

# SAFF – Surface Active Foam Fractionation

Envytech har mot bakgrund av frågeställning avseende hållbara åtgärdsmetoder för PFAS-förorenat vatten, tagit fram en anpassad beskrivning av vår åtgärds teknik kallad SAFF™. SAFF lämpar sig för rening av alla typer av vatten och är helt okänslig för andra föroreningar, salt, sediment och temperaturer.

## VAD INNEBÄR SAFF?

SAFF-processen utnyttjar PFAS-föreningars fysio-kemiska benägenhet att fästa vid fina luftbubblor som en följd av dess hydrofoba och lipofila egenskaper. Vid tillsats av bubblor 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 eller genom tillsats av vakuüm. Behandlat (luftat) vatten kan sedan släppas till recipient alternativt vidare behandlas för korta PFAS eller andra ämnen med polerande kompletterande reningssteg. Det uppsamlade PFAS-koncentratet leds vidare till ett andra luftbehandlat fraktioneringssteg för att koncentreras ytterligare till ett högkoncentrat av relativt liten volym som lämpar sig för destruktion via permanenta destruktionstekniker så som termisk förbränning.

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, även olja samt biologiska ämnen och slammer. Det fungerar bättre i kallare vatten och är inte pH-känsligt. Detta innebär att systemet inte är i behov av några förbehandlingssystem, men för att minimera servicearbeten med slamtömning så rekommenderas ett förbehandlingssystem av t.ex. en lamell för reducering av partiklar.

SAFF-systemet fungerar genom att PFAS-föreningarna ackumuleras överst i den första behandlingskolonnen där det första fraktioneringssteget sker. När luft injekteras i botten av kolumnen och stiger i kolumnen 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. Det uppsamlade våta skummet leds vidare till nästa kolumn/fraktioneringssteg. Innan det första fraktioneringssteget avslutas hjälps även det vatten som samlats överst i kolumnen (vanligtvis de översta ca 10 cm) över kanten, så att så



Figur 1: Foto på en SAFF anläggning. Det man ser är fem kolonner för första stegs fraktionering samt att man skimtar behållaren för det andra fraktioneringssteget.



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 centrerade inner-röret i kolonnen. Man ser också skummet som samlas under avskiljningen och det översta vatten där de mindre skumbenäpna PFAS ämnena samlas.

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 torrt skum som avlägsnas med vakuüm. Behållaren där det andra fraktioneringssteget utförs är utrustad med noga kalibrerade sensorer som styr en vakuümpump och dess avstånd till aktuella skumnivåer. Det hyperkoncentrat som denna process genererar, leds till en uppsamlingsbehållare där det förvaras. I detta andra fraktioneringssteg ökas koncentrationen ytterligare 1000 gånger, vilket innebär att den totala koncentrationsökningen nu är 10 000 gånger inledande halter.



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 vakuüm.

# SAFF – Surface Active Foam Fractionation

Anläggning som nu byggs för Envytech är utrustad med möjlighet att utföra en tredje fraktionering, vilket medför att mängderna PFAS som behöver gå för destruktion kan minimeras ytterligare. Detta tredje fraktioneringssteg har visat sig kunna erhålla ytterligare koncentrationsökningar med mellan 5–50 gånger. Total koncentrationsökning kan därmed erhållas mellan 50 000 – 500 000 gånger de koncentrationer som det obehandlade vattnet innehåller. För att kunna utföra en tredje fraktionering behöver dock en viss mängd koncentrat genereras i det andra steget. Det är inte ovanligt att man behöver utföra ca 1 års drift innan tillräckligt med koncentrat för att utföra en tredje fraktionering erhålls.

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

Första steget:	10 x koncentrationen
Andra steget:	1 000 x koncentrationen
Tredje steget:	5-50 x koncentrationen
Total möjlig koncentration:	50 000–500 000 gånger inledande koncentration

Ämne	Removal % Average	Removal % Max
PFBA	21%	60%
PFPeA	24%	93%
PFHxA	20%	65%
PFHpA	67%	89%
PFOA	100%	100%
PFNA	100%	100%
PFDA	100%	100%
PFBS	22%	74%
PFHxS	97%	98%
PFOS	99%	100%
6:2 FTS	100%	100%

Tabell 1: Redovisande reningseffekter av SAFF på olika PFAS-ämnen som ingår i PFAS 11. Tabellen redovisar medeleffekten som uppmätts över tid i systemet samt den maximala reduktion som erhållits för varje ämne.

## FÖRVÄNTADE RESULTAT

OPEC har under ett års tid utfört rening av PFAS-förorenat vatten med hjälp av ett SAFF-system från en aktiv militär flygbas, där omfattande brandövningar har utförts. Totalt har 22 miljoner liter (22 000 m<sup>3</sup>) vatten behandlats under perioden. Utgående vatten har aldrig överstigit

halterna för Australiens riktlinjer för dricksvatten. Ett års drift har totalt endast genererat ca 40 liter av "ren" PFAS efter att tre-stegs-fraktionering utförts. Provtagning av inkommande och utgående vatten har skett veckovis och utförs både av OPEC själva för intern kvalitetssäkring, men också av WSP Australia på uppdrag av den australiensiska Försvarsmakten. Sammanställningen av de oberoende resultaten utförs löpande för 32 PFAS som analyseras i projektet. Dock har en mer noggrann sammanställning utförts på begäran av Envytech för de PFAS som ingår i PFAS 11, detta då det i dagsläget är dessa ämnen som styr våra riktvärden i Sverige. Effekten av SAFF-systemet ser ut enligt följande efter ett års drift och 22 000 m<sup>3</sup> behandlat vatten (se tabell 1).

