

Klara City View

Åtgärdsutredning



Foto: Lennart Johansson, Stockholms stad

Ändringsförteckning

Ver	Datum	Ändringsbeskrivning	Granskad	Godkänd av

Sweco Sverige AB	RegNo 556767-9849
Uppdrag	Explo KCV
	grundvattenundersökning
Uppdragsnummer	30040821
Kund	Stockholms kommun
Upprättad av	Louise Johansson
Granskad av	Robertus Hoogeveen
Godkänd av	Marika Jansson
Datum	2024-11-13
Ver	0
Dokument nummer	1
Dokumentreferens	Åtgärdsutredning Klara City View

Innehållsförteckning

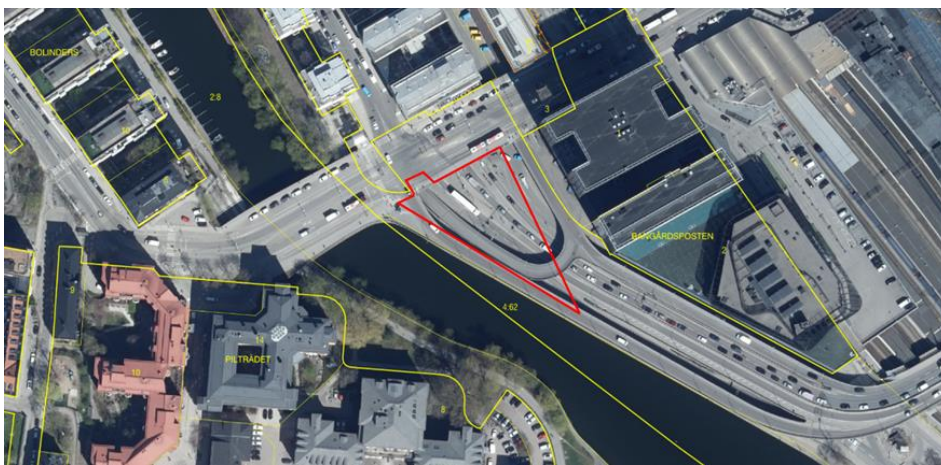
1	Inledning	4
1.1	Bakgrund	4
1.2	Uppdrag och syfte	4
2	Områdesbeskrivning.....	5
2.1	Lokalisering	5
2.2	Geologiska och hydrogeologiska förhållanden	5
2.3	Föroreningssituation.....	7
3	Riskbedömning	8
4	Förutsättningar för åtgärdsutredning	9
4.1	Åtgärdsbehov	9
4.2	Övergripande åtgärds mål.....	9
4.3	Åtgärdsområde.....	10
	Planerade grundläggningsarbeten	10
4.4	Naturvårdsverkets utgångspunkter för åtgärder	11
4.5	Avgränsningar	13
5	Åtgärdsutredning	13
5.1	Allmänt	13
5.2	Åtgärds kategorier och inledande analys.....	13
5.2.1	Ingen åtgärd.....	14
5.2.2	Administrativa skyddsåtgärder	14
5.2.3	Övervakad naturlig självrening	14
5.2.4	Tekniska skyddsåtgärder	15
5.2.5	Inneslutning	15
5.2.6	Reduktion av föroreningsmängden.....	17
5.3	Sammanfattning av inledande analys	19
5.4	Fördjupad analys och åtgärdsalternativ	20
5.4.1	Request for Information, RFI	20
5.4.2	Information i förfrågan.....	21
5.4.3	Scenarion.....	22
5.4.4	Åtgärdsalternativ baserat på RFI	22
5.5	Kostnadsbedömning baserat på RFI	23
5.6	Beskrivning av åtgärdsalternativ	24
6	Rekommendationer	26
6.1	Rekommendationer för åtgärd	26
6.2	Behov av tekniska skyddsåtgärder	26
6.3	Behov av undersökningar och utredningar	27
7	Slutsatser från åtgärdsutredning	29
	Referenser	31

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Stockholms stad avser att upprätta en detaljplan för del av fastigheten Norrmalm 4:41 i stadsdelen Norrmalm i Stockholms stad (se Figur 1). Planområdet ligger söder om Klarabergsviadukten och omfattar Klarastrandsleden. Fastigheten ägs av Stockholms stad.

Markanvisning har getts till Humlegården Fastigheter för Norrmalm 4:41. Norrmalm 4:41 är idag planlagd för trafikändamål och är i princip fullständigt ianspråktagen av en ytkrävande trafikanläggning med av- och påfartsramper till Klarastrandsleden samt angöring till flera fastigheter under gatuplan.



Figur 1. Översikt över planområdet (röd linje). Gula linjer anger fastighetsgränser. Källa: ©Lantmäteriets karttjänst

Planens syfte är att möjliggöra för tillkommande kontorsarbetsplatser, centrumanvändning och handel i en mycket central del av Stockholms innerstad. Delar av Klarastrandsleden planeras att däckas över för att möjliggöra bebyggelse ovanpå överdäckningen.

1.2 Uppdrag och syfte

Syftet med åtgärdsutredningen har varit att i ett tidigt skede utreda och säkerställa tillgång till tekniskt möjliga efterbehandlingsmetoder med avseende på de föroreningar som förekommer inom planområdet.

En översiktlig kostnadsbedömning för de tekniker som utvärderas inkluderas med syfte att bedöma skäligheten av åtgärder i förhållande till projektet.

Målsättningen har varit att visa att planen utifrån föroreningsituationen kan genomföras enligt den föreslagna markanvändningen till rimliga kostnader.

2 Områdesbeskrivning

2.1 Lokalisering

Planområdet, som är en del av fastigheten Norrmalm 4:41, utgörs av ett högtrafikerat vägområde lokaliserat mellan Klarabergsviadukten, Stockholm Waterfront och Klara sjö, Mälaren, se Figur 1 i föregående avsnitt.

Området är lokaliserat i utkanten av ett nedlagt gasverk, Klara gasverk. Den historiska verksamheten har medfört att mark och grundvatten förorenats av framför allt BTEX och PAH. En riskbedömning som utförts för området (Sweco, 2024) har identifierat ett åtgärdsbehov avseende förekommande förorening av bensen, xylener och naftalen. Åtgärder avseende PAH-M och PAH-H kan dock även komma att bli aktuella.

2.2 Geologiska och hydrogeologiska förhållanden

Jordarterna i området utgörs av fyllnadsmassor med en mäktighet av ca 1-4 m underlagrat av lera. Lerans mäktighet varierar mellan ca 5-12 m och underlagras av morän som enligt fältobservationer består av kompakt siltig lerig morän (Sweco, 2017; Sweco, 2022a; Geomind, 2022; Sweco, 2023a). I Sweco:s PM Geoteknik beskrivs att bergets nivåer ligger mellan 5,5 meter under markytan (m.u.my) och 16 m.u.my, med ytligast berg i de centrala delarna av planområdet (Sweco, 2017).

Områdets sydvästra del, närmast Klara sjö, är anlagd på ett befintligt påldäck (se Figur 2). Utanför kantskoningen till kajen finns en skvalpspont som löper längs med kajkanten mot Klara sjö. Sponten är fristående från kajen och är satt för att begränsa spridningen av förorenade massor från området öster om sponten till Klara sjö.

Inom området förekommer två grundvattenmagasin, ett i fyllnadsmassor ovan leran och ett i friktionsmaterialet under leran. Grundvattennivån i det övre magasinet förhåller sig till vattennivån i Klara sjö. Grundvattenytan har vid utförda undersökningar uppmätts mellan 2-3 m under markytan (ca + 0,6 till +1,1 m). Grundvattnet i det undre magasinet bedöms ha en trycknivå som generellt ligger i nivå med eller lägre än det övre magasinet (+0,55 till -3,1 m).

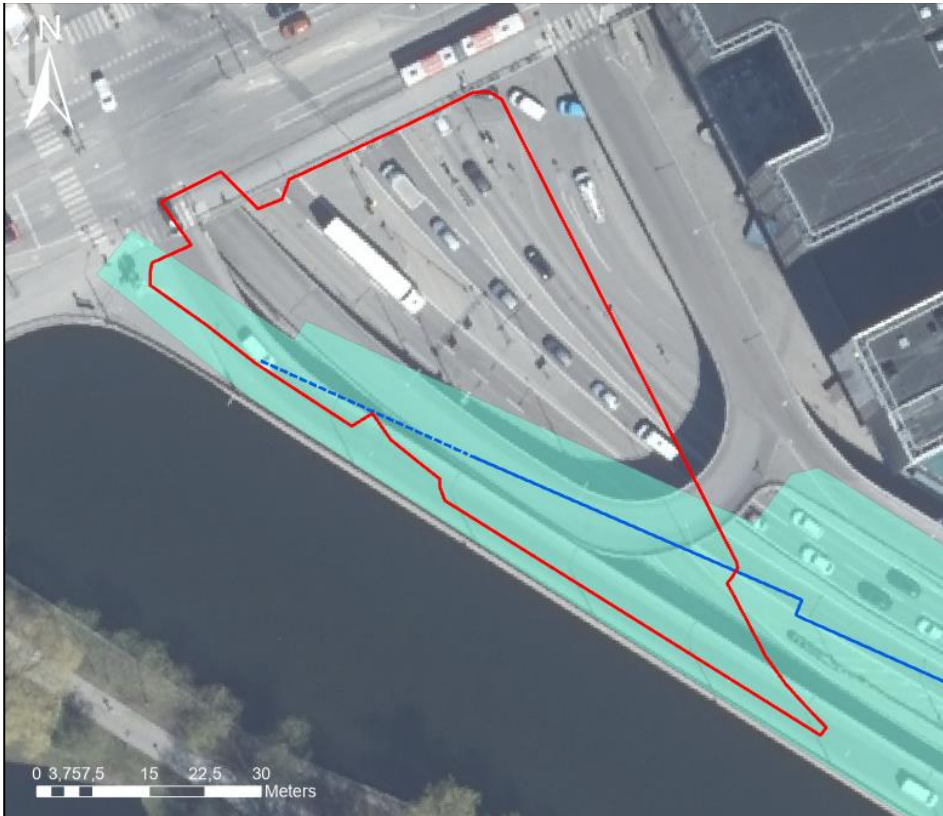
Baserat på utförda grundvattenmätningar bedöms grundvattenflödet i det övre magasinet vara riktat i nordostlig riktning, bort från Klara sjö, se Figur 3. Flödesriktningen påverkas sannolikt av dränering, tunnlar mm inom de fastigheter som omger det aktuella området.

