4 000
VC	3 400	400	400	2 000	270	500

\*De riktvärden som presenterades i rapporten daterad 2014-12-16 hade felaktigt beräknats med en diffusionssträcka på 5 m. För de nya beräknade riktvärdena är diffusionssträckan satt till 10 m vid beräkning av riktvärden för porluft 5 m under markytan under byggnaden.

#### 6.5.4 Heterogenitet och transport i sprickor

Som tidigare nämnts kan sprickzoner påverka porositeten lokalt. I avsnitt 3.2.1 ovan gjordes därför en justering av den totala porositeten som beaktar hur lokala avvikelser kan påverka den totala genomsnittliga porositeten under en byggnad på Kvarnholmen.

En viktig fråga är om heterogeniteten i sprickförekomsten i sig kan påverka föroreningstransporten och därmed riktvärden på ett sätt som inte beaktats i riskbedömningen vilket innebär att risker skulle kunna underskattas. Främst är det risken att större strukturer skulle kunna orsaka en ökad masstransport in i huset som måste beaktas vilket diskuteras i Geosigmas PM daterat 2015-02-11.

Av följande orsaker bedöms det inte att använda modeller underskattar risker nämnvärt för boende i huset p.g.a. av bergsmatrisens heterogenitet:

##### 1. Transport styrs av avgång från grundvatten

Föroreningstransporten från grundvatten till hus vid jämvikt begränsas av fasövergången från grundvatten till luft. Övergången från grundvatten till gasfas, dvs luft i sprickor, är långsam eftersom den begränsas av diffusionen i grundvattnet. Som exempel kan nämnas att diffusiviteten för PCE är 5 000 gånger större i luft än i vatten. På Kvarnholmen återfinns huvudparten av föroreningen i sprickzonen flera meter under grundvattenytan. Mängden förorening som når en husgrund kan inte vara större än den mängd som tillförs sprickan från grundvattnet.

## 2. Effekt av förändringar i lufttryck är begränsad

Transport av gas i sprickigt berg genom förändringar i lufttrycket har studerats och beräknats i bland annat Nilson m fl (1991) och Mourzenko m fl (2014) och en diskussion om denna mekanisms inverkan på gastransport har efterfrågats vid modellberäkningar av riktvärden.

Cykliska förändringar av lufttrycket ovan berget medför expansion och kompression av luft i bergets omättade zon (porluft) som medför en advektiv transport av luften och de föroreningar som luften innehåller.

Lufttrycksdriven transport har störst effekt, och kan då vara den dominerande, vid stora djup för den omättade zonen (Nilson m fl, 1991). Vid omättade zoner på 50 m eller mindre är denna mekanism inte längre den dominerande.

En effektiv advektiv gastransport förutsätter att spricksystemen har en hög andel kopplade sprickor eller sprickor med lång uthållighet (Mourzenko m fl, 2014 ). Samtidigt fås den största effekten vid låga porositetvärden, vid ökad porositet och högre sprickfrekvens dominerar diffusionsprocessen gastransporten.

Med en omättad zon på mellan 1 - 20 m i det östra cisternområdet bedöms inte lufttrycksdrivna transporter utgöra den dominerande mekanismen.

Bergets effektiva porositet på Kvarnholmen har visats var låg vilket i sig indikerar låg koppling mellan sprickor som vanligen inte är så uthålliga. I ett värsta fall där större sammanhållna spricksystem skulle förekomma från djupet till markytan avtar betydelsen av den advektiva transporten på grund av den kraftigt ökande porositeten i denna typ av berg.

Vidare är detta generellt en kortvarig effekt som tycks förekomma under 1 timme (Moore 2011 och Weeks 2001) samtidigt som en period med ökat luftflöde från berg till hus följs av en period med minskat luftflöde så att nettoeffekten över tid alltid är noll.

För att ytterligare undersöka hur förändringar i lufttryck påverkar risker har överslagsberäkningar genomförts där effekten av ett atmosfäriskt tryckfall på 3 % (vilket får anses vara ett stort tryckfall) på mängd inträngande luft har undersökts. Den ökade mängden inträngande luft p.g.a. tryckfallet utgjorde ca 1 % av den totala mängden luft som tränger in i huset från marken vilket visar att detta högst sannolikt är en försumbar process.

