

SAFF – Surface Active Foam Fractionation

Envytech erbjuder i samarbete med OPEC Systems åtgärdstekniken SAFF – Surface Active Foam Fractionation. Den första hållbara åtgärdstekniken för PFAS-förorenat vatten. SAFF använder inga filtermaterial, endast luft och el, och är därmed helt okänslig för såväl andra föroreningar såsom metaller eller organiska ämnen, partiklar, pH, näringsämnen eller annan vattenkemi.

VAD INNEBÄR SAFF?

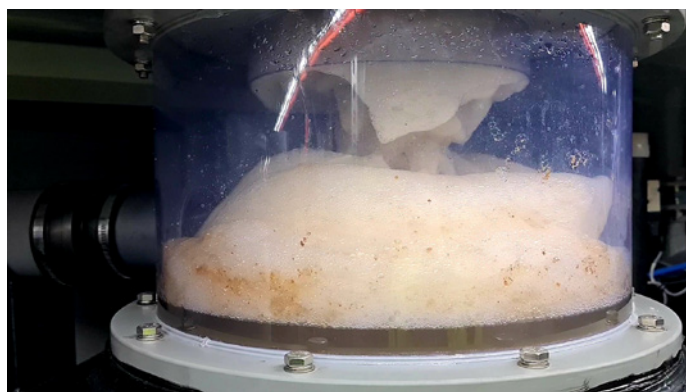
SAFF-processen utnyttjar PFAS-föreningars fysiokemiska benägenhet att fästa vid fina luftbubblor som en följd av dess hydrofoba och hydrophilica egenskaper. Vid tillsats av bubblor och genom att låta dem stiga i en smal vattenpelare, blir bubblorna exceptionellt effektiva för att samla upp PFAS-föreningar som är löst bundna till vattenmolekylerna. Väl vid ytan kan PFAS enkelt avlägsnas genom separation och koncentration genom ett passivt "spill över kanten" system och ett aktivt vakuumsystem. Behandlat (luftat) vatten kan sedan släppas till recipient. Det uppsamlade PFAS-koncentratet leds vidare till ett andra fraktioneringssteg för att koncentreras ytterligare till ett högkoncentrat av relativt liten volym som lämpar sig för destruktion via permanenta destruktionstekniker så som termisk förbränning, Super Critical Water Oxidation (SCWO) eller Elektrokemisk Oxidation (EO).

Systemet har betydande fördelar i jämförelse med samtliga andra tekniker på marknaden då systemet är robust – SAFF fungerar utan reducerad effekt oavsett om vattnet innehåller stora mängder suspenderat material, föroreningar av olika slag, inklusive olja samt biologiska ämnen, eller andra föroreningar. Systemet är inte känsligt för höga koncentrationer och är inte pH-känsligt. Systemet inte är i behov av några förbehandlingssystem, men för att minimera servicearbeten så kan vatten omfattande större partiklar med fördel passera via t.ex. en lamellavskiljare.

SAFF-systemet fungerar genom att PFAS-föreningarna ackumuleras överst i den första behandlingskolonnen där det första fraktioneringssteget sker. När luft injekteras i botten av kolonnen och stiger i kolonnen i en skapad vortex, fäster PFAS-ämnena på bubblorna och flyter med bubblorna till ytan. Skum och vatten rinner över en designad "kant" högst upp i kolonnen (se figur 2) och kallas därför "the wet cut", då man både avlägsnar det skapade skummet samt underliggande vatten. Detta då PFAS stratifierar i toppen av kolonnen då de kortare PFAS-ämnena inte har samma skumpotential som de längre kedjorna.



Figur 1: Foto på SAFF40-anläggning



Figur 2: Foto taget vid utförande av det första fraktioneringssteget i en fullskalig anläggning. Här ser vi hur man i det första steget låter skum "rinna" över kanten i det centrala inner-röret i kolonnen. Man ser också skummet som samlas under avskiljningen och det översta vatten där de mindre skumbenäna PFAS-ämnena samlas.

Innan det första fraktioneringssteget avslutas hjälps även det vatten som samlats överst i kolonnen över kanten, så att så mycket av de stratifierade PFAS-ämnena som möjligt kommer med till steg två. Det första fraktioneringssteget ökar PFAS-koncentrationerna med ca 10 gånger.

