

# DETALJPLAN FÖR, RIKSBY 1:13 M.FL, VID LINTA GÅRDSVÄG, 2017-16020

ÅTGÄRDSUTREDNING MED AVSEENDE PÅ  
SPRIDNING AV PFAS TILL RECIPIENT

2023-04-28



# Detaljplan för, Riksby 1:13 m.fl, vid Linta gårdsväg, 2017-16020

## Åtgärdsutredning med avseende på spridning av PFAS till recipient

Uppdragsnamn	Centrala Bromma-Riksby - Geohydrologi
Uppdragsnummer	10330614
Författare	Jonas Bermin
Datum	2022-12-12
Ändringsdatum	2023-04-28
Granskad av	Johan Hörnsten
Godkänd av	Johan Hörnsten

## KUND

**Stockholms stad - Exploateringskontoret**

## KONSULT

### WSP

Box 574

201 25 Malmö

Besök: Jungmansgatan 10

Tel: +46 10-722 50 00

WSP Sverige AB

Org nr: 556057-4880

**wsp.com**

## INNEHÅLL

1. Inledning	4
1.1 Bakgrund och syfte	4
1.2 Geologi och hydrogeologi	4
2 Bakgrund PFAS	6
3 Föroreningssituation	8
3.1 Problembeskrivning	8
3.2 Tillämpbara jämförelser	11
4 Åtgärdsmetoder	12
4.1 Schaktning och transport till mottagningsanläggning	12
4.2 Inneslutning/ barriärteknik	12
4.3 Grundvattenpumpning och behandling av uppumpat grundvatten	12
4.4 Solidifiering/ stabilisering av massor	13
4.5 In-situ-behandling av förorening	13
4.6 Biologisk upptagning av förorening	13
4.7 Förhindra inträngning av vatten i ledningssystemet	13
5 Åtgärds mål	14
5.1 Rent vatten ut från länshållningen	14
5.2 Uppskattad miljöpåverkan	14
5.3 Minska mängden PFAS i området	14
6 Åtgärdsuppfyllelse	15
6.1 Ta bort PFAS vid källan	15
6.2 Stoppa förorenat vatten att komma till schakten	15
6.3 Rena vatten som kommer till platsen	16
6.4 Måluppfyllelse	17
6.4.1 Rent vatten ut från länshållningen	17
6.4.2 Uppskattad miljöpåverkan	18
6.4.3 Minska mängden PFAS i området	18
7 Åtgärds kostnader	19
8 Diskussion och slutsats	20
9 Fortsatta utredningar	22
10 Referenser	23

# 1. INLEDNING

Denna rapport avser att behandla grundvattenförhållanden och PFAS-förorening i grundvatten inom området för detaljplan för Riksby 1:13 m.fl. vid Linta gårdsväg (dnr 2017-16020). Situationsplan för planområdet redovisas i Figur 1. Planförslaget innebär att området kring Lintaverken söder om bromma flygplats omvandlas till en stadsdel med bostäder och verksamheter i enlighet med programmet för centrala Bromma.

Utredningen görs inom ramen för Detaljplan för Linta gårdsväg, Riksby 1:13 m.fl. (Dnr 2017-16020). Planförslaget innebär att området kring Lintaverken söder om flygplatsen omvandlas till en stadsdel med bostäder och verksamheter i enlighet med programmet för centrala Bromma. Detaljplanens syfte är att pröva omfattning, placering och utformning för cirka 1250 bostäder samt totalt cirka 150 000 kvm BTA (bruttoarea) verksamhetsyta, en ny grundskola, förskolor, ca 30 000 kvm BTA idrottshallar och ytterligare ytor för idrott utomhus. Dessutom omfattar planen nya gator, torg, parker och tekniska anläggningar. Planen bevarar även delar av det kulturhistoriskt värdefulla Lintaverken.

Detaljplanen är den första av flera tänkta utbyggnadsetapper i norra delen av Riksby. Området ska utvecklas till en hållbar och levande stadsdel med en tät och variationsrik bebyggelse med i befintliga lokala kvaliteter, såsom natur- och kulturvärden samt varierad topografi. Inom området planeras även för ett kvarter som innehåller ett "mobilitetshus" med parkering och service samt en ny pumpstation för fjärrvärme. Detta kvarter handläggs i en separat plan (dnr 2019-03328).

## 1.1 BAKGRUND OCH SYFTE

Inom den ovan nämnda detaljplanen ingår flertalet byggnationer som kräver schaktning till djup som når under grundvattennivån. Detta medför att länsvatten behöver pumpas bort från schakten, dels för att byggnation ska kunna ske torrt dels för att minska geotekniska svårigheter såsom sättningar och uppträngande grundvatten. Mer utförlig information om planerad byggnation samt geologi och hydrogeologiska förhållanden i området redovisas i rapporten "Sammanfattande hydrologirapport inkl. spridningsmönster PFAS och mängder" (WSP, 2023).

Syftet med denna rapport är att visa på möjliga åtgärder för att förhindra eller begränsa spridning av PFAS till recipient som följd av detaljplanens genomförande.

## 1.2 GEOLOGI OCH HYDROGEOLOGI

Området vid Bromma flygplats kan beskrivas som en topografiskt varierande bergöveryta, där dalgångarna fyllts med jordlager. Dalgången som ligger inom detaljplanen i fråga avvattnas naturligt mot Bällstaån i nordöst och avrinningen följer topografin. Den södra delen av planområdet avvattnar naturligt mot Lillsjön.

Historiska kartor över området visar att vissa delar varit utströmningsområde, dvs att grundvatten trängt fram i lägre liggande partier för att bilda bäckar eller vattendrag. I ett urbaniserat perspektiv avvattnas inte området via bäckar utan snarare via ledningar.

Stora delar av området är hårdgjort vilket medför att en stor andel av nederbörden avrinner i dagvatten-system.

Jordlagren består av friktionsjord på bergytan som överlagras av lera. I och med anläggandet av flygplatsen har stora delar av området fyllts ut med mestadels bärlager och fyllnadsmassor, mestadels grovkornigt. Ett övre lager med friktionsjord i form av dessa fyllnadsmassor finns därmed i utfyllda delar av området.



Figur 1. Situationsplan som visar hela planområdet för Detaljplan för Riksby 1:13 m.fl. vid Linta gårdsväg

## 2 BAKGRUND PFAS

PFAS är en förkortning som betyder per- och polyfluorerade alkylsubstanser. Dessa ämnen började tillverkas under 1950-talet och har uppskattats av olika industrier för deras kemiska stabilitet, vatten-, fett- och smutsavvisande egenskaper tillsammans med deras förmåga att sänka ytspänningar. PFAS har bland annat använts för impregnering av kläder och möbler, i stekpannor, i kosmetika samt i brandskum. I brandskum skapar PFAS ett skum med låg viskositet som snabbt kan sprida ut sig över en stor yta och därmed effektivt släcka bränder. Det var länge standard att använda sig av skum innehållande PFAS vid flygplatser för att på ett bra sätt kunna släcka bränder i flygbränsle.

I nyheterna rapporteras förhållandevis ofta att PFAS-förorenat vatten har påträffats i närheten av brandövningsplatser. Detta beror på att brandskum innehållande PFAS ofta har använts vid övningar. Efter en brandövning var det vanligt att brandskummet ligger kvar på marken och sakta infiltrerar till grundvattnet. Många brandövningsplatser ligger på jordlager där vatten enkelt infiltrerar ner i marken vilket har gjort att spridningen från dessa är ganska stor.

