



SLUTRAPPORT

PFAS i kommunala avloppsströmmar

Möjligheter för en säkrare cirkulation av näringsrikt avloppsslam från reningsverket i
Luleå

Jurate Kumpiene, Luleå tekniska universitet

**RE:
SOURCE**

Slutrapport för projekt:

Säkrare cirkulation av näringsrika avloppsslam

Engelsk titel: Safer circulation of nutrient-rich sewage sludge

Projektperiod: 2023-01-01 - 2024-06-28

Datum: 2025-01-04

Projektnummer: P2022-00297

Diarienummer: 2023-205918

Projektledare: Jurate Kumpiene

Organisation: Luleå tekniska universitet

Adress: Universitetsområde 20, 971 87 Luleå

Ev. övriga projektdeltagare: Sajjad Hazrati, Jean Noel Uwayezu, Annelie Hedström

Nyckelord: PFAS, avloppsreningsverk, slam, Luleå

RE:Source är ett strategiskt innovationsprogram och finansieras av

VINNOVA

 Energimyndigheten

FORMAS

Förord

Denna ett-åriga genomförbarhetsstudie implementerades i nära samarbete med Luleå Miljöresurs (Lumire), det kommunala bolag som ansvarar för vatten, avlopp och avfallshantering i Luleå kommun. Projektet genomfördes inom Re:Source utlysning "Cirkulär ekonomi och resursanvändning inom planetens gränser" och finansierades av Energimyndigheten.

I projektet deltog Sajjad Hazrati, Jean Noel Uwayezu och Annelie Hedström från Luleå tekniska universitet (LTU), med stöd och assistans från Håkan Talludde och Cecilia Hultin vid Lumire. Projektledare var Jurate Kumpiene (LTU).

Innehåll

1. Sammanfattning	4
2. Summary	5
3. Inledning och bakgrund.....	6
4. Genomförande	8
4.1. Provtagning och analys av avloppsvatten	8
4.2. SWOT-analys.....	9
5. Resultat	10
5.1. PFAS ämnen i avloppsvatten	10
5.2. PFAS ämnen i lakvatten från deponin	14
5.3. PFAS halter i samtliga prover.....	15
6. Diskussion.....	16
6.1. PFAS i avloppsnätet.....	16
6.2. SWOT-analys.....	19
7. Slutsatser	22
8. Referenser	23
9. Bilagor	25
9.1. Bilaga 1. Resultat av PFAS analyser i avlopps- och lakvatten	25

1. Sammanfattning

I denna genomförbarhetsstudie undersöktes förutsättningar till att implementera en kostnadseffektiv avloppsbehandling för att hantera långlivade organiska föroreningar, särskilt per- och polyfluoralkylämnena (PFAS), i Luleå. Fokuset låg på att undersöka källor och typer av PFAS som når det kommunala avloppsledningsnätet samt att utvärdera för- och nackdelarna med lokala jämfört med centraliserade behandlingssystem.

I avloppsvattenprover från olika punkter inom Luleås avloppsnät identifierades varierande halter och typer av PFAS, vilket indikerar att PFAS-källor och deras påverkan på avloppsvattnet skiljer sig mellan olika områden.

De högsta PFAS-halterna upptäcktes vid provpunkten närmast räddningstjänstens brandövningsplats (Hertsön), där PFHxS (perfluorhexansulfonsyra) och PFOS (perfluoroktansulfonsyra) dominerade och stod för ca 20 % vardera av den totala PFAS-koncentrationen. I andra delar av avloppsnätet, som i hushålls- och industriområden, dominerade PFOS med upp till 50 % av den totala PFAS-halten, följt av PFBA (perfluorbutansyra) och PFOA (perfluoroktansyra), vilka också påträffades i betydande mängder.

Analysen av lakvatten från Sunderbyns avfallsdeponi visade att tre PFAS-ämnen, PFOA, PFHxA (perfluorhexansyra) och PFPeA (perfluorpentansyra), utgjorde 65 % av den totala PFAS-halten, med PFOA som det dominerande ämnet. Detta indikerar att deponin är en betydande källa till dessa specifika PFAS-ämnen som når reningsverket.

Analysen visar att det kan vara fördelaktigt att separera specifika flöden och behandla dem vid utsläppskällor (t ex vid brandövningsplatser och deponier), där specifika PFAS-föreningar är särskilt koncentrerade. Detta kan minska belastningen på det centrala reningsverket och ge mer skräddarsydda lösningar för PFAS-behandling. Lokala behandlingssystem kan erbjuda möjligheten att minska spridningen av PFAS och öka miljömedvetenheten, men de kan också medföra högre kostnader.

Oavsett vilken strategi som väljs, är det tydligt att rening av avloppsvatten från PFAS på reningsverket fortfarande blir nödvändig. Implementeringen av effektiva PFAS-nedbrytningstekniker skulle minska utsläppen i miljön och möjliggöra en säkrare användning av avloppsslam, vilket skulle bidra till en renare miljö och minskad risk för eventuella hälsoproblem.

2. Summary

This feasibility study examined the prerequisites for implementing cost-effective wastewater treatment to address persistent organic pollutants, particularly per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS), in Luleå. The focus was on investigating the sources and types of PFAS entering the municipal wastewater network, as well as evaluating the advantages and drawbacks of localized versus centralized treatment systems.

In wastewater samples taken from various points within Luleå's wastewater network, varying levels and types of PFAS were identified, indicating that the sources of PFAS and their impact on the wastewater differ between areas. The highest PFAS levels were detected at the sampling point closest to the firefighting training site (Hertsön), where PFHxS (perfluorohexanesulfonic acid) and PFOS (perfluorooctanesulfonic acid) dominated, accounting for ca 20% each of the total PFAS concentration. In other parts of the wastewater network, such as residential and industrial areas, PFOS was predominant, comprising up to 50% of the total PFAS content, followed by PFBA (perfluorobutanoic acid) and PFOA (perfluorooctanoic acid), which were also found in significant amounts.

The analysis of leachate from the Sunderbyn landfill showed that three PFAS compounds, PFOA, PFHxA (perfluorohexanoic acid), and PFPeA (perfluoropentanoic acid), accounted for 65% of the total PFAS content, with PFOA being the dominant compound. This indicates that the landfill is a significant source of these specific PFAS compounds reaching the treatment plant.

The analysis suggests that it may be beneficial to separate specific wastewater flows and treat them at the point of discharge (e.g., at firefighting training sites and landfills) where specific PFAS compounds are particularly concentrated. This could reduce the PFAS load on the central treatment plant and provide more tailored solutions for PFAS degradation. Localized treatment systems could offer the potential to reduce PFAS spread and increase environmental awareness, but they may also involve higher costs.

Regardless of the chosen strategy, it is clear that treating wastewater from PFAS at the wastewater treatment plant would still be necessary. Implementing effective PFAS degradation techniques could reduce environmental emissions and allow for the safer use of wastewater treatment sludge, contributing to a cleaner environment and reducing potential health risks.

3. Inledning och bakgrund

Att rikta om materialanvändningen från linjära till cirkulära flöden och samtidigt öka resurs- och energieffektiviteten kräver en stor förändring inom civilingenjörsektorn. För att omsätta politiken för cirkulär ekonomi i praktiken måste vi visa att cirkulära materialflöden faktiskt är möjliga ur tekniska, logistiska, ekonomiska, samhälleliga och, viktigast av allt, miljömässiga synvinklar. Endast när vi kan säkerställa att återanvändning av material är miljömässigt säker kan vi skapa incitament för en lönsam övergång till resurseffektiva affärsmodeller och inspirera industrin att fokusera på affärsmöjligheter och modeller med stark resurs- och energieffektivitet.

Avloppsslam, en slutprodukt från avloppsreningsprocessen, är en viktig källa till värdefulla näringsämnen som behövs i jordbruket, såsom fosfor, kväve, organiskt material, kalium och mikronäringsämnen. Eftersom Europas kapacitet att producera gödselmedel, t.ex. från fosfatmineraler, är begränsad, är användningen av slam för spridning på jordbruksmark ett attraktivt alternativ ur ett cirkulärekonomiskt perspektiv. Att vara beroende av import av gödselmedel, bland annat från Ryssland, gör användningen av befintliga resurser inom EU:s samhälle mer angelägen än någonsin.

Trots detta möts användningen av slam på marken ofta av negativism, vilket beror på kännedomen om förekomsten av oönskade ämnen i det. Bland dessa finns olika långlivade organiska föroreningar (*persistent organic pollutants* or POP:s) som når avloppsreningsverk främst genom utsläpp från industrin och delvis från hushållen.

En grupp av POP:s som väcker allt större oro är per- och polyfluoralkylsubstanser (PFAS). PFAS är en grupp konstgjorda kemikalier som på grund av sin höga kemiska stabilitet används i många industriella tillämpningar och konsumentprodukter, såsom brandsläckningsskum, stekpannor (TEFLON), livsmedelsförpackningar, vattentäta, eldsäkra textilier, etc. Mer än 4700 PFAS används för närvarande i kommersiella produkter på den globala marknaden (KEMI, 2021), och toxiciteten och ekotoxiciteten hos de flesta av dem är okända. Dessa POP:s har använts i decennier och är extremt svåra att bryta ner. När de väl släpps ut sprids de genom jord, vatten och levande organismer till den grad att nästan varje person på planeten har dessa kemikalier i sitt blod (SNV, 2018). Dessa molekyler misstänks ha negativa konsekvenserna för människors hälsa, såsom njurcancer, sköldkörtelsjukdomar och nedsatt immunförsvar (Blake m fl., 2018).

