

Beregnet til
Veidekke industri

Dokument type
Rapport

Dato
April 2022

FÖRSTUDIE RENSELØSNINGER FOR SIGEVANN VED OTTERSBO DEPONI



FÖRSTUDIE RENSELØSNINGER FOR SIGEVANN VED OTTERSBO DEPONI

Oppdragsnavn **Förstudie Renseløsninger for sigevann ved Ottersbo deponi**
Prosjekt nr **1350041467-005**
Mottaker **Veidekke industri**
Dokument type **Rapport**
Versjon **Granskningshandling**
Dato **2022-04-08**
Utført av **Erica Johnsson**
Kontrollert av **Dora Olsheimer, Magnus Kile Andersen**
Godkjent av **Gunhild Flaamo**
Beskrivelse **Rapporten inneholder ulike renseløsninger som er passende for sigevannet ved Ottersbo deponi**

Ramboll
Lokgatan 8
211 20 Malmö

T +46 (0)10 615 60 00
<https://se.ramboll.com>

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1.	Inledning	4
1.1	Bakgrund och syfte	4
1.2	Uppdragets omfattning	4
2.	Förutsättningar	5
2.1	Beskrivning av området/deponin	5
2.2	Lakvatten	7
2.3	Provtagning av lakvatten	7
2.4	Dimensionerande förutsättningar för framtida reningsanläggning	7
2.4.1	Dimensionerande flöde till reningsanläggningen	7
2.4.2	Dimensionerande koncentrationer	8
2.4.3	Dimensionerande utsläppsvärde	10
3.	Reningstekniker för lakvatten	11
3.1	Partikelavskiljning	11
3.1.1	Sedimentering	11
3.1.2	Sandfilter	11
3.2	Metallavskiljning	12
3.2.1	Kemisk fällning	12
3.2.2	Katjonbytare	12
3.3	Avskiljning av organiska miljögifter	13
3.3.1	Kolfilter	13
3.3.2	Jonbyte	13
3.3.3	SAFF Foam fractioning	14
3.4	Slamhantering	15
3.4.1	Centrifug	15
3.4.2	Skruvpress	15
4.	Erfarenheter från andra anläggningar	16
4.1	Fläskebo, Göteborg	16
4.2	Franzefoss Lia Pukkverk, Bratsberg	16
4.3	Raudsand, Møre/Romsdal	17
4.4	Stormoen, Balsfjord	17
5.	Förslag till processalternativ	19
5.1	Alternativ 1 – Kjemisk felling, sedimentering, sand- och kullfilter	19
5.2	Alternativ 2 – Kjemisk felling, sedimentering, sand- och kullfilter og SAFF	21
5.3	Alternativ 3 – Kjemisk felling, sedimentering, sand- och kullfilter og separat PFAS rensing med kullfilter	24
6.	Översiktlig Kostnadsbedömning	27
6.1	Investeringskostnad	27
6.1.1	Alternativ 1– Kjemisk felling, sedimentering, sand- og kullfilter	28
6.1.2	Alternativ 2 – Kjemisk felling, sedimentering, sand- og kullfilter og SAFF	28
6.1.3	Alternativ 3 – Kjemisk felling, sedimentering, sand- og kullfilter og separat PFAS rensing med kullfilter	29
6.1.4	Sammanfattning investeringskostnad	29
6.2	Översiktlig driftskostnad	30
6.2.1	Alternativ 1 – Kjemisk felling, sedimentering, sand- og kullfilter	30
6.2.2	Alternativ 2 – Kjemisk felling, sedimentering, sand- og kullfilter og SAFF	30
6.2.3	Alternativ 3 – Kjemisk felling, sedimentering, sand- og kullfilter og separat PFAS rensing med kullfilter	32

7.	Diskussion	33
8.	Rekommendation för fortsatt arbete	36
9.	Referenser	37

- PAH – Polysykliske aromatiske hydrokarboner
- PFAS – Per- og poly-fluor-alkyl-stoffer
- PFOA – Perfluorert oktansyre
- PFOS – Perfluoroktan sulfonat
- SAFF – Surface Active Foam Fractionation (skumfraktionering)

1. Inledning

1.1 Bakgrund och syfte

Rambøll har fått i oppdrag å bistå Veidekke industri AS med utredninger tilknyttet Ottersbo deponi. Denne rapport er en förstudie som handler om forvaltning av sigevann på Ottersbo deponi. I denna rapport presenteras olika reningstekniker som kan tillämpas på lakvatten, samt erfarenheter från hur några andra avfallsanläggningar och deponier hanterar sitt lakvatten. Syftet med förstudien är att presentera och jämföra lämpliga processalternativ för hantering av lakvatten i Ottersbo.

1.2 Uppdragets omfattning

Uppdraget avser att föreslå och jämföra tre olika alternativ för rening av lakvatten för Ottersbo deponi.

2. Förutsättningar

2.1 Beskrivning av området/deponin

Veidekke bedriver i dag en virksomhet i form av stenbrytning där bergmassor sprängs, krossas och siktas till olika produkter. Bildningen av deponin kommer att pågå parallellt med stenbrytningen vilket också möjliggör ett cirkulærekonomisk tank där transporter kan nyttjas båda vägar. Det innebär även att terrängförändringar som oppkommit genom stenbrytningen kan återföras till att efterlikna det naturliga landskapet. En oversikt over og steinbruddet ges i Figur 1.



Figur 1 Oversikt av Ottersbo Pukkverk (Google Maps, 2021)

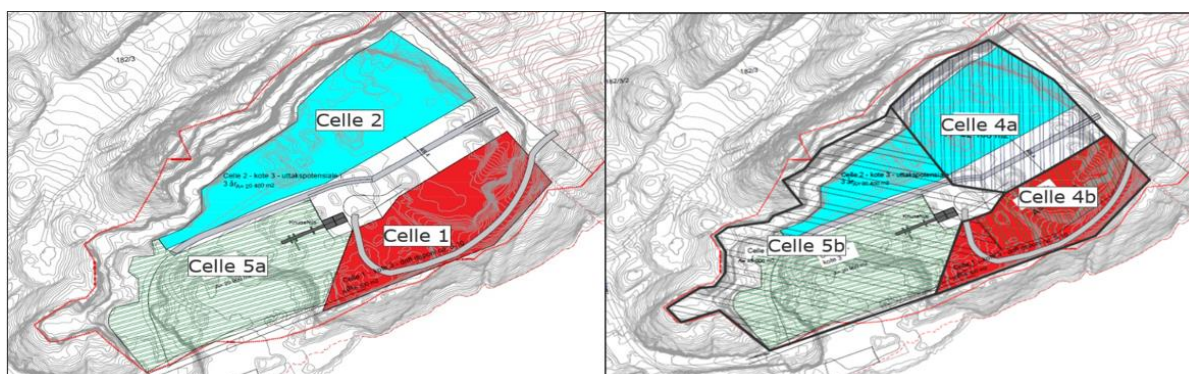
Veidekke uppskattar att deponin ska ta emot 15 000 – 30 000 ton/månad, det vill säga mellan 180 000 – 360 000 ton/år. I Tabell 1 vises de förväntade fraktionerna av avfall som ska deponeras på Ottersbo. Den största fraktionen av deponerat avfall uppskattas komma från avfallsstoffnummer 1603 och 1604.

Tabell 1. Förväntade fraktioner på Ottersbo deponi.

Avfallsstoffnummer	EAL-kode	Type avfall
1603 1604	170504 170506 191302 191304	Middels og lett forurensede masser fra bygg- og anleggsvirksomhet og forurensede gravemasser i urbane og industrielle områder
1604	170504	Skytebanemasser
1604	170508	Ballast
1605, 1606	170506	Sedimenter fra mudringsoperasjoner

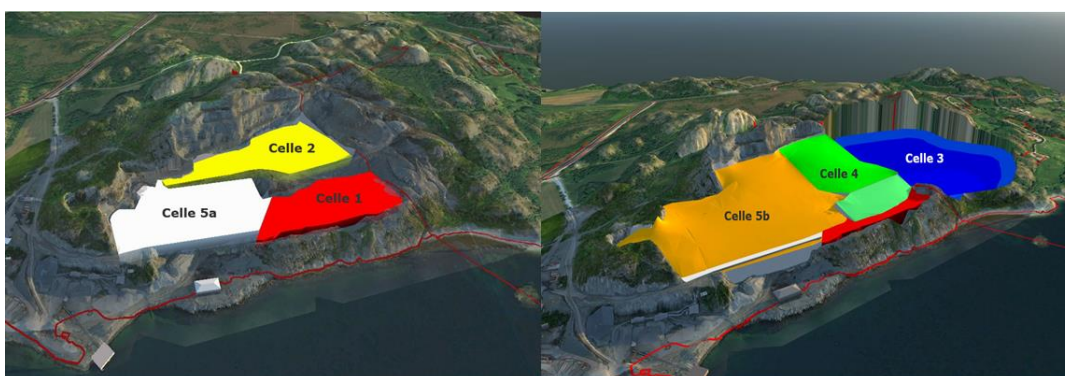
1611, 1614	170904	Betong
1604	170504	Restfraksjon fra behandlet borkaks
1671, 9915	010306	Avgangsmasse fra gruveindustrien
1671	190112	Bunnaske fra avfallsforbrenningsanlegg etter utsortering av metaller
9918, 9915, 9916	190801 190802 190805	Gateoppsop, ristgods, silgods og sandfang- og aktivt kullavfall fra avløpsreanlegg

Fyllningen av deponin ska ske etappvis i fem celler med separat hantering av PFAS-förorenade massor. Då fyllning pågår i cell 1 kommer det samtidigt ske uttag i cell 2. Driftstiden för cell 1 uppskattas till 5–10 år och den potentiella uttagstiden i cell 2 uppskattas till 3 år. De olika cellernas placering och area redovisas i Figur 2.



Figur 2. Utformning av Ottersbo deponi i plan

Cell 4 och 5b kommer uppföras ovanpå cell 1, 2 och 5a då dessa sluttäckts enligt Figur 3.



Figur 3 Ordningsföljd för uppförande av deponiceller

2.2 Lakvatten

Lakvatten är ett vatten som har varit i kontakt med deponerat material och som avleds från en deponi. Lakvatten bildas av regnvatten som rinner ner igenom deponin och de salter, metaller, närsalter och organiska ämnen som finns i avfallet. Grundvatten kan också tränga upp genom marken och bilda lakvatten. Lakvattnets sammansättning speglar avfallsinnehållet i deponin. Varje lakvatten är unikt och har en karaktär beroende av deponerat avfall och deponihydrologiska förhållanden. Eftersom olika nedbrytningsprocesser sker kontinuerligt i deponi kommer den kemiska sammansättningen i lakvattnet variera över tid. Själva mängden lakvatten kommer också att variera över tid då mängden är beroende dels av nederbörd, dels av vilka aktiviteter som sker på deponin.

2.3 Provtagning av lakvatten

Miljødirektoratet (tidigare Statens forurensningstilsyn (SFT)) har gjort en vägledning för provtagning av lakvatten (Snilsberg, o.a., 2005). Lakvattnet ska, iht til veiledningen analyseras kvartalsvis med avseende på vissa tungmetaller, partiklar, näringsämnen och organiska miljögifter. Vart femte år så utökas provtagningsprogrammet med fler organiska miljögifter och andra föroreningar. Då denna vägledning är från tidigt på 00-talet så är det några parametrar som inte analyserades i stor utsträckning då men är mer relevant i dagsläget (ex. PFAS).

