STATENS GEOTEKNISKA INSTITUT

REGERINGSUPPDRAG PFAS

Redovisning av regeringsuppdrag om PFAS 2022–2026

Övergripande resultat samt förslag på fortsatta åtgärder

Linköping, augusti, 2026

Diarienr: 1.1-2201-0064

Totalt antal sidor 33

Ladda ner dokumentet som PDF, sgi.diva-portal.org

Hänvisa till detta dokument på följande sätt:

SGI, 2026, *Redovisning av regeringsuppdrag om PFAS 2022–2026*, *Övergripande resultat samt förslag på fortsatta åtgärder*, Statens geotekniska institut, Linköping, 2026-08-31.

Foto på omslag: SGI/Michael Pettersson

Förord

Statens geotekniska institut (SGI) har sedan 2022 ett särskilt uppdrag av regeringen att arbeta med forskning och ökad kunskap om PFAS-förorenade områden. Uppdraget har genomförts i samverkan med Sveriges geologiska undersökning (SGU), Naturvårdsverket, akademin och andra myndigheter.

Uppdraget har under perioden 2022–2026 haft fokus på att utveckla, testa och utvärdera fyra olika åtgärdsmetoder för PFAS-förorenad jord och grundvatten. En central del av arbetet har även varit att sprida kunskap och kommunicera resultaten. I den här rapporten redovisas de övergripande resultaten av arbetet samt förslag till fortsatta åtgärder inom SGI:s ansvarsområden för att minska spridningen av PFAS.

Pilotförsöken som genomförts med stabilisering av PFAS har visat på goda resultat och en betydande reduktion i spridningen av PFAS. Denna åtgärdsteknik kan redan i dag användas för att minska spridningen av PFAS till grundvattnet.

För att ansvariga aktörer ska kunna tillämpa nya åtgärdslösningar med större säkerhet behöver det fortsatta arbetet ha ett ökat fokus på kunskapsspridning av resultat till statliga, kommunala och privata aktörer. Vi vill peka på vikten av att vidta spridningsbegränsande åtgärder för att skydda människors hälsa, miljö och naturresurser (till exempel dricksvatten). Om åtgärder dröjer finns risk att föroreningsspridningen fortsätter och att föroreningarna sprids till områden som i dag är opåverkade.

Samtidigt ser vi ett långsiktigt behov av forskning och utveckling av fler åtgärdsmetoder för PFAS. I rapporten redovisas ett antal förslag till fortsatta insatser.

Slutligen visar regeringsuppdraget värdet av långsiktiga och riktade satsningar mot PFAS. Uppdraget har stärkt samarbetet mellan SGI, SGU och Naturvårdsverket och gjort det möjligt att samla forskning, myndighetskunskap och praktiska erfarenheter i ett gemensamt arbete. Det har varit avgörande för resultaten. Satsningen har samtidigt stärkt den nationella forskningskapaciteten och ökat kunskapen hos myndigheter, akademi och bransch. Det är en viktig grund för det fortsatta arbetet med att åtgärda PFAS-förorenade områden.

Rapporten har utarbetats av Michael Pettersson och Malin Montelius, med stöd av avdelningschef Mikael Stark.

Linköping i augusti 2026

Johan Anderberg
Generaldirektör

Innehållsförteckning

Sammanfattning 5
Jordtvätt 5
Stabilisering 5
Termisk behandling 6
Luftinjektering 6
Rekommendationer 6
1 Inledning 7
1.1 PFAS 7
1.2 Regeringsuppdrag PFAS 8
1.3 Organisation och samarbeten 9
2 Genomförda forskningsprojekt 11
2.1 Jordtvätt 11
2.2 Stabilisering 12
2.3 Termisk behandling 18
2.4 Luftinjektering 20
2.5 Kompletterande projekt 22
3 Kunskapsspridning 26
3.1 Målgrupper och kommunikationsinsatser 26
3.2 Framtida kommunikation och implementering av resultat 27
4 Slutsatser 28
5 Behov av fortsatta åtgärder 30
Referenser 32

Sammanfattning

Statens geotekniska institut (SGI) har sedan 2022 ett särskilt uppdrag av regeringen att arbeta med forskning och ökad kunskap om PFAS-förorenade områden. Uppdraget förlängdes i juli 2026 och ska slutredovisas den 1 september 2030. Uppdraget har under perioden 2022–2026 handlat om att utveckla, testa och utvärdera åtgärdsmetoder för PFAS-förorenad jord och grundvatten samt att omsätta forskningsresultat i praktiskt användbar kunskap för myndigheter och andra aktörer. I den här rapporten redovisas slutsatserna från arbetet. Det har genomförts i samverkan med Sveriges geologiska undersökning (SGU), Naturvårdsverket, akademin och andra myndigheter.

Den viktigaste slutsatsen är att det går att minska spridningen av PFAS. Resultaten visar att det finns åtgärdstekniker som kan användas för att effektivt minska spridningen av PFAS till och inom grundvattnet. Det är ett viktigt steg för att skydda grundvatten, dricksvatten, miljö och människors hälsa. Samtidigt visar uppdraget att det inte finns en lösning som fungerar överallt. Valet av metod måste baseras på platsens förutsättningar, vilken typ av PFAS som finns där samt vilken risk som ska hanteras.

SGI har testat och utvärderat fyra åtgärdsmetoder: jordtvätt, stabilisering med aktivt kol, termisk behandling (värmebehandling) och luftinjektering. De två metoder som fungerat bäst är stabilisering med aktivt kol och jordtvätt. Även termisk behandling är en bra metod för att behandla PFAS i jord, under förutsättning att behandlingen görs på rätt sätt och att de restprodukter som uppstår tas om hand.

Jordtvätt

Jordtvätt har visat sig vara en lovande metod för behandling av PFAS-förorenad jord, särskilt i sandiga och grusiga material. Metoden innebär att förorenade massor grävs upp, delas upp i olika storleksfraktioner och tvättas. Syftet är att minska halten PFAS i jorden och att skilja ut de delar av jorden som är mest förorenade.

Genom att kombinera vatten med luft och tensider kan reningsgraden höjas till omkring 97 %. En viktig slutsats är att den PFAS som finns kvar efter tvätt sitter hårdare bunden till jorden, vilket minskar risken för spridning. Bedömningen av om tvättad jord kan återanvändas bör därför baseras på hur lätt PFAS kan läcka ut och spridas vidare snarare än kvarvarande föroreningshalt.

SGI:s bedömning är att jordtvätt har god potential, men att tekniken behöver skalas upp och testas vidare i fält. Nästa steg bör vara pilotförsök i större skala, där både reningseffekt, kostnad, hantering av skum och vatten samt möjlighet till återanvändning av jord utvärderas.

Stabilisering

Stabilisering med aktivt kol är den mest mogna och effektiva metoden för att minska spridningen av PFAS-föroreningar till grundvatten. Metoden innebär att aktivt kol blandas in eller injekteras i marken. Kolet binder PFAS så att ämnena hålls kvar i marken i stället för att spridas vidare. I ett pilotförsök blandades aktivt kol in i ett källområde, alltså där föroreningen finns, ovanför grundvattenytan. Försöket visar att spridningen av PFAS från förorenad jord ovanför grundvattenytan till grundvatten kan reduceras med mer än 99,98 %.

I ett annat pilotförsök testades aktivt kol även i ett källområde under grundvattenytan. Halterna av PFAS i grundvattnet minskade med omkring 99 %.

I ett tredje pilotförsök anlades en barriär med aktivt kol nedströms en brandövningsplats. Det förorenade grundvattnet passerar genom barriären, där PFAS binds till kolet.

Efter cirka 1,5 år hade den totala halten av fyra PFAS i vattnet som lämnar barriären minskat med 99,99 % och låg på en nivå som var jämförbar med rådande gränsvärde för PFAS i dricksvatten (4 ng/l).

Metoden fungerar särskilt bra för långkedjiga PFAS, till exempel PFOS. Laboratoriestudier och modellering visar att effekten kan bestå i flera decennier för denna typ av PFAS. För kortkedjiga PFAS är effekten mer osäker, eftersom dessa ämnen inte binds lika starkt till aktivt kol. Därför behövs fortsatt uppföljning över längre tid.

SGI:s bedömning är att stabilisering med aktivt kol är en effektiv metod för att begränsa spridningen av PFAS till grundvatten. Metoden bör kunna användas i fler förorenade områden, förutsatt att platsens förhållanden har undersökts och bedömts som lämpliga.

Termisk behandling

Termisk behandling, eller värmebehandling, innebär att PFAS-förorenad jord behandlas med värme. Metoden kan effektivt avlägsna PFAS från jord vid tillräckligt höga temperaturer och långa behandlingstider. Resultaten visar dock att PFAS inte alltid destrueras fullständigt och att svåridentifierade nedbrytningsprodukter kan bildas. Detta innebär att åtgärden kräver noggrann hantering av rester från behandlingen.

Luftinjektering

Luftinjektering visade att PFAS, särskilt långkedjiga ämnen, kan förflyttas uppåt i grundvattenzonen. Metoden bedöms dock ha begränsad praktisk tillämpning eftersom PFAS riskerar att föras över till marken ovanför grundvattenytan, den omättade zonen, vilket kan skapa nya problem snarare än lösa befintliga.

Rekommendationer

Uppdraget har genererat ny kunskap om undersökning, utredning och åtgärder av PFAS-förorenade områden. Genomförandet har även bidragit till effekter i form av nya samarbeten, påbyggnadsprojekt och stärkt nationell forskningskapacitet. Det konstateras samtidigt att det finns ett behov av fortsatt forsknings- och utvecklingsarbete, vilket kräver långsiktiga satsningar med stabila finansiella förutsättningar. Rapporten pekar ut flera områden som är i behov av ökad kunskap och särskilda satsningar, några av dessa är:

- **Fortsatt satsning på forsknings- och utvecklingsprojekt som rör undersökning, utredning och åtgärder av PFAS-förorenade områden.**
  Många av dagens konventionella åtgärdsmetoder har visat sig ineffektiva. Nya åtgärdslösningar behöver utvecklas. Det finns ett långsiktigt behov av forskning och utveckling kopplat till undersökning, utredning och åtgärder av PFAS-förorenade områden.
- **Långsiktig uppföljning av genomförda pilotförsök för att bedöma metodernas effektivitet över tid.**
  Detta behövs för att ansvariga aktörer ska kunna tillämpa tekniken med större säkerhet och börja avhjälpa PFAS-förorenade områden.
- **Fortsatt myndighetssamverkan, omsättning av forskningsresultaten i praktisk användbar kunskap, implementering och ökad tillämpning av resultaten.**
  Nationellt ansvariga myndigheter behöver fortsätta arbeta tillsammans för att minska spridningen av PFAS och förmedla kunskap. För att öka tillämpningen av resultaten krävs ett fortsatt fokus på kunskapsspridning av erhållna resultat. Särskild vikt behöver läggas vid att stärka samverkan mellan SGI, SGU, Naturvårdsverket och länsstyrelserna för implementering och ökad tillämpning av framtagna resultat.