## 3. Utjämning av koncentrationer under byggnad

Eventuellt högre koncentrationer som når byggnadernas bottenplatta blandas ut med uppträngande luft med lägre koncentrationer från angränsande områden under byggnaden. Det betyder att föroreningshalterna i den luft som eventuellt tränger in i byggnaden genom bottenplattan har utjämnats oavsett var den tränger igenom bottenplattan.



#### 4. Utjämning av koncentration i byggnad

Viktigast är troligen att eventuella skillnader i halter av i inträngande luft jämnas ut p.g.a. av luftomsättningen inne i byggnaden. Luftflödet i byggnaden har beräknats till 370 m<sup>3</sup>/h, baserat på krav i byggnormen och utgör därmed det lägsta tillåtna luftflödet i byggnaden. Inflödet av luft från marken har skattats till 6,6 m<sup>3</sup>/h och är alltså litet i förhållande till det totala luftflödet i byggnaden.

Sammantaget bedöms det som osannolikt att lufttrycksdrivna flöden eller andra effekter orsakade av heterogen porositet innebära något behov av justering av riktvärdena. Som en försiktighetsåtgärd används ändå en säkerhetsfaktor på 2 för att ta höjd för tillfälliga ökade flöden på grund av heterogenitet. De justerade riktvärdena framgår av Tabell 8 (under rubriken *Heterogenitet*).

#### 6.5.5 Fri-fas begränsning

Vid förekomst av flera ämnen i en förorening (s.k. blandförorening) i grundvatten kan de enskilda ämnenas löslighet påverkas. Lösligheten varierar då beroende på andelen av de enskilda ämnena – lägre andel ger lägre löslighet. Beräkningar av lösligheten, som även är ett mått på vid vilken koncentration av de enskilda ämnena risk för fri fas kan föreligga, har utförts.

Av Tabell 4 nedan framgår resultaten från beräkningar i borrhål som ingår i behandlingsområdet. Vattenprov har valts ut där PCE eller VC ligger inom 25:e percentilen då lägre andel av ämnet i blandföroreningen ger den största potentiella påverkan på lösligheten och därmed eventuellt på riktvärdena. PCE (lägst löslighet) och VC (störst risk/lägst riktvärde) har valts då de är de för riskbedömningen är de mest dominerande ämnena. Den bedömda effektiva lösligheten som ska användas för justering av riktvärden för Kvarnholmen framgår också av Tabell 4.

Sammantaget visar det sig att skydd mot fri fas blir begränsande för riktvärden för grundvatten för samtliga ämnen. Riktvärdena justeras därför så att koncentrationer som innebär risk för förekomst av fri fas inte kan tillåtas vilket redovisas i tabell 4 nedan.

Tabell 4. Andel, koncentration samt beräknad löslighet i blandförorening i exempel från det område som kommer att åtgärdas (källzonen).

Provpunkt Borrmeter	Ämne	PCE	TCE	Cis-DCE	Trans-DCE	VC
	Löslighet (mg/l)	150	1100	3500	6300	1100
101	Andel	0,37	0,12	0,47	0,00	0,04
58 m	Halt i prov (mg/l)	28	7,4	21	0,017	1,3
	Löslighet i blandförorening (mg/l)	55	130	1600	2,4	49



Provpunkt Borrmeter	Ämne	PCE	TCE	Cis-DCE	Trans-DCE	VC
115	Andel	0,70	0,07	0,22	0	0,01
23 m	Halt i prov (mg/l)	2,0	0,26	2,5	0,0031	0,023
	Löslighet i blandförorening (mg/l)	45	54	2200	5,0	10
117	Andel	0,21	0,07	0,60	0,00	0,12
46 m	Halt i prov (mg/l)	2,9	0,37	5,6	0,0048	0,089
	Löslighet i blandförorening (mg/l)	33	39	2500	3,9	20
118	Andel	0,51	0,11	0,36	0,00	0,01
39 m	Halt i prov (mg/l)	28	1,6	5,4	0,015	0,40
	Löslighet i blandförorening (mg/l)	100	55	800	4	29
	<b>Justerad effektiv löslighet (mg/l)</b>	<b>50</b>	<b>50</b>	<b>2000</b>		<b>20</b>