I det andra fraktioneringssteget sker samma process som i steg 1, men då halterna i vattnet/skummet för fraktionering nu är ca 10 gånger högre erhålls ett torrare skum som avlägsnas med vakuum. Behållaren där det andra fraktioneringssteget utförs är utrustad med noga kalibrerade sensorer som styr en vakuumpump och dess avstånd till aktuella skumnivåer. Det hyperkoncentrat som denna process genererar, leds till en uppsamlingsbehållare där det lagras i väntan på steg 3. I detta andra fraktioneringssteg ökas koncentrationen/minimieras volymen ytterligare upp till 1 500 gånger inledande mängder, vilket innebär att den totala koncentrationsökningen nu är 10 000 gånger inledande halter.

SAFF – Surface Active Foam Fractionation



Figur 3: Foto taget vid utförande av det andra fraktioneringssteget i en fullskalig anläggning. Här ser man hur det torra skummet bildas och avlägsnas med vakuum.

I det tredje fraktioneringssteget, som utförs på samma sätt som steg 2, erhålls ytterligare koncentrationsökningar. Total koncentrationsökning som erhålls över de tre stegen är mellan 50 000 – 2 000 000 gånger de koncentrationer som det obehandlade vattnet innehöll. Förväntade mängder avfall beror på vad

för typ av vatten som behandlas, men från utförda projekt ser vi att förväntad avfallsmängd för lakvatten uppgår till mindre än 1m³ per 40 000m³ behandlat vatten, och för grundvatten till ca 10 liter per 40 000m³ behandlat vatten.

För att summera informationen ovan angående möjliga koncentrationsökningar, så erhålls följande koncentrationer i de olika fraktioneringsstegen:

Första steget:	10 x koncentrationen
Andra steget:	1 500 x koncentrationen
Tredje steget:	50–200 x koncentrationen
Total möjlig koncentration:	50 000–2 000 000 gånger inledande koncentration

FÖRVÄNTADE RESULTAT

Hittills har 3 st fullskaleprojekt omfattande PFAS utförts med SAFF. OPEC Systems har under ca 3 års tid utfört rening av PFAS-förorenat grundvatten med hjälp av ett SAFF-system vid en aktiv militär flygbas i Australien, där omfattande brandövningar har utförts. Totalt har över 60 000 m³ vatten behandlats under perioden. Utgående vatten har aldrig överstigit halterna för Australiens riktlinjer för dricksvatten. I Södertälje renar Envitech lakvatten från Telge Återvinnings deponi, och sedan februari 2021 har över 70 000 m³ vatten behandlats under samtliga åtgärdsområden. Envitech utför även rening av lakvatten vid NSR deponi i Helsingborg sedan 1 månad och totalt har över 7 000 m³ vatten renats.

Samtliga projekt utförs utan förbehandlingssystem eller känsliga filter. Resultaten för rening med SAFF är liknande oavsett vilket vatten som renas. För en sammanställning av åtgärdsmetodens effekt på de PFAS som ingår Sveriges riktvärden, se tabell 1.

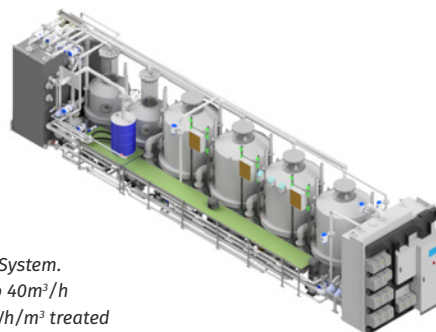
Notera att samtliga resultat erhålls utan förbehandling, pH korrigering eller andra kompletterande åtgärder. Vattnen omfattar såväl höga BOD, COD och DOC halter, suspenderade material, andra föroreningar, olika pH samt både mycket höga och lägre halter PFAS. Något som SAFF anläggningen inte påverkas av.

Ämne (ng/l)	Längd kolkedja	Removal % Max
PFDA (Perflourdekansyra)	C10	100%
PFNA (Perflournonansyra)	C9	100%
6:2 FTS (Flourtelomer sulfonat)	C8	100%
PFOA (Perflouroktansyra)	C8	100%
PFOS (Perflouroktansulfonsyra)	C8	100%
PFHxS (Perflourhexansulfonsyra)	C7	97%
PFHpA (Perflourheptansyra)	C6	67%
PFHxA (Perflourhexansyra)	C6	20%
PFPeA (Perflourpentansyra)	C5	24%
PFBA (Perflourbutansyra)	C4	21%
PFBS (Perflourbutansulfonsyra)	C4	22%

Tabell 1: Tabell redovisande SAFF reningseffekter på grundvatten på de PFAS ämnen som ingår i SLV Summa PFAS 11. Tabellen redovisar medeleffekten som uppmäts över tid i systemet samt den maximala reduktion som erhållits för varje ämne.