Stockholm Waterfront samt Kongressbyggnaden, med dess djupa källarvåningar vars grundläggning går ner till underliggande lera¹, lokaliserade strax öster om planområdet bedöms utgöra en hydraulisk barriär som hindrar ytligt grundvatten från att strömma in i planområdet från öst. En viss inströmning kan möjligtvis ske från området mellan Stockholm Waterfront och planområdets östra del. Eventuellt grundvatten som strömmar in i planområdets östra/sydöstra del bedöms, utifrån nivåmätningar som utförts i samband med miljötekniska undersökningar inom området, strömma ut i nordlig riktning. Högst föroreningshalter i grundvatten har uppmätts mellan Stockholm Waterfront och

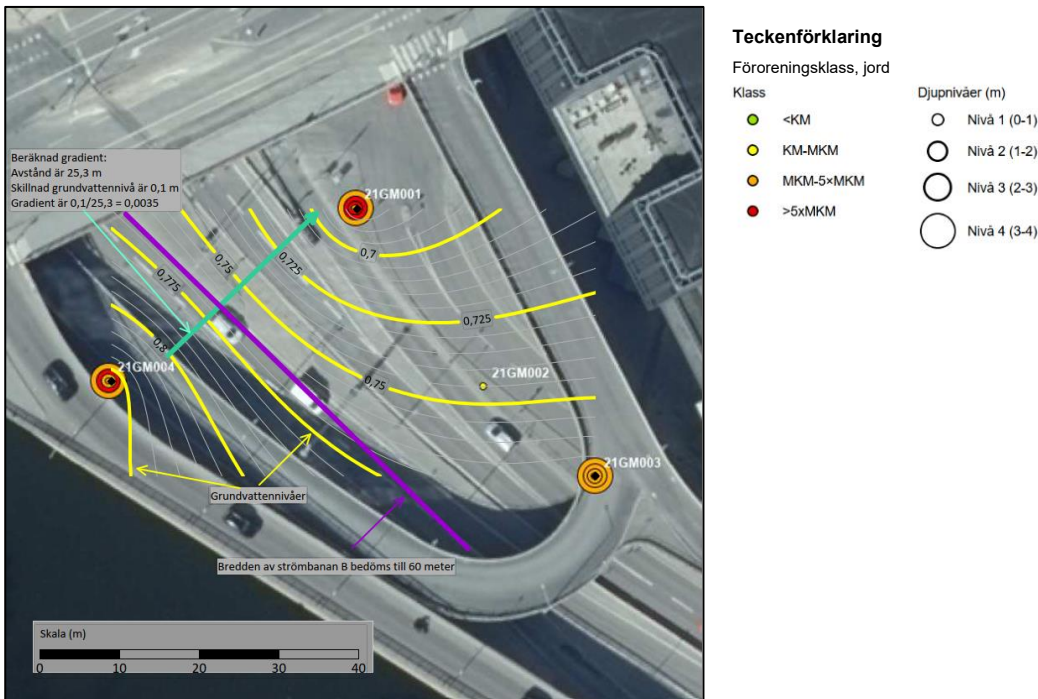
¹ Enligt uppgift ligger överkant bottenplatta på -2,5 m, lera påvisad vid ca -0,9 till -1,3 m (RH 2000) vid utförda geotekniska undersökningar

planområdets östliga del, inom område som historiskt nyttjats för gasverksverksamhet.

Det undre magasinet är lokaliserat mellan ca 10 till 14 m under markytan. Måktigheten på det undre magasinet bedöms generellt uppgå till som mest ett par meter. Utförda undersökningar visar att hydrauliska konduktiviteten i det undre magasinet är låg (storleksordning 10^{-6} till 10^{-9} m/s). Den hydrauliska konduktiviteten i det övre magasinet har beräknats i storleksordning 10^{-4} m/s. Grundvattnet används inte för dricksvattenuttag.



Figur 2. Befintligt påldäck (turkos polygon). Planområdet markerat med röd linje Den blåa linjen utgör ungefärligt läge för gammal kajkant (från 1960-talet). Utanför denna står samtliga konstruktioner fritt i vatten je markerar ungefärligt läge för vattenlinje under påldäck (källa relationshandlingar Trafikkontoret)



Figur 3. Beräkning av grundvattengradient inom området för KCV. Visualisering och beräkning har gjorts med hjälp av programmet Surfer version 25.1.229. Figuren har hämtats från Bilaga 9 tillhörande dokumentet *Klara City View Miljö- och hälsoriskbedömning* (Sweco, 2024) som beskriver metodik och underlag för utförda belastningsberäkningar. © Lantmäteriet

2.3 Föroreningssituation

Området för KCV är beläget i utkanten av området för det f.d. Klaragasverket. Verksamheten har gett upphov till kraftiga föroreningar i jord och grundvatten samt i recipienten, bl.a. leddes stenkolstjära från verksamheten direkt ut i Klara sjö under verksamhetens första 10 år. Marken inom gasverksområdet har delvis åtgärdats. Delar av området, bl.a. området under Klarabergsviadukten direkt norr om området för KCV, har dock sannolikt lämnats utan åtgärd. Även ett kraftigt förorenat område närmast Klara sjö (västra delen av Blekholmsterrassen) har lämnats. Tjära i fri fas förekommer ställvis i bottensediment/ lera norr om Klarabergsviadukten. Misstanke finns även om att tjära i fri fas rinner ut från Blekholmsterrassen till ett dike som anlagts i Klara sjö.

Provtagning av jord, grundvatten och porluft har utförts i tre undersökningspunkter. På grund av platsens förutsättningar med hårt trafikerade vägar har ingen ytterligare provtagning varit möjlig. Dataunderlaget är således mycket litet och beskrivningen av föroreningssituationen därmed osäker.

Resultat från utförda undersökningar visar att det förekommer höga halter av framför allt BTEX och PAH i jord och grundvatten. BTEX och naftalen har även uppmätts i förhöjda halter i porluft, över Naturvårdsverkets riskbaserade koncentrationer för inandningsluft (RfC/RISKinh) vilka avser en föroreningsnivå som potentiellt kan utgöra risker för inomhusmiljö. Föroreningar förekommer framför allt i fyllnadsmassor med inslag av svart material, tegel och trärester. Föroreningarna förekommer i fyllning ner till ett djup av ca 4 m under markytan, både i omättad och i mättad zon.

Fältnoteringar från geotekniska undersökningar indikerar att föroreningar eventuellt även förekommer i underliggande lera. Provtagningar av lera har utförts under december 2023. Resultat visar höga halter av framför allt PAH, aromater och bensen i lera från den nordöstra och sydöstra delen av området. Höga halter har uppmätts över hela det undersökta lerdjupet ner till 7 meter under markytan, avgränsning saknas i djupled. Prover som uttagits på lera från områdets västra del uppvisar avsevärt lägre föroreningshalter

3 Riskbedömning

Riskbedömningen indikerar att hälsorisker kan komma att föreligga vid långvarig vistelse inom området givet den planerade markanvändningen (kontorslokaler och kommersiella ytor). De föroreningar som bedöms styrande för riskbilden utgörs främst av lätta PAH (naftalen), bensen samt, i mindre omfattning, xylener och tunga PAH.

Identifierade risker utgörs främst av human exponering via inandning av ånga vid långvarig vistelse i den byggnad som planeras inom området. Det kan vidare inte uteslutas att exponering via intag av och hudkontakt med förorenad jord kan utgöra en risk för människors hälsa. Dessa risker begränsas dock av att området kommer vara täckt av byggnad eller hårdgjord yta. Exponering för den förorenade jorden bedöms endast kunna ske i samband med eventuella framtida markarbeten då förorenad jord kan komma att blottläggas. Risker kopplade till direkt exponering för förorenad jord bedöms således vara av mycket begränsad betydelse.

Starkast riskindikation förekommer inom områdets norra del, där högst föroreningshalter uppmätts i porluft och jord i den omättade zonen.

Föroreningssituationen i grundvatten bedöms sannolikt inte utgöra en oacceptabel risk för människors hälsa vid den planerade markanvändningen. Eventuell installation av en tät spont runt den djupa VA ledning som planeras inom området och som skär tvärs över planområdet i öst-västlig riktning skulle dock kunna medföra ökade föroreningshalter i grundvatten, möjligtvis med påföljande hälsorisker som resultat.

Dataunderlaget är litet och flera osäkerheter har identifierats vilka påverkar utvärderingen av risksituationen inom området (Sweco, 2024).

Vidare tyder resultat från riskbedömningen på att föroreningssituationen inom området kan utgöra en oacceptabel risk för närliggande recipient Mälaren-Ulvsundasjön (norr om planområdet), framförallt om planens genomförande medför en ökad spridning till recipienten. För att de övergripande åtgärdsåtgärder som tagits fram för området ska kunna uppnås behöver exploateringen av området utföras med försiktighetsåtgärder som tillser att skapandet av nya spridningsvägar till Mälaren-Ulvsundasjön samt mellan undre och övre grundvattenmagasin minimeras. Föroreningssituationen bedöms inte utgöra en oacceptabel risk för Mälaren-Riddarfjärden, lokaliserad direkt utanför planområdets västra gräns, varken vid dagens markanvändning eller vid den framtida markanvändningen.

4 Förutsättningar för åtgärdsutredning

4.1 Åtgärdsbehov

Riskbedömningen visar att föroreningssituationen inom området kan komma att utgöra en risk för människors hälsa vid den planerade markanvändningen. De övergripande åtgärdsmålen Tabell 1 uppnås därmed inte. Riskreducerande åtgärder bedöms således komma att krävas för att marken ska kunna bli lämplig för den planerade markanvändningen.

Vid en planändring och i samband med grundläggning för byggnation kommer stora delar av de föroreningar som finns i fyllnadsmassor inom markens omrättade zon (ovan grundvattenytan) att schaktas bort². Detta väntas medföra en lokal riskreduktion där byggnation görs då riskerna med föroreningar främst består i påverkan från förekomst av flyktiga föroreningar i den omrättade zonen och området där grundvattennivån fluktuerar.

