

PFAS CONTAMINATION IN GROUNDWATER

PFAS FÖRORENING I GRUNDEVATTEN



Anna Söderman, Avdelningen för Teknisk vattenresurslära, Lunds universitet. Box 118, 221 00 Lund.

Abstract

Aqueous Film Forming Foam (AFFF) containing Perfluoroalkyl and Polyfluoroalkyl Substances (PFAS) is one of the major sources of groundwater contamination in Sweden. Groundwater contamination caused by the use of AFFF in correlation to fire training events was investigated in Kallinge, Sweden. At the site groundwater was previously used as a drinking water source consequently affecting the inhabitants. In Sweden there are many areas with similar issues. The variation in PFAS concentrations corresponding to an annual emission estimate was studied at two groundwater wells. Factors influencing the estimate as well as how it affects the assessment of a contaminated area were analysed. The emission source and rates were firstly studied followed by an estimate of the transport in soil and groundwater. Three PFAS (PFOS, PFHxS, and FASA) were selected as possible substances in AFFF with a yearly total emission of 280 ± 220 moles. Of the emission source 67% of the total amount partitioned into soil and 33% to the groundwater, thus the majority was retained in the soil. The estimated concentration in two of the drinking water wells were a total of $600,000 \pm 450,000$ ng/L and $490,000 \pm 370,000$ ng/L, with 66% consisting of FASA, 20% of PFHxS, and 14% of PFOS. In addition, the removal of water from the drinking water wells showed a reduction in the groundwater concentration by 17%.

Keywords: PFAS; Contamination; Firefighting Foam; Groundwater; Drinking Water.

Sammanfattning

Brandskum som innehåller per- och polyfluorerade ämnen (PFAS), på engelska Aqueous Film Forming Foam (AFFF), är en av de främsta källorna till föroreningarna i Sverige. Grundvattenförorening orsakat av användandet av AFFF under brandövningar har undersökts i Kallinge, Blekinge. I området har grundvattnet använts som råvatten vilket resulterat i förhöjda halter av PFAS i dricksvattnet. Liknande fall har också rapporterats från andra områden i Sverige. Variationen i PFAS-koncentration som motsvarar ett årligt utsläpp uppskattades vid två grundvattenbrunnar som tidigare användes för dricksvattenförsörjning. Faktorer som påverkar den uppskattade koncentrationen och hur dessa faktorer påverkar bedömningen av ett förorenat område undersöktes och modellerats. Först undersöktes sammansättningen och mängden PFAS, följt av transport i mark och grundvatten. Tre PFAS (PFOS, PFHxS, och FASA) valdes som möjliga ämnen i AFFF, med en årlig utsläppsmängd på 280 ± 220 mol. Av dessa fördelades 67 % i marken och 33 % i grundvattnet. Koncentrationen vid grundvattenbrunnarna var totalt $600\,000 \pm 450\,000$ ng/L och $490\,000 \pm 370\,000$ ng/L där 66 % utgjordes av FASA, 20 % av PFHxS och 14 % av PFOS. Effekten av vattenuttaget från brunnarna uppskattades minska koncentrationen i grundvattnet med 17 %.

Nyckelord: PFAS; Förorening; Brandskum; Grundvatten; Dricksvatten.

Inledning

PFAS, som står för poly- och perfluorerade alkylsubstanter, är antropogena kemikalier som är extremt svåra att bryta ned och har en förmåga att ansamlas i människor och andra organismer (Banzhaf et al., 2017). De är också kopplade till olika hälsoproblem, inklusive olika former av cancer, hormonell obalans och fertilitetsproblem (Svenskt Vatten, 2022). Samtidigt är dessa kemikalier mycket vanligt förekommande i olika industriella samt vardagliga produkter (Gobelius et al., 2018).

Kombinationen av att PFAS är icke-nedbrytbara, allmänt spridda och utgör en hälsorisk har lett till att de har fått mycket uppmärksamhet på senare tid. Dessa egenskaper leder även till komplexa problem som måste hanteras på flera samhällsnivåer. Det är därför av yttersta vikt att studera dessa kemikalier i ett helhetsperspektiv för att få en bred förståelse av föreningens omfattning och därmed kunna vidta effektiva åtgärder. Syftet med detta arbete var just detta, att försöka identifiera aspekter som påverkar PFAS-koncentrationen i ett utsatt område. I området har brandskum använts under brandövningar vilket resulterat i stora utsläpp av PFAS i naturen. Olyckligtvis har området även använts som dricksvattentäkt vilket lett till att förhöjda halter av PFAS har uppmätts i dricksvattnet. Dessvärre har man på senare år upptäckt förhöjda halter av dessa ämnen i grund- och dricksvattnet i flera svenska städer (Livsmedelsverket et al., 2021). Därför är det viktigt att studera dessa kemikalier för att vidta åtgärder och minska deras påverkan.