KAPACITET

Kapaciteten för en 40-fots anläggning, SAFF40, med möjlighet till tre fraktioneringssteg och intern lagring av hyperkoncentrat beror på vilken typ av vatten man vill rena och vilka PFAS som är i fokus. Detta då olika PFAS-ämnen kräver olika cykeltider, samt att vattnets potential att skumma bestämmer hur mycket energi som pumparna kan ge. Från erfarenhet ser vi att en SAFF40 kan rena lakvatten med en kapacitet av 20–40m³/h beroende på vattnets benägenhet att skumma, medan man för grundvatten klarar att rena ca 40 m³/h med samma utrustning och fokus på PFAS ämnen med 6 kolatomer eller fler (<C6). I det fall man vill få ut fler av de korta ämnena kan längre behandlingstider behövas vilket ger minskad flödeskapacitet. Envitech erbjuder också SAFF20 system med en maxkapacitet på 20 m³/h.



Figur 4: SAFF40-System.
Flow Data: up to 40m³/h
OPEX: 0,4–0,7 kWh/m³ treated

SAFF – Surface Active Foam Fractionation

PRISBILD

Prisbilden för ett behandlingssystem för vatten består oftast av följande delar:

- Etablering
- hyra ev förbehandling
- hyra SAFF system
- Drift- och servicekostnader
- Avfallshantering
- Avetablering

Nedan redovisar vi prisuppskattningar för varje steg för det system vi ser aktuellt för projektet.

Etablering

Etablering omfattar transporter av utrustning samt inkoppling och driftsättning av reningssystemet. Total etableringstid uppskattas till 3–5 dagar och kostnaden till mellan 50 000 – 100 000 SEK. Förbehandlingssystem Då SAFF är en oerhört robust teknik som drar fördel av PFAS starka bindningsförmåga till luft behövs oftast ingen förbehandling, men för vatten med stor del större partiklar kan en lamellavskiljare med fördel användas för att minimera behovet av rengöring under driften. I det fall att projektet redan har befintlig förbehandlingsteknik på plats, som minimerar mängden partiklar och slam som når systemet, kan detta användas istället. En lamellavskiljare med kapacitet av upp till 50 m³ /h kostar via Envytech ca 500 SEK per kalenderdag att hyra.

Behandlingsystem

Kostnad för att hyra eller köpa en SAFF anläggning erhålls på förfrågan och varierar beroende på projektets längd.

Drift- och Servicekostnader

En annan viktig kostnad att ta med i beräkningarna vid jämförande av olika behandlingstekniker är driftskostnader samt behov av servicearbeten. Driftkostnaden för SAFF20 samt SAFF40 uppgår till mellan 0,4–0,7 kWh per behandlad kubikmeter. Då olika PFAS kräver olika långa cykeltider varierar kostnaderna per kubikmeter. För kortare

kedjor krävs längre cykeltider och mer el. För de längre kedjorna (C6 och längre) behövs kortare cykeltider, vilket ger att man kan behandla mer vatten per kWh. Priset per kWh är satt till 1,40 SEK. Kostnader för servicearbeten med en SAFF-anläggning är minimala. Detta då samtliga pumpar, valv och sensorer är uppkopplade mot ett digitalt övervaknings- och loggningsprogram där både vi och OPEC kan följa anläggningens drift- och effektdata. I det fall ett fel noteras med någon pump eller valv får vi kännedom om detta och kan åtgärda detta omgående, oftast genom justeringar i programvaran på distans, alternativt att vi kommer ut till platsen. Vi behöver därmed inte heller åka ut för servicebesök i det fall all data rapporterar enligt förväntningar. Systemet är också enkelt att sköta, ett s.k. "plug and play" system, och vi kan lära upp kundens egen personal för löpande tillsyn, drift och skötsel i det fall detta önskas. Uppskattad servicetid uppgår till ca 8 timmar per månad. Vid dessa servicebesök noteras status på samtliga pumpar och valv, och utbyte av delar utförs i det fall behov av detta påvisas.

Samtliga komponenter är hämtade från lantbruks/ byggindustrin och finns hos vanliga reservdelsåterförsäljare. I det fall något går sönder innebär detta att man enkelt kan ersätta delen samt att priset på den kommer att vara "rimligt". Inga delar behöver specialanpassas eller specialbeställas.