Ytterligare åtgärder kan komma att krävas för att nå åtgärds mål och reducera risker kopplade till föroreningssituationen inom området vid en planändring. Sådana åtgärder behöver framför allt fokusera på att reducera risker kopplade till inandning av ånga då detta är den risk som bedöms styrande för området.

Befintligt dataunderlag indikerar att dessa risker främst styrs av förorenings-situationen i jord i den omrättade zonen inom områdets norra del, och då främst i den nedre delen av grundvattnets fluktuationszon (ca + 0,6 m eller ca 2 m under markytan). Fler undersökningar behöver utföras för att med större säkerhet avgöra inom vilka delar av området som föroreningssituationen medför behov av riskreducerande åtgärd.

4.2 Övergripande åtgärds mål

Som utgångspunkt för åtgärdsutredningen används de övergripande åtgärds mål som har formulerats i riskbedömningen. Föreslagna åtgärdsalternativ skall kunna uppnå de övergripande åtgärds målen, även om graden av måluppfyllnad kan variera. Aktuella övergripande åtgärds mål avseende föroreningssituationen beskrivs i Tabell 1, en kommentar kring förutsättningar för målens uppfyllande beskrivs i också i tabellen.

² Schakt kommer att ske ner till den grundvattennivå som råder vid den framtida entreprenadens genomförande. Grundvattennivån inom området styrs av nivån i Mälaren vars medelnivå uppgår till +0,87 m (RH2000).

Tabell 1. Övergripande åtgärds mål med kommentar kring förutsättningar för målens uppfyllande.

Övergripande åtgärds mål	Kommentar
Föroreningar i jord och grundvatten inom området för KCV ska inte innebära oacceptabla hälsorisker för människor som besöker eller arbetar i området.	Befintligt dataunderlag indikerar att åtgärds målet <u>inte kommer uppfyllas</u> vid den planerade markanvändningen <u>utan att riskreducerande åtgärder först vidtas.</u>
Exploatering av området för KCV ska inte medföra en till det sämre förändrad spridning av föroreningar från det f.d. gasverket som kan medföra oacceptabla risker för närliggande recipienter, Klara sjö och Mälaren.	Befintligt dataunderlag indikerar att förorenings situationen i jord- och grundvatten inom området möjligtvis kan medföra oacceptabla risker för närliggande recipient Mälaren-Ulvsundasjön. <u>Exploateringen behöver således vidta försiktighetsåtgärder för att tillse att skapandet av nya spridningsvägar till recipienten Mälaren-Ulvsundasjön minimeras.</u>

4.3 Åtgärdsområde

Åtgärdsutredningen utgår i nuläget från åtgärdsbehov kopplat till hälsa genom inträngning av ånga till byggnader och avser i huvudsak områden där planerad byggnation kommer att ha markkontakt. Med denna begränsning har området där åtgärder kan krävas antagits omfatta ca 1 000 m²

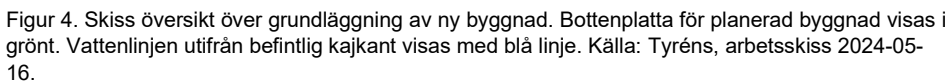
Planerade grundläggningsarbeten

Åtgärdsutredningen förutsätter att åtgärder kan utföras i samband med planerade grundläggningsarbeten. Schakt för anläggning av byggnad antas ske ner till ca 2 m under markytan. Denna schakt inkluderas inte i åtgärdsutredningen, men överskottsmassor från entreprenaden kan förväntas behöva omhändertas.

I Figur 4 visas en skiss över grundläggning av planerad byggnad. Öster om den blå vattenlinjen i figuren kommer byggnadens bottenplatta att stå i direktkontakt med mark. Väster om den blå vattenlinjen kommer byggnadens bottenplatta att stå på påldäck. Den gråstreckade ytan i figuren utgör befintlig/planerad väg som kommer att överdäckas av byggnad.

Byggnaden kommer även att ha markkontakt väster om tunneln. Detta beaktades inte i arbetet med underlag för åtgärdsutredning, men arean för åtgärdsområde har justerats upp för att inkludera hela området för markkontakt, ca 1 000 m².

Befintlig påldäckskaj ska vara kvar och nya pålar kompletteras. Pålning kommer även att avse vattenområdet och för den västra delen rekommenderas en kompletterande utredning av risker, behov av anmälan eller tillstånd för vattenverksamhet och beskrivning av de åtgärder som kan genomföras av förorenad mark och sediment som genom projektet kommer att byggas över. Den allmänna rekommendationen är att byggnation inte får försvåra för framtida åtgärder, vilket kan påverka behovet av åtgärder.



Det övergripande syftet med åtgärder av förorenade områden är att långsiktigt minska risken för skada eller olägenhet för människors hälsa eller miljön samt att minska förekomst av skadliga ämnen i miljön (Naturvårdsverket, 2009).

- Bedömning av miljö- och hälsorisker vid förorenade områden bör göras i såväl ett kort som långt tidsperspektiv.
- Grund- och ytvatten är naturresurser som i princip alltid är skyddsvärda.
- Spridning av föroreningar från ett förorenat område bör inte innebära vare sig ökade bakgrundshalter eller utsläppsmängder som långsiktigt riskerar att försämra kvaliteten på ytvatten- och grundvattenresurser.
- Exponeringen från ett förorenat område bör inte ensam stå för hela den exponering som är tolerabel för en människa.

Sweco | Klara City View Åtgärdsutredning
Uppdragsnummer 30040821
Datum 2024-11-13 Ver 1
Dokumentreferens Åtgärdsutredning Klara City View

Tabell 2. Naturvårdsverkets utgångspunkter för val av åtgärder inom förorenade områden och hur de beaktas i åtgärdsutredningen för KCV.

Naturvårdsverkets aspekter som bör vara vägledande.	Beaktas
Efterbehandlingsåtgärderna bör reducera miljö- och hälsoriskerna så långt det är tekniskt möjligt och ekonomiskt rimligt.	Ja, förutsättning för ny detaljplan och byggnation, värderas i riskvärderingsprocessen
Andra åtgärdsmetoder än schakt och deponi ska beaktas vid val av åtgärd, och förordas i de fall det är tekniskt möjligt och ekonomiskt rimligt.	Ja, åtgärdsalternativ som omfattar andra metoder beaktas.
Åtgärderna bör vara av engångskaraktär, fler åtgärder ska inte behövas utifrån den markanvändning som området efterbehandlas till.	Ja, förutsättning för byggnation. Ingående moment kan behöva upprepas under åtgärdsfasen.
Skador som kan uppstå under genomförandet bör vara mindre än de skador som totalt kan komma att orsakas av det förorenade området.	Ja, beaktas
Åtgärderna bör inte annat än under en övergångsperiod kräva underhåll och skötsel efter avslutad åtgärd. Viss långsiktig övervakning av skyddsåtgärder vid deponier, inneslutningar, barriärer och åtgärder med obeprövad teknik kan dock behövas.	Ja, åtgärder som inte kräver underhåll eller långvarig kontroll prioriteras.
Bästa tillgängliga teknik (Best Available Technology, BAT) bör användas, om det inte medför orimliga kostnader.	Ja, genomförande av åtgärden bör handlas upp utifrån kompetens och erfarenhet för att tillse att BAT tillämpas och att olika kompletterande tekniker finns tillgängliga och kan användas vid behov.
Energisnål teknik bör väljas så långt det är möjligt.	Ja, beaktas men kommer sannolikt inte att kunna styra val av åtgärd pga områdets komplexitet.
Efterbehandlingsåtgärder bör utföras så att den planerade framtida markanvändningen begränsas så lite som möjligt.	Ja, förutsättning för ny detaljplan och byggnation
Åtgärderna bör genomföras så att området inte återförorenas på grund av spridning från delar där åtgärder ännu inte genomförts.	Ja, beaktas. Kringliggande områden varken kan eller kommer att åtgärdas, viktig för att skydda byggnation på lång sikt.
Åtgärder bör väljas och genomföras så att intrånget i andra intressen blir så litet som möjligt, till exempel vad gäller kulturminnesvärden.	Beaktas i projekteringen, intrång i vägområden krävs.
Om föroreningar lämnas kvar bör inte ytterligare efterbehandling eller utförande av skyddsåtgärder omöjliggöras, till exempel genom att ny bebyggelse uppförs på det förorenade området, utan att konsekvenserna har utretts ordentligt.	Beaktas eftersom byggnation ska uppföras
Kvarlämnas föroreningar i fast fas bör skyddsåtgärder eftersträvas som reducerar riskerna i motsvarande mån eller som har motsvarande skyddseffekt som om massorna hade omhändertagits på deponi.	Ej aktuellt

4.5 Avgränsningar

Baserat på befintliga data som utgörs av ett mycket litet underlag bedöms risker kopplade till inandning av ånga främst styras av föroreningar av flyktiga ämnen i den omättade zonen (jord). Dessa uppgifter kan ändras efter mer detaljerade och åtgärdsförberedande undersökningar och kräva annat fokus för åtgärdsutredningen. Åtgärdsutredningen har inriktats på föroreningar och risker som i nuläget är kända och i synnerhet för att reducera risker med avseende på hälsa.

Föroreningar i omgivande mark och grundvatten kan påverka områden som åtgärdas varför åtgärdernas långsiktiga effekt och motståndskraft mot eventuell risk för återkontaminering behöver beaktas vid val av lösning.

I nuläget har åtgärdsutredningen utgått ifrån ett behov av åtgärder inom ca 1 000 m² av aktuellt planområde där planerad byggnation ska ha markkontakt och risker avseende hälsa och inomhusmiljö kan behöva reduceras.

Eventuella arbeten i eller åtgärd av förorenade sediment har inte inkluderats. Arbeten i vatten är anmälningspliktiga och det ska inte uteslutas att behov av tillstånd för vattenverksamhet föreligger. Vid tillståndsprövning behöver föroreningssituationen särskilt beaktas och det är sannolikt att åtgärder som motsvarar effekten av en efterbehandling kommer att behöva beskrivas.