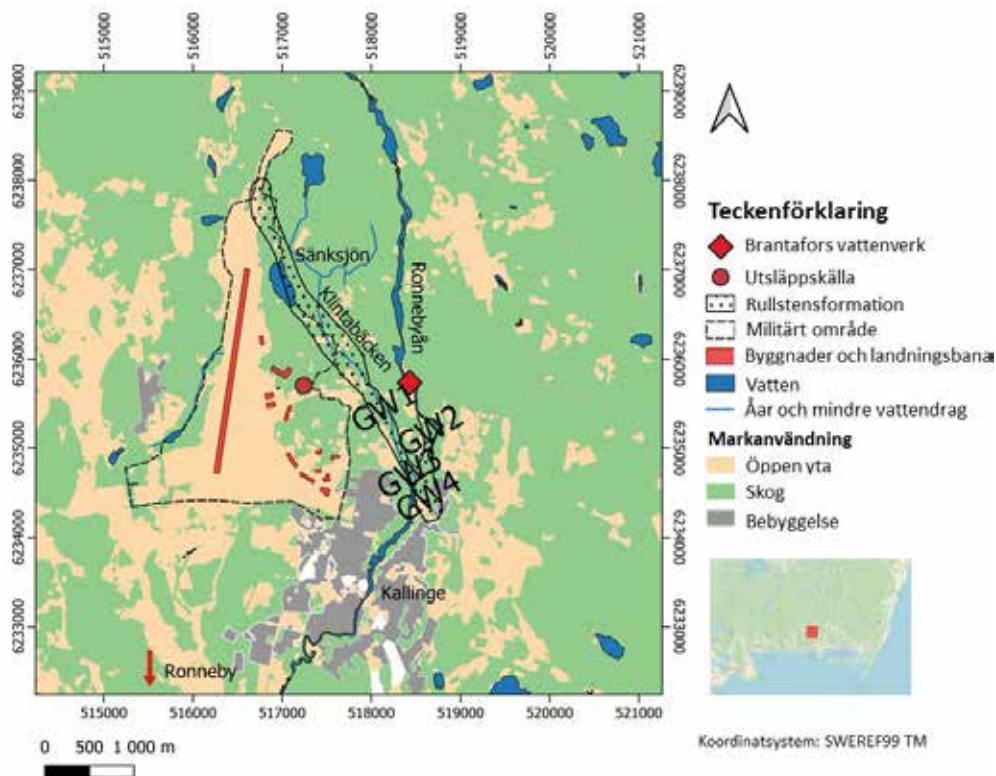
Denna artikel är baserad på mitt examensarbete inom civilingenjörsprogrammet i ekosystemteknik vid Lunds tekniska högskola; PFAS Contamination in Groundwater; Evaluating Factors Influencing the Impact of PFAS Contamination on the Drinking Water Source in a Holistic Approach (Söderman, 2023). Syftet med arbetet var att undersöka grundvatten förorenat av PFAS, som tidigare använts som dricksvatten i ett helhetsperspektiv. Detta gjordes genom att följa föroreningen från utsläppet till dricksvattenbrunnarna och undersöka de faktorer som påverkar den slutliga koncentrationen vid varje steg. I denna artikel kommer de övergripande resultaten att presenteras och diskuteras.

Bakgrund

Det undersökta området ligger i Blekinge, väster om byn Kallinge som har cirka 5 000 invånare (SCB, 2019). Söder om Kallinge ligger även den större staden Ronneby. Den främsta verksamheten i området är Blekinge flygflottilj, F17, som har funnits sedan 1944 (Mussabek et al., 2022). I området finns även ett vattenverk, Brantafors, som har försett Kallinge och delar av den större staden Ronneby med vatten (Ronneby Kommun, 2021). Vattenverket har varit i drift sedan 1970 och hämtat vatten från fyra olika brunnar i området (Mussabek et al., 2022). En översikt över området kan ses i Figur 1 där dricksvattenbrunnarna är markerade med "GW". Under 2013 upptäcktes förhöjda halter av PFAS i dricksvattnet vilket ledde till en nedstängning av verket. Källan till utsläppet var användandet av brandskum under brandövningar på F17 (Ronneby Kommun, 2021).