Utifrån de justerade effektiva lösligheterna för de klorerade lösningsmedlen har motsvarande justering av riktvärdena för porgas gjorts. Beräkningen har gjorts för jämviktsförhållanden. Justeringen har tagit hänsyn till utspädningen vid transporten (enligt den förenklade modellen) från grundvatten. I Tabell 5 redovisas de beräknade halter som inte innebär risk för förekomst av förorening i fri fas vid grundvattenytan, 5 m under bergytan under byggnad samt direkt under byggnad.

Tabell 5. Maximala halter i gasfas som inte innebär risk för fri fas i grundvatten. Halter i mg/m<sup>3</sup>.

Typ av riktvärde	PCE	TCE	cis-DCE	VC
Vid grundvattenytan	20 000	10 000	200 000	10 000
5 m under bergyta under byggnad	300	300	6 000	600
Direkt under byggnad	200	200	4 000	400

#### 6.5.6 Sammantagen förändring av riktvärden

Av Tabell 6 framgår tidigare framtagna riktvärden samt reviderade riktvärden framtagna med hänsyn tagen till ovan beskrivna parametrar. För reviderade riktvärden anges i olika steg de justeringar som gjorts. Sammantaget har förändringar jämfört med de tidigare beräkningarna (rapport daterad 2014-12-16) gjorts avseende porositet, vattenmättnad och anpassning till förorening i fri fas. Anpassningarna beskrivs mer utförligt i de föregående avsnitten. Resultaten från beräkningarna med de två modeller som använts redovisas i kapitel 6.5.3.

En anpassning av porositeten har gjorts som tar hänsyn till att byggnader delvis kan komma att ligga på en zon med mer uppsprucket berg, även om inga sådana zoner har påvisats i de aktuella områdena. Ytterligare justering med hänsyn till heterogena förhållanden har gjorts vilket redovisas i tabellen nedan. Eftersom riktvärdena baseras på en modell som förutsätter torra sprickor har ingen ytterligare justering med avseende på torrare förhållanden gjorts.

Av Tabell 6 framgår att riktvärdena för tri- och tetrakloreten i grundvatten och i porluft 1.8 m samt 5 m under bergyta samt under byggnaden har justerats med avseende på löslighet.

För att ta höjd för de osäkerheter som är sammankopplad med föroreningstransport i den komplicerade bergsmatrisen tillämpas en säkerhetsfaktor **tio** på justerade riktvärden för att ge slutgiltigt förslag på nya riktvärden.

Tabell 6. Jämförelse av riktvärden med hänsyn tagen till olika påverkansparametrar.