5 Åtgärdsutredning

5.1 Allmänt

En åtgärdsutredning ska redovisa ett underlag för val av åtgärd och baseras på åtgärdsbehov enligt riskbedömning samt de övergripande åtgärds målen. Syftet är att ta fram åtgärdsalternativ som på ett tekniskt genomförbart och ekonomiskt rimligt sätt resulterar i en tillräcklig riskreduktion för att uppfylla åtgärds målen.

Olika åtgärds metoder styrs exempelvis av typ av föroreningar, vilka medier som är förorenade, geotekniska och hydrogeologiska förhållanden, förekomst av byggnader och konstruktioner, avstånd till recipient och andra platsspecifika förutsättningar med spridning och exponering.

En åtgärdsutredning görs normalt i tre steg. Möjliga åtgärdstekniker identifieras översiktligt i en inledande åtgärdsanalys, därefter utvärderas tänkbara metoder i en fördjupad åtgärdsanalys utifrån lämplighet för aktuell föroreningssituation och platsens förutsättningar och metoderna kombineras sedan till förslag till åtgärdsalternativ.

Grunderna för arbetet med att ta fram och slutligen välja åtgärdsalternativ beskrivs bl.a. i Naturvårdsverkets rapport 5978 *Att välja efterbehandlingsåtgärd* (Naturvårdsverket 2009).

I beskrivningarna av åtgärds metoder och tekniker har även underlag från åtgärdsportalen (www.atgardsportalen.se) använts.

5.2 Åtgärds kategorier och inledande analys

Olika kategorier av åtgärder kan vara aktuella för att reducera de risker som föreligger enligt riskbedömningen och för att uppnå de övergripande

åtgärds målen. De kategorier av åtgärder som beskrivs översiktligt i en inledande analys av åtgärds tekniker är:

- Ingen åtgärd (ska alltid finnas med)
- Administrativa skyddsåtgärder
- Övervakad naturlig självrening
- Tekniska skyddsåtgärder
- Inneslutning
- Reduktion av föroreningsmängd (in situ)

Nedan beskrivs olika åtgärds metoder eller tekniker översiktligt. I slutet av varje avsnitt bedöms metodens funktion med avseende på den aktuella föroreningssituationen vid KCV. I avsnitt 5.3 finns en sammanställning av den inledande åtgärds analysen nedan.

5.2.1 Ingen åtgärd

Ingen åtgärd kan vara ett tänkbart åtgärds alternativ om:

- det kan visas att det inte föreligger oacceptabla risker avseende människors hälsa eller miljön nu eller i framtiden, samt
- de övergripande åtgärds målen uppnås utan genomförande av åtgärder.

Det förväntas inte att de övergripande åtgärds målen kan nås utan åtgärd.

5.2.2 Administrativa skyddsåtgärder

Administrativa skyddsåtgärder omfattar skydd mot exponering genom restriktioner med syfte att förhindra aktiviteter som kan medföra oacceptabla risker. Exempel på åtgärder är tillträdesbegränsningar eller restriktioner avseende markanvändning eller grundvattenuttag.

Administrativa skyddsåtgärder som ensam åtgärd är en tveksam åtgärd som sannolikt inte medger ändring av detaljplan och planerad byggnation med nödvändiga markarbeten.

5.2.3 Övervakad naturlig självrening

Övervakad naturlig självrening innebär att föroreningarna finns kvar i marken och att markens naturliga processer reducerar koncentrationer och risker över tiden. Exempel på dessa naturliga processer är biologisk nedbrytning, sorption, förångning och utspädning. Området övervakas för att kontrollera om och hur föroreningen minskar. Strategin kan användas för organiska ämnen och vissa metaller. Om denna strategi övervägs görs vanligen noggranna undersökningar kring förutsättningarna för nedbrytning så en bedömning av om nedbrytning kan komma att pågå med tillräcklig takt i tillräckligt lång tid.

Eftersom strategin bygger på naturliga processer är det en tidskrävande metod som kräver övervakning och kontroll under lång tid. Strategin innebär inte några begränsningar avseende människors exponering för föroreningar i jorden och innebär inte att spridningen via grundvatten begränsas annat än på mycket lång sikt. Det betyder att en pågående spridning i grundvattnet inte åtgärdas dock kommer halterna i grundvattnet att sjunka på sikt.

Utförda undersökningar är inte tillräckliga varken för att beskriva föroreningen eller visa om nedbrytning sker. Övervakad naturlig självrening bedöms inte var

en gångbar strategi då de övergripande åtgärdsmålen inte kan förväntas nås inför planerad byggnation. Däremot kan det ses som ett komplement till åtgärder i källområdet och ha effekt i grundvattnet nedströms källområdet.

5.2.4 Tekniska skyddsåtgärder

Tekniska skyddsåtgärder omfattar riskreducerande åtgärder som skär av exponeringsvägar och därigenom skyddar människor eller miljö mot exponering. Exempelvis kan täta barriärer som gas- eller vattenät byggnation tillämpas för att hindra transport av förorening i grundvatten till ett skyddsobjekt eller så kan byggnadstekniska skyddsåtgärder såsom ventilerad grundläggning som förhindrar ånginträngning i byggnader eller installationer utföras vid byggnation.

Genom att använda tekniska skyddsåtgärder kan risker för exempelvis viss spridning och i synnerhet ånginträngning till byggnader förhindras, vilket bidrar till måluppfyllelse. Andra metoder kan krävas för att motverka spridning av förorening (se avsnittet om inneslutning).

5.2.5 Inneslutning

Inneslutning innefattar åtgärder på plats för att skydda människor och miljö mot exponering *utan* att minska föroreningshalter eller -mängder. Nedan beskrivs några olika metoder för inneslutning.

Övertäckning för att reducera exponering

Metoden innebär att förorenad jord täcks över så att exponering förhindras eller begränsas. Övertäckningen kan göras relativt enkel eller mer avancerad med täta material. Den kan användas för alla typer av föroreningar och i olika typer av jordar men kan medföra en höjning av markytan, vilket inte alltid är möjligt. Föroreningarna finns kvar i marken och övertäckningens långsiktiga funktion behöver kontrolleras.

Metoden bedöms inte lämplig för det aktuella objektet. Området är inte lämpat för en höjning av marknivån och det skulle ge begränsningar i hur marken kan användas.

Övertäckning som metod kan komma att aktualiseras när åtgärdsutredningen utvidgas till att även omfatta behov av åtgärder på västra sidan, där pålning och arbeten antas ske i vattenområdet.

Inneslutning med barriärer

Inneslutningen kan utföras genom att det förorenade materialet helt eller delvis kapslas in med täta eller lågpermeabla material. Inneslutningen innebär att utlakning och spridning av föroreningar från det förorenade materialet till omgivande mark och grundvatten minskar eller upphör. En sådan inneslutning innebär normalt även att människors exponering av förorening begränsas.

Horisontella barriärer används i första hand för att minimera utlakning och spridning av föroreningar från omättad zon till mättad zon eller omvänt från grundvatten till porgas och inomhusluft. Vertikala fysiska barriärer, t.ex. sponter, används för att avskärma källzoner, men också för att avleda föroreningsplymer från specifika skyddsobjekt eller åtgärdade områden.

Metoden kan användas för alla typer av föroreningar och i olika typer av jordar. Vid användning *in situ* kan fysisk vertikal fysisk inneslutning kombineras med

antingen fysisk horisontell inneslutning eller andra barriärlösning för att motverka migration av förorening uppåt och nedåt. En skyddsåtgärd i form av inneslutning behöver kontrolleras, t.ex. vad gäller den långsiktiga funktionen hos tätskikt och dränering.

Inneslutning förutsätter att de vertikala barriärerna kan förankras mot en tät formation i botten som t ex lera eller berg för att förhindra att spridningen fortsätter om än på ett större djup.

Fysisk inneslutning bedöms inte vara en lämplig ensam metod för objektet. Spont kan komma att användas för grundläggning och åtgärder och en eventuell kvarlämnad spont kan minska risk för återkontamination från kringliggande ej åtgärdad mark och grundvatten om en annan åtgärd görs innanför sponten. Planerade kulvertar, tunnlar och ledningar kan i sig utgöra fysisk inneslutning med det kan vara svårt att lämna kvar fysiska barriärer som spont i marken vid byggnation.

Solidifiering och stabilisering

Solidifiering innebär att föroreningen kapslas in i material med låg permeabilitet eller att additiv som kraftigt begränsar den hydrauliska konduktiviteten tillförs. Syftet är att åstadkomma kemiska reaktioner som gör föroreningarna mindre spridningsbenägna, t.ex. genom kemisk fällning eller genom tillsats av pH-justerande additiv. Flera av de material som används för stabilisering, t.ex. cement, är vanliga också för solidifiering varför de två åtgärdsstrategierna beskrivs tillsammans.

Varken solidifiering eller stabilisering bedöms lämpliga som åtgärds metod såvida inte cementbarriär kan kombineras med anläggande av andra markförlagda installationer.

Hydraulisk inneslutning

Denna metod innebär avskärmning genom pumpning vilket betyder att grundvatten pumpas upp för att avleda förorening och/eller förhindra eller begränsa spridningen. Metoden innebär att stora vattenmängder kan behöva pumpas upp under en längre tid. Det uppumpade vattnet behöver behandlas innan det kan återinfiltreras eller tas om hand på annat sätt. I området pågår redan omfattande grundvattenpumpning pga närheten till tunnelsystemet kring Stockholm central mm.

Metoden är ineffektiv som behandlingsteknik och ingen massreduktion av betydelse åstadkoms, vilket inte heller väntas minska risk för ånginträning. Metoden med grundvattensänkning kan fungera som komplement för att motverka spridning vid andra åtgärder men syftet är då inte främst som åtgärd utan hydraulisk inneslutning och hantering av vatten vid anläggningsarbeten.

Sammanfattning inneslutning

Samtliga alternativ avseende inneslutning innebär restriktioner avseende den fortsatta markanvändningen då gräv- och anläggningsarbeten inte kan utföras i det aktuella området utan övertäckningen riskerar att skadas utan särskilda försiktighetsåtgärder. Spont som fysisk barriär och grundvattenpumpning som hydraulisk barriär bör inte uteslutas som tillfälliga komplement vid olika åtgärdsalternativ in situ eller vid schakt. De övergripande åtgärds målen bedöms inte kunna uppfyllas bara genom inneslutningsåtgärder.