PFAS–"familjen" består av minst 4700 ämnen enligt OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development). EPA (USA:s motsvarighet till Naturvårdsverket, Environmental Protection Agency) har en lista på 14735 ämnen som anses tillhöra PFAS-gruppen. Av dessa ämnen finns det restriktioner på en handfull ämnen samt deras föregångare. Laboratorier kan idag rutinmässigt analysera och bestämma runt 30 av dessa PFAS–ämnen. Tabell 1 redovisar en sammanställning över de PFAS–ämnen som berörs i denna rapport.

PFOS och PFOA är två specifika PFAS-ämnen som tidigt identifierades som ämnen som medför en stor hälsorisk. PFAS-4 är en samling av fyra PFAS-ämnen där tillräckligt dataunderlag finns för att EU:s livsmedelsverk har uttalats sig om deras risker vid olika halter. I Sverige har PFAS-11 ofta använts som ett mått på PFAS-halter, det är en summa av 11 PFAS-ämnen som anses medföra en ökad risk och kommer från en lista från svenska Livsmedelsverket. Ibland används PFAS-20 som en summahalt av 20 PFAS-ämnen. Dessa 20 ämnen har bestämts av EU:s livsmedelsverk och ingår i deras vattendirektiv. Det är troligt att dessa olika summeringar kan ändras över tiden när mer data över vilka ämnen som medför förhöjd risk blir känd.

Tabell 1. Lista över olika PFAS–summeringar som används i nyheter samt i olika jämförelser

	PFAS–4	PFAS–11	PFAS–20
<i>Perfluorbutansyra (PFBA)</i>		X	X
<i>Perfluorpentansyra (PFPeA)</i>		X	X
<i>Perfluorhexansyra (PFHxA)</i>		X	X
<i>Perfluorheptansyra (PFHpA)</i>		X	X
<i>Perfluoroktansyra (PFOA)</i>	X	X	X
<i>Perfluornonansyra (PFNA)</i>	X	X	X
<i>Perfluordekansyra (PFDA)</i>		X	X
<i>Perfluorundekansyra (PFUnA)</i>			X
<i>Perfluordodekansyra (PFDoA)</i>			X
<i>Perfluortridekansyra (PFTrA)</i>			X
<i>Perfluorbutansulfonat (PFBS)</i>		X	X
<i>Perfluorpentansulfonsyra (PFPS)</i>			X
<i>Perfluorhexansulfonat (PFHxS)</i>	X	X	X
<i>Perfluorheptansulfonat (PFHpS)</i>			X
<i>Perfluoroktansulfonat (PFOS)</i>	X	X	X
<i>Perfluornonansulfonsyra (PFNS)</i>			X
<i>Perfluordekansulfonat (PFDS)</i>			X
<i>Perfluorundekansulfonsyra (PFUnDS)</i>			X
<i>Perfluordodekansulfonsyra (PFDoDS)</i>			X
<i>Perfluortridekansulfonsyra (PFTrDS)</i>			X
<i>6:2 Fluortelomer sulfonat (6:2 FTS)</i>		X	



### 3 FÖRORENINGSSITUATION

I området har en PFAS-förorening i mark och grundvatten konstaterats från tidigare undersökningar (Sweco, 2019). Den påvisade föroreningen kopplas i huvudsak till Bromma flygplats och tillhörande brandövningsplatser. Vid utförande av byggnationer i området planeras för grundvattensänkningar i samband med både djupare och grundare schakter. Även om de nu kända, mest förorenade delarna befinner sig utanför detaljplanens avgränsning så innebär dagvattenmagasinets placering i detaljplanens norra del, att en kommande grundvattensänkning även kommer att kunna medföra transport av PFAS-förorening med grundvatten till schakt (WSP, 2023).

#### 3.1 PROBLEMBESKRIVNING

Följande risker gällande föroreningsspridning av PFAS har identifierats i anslutning till exploatering inom det förorenade området:

- I nuläget sker en transport från brandövningsplats förbi planerat dagvattenmagasin (se Figur 3) och vidare in mot flygplatsområdet via grundvatten och ledningssystem.
- Inför anläggande av etapp 1 kommer befintligt VA-system att bytas ut, vilket kan medföra förändrade förutsättningar för PFAS-transport i anslutning till detaljplaneområdets norra delar. För att avhjälpa detta planeras en omläggning av de befintliga ledningar som idag leder vatten väster om dagvattenmagasinet norrut mot punkt M3 (Figur 4) och som kommer att påverkas av exploateringen. Syftet med omläggningen är att bibehålla avledningen norrut.
- Under byggande av etapp 1 kommer länshållning av schaktgrop behövas. Länshållningsvattnet riskerar innehålla PFAS, varför rening av länshållningsvattnet planeras.
- Under driftskedet av etapp 1 kan ett PFAS-haltigt vatten via nederbörd och dagvatten komma att nå dagvattenmagasinet. Planen är att ledningar ska göras täta men utifall skarvar trots detta medger ett inläckande grundvatten, kan ytterligare PFAS nå dagvattenmagasinet.

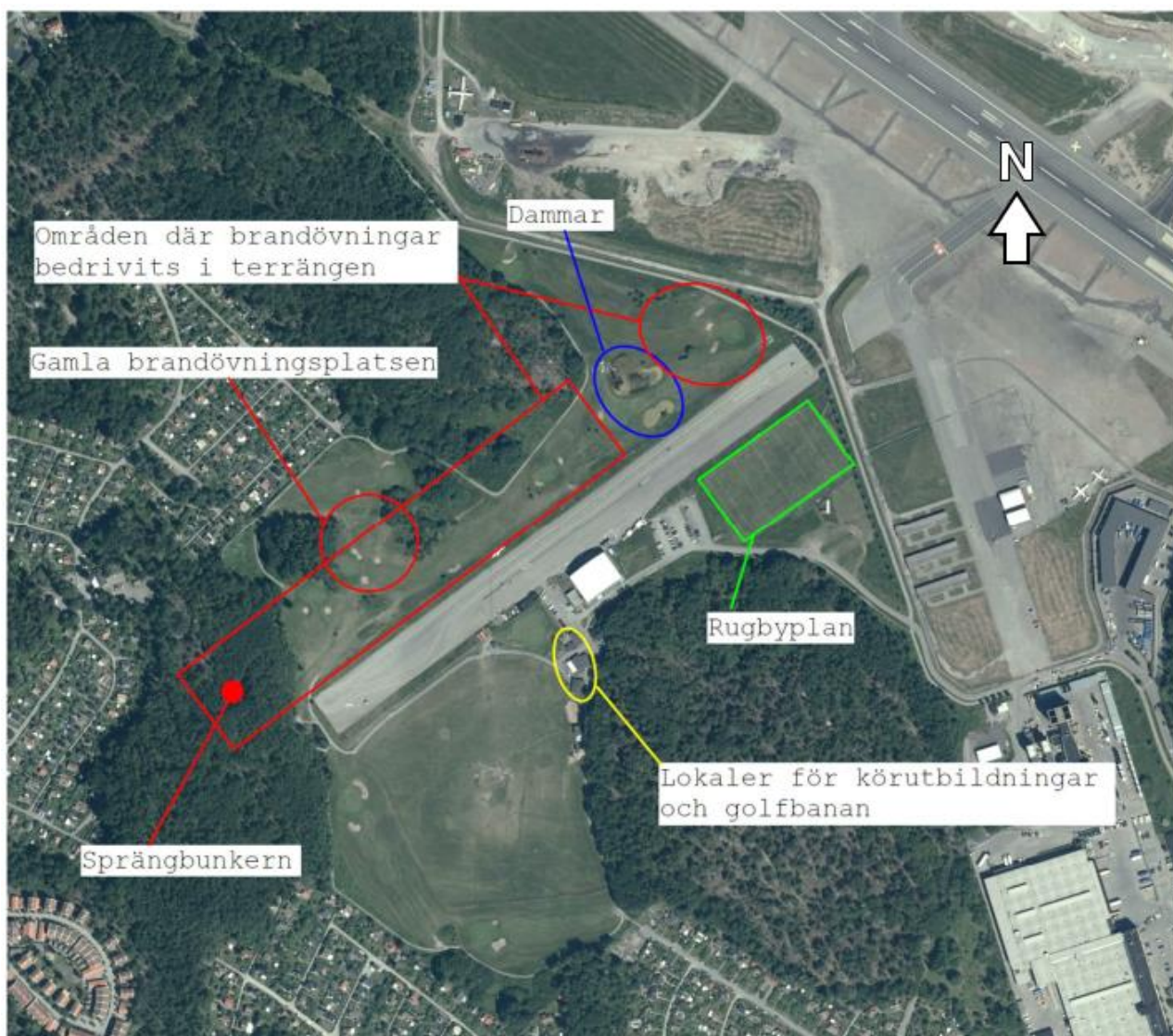
I ett utdrag från Swecos undersökningar (Sweco, 2013) anges angående befintliga dagvattenledningar norr om vattendelaren att:

