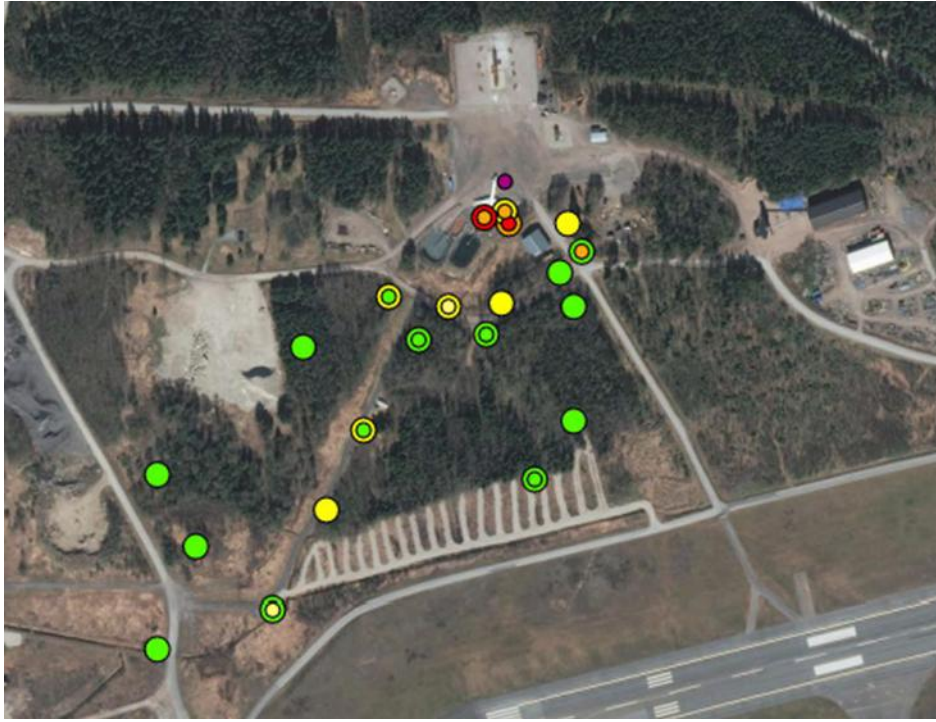




UMEÅ UNIVERSITET



Sanering av PFAS-förorenad mark på Arlanda flygplats

Catrine Stenmark / Matz Norling
2023-03-16

Projektarbete
Marksanering, 7,5 hp
Vt 2023

1. Inledning och bakgrund

1.1 PFAS

Per- och Polyfluorerade AlkylSubstanser (PFAS) är ett samlingsnamn för över 10.000 olika fluorerade organiska ämnen med varierande egenskaper och utbredd användning i samhället. Alla PFAS-ämnen är syntetiskt framställda av människan och består av en kolkedja där väteatomerna är helt eller delvis utbytta mot fluoratomer. Eftersom bindningen mellan kol och fluor är så stark blir ämnena extremt svårnedbrytbara (persistenta). (Kemikalieinspektionen, PFAS)

Många PFAS-ämnen misstänks ha skadliga effekter för människa och miljö. Två av de mest studerade PFAS-ämnena är PFOS (perfluoroktansulfonat) och PFOA (perfluoroktansyra) som är klassificerade som bland annat reproduktionstoxiska och misstänkt cancerframkallande. PFOA är ett så kallat PBT-ämne, vilket innebär att det är bevisat Persistent, Bioackumulerande och Toxiskt. (Kemikalieinspektionen, PFAS)

De olika PFAS-ämnena sprids på olika sätt i miljön. En del är flyktiga och kan spridas långa avstånd via luft, medan joniserade former främst sprids via vatten och genom bindning till partiklar av organiskt material som t.ex. jordpartiklar. (Kemikalieinspektionen, PFAS)

PFAS-ämnen har en vattenlöslig (hydrofil) del och en vattenavstötande (hydrofob/lipofil) del, vilket gör att de kan lägga sig som ett skikt mellan vatten och ett organiskt lösningsmedel, eller mellan vätska och en fast yta. Vissa PFAS används i brandskum som är avsett för att släcka vätskebränder. PFAS skapar då ett tunt vattenskikt mellan skummet och den brinnande vätskan. (Kemikalieinspektionen, PFAS)

1.2 PFAS på Arlanda

Under många år har ett PFAS-innehållande brandsläckningsskum som kallas AFFF använts på Swedavias flygplatser. Luftfartsverket införde år 2008 ett förbud mot att använda AFFF vid övning. År 2011 övergick Swedavia helt till att använda ett PFAS-fritt alternativ som kallas Moussol-FF 3/6. (Om Swedavia, *Vårt miljöansvar*) (Stockholm Arlanda Airport, PFAS) Men eftersom PFAS är svårnedbrytbart så finns föroreningar kvar i mark och grundvatten på platser där man har använt AFFF. (Sweco 2022)

År 2009 startade ett femårigt projekt med syfte att utreda och kartlägga förekomst, spridning och risker av PFAS vid Arlanda flygplats i Stockholm och Landvetter flygplats i Göteborg. Projektet kallades RE-PATH (Risks and Effects of the dispersion of PFAS on Aquatic, Terrestrial and Human populations in the vicinity of International Airports) och var samfinansierat via Stiftelsen IVL Svenska Miljöinstitutet och Swedavia AB. (Om Swedavia, *Vårt miljöansvar*.)