1 Inledning

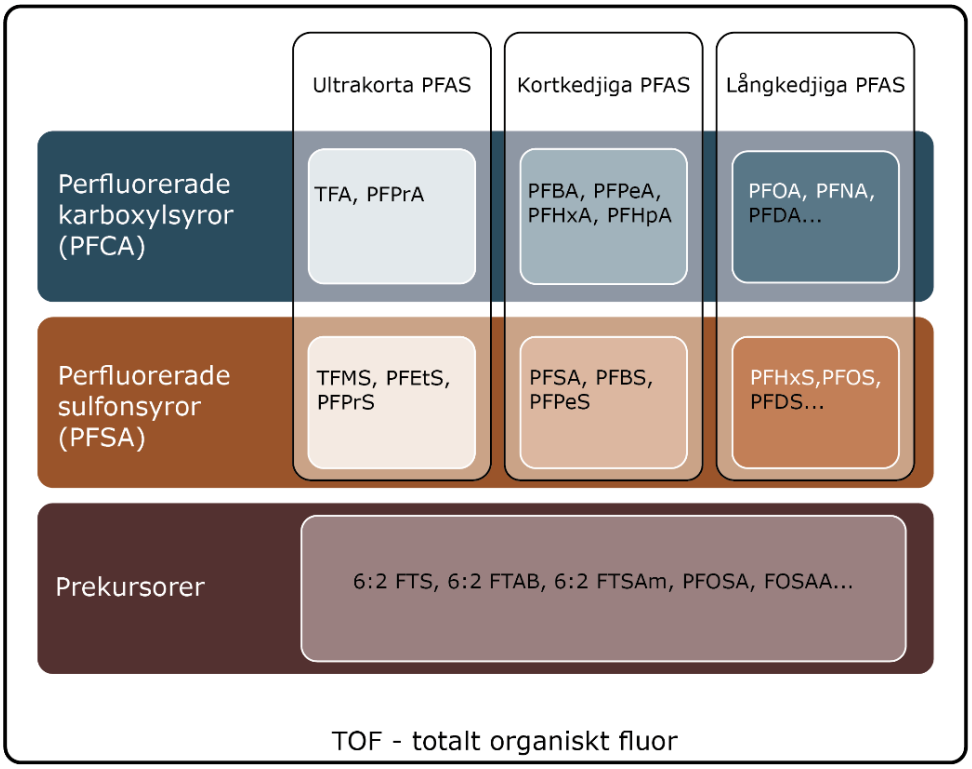
I Sverige finns omkring 90 000 identifierade områden som är eller kan vara förorenade. En betydande andel av dessa kan även vara förorenade av per- och polyfluorerade alkylsubstanser (PFAS) (Naturvårdsverket, 2026). Primära föroreningskällor är exempelvis platser där PFAS-innehållande släckmedel har använts och industrier som använder PFAS i sina processer. Sekundära källor för PFAS är exempelvis reningsverk, förbränningsanläggningar och deponier (Kemikalieinspektionen, 2021). PFAS kan finnas kvar länge i mark och vatten, även efter att utsläppen stoppats, och fortsätter spridas från förorenade områden. Detta kan påverka dricks- och ytvatten, vilket utgör risker för både människor och miljö. Exponering av PFAS har också kopplats till negativa hälsoeffekter och betydande samhällsekonomiska konsekvenser, där kostnader uppstår för såväl hälsoeffekter som sanering och påverkan på ekosystem. I praktiken innebär detta att föroreningar i vattenresurser inte bara utgör en miljörisk utan även kan leda till långsiktiga konsekvenser för samhället (EU, 2026). Till exempel har dricksvattnet i Kallinge, Tullinge och Uppsala påverkats, och Vättern har så höga PFAS-nivåer att länsstyrelserna gett kostråd om fisk och kräftor därifrån (Länsstyrelsen, 2026).

För att uppnå miljökvalitetsmålen Giftfri miljö och Grundvatten av god kvalitet krävs att PFAS-förorenade områden åtgärdas i sådan omfattning att de inte längre utgör någon risk för människor eller miljön. Att sanera områden förorenade med PFAS utgör en betydande utmaning, då dessa ämnens kemiska egenskaper medför att många av dagens konventionella metoder har begränsad effekt. Eftersom traditionella åtgärdsmetoder ofta inte räcker till finns ett behov av att utveckla och utvärdera mer effektiva och hållbara åtgärdsmetoder.

1.1 PFAS

PFAS är en stor grupp fluorerade kemikalier som har fått många användningsområden på grund av sina egenskaper. Många av dessa ämnen är dock mycket svåra att bryta ner, vilket har lett till betydande miljö- och hälsoproblem, strängare regleringar och ökade krav på åtgärder av förorenade områden.

PFAS delas in i olika grupper beroende på hur de är uppbyggda, se Figur 1. Perfluorerade karboxylsyror respektive -sulfonsyror är två grupper som består av ämnen som är mycket svårnedbrytbara. De delas in i tre undergrupper beroende på molekylens storlek; ultrakorta PFAS, kortkedjiga PFAS respektive långkedjiga PFAS. Prekursorer är en annan grupp av PFAS. Dessa utgörs av en stor grupp ämnen som på kemisk eller biologisk väg kan brytas ned i ett flertal steg till andra typer av PFAS men som i slutändan utgörs av en eller flera stabila perfluorerade karboxylsyror eller -sulfonsyror.



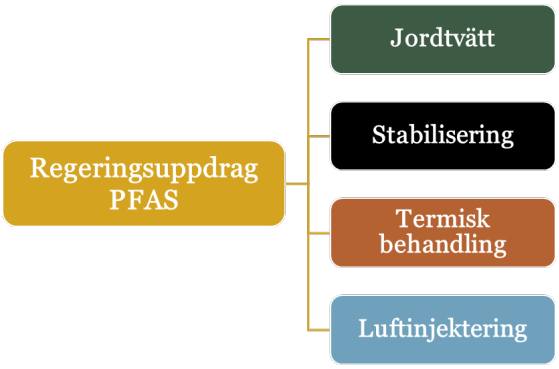
Figur 1. Översikt av olika grupper av PFAS indelade baserat på funktionell grupp och kolkedjelängd. Perfluorerade karboxylsyror (PFCA) och perfluorerade sulfonsyror (PFSA) delas in i ultrakorta, kortkedjiga respektive långkedjiga ämnen. De PFAS som står i vit text, PFOA, PFNA, PFHxS och PFOS, utgör tillsammans summaparametern $PFAS_4$. I figuren visas även relationen till TOF (totalt organiskt fluor), som omfattar både kända (kvantifierbara) och okända organiska fluorföreningar.

1.2 Regeringsuppdrag PFAS

Regeringen gav i regleringsbrevet för 2022 (M2021/02281) SGI i uppdrag att under åren 2022–2024 arbeta med forskning och effektiv kunskapsspridning som rör undersökning, utredning och åtgärder av PFAS-förorenade områden. Genom tilläggsbeslut 2022 (M2022/02057) gjordes en mindre ändring. Enligt regeringens tilläggsbeslut 2023 (KN2023/02439) förlängdes tidpunkten för slutredovisningen till den 1 september 2026. Genom ändring av SGI:s regleringsbrev för 2026 förlängdes regeringsuppdraget till den 1 september 2030 (KN2026/01562). Denna rapport är att se som en delredovisning av utförda arbeten under perioden 2022–2026.

Vid uppstart av regeringsuppdraget om PFAS (uppdraget benämns nedan som RU PFAS) formulerade SGI efter samråd med Sveriges geologiska undersökning (SGU) och Naturvårdsverket strategiska utgångspunkter för inriktningen på uppdraget (Pettersson, 2022a). Parallellt med detta togs en rapport fram som redovisade kunskapsläget avseende åtgärdstekniker för PFAS i jord och grundvatten (Pettersson et al., 2022b). Slutligen samlades information in från entreprenörer om utvecklingsbara åtgärdsmetoder för PFAS genom en så kallad *Request for Information* (RFI) som utarbetades tillsammans med SGU (SGU, 2022).

Baserat på detta fattade SGI under 2022 beslut om att starta fyra forskningsprojekt inom ramen för regeringsuppdraget i syfte att utveckla och validera åtgärdsmetoder för PFAS-föroreningar i jord och grundvatten (SGI, 2022). Varje forskningsprojekt har haft fokus på en åtgärdsmetod, se Figur 2.



Figur 2. Schematisk bild över de forskningsprojekt som bedrivits inom SGI:s regeringsuppdrag om PFAS.

1.3 Organisation och samarbeten

SGI:s regeringsuppdrag har genomförts i nära samarbete med SGU och i samverkan med Naturvårdsverket. Samarbetet med SGU har skett löpande och samverkan med Naturvårdsverket har genomförts i form av regelbundna möten. Syftet med dessa möten var dels att hålla myndigheterna uppdaterade om hur arbetet fortskred, dels att skapa ett forum för att diskutera övergripande frågor.

Samverkan med andra myndigheter har i huvudsak skett genom samverkansgruppen för myndigheter med statligt förorenade områden (SFO) och dess undergrupp SFO PFAS, där SGI har bjudits in till möten och delat med sig av resultat och deltagit i gruppens diskussioner. Samverkan har även genomförts med tillsynsmyndigheterna för de två flygplatser där pilotstudier har genomförts (Länsstyrelsen i Västernorrlands län respektive Örnsköldsviks kommun) samt med Trafikverket rörande deras arbeten med jordtvätt av PFAS-förorenade massor. Länsstyrelsernas PFAS-samordnare har hållits uppdaterade om arbetet genom regelbundna möten.

Inom ramen för de olika forskningsprojekten har samarbeten etablerats med flera universitet och tre tjänster som postdoktor vid Örebro universitet, Uppsala universitet respektive Sveriges lantbruksuniversitet har upprättats. Utöver detta har specifika uppdrag utförts vid Örebro universitet och Linköpings universitet. Dessa inkluderar bland annat kvantifiering av PFAS i jord och grundvatten på en av de platser där SGI har genomfört pilotstudier, samt en studie som syftar till att undersöka huruvida aktivt kol påverkar upptag av PFAS i växter och daggmaskar. Såväl postdoktortjänster som uppdragen har finansierats genom Regeringens anslag 1:4 Sanering och återställning av förorenade områden.

Samarbeten har även skett med Stockholms universitet och Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM) i Frankrike. Där data framtagna inom regeringsuppdraget delats i forskningssyfte. Figur 3 visar de partners som vi huvudsakligen har samverkat med inom RU PFAS.

Genom samverkan med andra myndigheter, universitet och branschaktörer har effektiva forum för kunskapsöverföring skapats, samtidigt som SGI och SGU har fått värdefullt stöd i arbetet. Uppdraget har även stärkt universitetens forskning inom förorenade områden genom att skapa utrymme för postdoktortjänster.