För närvarande anses avloppsreningsverk vara en av de största källorna till spridningen av PFAS i miljön (Filipovic och Berger, 2015; Kärrman m fl., 2019). PFAS i avloppsreningsverk härrör från vardagliga hushållsprodukter och kläder samt från industriella processer. Det har uppskattats att upp till 70 kg PFAS släpps ut varje år från svenska avloppsreningsverk (Hansson m fl., 2016). De flesta befintliga avloppsreningsverken i Sverige är inte utrustade med tekniker som behövs för att eliminera PFAS, vare sig genom separation eller genom fullständig nedbrytning. Fraktioner av PFAS släpps därför ut i miljön både genom behandlat vatten och slam. Men

borttagning av PFAS från avloppsvatten är svår på grund av det breda spektrumet av PFAS-molekyler med varierande egenskaper. Våra studier, bl a, visar att en enda behandlingsteknik inte räcker för att ta bort alla typer av PFAS från avloppsvatten och att en kombination av flera tekniker kan vara nödvändig (Uwayezu m fl., 2021, 2023).

Volymerna av genererat avloppsslam i Sverige ökar och nådde 2018 över 200 tusen ton (SCB, 2018). Av denna mängd sprids 39 % på jordbruksmark och 25 % används som stadsjord, vilket potentiellt bidrar till den diffusa spridningen av PFAS i miljön. För att kunna implementera några PFAS-behandlingstekniker vid avloppsreningsverk och tillhandahålla PFAS-fritt slam måste vi känna till flöden och sammansättning av avloppsvatten och identifiera de främsta bidragsgivarna av PFAS till avloppsreningsverken. Många svenska kommuner samlar in både industriellt och hushållsavloppsvatten i en ström. Därför kan PFAS-signaturer vid avloppsreningsverket skilja sig beroende på vilken typ av industrier som finns i kommunen. Det är möjligt att den mest fördelaktiga lösningen skulle vara att installera PFAS-behandlingstekniker vid utsläppspunkten snarare än vid avloppsreningsverket, där en blandning av PFAS-föreningar från olika källor gör PFAS-nedbrytning mer komplex och kostsam.

Vilken typ av effektiva tekniker som krävs beror i sin tur på vilken typ av PFAS-föreningar som ska behandlas. Eftersom avloppsreningsverken inte har någon kontroll över kvaliteten på avloppsvattnet som når anläggningarna eftersom de befinner sig vid ”slutet av röret”, måste de ha flexibla behandlingslösningar för att anpassa sig till den varierande sammansättningen av PFAS i avloppsvattnet, vilket kan bli mycket kostsamt. Ett systematiskt tillvägagångssätt, inklusive insatser från uppströmsintressenter, är nödvändigt för att öka hållbarheten och cirkulariteten i hanteringen av avloppsslam.

Målet med denna genomförbarhetsstudie var att utvärdera förutsättningarna för att öka cirkularitet av avloppsslam som en säker och värdefull näringskälla för jordbruket. För att uppnå detta formulerades specifika projektmål:

- Att identifiera källor till PFAS som når avloppsreningsverket i Luleå;
- Att föreslå lämpliga placeringar för behandlingen inom avloppsnätet i relation till de identifierade utsläppskällorna.

Den huvudsakliga målgruppen för projektet var kommunala avloppsreningsverk (WWTP). I detta projekt har vi använt Luleå kommun som en fallstudie. Luleå Miljöresurs AB (Lumire) är Luleå kommunens största företag inom avfallsindustrin och har nyligen tagit över ansvaret för kommunens vatten- och avloppsverksamhet, inklusive reningsverk. Varje år behandlas 10 miljoner kubikmeter avloppsvatten vid Luleås reningsverk. För närvarande finns det inga specifika behandlingssteg för avloppsvatten som kan avlägsna/bryta ner PFAS. Företagets behov av sådana tekniker är stort, liksom behovet av att förstå källorna till PFAS och samarbeta med andra aktörer som kan minimera inflöden av PFAS till avloppsvatten.

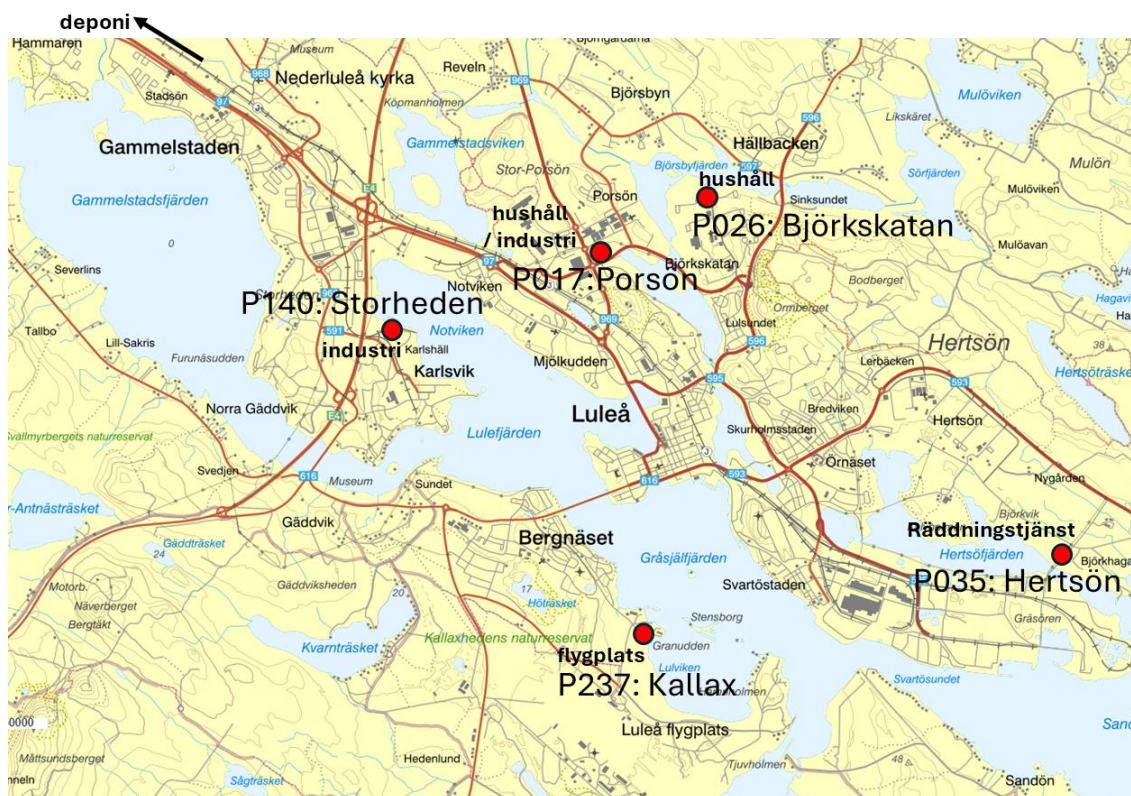
4. Genomförande

Genomförandet av denna förstudie delades upp i två huvuddelar:

- Insamling av data genom provtagning och analys av avloppsvatten i Luleås kommunala avloppsledningar och deponin i Luleå;
- SWOT-analys av eventuella placeringar av PFAS-behandlingar, med fokus på lokala PFAS-källor jämfört med det centrala avloppsreningsverket i Luleå.

4.1. Provtagning och analys av avloppsvatten

För att identifiera källorna till PFAS i Luleås avloppsreningsverk togs avloppsvattenprover vid fyra pumpstationer under 2023-2024: Porsön (P017), Björkskatan (P026), Hertsön (P035), och Kallax (P237). Under 2024 beslutades att inkludera ytterligare en punkt, Storheden (P140) (figur 1). Dessa punkter valdes för att representera potentiellt viktiga områden som kan bidra till PFAS i avloppsvattnet, såsom hushåll, industri, räddningstjänstens brandövningsplats och flygplats. Provtagningen genomfördes på de datum som anges i tabell 1.



Figur 1. Provtagningspunkter för avloppsvattnet i Luleå kommuns nätverk. Kartkälla: SGU kartvisare.

Provtagning av avloppsvatten genomfördes av forskare vid LTU med stöd av Lumires personal, med hjälp av automatiska avloppsprovtagare (Ventim, Sverige) som installerades vid varje pumpstation. Enligt det fördefinierade programmet samlades 50 ml prover in var 30:e minut under en veckas tid på de angivna datumen (tabell 1). Totalt samlade varje provtagare in 336 prover, vilket motsvarar 16,8 liter avloppsvatten per station under en vecka. Proverna samlades direkt i 20-litersbehållare av högdensitetspolyeten (HDPE).