1.3 PFAS i Mälaren

Vattnet i Mälaren, som är Sveriges största vattentäkt och dagligen förser ca två miljoner människor med dricksvatten, är förorenat av bl.a. PFAS. Studier har visat att cirka 30% av PFAS-föroreningarna kommer från de nordöstra delarna av sjön, där Arlanda och Ärna flygplats ligger. (Mitt i, *Flygplatser släpper ut PFAS i Mälarens dricksvatten*)

I september 2022 fastställde EU nya gränsvärden för tillåtna halter av PFAS i dricksvatten, vilket har lett till att svenska Livsmedelsverket nu föreslår sänkta gränsvärden från 90 nanogram per liter vatten till det betydligt lägre 4 nanogram per liter vatten. Med det nya strängare gränsvärdet riskerar dricksvattnet som kommer från Mälaren att innehålla för mycket PFAS. För att klara det nya gränsvärdet behöver man sanera de förorenade områdena

alternativt införa reningssystem i vattenverket. (Mitt i, *Flygplatser släpper ut PFAS i Mälarens dricksvatten*)

1.4 Syftet med projektarbetet

Syftet med projektarbetet var att ta reda på hur Swedavia behandlar PFAS-förorenad mark på Arlanda flygplats. Vilka metoder har provats, vilka studeras och när kommer man nå ett resultat?

Frågeställning: Kan behandling av förorenad mark på Arlanda förhindra att PFAS-ämnen når recipienten Mälaren och påverkar dricksvattenförsörjningen i regionen.

2. Material och metoder

För att ta reda på hur Swedavia har hanterat PFAS-föroreningen genom åren genomfördes en genomgång av Swedavias miljörapporter från år 2011 fram tills idag. Utfallet från pilotstudier som utförts granskades även med avseende på behandlingsmetoder och resultat. ~~För att ta reda på vilka metoder som finns att tillgå ...~~

3. Resultat

3.1 Swedavias miljörapportering för Stockholm Arlanda Airport

Swedavia rapporterar till Länsstyrelsens tillsynsenhet fyra gånger per år och kommer med en årsrapport under det första kvartalet.

Under 2009 och 2010 genomfördes en mycket omfattande provtagning av vatten och sediment. Biotaprover insamlades, karterades och analyserades med avseende på PFOS. (Swedavia 2013) Lakförsök visade att en stor del av den PFOS som finns i proverna är lakbara. De höga halterna i grundvatten kan därmed bero på utlakning från ovanliggande marklager. Under rubriken ”Åtgärder för minskade utsläpp till mark och vatten 2011” skriver man att ett relativt nytt PFOS miljöproblem uppstått sedan några år och att man sedan 2008 slutat använda PFAS-innehållande brandsläckningsskum och att alla brandbilar hade sanerats. (Swedavia 2011)

2012 fortsätter man att skriva om den provverksamhet man genomfört, bl.a. vattenprovtagning i Halmsjön, Kättstabäcken, Benstockensbäcken och Halmsjöbäcken. Provfiske utfördes i Halmsjön, Steningeviken och Valloxen (referenssjö) samt ekotoxikologiska tester utfördes. Bioackumuleringsstudie på sebrafisk och guldfisk visade att fiskarna hade lätt för att ta upp PFOS över gälarna. (Swedavia 2012)

I rapporten 2016 berättar Swedavia att man tagit fram en omfattande handlingsplan för perioden 2016-2018, om hur man skall minimera riskerna för spridning av PFAS och hur man samtidigt skall rena dag-, yt- och grundvatten från befintliga halter av perfluorerade ämnen. En riskbedömning och prioritering av åtgärder är genomförd, där brandövningsplatsen är identifierad som det mest förorenade området på flygplatsen.

Man berättar om en pilotanläggning för rening av vatten i ett grundvattenrör som var lyckad men nu avslutats då den huvudsakliga spridningsvägen från området bedöms vara via ytvattenavrinningen från brandövningsplatsen. Projektet RE-PATH 2 startar för fler mätningar på olika platser.

Under 2015 genomförde Swedavia, i samarbete med Svevia och Sweco, ett fullskaligt behandlingsförsök i Svevias mobila jordtvättsanläggning. Slutsatsen från försöket är att jordtvätt som metod verkar fungera på jordmassorna från Arlandas brandövningsplats. Man

hade också en fältstudie med syftet att utreda lämpligheten av fytosanering som en passiv saneringsmetod för PFAS-föroreningar som finns på Swedavias flygplatser i mark och grundvatten. Effekten kunde ha varit bättre med andra växter än de som fanns på plats (Swedavia 2016).