Avfallshantering

SAFF-anläggningen och dess processer genererar endast avfall bestående av ett hyperkoncentrat av PFAS. Då avfallet omfattar mycket höga halter av PFAS är rekommenderas att avfallet går för destruktion, vilket kan utföras med flera olika tekniker. Super Critical Water Oxidation är en metod, förbränning en annan samt att avfallet även kan destrueras via Elektrokemisk Oxidation, EO. Envytech kommer inom kort kunna erbjuda destruktion av avfallet på plats med EO. För övriga kostnader kan pris erhållas från lokala mottagare.

Avetablering

Vid avetablering rengörs systemet med sugbil på plats. Kostnaden för rengöring omfattar uppskattningsvis ca 20 000 SEK i arbetskostnader för tekniker och ca 20 000 SEK för sugbil och rengöringsavfall. Transportkostnader för utrustning tillkommer också.



Referensprojekt Telge

Client:	Telge Återvinning
Location:	Södertälje, Sweden
Type of water:	Landfill Leachate
Pre-treatment:	None
Treatment:	SAFF40
Average flow:	20m ³ /h 120 000m ³ /year
Waste:	<1m ³ /40 000m ³ Treated
OPEX:	0,7 kWh/m ³ treated 8h service/month



Ämne	Ex of concentration untreated leachate	Ex of concentration treated leachate	Average Removal Rate 70 000 m ³
PFDA (Perflourdekansyra)	2,4	1	66%
PFNA (Perflournonansyra)	54	1	98%
6:2 FTS (Flourtelomer sulfonat)	45	1	97%
PFOA (Perflouroktansyra)	510	1	100%
PFOS (Perflouroktansulfonsyra)	110	1	99%
PFHxS (Perflourhexansulfonsyra)	84	1	98%
PFHpA (Perflourheptansyra)	450	1,7	94%
PFHxA (Perflourhexansyra)	1100	340	50%
PFPeA (Perflourpentansyra)	590	460	13%
PFBA (Perflourbutansyra)	310	330	4%
PFBS (Perflourbutansulfonsyra)	170	97	98%
PFAS11	3400	1200	57%

Referensprojekt NSR

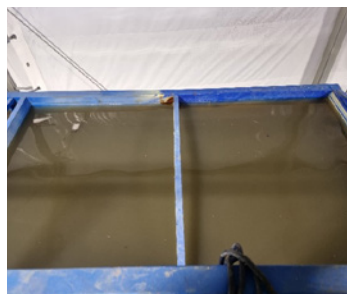
Client:	NSR Återvinning
Location:	Helsingborg, Sweden
Type of water:	Landfill Leachate
Pre-treatment:	None
Treatment:	SAFF40
Average flow:	10–20m ³ /h
Waste:	<1m ³ /40 000m ³ treated
OPEX:	0,7 kWh/m ³ treated 8h service/month



Ämne	Unit	NSR SAFF 002	NSR SAFF 002	NSR SAFF 002
		2021-10-07 Treated volume: 200 m ³	2021-10-07 Treated volume: 200 m ³	2021-10-07 Treated volume: 200 m ³
		IN	OUT	Removal Rate
PFDA	ng/l	10	1,0	90%
PFNA	ng/l	34	1,0	97%
6:2 FTS	ng/l	8800	9,5	100%
PFOA	ng/l	2400	2,6	100%
PFOS	ng/l	110	1,6	99%
PFHxS	ng/l	2200	2,8	100%
PFHpA	ng/l	6900	96	99%
PFHxA	ng/l	1100	510	54%
PFPeA	ng/l	520	650	0%
PFBA	ng/l	260	240	8%
PFBS	ng/l	210	120	43%
Summa PFAS SLV 11		22 544	1634	93%

Referensprojekt Swedavia

Client:	Swedavia
Location:	Arlanda, Sweden
Type of water:	Run off water
Pre-treatment:	None
Treatment:	SAFF40
Average flow:	35–40m ³ /h
Waste:	<10 liter/50 000m ³ treated
OPEX:	0,7 kWh/m ³ treated 8h service/month



Ämne	Unit	Untreated	Treated	Removal Rate %
PFDA	ng/l	0,67	<0,30	55%
PFNA	ng/l	3,7	0,62	83%
6:2 FTS	ng/l	<0,30	<0,30	0%
PFOA	ng/l	71	2	97%
PFOS	ng/l	650	2,2	100%
PFHxS	ng/l	38	8,4	78%
PFHpA	ng/l	220	2,1	99%
PFHxA	ng/l	210	80	62%
PFPeA	ng/l	190	130	32%
PFBA	ng/l	86	52	40%
PFBS	ng/l	22	27	0%
Summa PFAS (TOP)		1491	304	80%