Figur 3. Primära partners som SGI har samverkat med inom RU PFAS.

2 Genomförda forskningsprojekt

Under denna rubrik beskrivs de fyra forskningsprojekt som startades upp av SGI, men även kompletterande forskningsprojekt som genomförts inom regeringsuppdraget och inom anslag 1:4 Sanering och återställning av förorenade områden. Här beskrivs översiktligt vad som har utförts. Utvalda resultat som har kommit fram presenteras, liksom de slutsatser som kan dras baserat på dessa. Ett flertal rapporter och vetenskapliga artiklar kommer att publiceras framöver.

2.1 Jordtvätt

Vid jordtvätt schaktas förorenade massor upp och behandlas i syfte att reducera den mängd massor som behöver omhändertas. I processen tvättas materialet för att reducera dess innehåll av föroreningar. Föroreningshalten är ofta högre i finfraktionen (silt och lera) än i det grövre materialet (sand och grus), även efter det att massorna har tvättats. Samtidigt som massorna tvättas separeras därför finfraktionen från det grövre materialet. Målet med behandlingen är att grovfraktionen ska ha tillräckligt lågt föroreningsinnehåll för att fraktionen ska kunna återanvändas inom området, och därigenom undvika att dessa behöver omhändertas.

Jordtvätt är en väletablerad metod för att rena jord från metaller och även vissa organiska ämnen. Försök genomförda i USA, Australien och Sverige indikerar att det även går att utforma en jordtvättsprocess för att rena jord förorenad med PFAS. Även om metoden har kommit en bra bit i sin utveckling finns det fortfarande ett betydande behov av utvecklings- och verifieringsarbete.

Syftet med det aktuella forskningsprojektet var att utveckla jordtvättsprocessen för att förbättra reningsgraden med avseende på PFAS. En idé som undersöktes var om tillförsel av luft och tensider förbättrade reningsgraden. Det var också viktigt att verifiera att jordtvätt inte enbart är effektiv för vissa specifika PFAS, utan kan tillämpas på PFAS i allmänhet.

2.1.1 Genomförande

Vi har genomfört två laboratoriestudier på SGI:s miljölaboratorium. I det första försöket tvättades PFAS-förorenad jord genom tillsats av luft och olika tensider, i ett specialtillverkat kärl. Luft leddes in i botten av kärlet i syfte att förflytta PFAS mot ytan och bilda ett skum där PFAS ansamlas. Därefter avskildes skummet från tvättvattnet. Tensid tillsattes för att öka skumbildning men också för att bättre frigöra PFAS från jorden. PFAS analyserades sedan i skum, tvättvatten och jord för att undersöka reningseffekten samt hur PFAS fördelades mellan skum och tvättvatten.

I det andra laboratorieförsöket användes den mest effektiva tensiden från det första försöket för att tvätta olika typer av jordar. Vi undersökte även om den ursprungliga tvättiden på två timmar kunde förkortas. Vi genomförde också laktester på den tvättade jorden för att undersöka hur starkt eventuella resthalter av PFAS var bundna till jordmaterialet.

2.1.2 Resultat

Resultaten visar att tvätt med tillsats av luft och tensid ger en högre reningsgrad och lägre resthalt av PFAS än när bara vatten används. Reningsgraden för PFOS blev exempelvis 89 % vid tvätt med vatten och 97 % när luft och tensid tillsattes. Det innebär att vår utformning möjliggör en effektivare sanering. Genom att tillsätta luft och tensid minskade dessutom föroreningshalterna i tvättvattnet jämfört med då enbart vatten används, vilket gör att vattnet kan recirkuleras under längre tid innan det behöver renas.

Reningsgraden som uppnås är i stort sett densamma för större partiklar som för finfraktion (<0,063 mm), även om finfraktionen har en högre föroreningshalt initialt. Det innebär att finfraktionen innehåller en högre koncentration av PFAS än grovfraktionen även efter tvätt. Sandiga och grusiga jordar domineras av grövre partiklar, varför jordtvätt lämpar sig bäst för dessa jordtyper. De PFAS som finns kvar i jorden efter tvätt är hårdare bundna, vilket minskar risken för spridning vid en återanvändning av jorden.

2.1.3 Slutsatser

Jordtvätt har potential att behandla PFAS-förorenad jord. Reningsgraden varierar för olika PFAS. Tillsats av en tensid ökar i allmänhet reningsgraden, dessutom minskar koncentrationen av PFAS i tvättvätskan, vilket innebär att vätskan kan återanvändas längre tid utan att behöva renas.

En annan slutsats är att den PFAS som finns kvar i jorden efter tvätt sitter hårdare bundet i jorden än den gjorde innan tvätt. Det betyder att en bedömning av om den tvättade jorden kan läggas tillbaka och återanvändas bör ha ett större fokus på lakbarhet snarare än kvarvarande föroreningshalter.

En mobil anläggning för jordtvätt baserad på tensider kommer att skapa ett högförorenat skum som måste omhändertas och destrueras, helst on site (på plats). Även ett system för hantering av tvättvattnet kommer behövas. Det finns idag flera kommersiella tekniker för vattenrening och lokal destruktion av PFAS, men de behöver testas och eventuellt utvecklas för att kunna vara tillämpbara i ett system för jordtvätt.

2.2 Stabilisering

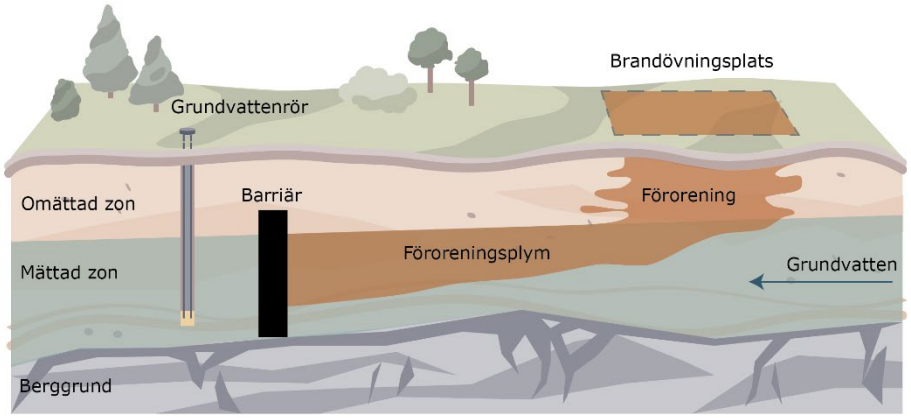
Platser där släckmedel innehållande PFAS har använts är en källa till spridning av PFAS i miljön. Det har visat sig att även om användningen upphörde för flera decennier sedan sker det fortfarande en betydande spridning av PFAS från ett sådant område.

Ett sätt att förhindra spridning av PFAS från en jord eller i grundvatten är att blanda in ett material som har en god förmåga att binda och hålla kvar PFAS i marken, en så kallad sorbent. Det finns ett flertal olika produkter på marknaden, exempelvis olika typer av aktivt kol. Metoder som bygger på immobilisering av föroreningar genom tillsats av sorbenter är relativt mogna tekniker och har nu börjat användas även för PFAS i olika fullskaleprojekt. Forskningsfrågor som kvarstår kopplar bland annat till långsiktigheten i en sådan typ av åtgärd och effektiviteten för olika typer av PFAS (långkedjiga, kortkedjiga och prekursorer). Detta är frågeställningar som har undersökts inom ramen för forskningsprojektet om stabilisering.

2.2.1 Genomförande

Projektet har genomförts i form av pilotstudier kopplat till brandövningsplatser inom de kommunala flygplatserna Sundsvall-Timrå Airport respektive Örnsköldsvik Airport.

Inom Örnsköldsvik Airport drevs ett pilotprojekt med fokus på att stoppa en pågående spridning av PFAS i området nedströms en brandövningsplats. Här injekterades kolloidalt aktivt kol med en storlek på någon tusendels millimeter i marken i ungefär 150 punkter inom ett område cirka 70 meter nedströms brandövningsplatsen. På så sätt har en permeabel barriär med aktivt kol skapats, se Figur 4, som är cirka 70 meter lång, 5 meter bred och 5–7 meter djup. Genom att kartlägga halter av PFAS i grundvattnet före och efter anläggandet av barriären har effekten av åtgärden kunnat utvärderats. Barriären anlades under hösten 2023 och effekten har följts upp sedan dess.



Figur 4. Schematisk bild över föroreningsspridning från brandövningsplatsen inom Örnsköldsviks Airport. Illustration: Thereze Ladekrans, SGI.

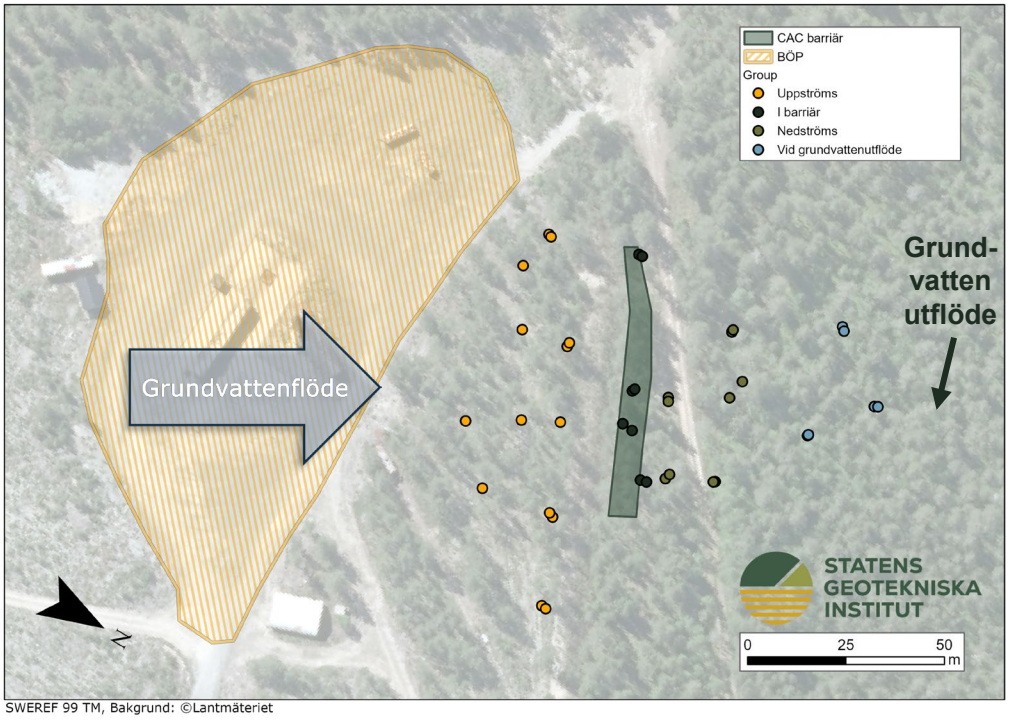
Vid Sundsvall-Timrå Airport genomfördes två pilotprojekt som har fokuserat på stabilisering av PFAS inom brandövningsplatsen, det vill säga behandling av själva källzonen. I det ena projektet behandlades PFAS-förorenad jord ovanför grundvattenytan (omättad zon). Den förorenade jorden grävdes upp, blandades med aktivt kol och placerades i cylindriska behållare om cirka två kubikmeter, se Figur 5. I detta fall användes pulveriserat aktivt kol (PAC) med en partikelstorlek på några hundradels millimeter. I sex av behållarna har jorden blandats med aktivt kol. Kvarvarande tre behållare utgjorde referenser och innehåller den förorenade jorden utan inblandning av aktivt kol.