Ett utredningsarbete inleddes under 2017 för att kunna avveckla brandövningsverksamheten på befintlig brandövningsplats. Utan pågående brandövningsverksamhet kan brandövningsplatsen i lugn och ro säkras mot ytterligare spridning av PFAS från området utan att störa ordinarie brandövningar. (Swedavia 2017)

2017 inleds också ett pilotstudieprojekt för behandlingsåtgärder i ett samarbete med Sweco. Ett projekt som syftar till att testa saneringsmetoder på brandövningsplatsen och besvara frågorna hur grundvattentransporten av PFAS påverkas när källan i jord tas bort och om spridningen av PFAS från källzonen kan öka om källzonsmassorna grävs upp, samt hur mycket utlakningen reduceras på sikt om ämnena skulle stabiliseras direkt i jord. (Swedavia 2017)

2018 har man gjort en förstudie för att kartlägga utformning av en reningsutrustning för att reducera förekomsten av PFAS-ämnen i det ytvatten som avvattnar området kring brandövningsplatsen. Man planerar uppföra en reningsanläggning år 2019. Syftet med anläggningen är att reducera spridningen av PFAS-ämnen via Märstaån. I projektet tillsammans med Sweco har några åtgärder identifierats. Under år 2019 kommer de praktiska testerna och utvärderingarna att inledas, där vissa av metoderna kommer att pågå under några år framåt. (Sweco 2018)

2019 skriver man att man planerar labbtester med jonbytare, kolfilter, lerorganiskt material och zeoliter för att utvärdera rening av PFAS-ämnen. Man har även en skiss på en framtida reningsanläggning och förslag till placering. Flytten till en ny övningsplats är försenad. (Swedavia 2019)

Test av jordtvätt och termisk desorption har gjorts hos entreprenör med PFAS-förorenad jord från brandövningsplatsen. Försök med injicering av aktivt kol vid brandövningsplatsen planeras till år 2021. Utformning och placering av reningsanläggning samt reningsteknik behöver dock utvärderas närmare under kommande år. Covid och brist på medel har stoppat flytt av brandövningsplatsen. ”Det finns i dagsläget inga vedertagna åtgärdstekniker för storskalig efterbehandling av PFAS-förorenad mark och vatten” konstaterar man till sist (Swedavia 2021).

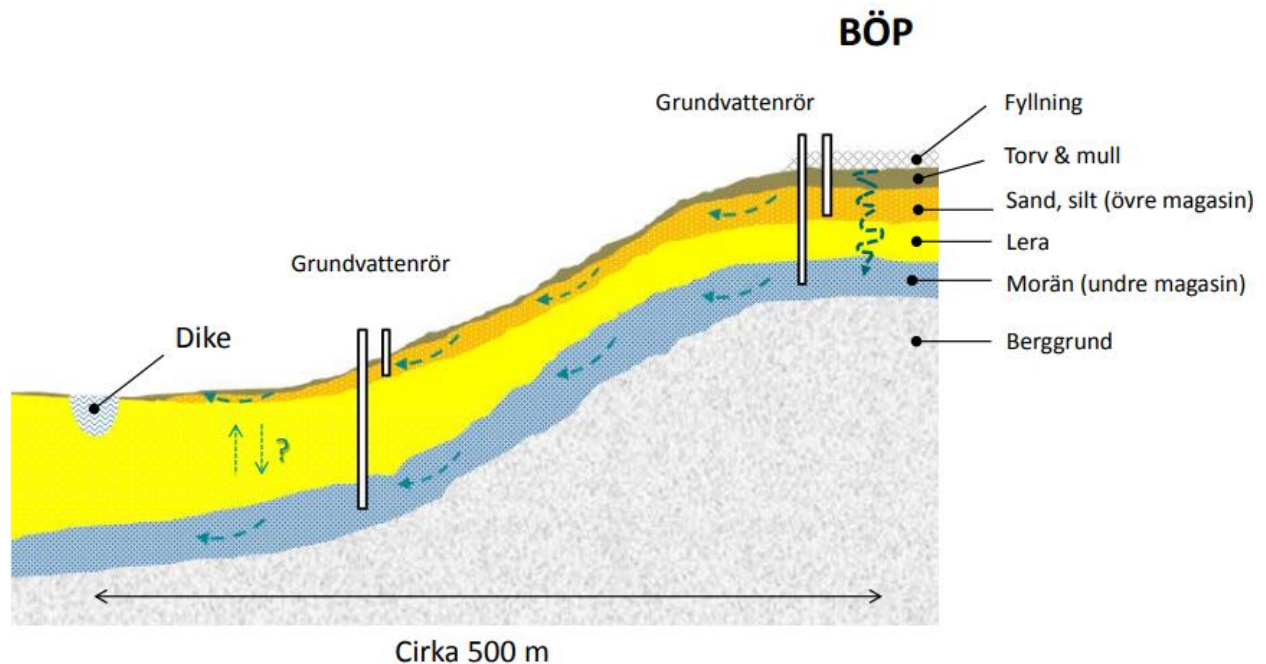
3.2 Brandövningsplatsen på Arlanda

Brandövningsplatsen på Arlanda flygplats har varit i bruk sedan 1995 i nuvarande utformning, men började användas i början av 1980-talet. I dag består den av en gjuten, delvis invallad plattform där överskottssläckmedel via brunnar förs till en gummiduksklädd uppsamlingsdamm. Släckvatten från dammen går till ett av Swedavias egna reningsverk innan det pumpas vidare till Käppala avloppsreningsverk (IVL 2010).