5.2.6 Reduktion av föroreningsmängden

Reduktion av föroreningsmängden kan ske efter tre huvudprinciper:

- *Ex situ*, urgrävning och externt omhändertagande
- *On site*, behandling på plats (ej aktuell)
- *In situ*, behandling utan att massor schaktas ur

Ex situ

Schakt som metod för avhjälpande avser urgrävning, borttransport och behandling eller omhändertagande av jordmassor på annan plats är troligen den vanligaste formen av mängdreduktion.

Metoden kan användas i alla typer av jordlager och för alla typer av föroreningar men lämpar sig bäst för ytliga föroreningar över grundvattennivån. Schaktning kan dock utföras till stora djup och under grundvattenytan, dock måste risk för ras och sättningar beaktas vid genomförandet. Vid schakt på större djup kan spontning krävas och länshållning och behandling av uppumpat vatten kan vara nödvändig i olika omfattning beroende på schaktdjup.

Schakt åtgärder föroreningar som förekommer i det fasta materialet. Viss kompletterande åtgärder kan behövas om förorening finns i grundvatten. Risk för spridning av förorening med grundvattnet vid schakt behöver beaktas.

Urschaktning innebär att föroreningar avlägsnas från området och åtgärdernas beständighet är därmed hög. Metoden bedöms lämplig för det aktuella objektet för att reducera mängden föroreningar som kan utgöra risker för både hälsa och miljö. Reduktion av föroreningsmängd reducerar risker för ånginträngning i nya byggnader och minskar efter åtgärd risken för spridning. Långvarig kontroll bedöms inte krävas efter en åtgärd med schaktning.

Som alternativ till traditionell schakt kan massor tas upp genom så kallad storformatsborrning. Olika typer av skruvborr med stor diameter används då för att ta upp de förorenade massorna. Borrhålen fylls sedan med rena massor som vanligen blandas med stabiliseringsmedel för att undvika kollaps vid borrning av nästa borrhål.

Åtgärd genom schakt och externt omhändertagande av massor är en lämplig metod för de ytliga jordlagren vid KCV, men schakt kan troligen utföras även i djupled ner till leran med stödåtgärder som spont eller alternativa schaktmetoder. Frysmuddring som schaktalternativ kan också vara tänkbar, om än spont- och energikrävande.

Urschaktade massor behöver lastas, transporteras och omhändertas externt. Externt omhändertagande kan omfatta flera olika typer av behandlingar som exempelvis jordtvätt samt flera av de metoder som beskrivs under *in situ*-behandlingar nedan.

In situ

In situ-behandling innebär att föroreningarna ligger kvar i marken och behandlas där, alternativt extraheras från jordmatrisen och avskiljs eller behandlas på plats. Det finns flera olika metoder som är lämpliga för olika typer av föroreningar. För organiska ämnen finns flertalet behandlingsmetoder som kan användas för att bryta ner föroreningarna kemiskt samt inducera eller påskynda biologisk nedbrytning.

Gemensamt för de flesta in situ-metoder är att de kan behöva pågå under relativt lång tid (år), behöva upprepas (återkommande injektioner), kontrolleras under en längre tid (flera år) för att säkerställa att åtgärdsmålen nås. Undantag gäller möjligen termiska metoder som verkar snabbare och kräver mindre kontroll, men där höga temperaturer kvarstår i mark under relativt lång tid, vilket också kan påverka tider för planerad byggnation och installationer i mark.

Pumpning av förorenat grundvatten från ett källområde och behandling det på plats ger viss massreduktion men metoden har dock låg effekt och används främst för att hydrauliskt innesluta föroreningen så den inte sprids vidare med grundvattnet. Genom cirkulation av grundvatten via en bioreaktor innan återföring kan dock biologisk nedbrytning för föroreningar i marken stimuleras.

Porgasextraktion kan användas för att åtgärda förorening i omättad zon. Till denna kan luftinjektering, airsparging, läggas till för att lufta ut föroreningar från den mättade zonen så de avgår till den omättade där de tas om hand av systemet för porgasextraktion. Den uppsamlade luften behandlas sedan på plats. Effekten kan variera beroende på markens genomsläpplighet. En variant på porgasextraktion är bioventilering som innebär att systemet anpassas så att nedbrytning gynnas i marken vid luftning.

Flerfasextraktion eller multifasextraktion innebär att ett undertryck byggs upp som genom vakuumentextraktion och pumpning av vatten samlar upp förorening i både gasfas, vattenlöslig fas och fri fas. Metoden är mest effektiv på förorening i eller nära den kapillära zonen och har begränsad effekt vid större djup. Metoden kan kompletteras så att biologisk nedbrytning stimuleras via en bioreaktor i ett cirkulärt system.

Stimulerad biologisk nedbrytning innebär stimulering av befintliga bakterier (biostimulering) och/eller tillförsel av bakterier (bioaugmentering). Metoderna fungerar bäst i relativt genomsläppliga jordlager men injektering kan ge bra resultat även för mindre genomsläppliga jordar. De ämnen som tillsätts kan fördelas inom det förorenade området eller ingå i en vertikal permeabel "barriär" där förbiflödande grundvatten behandlas. Dessa metoder används vanligen i källområden även om mycket höga halter kan hämma nedbrytningen. Biologisk nedbrytning kan nyttjas både under och över grundvattenytan.

Kemisk oxidation innebär att oxidationsmedel tillsätts marken. Medlet fördelas bäst i genomsläppliga jordlager. Beroende på hur medlet tillförs och eventuella tillsatser kan även föroreningar som är bundna till jordmatrisen desorberas och oxideras i den vattenlösliga fasen. Metoden kan användas i den mättade delen av jordlagren. Upprepade injektioner kan krävas i källområden med höga koncentrationer för att nå önskat resultat.

Kemisk reduktion är en metod som vanligen omfattar tillförsel av järn i olika form som katalyserar reduktionen av förorening. Kemisk reduktion kan användas antingen genom att jorden blandas med reduktionsmedel (soil-mix), genom att medlet injekteras eller som en permeabel barriär där förbiflödande grundvatten behandlas. Fördelning av reduktionsmedlet vid injektering fungerar bäst i genomsläppliga jordlager men utveckling pågår för att även kunna använda metoden vid mindre genomsläppliga och inhomogena jordlager. Beroende på vilken metod för tillförsel av medel som används kan både omättad och mättad del av jordlager behandlas.

Termiska metoder används för olika typer av behandling och avdrivning av organiska ämnen *in situ*. Metoden innebär att föroreningen förgasas och leds upp till markytan (porgasextraktion) där ångan samlas upp och behandlas innan

luften släpps ut. Termisk avdrivning används i källområden både under och över grundvattenytan. Termisk behandling kan utföras med ett par olika tekniker, exempelvis genom tillförsel av ånga, elektrisk resistivitetssuppvärmning eller elektrisk konduktiv uppvärmning. Val av teknik avgörs av förhållanden på plats, omgivningen mm. Det är viktigt att rätt temperatur för aktuella ämnen uppnås. Närheten till ytvatten, byggnader, installationer och infrastruktur kan möjligen begränsa metodens potential.

Jordtvätt innebär att vatten, eventuellt med tillsatt lösningsmedel eller tensid, cirkuleras för att mobilisera föroreningen till vattenfasen. Vattenfasen renas sedan på plats med en anpassad metod. Jordtvätt används främst i mättad zon men kan även användas i omättad zon. Metoden är mest effektiv i permeabla jordlager så att tvättvätskan kan komma i kontakt med föroreningen. Metoden bedöms inte vara lämplig som åtgärd vid KCV.

Fytosanering kan användas för både organiska föroreningar och för metaller samt för förorening i jord och i grundvatten. Metoden bygger på växter tar upp föroreningar ur marken och vid skörd avlägsnas föroreningarna från området. Organiska ämnen kan metaboliseras i växterna och därmed brytas ned. Dessa ämnen kan även till viss del avgå från växter till atmosfären. Åtgärdstiden är ändå lång och är endast effektiv om föroreningen förekommer i rotzonen. Fytosanering bedöms inte vara lämplig som åtgärd vid KCV.

5.3 Sammanfattning av inledande analys

Den inledande åtgärdsanalysen visar att främst metoder som omfattar reduktion av föroreningsmängd bidrar till måluppfyllelse. Övriga metoder skulle kunna användas som komplement vid behov. Både metoder som omfattar urschaktning och externt omhändertagande av massor och in situ åtgärder bedöms vara lämpliga. De in situ metoder som bedöms tänkbara är biologisk behandling, kemisk oxidation, kemisk reduktion eller termisk behandling.

De beskrivna åtgärdsstrategierna och metoderna sammanfattas i Tabell 3 med kommentar kring om metoden bedömds kunna uppfylla de övergripande åtgärdsmålen.

Tabell 3. Sammanfattning av strategier och metoder för åtgärd med kommentar kring om metoden förväntas kunna uppfylla de övergripande åtgärdsmålen.

Strategi / Metod	Åtgärd av omättad zon och/eller mättad zon	Uppfylls de övergripande åtgärdsmålen?
Ingen åtgärd	-	Nej. Riskbedömningen visar att de övergripande åtgärdsmålen inte uppfylls och åtgärd behövs. Medger inte ändrad detaljplan.
Administrativa skyddsåtgärder	-	Nej. Övergripande åtgärds mål uppfylls inte. Medger inte ändrad detaljplan.
Övervakad naturlig nedbrytning	Både omättad och mättad zon	Nej, uppnår inte övergripande åtgärds mål inom överskådlig tid då halterna är höga. Medger inte ändrad detaljplan. Svårt område att övervaka långsiktigt.
Tekniska skyddsåtgärder	-	Delvis. Övergripande mål för hälsa kan uppfyllas, men inte för miljö. Tekniska skyddsåtgärder rekommenderas som komplement för att undanröja risker vid nybyggnation.
Inneslutning		
Övertäckning	Ytlig jord	Nej, ingen åtkomst och uppfyller inte övergripande åtgärds mål. Metoden kan vara aktuell mot Klara sjö, avseende sediment*
Inneslutning med barriärer	Mättad zon	Nej, troligen inte ensamt. Begränsar markanvändningen och uppfyller inte övergripande åtgärds mål.
Solidifiering och/eller stabilisering	Mättad zon	Nej, troligen inte pga konflikt med andra installationer som påldäck, tunnlar och ledningar, kan möjligen bidra till att uppfylla övergripande åtgärds mål.