Figur 5. Bild över pilotförsök i omättad zon inom Sundsvall-Timrå Airport. Under installation (vänster) respektive efter avslutad installation (höger).

Det andra pilotförsöket riktade in sig på jord under grundvattenytan (mättad zon). Här injekterades kolloidalt aktivt kol inom en yta på cirka 15x15 meter med en metod liknande den som användes inom Örnsköldsvik Airport.

2.2.2 Resultat - plymbehandling med en barriär av aktivt kol i Örnsköldsvik

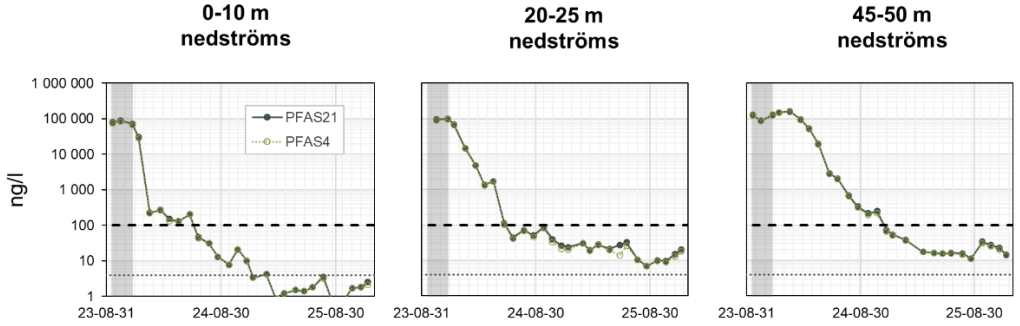
Grundvatten har provtagits i ett flertal punkter nedströms området där brandövningsplatsen ligger. Prover har tagits ut i barriären samt uppströms och nedströms den, se Figur 6.



Figur 6. Karta över området där barriären har installerats och provtagningspunkter för grundvatten. CAC barriär = barriär med kolloidalt aktivt kol, BÖP = brandövningsplats.

I föroreningsplymen i grundvattnet nedströms brandövningsplatsen uppgår den totala halten av de 4 respektive 21 specifika PFAS-föreningar som omfattas av rådande

gränsvärde för PFAS i dricksvatten (Σ_4PFAS/Σ_{21}PFAS) i medeltal till cirka 60 000 respektive 66 000 nanogram per liter (ng/l). När vattnet har passerat genom barriären med aktivt kol reduceras halten i grundvattnet. Minskningen sker dock inte omedelbart utan halten avtar successivt, Figur 7. Efter cirka 1,5 år har halten Σ_4PFAS nått en nivå som är jämförbar med rådande gränsvärde för PFAS i dricksvatten (4 ng/l) i det vatten som lämnar barriären. Detta motsvarar en haltreduktion på 99,99 %. Barriären stoppar spridningen av såväl lång- som kortkedjiga PFAS och även prekursorer. Ultrakorta PFAS, såsom trifluorättiksyra (TFA), utgör generellt inte en beståndsdel i PFAS-innehållande släckmedel, men finns allmänt spritt i miljön. Halterna av TFA inom området ligger kring 300–400 ng/l. En viss reduktion i halter av ultrakorta PFAS kan påvisas efter barriären men effekten är inte lika påtaglig som för övriga grupper av PFAS. De resultat som presenteras här visar att barriären med aktivt kol reducerar halterna av PFAS i grundvatten mycket effektivt under de dryga två år som har gått sedan åtgärden genomfördes.

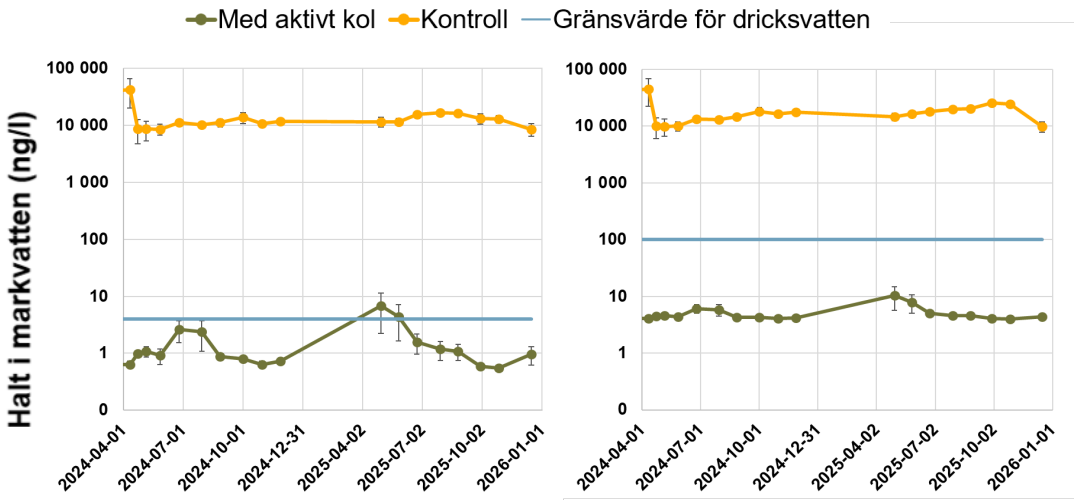


Figur 7. Förändring över tid av koncentrationen Σ_4PFAS respektive Σ_{21}PFAS i grundvatten på olika avstånd nedströms barriären. De två linjerna anger gränsvärde för PFAS i dricksvatten för Σ_4PFAS (4 ng/l) respektive Σ_{21}PFAS (100 ng/l). Notera att y-axeln redovisas i logaritmisk skala.

Den långsiktiga effektiviteten för att minska spridningen av PFAS med en barriär är i dagsläget inte klarlagd. Som komplement till uppföljande provtagningar av grundvatten har SGI därför genomfört modelleringsarbeten för att uppskatta barriärens effektivitet över en längre tidsperiod. Modelleringarna indikerar att barriären fortfarande är mycket effektiv efter lång tid. Spridningen av PFOS, som är det ämne som dominerar föroreningsbilden på den aktuella platsen, reduceras enligt beräkningarna med storleksordningen 90 % direkt nedströms barriären efter 50 år. För PFBA däremot har barriären en begränsad effekt då kortkedjiga PFAS inte binds lika effektivt till aktivt kol. Resultat från modelleringsarbetet visar att effekten av barriären för PFBA börjar avta inom tio år.

2.2.3 Resultat - behandling av källzon i omättad zon Sundsvall-Timrå

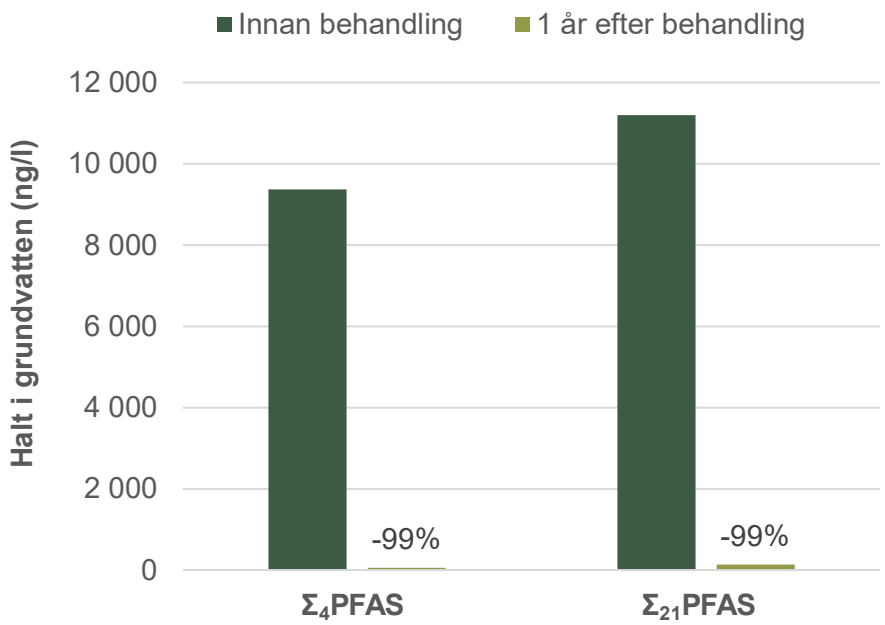
Utan inblandning av aktivt kol är summahalten Σ_4PFAS i markvatten (det vatten som finns i den omättade zonen) cirka 12 000 ng/l i medeltal, se Figur 8. Efter inblandning med aktivt kol reduceras halten i medeltal till knappt 2 ng/l. För summahalten Σ_{21}PFAS är motsvarande halter cirka 16 000 ng/l respektive cirka 5 ng/l. Detta motsvarar en reduktion i halt på mer än 99,98 %. Halterna kan jämföras med rådande gränsvärde för PFAS i dricksvatten, 4 ng/l och 100 ng/l för Σ_4PFAS respektive Σ_{21}PFAS. Effekten är i stort sett omedelbar, vilket betyder att spridningen av PFAS från ett källområde i omättad zon kan stoppas på kort tid.



Figur 8. Summahalt Σ_4PFAS (vänster) respektive Σ_{21}PFAS (höger) i markvatten inom den omättade zonen vid Sundsvall-Timrå flygplats. Horisontell linje anger gränsvärde för PFAS i dricksvatten för Σ_4PFAS (4 ng/l) respektive Σ_{21}PFAS (100 ng/l). Kontroll = jord utan tillsats av kol. Notera att y-axeln redovisas i logaritmisk skala.

2.2.4 Resultat – behandling av källzon mättad zon Sundsvall-Timrå

Inom den del av brandövningsplatsen där detta pilotförsök genomfördes uppmättes en summahalt Σ_4PFAS i grundvatten på i medeltal 9 400 ng/l innan behandling med aktivt kol. För summahalten Σ_{21}PFAS var motsvarande halt cirka 11 200 ng/l. I oktober 2025, drygt ett år efter det att kolet injekterades, hade dessa halter reducerats till cirka 60 ng/l för Σ_4PFAS respektive 140 ng/l för Σ_{21}PFAS i det grundvatten som passerat genom den behandlade jordvolymen. Detta motsvarar en haltreduktion på runt 99 %, se Figur 9.



Figur 9. Inverkan av stabilisering med aktivt kol inom den mättade zonen vid Sundsvall-Timrå flygplats. Procentsiffrorna anger haltreduktionen.