Utöver detta ska sigevannsediment analyseras en gång per år bland annat med nästan samma parametrar som lakvattnet.

Veidekke vil foreslå et prøvetakingsprogram i søknad om tillatelse til etablering og drift av deponiet. Endelig prøvetakingsprogram vil fastsettes i tillatelsen fra Statsforvalteren i Trøndelag

2.4 Dimensionerande förutsättningar för framtida reningsanläggning

2.4.1 Dimensionerande flöde till reningsanläggningen

Rambøll har levererat ett notat *K-Not-001 Vannbalanseberegninger* som omfattar avrinningsanalys och vattenbalansberäkningar. Syftet med notatet var att utreda det dimensionerande flödet från deponin till reningsanläggningen. Då deponin inte än är i drift, har inte flöden blivit uppmätta. Och därmed baseras framtagna flöden på nederbörd i området.

För att beräkna medelflödet så användes ekvation 1. Nederbörden (P) beräknas till 1,184 m/år vilket är den sammanlagda årsnederbörden för det värsta året mellan 2011–2021. Areal för cell 2 är 20 000 m² och avdunstningen uppskattas till 0,311 m/år. Detta ger ett flöde på 17 460 m³/år (0,55 l/s).

$$Q = (P - E) * A \quad (1)$$

- Q = Flöde (m³/år)

- P = nederbörd (m/år)

- E = fordampningen (m/år)

- A = areal (m²)

Det maximala flödet förväntas uppstå då andelen exponerad yta är som störst. Detta sker då man täcker en cell samtidigt som en annan cell är öppen för deponering. Den sammanlagda arean för cell 1 och 2 är 36 000 m² vilket ger ett årsmedelflöde om 31 428 m³/år (1 l/s). Enligt beräkningar framtagna i *K-Not-001 Vannbalanseberegninger*, estimeras maxflödet till 35 l/s.

Som beskrivs i dokumenten *Overordnet VA-plan*, kommer dreneringsmasser i fyllningen vid stora nederbörds mängder att fungera som ett magasin. Det innebär att ett jämt flödet in till reningsanläggningen kan hållas, men kräver att inkommande flöde kan justeras med exempelvis flödesmätare, ventiler och dimensionen på ledningarna till reningsanläggningen. Genom att den aktiva deponicellen har en utjämningsfunktion så har i denna rapport varit en förutsättning att dimensionerande maxflöde ($Q_{\max, \text{dim}}$) är lika med dimensionerande flöde till reningsanläggningen (Q_{dim}).

För att skapa en marginal mellan Q_{medel} och Q_{dim} ansätts dimensionerande flöde till 3,6 m³/h (1 l/s), scenario 1. Som nämns ovan sätts $Q_{\max, \text{dim}} = Q_{\text{dim}}$. Dessutom utreds scenario 2 med Q_{dim} på 7,2 m³/h (2 l/s) för att se eventuellt ökad ytbehov vid fördubblad värde på Q_{dim} .

Efter dialog med Veidekke så planeras en specifik PFAS cell som ska etableras i cell 1. Denna del ska motsvara halva arean av cell 1. Arean för cell 1 planeras att vara 16 300 m². Då blir arean av PFAS-cellen 8 150 m². Enligt ekvation 1 ovan så blir flödet från PFAS cellen 7 115 m³/år. Se dimensionerande flöde i Tabell 2.

Tabell 2. Dimensionerande flöde till reningsanläggningen.

Parameter	Enhet	Värde
Q_{medel}	m ³ /h (l/s)	2,0 (0,55)
Q_{dim} scenario 1	m ³ /h (l/s)	3,6 (1,0)
Q_{dim} scenario 2	m ³ /h (l/s)	7,2 (2,0)
Q_{dim} PFAS cell	m ³ /h (l/s)	1,8 (0,5)

För mer detaljerad information kring framtagit medelvärde hänvisas till dokumenten *K-Not-001 Vannbalanseberegninger* och *Overordnet VA-plan*.

2.4.2

Dimensionerande koncentrationer

För att göra en bedömning av förväntade inloppskoncentrationer av olika föroreningar i lakvatten till framtida reningsanläggning på Ottersbo har uppmätta värden från fyra lakvattenanläggningar i drift utvärderats. I tabellen inkluderas AA-EQS värden för kustvatten (se rapporten *Deponi Ottersbo – førkartlegging og beregninger av sigevannutslipp til sjø*) samt BAT-värden för avfallsbehandlingsanläggningar. Deponier inkluderas inte av BAT-slutsatserna. Dessa värden används enbart för jämförelse.

Tabell 3 presenteras ingångsvärden som ligger till grund för bedömningen. I tabellen inkluderas AA-EQS värden för kustvatten (se rapporten *Deponi Ottersbo – førkartlegging og beregninger av sigevannutslipp til sjø*) samt BAT-värden för avfallsbehandlingsanläggningar. Deponier inkluderas inte av BAT-slutsatserna. Dessa värden används enbart för jämförelse.

Tabell 3. Sammanställning av ingångsvärden från referensanläggningar. Grönmarkerade celler är dimensionerande koncentrationer av valda parametrar. AA-EQS – Annual average environmental quality standard, BAT – best available technique

Parameter	Enhet	AA-EQS/PNEC	BAT		Laveste	Høyeste	Gj.snitt	Median
As	ug/l	0,5	10	50	1,7	5,4	3,4	3,2
Pb	ug/l	1,2	50	100	0	11	4,3	3,1
Cd	ug/l	0,02	10	50	0,03	0,7	0,24	0,12
Cr	ug/l	3,4	10	150	4,8	23	10	6,4
Cu	ug/l	7,8	50	150	7,6	86	33	18
Hg	ug/l	0,047	0,5	5	0,05	5	1,3	0,09

Ni	ug/l	4	50	500	4,8	73	26	13
Zn	ug/l	11	100	1000	30	200	99	83
Antimon	ug/l					1,7		
BTEX	ug/l	82			0	11	4,5	3
C5-C35 olje i vann	ug/l	10003	500	10000	0	1590	547	50
PAH	ug/l	0,000174			0	1,75	0,66	0,23
Jern	mg/l				0,79	20	5,72	1,1
Mangan	mg/l				0,2	1	0,59	0,58
Bor	ug/l				490	2325	1408	1408
Klorid	mg/l				201	557	365	352
SS mg/l	mg/l	25	5	60	6,37	76	30	18
TOC	mg/l		10	100	10,21	91	55	60
Tot-N mg/l	mg/l	0,33	105	605	2,73	131	44	21
Ammonium	mg/l	0,05			0,3	111	36	16
Tot-P	mg/l	0,016	15	35	0,03	0,78	0,39	0,38
PFOA	ug/l	9,1			0,04	245	61	0,07
PFOS	ug/l	0,00013			0,06	0,49	0,21	0,15

Dessutom har Ramboll genomfört spridningsberäkningar och levererat en rapport baserat på värdena Tabell 3 i recipienten. I rapporten beräknas utspädningsbehovet för de utvärderade parametrarna. Beräkningarna visar att samtliga metaller och organiska miljögifter (med undantag för PAH och PFOS) har lågt utspädningsbehov (<35 x) om maxvärde antas. Acceptabla koncentrationer för dessa parametrar uppnås inom en radie <2 m från utsläppspunkten. PAH och PFOS har högre utspädningsbehov, (1000x) respektive (4000x) om maxvärde antas. För dessa parametrar är inblandningszonen betydligt större (<<200 meter) vilket föranleder att rening krävs för att acceptabla koncentrationer ska uppnås i recipienten. Även ammonium har ett högre utspädningsbehov (2215 x) om maxvärde antas.

Baserat på utvärderade värden (I tabellen inkluderas AA-EQS värden för kustvatten (se rapporten *Deponi Ottersbo – førkartlegging og beregninger av sigevannutslipp til sjø*) samt BAT-värden för avfallsbehandlingsanläggningar. Deponier inkluderas inte av BAT-slutsatserna. Dessa värden används enbart för jämförelse.

Tabell 3) samt resultatet från spridningberäkningarna så finns ett behov att rena PFOS och PAH. I Norge finns en prioriteringslista på att reducera ämnen som är miljöskadliga. På denna lista finns bland annat arsenik, bly, kadmium, krom och kvicksilver. Sammanvägt ger de dimensionerade koncentrationerna som presenteras i Tabell 4 (grönmarkerade i I tabellen inkluderas AA-EQS värden för kustvatten (se rapporten *Deponi Ottersbo – førkartlegging og beregninger av sigevannutslipp til sjø*) samt BAT-värden för avfallsbehandlingsanläggningar. Deponier inkluderas inte av BAT-slutsatserna. Dessa värden används enbart för jämförelse. Tabell 3 ovan).

Tabell 4. Dimensionerade koncentrationer in till reningsanläggningen.

Parameter	Enhet	Värde
SS	mg/l	30
PFOS	µg/l	0,21
PAH	µg/l	0,66
Arsenik (As)	µg/l	3,4
Bly (Pb)	µg/l	4,3
Kadmium (Cd)	µg/l	0,24
Krom (Cr)	µg/l	10
Kvicksilver (Hg)	µg/l	1,3

Det är viktigt att notera att trots att man planerar att ha en specifik cell för PFAS kontaminerat material så är det sannolikt att massor som deponeras på andra delar av deponin kommer innehålla PFAS-ämnen. Så även lakvattnet från dessa celler kommer innehålla PFAS och andra miljögifter. Det är också viktigt att notera att koncentrationerna av PFAS-ämnen i lakvattnet från PFAS-cellen sannolikt kommer vara högre än det som visas i tabellen ovan eftersom det lakvattnet kommer en cell där det deponeras material med högt innehåll av olika PFAS ämnen. Eftersom erfarenhetsvärden från liknande inte finns väljs det värde som presenteras i tabellen.

2.4.3 Dimensionerande utsläppsvärde

Som mål ska anläggningen klara av att reducera föroreningarna med 50%. Viktigt att notera är att en reduktion på 50% kan vara svårt att uppnå ifall koncentrationer av olika ämnen redan är låga i ingående vatten. Utgångspunkten i denna rapport är därför 50%, men med reservation för om det skulle visa sig att ingående koncentrationer för någon av föroreningarna är låg och att exempelvis 30% reduktion skulle vara tillräcklig för att komma ner till acceptabla koncentrationer med avseende på recipienten.

3. Reningstekniker för lakvatten

Det finns flera olika tekniker för att rena lakvatten. Val av reningsteknik beror på det aktuella lakvattnets sammansättning, vilka utsläppskrav som gäller för anläggningen och utgörs i slutändan oftast av en kombination av flera reningstekniker.