Brandskum utgör idag en av de främsta källorna av PFAS i Sverige (Banzhaf et al., 2017). Det är dock värt att nämna att vissa brandskum inte innehåller PFAS. Det finns en mängd olika typer och tillverkare där valet av brandskum beror på typ av brand och system som används (Rupert et al., 2005). På grund av de egenskaper som krävs för att släcka bränder påverkar dock alla formuleringar naturen på ett eller annat sätt (Rupert et al., 2005). Den typ av brandskum som innehåller PFAS kallas på engelska för Aqueous Film Forming Foam, förkortat AFFF. AFFF används för att bekämpa bränder med flytande bränslen som olja och diesel, och började produceras under 1940-talet (Kemikalieinspektionen et al., 2016; Lyu et al., 2022). Det finns olika metoder för tillverkningen av AFFF, vilket leder till olika strukturer och innehåll av PFAS (Buck et al., 2011).

PFAS är en grupp bestående av tusentals olika ämnen (Banzhaf et al., 2017; Lyu et al., 2022). På grund av den stora variationen av ämnen med olika kemiska strukturer varierar också transportmönstret i olika medier (ITRC, 2022). Det är därför viktigt att förstå de fysiska och kemiska egenskaperna hos PFAS för att förutsäga deras transport i naturen. För närvarande finns det ingen universell accepterad definition eller klassificering av PFAS.



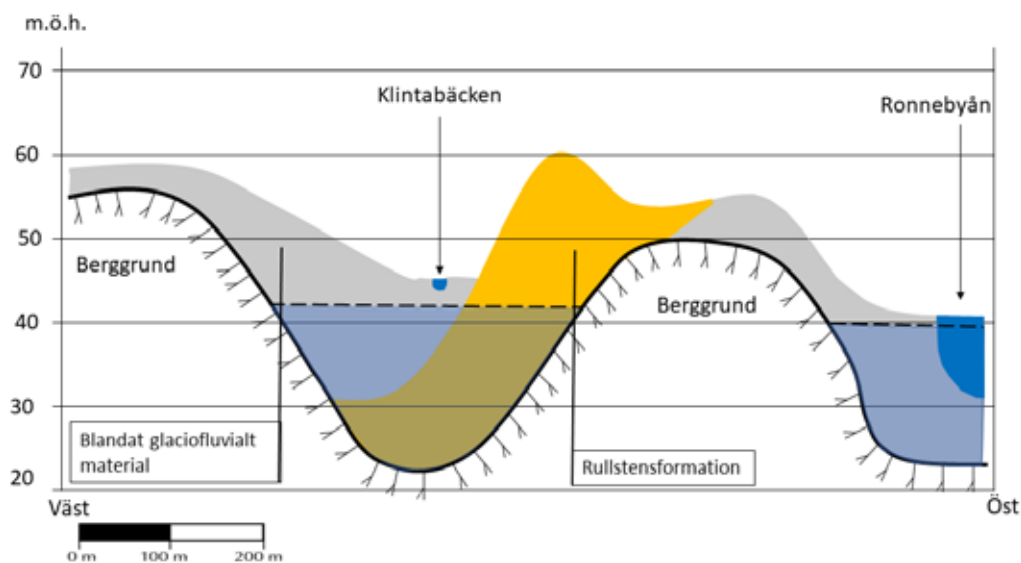
Figur 1. Översiktskarta över studieområdet. GSD-Terrängkartan, skala 1:50 000 Lantmäteriet (2020); Background map OpenStreetMap.

Den mest använda definitionen kommer från Buck et al. (2011) och det är den definitionen som används i detta arbete. Den definierar PFAS som; *“PFAS are aliphatic substances containing one or more C atoms on which all the H substituents present in the nonfluorinated analogues from which they are notionally derived have been replaced by F atoms, in such a manner that PFAS contain the perfluoroalkyl moiety C_nF_{2n+1} ”*. Den gemensamma nämnaren är alltså fluor-kol bindningen, som är den starkaste av alla kända kovalenta bindningar, vilket också har lett till dess höga stabilitet och breda användningsområde (Savvaides et al., 2021). De är oftast också surfaktanter med ett hydrofobt huvud och hydrofil kolkedja som svans. Huvudet kan bestå av en rad olika kemiska grupper och kolkedjan kan ha varierande längd (Buck et al., 2011). Dessutom

kan vissa PFAS vara kombinationer av dessa surfaktanter bundna tillsammans till en längre kedja, så kallade polymer (Buck et al., 2011). Dessa typer används främst i produkter som non-stickpannor och vattenavstötande tyger och inte i AFFE. Med tanke på det stora antalet möjliga kombinationer av kemiska strukturer är det uppenbart att PFAS består av ett brett spektrum av ämnen.