2.2.5 Slutsatser

Resultaten från de tre pilotstudierna visar att inblandning av aktivt kol i marken är en effektiv metod för att begränsa spridningen av PFAS, såväl från en föroreningskälla som i en föroreningsplym i grundvatten. Vi har också visat på en metodik, som omfattar de olika stegen från förberedande arbeten till uppföljning av en stabiliseringsåtgärd, vilken kan tillämpas i andra projekt. En erfarenhet är vikten av att göra en grundläggande karakterisering av de platsspecifika förhållanden som råder inom området innan åtgärden genomförs.

Kostnaden för att konstruera en permeabel barriär med aktivt kol av den storlek som anlades inom Örnsköldsviks Airport uppskattas till mellan 20 och 25 miljoner kronor. Att stabilisera en källterm i omättad zon inom volym på 5 000 m^3 (50x50x2 m) med aktivt kol uppskattas till mellan 5 och 8 miljoner kronor. I dessa beräkningar ingår kostnaden för kolloidalt aktivt kol samt maskin- och personalkostnader kopplade till arbetet med att blanda in kol i marken. Till det tillkommer kostnader för undersökningar inför åtgärden samt för uppföljning av åtgärdens effektivitet.

2.3 Termisk behandling

Termisk behandling innebär att föroreningar i jord destrueras eller avlägsnas med hjälp av värme, antingen *ex situ* på uppgrävda massor eller *in situ* direkt i marken. Destruktion av PFAS kräver över 1 000 °C, medan desorption sker vid lägre temperaturer. Projektet har bedrivits vid Forskningscentrum Människa-Teknik-Miljö (MTM) vid Örebro universitet. Laboratorieförsöken och forskningsarbetet har genomförts av MTM i samarbete med SGI och med stöd av SGU.

Det övergripande syftet med forskningsprojektet var att stärka kunskapen om termisk behandling av PFAS-förorenad jord inom branschen. Fokus har varit att utifrån försök i laboratorieskala bedöma metodens begränsningar och risker vid en tillämpning i full skala.

2.3.1 Genomförande

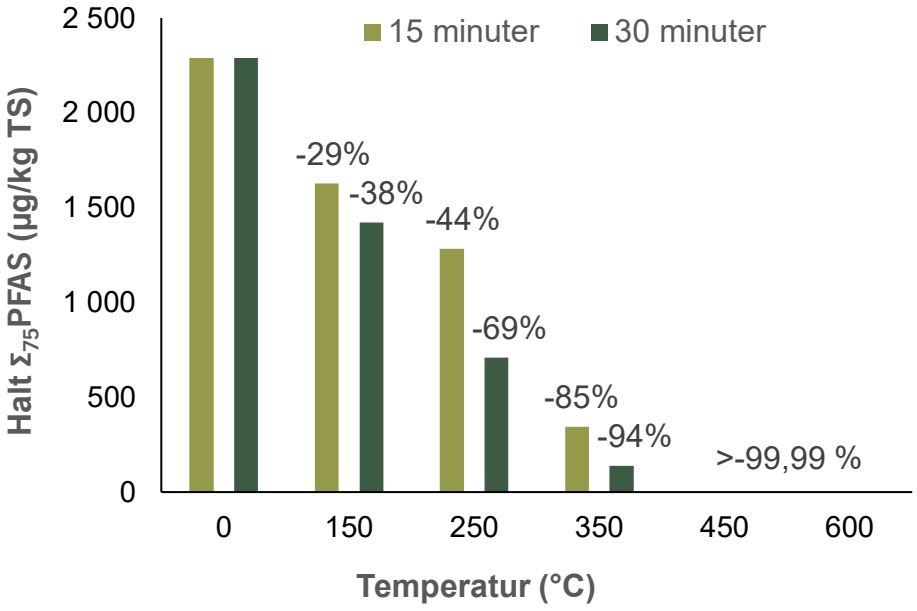
Laboratorieförsöken utfördes i en specialanpassad ugn där jordprover värmdes upp till olika temperaturer (150–600 °C) och under olika behandlingstider (15 min, 30 min, 7 dygn). Ett styrt luftflöde leddes genom ugnen för att transportera bort de PFAS som förångades vid upphettningen.

De föroreningar som fördes över till luften samlades stegvis upp i en vattenfälla och på ett filter. Syftet var att fånga både flyktiga och mer svårfångade fluorerade ämnen och därmed skapa en så heltäckande bild som möjligt av vilka PFAS som frigörs under processen och under vilka förhållanden. Den kemiska analysen var mer omfattande än de som kommersiella laboratorier erbjuder idag. Totalt kvantifierades 75 enskilda PFAS i den riktade analysen.

Försöken utfördes med både spikade jordar (med tillsatt PFAS) och fältförorenad jord. En viktig del av arbetet har varit att utveckla och testa metodik för provtagning, provhantering och kemisk analys av samtliga matriser efter den termiska behandlingen.

2.3.2 Resultat

Laboratorieförsöken visade att såväl behandlingstid som temperatur är avgörande för reningsgraden. Det kan konstateras att de 75 enskilda PFAS som kvantifierades (Σ_{75}PFAS) avlägsnades mycket effektivt vid temperaturer över 450 °C. Redan efter 15 minuter hade mer än 99 % av kvantifierade PFAS försvunnit från jorden, Figur 10. Ett liknande mönster erhölls vid behandling under 30 minuter, dock med en högre reningsgrad.



Figur 10. Halt Σ_{75}PFAS (µg/kg TS) i jorden efter termisk behandling i 15 respektive 30 minuter. Procentsiffrorna anger haltreduktionen.

Bredare analysmetoder, såsom extraherbart organiskt fluor (EOF) där den totala halten av organiskt fluor bestäms, visade däremot att det kvarstår en betydande andel icke kvantifierbara PFAS i den värmebehandlade jorden. För att avlägsna dessa PFAS krävdes behandling vid minst 600 °C, alternativt behandling vid 250 °C under mycket lång tid (7 dagar).

En litteraturstudie som har genomförts inom projektet visar att termisk behandling av PFAS-förorenat avfall kan leda till bildning av olika nedbrytningsprodukter vid avfallsförbränning. Det sker framför allt om temperaturen inte är tillräckligt hög eller om uppehållstiden i förbränningszonen är för kort. Exempel på restprodukter som kan bildas är ultrakorta perfluorerade karboxylsyror och fluorerade ämnen som klassas som växthusgaser. Detta kan vara ett problem då avfallsförbränning är den vanligaste behandlingen av restavfall i Sverige.

Resultat från laboratorieförsöken och litteraturstudien är publicerade i en SGI-rapport (SGI, 2026).

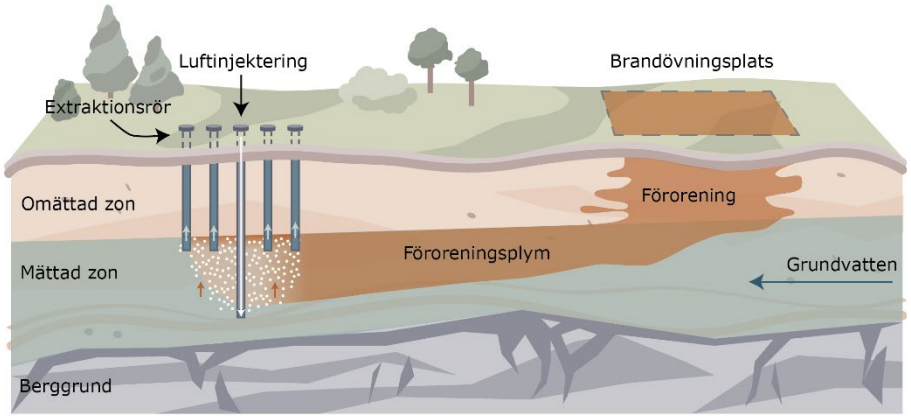
2.3.3 Slutsatser

Projektet visar att termisk desorption kan vara en effektiv metod för att avlägsna PFAS från jord. Behandlingstid och -temperatur är avgörande faktorer för behandlingseffektiviteten. PFAS destrueras troligtvis inte helt och hållet vid de temperaturer som används vid termisk desorption. De ämnen som förångas måste därför samlas upp eller destrueras genom förbränning av de processgaser som uppstår. Ekonomiska och tekniska begränsningar utgör utmaningar för termisk desorption i större skala.

På senare tid har forskningen visat att termisk behandling av PFAS kan leda till bildning av olika nedbrytningsprodukter, framför allt om temperaturen inte är tillräckligt hög eller om uppehållstiden i förbränningszonen är för kort. PFAS kan då finnas i olika reströmmar (luft, kondensatvatten och askor) och utgörs inte nödvändigtvis av de PFAS som kan kvantifieras i en riktad analys. Det är av stor vikt att verksamhetsutövare informeras om de potentiella problem som termisk behandling av PFAS-innehållande avfall kan medföra.

2.4 Luftinjektering

Metoder som bygger på att luft injekteras i grundvatten är väletablerade för att rena grundvatten förorenat med flyktiga organiska ämnen. Injektering av luft medför att föroreningar lösta i vatten förångas och samlas upp ovan markytan. Tillförsel av luft kan även göra att föroreningar som är nedbrytbara under syrerika förhållanden destrueras av mikroorganismer. Projektet har bedrivits vid Institutionen för vatten och miljö vid Sveriges lantbruksuniversitet (SLU). Laboratorieförsöken och forskningsarbetet har genomförts av SLU i samarbete med SGI och med stöd av SGU.



Figur 11. Översiktsbild av möjlig tillämpning av luftinjektering. PFAS anrikas i ytligt liggande grundvatten, vilket minskar volymen vatten som behöver pumpas upp och renas. Illustration: Thereze Ladekrans, SGI.

De allra flesta PFAS har begränsad flyktighet och många PFAS är dessutom svåra att bryta ned. Att injektera luft i ett grundvatten förorenat med PFAS bygger i stället på en helt annan princip. Eftersom PFAS är ytaktiva ämnen ansamlas de gärna i gränsytan mellan vatten och luft. Vår hypotes var därför att PFAS i grundvattnet följer med luftbubblorna uppåt, vilket innebär att den nedre delen av grundvattenmagasinet renas från PFAS samtidigt som PFAS anrikas närmare grundvattenytan.

Luftinjektering förväntas alltså inte ge fullständig rening av grundvattenmagasinet, men genom att PFAS förflyttas uppåt och koncentreras i en mindre volym ytligt grundvatten minskar mängden grundvatten som behöver pumpas upp och renas. Om metoden visar sig effektiv kan den sannolikt användas i såväl en barriärlösning, som direkt i grundvattnet i källzonen, Figur 11.