Efter varje provtagningsperiod togs delprover efter noggrann homogenisering av innehållet i huvudbehållaren. En 2-liters del av det homogeniserade provet överfördes sedan till Miljölaboratoriet vid LTU och förvarades i tätt förslutna HDPE-behållare vid 4°C fram till vidare analys av 30 PFAS-ämnen (tabell 2) med HPLC-MS.

Ytterligare en provtagningspunkt lades till, belägen vid utgående lakvatten från Sunderbyns deponi i Luleå. Provtagningen av lakvatten där genomfördes av Lumires personal vid sex tillfällen: maj, augusti och november 2023 samt februari, april och maj 2024. Dessa prover analyserades av det ackrediterade laboratoriet Eurofins för 24 PFAS-ämnen (tabell 2).

Tabell 1. Provtagningspunkter i Luleås avloppsnätet och provtagningsstillfällen.

Provpunkt (Station nr.)	GPS koordinater	18-24 Juli	25 Aug- 1 Sep	25 Sep- 2 Okt	23-30 Okt	21-28 Feb	6-13 Maj	20-27 Juni
		2023	2023	2023	2023	2024	2024	2024
P017: Porsön	65.613744, 22.137205	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
P026: Björskatan	65.621599, 22.172954	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
P035: Hertsön	65.567402, 22.295678	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
P237: Kallax	65.558713, 22.138712	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
P140: Storheden	65.607910, 22.061564	-	-	-	-	✓	✓	✓

4.2. SWOT-analys

Analysen av styrkor, svagheter, möjligheter och hot (SWOT) vid utformning och utveckling av avloppsreningssystem för PFAS-nedbrytning genomfördes för att identifiera de starka och svaga punkterna för framtida utvecklingsprojekt. Analysen jämförde centraliserad rening vid ett stort reningsverk med möjligheten att ha flera lokala, specialanpassade reningsverk för specifika flöden. Resultaten från analysen av PFAS-halter och innehåll i de insamlade proverna användes som grund för SWOT-analysen.

5. Resultat

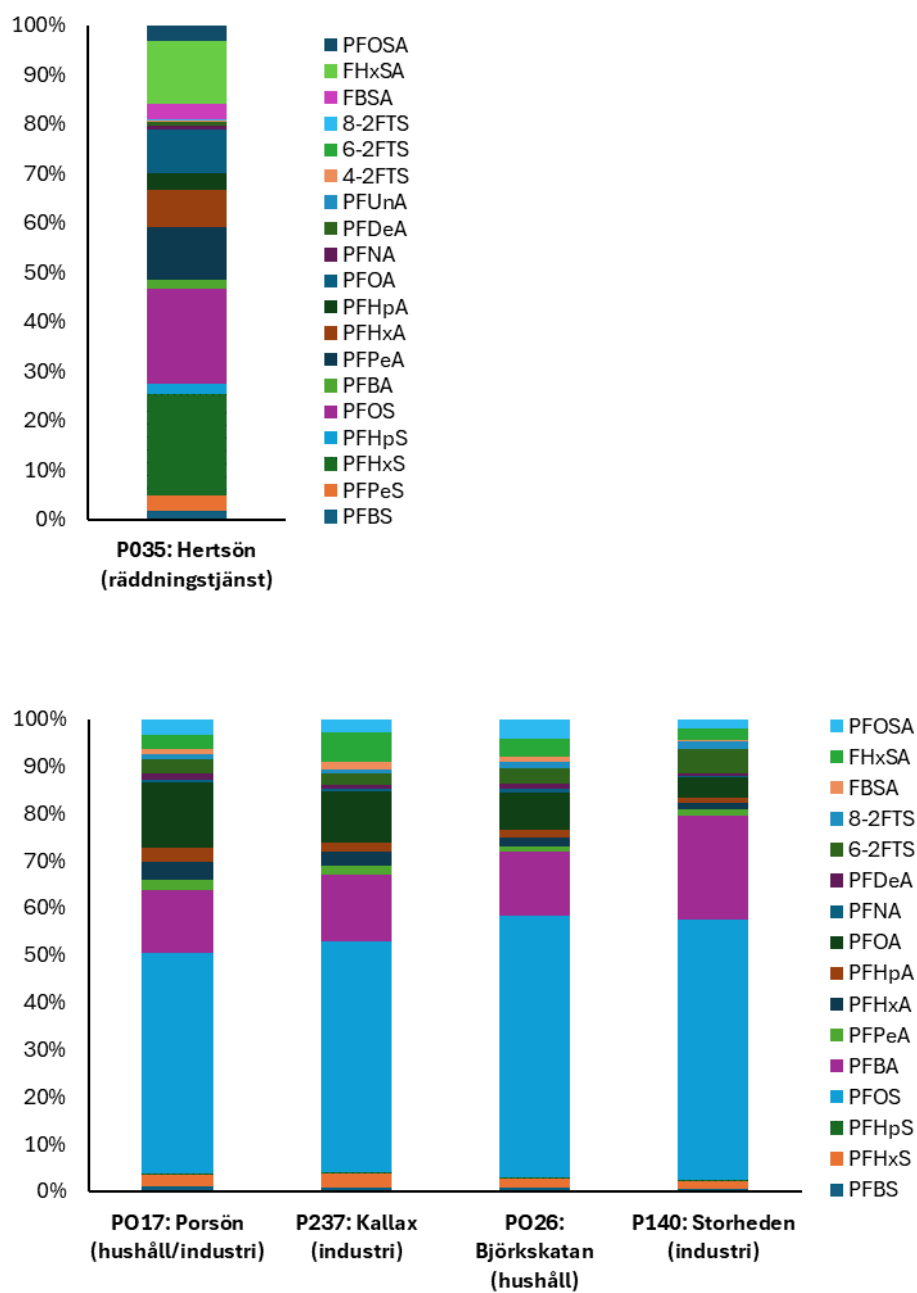
5.1. PFAS ämnen i avloppsvatten

Av de 30 PFAS-ämnen som analyserades i avloppsvattnet från Luleås avloppsnät (tabell 2) detekterades 19 ämnen vid en av provpunkterna (P035: Hertsön) och 16 ämnen vid de övriga fyra provpunkterna. Bland dessa utgjorde tre ämnen i genomsnitt 74-77 % av den totala PFAS-halten vid tre av provpunkterna (P017: Porsön, P237: Kallax, P026: Björkskatan): 50 % PFOS, 14 % PFBA och 11 % PFOA (tabeller B2-B4). Vid den fjärde punkten (P140: Storheden) var fördelningen liknande för PFOS (55 %) och PFBA (21 %), men det tredje största ämnet var 6:2 FTS (5 %) (tabell B5).

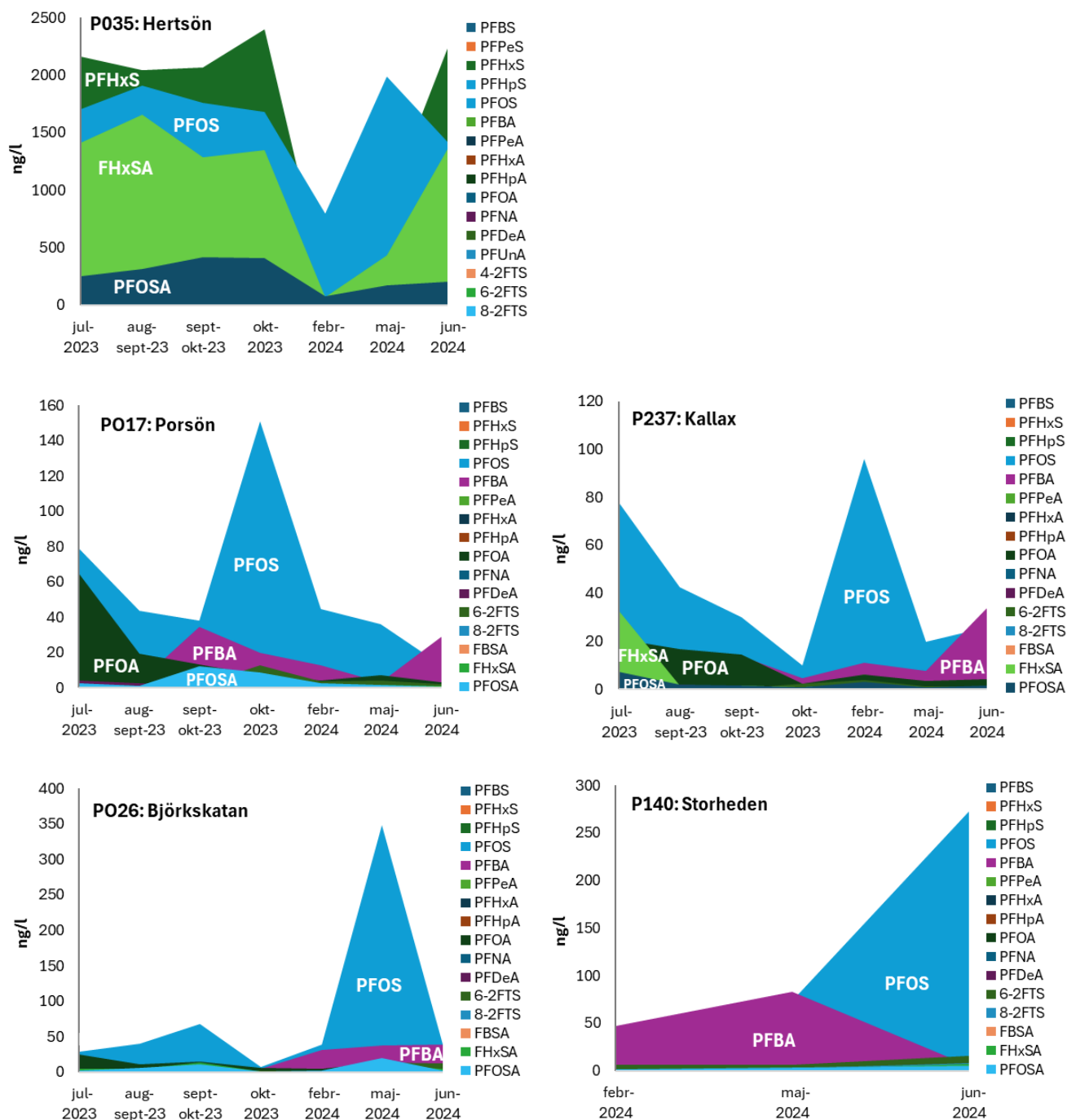
Vid provpunkten P035: Hertsön var fördelningen annorlunda, där tre dominerande ämnen sammanlagt utgjorde 52 % av den totala PFAS-halten och fördelades enligt följande: 20 % PFHxS, 19 % PFOS och 13 % FHxSA (tabell B1). Detta tyder på att provpunkterna inom bostadsområden och delvis industriområden i Luleå hade liknande PFAS-signaturer, medan punkten närmast räddningstjänstens brandövningsplats hade en avvikande signatur (figurer 2 och 3), vilket i sin tur indikerar olika källor till PFAS i avloppet.