År 2004 genomfördes MIFO fas 1 och 2005-2009 MIFO fas 2 med Miljötekniska markundersökningar (Swedavia 2017a).

En undersökning har visat att jordlagerföljden vid brandövningsplatsen (BÖP) utgörs av lera som underlagras av sandig morän, se figur 1. I slutningen söder om brandövningsplatsen överlagras lera av svallsand. Lagret tunnare ut och upphör slutligen helt att existera i den lägre liggande flacka terrängen. Måktigheten hos svallsandsavlagringen varierade mellan cirka 0,3 och 2 m inom undersökningsområdet (IVL 2017).

På brandövningsplatsen överlagras de naturliga jordarterna av fyllnadsmaterial (sand, grus). Moränen finns på ett djup av mellan 1,5 och 8 m beroende på lerlagrets mäktighet, vilken är som störst i den lägre liggande terrängen i nivå med landningsbanorna (IVL 2017).



Figur 1. Utsnitt ur SGUs jordartskarta visar en schematisk skiss över jordlagerföljden från brandövningsplatsen och mot sydväst (IVL 2017).

Figur 1 visar att det bildas två skilda akviferer, en i det övre skiktet av postglacial sand och silt, och en i den underliggande moränen vilket har en avgörande betydelse för spridningsbilden från området.

Grundvattnet bedöms inte vara en källa för långväga transport av PFAS, med reservation för transport via sprickor i berggrunden. Den främsta transportvägen av PFAS från brandövningsplatsen är istället via ytligt grundvatten, grunda dräneringsdiken eller lokala fördjupningar i terrängen. IVL bedömer därför att uppsamling och rening av ytliga vattenflöden kunna utgöra en rimlig åtgärdsstrategi för att minska belastningen av PFAS till Mälaren. (IVL 2017)

3.3 Behandlingsmetoder på Arlanda

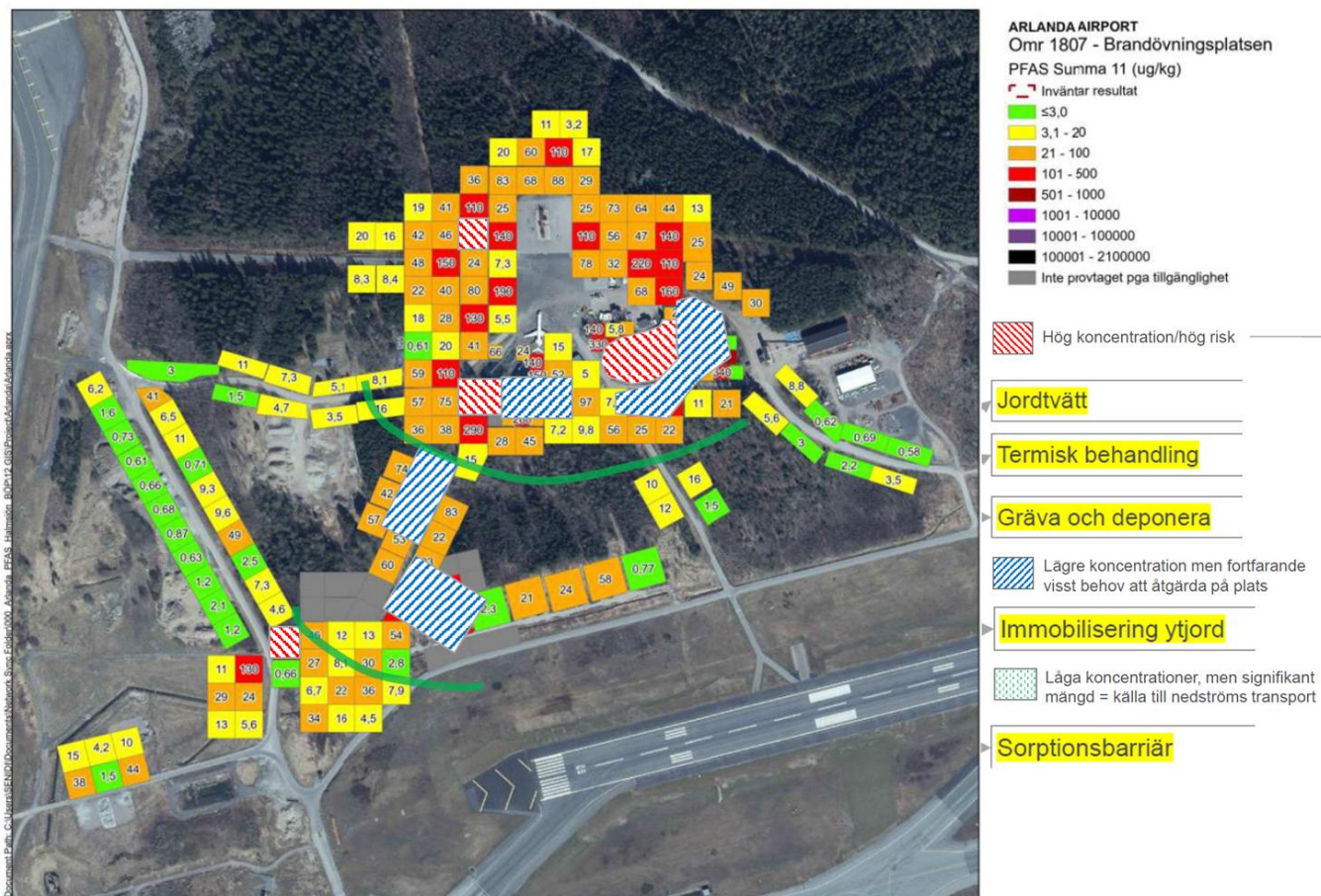
Det har bedömts som praktiskt mycket svårt att utföra grävsanering på Arlanda p.g.a. flygtrafiken och närheten till landningsbanorna. Enbart grävsanering skulle dessutom bli mycket kostsamt och därför har man utrett andra alternativ. In situ metoder som baseras på kemisk oxidation eller reduktion, samt mikrobiell reduktion har man också valt att utesluta p.g.a. PFAS ämnesegenskaper. (Sweco 2022)