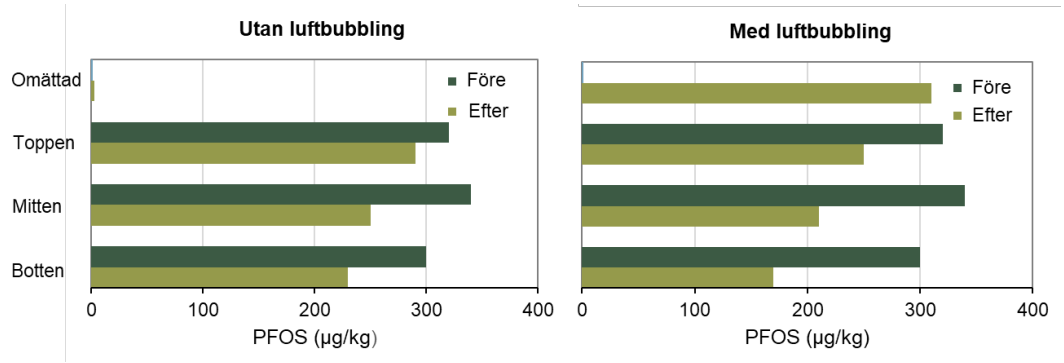
Syftet med detta forskningsprojekt var att i laboratorieskala undersöka möjligheten att genom luftbubbling förflytta olika typer av PFAS i en jord under vattenmättade förhållanden, motsvarande dem i grundvattenzonen.

2.4.1 Genomförande

Två olika försök har genomförts på SLU:s laboratorium. I båda försöken användes jord från Sundsvall Timrå Airport som packades i en meter långa kolonner. I kolonnernas botten tillfördes vatten alternativt en kombination av vatten och luft. Genom att jämföra resultatet mellan de båda systemen var det möjligt att särskilja effekten av luftbubbling. I ett första försök av pilotkaraktär pumpades vatten och luft in genom kolonnerna under en kort tid (3 timmar), medan det andra försöket pågick under fem dygn. Jordar från försöket analyserades med avseende på PFAS både före och efter experimentet. Vattenprover provtagna på olika nivåer analyserades under försökets gång.

2.4.2 Resultat

Resultat från korttidsförsöket bekräftade hypotesen att en luftbubbling kan förstärka transporten av PFAS uppåt i kolonnerna. Detta gällde dock framför allt långkedjiga PFAS, som PFOA, PFHxS, PFOS och 6:2 FTAB. Det skum som bildades på toppen av kolonnerna innehöll mycket höga halter av långkedjiga PFAS.



Figur 12. Halter av PFOS i jordar uttagna på olika djup i de två kolonnerna, före respektive efter försökets genomförande.

Det andra försöket, vilket pågick under fem dygn, bekräftade bilden av att transporten av långkedjiga PFAS uppåt i jordkolonnerna kan öka med hjälp av en luftbubbling. Detta illustreras i Figur 12, där koncentrationen av PFOS i jord från olika nivåer i kolonnerna före respektive efter försöket redovisas. Initialt är koncentration den samma på de olika nivåerna i kolonnerna – i genomsnitt 320 µg/kg. I kolonnen utan luftbubbling har det skapats en svag koncentrationsgradient efter försöket, då en del PFOS rör sig uppåt i kolonnen tillsammans med det inflödande rena vattnet. I kolonnen med luftbubbling var koncentrationsgradienten av PFOS i jorden betydligt mer uttalad.

Dessutom ökade koncentrationen av PFOS väsentligt i den initialt rena sanden i den omättade övre delen av kolonnen. Liknande beteende erhölls för andra långkedjiga PFAS, medan kortkedjiga PFAS påverkades mindre av luftbubblingen.

2.4.3 Slutsatser

Resultat från de båda laboratorieförsöken visar att det är möjligt att transportera PFAS under vattenmättade förhållanden med hjälp av luftbubbling. Effektiviteten är dock kopplad till kedjelängden på PFAS-molekylerna, där långkedjiga PFAS som PFOS påverkas mer än kortkedjiga PFAS som PFBA.

Luftbubbling kan innebära en överföring av PFAS från den mättade grundvattenzonen till den omättade zonen, vilket måste beaktas om luftinjektering ska användas som ett komplement i en barriärlösning baserad på grundvattenpumpning och behandling (eng. *pump and treat*). En tillämpning av metoden är av denna anledning sannolikt begränsad till högförorenade källområden där en åtgärd riktad mot den omättade zonen redan är planerad. Vår bedömning är dock att de tekniska utmaningarna med metoden är stora och att den av denna anledning inte kommer att utgöra en prioriterad åtgärd i SGI:s fortsatta arbete efter RU PFAS.

2.5 Kompletterande projekt

Utöver de fyra forskningsprojekt som beskrivits ovan har flera kompletterande projekt genomförts inom ramen för SGI:s regeringsuppdrag och inom anslag 1:4 Sanering och återställning av förorenade områden. Dessa beskrivs kortfattat i detta avsnitt.

2.5.1 Modellering av barriärens livslängd

Modellering av spridnings- och fastläggningsmekanismer är ett viktigt underlag för riskbedömningar samt för att bedöma hur länge en stabiliseringsåtgärd kan förväntas vara effektiv. Befintliga modelleringsverktyg är i behov av vidareutveckling, särskilt avseende PFAS-specifika processer såsom fastläggning mellan luft–vattengränsytor i den omättade zonen, omvandling av prekursorer samt konkurrenseffekter mellan olika PFAS på ytor av aktivt kol.

Uppsala universitet har i samarbete med SGI bedrivit ett projekt med syfte att öka förståelsen kring kolbarriärens livslängd för olika typer av PFAS. Som en del av projektet har kolonnförsök utförts med jord från barriären vid Örnsköldsviks Airport (avsnitt 2.2.2). I försöket användes förorenat grundvatten från brandövningsplatsen i syfte att återskapa realistiska förhållanden. Kolonnförsöket gav ett unikt underlag för att utveckla en modell som beskriver barriärens funktion i ett längre tidsperspektiv. Modelleringsarbetet pågår och kommer att rapporteras under året.

2.5.2 Långtidsförsök av en stabiliseringsåtgärd

I den barriärlösning som diskuteras ovan stabiliseras den PFAS som kontinuerligt tillförs med det grundvatten som strömmar in till barriären. Aktivt kol kan även användas för att stabilisera en jord som redan är PFAS-förorenad. I vårt laboratorieförsök fylldes kolonner med PFAS-förorenad jord uppblandad med pulveriserat aktivt kol (PAC) varefter vatten leddes genom kolonnerna. Två olika typer av vatten användes: ett ”syntetiskt” naturvatten utan lösta humusämnen och ett sjövatten med lösta humusämnen. Försöket simulerar

regnvatten alternativt ett humöst markvatten som tränger ner i marken i ett förorenat område där den PFAS-förorenade jorden har stabiliserats med aktivt kol. Genom att analysera koncentrationen av PFAS i vattnet som passerat genom kolonnen kan man få en uppfattning om hur många år det tar innan kolet förlorar sin förmåga att hindra PFAS från att spridas. Vår hypotes var att lösta humusämnen, som förekommer i alla typer av naturliga vatten, på sikt kan konkurrera med bundet PFAS och på så sätt försämra det aktiva kolets fastläggningsförmåga.

Resultaten visar att PAC band långkedjiga PFAS mycket effektivt under försökets gång. Det fanns heller inga negativa effekter från lösta humusämnen på fastläggningen som kunde påvisas. Resultatet från försöket indikerar att stabiliseringen av långkedjiga PFAS är effektiv i många decennier, troligtvis under flera hundra år. Försöket indikerade dock att fastläggning av kortkedjiga PFAS är mindre effektiv. En viktig slutsats är att det är avgörande att noggrant karakterisera sammansättningen av PFAS inom det aktuella förorenade området innan beslut om stabiliseringsåtgärder fattas.

2.5.3 Analys av extraherbart organiskt fluor i källzonen i Örnsköldsvik

Det är väl känt att en brandövningsplats kan innehålla ett hundratal olika PFAS. Konventionell PFAS-analys, så kallad riktad analys, omfattar ett begränsat antal av dessa. Syftet med studien var att undersöka om källzonen innehåller föreningar som inte fångas upp i en riktad analys. Projektet har genomförts i samarbete med Linköpings universitet som analyserade EOF på prover av jord, grundvatten och markvatten inom källzonen vid Örnsköldsviks flygplats. Analys av EOF är ett sätt att uppskatta den totala koncentrationen av organiskt fluor, som i detta fall likställs med PFAS, i ett prov. Genom att jämföra halter av EOF med resultat från en riktad analys kan studien ge en indikation på förekomst av ytterligare andra fluorerade organiska föreningar i källzonen.

Resultaten är motstridiga. För grund- och markvatten indikerar delar av resultaten att den riktade analysen kan underskatta innehållet av fluorföreningar med upp till en faktor två för grundvatten och tre för markvatten. För en fjärdedel av vattenproverna och huvuddelen av jordproverna visar däremot den riktade analysen på ett större föroreningsinnehåll än EOF. Att det totala innehållet av organiskt fluor är mindre än vad en riktad analys som kvantifierar ett begränsat antal PFAS ger kan inte förklaras.

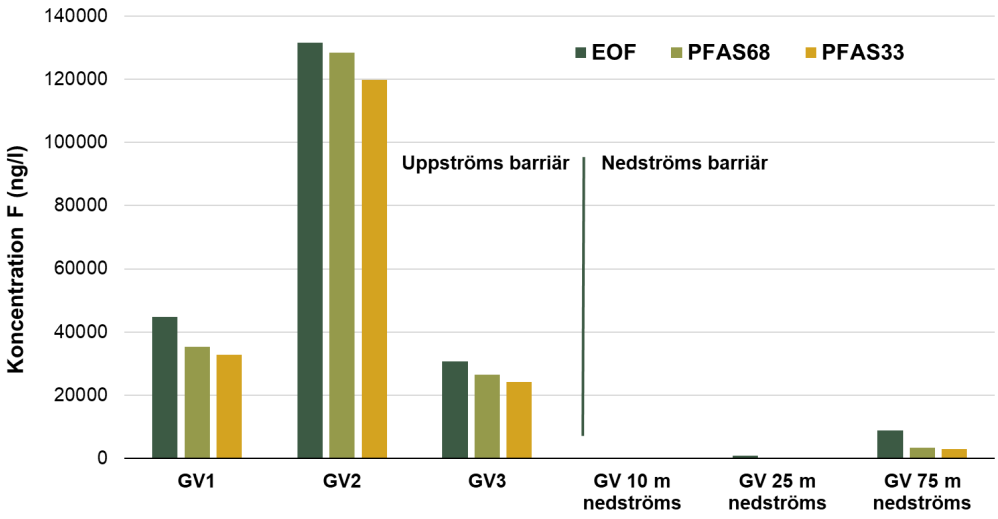
2.5.4 Bestämning av extraherbart organiskt fluor och utökad riktad PFAS-analys på vattenprov från Örnsköldsvik Airport

För att få en mer komplett bild av hur barriären på Örnsköldsvik Airport fungerade för kända (kvantifierbara) och okända PFAS har utökade analyser genomförts på grund- och ytvattenprover tagna under maj månad 2024 och 2025. Projektet genomfördes i samarbete med Örebro universitet som ansvarade för såväl provtagning som analys. Samtliga prover analyserades med avseende på EOF. Utöver EOF analyserades samtliga prover med en utökad riktad analys där 68 olika PFAS kvantifierades.