*"Dagvattenledningarna är inte täta utan är så kallade infiltrationsledningar, vilket medför att det ytliga grundvattnet kan tränga in i rören. Med hjälp av infiltrationsledningar kan den ytliga grundvattenytans nivå kontrolleras och hållas mer konstant."*

Någon definitiv gräns mellan dagvatten och grundvatten blir därmed svår att sätta. PFAS-föroreningen finns i både jord och grundvatten och transporten förväntas ske via grundvatten och dagvatten, från nyttjade brandövningsplatser (se figur 2, 3 och 4 för information om brandövningsplatsernas lägen, jordarter i ytskiktet samt uppmätta och bedömda PFAS-halter i området) längs den tidigare landningsbanan och vidare norrut, in mot flygplatsens område.

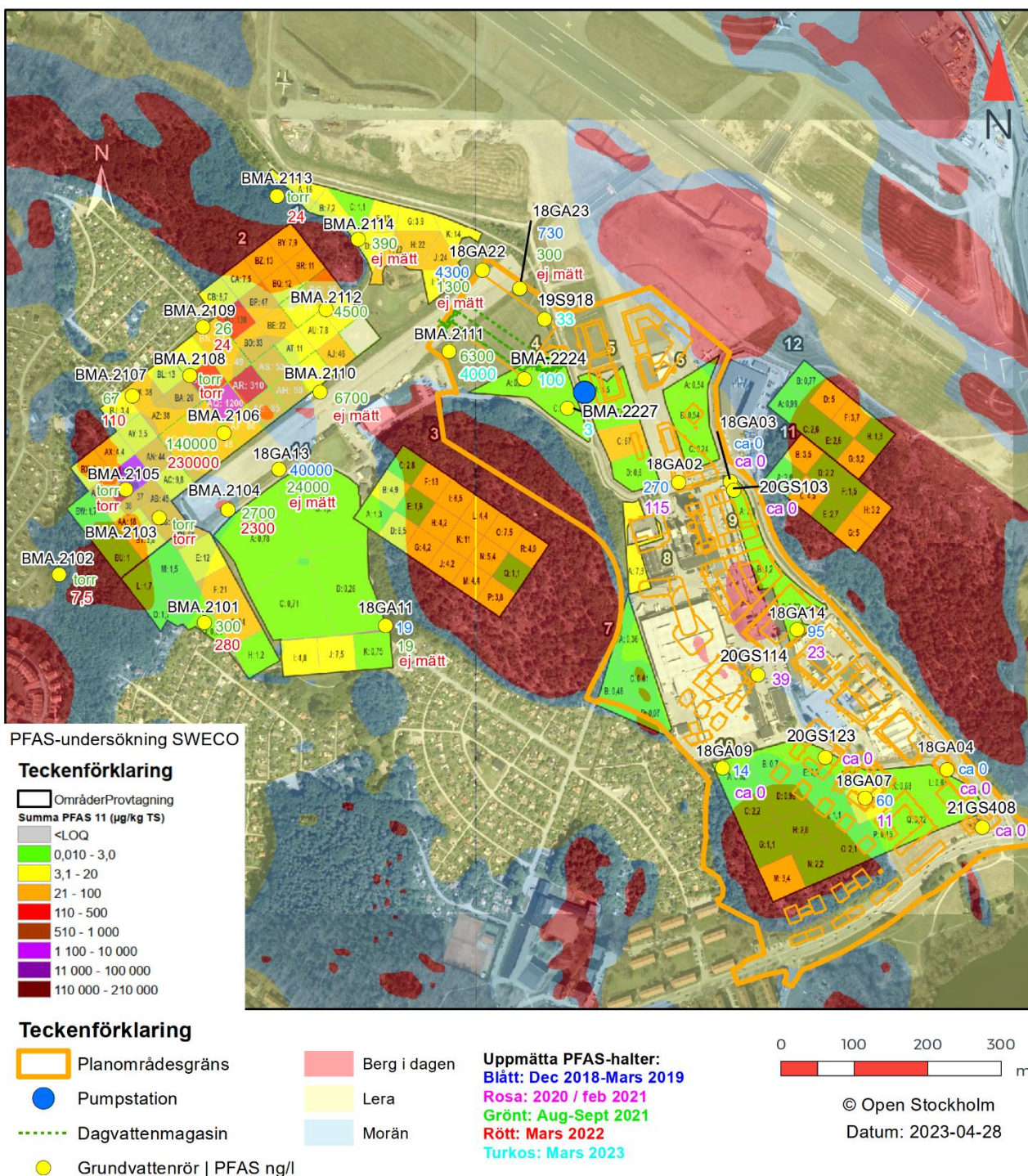
Den norra delen av detaljplanområdet utgör delar av gamla landningsbanan. I denna del planeras ett dagvattenmagasin som en underjordisk betongkonstruktion (se Figur 3) och strax söder om detta en pumpstation. Avsikten är att även efter planerad exploatering leda vatten från PFAS-förorenade områden väster om nu aktuell detaljplan mot nuvarande flygplatsområdet i likhet med idag. I närheten av pumpstationen och dagvattenmagasinet planeras anläggning av växtbäddar som bland annat ska bidra till fördröjning av dagvatten. Bäddarnas placering sammanfaller med ett utströmningsområde för grundvatten och de kommer bidra till viss dränering av grundvatten via dräneringsledningar i växtbäddar, men de bedöms ha liten eller marginell effekt på spridning av PFAS-förorening. Däremot förväntas växtbäddarna precis som för dagvatten bidra till viss fördröjning av föroreningstransporten genom att föroreningar i viss omfattning fastläggs till materialet i växtbädden. Genom inblandning av exempelvis aktivt kol i växtbäddarna kan en bättre fastläggning av PFAS erhållas vilket begränsar föroreningsspridningen. En överslagsberäkning uppskattar att växtbäddar kan leda bort grundvatten under vinterhalvåret och transportera PFAS-mängder i storleksordningen enstaka gram/år till recipienten (WSP, 2023). Beräkningen inkluderar även PFAS i avrinnande nederbördsvatten som når växtbäddarna.