Områdets grundvattenförekomst

Området är belägen i en av de största deltaformationerna i sydöstra Sverige; Bredåkradelat som bildades under den senaste istiden (Möller, 1980). Området består huvudsakligen av glacifluviala sediment, såsom sand och silt (Mark & Vatten, 1992). En rullstensformation finns också i området som sträcker sig öster om F17 ned till Kallinge,



Figur 2. Konceptuell bild över de hydrogeologiska förutsättningarna i det undersökta området.

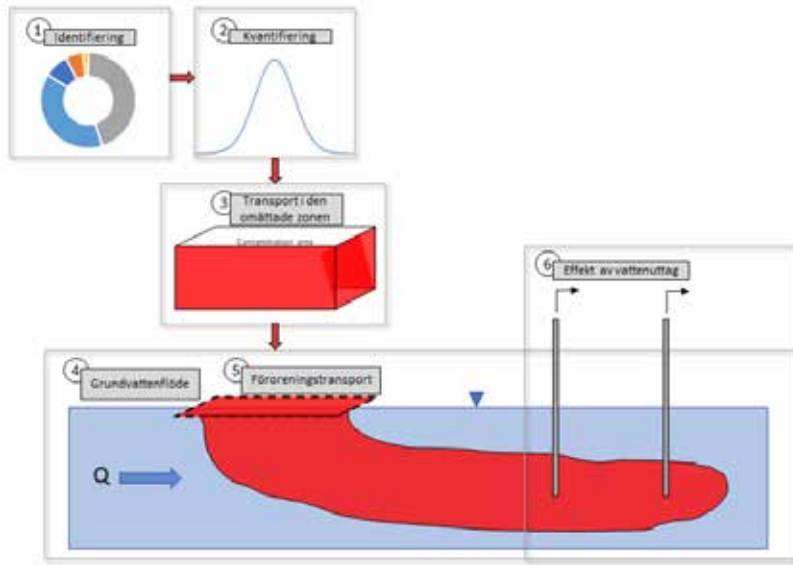
vilket kan ses i Figur 1. Figur 2 visar en konceptuell bild av området där rullstensformationen är avgränsad av berggrunden till väst och öst. Figuren är bygger på tidigare studier av Mark & Vatten (1992). Rullstensformationen är delvis täckt av blandat glaciofluvialt material med lägre genomsläpplighet (Mark & Vatten, 1992). Det är främst i rullstensformationen som den högsta grundvattenpotentialen i området finns (Mark & Vatten, 1992; Möller, 1980).

Föroreningskälla

Källan till PFAS-föroreningen i området är, som tidigare nämnts, F17 flygfält där brandövningar har ägt rum. Information om dessa övningar har inhämtats från tidigare studier av Mussabek et al. (2022). Dock är den tillgängliga informationen begränsad på grund av konfidentiella skäl. Brandövningarna var utformade för att träna räddningsinsatser från flygplan, där huvudsyftet var att snabbt släcka bränder och rädda besättningen vid en eventuell flygplanskrasch. Övningarna genomfördes under specifika träningsperioder där flera kunde hållas under en dag och kunde upprepas vid flera tillfällen under året.

Metodik

Arbetet bestod av att utvärdera PFAS-koncentrationen vid dricksvattenbrunnar i området efter ett år av brandövningar. Detta delades upp i sex delmoment som illustreras i Figur 3. Först identifierades och valdes potentiella PFAS för en typ av brandskum som antogs ha använts vid brandövningsplatsen. Detta gjordes genom att analysera litteratur samt tidigare undersökningar i området. Därefter antogs en distribution av den potentiella mängden av utsläppt PFAS under ett års användande med hjälp av Monte Carlo metoder. Parametrar såsom mängden skum som används vid varje tillfälle, antal tillfällen detta skedde under ett år och fördelning av PFAS i skummet beaktades. Transporten av denna mängd undersöktes sedan i mark och grundvatten. I marken (omättade zonen) användes en fugacity modell som baseras på ett ämnes benägenhet att fördela sig. Modellen utfördes genom att anta en "box model" princip där marken antogs vara homogen och bestå av jordpartiklar, luft och porvatten. De processer som inkluderades var nedbrytning och advektion. Transporten genom grundvattnet analyserades genom att studera tidigare mätningar av grundvattennivåer

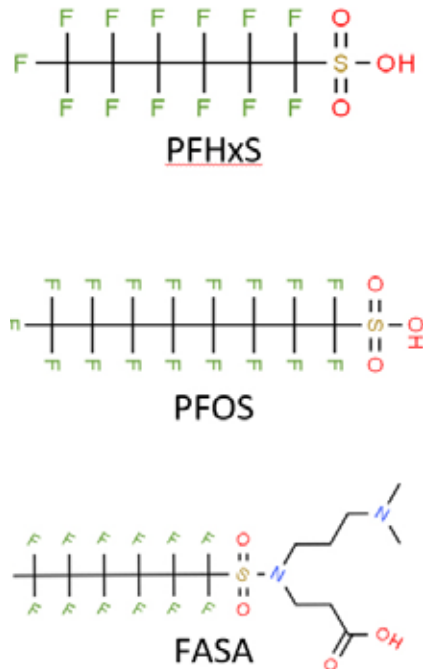


Figur 3. Konceptualisering över stegen gjorda för att uppskatta koncentrationen vid dricksvattenbrunnarna.