Ämne	Riktvärde grundvatten (mg/l) - källzon						
	Gamla riktvärden	Porositet	Heterogenitet	Torrare förhållanden	Fri fas begränsning	Justerade riktvärden	Nya riktvärden
PCE	200	2 000	1 000	-	50	50	5
TCE	900	600	300	-	50	50	5
DCE	2 000	1 000	500	-	2 000	500	50
VC	30	20	10	-	20	10	1
Ämne	Riktvärde grundvatten, byggnader på kajen (mg/l)						
	Gamla riktvärden	Porositet	Heterogenitet	Torrare förhållanden	Fri fas begränsning	Justerade riktvärden	Nya riktvärden
PCE	20	200	100	-	50	50	5
TCE	90	60	30	-	50	30	3
DCE	200	100	50	-	2 000	50	5
VC	3	2	1	-	20	1	0,1
Ämne	Riktvärde porluft 5 m u my (mg/m <sup>3</sup> ) - källzon						
	Gamla riktvärden	Porositet	Heterogenitet	Torrare förhållanden	Fri fas begränsning	Justerade riktvärden	Nya riktvärden
PCE	30 000	20 000	10 000	-	300 <sup>1</sup>	300	30
TCE	6 000	4 000	2 000	-	300 <sup>1</sup>	300	30
DCE	6 000	4 000	2 000	-	6 000 <sup>1</sup>	2 000	200
VC	400	500	300	-	600 <sup>1</sup>	300	30
Ämne	Riktvärde porluft 1,8 m u my (mg/m <sup>3</sup> ) – hus M5 och M6						
	Gamla riktvärden	Porositet	Heterogenitet	Torrare förhållanden	Fri fas begränsning	Justerade riktvärden	Nya riktvärden
PCE	-	7 900	4 000	-	300 <sup>2</sup>	300	30
TCE	-	1 300	700	-	300 <sup>2</sup>	300	30
DCE	-	1 300	700	-	6 000 <sup>2</sup>	700	70
VC	-	93	47	-	600 <sup>2</sup>	47	4,7
Ämne	Riktvärde porluft direkt under hus (mg/m <sup>3</sup> ) – källzon och kaj						
	Gamla riktvärden	Porositet	Heterogenitet	Torrare förhållanden	Fri fas begränsning	Justerade riktvärden	Nya riktvärden
PCE	30	-	-	-	200	30	3
TCE	8	-	-	-	200	8	0,8
DCE	10	-	-	-	4 000	10	1
VC	0,9	-	-	-	400	0,9	0,09

<sup>1</sup> Pga felaktiga antaganden vid beräkning är faktiska riktvärden för frifas begränsning ca 10 ggr högre. De lägre som redovisas i tabellen får kvarstå som ett försiktighetsmått.

<sup>2</sup> Samma antagande som för 5 mummy används som ett försiktighetsmått.

## 7 Riskscenario efter sanering

Vid den planerade åtgärden kommer förorening i fri fas samt grundvatten i källzonen att behandlas (samt även luft i omättad bergsmatrix). Efter genomförd åtgärd kan grundvatten från området utanför saneringsområdet att rinna tillbaka in mot det behandlade området och på så sätt kommer också föroreningar i plymen komma tillbaka in i källområdet. De halter som idag finns i plymen är alltså de högsta möjliga halter som kan förväntas i grundvatten efter genomförd åtgärd.

I sammanhanget är det också viktigt att påpeka att dessa halter kommer att minska när källzonen och förorening i fri fas har avlägsnats. Halterna bedöms minska över tiden eftersom:

- Tillförseln av ny förorening från källzonen minskar (upphör)
- Halterna späds när grundvattnet blandas med annat grundvatten under transport
- Den mikrobiella nedbrytning som bevisats pågå i plym och källzon kommer fortsätta

De högsta uppmätta halterna i respektive provpunkt utanför källområdet redovisas Tabell 7 nedan. Som synes kommer inte halterna i grundvatten i källzonen att överstiga riktvärden eller mätbara åtgärds mål.

*Tabell 7. Högsta uppmätta grundvattenhalter per provpunkt utanför källzonen. Halter i mg/l. Högsta uppmätta halt av respektive ämne har markerats med fetstil.*

Provpunkt	PCE	TCE	c-DCE	VC
106	10	1,62	<b>15</b>	1,09
108	2,5	2,5	6,5	<b>1,1</b>
109	0,95	0,19	0,53	0,095
110	1,5	0,31	0,76	0,13
111	1,6	0,55	2,06	0,13
112	0,57	0,86	11	1,6
113	0,17	0,12	2,1	0,21
114	15	<b>4,88</b>	10,4	0,38
119	0,096	0,0084	0,01	0,00062
120	0,15	0,011	0,029	0,0012
121	0,032	0,0028	0,0032	<0,5
122	1,2	0,18	0,41	0,021
123	8,68	1,1	3,1	0,028
124	2,8	0,68	3,5	0,29
125	0,1	0,038	0,06	0,0023
126	0,32	0,056	0,13	0,0035
127	<b>16</b>	1	2,8	0,24
128	9,45	0,791	2,2	0,27

## 8 Riktvärden med beaktande av garage

En överslagsmässig beräkning av riktvärden som beaktar det extra skydd som anläggande av garage innebär har gjorts. Ventilationsflöden i garage är typiskt större än i bostäder, ett schablonvärde för garage i bostadsområden är  $0,9 \text{ l/(s}\cdot\text{m}^2)$ . I mer trafikerade garage är behovet av ventilation större. Ventilationsflödet i garage kan jämföras med det ventilationsflöde för bostäder som anges i byggnormen,  $0,35 \text{ l/(s}\cdot\text{m}^2)$ . En försiktig bedömning är att luftomsättningen i garage är dubbelt så stor som i bostäder.