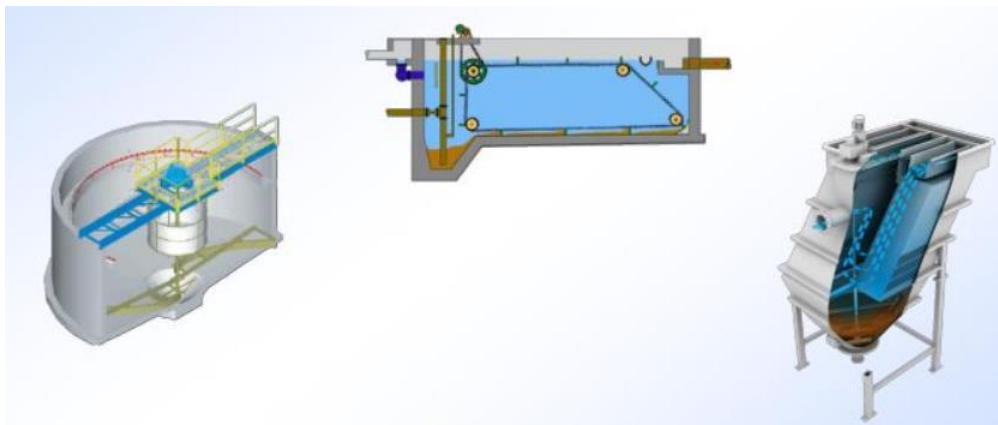
För rening av lakvattnet på Ottersbo är fokus på avskiljning av partiklar, metaller och organiska miljögifter (främst med avseende på PAH och PFOS), se avsnitt 2.4.2. I efterföljande avsnitt presenteras relevanta tekniker för att åstadkomma reduktion av dessa föroreningar. Även tekniker för slamhantering redovisas.

3.1 Partikelavskiljning

3.1.1 Sedimentering

Sedimentering används för att avskilja partiklar med högre densitet än vatten. Sedimentering bygger på att suspenderade partiklar sjunker till botten och på det viset avskiljs från vattenfasen. Sedimentering kan användas i olika steg av reningsprocessen, exempelvis som försedimentering för att minska belastningen på efterföljande reningssteg eller som huvudseparationsprocess för att avlägsna majoriteten av suspenderade ämnen i inkommande vatten. För användning av sedimentering som huvudprocess för reduktion av suspenderade ämnen tillsätts i vanliga fall kemikalier innan sedimenteringen för att uppnå en hög reduktionsgrad. Se vidare i avsnitt 3.2.1 Kemisk fällning.

Det finns flera olika typer och former av sedimenteringsbassänger, exempelvis runda eller rektangulära bassänger, sedimenteringsdammar samt tankar med lameller.



Figur 4. Utformningar på olika sedimenteringslösningar.

Sedimentering är en robust och en mycket väl beprövad teknik som klarar av variationer i både flöde och koncentrationer av föroreningar i vattnet som ska renas. Som tidigare nämnts så kan en sedimenteringslösning utformas på flera olika sätt, vilket gör den till enkelt kan anpassats till reningslösningens förutsättningar.

3.1.2 Sandfilter

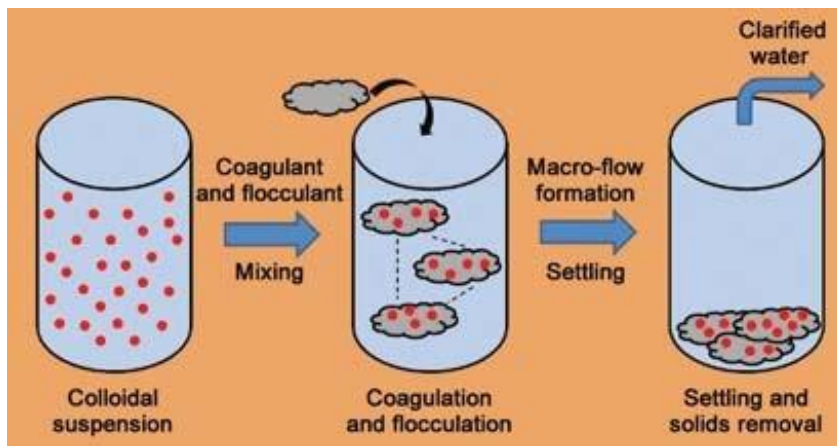
I sandfilter så erhålls en fysikalisk avskiljning av suspenderade ämnen, exempelvis lera, slam och kemflockar. Utöver den fysiska filtreringen så sker en viss adsorption och sedimentering. Sandfiltret är känsligt och kan sättas igen vid höga koncentrationer av suspenderade ämnen. För att filterbädden inte ska sättas igen för snabbt så rekommenderas en förbehandling innan sandfiltret. Förbehandlingen kan vara en försedimentering, ibland med tillsats av

fällningskemikalie och/eller polymer. Till slut kommer filtret att sättas igen, och då krävs en backspolning av filtret. Spolvattnet behöver därefter renas. Sandfilter är, som sedimentering, en mycket välbeprövad teknik och används på många reningsanläggningar för olika typer av vatten.

3.2 Metallavskiljning

3.2.1 Kemisk fällning

Kemisk fällning används främst för att fälla ut lösta metaller i lakvattnet. Dessutom så kan förbehandling med kemisk fällning minska risken för utfällning i efterföljande processteg. Vanligtvis används natrium- och kalciumhydroxid för att fälla ut metaller. Det kan krävas en justering av pH-värdet för att metaller ska fällas ut. Om det är flera metaller som ska avskiljas, där metallhydroxiderna har olika löslighetsminimum, kan det krävas flera fällningssteg. En god inblandning av fällningskemikalie (snabb omrörning/turbulens) och tillräcklig tid för flockning (långsam omrörning) är viktiga parametrar för en effektiv kemisk fällning. För att partiklarna ska bli enklare att avskiljas vid ett senare skede kan polymer tillsättas. Principen för kemisk fällning redovisas i Figur 5.



Figur 5. Principen för kemisk fällning (Wilson, 2014)

I vissa lakvatten är koncentrationen av metaller låga, vilket försvårar utfällningen som hydroxider eller karbonater. Då kan i stället exempelvis natriumsulfid tillsättas, vilket gör att en större andel av metallerna fälls ut.

3.2.2 Katjonbytare

Katjonbytesteknik är ett reversibelt utbyte av joner mellan ett fast ämne, jonbytarmassan, och en elektrolyt. Genom att utnyttja jonernas positiva laddning fångar jonbytaren upp ämnen i jonform från elektrolyten. Dessa joner ersätter de jonerna som redan finns på jonbytaren som i stället går i lösning. Exempelvis så kan positivt laddade metalljoner tas upp av jonbytaren och släppa natriumjoner i lösning. Därmed avskiljs metalljonerna från lösningen.

När jonbytesmassan är mättad så kan den återaktiveras med en koksaltlösning. Dock så förblir en del av jonbytesmassan inaktiv för framtida cykler, och till slut kommer hela jonbytarmassan behöva bytas ut. Under återaktiveringen får man en tvättvattenvolym med höga koncentrationer av metaller, denna volym kommer behövas renas innan utsläpp till recipient kan ske eller skickas på destruktion ex. genom termisk förbränning. Då lakvatten innehåller många olika föroreningar så krävs en välfungerande förbehandling av lakvattnet innan jonbytaren för att förlänga livslängden.

3.3 Avskiljning av organiska miljögifter

Från rapporten *Förkartläggning og beregninger av sigevannsutslipp til sjø* som Rambøll lämnade in i oktober 2021, så identifierades PAH och PFOS som föreningar som kunde påverka recipienten negativt. Därför bedöms det aktuellt att försöka reducera koncentrationerna av dessa ämnen. Under detta avsnitt är stycke 3.3.3 SAFF-processen en reningsteknik som är specifikt avsedd för att avskilja PFAS föroreningar. Aktivt kolfilter har visat sig vara effektivt för att ta bort PAH i bland annat pilotförsök med lakvatten. Även kemisk fällning har visat sig vara effektivt för att ta bort PAH. En av de största fördelarna med aktivt kol är att den också kan reducera en stor mängd olika organiska miljögifter.

3.3.1 Kolfilter

Att aktivt kol har en renande förmåga har länge varit välkänt. Det aktiva kolet har hög specifik yta tack vare små porer och stor porvolym. Den specifika ytan är i regel mellan 500 m²/g till 1500 m²/g, vilket ger en stor yta för adsorption och kemiska reaktioner. Den aktiva ytans absorptionsförmåga är den grundläggande reningseffekten (Johansson, 2010). Vattenlösliga föroreningar adsorberas sämre till aktivt kol, däremot kan en mycket effektiv avskiljning av föroreningar med hög molekylvikt och låg löslighet uppnås.

Reningseffekten för det aktiva kolet avtar i takt med att platserna för adsorption fylls. Kolet behöver därför ersättas när reduktionen har nått en bestämd gräns. Så länge det finns biologiskt nedbrytbara föreningar kommer det även bildas en biofilm på materialets yta. Biofilmen anpassar sig till de tillgängliga föroreningarna och nedbrytningen av dem bidrar till reningseffekten (Baresel, Magner, Magnusson, & Olshammar, 2017).

Aktivt kol kan adsorbera metaller som är organiskt bundna. För tungmetallerna; kadmium, zink och nickel finns en möjlig påverkan. Effektiviteten bör dock bli begränsad då de metallerna hör till de mest rörliga.

Aktivt kol har dokumenterat god effekt på PFAS för både dricksvatten, avloppsvatten och lakvatten. Olika PFAS-ämnen adsorberas till aktivt kol i olika hög grad. Avskiljningen av PFAS-föreningar är även beroende av de specifika PFAS-ämnenas koncentration så väl som koncentrationen av andra organiska ämnen (Baresel, Magner, Magnusson, & Olshammar, 2017). För PFOS uppvisas dock särskilt god avskiljning särskilt vid låga koncentrationer av ämnet. En avskiljningsgrad på >99% har uppnåtts i tidigare studier (Johansson, 2010).

Det finns reningsanläggningar för lakvatten i Sverige som använder sig av adsorptionsteknik med aktivt kol för att åstadkomma reduktion av organiska miljögifter, så som PFOS, i lakvattnet.

3.3.2 Jonbyte

Liksom katjonbytestekniken i 3.2.2, är funktionen för anjonbytare att byta laddade joner från elektrolyten med laddade joner på jonbytarmassan. I detta fall byts negativt laddade joner i elektrolyten med negativt laddade joner som finns laddade på jonbytesmassan. Anjonbytare kan användas för att exempelvis avskilja organiska miljögifter så som PFOS och PFOA. I lakvattnet är det främst de organiska föreningarna som man reducerar med hjälp av en anjonbytare. Då lakvatten innehåller många olika föroreningar så krävs en välfungerande förbehandling av lakvattnet innan jonbytare för att förlänga livslängden. Försök som har gjorts med anjonbytesteknik har visat på en avskiljningsgrad på 95% av PFOS. I Uppsala har pilotförsök gjorts med anjonbytesteknik, där en avskiljningsgrad på 99% har uppnåtts både med färsk anjonmassa samt anjonsmassa som har varit i drift en längre tid.

3.3.3 SAFF Foam fractioning

SAFF-processen är en skumfraktioneringsteknik som använder sig av PFAS-föroreningarnas fysiokemiska tendens för att fästa vid luftbubblor. Genom att tillsätta luftbubblor och låta dem stiga i en smal vattenpelare binds PFAS föroreningarna till bubblorna som tidigare var löst bundna till vattenmolekylerna. Vid ytan kan PFAS avskiljas genom separation via ett "spill över kanten" system, eller genom tillsats av vakuum. Det behandlade vattnet kan sedan släppas till recipient eller renas vidare med kompletterande reningssteg. Det uppsamlade PFAS koncentratet leds vidare till ett andra luftbehandlat fraktioneringssteg för ytterligare koncentration. Den koncentrerade vätskan innehåller höga koncentrationer av PFAS och behöver destrueras via ex. termisk förbränning (Envytech, 2020).