Den utökade riktade analysen visade att huvuddelen av EOF-halten i grundvatten uppströms barriären kunde förklaras av ”kända” (de 68 som kvantifierades) PFAS (60–98 %). För de 33 PFAS som ingår i de analyspaket som SGI beställt från det kommersiella laboratoriet var förklaringsgraden något lägre (55–91 %). Nedströms barriären minskar

förklaringsgraden av EOF för ”kända” PFAS. Något som var mer uttalat då enbart 32 PFAS ingick i beräkningen. Orsaken till skillnaden i förklaringsgrad är att den utökade analysen även innehöll ultrakorta PFAS, däribland trifluorättiksyra (TFA), vilket den kommersiella analysen inte gjorde. Trifluorättiksyra är vanligt förekommande i naturen och sprids via nederbörd till mark och vatten, dvs. den har ett annat ursprung än brandövningsplatsen.

Koncentrationen av EOF i grundvatten direkt nedströms barriären (10 m) minskade med 99,9 % (Figur 13), vilket betyder att barriären fungerar som ett effektivt filter för de PFAS som kommer från brandövningsplatsen. Det tycks således inte finnas höga halter av ”okända” PFAS som passerar barriären.



Figur 13. Koncentrationen av extraherbart organiskt fluor (EOF) mätt som ng F per liter, jämfört med den totala koncentrationen fluor i 33 olika PFAS (Σ_{33}PFAS) och ett utökat analyspaket innehållande 68 olika PFAS (Σ_{68}PFAS). Resultatet illustrerar situationen i maj 2025. GV1, GV2 och GV3 är grundvattenrör installerade uppströms (innan) barriären, de övriga provpunkterna är grundvattenrör på olika avstånd nedströms barriären vid Örnsköldsviks flygplats.

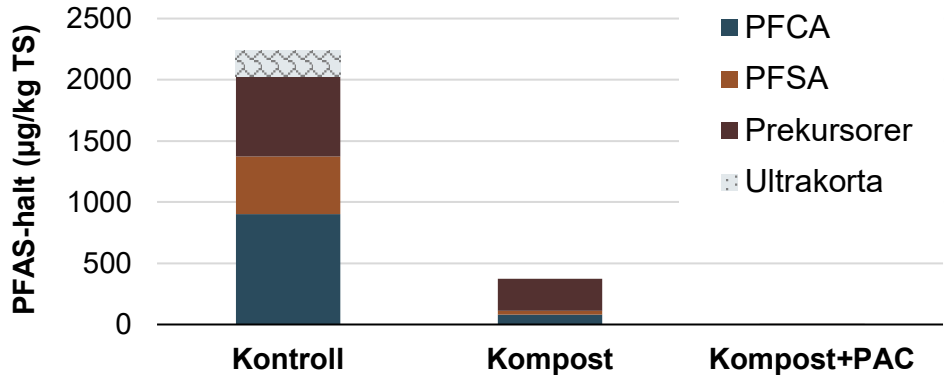
Den viktigaste slutsatsen från detta projekt är att EOF är en användbar kompletterande metod till en riktad analys, då den ger en uppfattning om ett övre tak för vilken total koncentration av PFAS som kan förväntas på en viss plats.

2.5.5 Inverkan av aktivt kol på upptag av PFAS i växter och daggmaskar

Ett potentiellt problem med PFAS är deras förmåga att tas upp av växter och marklevande djur, vilka i sin tur kan utgöra föda för andra djur. Detta kan leda till att halterna av PFAS ökar högre upp i näringskedjan, vilket även är ett problem ur ett humantoxikologiskt perspektiv. I ett samarbetsprojekt med Örebro universitet undersöktes förmågan hos pulveriserat aktivt kol (PAC) att minska upptaget av PFAS i växter (gräs) och daggmask. Samtliga försök och analyser genomfördes av Örebro universitet.

Försöket visade att halten av PFAS i gräsblad minskade drastiskt (mer än 99,9 %) då PAC blandades in i jord från Sundsvall Timrå Airport (Figur 14). Försöket visade också att naturligt organiskt material i form av kompost minskade upptaget, dock inte alls lika

effektivt som PAC. Även försök med daggmask visade att upptaget av PFAS minskade väsentligt (mer än 99 %) vid tillsats av PAC. Reproduktionen påverkades dock negativt, en effekt som enligt tidigare forskning kan undvikas om större kolpartiklar används. Slutsatsen från försöken är att en iblandning av aktivt kol är ett effektivt sätt att minska upptaget av PFAS i växter och marklevande djur.



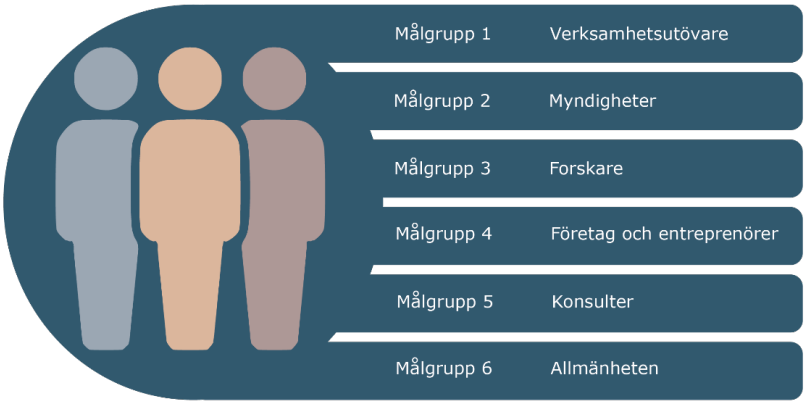
Figur 14. Upptag av per- och polyfluorerade karboxylsyror (PFCA), sulfonsyror (PFSA) och prekursorer, samt ultrakorta PFAS, i gräsblad. I försöket användes jord från Sundsvall Timrå Airport, vilken var obehandlad (kontroll), behandlad med kompost och gödsel (kompost), eller en kombination av kompost, gödsel och pulveriserat aktivt kol (2 viktprocent) (Kompost+PAC).

3 Kunskapsspridning

En central del av det arbete som utförts inom ramen för regeringsuppdraget har varit att säkerställa att den kunskap som genererats tillgängliggörs för aktörer inom branschen som arbetar med åtgärder för förorenade områden. I detta kapitel beskrivs vilka målgrupperna är och hur kunskapsspridning har bedrivits under uppdraget och vilka kommunikationsinsatser som är planerade efter avslutat uppdrag.

3.1 Målgrupper och kommunikationsinsatser

I arbetet med att åtgärda PFAS-förorenade områden är ett stort antal aktörer inblandade. De primära målgrupperna för regeringsuppdraget har utgjorts av aktörer som på något sätt har en koppling till arbetet med förorenade områden, dessa presenteras i Figur 15. Media utgör en sekundär målgrupp. Syftet med kommunikation via denna kanal är att informera allmänheten om projektets övergripande mål samt förmedla de insikter och erfarenheter som utvecklats under projektets gång.



Figur 15. Primära målgrupper för RU PFAS.

För att informera om aktuellt uppdrag och kommunicera resultat har vi anordnat webbinarier som vänt sig till bland annat forskare, konsulter, tillsynsmyndigheter, verksamhetsutövare och branschorganisationer som är involverade i arbetet med att åtgärda PFAS-förorenade områden. Webbinarieserien har haft ett stort genomslag. Sammanlagt har cirka 1 600 personer varit uppkopplade i de nio webbinarier som hållits.

Information om regeringsuppdraget har dessutom spridits via SGI:s befintliga plattformar, exempelvis nyhetsbrev, länsstyrelseträffar, myndighets- och branschnätverk för PFAS, Baltic Sea PFAS Network och konferenser. Nyheter har även spridits via SGI:s externa webbplats och sociala medier. Forskningsresultat har redovisats vid både nationella och internationella konferenser.

3.2 Framtida kommunikation och implementering av resultat

Den kunskap och de erfarenheter som har genererats från forskningsprojekten har till viss del publicerats och kommer även fortsättningsvis att presenteras skriftligt i form av rapporter och vetenskapliga artiklar. Antal planerade rapporter och vetenskapliga artiklar redovisas i Tabell 1.

Tabell 1. Antal planerade rapporter och vetenskapliga artiklar från forskningsprojekt och olika samarbeten inom RU PFAS.

Publikationer	Antal
SGI-rapporter	12
Vetenskapliga artiklar (SGI huvudförfattare)	4
Vetenskapliga artiklar (SGI medförfattare)	10

Under de kommande åren kommer vi att ha ett ökat fokus på kunskapsspridning av resultat från regeringsuppdraget till såväl statliga som privata och kommunala aktörer. Resultaten kommer att tillgängliggöras för länsstyrelser och kommuner genom SGI:s och SGU:s befintliga nätverk och samverkansforum, exempelvis myndighetsnätverk, branschträffar och länsstyrelseträffar. Vidare kommer kunskapen att spridas genom vägledande rapporter, webbinarier, presentationer riktade till yrkesverksamma inom arbetet med förorenade områden samt via SGI:s webb. Syftet är att skapa förutsättningar för att de framtagna metoderna och erfarenheterna ska kunna omsättas i praktisk tillämpning i det pågående och framtida arbetet med PFAS-förorenade områden.

4 Slutsatser

Bristen på ändamålsenliga åtgärdstekniker för PFAS-förorenade områden är idag ett stort hinder i arbetet med att åtgärda förorenade områden. Det finns därför ett betydande behov att utveckla och validera sådana tekniker.

Inom RU PFAS har vårt arbete under perioden 2022–2026 haft fokus på att utveckla och validera fyra olika metoder. Det genomförda arbetet med jordtvätt visar att det är en lovande metod för att åtgärda PFAS-förorenad jord. En traditionell process med enbart vatten kan ge reningsgrader runt 90 %. Vårt laboratorieförsök visade att genom tillsats av både tensid och luft förbättrades reningsgraden till runt 97 %. Våra resultat visade dessutom att vi kunde uppnå hög reningsgrad inte bara för PFOS och PFOA, utan för ett bredare spektrum av ämnen. Tensider gör det möjligt att återanvända tvättvattnet under längre tid, eftersom PFAS samlas i skumfasen där koncentrationen ökar. De PFAS som finns kvar i jorden efter tvätt är hårdare bundet till jorden. Detta innebär att en bedömning av möjligheten att återanvända tvättad jord bör ha ett större fokus på lakbarhet snarare än kvarvarande föroreningshalter.