PFAS-nätverket, som drivs av Naturvårdsverket, Kemikalieinspektionen, Livsmedelsverket och Statens Geotekniska Institut, höll sitt sextonde möte i november 2022 där Swedavias konsult Sweco presenterade ”Resultat från pilot- och laboratoriestudier av riskreducerande åtgärdsmetoder för PFAS på Arlanda” (Sweco 2022). En strategi för kostnadseffektiv användning av olika metoder redovisades då, se figur 2.

Slutsatserna blev att;

- Jordtvätt fungerar som efterbehandling av jordmassor med PFAS.
- Jordmassor med höga halter PFAS behöver ytterligare efterbehandling.

- Grovkorniga tvättade massorna kan återanvändas.
- För att reducera utlakningen av PFAS kan produkter med kol tillsättas för immobilisering.
- Termisk behandling av finare material ger låga resthalter.



Figur 2 Åtgärder för förhindra läckage av PFAS till recipienten Mälaren. Figuren bygger på material från Sweco 2022. PFAS-halter på brandövningsplatsen redovisas med färg enligt förklaring i högerkant. Streckade rektanglar markerar områden för åtgärder.

3.3.1 Avancerad jordtvätt (koncentrationsmetod)

Vid jordtvätt schaktas först jorden upp och sedan separerar man de olika storlekarna på partiklar med hjälp av en vätska som t.ex. vatten, ibland i kombination med kemiska tillsatser, i en serie med olika behandlingssteg (Åtgärdsportalen - *Jordtvätt ex situ*). Metoden bygger på det faktum att föroreningar ofta binder till mer finkorniga material. Syftet med att separera högförorenade massor från lågförorenade massor är helt enkelt för att minska volymen jord som slutligen behöver behandlas. (Pettersson et al. 2022) Själva tvättningen (separationen) kan göras på plats eller någon annanstans beroende på mängden massor och kostnadseffektivitet. (Sweco 2022)

Flera olika metoder för separation har testats i olika labförsök av jord från Arlanda. De grövre tvättade fraktionerna som består av grus och sand hade kraftigt reducerade halter av PFAS och kan troligen återanvändas, beroende på vilka krav som ställs efter riskbedömning och åtgärdsutredning. (Sweco 2022) I dagsläget saknas riktlinjer för vilka halter av PFAS som massor får innehålla vid återanvändning. (Pettersson et al. 2022)

Jordmassorna som hade höga ursprungshalter av PFAS eller hög andel organiskt material behöver dock ytterligare hantering utöver jordtvätt, eftersom halterna av PFAS inte reducerades tillräckligt mycket. Den finare fraktionen som ofta kallas för slam behöver behandlas eller deponeras. Tvättvätskan behöver man behandla på plats. (Sweco 2022)

Det finns indikatorer på att det bör gå att utforma en jordtvättprocess för PFAS som ger bra resultat, men metoden behöver utvecklas mer. (Pettersson et al. 2022)

3.3.2 Termisk behandling (koncentrationsmetod)

Vid termisk behandling (Termisk Desorption In Situ, ISTD) värms marken upp så att de föroreningar som finns i marken förångas. Olika föroreningar har olika kokpunkt, och därmed behöver marken värmas upp till olika höga temperaturer beroende på vilka föroreningar man vill bli av med. (Pettersson et al. 2022)

Uppvärmningen av jorden kan göras på olika sätt. Ett sätt är att vattenånga leds ner i marken via vertikala eller horisontella injektionsrör. Man kan även värma upp marken genom att låta elektrisk ström passera genom jordlagren, s.k. elektrisk resistivitetsuppvärmning. Värme alstras då på grund av jordlagrens elektriska motståndsförmåga. Ett tredje sätt är att värma upp marken med värmelement som drivs av antingen gas eller elektricitet, s.k. konduktiv uppvärmning. (Åtgärdsportalen, *Termisk behandling in situ - Översikt*)