Tabell 2. Analyserade PFAS-ämnen i deponilakvatten och avloppsvatten (x). Mörkgråa fält markerar ämnen som låg under metodens detektionsgräns, ljusgråa fält indikerar ämnen som påträffades vid enstaka tillfällen, och tomma fält visar ämnen som inte har analyserats i respektive vattenprov.

PFAS ämne	Förkortning	Deponi-lakvatten	Avlopps-vatten
1 Fluortelomersulfonat	4:2 FTS		x
2 Fluortelomersulfonat	6:2 FTS		x
3 Flortelomeralkohol	6:2 FTOH	x	
4 Fluortelomersulfonat	8:2 FTS		x
5 Flortelomeralkohol	8:2 FTOH	x	
6 Perfluor([5-metoxo-1,3-dioxolan-4-yl]oxy)HAc	C6O4	x	
7 Dodecafluor-3H-4,8-dioxanonanoat	DONA	x	x
8 GenX	HFPO-DA	x	x
9 Perfluorbutansyra	PFBA	x	x
10 Perfluorbutansulfonsyra	PFBS	x	x
11 Perfluordekansyra	PFDA	x	x
12 Perfluordodekansyra	PFDoA	x	x
13 Perfluordekansulfonsyra	PFDS	x	x
14 Perfluorheptansyra	PFHpA	x	x
15 Perfluorheptansulfonsyra	PFHpS	x	x
16 Perfluorhexansyra	PFHxA	x	x
17 Perfluorhexadekansyra	PFHxDA	x	
18 Perfluorhexansulfonsyra	PFHxS	x	x
19 Perfluornonansyra	PFNA	x	x
20 Perfluoroktansyra	PFOA	x	x
21 Perfluoroktadekansyra	PFODA	x	
22 Perfluoroktansulfonsyra	PFOS	x	x
23 Perfluorpentansyra	PFPeA	x	x
24 Perfluorpentansulfonat	PFPeS	x	x
25 Perfluortetradekansyra	PFTeDA	x	x
26 Perfluortridekansyra	PFTrDA	x	x
27 Perfluorundekansyra	PFUdA	x	x
28 Perfluoroktansulfonamid	PFOSA		x
29 N-etylperfluoro-1-octansulfonamidoättiksyra	NEtFOSAA		x
30 N-metylperfluorooktansulfonamidoättiksyra	NMeFOSAA		x
31 9-Klorohexadecafluoro-3-oxanon-1-sulfonsyra	9CI-PF3ONS		x
32 Perfluornonansulfonsyra	PFNS		x
33 Perfluorobutansulfonamid	FBSA		x
34 Perfluorohexansulfonamid	FHxSA		x
35 11-Kloreikosafuor-3-oxaundekan-1-sulfonsyra	11CI-PF3OUds		x



Figur 2. Den genomsnittliga fördelningen av PFAS-ämnen i avloppsvatten, insamlad vid olika provtagningspunkter i avloppsnätet i Luleå under 2023-2024.



Figur 3. Fördelning av PFAS-ämnena i avloppsvatten vid olika provtagningspunkter i avloppsnätet i Luleå och vid olika tidpunkter under 2023-2024.

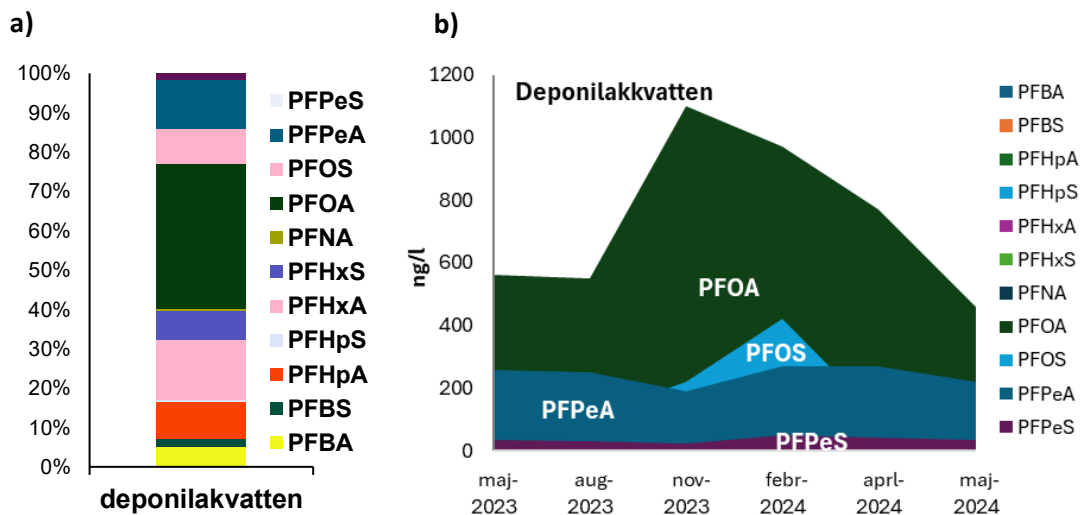
En intressant observation är att topparna i PFAS-halter i avloppsnätet varierade kraftigt mellan olika provtagningspunkter. Det verkar inte finnas något generellt samband mellan halterna och säsongsvariationer (torra månader eller snösmältningsperioden i maj 2024) som gäller för alla punkter. I Hertsön och Björkskatan var PFOS-halterna som högst just i maj vid snösmältningen, medan halterna vid Storheden, Porsön (LTU) och Kallax var relativt låga vid samma tidpunkt. I

februari var halterna av alla uppmätta PFAS som lägst i Hertsön, medan de toppade i Kallax (särskilt PFOS) vid denna tidpunkt. Det är också anmärkningsvärt att PFOS-halterna vid topparna i Björkskatan och Storheden var 2-3 gånger högre än i Porsön och Kallax (figur 3). Inget annat ämne varierade lika mycket som PFOS i dessa fyra punkterna. Punkten vid Hertsön uppvisade ett avvikande variationsmönster där de dominerande ämnena hade relativt stabila halter över tid, med undantag för en kraftig minskning i februari. Halterna av PFHxS och FHxSA förblev lägre även under maj.

5.2. PFAS ämnena i lakvatten från deponin

Av de 24 PFAS-ämnena som analyserades i det utgående lakvattnet från Sunderbyn deponi i Luleå, detekterades endast elva ämnena i samtliga prover (tabell 2). Två ytterligare ämnena, PFDA och PFUDA, påträffades vid enstaka tillfällen och i mycket låga koncentrationer som låg nära metodens detektionsgräns. Bland de elva detekterade ämnena utgjorde tre ämnena i genomsnitt 65 % av den totala PFAS-halten: 37 % PFOA, 15,5 % PFHxA och 12 % PFPeA (figur 4a). De resterande ämnena stod för mindre än 10 % vardera, varav två understeg 1 % (tabell B6).