## KAPACITET

Kapaciteten för en 40-fots anläggning med möjlighet till tre fraktioneringssteg och intern lagring av hyperkoncentrat beror på vilka PFAS man vill rena. Detta då olika PFAS-ämnen kräver olika cykeltider. Vid behov av att minimera samtliga PFAS så långt som effektivt möjligt, erbjuder systemet en kapacitet av 240 m<sup>3</sup>/dag. I det fall man endast behöver rena PFAS med längre kolkedjor (C6 och längre) erhålls en kapacitet av ca 700 m<sup>3</sup>/dag.

## PRISBILD

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

- Etablering
- Förbehandlingssystem
- Behandlingssystem
- Efterbehandlingssystem
- 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. I det aktuella projektet ser vi att inkoppling driftsättning kan ta en vecka, och total kostnad uppskattas därmed till ca 100 000 SEK.

### Förbehandlingssystem

Då SAFF är en oerhört robust teknik som drar fördel av PFAS starka bindningsförmåga till luft behövs i teorin ingen förbehandling, men för att minimera behovet av rengöring under driften föreslås att en lamellavskiljare används. 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 m<sup>3</sup>/h kostar via Envytech ca 500 kr per kalenderdag att hyra.

# SAFF – Surface Active Foam Fractionation

## Behandlingsystem

I det aktuella projektet antas vattnet ha en PFAS-signatur som övervägande omfattar PFAS-ämnen med långa kolkedjor (C6 och längre). I detta fall antas inga efterbehandlingssystem behövas, men finns behov av att efter utförd SAFF-behandling ytterligare sänka halterna av ämnen med korta kedjor, kan kompletterande reningssteg anslutas. Envytech är stolta över att vara exklusiva återförsäljare för OPEC systems i Skandinavien. Vi har tillsammans med OPEC tagit fram ett listpris för hyra av en 40-fots-anläggning med kapacitet att behandla mellan 240 – 700 m<sup>3</sup> per dag. Priset är satt till 10 000 kr/kalenderdag.

## Efterbehandlingssystem

I det fall aktuellt vatten omfattar PFAS-ämnen med kortare kolkedjor eller andra föroreningar som behöver avlägsnas, kan kompletterande system kopplas på. För PFAS är olika typer av jonbytarmassor de mest kostnadseffektiva alternativet i det fall projektet skall pågå under en längre tid eller behandla stora mängder vatten. För mindre projekt är kol oftast den mest kostnadseffektiva lösningen. Båda materialen placeras i trycksatta filterbehållare. Det skall dock påpekas att vid användning av både kolfilter och jonbytarmassor så behövs även ytterligare förbehandlings av vattnet utföras innan det når dessa filter. Dessa behandlingar kan t.ex. omfatta tillsats av fällnings- och flockningskemikalier, pH-justering samt sandfilter. Detta för att minimera mängderna suspenderat material som når filtermassorna, då detta reducerar både kapacitet och livslängd på dessa förhållandevis kostsamma material. Kostnaden för dessa system är svåra att beskriva generellt och behöver designas och prissättas specifikt för varje projekt.

## Drift- och Servicekostnader

En annan viktig kostnad att ta med i beräkningarna vid jämförande av olika behandlingstekniker är driftkostnader samt behov av servicearbeten. För att kunna redovisa driftkostnader för systemet har vi har mot bakgrund av de driftdata som finns för SAFF, tagit fram följande tabell där kostnaderna per behandlad kubik redovisas med avseende på elanvändning. 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. Mot bakgrund av detta ingår servicebesök

i hyrpriset, i det fall service inte behövs mot bakgrund av platsspecifika händelser som Envytech ej kunnat förutse eller råda över, som påverkar reningsystemet. 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. På medelförorenade vatten erhålls mellan ca 30–300 liter per månad. Då avfallet omfattar mycket höga halter av PFAS är förbränning den enda möjliga slutomhändertagningen. Kostnaden för avfallet uppgår därmed till priset för termisk destruktion av aktuell mängd PFAS-hyperkoncentrat. Utöver tillkommer kostnader för slamhantering för förbehandlings samt destruktion av eventuella filtermaterial vid efterbehandling.

## Avetablering

Vid avetablering rengörs systemet med sugbil på plats. Kostnaden för rengöring omfattar uppskattningsvis ca 20 000 kr i arbetskostnader för tekniker, ca 20 000 kr för sugbil och rengöringsavfall samt transportkostnader på ca 50 000 kr.

Ämne	Uppskattad SFF-cykeltid (inkl. 10 min för fyllning och tömning)	Kapacitet 40-fots SAFF-container (m <sup>3</sup> /dag)	Elektricitetsanvändning, kWh/m <sup>3</sup> behandlat vatten	Beräknad kostnad för el/m <sup>3</sup> behandlat vatten (1,40 SEK/kWh)
PFPrS	60 min	240	2,00	2,80
PFBA	60 min	240	2,00	2,80
PFBS	45 min	320	2,00	2,80
PFPeA	60 min	240	2,00	2,80
PFPeS	45 min	320	2,00	2,80
PFHxA	60 min	240	2,00	2,80
PFHxS	25 min	576	2,00	2,80
PFHpA	30 min	480	2,00	2,80
PFOA	15 min	960	2,00	2,80
PFOS	15 min	960	2,00	2,80
PFOSA	25 min	576	2,00	2,80
PFNA	25 min	576	2,00	2,80
PFDA	20 min	720	2,00	2,80
6:2 FTS	20 min	720	2,00	2,80
8:2 FTS	15 min	960	1,00	1,40

Tabell 2: Beräknade driftkostnader för en 40-fots reningsanläggning med avseende på elförbrukning.