Vid injektering av vattenånga, s.k. ånguppvärmning, samt vid tillförsel av elektrisk ström via elektroder, kan man värma upp till maximalt 100°C. Vid elektrisk konduktiv uppvärmning kan man komma upp till 700 °C. (Johan Helldén 2022)

De olika PFAS-ämnena har olika kokpunkter. Ju längre kolkedjan är, och ju fler fluoratomer som är bundna till kolkedjan, desto högre temperatur krävs för att förånga ämnet. En del studier menar att 350-450 °C räcker för att förånga PFAS, men andra menar att det krävs mycket högre temperaturer. (Pettersson et al. 2022)

Många forskningsstudier har visat att det krävs temperaturer på över 1000 °C för att destruera PFAS-ämnen, men så hög temperatur kommer man inte upp till vid termisk behandling. (Pettersson et al. 2022)

Termisk behandling kombineras alltid med porgasextraktion för att samla in de förångade föroreningarna. Gasen renas med filter (t.ex. kolfilter), katalytisk förbränning eller någon annan reningsteknik. (Åtgärdsportalen, *Termisk behandling in situ - Översikt*)

Man har utfört termisk behandling ex situ på PFAS-förorenade jordmassor från Arlanda flygplats. Jordprov skickades till ett företag i Danmark som värmdes upp jorden till 400°C under 14 dagar. PFAS₃₀ sjönk då från 9100 mikrogram per kilogram till 0,68 mikrogram per kilogram. (Pettersson et al. 2022) Metoden har god potential även *in situ* (Sweco 2022).

Termisk behandling är en relativt energikrävande men snabb behandlingsmetod jämfört med andra in situ behandlingsmetoder. Det kan dock dröja upp till ett år efter avslutad behandling innan marken svalnat till normal temperatur. (Pettersson et al. 2022) (Åtgärdsportalen, *Termisk behandling in situ - Översikt*)

3.3.3 Immobilisering

Immobilisering eller fastläggning, innebär att man försöker få föroreningen att stanna kvar där den är och inte sprida sig vidare. Det kan man uppnå antingen genom att göra föroreningen svårörlig, att innesluta föroreningen med t.ex. barriärer, eller att fördröja spridningen. (Helldén, 2023)

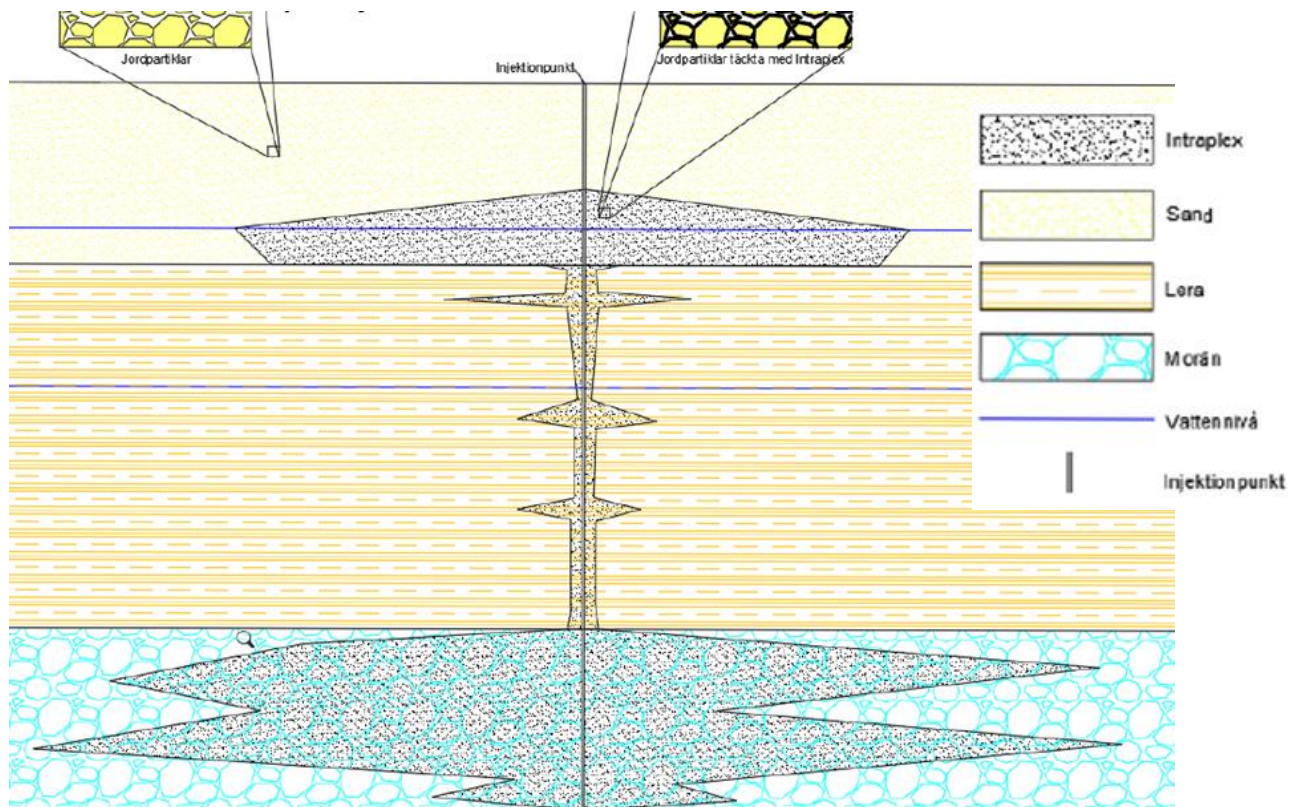
Man kan förhindra att PFAS sprider sig vidare genom att blanda in en s.k. sorbent, dvs ett ämne som gärna binder till PFAS. Man har gjort försök med olika typer av sorbenter, t.ex. aktivt kol, biokol, naturliga eller modifierade lermineral, olika typer av naturligt organiskt material (torv, slam, växtmaterial). Vilket typ av sorbent som fungerar bäst beror bland annat på om PFAS ligger i jordytan eller om det är en s.k. plym med förorenat grundvatten som ska stoppas. (Pettersson et al. 2022)