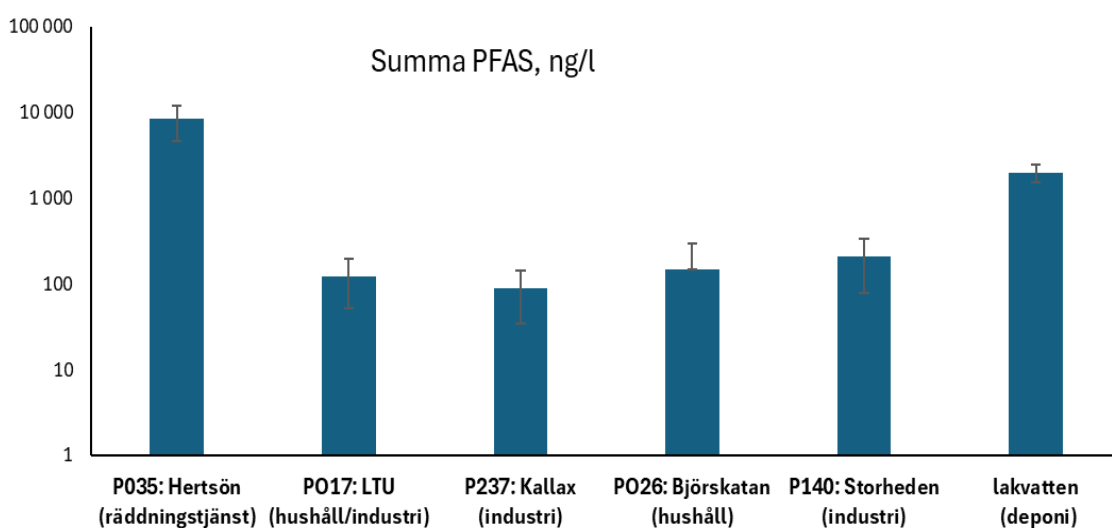
PFAS halterna varierade något under året med topp i november, styrd av drastiskt ökade PFOA halter. PFOS halter toppade i februari (figur 4b).



Figur 4. Fördelning av de 11 detekterade PFAS-ämnena i lakvatten från deponin i Sunderbyn, Luleå, under 2023-2024: a) Genomsnittlig fördelning, b) Fördelning vid olika tidpunkter.

5.3. PFAS halter i samtliga prover

Analysen av de genomsnittliga totala PFAS-halterna i samtliga prover visar en viss variation mellan de olika provpunkterna (figur 5). Proverna från räddningstjänstens brandövningsplats uppvisade de högsta PFAS-halterna, med ett genomsnitt på över 8000 ng/l, medan deponilakvattnet hade de näst högsta halterna, med ett genomsnitt på 1900 ng/l. Övriga provpunkter uppvisade någorlunda liknande halter sinsemellan, med ett genomsnitt på 88 - 207 ng/l. De relativt små standardavvikelserna från medelvärdena visar att halterna varierade något över tid men förblev i stort sett stabila.



Figur 5. Genomsnittliga totala PFAS-halter i samtliga prover från avloppsnätet och lakvatten från deponin i Luleå under 2023-2024.

6. Diskussion

6.1. PFAS i avloppsnätet

Studier av PFAS-sammansättningen i avloppsströmmar och slam i Sverige är fortfarande få, medan de som har genomförts indikerar en ökande förekomst av nya och oidentifierbara PFAS-föreningar. Sådana trender har relaterats till typen av industrier som är anslutna till avloppsreningsverken, mycket mer än till antalet hushåll i området (Yeung m fl., 2017). Pålitlig kartläggning av PFAS-ursprung är dock svår att genomföra för kommuner som inte har ett separat insamlingssystem för avloppsvatten från industri och hushåll.

Det nuvarande avloppssystemet i Luleå är utformat på ett sådant sätt att industriella utsläpp blandas med hushållens avloppsvatten och gemensamt bidrar med en inflödesström av blandat avloppsvatten till Luleå reningsverk i Uddebo. Dessutom leds lakvatten från deponin i Luleå till avloppsreningsverket. Detta kan utgöra en begränsning för utformning och implementering av effektiva PFAS-behandlingstekniker eftersom PFAS mängder och signaturer skiljas i olika flöden.

Tidigare undersökningar pekar på att de nuvarande avloppsreningsprocesserna är otillräckliga för att avlägsna PFAS från avloppsvattnet och att högre koncentrationer av flera PFAS-föreningar hittas i utflöden än i inflöden (Sjöberg, 2023). Detta är särskilt oroande eftersom det visar att långlivade PFAS-grupper antingen skapas under den traditionella avloppsreningsprocessen från PFAS-prekursorer som finns i inflödet till reningsverket eller koncentreras under behandlingen.

Växande kunskap om PFAS spridning, deras möjliga negativa miljö- och hälsoeffekter driver arbetet med att begränsa och eliminera dessa ämnen från den globala marknaden. Av tusentals kända PFAS, begränsas användningen i dagsläget av PFOS (sedan 2009), PFOA (sedan 2020) och PFHxS (sedan 2022) samt deras salter, derivat, relaterade föreningar och ämnen som kan brytas ned till dem, genom att de listas i Stockholm-konventionen (Stockholm Convention, 2023). Oavsett det, finns samtliga dessa tre ämnen i dagens avlopp från hushållet och industrin.

Det är dock oklart varför just PFOS-halterna toppade vid olika tidpunkter i de flesta provtagningspunkterna. Under vintern kan den frusna marken minska ytavrinningen, vilket kan leda till tillfälligt lägre PFAS-halter i avloppsnätet, som observerats i Hertsön under februari. Samtidigt kan föroreningar som ackumulerats under de kalla månaderna snabbt frigöras när temperaturen stiger och tränga in i avloppsledningarna, vilket kan ha bidragit till de observerade PFOS-topparna i Hertsön och Björkskatan i maj. Varför detta mönster inte observerades på andra platser är dock oklart. Nederbörd eller smältvatten kan påverka PFAS-halterna olika beroende på markens genomsläpplighet och den lokala infrastrukturen för dagvattenhantering. Det kan även indikera förekomsten av markföroreningar i dessa områden.

De observerade variationerna i PFOS-koncentrationer och skillnaderna i topphalter mellan olika stadsdelar behöver undersökas vidare för att fastställa de exakta orsakerna. Kombinationen av

lokala förhållanden, specifika verksamheter och säsongsvariationer kan vara faktorer som påverkar dessa skillnader.

Fördelningen av de dominerande PFAS-ämnena, rangordnade efter deras halter i avloppsvatten och lakvatten, sammanfattas i tabell 3. PFAS fördelning i inkommande avloppsvatten till reningsverket anges för jämförelse. Enligt beräkningar, härrör ca 90 % av PFOS som kommer in till reningsverket från avloppsvatten, medan ca 56 % av PFOA har sitt ursprung i deponilakvatten (Sjöberg, 2023). Detta innebär att genom separera det senare flödet från att nå reningsverket, en betydande andel av PFOA skulle kunna elimineras från flöden som lämnar reningsverket, inklusive behandlad slam. Detta däremot innebär att lakvattenrening ska ske lokalt på deponin, vilket i dagsläget inte finns.

Tabell 3. Fördelning av de dominerande PFAS-ämnena, rangordnade efter deras halter i proverna.

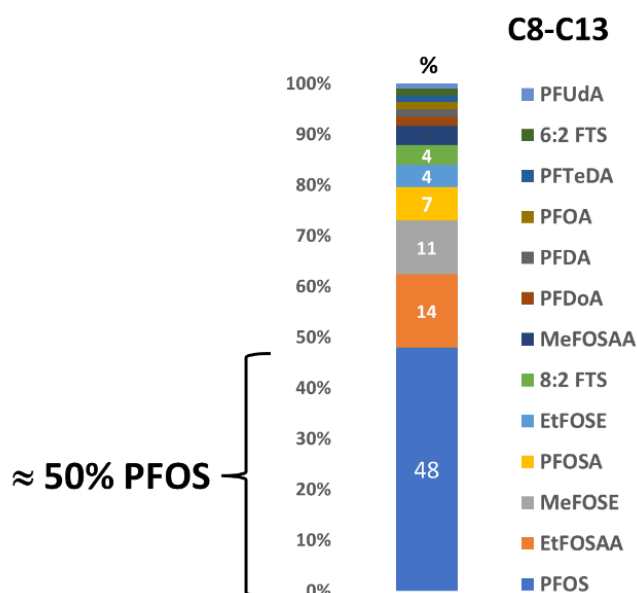
Provtagningsområde	Ämnesfördelning enligt halter
Hushåll, industri	PFOS (C8) >> PFBA (C4) > PFOA (C8)
Industri vid Storheden	PFOS (C8) >> PFBA (C4) > 6:2 FTS (C8)
Räddningstjänstens övningsplats	PFHxS (C6) $\approx$ PFOS (C8) > FHxSA (C6)
Avfallsdeponi	PFOA (C8) >> PFHxA (C6) $\approx$ PFPeA (C5)
Inkommande avloppsvatten till reningsverket	PFOS (C8) $\approx$ 6:2 FTS (C8) > PFOA (C8)

De ämnen som dominerar i avloppsvattnet är huvudsakligen långkedjiga PFAS ($\geq$ C8), vilka tenderar att stanna kvar i slammet. Analyser av avloppsslammet i Uddebo visar att enbart långkedjiga PFAS detekterades, med PFOS som det mest förekommande ämnet (48 % av total PFAS) (figur 6).