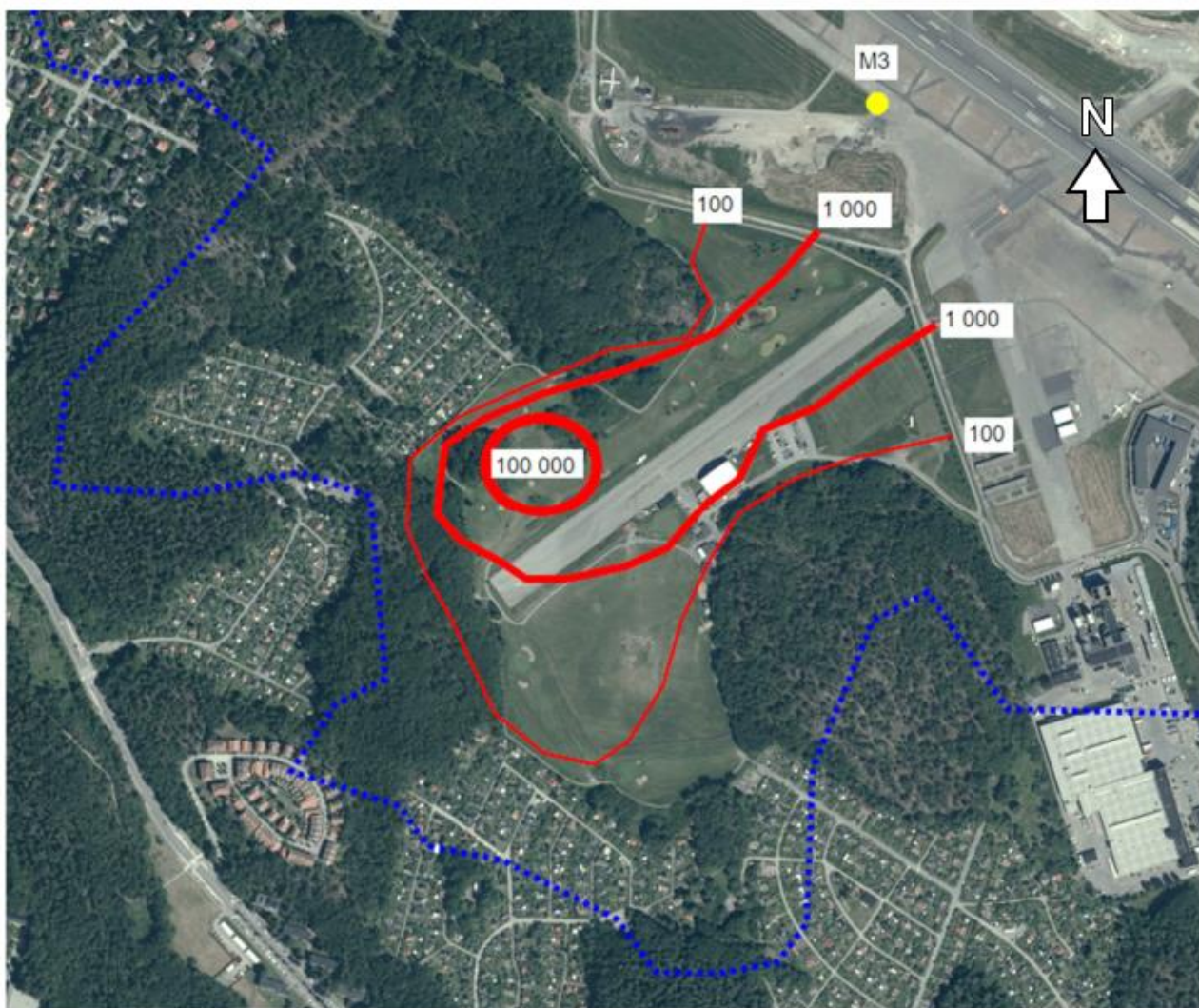
Figur 2. Figur 2.2 från Swecos rapport daterad 2022-09-30. Utbredning av terrängövningsområden är mycket ungefärliga och baseras på svar från intervjuer från personal som arbetat på flygplatsens brandkår (Sweco, 2019).





Figur 3. Schematisk bild av PFAS-undersökningar inom och i närheten av detaljplaneområdet som presenteras med orange linje. Utdrag ur Swecos undersökningar tillsammans med SGU:s jordartskarta samt provtagning av grundvatten.





Figur 4. Schematisk bild av halter av PFAS-11 i grundvattnet (ng/l) samt dagvattenmätpunkten M3. Utdrag ur Figur 3.1 i Sweco (2022).

### 3.2 TILLÄMPBARA JÄMFÖRVÄRDEN

Dagvatten från den norra delen av området för detaljplanen rinner till vattenförekomsten Mälaren-Ulvsundasjön. Den södra delen rinner till samma vattenförekomst men först via Lillsjön. Hela områdets dagvatten kommer ledas till Lillsjön och sedan till Mälaren-Ulvsundasjön för vilken det finns miljö kvalitetsnormer, MKN, för PFOS enligt HVMFS 2019:25.

- MKN för årsmedelvärde PFOS i inlandsvatten är 0,65 ng/l.
- MKN för maximal tillåten koncentration vid enstaka tillfälle för inlandsvatten är 36 000 ng/l.

För att länsvatten från byggskedet ska kunna släppas till recipienten behöver halten av PFAS-11 vara så låg som möjligt, dock max 90 ng/l. För PFOS och PFOA gäller att halten ska vara så låg som möjligt, dock max 20 ng/l för vart och ett av ämnena i enlighet med rapport från Stockholms stads miljöförvaltning "Hantering av länshållningsvatten med avledning till yt- eller grundvatten" från april 2022.

Statens geotekniska institut, SGI, tog 2015 fram preliminära riktvärden för jord och grundvatten (SGI, 2015). Riktvärdena gäller för PFOS men har av försiktighetsskäl tillämpats på summa PFAS11.

## 4 ÅTGÄRDSMETODER

Nedan redovisas möjliga åtgärdsmetoder med syfte att förhindra eller begränsa föroreningsspridning med avseende på PFAS till recipient på grund av detaljplanens genomförande.

### 4.1 SCHAKTNING OCH TRANSPORT TILL MOTTAGNINGSANLÄGGNING

Denna metod fungerar genom att man gräver upp förorenade jordmassor, framförallt över grundvattenytan, för att på så sätt avlägsna föroreningen från platsen. Schaktning under grundvattenytan är erfarenhetsmässigt inte nödvändigt för PFAS-föroreningar eftersom PFAS under grundvattenytan inte binder betydande till jordtyperna inom berört området. Eftersom områden där PFAS kan tänkas befinna sig ovanför grundvatten är kopplat till källzoner innebär metoden att schaktning måste utföras utanför detaljplaneområdet.

Metoden kommer med tiden leda till minskade mängder förorening i grundvattnet och ger därmed en minskning av de mängder förorening som belastar recipienten. Det blir ingen omedelbar effekt på grundvattenhalterna.

### 4.2 INNESLUTNING/ BARRIÄRTEKNIK

Denna metod fungerar genom att en fysisk barriär placeras i grundvattnets spridningsväg. Barriären kan vara utformad så att den stoppar allt vatten, till exempel en tätspont, eller som ett filter som släpper igenom vatten men fångar upp vissa ämnen.

Metoden leder till en minskning av volymen förorenat grundvatten som sprids till recipienten. Vid installation av tätspont är det troligt att man behöver komplettera med grundvattenpumpning och behandling av det uppumpade vattnet eftersom metoden kan innebära att grundvattenytan lokalt däms upp till en högre nivå.

I byggskedet kommer grundvattenbortledning att behövas för att kunna bygga pumpstation, dagvattenmagasin och ledningar. Grundvattensänkning och schaktarbeten kan utföras med skadeförebyggande åtgärder. Sådana åtgärder kan handla om pålning, spontning, markförstärkning eller infiltration/återföring av grundvatten. Spontning minskar normalt inläckage till schaktgrop från sidan, men eliminerar sällan grundvatteninläckage helt eftersom inläckage fortfarande kan ske i botten genom bottenuppträckning av grundvatten (WSP, 2023).