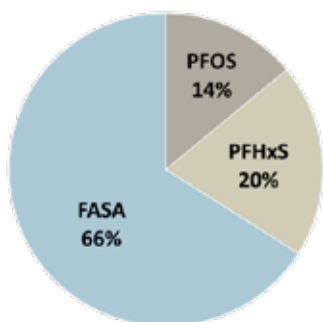
för att få fram den hydrauliska gradienten i rullstensformationen. På så sätt kunde transporten av PFAS uppskattas med hänsyn till advektion och hydrodynamisk dispersivitet. En förenkling gjordes här eftersom föroreningskällan inte låg direkt på rullstensformationen, utan väster om den, vilket framgår av Figur 1. Slutligen uppskattades effekten av vattenuttaget från brunnarna genom en enkel massbalans. De brunnar som är i fokus är brunn 1 och brunn 3 då dessa ligger inom rullstensformationen, se Figur 1. En utförligare beskrivning finns att läsa i Söderman (2023).

Resultat

Tre potentiella PFAS identifierades och valdes ut för att representera PFAS i en typ av AFFF (3M lightwater), vilket kan ses i Figur 4. Urvalet baserades på säkerhetsdatablad samt tidigare grundvattenprovtagningar i området (Moody & Field, 2000; Mussabek et al., 2022). De utvalda PFAS var perfluoroktansulfonsyra (PFOS), perfluorhexansulfonsyra (PFHxS) och perfluoralkylsulfonamid innehållande karboxylsyra och tertiära aminfunktioner, härmed benämnd "FASA". FASA valdes baserat på en tidigare studie av Place and Field



Figur 4. De tre analyserade PFAS.



Figur 5. Distribution av de tre analyserade PFAS.

(2012), där ämnet identifierades i det analyserade brandskummet.

Resultaten av transporten genom marken visade att 33 % av den totala mängden transporterades till grundvattnet. varav 67 % bevarades i marken. Det fanns ingen skillnad mellan de tre analyserade ämnena utan samma fördelning skedde i alla tre fall. Därmed är även distributionen mellan de tre ämnena samma i mark och grundvatten vilket kan ses i Figur 5. Störst procent utgjordes av FASA med 66 % följt av PFHxS med 20 % och sist av PFOS med 14 %.

Den totala uppskattade koncentrationen vid brunn 1 och 3 var $600\ 000 \pm 450\ 000$ och $490\ 000 \pm 370\ 000$, vilket kan ses i Tabell 1. Variationen i koncentrationen, uttryckt som standardavvikelse, är stor och beror på mängden brandskum som användes under året. Koncentrationerna av PFAS vid brunn 1 och brunn 3 hade samma fördelning av PFAS, som visas i Figur 5. Effekten av uttaget från brunnarna resulterade i en minskning av koncentrationen med 17 %. Denna minskning av koncentration kan ses i Tabell 2.

Diskussion

Diskussionen kommer att delas upp i de identifierade aspekter som hade störst inverkan på de uppskattade koncentrationerna och bedömning av ett område förorenat av PFAS.

Identifiering av PFAS

I arbetet valdes tre olika PFAS ut för att representera en typ av brandskum. Som nämnt finns det ett stort spektrum av ämnen och det är därmed troligt att det valda skummet innehåller fler ämnen än de som analyserats. Dessutom kan det finnas variationer i de typer av brandskum som användes under åren då brandövningarna hölls, vilket skulle resultera i fler ämnen. Därför är resultaten baserade på endast tre PFAS i generalisering och representerar inte nödvändigtvis de faktiska ämnena i området. Det finns också begränsningar i analysmetoderna för att identifiera PFAS på grund av det breda spektrumet av ämnen. Vanligtvis inkluderas endast ett fåtal PFAS i analyser vilka vanligtvis benämns PFAS 4, PFAS 11, osv., där numret står för antalet mätta ämnen. De vanligtvis analyserade ämnena är oftast mindre PFAS-ämnen, såsom PFOS och PFHxS, som större PFAS har potentialen att brytas ned till (Buck et al., 2011). Därför kan mätningar av PFAS-koncentrationer i både utsläppskällor, såsom brandskum i detta fall, och i miljön också ge en generaliserad bild eftersom de endast representerar ett fåtal ämnen. Detta kan ses med FASA vilket representerade 66 % av den totala massan, men är inte ett ämne som vanligtvis analyseras.