PFOS har använts i en mängd olika produkter, inklusive textilier, mattor och brandsläckningsskum, vilket gör det svårt att fastställa en exakt källa till PFOS i avloppsvattnet och därmed identifiera specifika åtgärder för att minska halten av PFOS som kommer till reningsverket. Det är dock anmärkningsvärt att PFOS fortfarande förekommer i de högsta eller näst högsta halterna i samtliga analyserade flöden (tabeller B1, B2), trots att användningen av detta ämne i hushållsprodukter har varit starkt begränsad sedan 2009. Halterna av PFOS kan dock förväntas successivt minska i takt med att PFOS-innehållande produkter fasas ut från samhället och industrin.

Det är oklart varifrån de höga halterna av 6:2 FTS i reningsverket kommer, då ämnet detekterades i relativt låga halter (0,5 - 18 ng/l) i de avloppsvattenprover som analyserades i denna studie. Även om 6:2 FTS var det tredje vanligaste ämnet i avloppsvattnet från Storheden, var koncentrationerna fortfarande relativt låga (8 ng/l $\pm$ 5 ng/l). I deponilakvattnet mättes

endast 6:2 FTOH (fluortelomeralkohol), vilka kan vara prekursorer till 6:2 FTS (SGF, 2023). Efter förbudet mot PFOS har 6:2 FTS börjat användas som ersättning (KEMI, 2015), vilket kan innebära att halterna av 6:2 FTS i avloppsvattnet kan förväntas öka över tid. För närvarande utgör 6:2 FTS cirka 1 % av den totala mängden PFAS i slammet i Uddebo, medan största delen av ämnet hamnar i det renade vattnet (Sjöberg, 2023).



Figur 6. Fördelning av PFAS i avloppsreningsslam i Uddebo reningsverk, Luleå (data från Sjöberg, 2023).

De högsta halterna av PFAS som uppmättes i avloppsvattnet från området närmast räddningstjänstens brandövningsplats (P035: Hertsön) indikerar att detta flöde bör undersökas mer noggrant och eventuellt separeras från ledningsnätet. En sådan åtgärd skulle potentiellt kunna minska de totala PFAS-halterna som når reningsverket. Detta kan dock kräva eventuellt sanering av ett potentiellt förorenat område samt eliminering av en möjlig PFAS-källa i marken.

De liknande PFAS-halter som uppmätts i olika stadsdelar, inklusive flygplatsområdet (Kallax), kan användas som en bakgrunds nivå för PFAS som når reningsverket i Luleå. Detta kan ligga till grund för utveckling och dimensionering av reningstekniker. Baserat på de PFAS-signaturer som uppvisas i dessa flöden, bör tekniker som är effektiva på att bryta ner huvudsakligen PFOS utforskas, t ex oxidativ nedbrytning genom elektrokemiska processer (Uwayezu m fl., 2021). Detta är uppmuntrande, eftersom majoriteten av den forskning som har bedrivits inom teknikutveckling just har fokuserat på detta ämne. Vidare förväntas oxidativa nedbrytningstekniker som riktar sig mot PFAS även bryta ner andra närvarande organiska föroreningar, såsom läkemedelsrester. Detta skulle ytterligare förbättra slammets kvalitet och öka möjligheterna till en utökad användning av denna resurs.

6.2. SWOT-analys

Analysen av avloppsflöden och PFAS-föroreningar i Luleå tyder på att det kan vara fördelaktigt att överväga separering och behandling av specifika flöden direkt vid källorna för dessa föroreningar. Denna strategi skulle huvudsakligen gälla två områden: avfallsdeponin, där lakvattnet för närvarande leds till reningsverket, samt en brandövningsplats där det finns en misstanke om att PFAS-innehållande brandsläckningsskum kan ha läckt ner i marken och vidare in i avloppssystemet.

Att behandla dessa flöden vid källan skulle kunna minska belastningen på det centrala reningsverket, vilket är särskilt viktigt eftersom nuvarande reningstekniker ofta är otillräckliga för att helt avlägsna PFAS. Detta skulle dessutom möjliggöra mer skräddarsydda lösningar som är anpassade efter de specifika typer av PFAS som förekommer i respektive flöde, vilket i sin tur kan leda till en mer effektiv rening.

För avfallsdeponin innebär detta att lakvattnet skulle kunna renas lokalt, vilket kan minska mängden PFOA som når det centrala reningsverket och därmed förbättra kvaliteten på det behandlade avloppsvatten och slammet. I fallet med brandövningsplatsen är det viktigt att fastställa om och hur mycket PFAS kan eventuellt infiltrera avloppssystemet. Om denna förorening bekräftas, skulle det vara motiverat att genomföra en lokal marksanering.

Genom att behandla föroreningarna närmare källan minskar också risken för kontaminering av andra vattenflöden och markområden i Luleå. Samtidigt kan denna strategi leda till långsiktiga fördelar, både vad gäller minskad miljöpåverkan och förbättrad effektivitet i avloppsreningen. Dock är det viktigt att notera att implementeringen av lokala behandlingssystem kan vara kostsam och tekniskt utmanande, vilket kräver noggranna överväganden av både ekonomiska och operationella aspekter.

En genomförd SWOT-analys sammanfattar de olika generella aspekterna av att implementera avloppsrening vid specifika punkter (t.ex. deponier och brandövningsplatser) jämfört med att centralisera behandlingen vid ett stort avloppsreningsverk (tabell 4) i Luleå.

Det finns fördelar med båda lösningar, men också utmaningar som måste övervägas i beslutsfattandet och vidare utveckling. Valet mellan dessa alternativ bör baseras på Luleås specifika behov, tillgängliga resurser och långsiktiga strategiska mål för avloppsreningssystemet, vattenkvalitet och miljöskydd.

Tabell 4. SWOT-analys av lokal- jämfört med centraliserad behandling av PFAS-flöden: Luleå som fallstudie.

Lokalbehandling av PFAS-flöden	Centraliserad behandling av PFAS-flöden
Styrkor	
Minskad Belastning på Centrala Reningsverket: Genom att behandla PFAS vid källan, som vid deponier eller brandövningsplatser, kan belastningen på Uddebo reningsverk minskas, vilket kan förbättra verkets övergripande effektivitet.	Kostnadseffektivitet i Storskalighet: Ett centralt reningsverk som Uddebo kan dra nytta av storskalighet, vilket kan leda till lägre kostnader per behandlad volym och högre effektivitet.
Skräddarsydd Behandling: Lokala anläggningar kan designas specifikt för att hantera de unika egenskaperna hos PFAS-flödena med specifika typer av PFAS-föroreningar från respektive källa, vilket kan leda till högre reningseffektivitet för dessa ämnen.	Enhetlig Behandling: Centraliserad behandling möjliggör en enhetlig och standardiserad metod för alla inkommande flöden, vilket kan förenkla drift och underhåll.
Lägre Risk för Spridning av föroreningar: Genom att behandla PFAS-föroreningar nära källan minskar risken för att dessa ämnen sprids till större vattenflöden eller markområden i Luleå.	Fokuserad Resursanvändning: Investeringar i avancerad teknik och expertkompetens kan koncentreras till en central anläggning, vilket kan höja effektiviteten och kvaliteten på PFAS-behandlingen.
Svagheter	
Högre Initiala och Driftkostnader: Att bygga och driva flera lokala anläggningar kan innebära högre kostnader än att uppgradera och centralisera behandling vid ett enda reningsverk.	Risk för Överbelastning: Om mängden PFAS-innehållande avloppsvatten överstiger den centrala anläggningens kapacitet kan reningseffektiviteten försämrats och leda till potentiell spridning av PFAS.
Teknisk och Operationell Komplexitet: Flera små anläggningar kräver mer personal och teknisk expertis för att säkerställa att varje anläggning fungerar effektivt och uppfyller miljökrav.	Sårbarhet vid Driftsproblem: Centraliserad behandling innebär att driftstörningar kan påverka hela systemet, vilket kan leda till att stora mängder förorenat vatten inte behandlas korrekt.
Utmaningar med Skalbarhet: Lokala anläggningar kan ha svårt att skalas upp eller anpassas om flödena eller PFAS-föroreningsnivåerna ökar över tid, vilket kan begränsa anläggningarnas långsiktiga användbarhet.	Begränsad Flexibilitet: Ett centralt reningsverk kan ha svårt att snabbt anpassa sig till nya typer av föroreningar eller förändrade föroreningsnivåer i Luleå.