Den sammanlagda exponeringen för föroreningar i inandningsluften beror inte enbart på koncentrationen av förorening i luften, utan också på den tid exponeringen sker d.v.s. vistelsetiden i området. Vid beräkning av riktvärden för bostäder förutsätts att man vistas i bostaden dygnet runt. I garage är det rimligt att anta att vistelsetiden är betydligt kortare. Förutsatt att inga affärsverksamheter bedöms det rimligt att anta att exponering i genomsnitt sker upp till ca 1-2 h om dagen. Det skulle motsvara att bilen hämtas eller lämnas i garage ett par gånger per dag samt att visst underhåll utförs vid några tillfällen per år.

Sammantaget innebär ovan angivna förutsättningar att beräknade riktvärden för bostäder kan ökas med minst en faktor 20 för tillämpning av garage. För Kvarnholmen har detta ingen större betydelse eftersom riktvärdena ändå justeras med avseende på risk för förekomst av fri fas.

## 9 Försiktiga och ej försiktiga antaganden

Nedanstående tabell sammanfattar graden av försiktighet vid framtagande av riktvärden. Antalet "X" indikerar grovt i vilken grad ett visst antagande innebär är försiktigt eller ej medan "=" innebär ett realistiskt antagande som varken överskattar eller underskattar risken.

Sammanfattningsvis kan man se att riktvärden är försiktiga både avseende hur transportmekanismer i sprickor beaktas och hur byggnader beaktas. De största försiktigheterna ligger i att riktvärden inte beaktar de garage som kommer att byggas eller de tekniska skyddsåtgärder som kommer att implementeras.

Tabell 8. Av tabellen framgår graden av försiktighet vid framtagande av riktvärden. Antalet X indikerar grovt i vilken grad ett visst antagande innebär ett försiktigt eller ej försiktigt antagande. " = " innebär att ett realistiskt antagande som varken överskattar eller underskattar risken.

Platsspecifik egenskap	Antagande	Överskattning av risk Försiktigt antagande	Underskattning av risk Ej försiktigt antagande
Förekomst av vertikala strukturer med högre porositet	Beaktas vid beräkning av total porositet	X	
Ökad transport orsakad av lufttrycksvariationer	Säkerhetsfaktor för heterogenitet	=	=
Vattenhalt i sprickor	I den förenklade modellen (styrande för riktvärden) antas helt torra förhållanden	X	
Tekniska skyddsåtgärder under alla hus	Beaktas ej vid beräkning av riktvärden	XXX	
Garage under hus i källzon <sup>1</sup>	Beaktas ej vid beräkning av riktvärden (se kapitel 8)	XX	
Nedbrytning av vinylklorid beaktas ej fullt ut vid beräkning av riktvärden		X	
Föreoreningar förekommer huvudsakligen i sprickzon ca 10 m under grundvattenytan	Beaktas ej i styrande modell, justeras delvis via bedömningsfaktor	X	
Avstånd för ångtransport	Den kortaste transportsträckan i sprickor från grundvattenytan till byggnaden har antagits vara 30 m, d.v.s. dubbelt så långt som avståndet mellan byggnaden och grundvattenytan. Detta är troligen ett betydligt kortare avstånd än den faktiska transportsträckan i ett nätverk av sprickor. Inte ens mer vertikala strukturer kommer ge upphov till helt raka transportvägar.	X	
<sup>1</sup> Endast hus i källzon			

## 10 Mätbara åtgärds mål

En genomgång har gjorts av de platsspecifika riktvärdena och justeringar har gjorts med avseende på porositet, heterogenitet och vattenmättnaden i sprickor. Dessa justeringar har sammantaget inneburit lägre riktvärden. Vidare har en förbättrad justering gjorts med avseende på risk för förekomst av fri fas, vilket inneburit ytterligare sänkning av riktvärden för tri- och tetrakloreten. Slutligen har alla riktvärden justerats med en faktor tio.