Nyligen har dock analyseringsmetoder utvecklats för att kunna analysera ett bredare spektrum av PFAS-ämnen. En sådan metod är TOP-assay, som innebär oxidation av PFAS före mätningen, vilket resulterar i att vissa PFAS bryts ned till mätbara ämnen (ITRC, 2022). Därför kan denna metod endast kvantifiera mängden PFAS och förlorar förmågan att identifiera typ av PFAS. Mer forskning är därför nödvändig för att identifiera de PFAS som finns i vår miljö idag för att få en mer heltäckande förståelse av föroreningsproblematiken.

Utsläppsmängd

De uppskattade koncentrationerna i Tabell 1 visar på en stor variation baserat på mängden brandskum som har används under ett år. Osäkerheten i mängd utsläppt PFAS påverkar i sin tur koncentrationen av PFAS i mark, grundvatten och slutligen dricksvattnet. Det blir tydligt att hanteringen av

Tabell 1. Uppskattade koncentrationer vid dricksvattenbrunnarna

	Brunn 1	Brunn 3
PFOS [NG/L]	82 000±65 000	67 000±52 000
PFHXS [NG/L]	120 000±94 000	97 000±76 000
FASA [NG/L]	390 000±330 000	320 000±270 000
SUMMA [NG/L]	600 000±450 000	490 000±370 000

Tabell 2. Uppskattade koncentrationer efter uttag i dricksvattenbrunnarna.

	Brunn 1	Brunn 3
PFOS [NG/L]	68 000±54 000	56 000±44 000
PFHXS [NG/L]	100 000±78 000	80 000±63 000
FASA [NG/L]	330 000±28 000	270 000±220 000
SUMMA [NG/L]	500 000±380 000	400 000±310 000

utsläppen till miljön är en central aspekt i arbetet med att minska spridningen av PFAS. Eftersom de flesta regleringarna har infört PFAS under de senaste åren, som exempelvis REACH (EC 1907/2006) och Stockholmskonventionen, finns det en risk att en stor mängd PFAS redan har släppts ut i miljön. Dessutom är de regleringar som finns idag fokuserade på substans specifika PFAS vilket riskerar att en substans substitueras mot en annan, en så kallad falsk substitut (Svenskt Vatten, 2022). Idag finns det dock två förslag på EU-nivå som syftar till att hantera PFAS som en grupp, vilket skulle bidra till att undvika denna typ av problem (ECHA, 2022, 2023).

Transport genom mark

En stor mängd PFAS fördelades till marken med 67%. Transporten genom marken modellerades med hjälp av en fugacity-modell som är baserat på ett ämnes fördelningskoefficient. Trots att dessa koefficienter varierade mellan de analyserade sub-

stanserna, visade fördelningen till mark och grundvatten liknande mönster. Anledningen till detta är oklart, men det antas att det kan bero på komplexiteten i modellen. Modellen antogs vara i en stabil och jämviktssituation. Genom att utveckla modellen är det troligt att mer tillförlitliga resultat kan erhållas, eftersom det inte är rimligt att ämnen med olika fördelningskoefficienter skulle fördela sig på liknande sätt. Det bör noteras att den enda fördelningsprocessen som inkluderades i modellen var fördelningen till organiskt kol, vilket sker på grund av substansernas hydrofoba kolkedjor. Det identifierades dock flera andra processer som kunde ha inkluderats i modellen. Dessa inkluderar fördelning till luft-vatten-gränssnittet och fördelning till non-aqueous phase liquids (NAPLs), såsom oljeutsläpp, som misstänks kunna leda till ökad retention (ITRC, 2022; Lyu et al., 2022). Dessutom kan den polära delen av PFAS interagera med jordpartiklar, vilket kan resultera i ökad retention i marken genom elektrostatiske interaktioner (ITRC, 2022;

Lyu et al., 2022). Genom att inkludera processer likt dessa i modellen är det möjligt att resultaten blir mer tillförlitliga. Därför bör resultaten hanteras med försiktighet, men de ger indikationer på att en stor mängd PFAS hålls kvar i marken, vilket överensstämmer med tidigare forskning i området. Fördelningen av PFAS i marken skapar stora problem eftersom dessa ämnen inte bryts ned naturligt. Saneringsåtgärder är också komplexa, vilket gör att PFAS kan fortsätta läcka ut i grundvattnet under lång tid.