### 4.3 GRUNDVATTENPUMPNING OCH BEHANDLING AV UPPUMPAT GRUNDVATTEN

Metoden tar hand om det vatten som läcker in i en schakt vid byggskedet och fungerar genom att grundvatten pumpas upp från brunnar placerade i eller utanför schakten för att sedan ledas till en reningsanläggning. Reningen syftar till att minska halter i det uppumpade grundvattnet till godtagbara halter innan det släpps till ledningsnät eller återinfiltreras.

Vid spontning av schakt minskar inströmningen av vatten från sidorna under grundvattennivån, men uppträckning av vatten genom schaktbotten kan fortfarande förekomma. Olika spontkonstruktioner har olika förmåga att stoppa inträngande vatten.

En viss ökning av föroreningstransport in till schakten kan ske eftersom pumpningen orsakar en brantare grundvattengradient in mot pumpbrunnarna vilket kan påskynda transport av lösta ämnen.

Efter behandling av det uppumpade grundvattnet kommer spridningen av förorening till recipienten att minska. Det behandlade vattnet kan släppas till dagvattennätet och ledas vidare till recipient eller återinfiltreras på plats beroende på krav på rening och reningseffekt. Metoden fungerar även för rening av nederbörd eller ytvavrinning som når schakten.

#### **4.4 SOLIDIFIERING/ STABILISERING AV MASSOR**

Metoden syftar till att minska utströmningen av grundvatten från de förorenade massorna vid källområdet, antingen genom att förändra genomsläppligheten av massorna eller genom att man kemiskt binder fast föroreningarna vid källzonen.

Metoden binder fast föroreningen i dess läge vid källan med syftet att minska lakbarheten och spridningen av föroreningen.

#### **4.5 IN-SITU-BEHANDLING AV FÖRORENING**

Metoden syftar till att bryta ned föroreningen in-situ (på plats), så att den inte sprids vidare.

Metoden kan utföras antingen kemiskt eller biologiskt för att bryta ned föroreningen på plats.

För PFAS finns i dagsläget inga storskaliga exempel som visar på att detta kan fungera i praktiken. Ett fåtal metoder har presenterats på labbförsök som har påvisat nedbrytning av PFAS-ämnen under specifika förhållanden i liten skala. Stora forskningsresurser läggs på att ta fram metoder för nedbrytning av PFAS på den globala scenen vilket gör att förhoppningen är att praktiskt fungerande metoder kommer att tas fram inom en inte alltför lång framtid.

#### **4.6 BIOLOGISK UPPTAGNING AV FÖRORENING**

Metoden syftar till att fånga upp föroreningen genom växter som växer på området. Växterna tas sedan om hand och skickas till extern mottagningsanläggning för destruktion. Denna metod har testats på PFAS med framför allt olika typer av Salixväxter med positiva resultat

Metoden fungerar genom att förhållandevis snabbväxande växter drar åt sig förorenat grundvatten och sedan ackumulerar föroreningen i växtdelarna.

#### **4.7 FÖRHINDRA INTRÄNGNING AV VATTEN I LEDNINGSSYSTEMET**

Ledningar med tillhörande system för hantering av dagvatten förutsätts vara täta för att förhindra inträngning av förorenat grundvatten. Med syfte att minska risken för att skador uppkommer på infrastrukturen och med det risken för inträngning av förorenat grundvatten i driftskedet planeras försiktighetsåtgärder att vidtas. Exempel på försiktighetsåtgärder redovisas nedan.

- Strömningssavskärande fyllning kring ledningar inom områden där förorenat grundvatten förväntas. Med en väl dimensionerad och utförd åtgärd kan risken för inträngning av förorenat grundvatten i ledningar minska avsevärt. Risk för uppträckning i botten kvarstår.
- Dagvattenledningar anläggs inom tätspont. Åtgärden minimerar risker för inträngning av förorenat grundvatten från sidorna men risk för uppträckning i botten kvarstår. En tätspont kan komma att påverka grundvattnets strömningssmönster i området om den installeras tvärs grundvattnets strömningssiktning.

- Med syfte att minimera risken för sättningsskador på ledningar kan dessa anläggas på betongplatta. Åtgärden bedöms vara mest relevant för större dagvattenledningar ( $\varnothing > 1000$  mm).
- Ett alternativt sätt att minimera risken för sättningsskador i områden med sättningsskänslig mark är att använda KC-pelare.
- Genom att undvika växtbäddar inom områden där de kan förväntas dränera ett förorenat grundvatten kan risker för påverkan på dagvatten begränsas. Ett alternativ till att undvika växtbäddar är att anlägga dessa med tät botten för att förhindra upptryckning av grundvatten.
- Undvika att anlägga dräneringsledningar under grundvattenytan. På grund av grundvattenytans ytliga läge i delar av området kan denna åtgärd vara svår att förena med andra tekniska krav för exploateringen.

## 5 ÅTGÄRDSMÅL

Nedan redovisas de åtgärds mål som utvärderats för respektive åtgärds teknik inom ramen för denna utredning.

### 5.1 RENT VATTEN UT FRÅN LÄNSHÅLLNINGEN

Enligt Stockholms stad (2022) ska länshållningsvatten vara så rent som möjligt med avseende på PFAS, dock högst 90 ng/l för PFAS11 och 20 ng/l för PFOS och PFOA var för sig.

### 5.2 UPPSKATTAD MILJÖPÅVERKAN

En uppskattning av hur stor påverkan på miljön tas fram som en översiktlig parameter. Det gäller dels utsläpp av växthusgaser, dels påverkan på mer lokal nivå där stora markarbeten kan påverka den lokala miljön.

### 5.3 MINSKA MÄNGDEN PFAS I OMRÅDET

En uppskattning om hur åtgärdsalternativet kan minska den totala mängden PFAS i området tas fram. Detta mål avser att visa på långsiktiga effekter för området där en minskning medför att eventuell framtida rening dag-/grundvatten kan förkortas i tid.



## 6 ÅTGÄRDSUPPFYLLELSE

I detta avsnitt redovisas en genomgång av hur olika åtgärdestekniker uppfyller de olika åtgärdsmålen beskrivna i kapitel 5.

### 6.1 TA BORT PFAS VID KÄLLAN

De metoder som syftar på att ta bort PFAS från källzonen är schaktning av jord, in-situ behandling av föroreningen samt biologisk upptagning.

- Bortschaktning av förorenad jord avser att minska mängden PFAS i området för att på så sätt minska halterna som sprids i grundvatten över tid. Metoden medför stor påverkan på området eftersom stora jordmassor behöver grävas bort. Även transport till tillståndsgiven mottagningsanläggning medför en miljöpåverkan. Erfarenhetsmässigt kan det vara svårt att hitta mottagningsanläggningar som är dels lämpliga, dels villiga att ta emot PFAS-förorenade massor. Urschaktning fokuseras på de områden som har högst halter av PFAS för att minska mängden förorening.
- En fungerande in-situ behandlingsmetod i fullskala för PFAS-förorenade massor finns inte idag. Nyligen har metoder som kan bryta ned PFAS i labbmiljö beskrivits men i dagsläget är de inte praktiska att använda i fullskala. En av dessa metoder och visat lovande resultat är termisk behandling.
- Biologisk upptagning av föroreningen genom växter kan minska mängden PFAS vid källområdet sett över en längre tidsrymd. Metoden kräver att man dels tar hand om de större växtdelarna dels eventuella blad som kan tappas på hösten eftersom de skulle kunna leda till en sekundär källa av PFAS-förorening om de får spridas i området.