Strategi / Metod	Åtgärd av omättad zon och/eller mättad zon	Uppfylls de övergripande åtgärds målen?
Hydraulisk inneslutning	Mättad zon	Nej, uppfyller inte övergripande åtgärds mål avseende hälsa. Kan fungera som komplement för att motverka spridning, sker redan i delar av närområdet men med syftet grundvattensänkning.
Reduktion av föroreningsmängd		
<i>Ex situ</i>		
Urschaktning med externt omhändertagande av massor.	Både omättad och mättad zon	Ja, kan bidra till att uppfylla övergripande åtgärds mål. Schakt kan ge stor påverkan på infrastruktur i mark. Spont och hantering av vatten kan krävas.
<i>In situ</i>		
Uppumpning och behandling av grundvatten	Mättad zon	Nej, långsam metod. Uppfyller inte ensam övergripande åtgärds mål avseende hälsa. Kan fungera som komplement vid schakt mm eller för att motverka spridning, används i närområdet men i annat syfte.
Porgasextraktion ev med luftinjektering, airsparging och bioventilering.	Omättad zon primärt men även yttlig del av mättad zon	Delvis, men uppfyller inte ensam övergripande åtgärds mål. Metoden kan ta lång tid och det är osäkert om tillräcklig fördelning kan åstadkommas i omättad zon i finare jordlager. Kan även genomföras <i>ex situ</i> . Åtgärder omättad zon och övre del av grundvattenzon men behöver kombineras med annan metod.
Flerfasextraktion (porgasextraktion + grundvattenpumpning)	Omättad zon samt yttlig del av mättad zon	Ja, kan bidra till att uppfylla övergripande åtgärds mål men kan behöva kombineras med annan metod (biologisk).
Biologisk behandling (Kan omfatta tillsats av både bakterier och ev näringsämnen)	Både omättad och mättad zon. I omättad zon kan det vara svårare.	Ja, kan troligen bidra till att nå åtgärds målen och i synnerhet som komplement till andra åtgärder från flerfasextraktion till barriärlösning för att motverka återkontamination.
Kemisk oxidation	Primärt mättad zon men kan fungera i omättad zon.	Ja, kan uppfylla åtgärds målen och har använts vid liknande föroreningsproblematik, men osäkert om metoden är tillräckligt effektiv vid höga halter och lera och om tillräcklig fördelning kan ske i omättad zon samt i finare jordlager.
Kemisk reduktion	Omättad och mättad zon	Ja, kan troligen uppfylla åtgärds målen, men osäkert om metoden är tillräckligt effektiv vid höga halter och lera, om tillräcklig fördelning kan ske i omättad zon samt i finare jordlager vid injektering.
Reaktiv barriär	Mättad zon	Nej, uppnår troligen inte åtgärds målen även om barriärer kan vara lämpliga för platsen. Kan användas för att behandla vatten som rör sig från området eller under byggnaden.
Termisk behandling i jordlager inklusive porgasextraktion	Omättad och mättad zon	Ja, antas kunna uppfylla åtgärds målen genom såväl mängdreduktion samt riskreduktion. Ledningar, pålar och påldäck kan begränsa möjligheten att genomföra metoden på platsen.

*Sediment ingår inte i denna åtgärdsutredning, men kan behöva kompletteras.

5.4 Fördjupad analys och åtgärdsalternativ

5.4.1 Request for Information, RFI

Efter den inledande åtgärdsanalysen och metodgenomgång enligt ovan beslutades att göra en så kallad "Request for information – RFI" i syfte att inhämta genomförbara förslag på hur föroreningar i området skulle kunna åtgärdas och med vilka tekniker. Syftet var att identifiera praktiskt genomförbara åtgärds tekniker och erhålla en rad förslag till åtgärdsalternativ att utvärdera mer i detalj.

Utifrån en beskrivning av förutsättningar, förorenings situation, jordlager- förhållanden, planerad byggnation etc samt uppgift om fiktiv area 500 m² och djup för åtgärden har ett antal erkända entreprenörer fått lämna förslag på lösningar för att hantera föroreningarna inför en exploatering. För kalkylerbarhet

och möjlighet att jämföra metodernas effektivitet angavs ett preliminärt mål för åtgärden om minst 80% massreduktion av föroreningar.

Totalt kontaktades sju entreprenörer. Av dessa har fem återkommit med efterfrågad information. En entreprenör har återkopplat att den metod som de använder (termisk in situ behandling) sannolikt inte är lämplig för den aktuella platsen. En entreprenör har inte återkommit.

Efterfrågade uppgifter från entreprenörer omfattade:

- Kort presentation av föreslagen lösning
- Behov av åtgärdsförberedande undersökningar och identifiering av nödvändiga förberedande moment för åtgärden
- Behov av spont eller liknande för genomförande av åtgärden
- Area på tillgängligt arbetsområde för genomförande av åtgärden
- Tid för genomförande av åtgärden
- Kostnadsbedömning för åtgärden

5.4.2 Information i förfrågan

Följande information utöver åtgärds mål kommunicerats i samband med RFI:

- Området är uppfyllt och är beläget i anslutning till ett högtrafikerat vägområde och Klara sjö. I området har det tidigare funnits ett gasverk och området utgörs idag främst av vägområde. Planer finns att bebygga området med bl.a. kontor och verksamhetslokaler.
- Jordarterna inom området består av fyllnadsmaterial (ca 4 m mäktighet) innehållande bland annat tegel och trärester. Fyllnadsmaterialet underlagras av lera (5-12 m) och sedan morän.
- Föroreningen finns främst i fyllnadsmaterialet ner till ca 4 m. Fältanteckningar indikerar att föroreningar även förekommer i den underlagrande lera³.
- Det finns två grundvattenmagasin inom området, ett ovan lera och ett under lera. Grundvattenytan ovan lera är relaterad till vattennivån i Klara sjö och har uppmätts till mellan 2-3 m under markytan (mumy). Grundvattenflödet beräknas vara riktat åt nordost och påverkas troligen av omgivande grundvattensänknings.
- Grundvatten under lera bedöms ha en trycknivå som generellt ligger i nivå med det övre magasinet. Det undre grundvattenmagasinet ligger under lera mellan 10-14 m. Mäktigheten på magasinet uppskattas till några meter. Det djupa grundvattnet kommer inte att beröras av den planerade åtgärden, men då grundvattnet är förorenat av höga halter PAH och bensen samt att det ska påas i området kan detta påverka utförandet av åtgärden.
- Utförd riskbedömning har identifierat ett behov av att reducera nivåerna av bensen, xylener och naftalen i jord och i ytligt grundvatten. Åtgärder avseende PAH-M och PAH-H kan också komma att bli aktuella.
- En byggnad kommer att uppföras inom åtgärdsområdet och schakt antas komma att utföras ner till ca 2 m.

³ Provtagning av lera hade inte utförts vid tidpunkten för utskick av RFI.

- Föroreningar kan även finnas lokaliserade uppströms eller i nära anslutning till åtgärdsområdet. Föreslagen åtgärdsmetodik behöver således beakta risk för återkontaminering av åtgärdat område.

5.4.3 Scenarion

Två fiktiva scenarion antogs i skedet för förfrågan eftersom planarbetet pågått parallellt och kunskapsluckor föreligger kring föroreningssituationen och omfattningen av åtgärder som kan behövas. I förfrågan antogs att massor inom det berörda området kommer att schaktas ur ner till 2 m i samband med grundläggningsarbeten och därför skulle dessa inte inkluderas i åtgärdsföreläggningen och ingår således inte i åtgärdsutredningen.

- **Scenario 1:** Åtgärd av förorening i fyllnadsmaterial ovan lera (åtgärdsdjup: 2-4 m) inom område där ny byggnad kommer att ha markkontakt.
- **Scenario 2:** Åtgärd av förorening i fyllnadsmaterial samt i underliggande lera (åtgärdsdjup: 2-7 m, varav åtgärd i lera 4-7 m) inom område där ny byggnad kommer att ha markkontakt.

Det undre grundvattenmagasinet berörs inte av planerade åtgärder. Området kommer att påverkas. Åtgärdsmetoden behöver således beakta att jordarterna i området inte påverkas på ett sätt som kan medföra ökad uppträckning av grundvatten från det undre magasinet till det övre eller ökad spridning från övre till undre magasin i samband med efterbehandlingsåtgärd.

Det kan finnas förorenade områden uppströms eller intill det åtgärdsområde där byggnation planeras. Kringliggande områden kan lokalt ha högre halter men förväntas kunna täckas in av åtgärden givet områdets förutsättningar. Områden öst om åtgärdsområdet utgör undantag och där kan restföroreningar behöva kvarlämnas. Åtgärdsalternativen behöver därför även omfatta åtgärder som bidrar till att förhindra återkontaminering från eventuella kvarvarande förorenade områden uppströms eller omkring det åtgärdade området (främst markområden syd och öst om det åtgärdade området).

5.4.4 Åtgärdsalternativ baserat på RFI

Responserna av RFI från fem av tillfrågade sju aktörer visar att det finns olika tekniska lösningar eller kombinationer av åtgärdsmetoder som bedöms kunna säkerställa genomförande av åtgärd. Lämpligheten för den nya detaljplanens ändamål bör därmed kunna uppfyllas med byggnation efter åtgärd.

Resultaten av förfrågan till entreprenörer gav ett antal förslag på relevanta tekniker och kombinationer av metoder formade som åtgärdsalternativ:

- Schaktsanering
- Porgasextraktion och biologisk behandling (biosparging)
- Anaerob biologisk nedbrytning och reaktiva barriärer
- Kemisk oxidation (2 aktörer)
- Kemisk oxidation och horisontell barriär av aktivt kol eventuellt med viss föregående schakt
- Termisk avdrivning samt injektion av kolloidalt kol.