Systemet är enligt leverantören robust, d.v.s. reduktionen av PFAS försämras inte om vattnet innehåller stora mängder suspenderat material eller andra föroreningar. Systemet är inte heller känsligt för förändringar i pH. Därför krävs inte ett förbehandlingssteg för denna reningsteknik (Envytech, 2020). Figur 6 visar en bild på hur en SAFF kolonn ser ut.



Figur 6. SAFF container. Bild från (Envytech, 2020).

Tekniken marknadsförs i Sverige av företaget Envytech. Just nu driftas en fullskalanläggning med SAFF-tekniken på Telge återvinningsanläggning i Södertälje vilket är det första anläggningen av den här typen i Europa. Anläggningen på Telge återvinningsanläggning dimensioneras för ett årsflöde på 100 000 m³. Enligt Envytech är fler anläggningar på ingång även till andra svenska deponier.

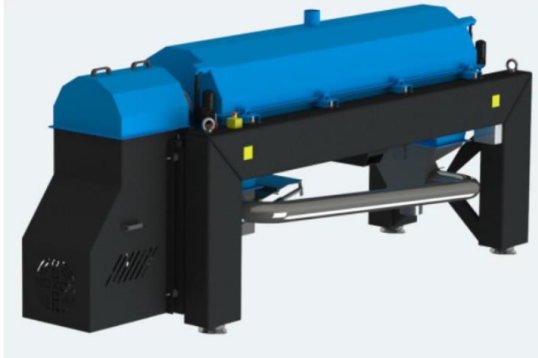
3.4 **Slamhantering**

Slammet som separeras vid de olika reningsstegen behöver bearbetas vidare för att en högre torrsubstanshalten ska kunna erhållas, vilket medför att mängden slam att hantera reduceras. Detta leder i sin tur till färre transporter. Detta resulterar i lägre transportkostnader och mindre utsläpp. I detta avsnitt ges en sammanfattning av olika tekniker för avvattning av slam som anses lämpliga för Ottersbo. Slammet kommer efter avvattning att deponeras på plats.

3.4.1 **Centrifug**

En centrifug består av en cylindrisk trumma som roterar med en hög hastighet och en innerskruv som roterar på samma axel med en annan hastighet. Avskiljningen av suspenderade ämnen sker med hjälp av centrifugalkraften. Centrifugalkraften gör så att de suspenderade ämnena sedimenterar och avlagras på trummans sidor. Slammet matas sedan ut. Det avskilda vattnet, skickas tillbaka till reningsverket för vidare behandling.

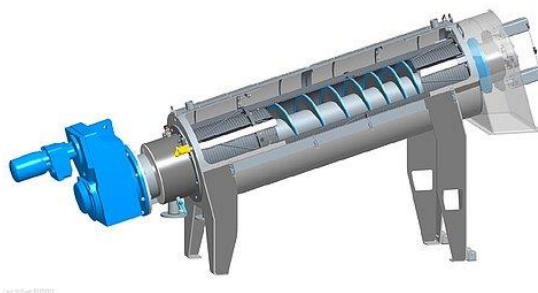
För att uppnå önskad TS-halt i slammet kan det vara nödvändigt att tillsätta polymer. Figur 7 visar en dekantercentrifug som används för att avvattna slam.



Figur 7. Dekantercentrifug från Noxon.

3.4.2 **Skruvpress**

Skruvpress är en kontinuerlig avvattningsprocess som generellt kan drivas med relativt lite tillsyn. Torrhalten på slammet blir dock inte lika hög som exempelvis vid slambehandling med plattpress. Processen kräver tillsats av kemikalier (polymer) för att åstadkomma hög torrhalt i slammet. Figur 8 visar en skruvpress som används för att avvattna slam.

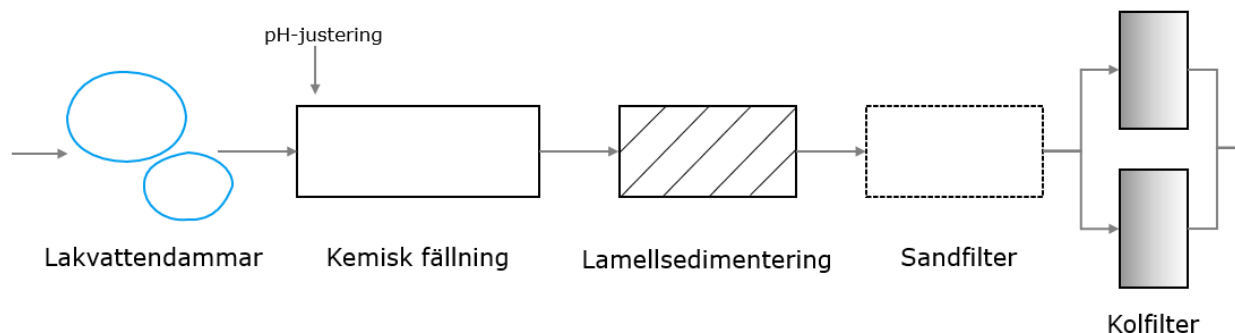


Figur 8. Skruvpress från Huber.

4. Erfarenheter från andra anläggningar

4.1 Fläskebo, Göteborg

Fläskebo deponi startade år 2003 med olika celler för deponering av både icke-farligt avfall samt farligt avfall. I huvudsak deponeras industriavfall och schaktmassor. Organiskt avfall deponeras inte på Fläskebo. 2019 driftsattes en ny reningsprocess för att förbättra marginalen till miljövillkor, öka miljöprestandan, förbättra kapaciteten och öka möjligheten att ta emot flera typer av avfall. Anläggningen har inga begränsningsvärden för PFAS i nuvarande villkor men däremot finns utredningsvillkor för PFAS som innebär att mätningar på lakvatten samt recipient ska genomföras. Reningsprocessen består av fällning, flockning, lamellsedimentering, och aktivt kol-filter. Ett principiellt processschema för lakvattenrening på Fläskebo redovisas i Figur 9 (Collvik, 2020), (Nilsson, 2006).

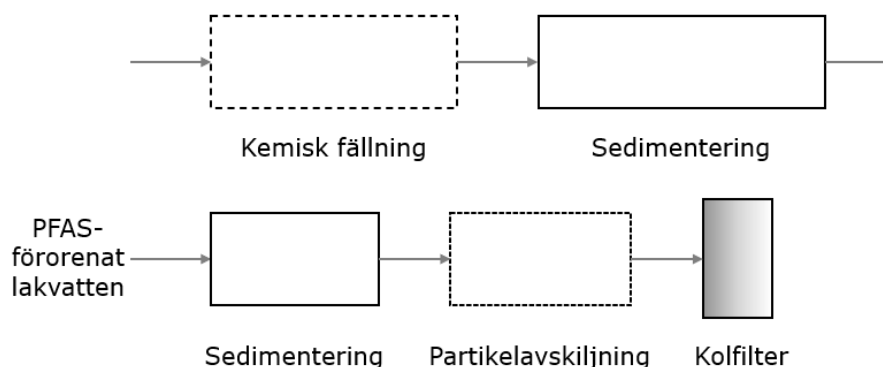


Figur 9 Processchema för Fläskebo lakvattenrening

Rening av PFOS och PFOA i kolfilter har visat goda resultat på Fläskebo. En reduktion på minst 90% har uppnåtts. PFOS och PFOA tillhör båda gruppen långkedjiga PFAS vilket förväntas adsorbera bättre till aktivt kol jämfört med de kortkedjiga PFAS.

4.2 Franzefoss Lia Pukkverk, Bratsberg

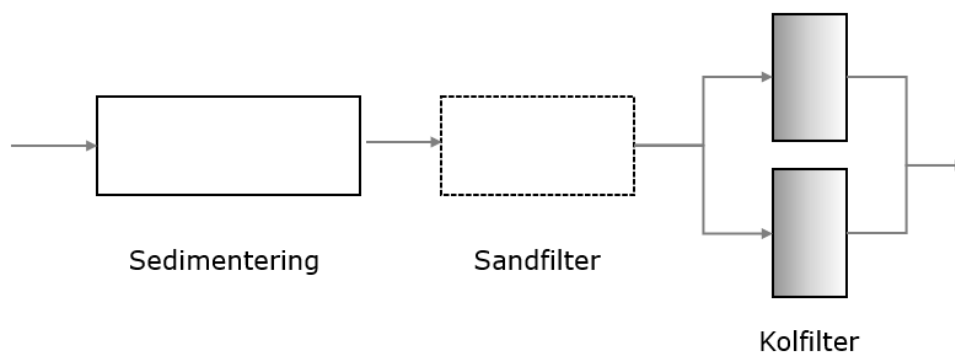
Lia Deponi är belägen i Bratsberg, Norge och tar emot cirka 150 000 ton ordinärt avfall per år samt 40 000 ton PFOA/PFOS-förorenade massor. Rening av lakvatten består främst av sedimentering med möjlighet till kemisk fällning. Deponin har nyligen ansökt om att få ta emot PFOA/PFOS-förorenade massor som då ska hanteras i en separat cell med egen lakvattenhantering. Den förväntade reningsprocessen för detta lakvatten är sedimentering, någon ytterligare typ av partikelavskiljning och slutligen kolfilter. Eventuellt kan lakvattenströmmen sedan anslutas till den ordinära reningen. Ett principiellt processschema för reningen på Lia deponi visas i Figur 10. Ramboll var på besök på Franzefoss på våren 2021.



Figur 10 Processchema för Lia lakvattenrening

4.3 Raudsand, Møre/Romsdal

Raudsand är en framtida deponi som främst planerar att deponera lätt förorenade massor från bygg- och anläggningsverksamhet samt förorenade massor från urbana och industriella områden. Deponin ska även ta emot ballast, sediment, betog, restfraktioner från borrhax samt gruvindustrin, aska från avfallsförbränning efter metallavskiljning samt aktivt kol-avfall från reningsverk. Reningsprocessen för lakvatten i Raudsand ska bestå av sedimentering i en lakvattendamm följt av sandfilter och kolfilter. Ett principiellt processchema för Raudsands lakvattenrening redovisas i Figur 11.