### 6.2 STOPPA FÖRORENAT VATTEN ATT KOMMA TILL SCHAKTEN

Genom att stoppa vattnets väg från det förorenade området från att komma till området som behöver länshållas minskas spridningen av PFAS-ämnen genom länsvatten.

- Solidifiering av källzon kan utföras genom inblandning av olika cementliknande material i massorna som skapar ett material som inte tillåter vatten att transporteras igenom sig. Metoden är kostsam då området som behöver behandlas troligtvis är relativt stort. Det vatten som i normala fall transporteras i jorden skulle behöva tas om hand för att motverka översvämningar. Marken blir vid denna metod troligtvis inte lämplig att använda för framtida exploatering. Metoder med kemisk stabilisering av PFAS är under utvecklande men metoderna är idag inte utvecklade att tillämpas kommersiellt.
- Tät spontning av området runt schaktgropar som kräver länshållning skulle skapa en mindre volym länsvatten och en mindre mängd PFAS-föroreningar att behandla. Tät spontning kräver stora insatser för att skapa en tät barriär och förändrade flödesförhållanden kan göra att vatten behöver tas om hand för att motverka översvämningar. Spontningen förhindrar inte att grundvatten trycker upp i schakten underifrån vilket medför att en länshållning kan bli nödvändig för att förhindra dels att schakten blir översvämmad dels markstabilitetsproblem som orsakar geotekniska svårigheter med bottenuppträckning av jord. Givna geologiska förutsättningar kan påverka möjligheten att installera en tät spont.
- Genom att skapa en avledning av vatten som kommer från det förorenade området kan man tillse att inget vatten med förhöjda PFAS-halter når området som ska länshållas. För att denna metod ska fungera krävs troligtvis en länshållning i det förorenade området som ser till att skapa en grundvattensänkning lokalt vilket gör att inläckande grundvatten till schakten inte kommer från det förorenade området. Avledning förhindrar inte att



grundvatten trycker upp i schakten underifrån vilket medför att en länshållning blir nödvändig för att förhindra dels att schakten blir översvämmad dels att upptryckningen orsakar geotekniska svårigheter. En ökad avsänkning kan även skapa sättningar i jorden över ett större område.

- Genom att installera ett flytande kolfilter i marken i närhet av området kan vatten fortfarande transporteras till området som ska länshållas medan föroreningar som PFAS stannar kvar i kolet och därmed inte tar sig till länsvattnet. Injektering av flytande kol kräver detaljerade förberedande studier inklusive lokala pilotförsök för att bedöma lämpligheten för metoden i området samt hur mycket kol som behöver injekteras.
- Försiktighetsåtgärder planeras för att minimera risken för inträngning av förorenat grundvatten i ledningssystemet under driftskedet. Exempel på försiktighetsåtgärder som är planerade är strömningsavskärande fyllning kring ledningar under grundvattenytan, tätspont kring ledningar, stabiliserad ledningsbädd med betongplatta eller KC-pelare samt att växtbäddar i de förorenade områdena i norra delen utförs täta eller utan dräneringsledning eller motsvarande.
- Forskning för att utveckla tekniker för att bryta ner PFAS i vatten pågår med bland annat elektrooxidation och icke-termisk joniserad plasmabehandling. Inga av dessa tekniker är idag utvecklade att tillämpas kommersiellt.

## 6.3 RENA VATTEN SOM KOMMER TILL PLATSEN

Genom att rena länsvattnet från området kan man stoppa spridningen av förorening innan det når recipienten.

Pump-and-treat är en metod där vatten pumpas upp i uttagsbrunnar för att sedan ledas till en reningsanläggning där föroreningen tas bort från vattnet som sedan kan släppas ut till recipienten eller återinfiltreras. Reningsanläggningen kan fungera genom olika metoder (kolfilter, jonbytare, nanofiltrering, omvänd osmos, termisk destruktion eller skumfraktionering). Åtgärden kräver förberedelser genom uttagsbrunnar, alternativt pumpgropar i schakten, samt plats för en reningsanläggning. Reningsanläggningen kan antingen befinna sig i schakten och får oftast plats i en eller ett par containrar eller så kan den befinna sig i närheten av schakten så länge som det finns möjlighet att pumpa vatten till den. Om det finns en mer permanent reningsanläggning i närområdet kan en möjlighet vara att använda sig av dess kapacitet för att minska på dels kostnader, dels miljöpåverkan.

## 6.4 MÅLUPPFYLLELSE

Det övergripande målet med åtgärder för att förhindra spridning av PFAS är att förhindra negativ påverkan på ytvattenrecipient (Lillsjön/Ulvsundasjön) eller grundvatten om behandlat vatten återinfiltreras. Nedan redovisas bedömd måluppfyllelse för olika åtgärder. I Tabell 2 innebär röd markering att målet inte uppfylls, gul markering att målet delvis eller möjligtvis uppfylls och grön markering att målet uppfylls. En kombination av en eller flera åtgärder kan ge ett bättre utfall än en enskild åtgärd.

Tabell 2. Måluppfyllelse för de ingående metoderna där röd markering innebär att målet inte uppfylls, gul markering innebär att målet delvis eller möjligtvis uppfylls och grön markering innebär att målet uppfylls

	Rent vatten ut från länshållningen	Uppskattad miljöpåverkan	Minska mängden PFAS i området
Ta bort PFAS vid källan			
Stoppa förorenat vatten att komma till schakten			
Rena vatten som kommer till schakten			

### 6.4.1 Rent vatten ut från länshållningen

De tre olika åtgärdsmetodernas måluppfyllelse för målet om att förhindra eller begränsa spridning av PFAS till recipient vid planens genomförande har bedömts enligt följande:

- Ta bort PFAS vid källan: Uppnår inte målet
- Stoppa förorenat vatten att komma till schakten: Kan möjligtvis uppnå målet
- Rena vatten som kommer till schakten: Uppnår målet

Genom att ta bort PFAS vid källzonen riktar man in sig på att ta bort den största massan av PFAS som finns i området. Detta är troligtvis ett område som ligger vid brandövningsplatserna. Detta område ligger utanför detaljplaneområde och åtgärden skulle inte ge omedelbar effekt på föroreningshalter i grundvatten i området där schakten planeras varför måluppfyllelse inte uppnås. Att ta bort källzonen är en önskvärd åtgärd för att långsiktigt begränsa föroreningsbelastningen på recipienten.

Att stoppa förorenat vatten från att komma till schakten kan möjligtvis uppnå målet att ha rent länsvatten ut från schakten. Metoden kan, som beskrivet ovan, antingen rikta in sig på att inte tillåta något vatten från förorenat område att nå schakten eller att inte låta någon förorening följa med inträngande vatten till schakten. Dessa alternativ innebär utmaningar men om de fungerar så uppfylls målet om att begränsa föroreningsspridningen från schakt/länsvatten. Problem med uppträngande grundvatten vid tätspont och ökade risker för sättningar i omkringliggande mark kan uppstå. Försiktighetsåtgärder planeras för att minska risken för inträngning av förorenat grundvatten till ledningsnätet under driftskedet.

Åtgärdsalternativet som renar vatten som kommer till schakten uppfyller målet om att länsvatten från schakten ska vara rent. Metoden ser till att allt vatten som pumpas upp genom länshållning går igenom någon form av reningsanläggning innan det släpps ut till recipienten eller återinfiltreras. Det finns en mängd olika reningsmetoder som kan vara tillämpbara och vilken metod som är bäst för detta område beror på vattnets fysikaliska och kemiska egenskaper tillsammans med flödesvolymerna. Det är troligt att de reningsmetoder som nämnts ovan kan nå ner till de nivåer som Stockholm stad angett i sin rapport om länshållningsvatten (så lågt som möjligt dock högst 90 ng/l för PFAS11 samt högst 20 ng/l för vardera PFOS och PFOA) (Stockholm Stad, 2022).