Möjligheter	
Innovation och Teknisk Utveckling: Lokala reningslösningar kan leda till innovativa tekniker och metoder som kan tillämpas på andra typer av föroreningar och platser i Luleå och liknande städer.	Avancerad Teknikutveckling: Centraliserad behandling kan möjliggöra investeringar i teknikutveckling eller implementering av den senaste tekniken för PFAS-nedbrytning, vilket kan sätta Luleå på kartan som en föregångare inom miljöteknik.
Flexibilitet och Anpassningsförmåga: Lokala anläggningar kan snabbare anpassas till förändringar i föroreningsprofiler eller nya regleringar.	Minskade Driftskostnader över Tid: Stordriftsfördelar kan leda till lägre driftskostnader på sikt, särskilt om tekniken kan skalas upp och optimeras.
Ökat Lokalt Ansvar och Medvetenhet: Genom att behandla föroreningar nära källan kan det skapa ökad medvetenhet och engagemang hos invånarna och industrin i Luleå för att minska utsläpp och skydda miljön. Det kan även öppna upp för samarbeten mellan kommunala aktörer, företag och universitet för att vidare utveckla och implementera ny teknik.	Centraliserad Övervakning och Kontroll: Ett centralt reningsverk möjliggör enkel övervakning och kontroll av hela avloppsreningssystemet, vilket kan säkerställa att miljöregler efterlevs och att reningen är effektiv. Storskalig Miljöförbättring: Effektiv centraliserad behandling kan bidra till betydande förbättringar av vattenkvaliteten i hela regionen, vilket gynnar både miljön och människors hälsa.
Hot	
Ekonomiska Begränsningar: De höga initiala investeringar och kostnader för att utveckla och underhålla flera lokala anläggningar kan vara en avskräckande faktor och begränsa genomförbarhet av sådana satsningar.	Höga Investeringar: Kostnaderna för att bygga eller uppgradera och driva ett stort centralt reningsverk kan vara mycket höga, vilket kan kräva stora kapitalinvesteringar och begränsa genomförbarheten av dessa åtgärder.
Regulatoriska Risker: Strängare miljölagar och regler kan kräva ytterligare investeringar och dyra anpassningar av lokala system, vilket kan försvåra den lokala behandlingens ekonomiska hållbarhet.	Lång Implementeringstid: Utveckling och implementering av centraliserade lösningar kan ta lång tid, vilket kan fördröja hanteringen av PFAS-föroreningar.
Ineffektivitet vid Felaktig Implementering: Om lokalbehandling inte genomförs korrekt eller fungerar som planerat kan det leda till att PFAS ändå sprids eller att kostsamma åtgärder måste tas.	Regulatoriska Krav och Anpassningsbarhet: Om nya miljöregleringar införs kan det kräva kostsamma och tidskrävande anpassningar av det centrala systemet, vilket kan påverka lönsamheten och effektiviteten.

7. Slutsatser

Analysen av PFAS i avloppsvattnet i Luleå visade vissa variationer i både koncentrationer och sammansättning mellan olika provtagningspunkter. De högsta halterna återfanns vid Hertsön, nära räddningstjänstens brandövningsplats, där PFHxS och PFOS dominerade (ca 20 % var av den totala PFAS-halten). I bostads- och industriområden var PFOS det vanligaste ämnet (upp till 50 %), följt av PFBA och PFOA. Lakvatten från Sunderbyns avfallsdeponi innehöll främst PFOA, PFHxA och PFPeA, vilka utgjorde sammanlagt ca 65 % av den totala PFAS-halten.

Resultaten indikerar att lokalbehandling av förorenade flöden, särskilt från brandövningsplatser och deponier, kan avsevärt minska belastningen på det centrala reningsverket, underlätta framtida avloppsvattenbehandling och förbättra slamkvaliteten. Även om lakvatten från deponin relativt enkelt kan separeras för vidare behandling lokalt, separation av flödet från brandövningsområdet vid Hertsön för lokalbehandling är betydligt mer komplex och behöver övervägas mer noggrant. Fokus bör ligga på att identifiera och eliminera den specifika PFAS-källan på området, vilket skulle kunna minska den framtida tillförseln av PFAS till reningsverket och därigenom minska miljöbelastningen.

Oavsett vilken lösning som väljs är det uppenbart att avloppsvatten måste renas från PFAS vid reningsverket, vilket sannolikt kommer att kräva betydande investeringar. Osäkerheten kring de ekonomiska fördelarna med att implementera ny teknik innan formella krav och regleringar träder i kraft kan däremot negativt påverka viljan att investera.

Luleå är inte unik i detta sammanhang; hundratals andra svenska kommuner står inför samma utmaning. Eftersom kommunala företag betjänar medborgarna, kommer ansträngningar och investeringar i avloppsrening att ha en direkt påverkan på samhället, både negativt, om detta leder till ökade hushållskostnader, och positivt – genom att utsläppen av föroreningar upphör – och därmed ökad kvalitet på miljön och människors hälsa. Det är därför avgörande att utveckla kostnadseffektiva PFAS-nedbrytningstekniker som tillämpas på rätt plats, exempelvis direkt vid industriella utsläpp, för att möjligen minimera kostnaderna för samhälle och samtidigt öka möjligheterna att använda avloppsslam som en säker och värdefull näringskälla inom jordbruket.

8. Referenser

- Blake BE, Pinney SM, Hines EP, Fenton SE, Ferguson KK. 2018. Associations between longitudinal serum perfluoroalkyl substances (PFAS) levels and measures of thyroid hormone, kidney function, and body mass index in the Fernald Community Cohort. *Environmental Pollution* 242 (A), 894-904
- Filipovic M, Berger U. 2015. Are perfluoroalkyl acids in wastewater treatment plant effluents the result of primary emissions from the technosphere or of environmental recirculation? *Chemosphere* 129, 74–80.
- Hansson K, Cousins AP, Norström K, Graae L, Stenmarck Å. 2016. Sammanställning av befintlig kunskap om föroreningskällor till PFAS-ämnen i svensk miljö. Rapport NR C 182. IVL Svenska Miljöinstitutet, Stockholm.
- KEMI, 2015. Förekomst och användning av högfluorerande ämnen och alternativ. Rapport 6/15. Swedish Chemicals Agency.
<https://www.kemi.se/publikationer/rapporter/2015/rapport-6-15-forekomst-och-anvandning-av-hogfluorerade-amnen-och-alternativ>
- KEMI, 2021. Per- and polyfluoroalkyl substances, PFAS, in everyday products.
<https://www.kemi.se/en/chemicals-in-our-everyday-lives/advice-on-chemical-smart-choices/materials-and-substances/per--and-polyfluoroalkyl-substances-pfas-in-everyday-products>
- Kärrman A, Wang T, Kallenborn R, et al. 2019. PFASs in the Nordic environment. Screening of Poly- and Perfluoroalkyl Substances (PFASs) and Extractable Organic Fluorine (EOF) in the Nordic Environment. Nordic Council of Ministers. TemaNord 2019, 515.
- SCB, 2018. Discharges to water and sewage sludge production in 2018.
- SGF, 2023. PFAS-prekursorer.
<https://www.fororenadeomraden.se/index.php/aemnen/pfas/grupper/pfas-prekursorer>
- Sjöberg, M. 2023. Yearly distribution and composition of per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) in Luleå wastewater treatment plant. Master's thesis. Luleå University of Technology.
- SNV, 2018. Perfluorerade ämnen i miljön. Naturvårdsverket.
- Stockholm Convention, 2023.
<http://chm.pops.int/Implementation/IndustrialPOPs/PFAS/Overview/tabid/5221/Default.aspx>
<https://www.oecd.org/chemicalsafety/portal-perfluorinated-chemicals/countryinformation/european-union.htm>

- Uwayezu JN, Carabante I, Lejon T, ...Hollman P, Kumpiene J. 2021. Electrochemical degradation of per- and poly-fluoroalkyl substances using boron-doped diamond electrodes. *Journal of Environmental Management* 290, 112573.
- Uwayezu JN, Carabante I, van Hees P, Karlsson P, Kumpiene J. 2023. Combining electrochemistry and ultraviolet radiation for the degradation of per- and poly-fluoroalkyl substances in contaminated groundwater and wastewater. *Journal of Water Process Engineering*, 54, 104028.
- Yeung L, Eriksson U, Kärrman A. 2017. A Pilot Study of the Fluorinated Ingredient of Scotchgard Products and Their Levels in WWTP Sludge and Landfill Leachate from Sweden. Report for Swedish EPA, Environmental Monitoring Unit. Stockholm.

Bilagor

Bilaga 1. Resultat av PFAS analyser i avlopps- och lakvatten

Tabell B1. PFAS halter i avloppsvatten i punkten PO35: Hertsön, Luleå (ng/l). Ämnena GenX (HFPO-DA), NETFOSAA, NMeFOSAA, 9CI-PF3ONS, PFDS, NaDONA, PFNS, PFDoA, PFTeDa, PFTrDA och 11CI-PF3OUds var under metodens detektionsgräns.

PFAS ämne	Jul-2023	Aug-2023	Sept-2023	Okt-2023	Febr-2024	Maj-2024	Jun-2024
PFBS	147	152	187	215	19	63	195
PFPeS	319	316	319	418	19	113	391
PFHxS	2166	2044	2066	2402	166	879	2234
PFHpS	218	218	217	307	20	73	265
PFOS	1703	1908	1763	1684	799	1992	1420
PFBA	231	217	171	134	31	61	235
PFPeA	1147	1519	1125	861	26	303	1266
PFHxA	890	837	698	615	43	255	996
PFHpA	434	424	359	295	15	122	436
PFOA	1146	1013	867	769	48	370	953
PFNA	121	82	85	65	4.1	40	87
PFDeA	63	72	72	62	6.3	52	106
PFUnA	2.7	2.9	3.1	4.6	1.3	7.7	5.2
4-2FTS	2.3	5.7	3.5	2.6	0.1	1.6	10
6-2FTS	16	16	17	18	16	17	15
8-2FTS	14	15	15	15	12	15	14
FBSA	311	342	302	356	17	79	393
FHxSA	1411	1655	1289	1348	66	430	1353
PFOSA	249	315	415	410	77	172	203
Summa	10 593	11 153	9 974	9 980	1 387	5 047	10 579

Tabell B2. PFAS halter i avloppsvatten i punkten PO17: Porsön, Luleå (ng/l). Ämnena PFPeS, PFUnA, 4-2FTS, GenX (HFPO-DA), NEtFOSAA, NMeFOSAA, 9CI-PF3ONS, PFDS, NaDONA, PFNS, PFDoA, PFTeDa, PFTrDA och 11CI-PF3OUds var under metodens detektionsgräns.