3.3.3.1 In situ immobilisering av PFAS i grundvatten

På Arlanda har man gjort pilotförsök i fält där man med hjälp av en borrsond injekterat en sorbent som kallas "Intraplex-lösning". Borrsonden trycks först ner till bergytan och sedan lyfts borrsonden upp samtidigt som Intraplex-lösningen pressas ut med ett övertryck. Jordpartiklarna täcks då av ett tunt lager av aktivt kol som inte påverkar permeabiliteten nämnvärt. När grundvatten passerar det behandlade området så binds PFAS fast till jordpartiklarna och sprids därför inte vidare. (Sweco 2022)

Metoden anses mycket kostnadseffektiv, men ställer stora krav på geohydrologisk karaktärisering av akvifer samt labtester. Om man inte har tillräckliga kunskaper om jordlager och genomsläpplighet är det stor risk att misslyckas. (Sweco 2022) Metoden är svår eller omöjlig att använda i finkorniga jordmaterial. Metoden kräver även en långsiktig uppföljning då man ännu inte har så mycket kunskaper om hur lång behandlingseffekten är. Eventuellt kan man behöva upprepa behandlingen för att få en effekt som sträcker sig över längre tidsperioder som tiotals-hundratals år. (Pettersson et al. 2022)

Pilotstudien visade på lite varierande resultat med en PFAS-reduktion på mellan 41% och 99% när man jämförde den uppmätta PFAS-halten uppströms med halten nedströms på tre olika platser längs med barriären. (Swedavia 2022)



Figur 3: In situ immobilisering med Intraplex-lösning.

3.3.3.2 Immobilisering av PFAS i ytjord ovanför grundvattensnivån

Metoden går ut på att man gräver upp jord som man sedan blandar med en sorbent så att PFAS inte lakar ut till grundvatten eller ytvatten. Jorden kan sedan antingen föras till deponi eller läggas tillbaka.



På Arlanda har man gjort pilotförsök i fält där man tagit jord från ett område strax söder om brandövningsplatsen som man blandat med fyra olika sorbenter; aktivt kol, aktivt kol i lösning, lermineral, samt en blandning av aktivt kol och lermineral. Ett femte prov som inte blandades med någon sorbent utgjorde kontroll. De olika jordblandningarna placerades ut i fem olika betongceller med uppsamling av lakvatten som sedan testades med jämna mellanrum. (Sweco 2022)

Pilotförsöket som pågått från september 2021 till augusti 2022 har visat på mycket goda resultat. Lera gav som sämst en 86% minskning av PFAS-11 i lakvattnet. De olika blandningarna med aktivt kol gav en minskning av PFAS-11 med 98% som sämst. (Sweco 2022)

Fig 4: Pilotförsök i fält med jordprov från brandövningsplatsen.

4. Diskussion

Swedavia har tidigt upptäckt att brandövningsplatsen varit förorenad med framförallt PFOS och därför förbjudit användandet av aktuellt brandskum 2008. Ett flertal projekt startades tillsammans med olika miljökonsulter och högskolor för att förstå omfattningen av föroreningen i mark, vatten och sediment (Swedavia 2011).

Fram till år 2012 vidtogs inga åtgärder förutom att brandbilarna sanerades (Swedavia 2012). År 2017 presenterades den första åtgärdsplanen hur man skulle arbeta för minskad miljöpåverkan från flygplatsen (Swedavia 2017a). Planen uppdaterades 2019 (Swedavia 2019a).

Förutom olika pilotsudier har inga åtgärds tekniker för storskalig efterbehandling av PFAS-förorenad mark och vatten inletts eftersom Swedavia inte känner till några vedertagna åtgärds tekniker (Swedavia 2021).

Finns det då inga vedertagna tekniker som skulle kunna ha påverkat PFAS-transporten till Mälaren under denna tid? Olika barriär tekniker och deponier borde redan tidigt kunnat stoppa en del av utflödet av PFAS. En nedläggning och övertäckning av brandövningsplatsen och flytt av övning till annan lämpligare plats borde också ha kunnat finansieras tidigare.