#### 6.4.2 Uppskattad miljöpåverkan

De tre olika åtgärdsmetodernas måluppfyllelse för målet om att miljöpåverkan har bedömts på följande vis:

- Ta bort PFAS vid källan: Uppnår inte målet
- Stoppa förorenat vatten att komma till schakten: Kan möjligtvis uppnå målet
- Rena vatten som kommer till schakten: Uppnår målet

Att ta bort PFAS vid källan kräver troligtvis ett arbete som innebär stora insatser med urschaktning av förorenad jord med vidare transport av denna jord till tillståndsgiven mottagningsanläggning. Ny jord behöver också tillföras till området för att fylla upp området som schaktats ur. Schaktning och transport innebär stora utsläpp av växthusgaser eftersom stora massor av jord behöver grävas upp och förflyttas.

Åtgärdsalternativet att stoppa vatten från att nå schakten kan uppnå måluppfyllelsen om miljöpåverkan då alternativet kan utföras genom förhållandevis små insatser. Alternativet kan dock innebära större arbeten om spontning ska utföras runt schakten. Åtgärdsalternativet minskar inte föroreningsbelastningen på recipienten.

Åtgärdsalternativet att rena vatten som kommer till schakten uppskattas att nå målet om miljöpåverkan då inga större arbeten behöver utföras och eventuella reningsanläggningar kan arbeta utan stora utsläpp av växthusgaser om de kan kopplas in på elnätet. Reningsanläggningarna ska undvikas att köras på dieselgeneratorer då det innebär ökade utsläpp.

#### 6.4.3 Minska mängden PFAS i området

De tre olika åtgärdsmetodernas måluppfyllelse för målet om att ha rent vatten ut från länshållningen har bedömts på följande vis:

- Ta bort PFAS vid källan: Uppnår målet
- Stoppa förorenat vatten att komma till schakten: Uppnår inte målet
- Rena vatten som kommer till schakten: Uppnår inte målet

Åtgärdsalternativet att ta bort PFAS vid källan avser att minska mängden PFAS i området och klarar därmed målet. Om föroreningskällan i jord åtgärdas kvarstår en föroreningsplym i grundvatten som under lång tid strömmar mot Ulvsundasjön och på vägen späds allt mer.

Att stoppa förorenat vatten från att nå schakten kommer inte att minska mängden PFAS i området eftersom källan då finns kvar.

Genom att rena vatten som kommer till schakten säkerställs att PFAS inte sprids genom länsvattnet i halter och mängder som bedöms utgöra en risk för recipienten men det åtgärdar inte källan varför målet inte uppfylls. En viss minskning av mängden PFAS i området sker genom den PFAS som renas från vattnet.

## 7 ÅTGÄRDSKOSTNADER

Översiktliga kostnadsbedömningar för de olika åtgärdsmetoderna har gjorts och redovisas i Tabell 3.

Tabell 3. En uppskattning av kostnaderna av de olika åtgärdsalternativen presenteras på samma sätt som måluppfyllelseerna där röd markering innebär att kostnaderna troligtvis är relativt höga, gul markering innebär att kostnaderna troligtvis är medelhöga och grön markering innebär att kostnaderna är relativt lägre

	Uppskattad kostnad
Ta bort PFAS vid källan	
Stoppa förorenat vatten att komma till schakten	
Rena vatten som kommer till schakten	

Bedömningen för de tre olika åtgärdsmetoderna har skattats på följande vis:

- Ta bort PFAS vid källan: Relativt höga kostnader
- Stoppa förorenat vatten att komma till schakten: Medelhöga kostnader
- Rena vatten som kommer till schakten: Relativt lägre kostnader

Anledningen till dessa uppskattningar baseras på följande:

Att ta bort PFAS vid källan kräver stora insatser med urschaktning av förorenad jord med vidare transport av denna jord till tillståndsgiven mottagningsanläggning. Detta markarbete medför stora kostnader.

Att förhindra förorenat vatten att komma till schakten innebär att anläggningar som är förhållandevis permanenta installeras i marken. Tät spontning kräver stora insatser med tunga maskiner vilket medför stora kostnader. Spontning planeras för dagvattenmagasin och pumpstation men dess utförande är inte beslutat. Spontning längs ledningar i utvalda lägen är en möjlig försiktighetsåtgärd med syfte att minimera risken för inträngning av förorenat grundvatten i ledningssystemet under driftskedet. Andra möjliga försiktighetsåtgärder är strömningsavskärande fyllning kring ledningar under grundvattenytan eller stabilisering av ledningsbädden med betongplatta eller KC-pelare.

Solidifiering av marken samt avledning av vatten kan troligtvis utföras utan alltför stora kostnader men medför extra kostnader för att ta hand om överskottsvatten för att motverka översvämningar. Injektering av flytande kol är troligtvis en förhållandevis kostnadseffektiv åtgärdsmetod om pilotförsök visar att metoden är tillämplig i området.

Att rena vatten som kommer till schakten innebär att någon form av reningsanläggning kopplas på länsvattnet. Anläggningen används bara under skedet som det behövs och kan sedan flyttas från platsen till andra områden. Inledande karakterisering av länsvattnet är viktigt att utföra innan val av reningsmetod fastslås eftersom vattnets egenskaper kan påverka vilka metoder som är bäst och därmed kan vara effektivast för vattnet i området. Denna metod fungerar även efter att den djupa schakten är färdig om behov finns. Vatten kan fortsätta pumpas upp från området för att stoppa eventuell transport av förorenat grundvatten i området.

## 8 DISKUSSION OCH SLUTSATS

Det åtgärdsalternativ som uppfyller flest uppsatta åtgärds mål är rening av vatten som kommer till schakten. Åtgärdsalternativet kan utföras med några olika tekniska lösningar men med liknande förfarande. Vatten behöver pumpas upp från schakten till en reningsanläggning som kan ha ett eller flera steg för att kunna rena vattnet.

En översiktlig genomgång av olika reningsmetoder redovisas nedan:

- Kolfilter:

Vatten pumpas genom aktivt kol som renar vattnet från föroreningar. Kolfiltren är inte selektiva för just PFAS utan plockar upp en mängd olika ämnen vilket leder till att kolfiltren snabbt kan fyllas och minska i effektivitet om vattnet innehåller stora mängder av andra ämnen (såsom metaller och organiska föreningar). Kolfilter är också känsliga mot suspenderade ämnen då de kan störa vattenflödet genom filtret. Detta motverkas av att man förbehandlar vattnet för att minska mängden suspenderat material genom sedimentationsanläggningar med eller utan tillsats av flockningsmedel.

Det aktiva kolet behöver bytas med jämna mellanrum och det suspenderade kolet behöver skickas till lämplig anläggning för destruktion under höga temperaturer.

- Jonbytare:

Vatten pumpas genom jonbytarmaterial som renar vattnet från föroreningar. Jonbytare kan vara selektiva för just PFAS men plockar även upp en mängd olika ämnen vilket leder till att materialet kan fyllas upp och minska i effektivitet om vattnet innehåller stora mängder av andra ämnen (såsom metaller och organiska föreningar). Jonbytare är också känsliga mot suspenderade ämne då de kan störa vattenflödet genom filtret. Detta motverkas av att man förbehandlar vattnet för att minska mängden suspenderat material genom sedimentationsanläggningar med eller utan tillsats av flockningsmedel. Jonbytare kräver också förhållandevis stabila fysikaliskt-kemiska förhållanden på inkommande vatten då effektiviteten kan ändras med ändrade vattenegenskaper.