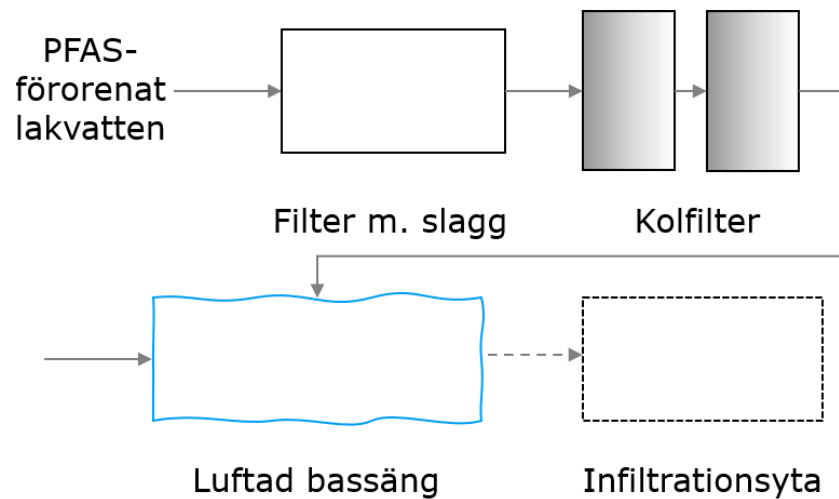


Figur 11 Processchema för Raudsand lakvattenrening

4.4 Stormoen, Balsfjord

Stormoen deponi är belägen i Balsfjord och tar emot deponiavfall och förorenade massor från kommuner, företag och industrier. Deponin har också särskilt tillstånd för mottagning av massor som är förorenade med PFAS samt mottagning och behandling av skjutfältsmassor. Reningsprocessen för lakvatten på Stormoen redovisas i Figur 12 och består av en luftad bassäng samt en infiltrationsyta. Den luftade bassängen främjar biologisk rening. Under vinterhalvåret kan luftningen inte tillföras och därmed blir funktionen främst sedimentation. Uppehållstiden i den luftade bassängen är cirka 2 månader. Den luftade bassängen rengörs regelbundet. Vid högre flöden än vad den luftade bassängen tillåter leds lakvattnet vidare till en infiltrationsyta med en omättad zon på cirka 30 meter. PFAS-förorenat avfall hanteras i en separat cell och genomgår en separat rening innan lakvattnet ansluts till den ordinära reningsprocessen. PFAS-reningen består

av ett filter med slagg följt av kolfilter i serie. Ett principiellt processchema för lakvattenrening på Stormoen redovisas i Figur 12. Enligt erfarenheter från drift av anläggningen har slaggfiltret låg reningsgrad avseende PFAS (9%) om inte slagget byts ut regelbundet och att det mättas relativt fort. Efter rening med kolfilter uppnås genomsnittlig PFAS-koncentration på 191 ng/l (SeaEco, 2021).



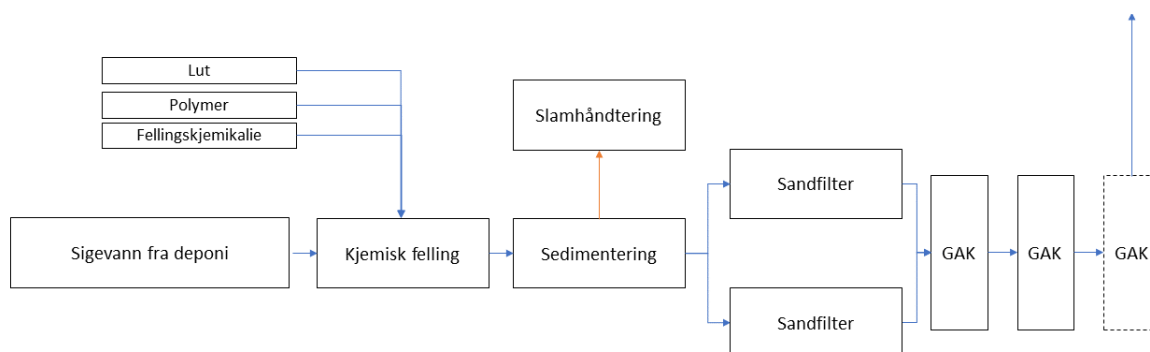
Figur 12 Processchema för Stormoen lakvattenhantering

5. Förslag till processalternativ

Baserat på föroreningarna i lakvattnet samt erfarenhet från andra anläggningar så presenteras tre olika processalternativ. Två av dessa alternativ inkluderar en separat rening för lakvattnet från PFAS-cellen. Miljötillstånd för andra deponier i Norge med separata PFAS celler säger att det ska vara en separat rening för det lakvatten som uppkommer från den cellen.

5.1 Alternativ 1 – Kjemisk felling, sedimentering, sand- og kullfilter

I alternativ 1 består lakvattenreningen av en linje dit allt lakvatten går, det vill säga ingen separat PFAS-rening. Reningslösningen visas principiellt i Figur 13.



Figur 13. Principiellt blockschema alternativ 1.

Lakvattnet pumpas eller leds via självfall från deponicellen till reningsanläggningen med ett konstant flöde. Lakvattnet går till en flockningstank där fällningskemikalie samt polymer tillsätts. Detta kommer producera stabila flockar och effektivisera partikelseparationen. Flockningstanken rekommenderas även förberedas för att en eventuell pH-justering kan göras här för att optimera fällningen. Därefter är så leds vattnet till sedimenteringen, som i den presenterade lösningen består av en lamellsedimentering. Detta reducerar mängden partiklar i lakvattnet samt avskiljer de skapade flockarna. Flockarna och partiklarna sedimenterar och avskiljs och hanteras vidare i slamhanteringen.

Efter sedimenteringen leds lakvattnet vidare till sandfilter för att avskilja mindre partiklar som inte sedimenterade i föregående steg. Sandfiltren är även för att förlänga livslängden på efterföljande kolfilter. Sandfiltren kan antingen vara trycksatta eller som öppna filter, men trycksatta sandfilter innebär generellt en enklare drift och större flexibilitet avseende placering av filtren. Filtersteget föreslås utformas med två parallella trycksatta sandfilter, varav ett kan vara redundanter för ökad driftstabilitet och robusthet samt förenklat underhållsarbete. Sandfiltren backspolas regelbundet.

Från sandfiltren leds lakvattnet vidare till kolfilter i serie (GAK). Kolfiltren reducerar PFAS, metaller till viss del och även PAH och andra organiska miljögifter. Kolfiltren rekommenderas att driftas i serie av två filter i drift och ett som är redundanter och kan kopplas på vid behov när de andra två börjar mättas och inte håller tillräckligt hög reduktionsgrad av organiska miljögifter (främst PFOS och PAH). Det är även möjligt att byta ut filtermassan till exempelvis jonbytarmassa ifall man har identifierat någon förorening i lakvattnet som inte reduceras till en tillräcklig grad.

Redundans med parallella sandfilter och seriekopplade kolfilter medför driftsäkerhet och robusthet och säkerställer kontinuerlig drift under perioder med underhållsarbete i någon av sand- eller kolfiltren. Dessutom ger seriekopplade kolfilter möjligheten att växla ordningen på filtren vilket medför en ökad flexibilitet och bättre utnyttjande av kolet i respektive filter. Kolets gångtid och reningsgrad är svårt att bedöma utan tester med det aktuella lakvattnet. Till filtersteget är kopplad en spolvattenbassäng av volymen 20 m³.

Dimensionerande data för alternativ 1 redovisas i Tabell 5.

Tabell 5. Sammanställning dimensionering för alternativ 1. Scenario 1 motsvarar driftsfallet 1 l/s och scenario 2 motsvarar driftsfallet med 2 l/s.

	Enhet	Värde scenario 1	Värde scenario 2
Flöde	m ³ /h (l/s)	3,6 (1)	7,2 (2)
Flockning			
Antal flockningstankar	st	1	1
Volym per tank	m ³	1,5	2,5
Uppehållstid	min	25	21
Uppskattad årsförbrukning fällningskemikalie	m ³ /år	1 - 2	2 - 3
Uppskattad årsförbrukning polymer	m ³ /år	0,02 - 0,04	0,04 - 0,08
Lamellsedimentering			
Projicerad area	m ² /m ²	3,8	5,9
Total area lamell	m ²	8	40
Ytbelastning	m/h	0,5	0,2
Footprint	m ²	2,1	6,8
Höjd	m	2,5	4,2
Slamproduktion	m ³ /d	~0,3	~0,6
Slamhalt	%	1	1
Volym slammagasin	m ³	10	15
Sandfilter			
Antal filter	st	2	2
Yta per filter	m ²	0,7	1,5
Ytbelastning	m/h	5,1	4,8
Filterbäddhöjd	m	2,5	2,5
Volym spolvattenbassäng	m ³	20	20
Kolfilter			
Antal filter	st	3	3
Uppehållstid per filter	min	29	25
Filterbäddhöjd	m	2,5	2
Filterarea per filter	m ²	0,7	1,5
Volym filterbädd	m ³	2	3
Avvattning			
Skruvpress/centrifug kapacitet	m ³ /h	3 - 8	3 - 8
Slammagasin/container	st	2	2

Samtliga reningssteg i huvudreningen placeras i en ny byggnad. Enligt leverantör så kan reningsstegen också placeras utomhus, dock måste man säkerställa att utrustningen inte fryser

under vintern. Flockningstankar, lamellsedimentering, sandfilter och kolfilter utgörs av fristående enheter som placeras på golvnivå. Utöver processtegen så krävs det ytor för pumpar, rör, spolvatten, returspolvatten, kemikaliehantering, slamhantering, samt el, VVS och eventuellt personalrum, kontrollrum och labb.

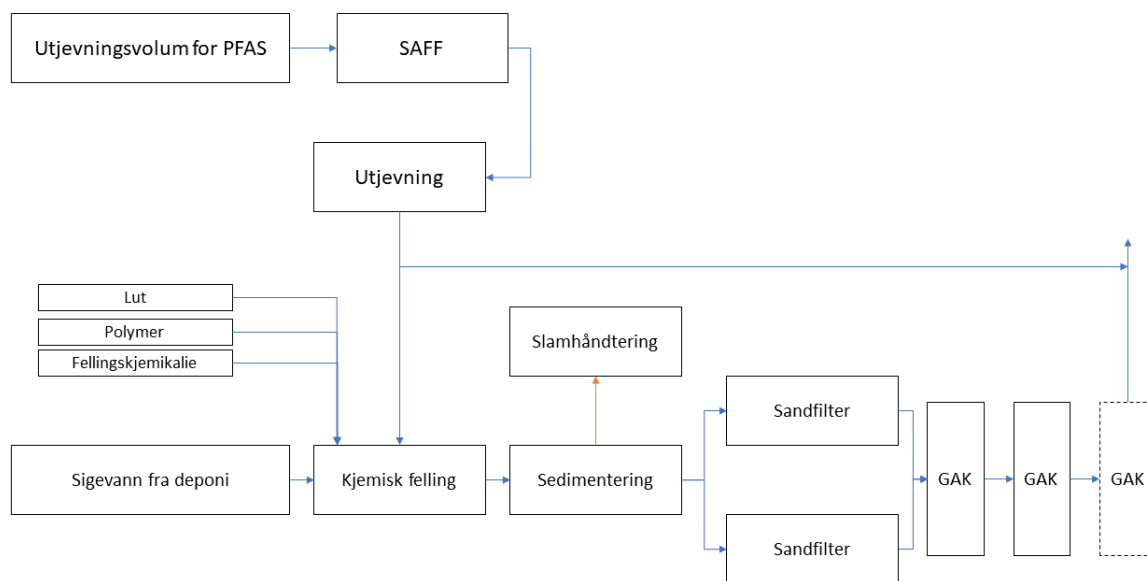
Lösningen för huvudlinjen är kompakt och är yteffektiv. Framtagen lösning baseras på lamellsedimentering, som i jämförelse med konventionell sedimentering är mer kompakt. I samtal med leverantör så uppger dem, att på grund av det låga flödet, så är det deras minsta modeller som är lämpliga för scenario 1 (1 l/s) och en lite större modell för scenario 2 (2 l/s).