IVL konstaterade redan år 2017 att uppsamling och rening av ytliga vattenflöden skulle kunna utgöra en rimlig åtgärdsstrategi för att minska belastningen av PFAS till Mälaren (IVL 2017).

En PFAS fytosanering, till exempel plantering av salix på slänten nedanför brandövningsplatsen, kunde också varit en åtgärd med viss effekt till en rimlig kostnad (Swedavia 2019a).

SGI har i ett regleringsbrev för 2022 fått ett regeringsuppdrag att identifiera, testa och vidareutveckla åtgärdsmetoder för sanering av områden förorenade med PFAS (SGI 2022). SGI listar i detta dokument ett flertal olika metododer som verkar lovande, och Johan Helldéns föreläsningar 23 och 24 februari 2023 visade på redan genomförda reningsprojekt.

5. Slutsats

Hanteringen av PFAS-föroreningar har utretts under åren utan att någon långsiktig åtgärd för att minimera utflödet till Mälaren genomförts. Stabilisering av PFAS i ytjord, stabilisering av PFAS i grundvatten, termisk desorption av PFAS-förorenad jord, uppsamling av PFAS i luftfas på kolfilter, laboratorieförsök med ISTD (In Situ Thermal Desorption), jordtvätt följt av termisk behandling av slamfraktion och utökat fytopptag är tekniker som undersökts (Swedavia 2019a).

Swedavias konsult Sweco verkar ha en mer positiv uppfattning av vilka åtgärder som kan utföras (Sweco 2022) än Swedavia som fortfarande inte har någon uppdaterad plan för verksamheten framöver (Swedavia 2022).

Referenser

IVL. 2010. Årsrapport 2009 för projektet RE-PATH IVL Rapport B1899

IVL. 2017. Spridning av högfluorerade ämnen i mark från Stockholm Arlanda Airport

SGI. 2022. Åtgärds tekniker för PFAS i jord och grundvatten, Diarienumr: 1.1-2201-0064

Sweco 2022. Resultat från pilot- och laboratoriestudier av riskreducerande åtgärds metoder för PFAS på Arlanda. Niklas Törneman, 22 november 2022.

Swedavia. 2011. Miljörapport Stockholm Arlanda Airport 2011 D 2012-003071

Swedavia. 2012. Miljörapport Stockholm Arlanda Airport 2012 D 2013-002130

Swedavia. 2013. Miljörapport Stockholm Arlanda Airport D 2014-001771

Swedavia. 2016. Miljörapport 2016 Stockholm Arlanda Airport D 2017-01674

Swedavia. 2017. Miljörapport 2017 Stockholm Arlanda Airport 2018-03-29

Swedavia 2017a Handlingsplan för PFOS och andra föroreningar 2016-2018. LS 2017-004845

Swedavia. 2018. Miljörapport 2018 Stockholm Arlanda Airport SWED-1193006443-3

Swedavia. 2019. Miljörapport 2019 Stockholm Arlanda Airport SWED-1424720092-4

Swedavia. 2019a. Handlingsplan PFAS Swedavia AB - Stockholm Arlanda Airport. 2019-10-24 Rev 4.00 LS 2017-004845

Swedavia. 2020. Miljörapport 2020 Stockholm Arlanda Airport SDA 2021-00192

Swedavia. 2021. Miljörapport 2021 Stockholm Arlanda Airport SDA 2022-00043

Swedavia 2022. Tillsynsmöte - PFAS, Stockholm Arlanda Airport, Sofia Westling 2022-05-31.

Johan Helldéns föreläsningar 23 och 24 februari 2023

Kemikalieinspektionen, *PFAS*. <https://www.kemi.se/kemiska-amnen-och-material/pfas> (Hämtad 2023-02-21)

Mitt i, *Flygplatser släpper ut PFAS i Mälarens dricksvatten*.

<https://www.mitti.se/nyheter/flygplatser-slapper-ut-pfas-i-malarens-dricksvatten-6.27.39824.63d255dbf3> (publicerad 2022-11-13, hämtad 2023-02-11)

Om Swedavia, *Vårt miljöansvar*. <https://www.swedavia.se/om-swedavia/vart-miljoansvar/> (Hämtad 2023-02-11)

Pettersson, M.; Montelius, M.; Berggren Kleja D. och Enell, A. 2022, *Åtgärds tekniker för PFAS i jord och grundvatten - Kunskapssammanställning*. Statens geotekniska institut, SGI, Linköping, 2022-09-15. Diarienummer 1.1-2201-0064.

Stockholm Arlanda Airport, *PFAS*. <https://www.swedavia.se/arlanda/miljo/pfas/> (Hämtad 2023-02-11)

Åtgärdsportalen, *Jordtvätt ex situ* <https://www.atgardsportalen.se/metoder/jord/ex-situ/jordtvattning> (Hämtad 2023-03-07)

Åtgärdsportalen, *Termisk behandling in situ - Översikt*

<https://atgardsportalen.se/metoder/jord/in-situ/termisk-behandling-in-situ> (Hämtad 2023-02-24)