Av Tabell 8 ovan framgår att huvuddelen av de antaganden som gjorts är på den försiktiga sidan. Mot denna bakgrund bedöms riktvärdena så försiktiga att dessa kan användas som mätbara åtgärds mål. Förslag till mätbara åtgärds mål presenteras i Tabell 9.

Tabell 9. Föreslagna mätbara åtgärds mål för grundvatten och porluft på Kvarnholmen.

Ämne	Grundvatten källzon (mg/l)	Grundvatten kaj (mg/l)	Porluft 5 m under bergyta under byggnad i källzon (mg/m <sup>3</sup> )	Porluft 1,8 m under bergyta under byggnad M5 och M6 (mg/m <sup>3</sup> )	Porluft direkt under byggnad källzon och kaj (mg/m <sup>3</sup> )
PCE	5	5	30	30	3
TCE	5	3	30	30	0,8
DCE	50	5	200	70	1
VC	1	0,1	30	4,7	0,09

## 11 Kontrollprogram

Ett inledande förslag till kontrollprogram ges i Tabell 1 nedan.

Det slutgiltiga kontrollprogrammet tas fram i samband med projektering av åtgärder och i samråd med Miljöenheten Nacka kommun som även skal ge ett godkännande före kontrollprogrammet igångsätts.

I kontrollprogrammet ingår även besiktning av ingjutna borrhål efter sanering (se separat kapitel nedan).

Tabell 10. Utkast till kontrollprogram.

Matris	Position punkter	Antal punkter	Tidpunkt för mätning	Jäm-förelse	Åtgärd vid över-skridande	Syfte
Grund-vatten	Nedströms källzon, i punkter som korsar viktiga sprickplan	3	1 gång före, 3 gånger under och 2 gånger efter åtgärd (inom 1 år efter avslutad sanering)	Mätbara åtgärds-mål för grund-vatten	Överskridande osannolikt.	Generell övervakning av plym.
Grund-vatten	Nära, men utanför behandlings-zon	3	1 gång före, 3 gånger under och 2 gånger efter åtgärd (inom 2-3 månader efter avslutad sanering)	Mätbara åtgärds-mål för grund-vatten	Under och efter åtgärd. Kontakt med myndighet. Utvärdera om saneringsplan behöver förändras.	Ha kontroll över halter och processer direkt utanför behandlingszon.
Grund-vatten	I behandlings-zon	4	X veckor efter normala förhållanden (värme mm) uppnåts. X avgörs av entreprenör.	Mätbara åtgärds-mål för grund-vatten	Kontakt med myndighet. Utvärdera om sanering behöver igångsättas igen.	Bekräfta att mätbara åtgärds-mål uppnås för grundvatten
Luft i borrhål utan kontakt med grund-vatten	Nära, men utanför behandlings-zon	3	1 gång före, 3 gånger under och 2 gånger efter åtgärd (inom 2-3 månader efter avslutad sanering)	Mätbara åtgärds-mål för luft 5 meter under bergyta under byggnad	Före och efter åtgärd. Kontakt med myndighet. Utvärdera om saneringsplan behöver förändras.	Ha kontroll att ångtransport i omättad zon inte ökar under och efter sanering
Luft i borrhål utan kontakt med grund-vatten	I behandlings-zon	4	X veckor efter normala förhållanden (värme mm) uppnåts. X avgörs av entreprenör.	Mätbara åtgärds-mål för luft 5 meter under bergyta under byggnad	Kontakt med myndighet. Utvärdera om sanering behöver igångsättas igen.	Ha kontroll att ångtransport i omättad zon inte ökar under och efter sanering
Luft under tillfälliga hus-grunder	I behandlings-zon	1-2	X veckor efter normala förhållanden (värme mm) uppnåts. X avgörs av entreprenör.	Mätbara åtgärds-mål för luft direkt under husgrund	Kontakt med myndighet. Utvärdera om sanering behöver igångsättas igen.	Bekräfta att mätbara åtgärds-mål uppnås för luft under hus.