Koncentration vid grundvattenbrunnarna

Den uppskattade totala koncentrationen av PFAS vid brunn 1 och 3 var $600\ 000 \pm 450\ 000$ ng/L och $490\ 000 \pm 370\ 000$ ng/L. Dessa jämfördes med koncentrationerna som tidigare mättes i en studie av Mussabek et al. (2022), vilka var 20 000 ng/L och 4 200 ng/L vid brunn 1 och 3. De uppskattade koncentrationerna är betydligt högre, vilket tyder på att de använda metoderna för att uppskatta koncentrationen behöver utvecklas vidare och kalibreras för att erhålla mer tillförlitliga resultat. Både de tidigare mätta och uppskattade PFAS-koncentrationerna är dock högre än de regleringar som för närvarande finns för PFAS. Till exempel EU:s dricksvattendirektiv vilket inkluderade PFAS som ämne under 2020 och har ett gränsvärde på 100 ng/L för 21 PFAS. Varav Sverige har implementerat en starkare linje för 4 PFAS med ett gränsvärde på 4 ng/L. Ett av ämnena som omfattas av båda gränsvärdena är PFOS vilket överstiger båda i studieområdet. Detta innebär att drabbade områden, inklusive det som studeras, står inför stora utmaningar för att minska PFAS-koncentrationerna. Dessutom är det värt att nämna att FASA, som hade den högsta koncentrationen av de analyserade PFAS, inte inkluderas i de nuvarande regleringarna. Att bara analysera ett fåtal PFAS-ämnen kan därför ha en stor inverkan på bedömningen av ett område.

Effekt av vattenuttag

Efter uttaget från brunnarna minskade den totala koncentrationen av PFAS i grundvattnet med 17 %. Detta tyder på att en stor mängd PFAS har först ut ur grundvattnet och in i dricksvattenproduktionen. Då vattenverket stängdes ned 2013 slutade man använda grundvattnet som råvatten vilket kan ha resulterat i ökade koncentrationer längre nedströms. Saneringsåtgärder som "pump and treat" kan därmed vara en åtgärd värd att utforska ytterligare i påverkade områden för att minska PFAS-koncentrationerna i grundvattnet.

Slutsatser

Resultaten från denna studie visar vikten av att studera PFAS ur ett holistiskt perspektiv för att erhålla mer tillförlitliga resultat. Trots begränsningar i den använda metoden och behovet av vidare utveckling finns det potential i att studera föroreningen på liknande sätt. Dessutom krävs ytterligare forskning om PFAS i olika områden för att förstå dess interaktioner och beteenden i olika miljöer. Speciellt då en stor andel av Sveriges dricksvatten kommer från grundvatten reservoarer är det viktigt att skydda dessa från skadliga kemikalier likt PFAS för att säkerställa nuvarande och framtida vattenresurser. Genom att analysera de aspekter vilka påverkar PFAS koncentrationen i ett helhetsperspektiv kan en bättre uppskattning av utbredningen av föroreningen förhoppningsvis fastställas. Om någon aspekt förbises kan det ha en betydande inverkan på koncentrationen. Detta kunde särskilt observeras med FASA, som hade den högsta koncentrationen av de analyserade ämnena. Eftersom dessa ämnen för närvarande inte regleras eller ingår i standardanalyserna ger det en missvisande bild av den verkliga omfattningen av problemet. Därför behöver fler ämnen identifieras och kvantifieras, och deras transport i olika medier behöver studeras för att få en mer heltäckande bild av föroreningens omfattning. Därmed kan mer effektiva åtgärder fastställas vilket skulle minska PFAS påverkan på både miljön och samhället.