PFAS ämne	Jul- 2023	Aug- 2023	Sept- 2023	Okt- 2023	Febr- 2024	Maj- 2024	Jun- 2024
PFBS	0.8	0.4	0.9	1.2	0.8	2.8	< dg
PFHxS	3.1	1.7	3.1	8.6	1.3	1.8	1.8
PFHpS	0.8	0.3	0.3	1.0	0.3	0.3	0.1
PFOS	79	44	38	151	45	36	13
PFBA	11	3.6	35	20	13	3.0	29
PFPeA	5.9	2.1	2.9	4.0	1.7	2.7	1.8
PFHxA	14	3.7	3.0	3.7	1.9	2.6	1.3
PFHpA	16	2.5	1.9	2.4	1.2	2.1	1.1
PFOA	65	20	14	7.4	4.3	7.1	3.2
PFNA	1.1	0.7	0.6	1.1	0.4	1.1	0.5
PFDeA	4.1	2.6	1.3	1.4	0.2	0.4	0.3
6-2FTS	1.0	0.9	1.6	13	3.9	4.3	2.3
8-2FTS	0.3	0.2	0.8	4.8	1.0	0.4	0.5
FBSA	0.9	0.5	6.7	1.2	0.3	0.5	0.4
FHxSA	2.0	1.0	9.8	8.3	1.0	1.8	1.3
PFOSA	2.8	1.4	12.1	8.7	2.7	1.6	0.7
Summa	207	85	131	237	78	68	57

Tabell B3. PFAS halter i avloppsvatten i punkten P237: Kallax, Luleå (ng/l). Ämnena PFPeS, PFUnA, 4-2FTS, GenX (HFPO-DA), NETeFOSAA, NMeFOSAA, 9CI-PF3ONS, PFDS, NaDONA, PFNS, PFDoA, PFTeDa, PFTrDA och 11CI-PF3OUds var under metodens detektionsgräns.

PFAS ämne	Jul-2023	Aug-2023	Sept-2023	Okt-2023	Febr-2024	Maj-2024	Jun-2024
PFBS	0.7	< dg	0.4	0.5	0.7	0.9	0.7
PFHxS	5.5	2.4	1.8	1.8	4.5	1.4	1.4
PFHpS	0.5	0.3	0.3	0.1	0.8	0.1	0.2
PFOS	78	43	30	10	96	20	26
PFBA	8.2	8.0	14	4.7	11	7.5	34
PFPeA	0.2	1.6	1.5	0.6	6.2	0.8	0.9
PFHxA	4.3	3.5	2.9	1.1	2.6	1.4	1.5
PFHpA	2.7	2.1	1.6	0.6	1.9	1.0	1.4
PFOA	21	17	14	2.3	6.2	3.4	4.3
PFNA	0.8	0.6	0.4	0.2	0.3	0.2	0.2
PFDeA	2.3	1.9	1.0	0.2	0.3	0.1	0.2
6-2FTS	3.6	1.7	0.5	2.3	4.0	1.1	1.2
8-2FTS	0.7	0.4	0.1	0.6	2.2	0.1	0.4
FBSA	8.8	0.3	0.5	0.2	0.2	0.1	0.2
FHxSA	33	1.7	1.4	0.8	1.7	0.7	0.6
PFOSA	7.2	2.1	1.6	0.7	3.0	1.0	1.5
Summa	177	86	72	27	142	40	74

Tabell B4. PFAS halter i avloppsvatten i punkten P026: Björskkatan, Luleå (ng/l). Ämnena PFPeS, PFUnA, 4-2FTS, GenX (HFPO-DA), NEtFOSAA, NMeFOSAA, 9Cl-PF3ONS, PFDS, NaDONA, PFNS, PFDoA, PFTeDa, PFTrDA och 11Cl-PF3OUds var under metodens detektionsgräns.

PFAS ämne	Jul-2023	Aug-2023	Sept-2023	Okt-2023	Febr-2024	Maj-2024	Jun-2024
PFBS	1.5	0.4	1.1	1.2	1.1	1.9	1.2
PFHxS	1.0	2.2	3.0	0.9	1.5	7.8	2.4
PFHpS	0.3	0.3	0.3	0.1	0.2	2.2	0.4
PFOS	28	41	67	7	39	349	39
PFBA	16	4.8	7.8	5.0	31	37	39
PFPeA	1.9	1.6	2.4	1.2	1.1	2.1	2.2
PFHxA	4.5	2.3	3.2	2.4	1.9	2.5	2.5
PFHpA	3.3	1.5	2.1	1.7	1.6	2.9	2.1
PFOA	25	11	15	6.1	5.2	14	7.1
PFNA	0.8	0.6	0.9	0.8	0.4	2.7	0.7
PFDeA	2.4	1.3	1.5	0.5	0.5	4.1	0.4
6-2FTS	0.5	2.8	2.7	2.4	1.4	13	12
8-2FTS	0.2	0.7	1.3	0.8	1.4	9.1	1.4
FBSA	2.2	0.7	3.3	0.6	0.3	0.7	0.9
FHxSA	5.3	4.6	14	1.4	1.1	9.6	4.8
PFOSA	2.5	5.5	10	0.7	2.2	20	1.7
Summa	96	81	136	32	89	479	117

Tabell B5. PFAS halter i avloppsvatten i punkten P140: Storheden, Luleå (ng/l). Ämnena GenX (HFPO-DA), NETFOSAA, NMeFOSAA, 9CI-PF3ONS, PFDS, NaDONA, PFNS, PFDoA, PFTeDa, PFTrDA och 11CI-PF3OUds var under metodens detektionsgräns.

PFAS ämne	Febr- 2024	Maj- 2024	Jun- 2024
PFBS	0.5	0.6	1.1
PFHxS	0.6	2.0	5.5
PFHpS	0.2	0.4	1.4
PFOS	22	74	273
PFBA	47	83	5.6
PFPeA	2.8	2.7	4.0
PFHxA	2.3	2.2	2.4
PFHpA	1.6	1.6	2.2
PFOA	4.5	5.8	8.0
PFNA	0.2	0.4	1.1
PFDeA	0.1	0.8	2.0
6-2FTS	5.9	6.5	15.3
8-2FTS	0.3	2.7	8.2
FBSA	0.3	0.4	0.7
FHxSA	0.4	1.9	7.4
PFOSA	1.2	3.5	5.7
Summa	90	188	344

Tabell B6. PFAS halter i deponilakvatten i Sunderbyn, Luleå (ng/l).

PFAS ämne	Maj-2023	Aug-2023	Nov-2023	Febr-2024	Aprl-2024	Maj-2024
6:2 FTOH	<50	<50	<50	<50	<50	<50
8:2 FTOH	<10	<10	<10	<10	<10	<10
C6O4	<1.0	<1.0	<10	1	<1.0	<1.0
DONA	<1.0	<1.0	<10	1	<1.0	0.3
HFPO-DA (GenX)		<1.0	<10	1	<1.0	<1.0
PFBA	120	86	87	140	81	99
PFBS	50	37	32	46	45	31
PFDA	<1.0	<1.0	<10	4.9	<1.0	0.78
PFDoA	<1.0	<1.0	<10	1	<1.0	0.3
PFDS	<1.0	<1.0	<20	1	<1.0	<1.0
PFHpA	170	160	230	220	180	160
PFHpS	5.5	4.9	<10	17	5.8	4.7
PFHxA	320	260	280	360	330	300
PFHxDA	<1.0	<1.0	<10	<1.0	<1.0	<1.0
PFHxS	120	110	190	200	160	100
PFNA	5.2	5.4	13	21	5.6	6.5
PFOA	560	550	1100	970	770	460
PFODA	<1.0	<1.0	<10	<1.0	<1.0	<1.0
PFOS	97	110	220	420	110	110
PFPeA	260	250	190	270	270	220
PFPeS	33	29	23	51	41	34
PFTeDA	<1.0	<1.0	<10	<1.0	<1.0	<1.0
PFTTrDA	<1.0	<1.0	<10	<1.0	<1.0	<1.0
PFUdA	<1.0	<1.0	<10	1.6	<1.0	0.3
Summa	1700	1600	2400	2700	2000	1500



RE:Source är ett strategiskt innovationsprogram som fokuserar på att utveckla cirkulära, resurseffektiva materialflöden. Vårt mål är att uppnå en hållbar materialanvändning där vi håller oss inom planetens gränser.

**RE:
SOURCE**

resource-sip.se