## 12 Tekniska skyddsåtgärder

Tekniska skyddsåtgärder kommer att implementeras för att skydda hus mot eventuellt förekommande och kvarvarande flyktiga föroreningar i luft under husen. Sådana skyddslösningar implementeras för hus N5 och N6 i källzonen samt M5, M6, L4, L5 och L7 i randzonen eller mycket nära denna (se Bilaga 1).

Bilaga 3 redovisar planriktningar/sektioner som visar hur och vart dessa tekniska skyddslösningar skall implementeras. Dessa ritningar ger tillräckligt detaljerade instruktioner för utgöra ett underlag vid projektering av hus.

Bilaga 2 beskriver teori och funktion gällande hur dessa tekniska skyddslösningar fungerar.

Åtgärder kan behövas för att säkerställa att markförlagda VA-ledningar etc. inte påverkas av flyktiga ämnen i den omättade zonen samt att ledningsgravar odyl där dessa ledningar förekommer inte transporterar eventuella föroreningar. Risken för inträngning av föroreningar i ångfas till luftfyllda ledningsgravar och vidare in i ledningar får dock anses vara låg.

Åtgärder som kan användas för att hantera detta är att ledningsgravar i källzonen förses med skikt ("lining") av bentonitlera eller annat lågpermeabelt lermaterial och/eller att sådant lermaterial används för att helt fylla 0,3 – 0,6 m långa sektioner av ledningsgraven (s.k. "vapor dams"/"trench plugs"). Om det finns VA ledningar med luft kan risken med inträngning av föroreningar i ångfas ytterligare elimineras genom att använda konstruktioner där luftning kan ske, exempelvis nedstigningsbrunnar eller ventiler. Behovet av sådana lösningar utvärderas efter genomförd saneringsåtgärd i samråd med kommunen.

## 13 Väg

Behandlingszonen där den termiska saneringen bedrivs kommer att korsas av en permanent väg som planeras att byggas före saneringen igångsätts.

Enligt tillfrågade entreprenörer kan detta lösas exempelvis genom att ha täta membran under en väg samt snedborrade hål (för värme/vakuumpump/injektion/extraktion) under denna. Alternativt kan ett övertäckt dike användas varvid exempelvis uppvärmnings och extraktionsbrunnar installeras i denna. Tillfrågade entreprenörer ser inte vägen som ett hinder för saneringsåtgärder och KUAB kan därmed stå för att det inte finns en konflikt mellan byggnation av denna väg och genomförande av saneringsåtgärder.

## 14 Borrhålstätning

Borrhål i berg med syfte att undersöka förorening har borrats i källzonen och i randområden. Ett stort antal borrhål planeras dessutom för termisk behandling av källzonen.

Borrhål har en omättad del, ovan stadigvarande grundvattennivå, och vanligen en del under grundvattenytan. De kan vara borrade lodrätt eller med upp till 40° vinkel (från lodlinjen).

De flesta borrhålen kommer att tätas efter att efterbehandlingen avslutats. Några borrhål kan komma att fortsatt användas för kontroll och övervakning av föroreningsförhållanden i grundvatten och sprickluft. Dessa kan instrumenteras med sektionsvis tätning och tätas när kontrollprogrammet någon gång avslutas.

Syftet med tätning är att hindra spridning av eventuella föroreningsrester. Vidare innebär fyllning/tätning av hålen en stabilisering av berget.

Tätning bör utföras med igengjutning av borrhålen med cementbaserat bruk eller betong. Tillsatsmedel används i bruket för att erhålla en svällande effekt som motverkar det cementbaserade brukets normala tendens att krympa vid härdning. Tillsatser kan t ex utgöras av Sika Intraplast (innehåller natriumkarbonat).

Igengjutning med bruk bidrar till ökad hållfasthet och stabilitet av berget. Om igengjutning med cementbruk sker under tryck kan möjligen detta öka berget täthet ytterligare.