Referenser

- Banzhaf, S., Filipovic, M., Lewis, J., Sparrenbom, C. J., & Barthel, R. (2017) A review of contamination of surface-, ground-, and drinking water in Sweden by perfluoroalkyl and polyfluoroalkyl substances (PFASs). *Ambio*, 46(3), 335-346. <https://doi.org/10.1007/s13280-016-0848-8>
- Buck, R. C., Franklin, J., Berger, U., Conder, J. M., Cousins, I. T., De Voogt, P., Jensen, A. A., Kannan, K., Mabury, S. A., & Van Leeuwen, S. P. (2011) Perfluoroalkyl and polyfluoroalkyl substances in the environment: Terminology, classification, and origins. *Integrated Environmental Assessment and Management*, 7(4), 513-541. <https://doi.org/10.1002/ieam.258>
- ECHA. (2022) Proposal to ban 'forever chemicals' in firefighting foams throughout the EU. Hämtad 14e december 2022 från <https://echa.europa.eu/sv/-/proposal-to-ban-forever-chemicals-in-firefighting-foams-throughout-the-eu>
- ECHA (2023) ECHA publishes PFAS restriction proposal. Hämtad 3e februari 2023 från <https://echa.europa.eu/sv/-/echa-publishes-pfas-restriction-proposal>
- Gobelius, L., Hedlund, J., Dürig, W., Tröger, R., Lilja, K., Wiberg, K., & Ahrens, L. (2018) Per- and Polyfluoroalkyl Substances in Swedish Groundwater and Surface Water: Implications for Environmental Quality Standards and Drinking Water Guidelines. *Environmental Science & Technology*, 52(7), 4340-4349. <https://doi.org/10.1021/acs.est.7b05718>
- ITRC (2022) Per- and Polyfluoroalkyl Substances Technical and Regulatory Guidance. In: 50 F Street, NW, Suite 350, Washington, DC 20001: The Interstate Technology & Regulatory Council (ITRC).
- Kemikalieinspektionen, MSB, & Naturvårdsverket (2016) Rekommendationer för minskad användning av brandsläckningsskum. I (Vol. Artikelnummer 511 202). Sundbyberg: Kemikalieinspektionen, Myndigheten för samhällsskydd och beredskap, Naturvårdsverket.
- Livsmedelsverket, Lindfeldt, E., Gyllenhammar, I., Strandh, S., & Ankarberg, E.H. (2021) Kartläggning av per- och polyfluorerade alkylsubstanter PFAS. I (Vol. nr 21). Uppsala: Livsmedelsverkets rapportserie.
- Lyu, X., Xiao, F., Shen, C., Chen, J., Park, C. M., Sun, Y., Flury, M., & Wang, D. (2022) Per and Polyfluoroalkyl Substances (PFAS) in Subsurface Environments: Occurrence, Fate, Transport, and Research Prospect. *Reviews of Geophysics*, 60(3). <https://doi.org/10.1029/2021rg000765>
- Mark & Vatten. (1992) Resultat av geologiska undersökninga år 1992 i Brantafors vattentänk, källinge, samt förslag till nya brynnslägen och förstärkning av vattentäkten genom konstgjord infiltration.
- Moody, C. A., & Field, J. A. (2000) Perfluorinated Surfactants and the Environmental Implications of Their Use in Fire-Fighting Foams. *Environmental Science & Technology*, 34(18), 3864-3870. <https://doi.org/10.1021/es991359u>
- Mussabek, D., Söderman, A., Imura, T., Persson, K. M., Nakagawa, K., Ahrens, L., & Berndtsson, R. (2022) PFAS in the Drinking Water Source: Analysis of the Contamination Levels, Origin and Emission Rates. *Water*, 15(1), 137. <https://doi.org/10.3390/w15010137>
- Möller, Å. (1980) Brantafors grundvattentäckt: Studie av de hydrogeologiska förhållandena.
- Place, B. J., & Field, J. A. (2012). Identification of Novel Fluorochemicals in Aqueous Film-Forming Foams Used by the US Military. *Environmental Science & Technology*, 46(13), 7120-7127. <https://doi.org/10.1021/es301465n>
- Ronneby Kommun (2021) Frågor och svar om PFAS: Information om PFAS i dricksvattnet från Brantafors. Hämtad 25e november 2022 från <https://www.ronneby.se/bygga-bo-miljo/vatten-och-avlopp/pfas-information/fragor-och-svar-om-pfas.html>
- Rupert, W., Verdonik, D., & Hanauska, C. (2005) Environmental Impacts of Fire Fighting Foams. In. Baltimore, MD, USA: Hughes Associates Inc.
- Savvaides, T., Koelmel, J.P., Zhou, Y., Lin, E.Z., Stelben, P., Aristizabal-Henao, J.J., Bowden, J.A., & Godri Pollitt, K.J. (2021) Prevalence and Implications of Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFAS) in Settled Dust. *Current Environmental Health Reports*, 8(4), 323-335. <https://doi.org/10.1007/s40572-021-00326-4>
- SCB (2019) Ronneby - Kommunfakta. Statistikmyndigheten.
- Svenskt Vatten (2022) PFAS - giften på allas läppar. I (Vol. R2022-01). Bromma, Sweden: Svenskt Vatten AB.
- Söderman, A (2023) PFAS Contamination in Groundwater; Evaluating Factors Influencing the Impact of PFAS Contamination on the Drinking Water Source in a Holistic Approach TVVR23/5001, Masterexamen, Lunds universitet. Lund, Sverige. <http://lup.lub.lu.se/student-papers/record/9113700>