Baserat på uppgifter från leverantörer och tidigare projekt så uppskattas ytbehovet för alternativ 1 inklusive process och maskin beskrivit i Tabell x, VVS och El samt kemrum för lagring av kemikalier till **ca 200 m² för** $Q_{dim} = 3,6 \text{ m}^3/\text{h}$ (1 l/s) och $Q_{dim} = 7,2 \text{ m}^3/\text{h}$ (2 l/s). Den ytan är exklusive personalrum, kontrollrum och labb.

Det är möjligt att bygga denna reningslösning i etapper och inleda med enbart kemisk fällning och sedimentering och reservera yta för att anlägga sandfiltren och kolfiltren till nästa etapp. Detta gör det möjligt att ta prover på lakvattnet för att bedöma föroreningarna i lakvattnet och på så sätt dimensionera sand- och kolfiltren efter verkliga data.

5.2 Alternativ 2 – Kjemisk felling, sedimentering, sand- og kullfilter og SAFF

Huvudreningen för lakvattnet är samma som alternativ 1, se utförlig processbeskrivning i 5.1. Till skillnad från alternativ 1 har i alternativ 2 lagts till ett steg med SAFF tekniken för separat PFAS rening av lakvattnet från PFAS cellen (Figur 14). Det bör nämnas att även om PFAS massor kommer att deponeras i en separat cell, så kommer sannolikt även lakvattnet från övriga celler i deponin att innehålla PFAS. Det leder till att även om lakvatten från PFAS-cellen renas specifikt med SAFF, så bedöms att huvudreningen ändå behöver ha kolfilter för rening av PFAS samt andra organiska miljögifter (så som PAH) i övrigt lakvatten.



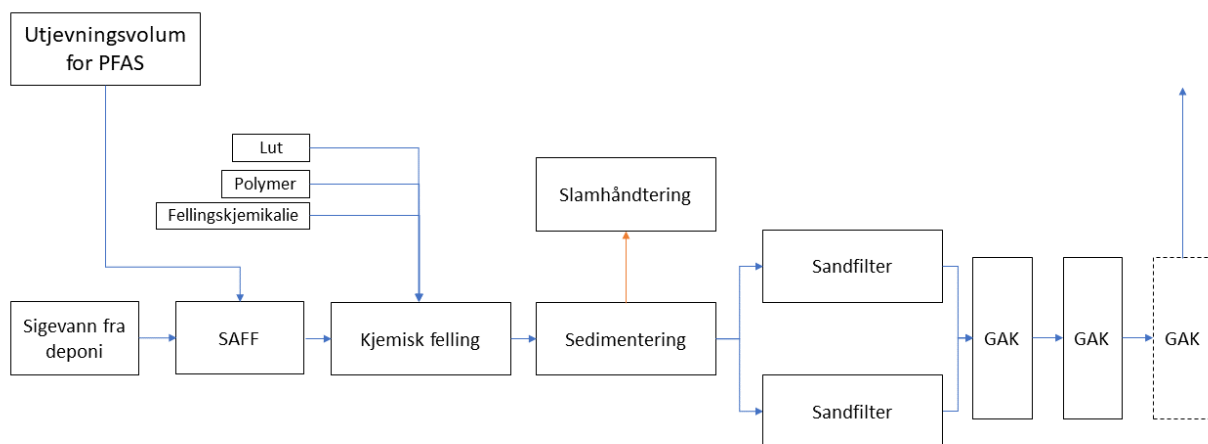
Figur 14. Blockschema alternativ 2 med separat rening av lakvatten från PFAS cellen.

Beskrivning av rening i huvudlinjen följer samma resonemang som beskrivit för alternativ 1 och därför redogörs enbart för den tillkommande PFAS reningen med SAFF i detta stycke.

Lakvatten från PFAS-cellen leds till en utjämningsvolym där provtagning kan tas på lakvattnet från PFAS-cellen. Antingen batchvis eller kontinuerligt så körs lakvattnet igenom SAFF-kolonnerna och där PFAS reduceras genom att det koncentreras upp i skumfasen och avskiljs succesivt. Det skum som avskiljs lagras och skickas sedan på destruktion.

Efter SAFF så går den reade lakvattnet vidare till en uppsamlingstank, där provtagning sker. Därefter så tillsätts lakvattnet kontinuerligt till flockningstanken i huvudledningen för vidare behandling. Ifall metallinnehållet samt innehållet av andra organiska miljögifter är lågt och inte bedöms att påverka recipienten negativt, så kan detta vatten släppas direkt till recipient. Det får utredas vidare när anläggningen är tagen i drift och analyser av utgående vatten från SAFF kan styrka detta.

Efter dialog med leverantör föreslår de att SAFF i stället placeras som ett första steg där både lakvattnet från huvudcellen samt PFAS cellen går (Figur 15). Detta gör att PFAS avskiljs tidigt i processen och sedan att de efterföljande kolfiltren är avsedda för att reducera andra ämnen än PFAS vilket gör att livslängden på kolfiltren förlängs. Det bedöms som helhetslösning vara mest effektivt, men som tidigare nämnts så har deponier med specifika PFAS-celler fått krav på en separat rening för lakvattnet från PFAS-cellen vilket denna lösning då inte uppfyller.



Figur 15. Blockschema för alternativ 2 med SAFF placerad i huvudlinjen.

För alternativ 2 som inkluderar en SAFF-lösning för specifik PFAS rening har en leverantör föreslagit en 20 fot container, där all utrustning installeras i containern. Detaljerad dimensionering av SAFF tekniken görs av leverantörer, vilket gör att vi enbart presenterar behovet av storleken på containerlösningen för SAFF samt volymer för utjämning i Tabell x nedan.

Dimensionerande data för alternativ 2 redovisas i Tabell 6.

Tabell 6. Sammanställning dimensionering för alternativ 2. Scenario 1 motsvarar driftsfallet 1 l/s och scenario 2 motsvarar driftsfallet med 2 l/s.

	Enhet	Värde scenario 1	Värde scenario 2
Flöde	m ³ /h (l/s)	3,6 (1)	7,2 (2)
Flockning			
Antal flockningstankar	st	1	2
Volym per tank	m ³	1,5	2,5
Uppehållstid	min	25	21
Uppskattad årsförbrukning fällningskemikalie	m ³ /år	1 - 2	2 - 3
Uppskattad årsförbrukning polymer	m ³ /år	0,02 - 0,04	0,04 - 0,08
Lamelledimentering			
Projicerad area	m ² /m ²	3,8	5,9
Total area lamell	m ²	8	40
Ytbelastning	m/h	0,5	0,2
Footprint	m ²	2,1	6,8
Höjd	m	2,5	4,2
Slamproduktion	m ³ /d	~0,3	~0,6
Slamhalt	%	1	1
Volym slammagasin	m ³	10	10
Sandfilter			
Antal filter	st	2	2
Yta per filter	m ²	0,7	1,5
Ytbelastning	m/h	5,1	4,8
Filterbäddhöjd	m	2,5	2,5
Volym spolvattenbassäng	m ³	20	20
Kolfilter			
Antal filter	st	3	3
Uppehållstid per filter	min	29	25
Filterbäddhöjd	m	2,5	2
Filterarea per filter	m ²	0,7	1,5
Volym filterbädd	m ³	2	3
Avvattning			
Skruvpress/centrifug kapacitet	m ³ /h	3 - 8	3 - 8
Slammagasin/container	st	2	2
SAFF container	ft	20	20
Utjämning före och efter om spec. rening PFAS-cell	m ³	15	15

Utgått från principiellt schema presenterad i Figur 14 med huvudrening samt specifik PFAS rening gäller samma förutsättningar som beskrivit för alternativ 1 för huvudreningen. Samtliga reningssteg i huvudreningen placeras i en ny byggnad. Flockningstankar, lamelledimentering, sandfilter och kolfilter utgörs av fristående enheter som placeras på golvnivå. Utöver processtegen så krävs det ytor för pumpar, rör, spolvatten, returspolvatten, kemikaliehantering, slamhantering, samt el, VVS och eventuellt personalrum, kontrollrum och labb.

Den specifika reningen från PFAS-eringen med SAFF tekniken placeras i en fristående container utomhus. Även i det alternativ presenterad i Figur 15, där SAFF tekniken integreras i huvudlinjen, placeras SAFF containern utanför byggnaden för resten av reningsanläggningen.

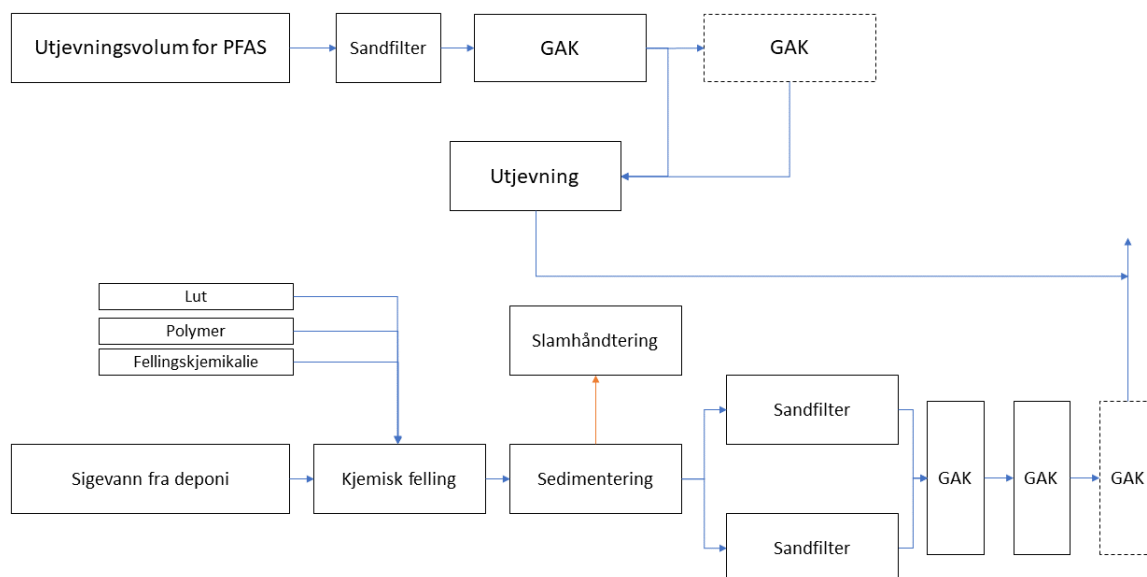
Baserat på uppgifter från leverantörer och tidigare projekt så uppskattas ytbehovet för alternativ 2 (ex. personalrum, kontrollrum och labb men inklusive VVS och El samt kemrum för lagring av kemikalier) till **ca 230 m²** för $Q_{dim} = 3,6 \text{ m}^3/\text{h}$ (1 l/s) och $Q_{dim} = 7,2 \text{ m}^3/\text{h}$ (2 l/s).

Här finns en flexibilitet att bygga denna reningslösning i etapper och inleda med installation av huvudreningen (fällning, sedimentering, sandfiltren och kolfiltren) och därefter, om det krävs, anlägga SAFF i nästa etapp.