Stabilisering med aktivt kol har inom uppdraget visat sig vara en mycket effektiv metod för att binda långkedjiga PFAS under både omättade och mättade vattenförhållanden, och bedöms vara mogen att tillämpa i full skala. Metoden är dock sämre för jordar med höga halter av kortkedjiga PFCA. Då föroreningen kvarstår i marken är åtgärdens funktion och effektivitet över längre tidsperioder en central aspekt att beakta. Laboratoriestudier och modelleringsarbeten indikerar att en god funktion hos en barriär av kolloidalt aktivt kol kan upprätthållas under ett flertal decennier för långkedjiga PFAS. För kortkedjiga PFAS förväntas en fullgod funktion vara betydligt kortare. I områden som är måttligt förorenade med PFAS skulle en barriärlösning kunna utgöra en slutgiltig åtgärd. Men i de flesta fall bör en barriärlösning betraktas som en delåtgärd, i kombination med en åtgärd som begränsar en fortsatt spridning från källzonen. Om en åtgärd riktad mot källzonen dröjer, är det möjligt att tillföra barriären mer aktivt kol om den stabiliserande effekten avtar med tiden.

En stabilisering av en jord med aktivt kol minskar även biotillgängligheten av PFAS. Upptaget av PFAS i såväl gräs som daggmaskar minskade drastiskt vid tillsats av aktivt kol. Samtidigt observerades negativa reproduktionseffekter på daggmaskarna, vilket enligt tidigare forskning kan undvikas genom att använda större kolpartiklar.

Termisk desorption kan vara en effektiv metod för att avlägsna PFAS från jord, förutsatt att behandlingstemperatur och behandlingstid är tillräckliga. Uppföljning av åtgärden kräver dock mer än traditionella riktade PFAS-analyser, eftersom dessa riskerar att underskatta det totala innehållet av organiska fluorerade ämnen. Resultaten understryker behovet av att komplettera riktade analyser med bredare analysmetoder, samt av fortsatt arbete med standardisering av dessa metoder.

Ett laboratorieförsök visade att det är möjligt att förflytta PFAS upp genom grundvattenzonen med hjälp av luftbubbling. Ett potentiellt problem med metoden tycks vara att transporten av PFAS inte stannar vid grundvattenytan utan fortsätter upp ovanför grundvattenytan, och därigenom tillför PFAS till den omättade zonen. Detta begränsar sannolikt metodens tillämpbarhet i fält.

Sammansättningen av PFAS inom ett förorenat område kan vara mycket komplex. Även om de analysmetoder som de kommersiella laboratorierna erbjuder idag kan kvantifiera allt fler PFAS, innebär dessa metoder att förekomsten av PFAS i många fall underskattas. Detta har också visats inom SGI:s uppdrag. Alternativa analysmetoder som baseras på bestämning av mängden organiskt fluor finns tillgängliga, och kan vara ett viktigt komplement till riktade analyser. En begränsning med dessa typer av metoder är att de ännu inte är standardiserade.

Arbetet inom RU PFAS har lett till en väsentligt ökad kunskap kopplat till undersökning och utredning av PFAS-förorenade områden. Som exempel på detta kan nämnas metoder för att provta grundvatten, betydelsen av och begränsningar med olika analysmetoder för att kvantifiera förekomsten av PFAS samt nyttan av teoretiska verktyg och modeller. Kunskaper som utgör ett värdefullt bidrag till såväl förbättrade riskbedömningar som vid val, dimensionering och utvärdering av en åtgärd.

Slutligen vill vi lyfta vikten av denna typ av satsningar. Det har möjliggjort ett fördjupat samarbete mellan myndigheter, särskilt mellan SGI och SGU. Det goda samarbetet har varit avgörande för uppdragets genomförande och goda resultat. Satsningen har också skapat tydliga ”ringar på vattnet” – effekter i form av nya samarbeten, påbyggnadsprojekt och stärkt nationell forskningskapacitet, vilket lett till en ökad kunskap hos såväl myndigheter som akademi och bransch. För att ta vara på dessa kontaktytor och erfarenheter krävs långsiktiga satsningar med stabila finansiella förutsättningar.

5 Behov av fortsatta åtgärder

Regeringsuppdraget om PFAS har genererat ny och viktig kunskap om undersökning, utredning och åtgärder av PFAS-förorenade områden. Samtidigt visar resultaten på ett behov av ett fortsatt forsknings- och utvecklingsarbete. En central fråga som kvarstår är långtidseffekten av stabiliseringsåtgärder. De resultat som hittills har framkommit inom RU PFAS pekar på att stabilisering med aktivt kol kan vara effektivt under flera årtionden. Kvarvarande osäkerheter gör att SGI ser ett tydligt behov av en långsiktig uppföljning av de genomförda pilotförsöken för att kunna bedöma metodens funktion och effektivitet över tid. Detta arbete behöver kompletteras med fortsatt utveckling av teoretiska verktyg och modeller för att bättre kunna förutsäga långtidseffekter och stödja dimensionering och riskbedömning.

Vidare finns behov av att undersöka möjligheten att använda stabilisering med aktivt kol i områden med andra geologiska och hydrogeologiska förutsättningar än de som hittills studerats. Praktiska frågor som rör tekniker för inblandning av kol är särskilt viktiga att undersöka då de är direkt kopplade till metodens tillämpbarhet och kostnadseffektivitet. Dessa frågor adresseras delvis i pågående och planerade pilotprojekt som SGI och SGU bedriver med stöd av Naturvårdsverkets bidrag till pilotprojekt för åtgärder inom förorenade områden.

De genomförda laboratorieförsöken med jordtvätt visar att metoden har en stor potential att rena PFAS-förorenad jord. Nästa steg i processen är att skala upp tekniken och genomföra fältbaserade pilotförsök. Sådana pilotprojekt bör omfatta både validering av befintliga processer som bygger på vattenbaserad tvätt samt fortsatt utveckling av processer som kombinerar vatten med luft och tensider i syfte att förbättra reningsgrad och resurseffektivitet.

När det gäller destruktion av PFAS är kommersiellt tillgängliga metoder i dagsläget i huvudsak begränsade till högtemperaturförbränning. Kapaciteten i Sverige är begränsad, kostnaden hög och behoven stora. Det finns därför ett tydligt behov av fortsatt forskning och teknikutveckling för att utveckla och validera destruktionsmetoder för PFAS. Här kan SGI ta en aktiv roll i samarbete med akademi och bransch.

För att möjliggöra välgrundade och hållbara åtgärdsval är utöver metodens tekniska effektivitet även dess inverkan på miljön av betydelse. När åtgärdsmetoder utvecklas behöver därför även deras totala miljöpåverkan utvärderas. En sådan utvärdering kan göras med så kallad livscykelanalys (LCA) där kostnader för olika åtgärdsalternativ ställs mot deras miljöpåverkan. I dagsläget finns väldigt lite gjort vad gäller LCA av åtgärdsmetoder för att sanera PFAS-förorenade områden. Det finns därför ett stort behov av att bygga upp kunskap inom detta område.

Det finns också ett stort behov av utvecklings- och valideringsarbete, och i förlängningen standardisering, av breda analysmetoder för PFAS i såväl jord som vatten. Kommersiella laboratorier och universitet är viktiga aktörer i ett sådant arbete och här kan SGI utgöra en samordnande part och länk till andra aktörer inom branschen (problemägare, miljökonsulter, entreprenörer och tillsynsmyndigheter). I arbetet med att standardisera analysmetoder är även Svenska Institutet för Standarder (SIS) en viktig aktör.

Det genereras kontinuerligt nya kunskaper om PFAS som kopplar till arbetet med förorenade områden. Det regeringsuppdraget har genererat kopplat till undersökning och utredning av PFAS-förorenade områden utgör en del av detta. För att få till en ökad tillämpning av ny kunskap krävs ett fortsatt fokus på spridning av resultat till såväl statliga, kommunala som privata aktörer, exempelvis i form av utbildningar och vägledningar. Särskild vikt behöver läggas vid att möjliggöra en stärkt samverkan mellan SGI, Naturvårdsverket, SGU och länsstyrelserna för att förmedla kunskap, stötta och vägleda tillsynsmyndigheter och andra aktörer inom branschen på ett effektivt sätt.

För att öka saneringstakten krävs även andra aktiviteter utöver utveckling av åtgärds-metoder. Vid beslut om åtgärder ligger fokus idag många gånger på resthalter i relation till riktvärden. Riskbaserade riktvärden hamnar ofta på mycket låga nivåer. Dessa nivåer kan vara svåra att uppnå med andra åtgärdsmetoder än schakt och deponering. Vi ser därför ett behov av att verka för ett delvis nytt synsätt vad gäller bedömning och värdering av de risker som PFAS-förorenade områden utgör. Även om dagens vägledningsmaterial säger att lakbarhet, föroreningsspridning och biotillgänglighet är parametrar som ska beaktas i en riskbedömning behöver dessa aspekter få en mycket större betydelse i de beslutsunderlag som tas fram.

Referenser

EU (2026). European Commission: Directorate-General for Environment, WSP, Ricardo and Trinomics, The cost of PFAS pollution for our society – Final report, Publications Office of the European Union, 2026, https://data.europa.eu/doi/10.2779/9590509

Kemikalieinspektionen (2021), Kunskapssammanställning om PFAS, PM 1/21, Kemikalieinspektionen, Sundbyberg

Länsstyrelsen (2026). https://www.lansstyrelsen.se/jonkoping/djur/fiske/pfas-i-fisk-och-kraftor-fran-vattern.html

Naturvårdsverket (2026). Lägesbeskrivning av arbetet med förorenade områden 2025, Naturvårdsverket, Östersund https://www.naturvardsverket.se/4974b4/globalassets/amnen/fororenade-omraden/resultat-av-arbetet/lagesbeskrivning-fororenade-omraden-2025.pdf

Pettersson, M. (2022a). Strategiska utgångspunkter för RU PFAS, 2022-09-26, SGI Dnr 1.1-2201-0064, Statens geotekniska institut, Linköping

Pettersson, M., Montelius, M., Berggren Kleja, D. & Enell, A. (2022b). Åtgärdstekniker för PFAS i jord och grundvatten - Kunskapssammanställning, 2022-09-15, SGI Dnr 1.1-2201-0064, Statens geotekniska institut, Linköping https://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A1708515&dswid=-2099

SGI (2026). Termisk behandling av PFAS: Desorption av PFAS från förorenad jord, Statens geotekniska institut, Linköping. https://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A2055804&dswid=1186

SGI (2022). Beslut om forskningsprojekt kring åtgärdsmetoder för PFAS inom ramen för RU PFAS, 2022-10-03, Statens geotekniska institut, Linköping.

SGU (2022). Request for information - samarbete och möjlighet till medverkan i forsknings- och utvecklingsprojekt för åtgärder av PFAS-förorenade områden, 2022-04-13, SGU Dnr 423-–543/2022, Sveriges geologiska undersökning, Uppsala

STATENS
GEOTEKNISKA
INSTITUT

Statens geotekniska institut

581 93 Linköping

www.sgi.se

E-post: sgi@sgi.se

Växeln: 013–20 18 00