Alternativt kan en bentonit-baserad blandning användas. Bentonit är ett lermineral med svällande egenskaper som vanligen används vid exempelvis tätning mellan grundvattenrör och jord/bergs-matrisen. Den bidrar dock inte till bergets stabilitet.

För båda alternativen påbörjas ifyllnad med slang från botten av borrhålet. Material kan också tillföras under grundvattennivån. Vid behov kan vatten successivt pumpas bort ovan det ifyllda materialet och omhändertas med eller utan filtrering på bergytan och vid behov transporteras till godkänd mottagningsanläggning.

Andra alternativ som att lina borrhålsväggar med plast eller liknande bedöms inte som relevant i detta sammanhang. De ovan angivna alternativen bedöms var betydligt mer robusta och långlivade.

## 15 Sammantagen riskreduktion

För att skapa en situation där föroreningar i grundvatten och ovanför grundvattenytan vid Östra Cisternområdet inte orsakar hälso- eller miljöproblem kommer en omfattande sanering med termiska metoder att genomföras där det förväntas en hög reduktion av föroreningar både i grundvatten och i luft i berget ovanför grundvattenytan. Denna sanering kommer dels direkt minska risker i källzonen och dels indirekt minska risker i randområde och plym genom att den källa av föroreningar som har orsakat transport via grundvatten tas bort.

De riktvärden som föreslås vara styrande för saneringen har genom föreliggande rapport givits en mer omfattande motivering än tidigare. Riktvärdena har genom den utökade genomgången i föreliggande rapport dessutom sänkts. Riktvärden är försiktigt beräknade

20 (21)

RAPPORT  
2015-03-10

**JUSTERING AV RISKBEDÖMNING OCH  
ÅTGÄRDSUTREDNING FÖR ÖSTRA CISTERNOMRÅDET,  
KVARNHOLMEN**

där de exempelvis inte tar hänsyn till den riskreduktion som garage medför samtidigt som försiktiga antaganden görs om föroreningstransport i berget. Därför föreslås att dessa riktvärden används som mätbara åtgärds mål.

Den termiska saneringsåtgärden förväntas i sig ge en tillräcklig riskreduktion för att åtgärds målen skall nås. För att ytterligare öka säkerheten kommer även tekniska skyddsåtgärder att implementeras under byggnader både i källzonen och i randzonen.

Sammantaget innebär de saneringsåtgärder och de tekniska skyddsåtgärder som föreslås att inga oacceptabla risker kommer att föreligga för människor eller miljö efter att dessa är genomförda.

## 16 Referenser

Sweco 2014

*Miljöteknisk undersökning samt fördjupad riskbedömning och bedömning av åtgärdsbehov, Sweco Environment AB, 2014-12-16.*

Gustafson, G. 2009. *Hydrogeologi för bergbyggare. Forskningsrådet Formas.*

Singhal, B.B.S., R.P. Gupta. 2010. *Applied Hydrogeology of Fractured Rocks: second edition. Springer Science & Business Media.*

Nilson, R. H., E. W., Peterson, K. H. Lie, N. R. Burkhard, J. R. Hearst. 1991. *Atmospheric Pumping: A Mechanism Causing Vertical Transport of Contaminated Gases Through Fractured Media. Journal of Geophysical Research, vol. 96, no. B13.*

Mourzenko, V.V., C. Varloteaux, S. Guillon, J.-F. Thovert, E. Pili, P.M. Adler. 2014. *Barometric Pumping of a Fractured Porous Medium. Geophysical Research letter 41.*

Moore m.fl. (2011) *Air circulation in deep fractures and the temperature field of an alpine rock slope. Earth Surface Processes and Landforms, 36(15) 1985–1996.*

Weeks, E. P. (2001) *Effect of topography on gas flow in unsaturated fractured rock: Concepts and observations, in Flow and Transport Through Unsaturated Fractured Rock; Evan, D. D. Nicholson, T. J. Rasumssen, T. C. (eds). Geophysics Monograph Series, 42. 53 – 59.*