5.3 Alternativ 3 – Kjemisk felling, sedimentering, sand- og kullfilter og separat PFAS rensing med kullfilter

Huvudreningen för lakvattnet från är samma som alternativ 1 och 2, se utförlig processbeskrivning i 5.1. I alternativ 3 lagts till ett steg för separat PFAS rening av lakvattnet från PFAS cellen (Figur 16) som baseras på sand- och kolfilter. Det bör nämnas att även om PFAS massor kommer att deponeras i en separat cell, så kommer sannolikt även lakvattnet från övriga celler i deponin att innehålla PFAS. Det leder till att även om lakvatten från PFAS-cellen renas specifikt, så bedöms att huvudreningen ändå behöver ha kolfilter för rening av PFAS samt andra organiska miljögifter (så som PAH) i övrigt lakvatten.

Lakvatten från PFAS-cellen leds till en utjämningsvolym där provtagning kan tas på lakvattnet från PFAS-cellen. Antingen batchvis eller kontinuerligt så pumpas lakvattnet till sandfilter och vidare till en kolonn med aktivt kol. Reningslösningen inkluderar ett till kolfilter som blir redundant och används när kolet behöver bytas i det andra filtret. Efter lakvattnet har gått igenom kolonnen med aktivt kol så leds vattnet till en tank där provtagning kan utföras och sedan pumpas det ut till recipienten. Eventuellt kommer bägge kolfiltren behöva driftas i serie för att åstadkomma tillräcklig reduktion av PFAS (PFOS).



Figur 16. Blockschema för alternativ 3.

Dimensionerade data visas i Tabell 7.

Tabell 7. Sammanställning dimensionering för alternativ 3. Scenario 1 motsvarar driftsfallet 1 l/s och scenario 2 motsvarar driftsfallet med 2 l/s.

	Enhet	Värde scenario 1	Värde scenario 2
Flöde	m ³ /h (l/s)	3,6 (1)	7,2 (2)
Flockning			
Antal flockningstankar	st	1	2
Volym per tank	m ³	1,5	2,5
Uppehållstid	min	25	21
Uppskattad årsförbrukning fällningskemikalie	m ³ /år	1 - 2	2 - 3
Uppskattad årsförbrukning polymer	m ³ /år	0,02 - 0,04	0,04 - 0,08
Lamellsedimentering			
Projicerad area	m ² /m ²	3,8	5,9
Total area lamell	m ²	8	40
Ytbelastning	m/h	0,5	0,2
Footprint	m ²	2,1	6,8
Höjd	m	2,5	4,2
Slamproduktion	m ³ /d	~0,3	~0,6
Slamhalt	%	1	1
Volym slammagasin	m ³	10	10
Sandfilter			
Antal filter	st	2	2
Yta per filter	m ²	0,7	1,5
Ytbelastning	m/h	5,1	4,8
Filterbäddhöjd	m	2,5	2,5
Volym spolvattenbassäng	m ³	20	20
Kolfilter			
Antal filter	st	3	3
Uppehållstid per filter	min	29	25
Filterbäddhöjd	m	2,5	2
Filterarea per filter	m ²	0,7	1,5
Volym filterbädd	m ³	2	3
Avvattning			
Skruvpress/centrifug kapacitet	m ³ /h	3 - 8	3 - 8
Slammagasin/container	st	2	2
Separat PFAS-rening			
Utjämning före och efter om spec. rening PFAS-cell	m ³	15	15
Sandfilter	st	1	1
Kolfilter	st	2	2
Yta per filter	m ²	0,7	0,7

Samtliga reningssteg (huvudreningen och den specifika PFAS reningen) placeras i en ny byggnad. Flockningstankar, lamellsedimentering, sandfilter och kolfilter utgörs av fristående enheter som

placeras på golvnivå. Utöver processtegen så krävs det ytor för pumpar, rör, spolvatten, returspolvatten, kemikaliehantering, slamhantering, samt el, VVS och eventuellt personalrum, kontrollrum och labb.

Lösningen för den specifika PFAS reningen innehåller sand- och kolfilter av samma storlek som de för huvudreningen. Detta eftersom det är de minsta modellerna som kontaktade leverantörer har att erbjuda.

Baserat på uppgifter från leverantörer och tidigare projekt så uppskattas ytbehovet för alternativ 3 (ex. personalrum, kontrollrum och labb men inklusive VVS och El samt kemrum för lagring av kemikalier) till **ca 250 m²** för $Q_{dim} = 3,6 \text{ m}^3/\text{h}$ (1 l/s) och $Q_{dim} = 7,2 \text{ m}^3/\text{h}$ (2 l/s).

Här finns en flexibilitet att bygga denna reningslösning i etapper och inleda med installation av huvudreningen (fällning, sedimentering, sandfiltren och kolfiltren) och därefter, om det krävs, anlägga rening av lakvatten från PFAS cellen nästa etapp. Dock behöver man då ha i åtanke att byggnaden byggs tillräckligt stor för att innehålla reserverad yta för den eventuellt tillkommande PFAS rening (sand- och kolfilter samt utjämningstankar).

6. Översiktlig Kostnadsbedömning

Ramboll har tagit fram kostnadsuppgifter från olika leverantörer och tagit referensvärden från tidigare projekt. Antagandet görs att 1 SEK = 1 NOK.

6.1 Investeringskostnad

I utredningen har investeringskostnad tagits fram på översiktlig nivå. Resultatet av denna typ av kostnadsbedömningar innehåller relativt stora osäkerheter. Utöver det kan konjunkturläget i branschen vid tillfället för upphandlingen också påverka prisbilden. En mer detaljerad kostnadsprognos föreslås genomföras i ett senare projektskede. Observera att kostnader för ledningsdragning till reningsanläggningen samt ledningsdragning från anläggningen och ut till recipienten inte inkluderas i framtagna investeringskostnader.

För alternativ 1 och 2 uppskattas kostnaden för bygg (inkluderar markberedning, sprängning, schakt osv.) vara samma. Detta för att SAFF placeras i en fristående container och bedöms inte bidra signifikant till byggkostnaden.

För alternativ 3 så är det en mindre version av huvudreningen som ska etableras för att hantera PFAS strömmen. Då inte alla komponenter är med i PFAS-reningen som för huvudreningen bedöms kostnaderna för bygg, vara 1,25 * kostnaden för bygg i alternativ 1.

Enligt kostnadsuppgifter från leverantörer av maskinell utrustning skiljer investeringskostnaden för maskindelar för kapacitet av 1 l/s och 2 l/s sig marginellt. Det gör att vi väljer att redogöra för en investeringsbedömning per alternativ (1,2 och 3) och inte presentera investeringskostnader för bägge två scenarion (1 l/s respektive 2 l/s) i respektive alternativ.

Följande antagande har gjorts:

- Kostnader för montage och igångkörning motsvarar 35% av kostnaden för maskinkomponenter
- Kostnader för VVS motsvarar 15% av kostnader relaterade till maskinkomponenter, montage och igångkörning samt bygg
- Kostnader för el och styr motsvarar 20% av kostnader relaterade till maskinkomponenter, montage och igångkörning
- Kostnader för maskinkomponenter, montage och igångkörning, bygg, VVS, el och styr utgör entreprenadkostnaden
- Generella kostnader motsvarar 10 % av entreprenadkostnaden
- Projekteringskostnad motsvarar 20 % av entreprenadkostnaden och generella kostnader
- Marginal tillkommer på 25% av projektkostnaden

6.1.1 Alternativ 1 – Kjemisk felling, sedimentering, sand- og kullfilter

Alternativ 1 inkluderar enbart huvudlinjen med lamellsedimentering, sand- och kolfilter. Investeringskostnaden uppskattas bli ca **22,7 – 24,2 miljoner NOK**.

Tabell 8. Total investeringskostnad.

Kostnadspost	Kostnad (miljoner NOK)
Maskin	4,5 – 5
Montage och igångkörning	1,6 – 1,8
Total Maskin	6,1 – 6,8
Bygg	5
VVS	1,7 – 1,8
El och styr	1,2 – 1,4
Entreprenadkostnad	14,0 – 14,9
Generella kostnader	1,4 – 1,5
Projekteringskostnad	2,8 – 3,0
Projektkostnad	18,1 – 19,3
Marginal	4,5 – 4,8
Total investeringskostnad	22,7 – 24,2

6.1.2 Alternativ 2 – Kjemisk felling, sedimentering, sand- og kullfilter og SAFF

Alternativ 2 inkluderar huvudströmmen samt komponenterna i den separata PFAS-reningen med SAFF alternativt att SAFF inkluderas i huvudströmmen. Investeringskostnaden uppskattas bli ca **46,5 – 49,5 miljoner NOK**. Ifall SAFF inkluderas i huvudströmmen så blir investeringskostnaden något billigare, ca **46 – 49 miljoner NOK**.

Tabell 9. Total investeringskostnad.

Kostnadspost	Kostnad (miljoner NOK)
Huvudlinje maskin	4,5 – 5
PFAS-rening	7,8 – 8,3
Montage och igångkörning	4,3 – 4,7
Total Maskin	16,6 – 18,0
Bygg	5
VVS	3,2 – 3,4
El och styr	3,3 – 3,6
Entreprenadkostnad	28,2 – 30
Generella kostnader	2,8 – 3,0
Projekteringskostnad	6,2 – 6,6
Projektkostnad	37,2 – 39,6
Marginal	9,3 – 9,9
Total investeringskostnad	46,5 – 49,5

6.1.3 **Alternativ 3 – Kjemisk felling, sedimentering, sand- og kullfilter og separat PFAS rensing med kullfilter**

Alternativ 3 inkluderar huvudströmmen samt komponenterna i den separata PFAS-reningen med sandfilter och kolfilter. Investeringskostnaden uppskattas bli ca **29,6 – 32,3 miljoner NOK**.

Tabell 10. Total investeringskostnad.

Kostnadspost	Kostnad (miljoner NOK)
Huvudlinje maskin	4,5 – 5
PFAS-rening	1,4 – 1,8
Montage och igångkörning	2,1 – 2,4
Total Maskin	8,0 – 9,2
Bygg	6,3
VVS	2,1 – 2,3
El och styr	1,6 – 1,8
Entreprenadkostnad	17,9 – 19,6
Generella kostnader	1,8 – 2,0
Projekteringskostnad	3,9 – 4,3
Projektkostnad	23,7 – 25,8
Marginal	5,9 – 6,5
Total investeringskostnad	29,6 – 32,3

6.1.4 **Sammanfattning investeringskostnad**

Sammanfattad investeringskostnad för de olika alternativen visas i Tabell 11.

Tabell 11. Sammanfattning investeringskostnad.

Alternativ	Investeringskostnad (miljoner NOK)
1- Kjemisk felling, sedimentering, sand- og kullfilter	22,7 – 24,2
2 – Kjemisk felling, sedimentering, sand- og kullfilter og SAFF	46 – 49,5
3- Kjemisk felling, sedimentering, sand- og kullfilter og separat PFAS rensing med kullfilter	29,6 – 32,3

6.2 Översiktlig driftskostnad

Bedömning av driftkostnader för reningsanläggning motsvarande alternativ 1, alternativ 2 och alternativ 3 har tagits fram. Driftkostnaderna består av energiåtgång, kemikalier (PAX och polymer), förbrukning av filtermaterial (sand- och kolfilter) och slamavyttring. Utöver dessa tillkommer kostnader för personalomkostnader (0,5 – 1 heltidstjänster fördelat på driftingenjör, tekniker och miljö/ processingenjör) samt kostnader för drift av lokalen (uppvärmning, belysning mm).