Jonbytarmaterialet kan ofta tvättas ur när det blivit fullt för att sedan regenereras och därmed kunna fortsätta plocka upp föroreningar från vattnet. Den PFAS som tvättas ut under regenereringen behöver tas omhand och skickas till lämplig anläggning för destruktion under höga temperaturer.

- Nanofiltrering och omvänd osmos:

Nanofiltrering och omvänd osmos fungerar på samma sätt men med lite olika skalor. Metoden går ut på att man renar uppumpat vatten genom filter med väldigt små porer. Omvänd osmos fungerar med porstorlekar på cirka 1 nanometer och nanofiltrering har porstorlekar runt 2 – 5 nanometer. Metoderna kräver höga vattentryck för att pressa vattnet igenom dessa filter som sätts igen ganska snabbt beroende egenskaperna av ingående vatten. Förbehandling för att minimera större, suspenderat material hjälper till med att hålla livslängden på filtren. Metoderna är förhållandevis okänsliga för förändringar i fysikaliskt-kemiska egenskaper men kräver ett högt vattentryck vilket kostar förhållandevis mycket pengar.

Filtren behöver bytas när de satt igen för mycket. De kan ofta backspolas några gånger vilket gör att man kan använda sig av filtren under en längre tid. Efter byte behöver de destrueras i hög temperatur för att förstöra de uppsamlade ämnena.

- Skumfraktionering:

Skumfraktionering är en metod som fungerar genom att man blåser luft igenom det uppumpade vattnet och använder sig av PFAS skumbildande egenskaper. Det bildade skummet letar sig upp till toppen av behållaren där det kan avskiljas från den stora vattenmassan. Denna process genomförs i steg där man skapar ett koncentrerat skum i sista steget. Metoden fungerar framför allt på vatten som innehåller förhållandevis höga halter av PFAS eftersom det krävs en viss mängd PFAS i vattnet för att skapa skum men det finns möjligheter att tillföra ett ytaktivt ämne som gör att skumbildningen ökar. Metoden fungerar bra på både små och stora vattenflöden men är vanligast förekommande vid större flöden.

Endast en liten vattenvolym med höga halter av PFAS blir kvar efter behandling genom skumfraktioneringen. Denna volym behöver destrueras i höga temperaturer (eller genom termisk destruktion).

Det länsvatten som förväntas i projektet kommer att vara blandat med inträngande vatten med lägre halter av PFAS varför halten av PFAS i det vatten som ska behandlas sannolikt kommer att vara för låg för att metoden ska vara lämplig i detta fall.

- Termisk destruktion

En metod som avser att totalt bryta ned föroreningen finns där vattnet värms upp och behandlas under tryck tills det blir superkritiskt. Under dessa egenskaper kan PFAS, och andra ämnen, oxideras. Denna metod förstör kol-fluorbindningarna och därmed PFAS-ämnena men är i dagsläget inte ämnad att ta hand om stora volymer vatten. Metoden kräver stora tryck och höga temperaturer och förknippas med stora kostnader.

Reningsanläggningen som ska rena vatten som kommer till schakten behöver vara robust och samtidigt ge tillräcklig reningsgrad. Utifrån förutsättningarna anses en anläggning med kolfilter som den mest lämpliga. Övriga metoder kan eventuellt uppnå högre reningsgrad men de kräver stabilare ingångshalter och fysikalisk-kemiska egenskaper än vad som förväntas. För att kunna göra definitivt teknikval för åtgärd krävs sannolikt ett försök i bänk- eller pilotskala med syfte att ta fram underlag för att kunna dimensionera reningsanläggningen.

Oavsett teknikval för behandling av vatten är det sannolikt att ett föregående behandlingssteg med partikelavskiljning kommer att krävas. Detta kan göras genom sedimentation, i anläggning med lamellavskiljare, i centrifug eller liknande.

Teknikutvecklingen avseende behandling av PFAS i vatten är snabb och det kan inte uteslutas att det finns andra tekniska löningar tillgängliga på marknaden när åtgärden ska utföras. En förnyad förutsättningslös översyn av tillgängliga behandlingsmetoder rekommenderas därför innan val av åtgärds teknik.

Försiktighetsåtgärder planeras för att minimera risken för inträngning av förorenat grundvatten i ledningssystemet under driftskedet och på så sätt minimera behovet av vattenbehandling. Exempel på försiktighetsåtgärder är strömningsavskärande fyllning kring ledningar under grundvattenytan, tätspont kring ledningar, stabiliserad ledningsbädd med betongplatta eller KC-pelare samt att växtbäddar i de förorenade områdena i norra delen utförs täta eller utan dräneringsledning eller motsvarande.

## 9 FORTSATTA UTREDNINGAR

För att kunna förorda och beskriva en lämplig metod för behandling av länsvatten i underlag för entreprenadupphandling krävs sannolikt ett försök i bänk- eller pilotskala med syfte att ta fram underlag för att kunna dimensionera reningsanläggningen. Försöket med metod för behandling av PFAS-förorenat vatten bör kombineras med behandlingssteg för partikelavskiljning. Vid planering av försöket kan med fördel goda exempel på genomförda liknande projekt studeras.



## 10 REFERENSER

Havs- och vattenmyndigheten, 2019. Föreskrifter (HVMFS 2019:25) om klassificering och miljö kvalitetsnormer avseende ytvatten

Sgi, 2015. Statens geotekniska institut. Preliminära riktvärden för högfluorerade ämnen (PFAS) i mark och grundvatten. Publikation 40

Stockholm Stad, 2022. Hantering av länshållningsvatten med avledning till yt- eller grundvatten

Sweco, 2013. Swedavia Bromma Airport Översiktlig undersökning av förekomst och spridning av perfluorerande ämnen vid brandövningsplats Bromma flygplats, uppdrag 1155872000. Upprättad för Swedavia

Sweco, 2013: Swedavia Bromma PFOS. Fördjupad undersökning av av perfluorerande ämnen vid Bromma flygplats, uppdrag 1155872000. Upprättad för Swedavia

Sweco, 2019: Bromma PFAS–Sammanställning av tidigare utförda undersökningar. Uppdragsnummer 13007143. Upprättad för Swedavia

Sweco, 2021: Dagvattenutredning. Flödesmätning och provtagning av PFAS på Bromma Airport. Uppdragsnummer 30004640.030. Upprättad för Swedavia

Sweco, 2022: Åtgärdsutredning PFAS. Gamla brandövningsplatsen. Bromma Airport. Uppdragsnummer 30004640.160. Upprättad för Swedavia

WSP, 2023: Linta Gårdsväg - Sammanfattande hydrologirapport inkl. spridningsmönster PFAS och mängder. Upprättad för exploateringskontoret, Stockholm stad

## VI ÄR WSP

WSP är en av världens ledande rådgivare och konsultbolag inom samhällsutveckling. Med cirka 55 000 medarbetare i över 40 länder samlar vi experter inom analys och teknik, för att framtidssäkra världen.

Tillsammans med våra kunder tar vi fram innovativa lösningar för en mänsklig, trygg och välfungerande morgondag. Vi planerar, projekterar, designar och projektleder olika uppdrag inom transport och infrastruktur, fastigheter och byggnader, hållbarhet och miljö, energi och industri samt urban utveckling. Så tar vi ansvar för framtiden.

**wsp.com**

**WSP Sverige AB**  
Box 574  
201 25 Malmö  
Besök: Jungmansgatan 10

T: +46 10-722 50 00  
Org nr: 556057-4880  
**wsp.com**