I Tabell 4 visas en översikt av tekniker, kostnader och genomförbarhet. En förenklad redovisning från RFI redovisas med en bedömning av genomförbarhet i Tabell 4.

De olika alternativen framåt anges kort i efterföljande avsnitt där kombinationer av föreslagna metoder kan vara troliga lösningar. Målsättningen att identifiera åtgärdsområden som kan reducera risker inom området så att planens lämplighet kan bedömas har varit fokus i detta skede av processen.

Tabell 4. Förslag till åtgärdsalternativ och kostnadsbedömning baserat på RFI och där givna kostnadsuppskattningar för scenario 2 använts, för att inte underskatta omfattning.

Åtgärdsmetod	Beskrivning	Kostnad	Genomförbarhet
Ytlig schakt för grundläggning	Hantering av förorenade jordmassor i samband med schakt för grundläggning. Borttransport till extern mottagare	Inkluderas i övergripande mängdförteckning	Ingår i markarbeten för grundläggning och installation
Schaktsanering och borttransport till extern mottagare	Spontning och schaktsanering ner till lera (ca 4 m djup). Transport av massor till deponi alternativt till område för extern behandling genom exempelvis jordtvätt, biologisk behandling eller annan ex situ metod.	12 Mkr	Troligen ej genomförbar på grund av utrymmesskäl och mängden underjordiska installationer i marken
Kemisk oxidation	Kemisk oxidation in situ med inblandning av natriumpersulfat och portlandcement i den förorenade jorden. Föroreningar bryts ner genom inblandning av persulfat.	18 Mkr inklusive installation och antagen driftkostnad på två år	Genomförbar , givet att man injicerar oxidationsmedlet och inte mixar
Kemisk oxidation och horisontell barriär av aktivt kol	Inblandning av kemiskt oxidationsmedel i schaktbotten för att reducera föroreningshalter i kvarvarande jordmassor.	8 Mkr	Genomförbar , givet att man injicerar oxidationsmedlet och inte mixar
Ytterligare schakt, kemisk oxidation och/eller horisontell barriär av aktivt kol	Schakten utökas något på djupet för att ta bort de högsta jordkoncentrationerna följt av en inmixning av oxidationsmedel och aktivt kol i schaktbotten.	7 Mkr	Troligen ej genomförbar pga begränsningar för schakt och fyllnadsmassornas beskaffenhet
Termisk avdrivning samt injektion av kolloidalt kol	Uppvärmning av jordmatrisen genom eluppvärmning med fasta värmeelement. Efter den termiska behandlingen injekteras kolloidalt kol till jordmatrisen för att försäkra att kvarvarande föroreningar immobiliseras.	12 Mkr	Genomförbar men troligen det dyraste alternativet
Aerob biologisk nedbrytning,	Aerob biologisk nedbrytning omfattar tillsats av syreavgivande medel som stimulerar den biologiska nedbrytningen. Medlet är aktivt i ca 1,5-2 år. Tillsats sker genom direktinjektering alternativt med soil mixing.	3 Mkr	Troligen ej effektiv
Reaktiva barriärer	Reaktiva barriärer anläggs med hjälp av aktivt kol, lämpliga placeringar är i de områden där inströmning av förorening sker samt i schaktbotten efter att schakt till grundläggningsdjup har utförts.	9 Mkr	Troligen genomförbar
Porgasextraktion och biologisk behandling (biosparging)	Porgasextraktion (SVE) innebär att extraktionsrör installeras för att pumpa/extrahera porgas från den omåttade zonen. Porgasen renas sedan på plats med kolfilter eller annan lämplig metod.	2,5 Mkr (driftkostnad 2 år)	Genomförbarhet mindre troligt på grund av fyllnadsmassornas beskaffenhet

5.5 Kostnadsbedömning baserat på RFI

Kostnader för angivna åtgärdsmetoder inkluderar ursprungligen åtgärd av en yta om 500 m² samt ett djup av 2-4 m (1 000 m³). Den angivna kostnaden har dubblerats för att bättre motsvara behandling inom en yta på 1 000 m², vilket i antas relevant åtgärdsområde sett till byggnadens planerade markkontakt. Kostnaden har, efter påslag med 20 % för oförutsedda kostnader avrundats uppåt till närmsta miljontal.

Uppskattade kostnader omfattar inte kostnad för åtgärdsförberedande undersökningar, miljökontroller, spont eller hantering/rening av eventuellt länsvatten, byggherrekostnader som inkluderar kostnader för projektering, kostnad för byggledning och projektledning samt kostnader för eventuella tillståndsärenden.

Uppskattad tidsåtgång inkluderar inte tid för förberedande undersökningar, projektering eller efterkontroller. Samtliga metoder utom schaktsanering antas komma att beröras av någon typ av efterkontroll. Tidsåtgång för efterkontroller varierar beroende på metod samt framtida krav från tillsynsmyndighet.

De kostnadsbedömningar som har erhållits vid utförd förfrågan bör ses som indikativa och ligger omkring 7-18 Mkr eller avrundat ca 10-20 Mkr. Kostnaden kan totalt sett för projektet betraktas som en relativt låg, skälig och hanterbar storleksordning på kostnad för åtgärder i samband med aktuell planändring och byggnation, se Tabell 4.

Inga åtgärdsförberedande utredningar eller tester har utförts och föroreningarna har inte avgränsats eller kvantifierats vilket är en nödvändighet för att närmare specificera åtgärdsbehov och lösningar i framtiden. Kostnader för detta tillkommer.

RFI omfattade endast byggnadsdelar som har markkontakt öster om tunneln, och inkluderar inte delar väster om tunneln. Det innebär att det finns en osäkerhet i kostnaderna, vi skulle kanske ha fått ett annat svar från entreprenörerna om den delen hade varit med från början. Dock har ett dubbelt så stort åtgärdsområde för östra delen antagits, vilket ändå kan innebära att kostnadsbedömningen är någorlunda representativ för hela området, även om osäkerheter i nuläget är stora.

5.6 Beskrivning av åtgärdsalternativ

Resultaten av förfrågan till entreprenörer gav ett antal förslag på relevanta tekniker och kombinationer av metoder formade som åtgärdsalternativ från schaktsanering till biologisk behandling, kemisk oxidation och barriärlösningar samt termisk avdrivning och behandling med kolloidalt kol. Paletten av möjliga åtgärdsmetoder är bred och förutsättningar finns att utforma lämpliga alternativ för att hantera föroreningssituationen inom ramen för detaljplan och planerad byggnation.

När föroreningssituationen är bättre utredd och planerna för byggnation och därmed åtgärdsområden är slutligt definierade kan underlaget i denna åtgärdsutredning användas för att formulera lämpliga åtgärdsalternativ. Alternativen bör utvärderas och jämföras i en riskvärdering där olika parter ges möjlighet att medverka. Åtgärdsalternativen kan utvärderas i förhållande till åtgärds mål, projektrisker, hållbarhet, genomförbarhet/planerad byggnation mm.

Följande preliminära huvudalternativ antas vara relevanta för fortsatt utredning där alternativ från nollalternativ till totalalternativ bedöms finnas med:

0. Ingen åtgärd (*Nollalternativ - ska alltid finnas med*)
1. Tekniska skyddsåtgärder (enbart, kan ingå som komplement i alla alternativ)
2. Schakt (även under grundvattennivån till ca 4 m eller mer)

3. Porgasextraktion, anaerob biologisk nedbrytning (+ eventuella reaktiva barriärer)
4. Kemisk oxidation (+ eventuella barriärer)
5. Termisk behandling (+ eventuell immobilisering) (*totalalternativ*)

I nuläget görs inget ställningstagande om inriktning på åtgärd. Området väster om tunneln och i sedimenten utmed kajlinjen i Klara sjö kan behöva inkluderas i det åtgärdsområdet beroende på utfall av undersökningar. Åtgärds mål och förutsättningar för byggnation och grundläggning behöver projekteras och samordnas samtidigt som en riskvärdering som grund för val av åtgärd behöver göras.

I val av åtgärd behöver hänsyn tas till att ytterligare åtgärder väntas bli svåra i framtiden eller redan är svåra i överbyggda närliggande markområden. Därför bör åtgärderna vid behov kompletteras med tekniska skyddsåtgärder för att långsiktigt undanröja risker med ånginträning till ny byggnad från kringliggande områden som inte har eller kan saneras. .

6 Rekommendationer

6.1 Rekommendationer för åtgärd

Åtgärdsområdet behöver definieras med hänsyn till föroreningssituation för att förhindra framtida återkontamination och eventuell risk för ånginträngning från kringliggande förorenad mark och grundvatten.

Planering, projektering och genomförande av åtgärd behöver samordnas med övriga markprojekt i området för planerad byggnad, ledningar, tunnel och grundläggning.

Genomförandefasen behöver också inkludera åtgärderna och gällande tidplan, arbetsområde och trafik, behov av spontning, schakt för grundläggning och omhändertagande av massor, länshållning för grundläggning och åtgärd mm krävs.

Inför upphandling av åtgärd rekommenderas att anmälan har upprättats och att mätbara åtgärds mål har fastställts så att den bästa tekniska lösningen för att inom rimlig tidsram nå målen för att möjliggöra byggnation kan väljas. Metoder som kan verka parallellt med övriga arbeten kan vara att förorda.

Val av åtgärdsalternativ genomförs i en riskvärderingsprocess med berörda parter och myndigheter inför beslut om åtgärds lösning eller typ av lösning. Där kan exempelvis metoder som har kort genomförandetid och hög säkerhet till en högre kostnad värderas högre än metoder med lång genomförandetid, sämre säkerhet och lägre kostnad för bäst lösning för projektet.

Åtgärden ska beakta Naturvårdsverkets utgångspunkter och bör fokusera på:

- Åtgärden ska vara av engångskaraktär, ingen ytterligare åtgärd i mark ska krävas för att motverka risk efter byggnation.
- Risk för återkontamination från föroreningar i kringliggande mark och grundvatten på kort och lång sikt ska beaktas i val av åtgärd.
- Åtgärden bör fokusera på att minska risk för ånginträngning till planerad byggnad på kort och lång sikt.
- Åtgärden ska inte kräva något underhåll eller uppföljning annat än under en övergångsperiod i byggfasen.
- Energi- och kemikaliesnål teknik eller förnybara energikällor bör förordas.
- Åtgärder som medför minsta möjliga intrång i andra intressen nu och i framtiden bör prioriteras.
- Åtgärder som kan planeras och begränsas i tid är troligen att rekommendera.
- Fastställande av mätbara åtgärds mål görs efter riskvärdering i dialog med tillsynsmyndigheten.
- Behov av kompletterande tekniska skyddsåtgärder som komplement till åtgärder i mark och grundvatten ingår i projektering av byggnad.

6.2 Behov av tekniska skyddsåtgärder

Förutsättningarna för åtgärd och de många osäkerheterna vad gäller risk för återkontaminering gör att kompletterande åtgärder kan vara lämpliga för att säkerställa att risker inte ändras över tid, exempelvis genom inträngning av ångor till byggnaden. Dessa åtgärder rekommenderas i samband med byggnation inom planområdet oavsett om eller i vilken utsträckning andra åtgärder vidtas.

Tekniska skyddsåtgärder handlar om olika typer av täta konstruktioner, och ventilationslösningar i och under byggnader. Sådana skyddsåtgärder kan leda till en avgörande riskreduktion om de utformas på ett korrekt sätt. En fullständig riskreduktion kan uppnås på kort sikt men det är viktigt att dessa åtgärder är funktionsdugliga och kan servas under hela byggnadens livslängd, eftersom föroreningarna i kringområdet som inte kan åtgärdas också kan antas finnas kvar under en mycket lång framtid.

Tekniska skyddsåtgärder kan bestå av en eller flera av nedanstående åtgärder, varav flera är vanliga byggnadstekniska lösningar:

- Ventilation under byggnaden leder bort eventuella föroreningar som kan ansamlas i ångfas under en bottenplatta eller utmed ledningar och installationer pga förorening i ytligt grundvatten och grundvattnets fluktuationszon. Metoden bygger på att ett undertryck åstadkoms i det kapillärbrytande lagret under bottenplattan och kan vara passivt där gas avleds via ett gasdränderande lager och/eller ledningsnät till atmosfären eller vid behov aktivt genom pumpning av gas från detta lager om forcering är nödvändig för att säkerställa att inomhusmiljön inte påverkas negativt.
- Gastät grundläggning som förhindrar genomträngning av förorenade ångor, vilket även inkluderar täta rör genomföringar
- Täta flödesavskiljande sektioner i ledningsgravar som förhindrar att förorenade ångor sprids utmed ledningar och in i byggnaden. Här beaktas även tät grundläggning av djupa schakt, som hisschakt.
- Ledningar (vatten och avlopp) kan utformas i rostfritt stål eller diffusionstäta ledningar som förhindrar diffusion av förorenade ångor in i ledningar och vidare transport in i byggnaden.
- Forcerad ventilation i byggnad för att förhindra inträngning av ångor från föroreningar är en lösning främst för befintlig byggnation. Ventilationen dimensioneras så att ett övertryck skapas i inomhusmiljön, vilket reducerar möjlighet till ånginträngning från underliggande mark. Ventilationen bör även utformas så att inte förorenad luft flyttas från en del av en byggnad till en annan. Exempelvis kan ett hisschakt sprida föroreningar högt upp i byggnaden.

Ventilation, grundläggningsmetoder och konstruktioner behöver projekteras och utformas för byggnadens olika användningsområden. En tät grundläggning kan konstrueras med betong, eller med fysiska barriärer i golvet som förhindrar gasgenomträngning. Det är viktigt att konstruktionen ger en långsiktig garanti att vara tät under byggnadens hela livslängd.

6.3 Behov av undersökningar och utredningar

Ett fåtal undersökningar avseende föroreningssituation i jord och grundvatten samt hydrogeologiska förutsättningar har utförts inom området. Utförda undersökningar är begränsade och ger ingen detaljerad beskrivning av föroreningssituationen i plan och profil i mark och grundvatten, inte heller av risker kopplade till föroreningar.

Baserat på uppgifter från entreprenörer och erfarenheter från branschen lämnas råd och rekommendationer för fortsatta utredningar och hantering av exploateringsprojektet. För att nå syftet behöver olika undersökningar med olika metoder. Syftet bör vara att avgränsa föroreningarnas utbredning i plan och

djupled inom de delar av planområdet där byggnaden kommer att ha markkontakt, vilket innebär att området väster om tunneln behöver inkluderas.

Geotekniska, hydrogeologiska och miljötekniska undersökningar med tillräcklig detaljnivå krävs så att relevanta förutsättningar kan beskrivas och bedömningen av åtgärdsbehov utvecklas inför val av åtgärdsmetod. Följande undersökningar/utredningar kan bli aktuella:

- Detaljerade miljötekniska undersökningar av föroreningsituationen i jord och grundvatten i syfte att fastställa åtgärdsområdets storlek och utvärdera lämpligaste åtgärdsalternativ. Undersökningarna ger även underlag inför eventuell länsvattenhantering. De ger underlag till att revidera och precisera den fördjupade riskbedömningen och utformningen av förslag till åtgärdsalternativ, projekteringsdirektiv mm
- Åtgärdsutredningen uppdateras och utvecklas med beskrivning av åtgärdsalternativ baserat på faktisk föroreningsituation och relevant omfattning på åtgärder. Området väster om tunneln bör inkluderas.
- En riskvärdering görs där slutligen föreslagna åtgärdsalternativ utvärderas i förhållande till åtgärds mål, projektrisker, hållbarhet, genomförbarhet/planerad byggnation mm.

7 Slutsatser från åtgärdsutredning

En åtgärdsutredning för planområdet har inriktats på att hantera identifierade risker för hälsa genom ånginträning i framtida byggnad. Åtgärdsområdet har i nuläget definierats som område där byggnaden planeras ha markkontakt.

Syftet med åtgärdsutredningen har varit att i ett tidigt skede utreda och säkerställa tillgång till tekniskt möjliga efterbehandlingsmetoder med avseende på de föroreningar som förekommer inom planområdet samt att bedöma om kostnaderna med åtgärder är skäligen i förhållande till projektet.

Åtgärdsutredningen grundas på en tidig förfrågan till entreprenörer i branschen där fem av sju tillfrågade entreprenörer svarade. Flera olika förslag på realistiska åtgärdstekniker och kombinationer av metoder erhöles som möjliga åtgärdsalternativ. I korthet omfattar dessa:

- Schaktsanering
- Porgasextraktion och biologisk behandling (biosparging)
- Anaerob biologisk nedbrytning och reaktiva barriärer
- Kemisk oxidation (2 aktörer) eller kemisk oxidation och horisontell barriär av aktivt kol eventuellt med viss föregående schakt
- Termisk avdrivning samt injektion av kolloidalt kol.

Resultatet från utredningen visar att det finns flera aktörer med olika tekniska lösningar eller kombinationer av lösningar som bedöms kunna säkerställa genomförande av åtgärd med avseende på identifierade risker med föroreningar inom de delar av planområdet där byggnaden ska ha markkontakt och risker med ånginträning kan behöva åtgärdas inför byggnation.

De kostnadsbedömningar som har erhållits i nuläget är indikativa men bedöms vara omkring 10-20 Mkr, vilket får betraktas som en skälig och kostnad för åtgärder i samband med planändring och byggnation i ett projekt som KCV.

Inga åtgärdsförberedande utredningar eller tester har utförts och föroreningarna har inte avgränsats eller kvantifierats vilket är en nödvändighet för att närmare specificera åtgärder, lösningar och kostnader.

En riskvärdering behöver göras när föroreningssituationen är känd, åtgärdsområdet har definierats slutgiltigt och slutliga åtgärdsalternativ har formulerats. Åtgärdsalternativen kan efter det utvärderas i förhållande till åtgärds mål, projektrisker, hållbarhet, genomförbarhet/planerad byggnation mm. I riskvärderingen bör parter från såväl staden som exploatören samt myndigheter medverka för en samsyn och transparens i val av lämpligt åtgärdsalternativ.

Då ytterligare åtgärder blir svåra i framtiden eller redan är svåra i överbyggda närliggande markområden rekommenderas att åtgärderna vid behov kompletteras med olika tekniska skyddsåtgärder för att långsiktigt undanröja eventuella framtida risker med ånginträning till ny byggnad.

Målsättningen har varit att visa att planen utifrån föroreningssituationen kan genomföras enligt den föreslagna markanvändningen till rimliga kostnader och denna målsättning bedöms uppfyllad genom nu utförd åtgärdsutredning.

Genomförande av eventuella åtgärder och föreslagna skyddsåtgärder inför och ihop med byggnation gör att lämpligheten för den nya detaljplanens ändamål

bör kunna säkras och uppfyllas. Slutsatsen är därmed att åtgärder finns och är möjliga för att genomföra föreslagen planändring.

Referenser

Stadsbyggnadskontoret. Tjänsteutlåtande, 2017-09-25. Startpromemoria för planläggning del av Norrmalm 4:41 m.fl., Norra Klarastrandskopplet, i stadsdelen Norrmalm (kontor, bostäder, centrumanvändning och handel)

Structor, 2023-09-28. Behovsbedömning och avgränsning av miljökonsekvensbeskrivning till detaljplan för Norrmalm 4:41 m.fl., Norra Klarastrandskopplet, i stadsdelen Norrmalm, Stockholms stad

Länsstyrelsen, Stockholm. Samrådsyttrande. Avgränsning av miljöbedömning med tillhörande miljökonsekvensbeskrivning gällande detaljplan för Norrmalm 4:41 (Klara City View), Stockholms kommun. 2023-11-13

Naturvårdsverket, 2009. Att välja efterbehandlingsåtgärd En vägledning från övergripande till mätbara åtgärds mål.

Sweco, 2023. Miljö- och hälsoriskbedömning 2023-12-22

Sweco, 2024a. Klara City View, Miljö- och hälsoriskbedömning.

Sweco, 2024b. Övergripande åtgärdsutredning, Sweco januari 2024

[Åtgärdsportalen – Kunskapsbank för åtgärds metoder \(atgardsportalen.se\)](https://atgardsportalen.se)