För bedömning av medeleffektbehovet för en sådan anläggning har erfarenheter från andra projekt utförda av Ramboll använts. Baserad på denna bedömning bedöms medeleffektbehovet till ca 3 kW för pumpning, oavsett beräkning med flöde om 1 l/s eller 2 l/s eftersom dessa flöden är så låga. Med energipris på 1,1 kr/kWh resulterar det i en årlig energikostnad på **ca 30 000 NOK** (1 SEK= 1 NOK).

Driftskostnader avseende kemikalier utgörs av PAX och polymer. För bedömning av kostnad för materialåtgång i filterstegen (sand- och kolfilter) har erfarenhetsvärden från tidigare utförda projekt av Ramboll samt resultat från IVL (Malovanyy, Hedman, Goicoechea Feldtmann, Harding, & Yang, 2021) använts. Baserat på dessa förväntas driftskostnaden för rening av lakvatten i sand- och kolfiltersteg ligga i spannet 6–10 kr/m³ för att uppnå PFOS reduktion om 85%. Eftersom vi i denna utredning utgår ifrån målet att uppnå 50% reduktion har kostnaden justerats till 4–6 kr/m³. Det stora spannet speglar de osäkerheter som finns kring hur länge kolfiltret kan drivas innan filtermaterialet behöver bytas ut mot nytt filtermaterial samt vilka utgående halter av PFOS kommer att tillåtas. Beräkningar av driftskostnad för SAFF baseras på uppgifter från Envytech och sätts till 0,7 kWh/m³ lakvatten.

6.2.1 Alternativ 1 – Kjemisk felling, sedimentering, sand- og kullfilter

Bedömning av driftskostnader för kemikalier samt sand- och kolfilter för alternativ 1 för både flöde om 1 l/s samt 2 l/s presenteras i Tabell 12 nedan.

Tabell 12. Sammanställning av driftskostnad för alternativ 1.

Huvudlinje	Alternativ 1	
	1 l/s	2 l/s
Pumpning (NOK/år)	30 000	30 000
PAX (NOK/år)	17 000	33 000
Polymer (NOK/år)	2 000	4 000
Sand- og kolfilter (NOK/år)	130 000–190 000	260 000 - 380 000
Total alternativ 1 (NOK/år)	180 000–240 000	330 000–450 000

6.2.2 Alternativ 2 – Kjemisk felling, sedimentering, sand- og kullfilter og SAFF

I alternativ 2 tillkommer kostnaden för drift av SAFF anläggningen. Den baseras på uppgifter från Envytech och sätts till 0,7 kWh/m³ lakvatten. För dimensionerande flöde om 1,8 m³/h beräknas driftskostnaden för SAFF till ca **11 000 NOK**. Detta visas i Tabell 13.

Tabell 13. Sammanställning av driftskostnad för alternativ 2 med separat PFAS rening.

Huvudlinje	Alternativ 2	
	1 l/s	2 l/s
Pumpning (NOK/år)	30 000	30 000
PAX (NOK/år)	17 000	33 000
Polymer (NOK/år)	2 000	4 000
Sand- och kolfilter (NOK/år)	130 000–190 000	260 000 - 380 000
Total huvudlinje (NOK/år)	180 000–240 000	330 000–450 000
PFAS cell rening		0,5 l/s
SAFF (NOK/år)		12 000
Total alternativ 2 (NOK/år)	192 000–252 000	342 000–462 000

Ifall SAFF inkluderas i huvudlinjen så kommer mer lakvatten gå igenom vilket resulterar i högre driftskostnader. Detta visas i Tabell 14.

Tabell 14. Sammanställning av driftskostnad för alternativ 2 med SAFF inkluderad i huvudreningen.

Huvudlinje	Alternativ 2	
	1 l/s	2 l/s
SAFF (NOK/år)	24 000	49 000
Pumpning (NOK/år)	30 000	30 000
PAX (NOK/år)	17 000	33 000
Polymer (NOK/år)	2 000	4 000
Sand- och kolfilter (NOK/år)	130 000 - 190 000	260 000 - 380 000
Total huvudlinje (NOK/år)	203 000 - 263 000	376 000 - 496 000

I alternativ 2, med SAFF rening för lakvatten från PFAS cellen, är det möjligt att kolfiltren i huvudlinjen kan driftas under längre tid innan de mättas och behöver bytas eftersom stor del av PFAS ämnena renas i SAFF. Det medför att belastningen på kolfilterna i huvudlinje inte belastas lika hårt och håller under längre tid. Vi har dock i denna kostnadsbedömning inte korrigerat driftskostnaden för sand- och kolfiltren eftersom osäkerheterna är så pass stora.

6.2.3 Alternativ 3 – Kjemisk felling, sedimentering, sand- og kullfilter og separat PFAS rensing med kullfilter

I alternativ 3 tillkommer kostnaden för drift av sand- och kolfilter för rening av lakvattnet från PFAS cellen. Även här har det antagits att driftskostnaden för rening av lakvatten i sand- och kolfiltersteg ligger i spannet 4 – 6 kr/m³ för att åstadkomma 50% reduktion.

För dimensionerande flöde om 1,8 m³/h (0,5 l/s) beräknas driftskostnaden för rening av lakvattnet från PFAS cellen med sand- och kolfilter till **64 000 – 95 000 NOK/år**.

Tabell 15. Sammanställning av driftskostnad för alternativ 3.

	Alternativ 3	
Huvudlinje	1 l/s	2 l/s
Pumpning (NOK/år)	30 000	30 000
PAX (NOK/år)	17 000	33 000
Polymer (NOK/år)	2 000	4 000
Sand- och kolfilter (NOK/år)	130 000-190 000	260 000 - 380 000
Total huvudlinje (NOK/år)	180 000 – 240 000	330 000 – 450 000
PFAS cell rensing	0,5 l/s	
Sand- och kolfilter (NOK/år)	64 000 – 95 000	
Total alternativ 3 (NOK/år)	244 000 – 335 000	394 000 – 545 000

7. Diskussion

Veidekke avser att utforma en reningsanläggning för rening av lakvatten från framtida deponi. Baserad på utvärdering av fyra lakvattenanläggningar i drift har estimerade värden för koncentrationer av olika föroreningar in till framtida reningsanläggning tagits fram. Utifrån dessa har med hjälp av spridningsberäkningar gjorts en bedömning av vilka föroreningar som behöver beaktas med avseende på recipienten. Dessa ger indikation kring vilka föroreningar bör fokuseras på att reducera i framtida lakvattenanläggning och i sin tur påverkar detta val av tekniker som har valts att presentera i denna rapport. Däremot ligger en stor osäkerhet kring koncentrationerna av respektive förorening eftersom dessa enbart är estimerade värden utifrån andra anläggningar och varje lakvatten är som tidigare nämnt unikt. Koncentrationerna av suspenderade ämnen (SS), metaller och organiska miljögifter variera stort beroende på vad som deponeras. Därför är det viktigt att ha framtagna värden (dimensionerande värden i denna rapport) samt mål för utgående halter som något att utgå ifrån, men dessa behöver analyseras vidare när det aktuellt lakvatten kan provtas och därefter kan utgående halter estimeras, med mål om 50% reduktion.

Dimensionerande flöde för framtida lakvattenanläggning har i denna utredning satts till 1 l/s respektive 2 l/s och ligger till grund för beräknat ytbehov och kostnader. Flöden om 1 l/s respektive 2 l/s baseras på att befintlig deponi kan fungera som utjämning vid höga flöden. Detta behöver säkerställas i ett senare projektskede. Om inte deponin kan byggas på det viset och ha en utjämningsfunktion rekommenderas att en utjämningsdamm eller utjämningsbassäng installeras innan reningsanläggningen för att säkerställa att flödena in till reningsanläggningen inte överstiger 2 l/s. Alternativ får anläggningsdelarna göras större eller att fler linjer (exempelvis fler lamellsedimenteringar) anläggs parallellt för att hantera högre flöden.

I denna rapport har tre alternativa systemlösningar tagits fram. Samtliga alternativ innehåller en huvudlinje där lakvattnet behandlas genom kemisk fällning, lamellsedimentering och sand- och kolfilter. Med denna typ av rening förväntas reduktion av suspenderade ämnen, metaller och organiska miljögifter åstadkommas. Dessutom har i alternativ 2 och alternativ 3 tagits fram förslag på tekniska lösningar för rening av lakvattnet från PFAS-cellen i en separat rening innan det vattnet leds till huvudlinjen för vidare behandling.

Ytbehov

Totalt ytbehov för alternativ 1 är ca 200 m², för alternativ 2 ca 230 m² och för alternativ 3 ca 250 m². Baserad på uppgifter från leverantörer av maskinell utrustning skiljer sig ytbehovet enbart marginellt med avseende på dimensionerande flöde om 1 l/s respektive 2 l/s. Modellerna som togs fram av leverantörerna är av mindre modeller för bägge flöden. Exempelvis görs sand- och kolfilterna enbart lite bredare men djupare vid flöden upp till 2 l/s jämfört med 1 l/s. Det bör nämnas att i denna utredning har lamellsedimentering och trycksatta filter används för estimering av ytbehov. Som tidigare nämnts i rapporten finns det andra sedimenteringslösningar än lamellsedimentering. Ifall en konventionell sedimenteringsbassäng skulle användas i stället, skulle det medföra ett högre ytbehov.

Kostnader

Översiktlig investeringsbedömning har gjorts för de tre alternativen. Eftersom investeringskostnaden för maskindelarna var snarlika för 1 l/s respektive 2 l/s redovisas enbart en investering för respektive alternativ 1,2 och 3. Total investering för de olika alternativen beräknas till ca:

- Alternativ 1: 22,7 – 24,2 MNOK

- Alternativ 2: 46 – 49,5 MNOK
- Alternativ 3: 29,6 – 32,3 MNOK.

Avseende driftskostnader vid dimensionerande flöde om 1 l/s uppskattas de för respektive alternativ till ca:

- Alternativ 1: 180 000 – 240 000 NOK/år
- Alternativ 2: 192 000 – 263 000 NOK/år (beroende på var SAFF placeras)
- Alternativ 3: 244 000 – 335 000 NOK/år

Vid dimensionerande flöde om 2 l/s uppskattas de till ca:

- Alternativ 1: 330 000 – 450 000 NOK/år
- Alternativ 2: 342 000 – 496 000 NOK/år (beroende på var SAFF placeras)
- Alternativ 3: 394 000 – 545 000 NOK/år

Det stora spannet i alternativ 3 (sand- och kolfilter för huvudalternativet och reningen av lakvattnet från PFAS-cellen) speglar de osäkerheter som finns kring hur länge kolfiltret kan drivas innan filtermaterialet behöver bytas ut mot nytt filtermaterial samt vilka utgående halter av PFOS kommer att tillåtas.

Flexibilitet

För samtliga alternativ så finns det en möjlighet till etappvis byggnation vilket ger en viss flexibilitet. För alternativ 1 kan en etappvis byggnation vara att inleda med installation av enbart kemisk fällning och sedimentering och reservera yta för att anlägga sandfiltren och kolfiltren till nästa etapp. Detta gör det möjligt att ta prover på lakvattnet för att bedöma föroreningarna i lakvattnet och på så sätt dimensionera sand- och kolfiltren efter verkliga data. Om separat rening av lakvatten från PFAS-cellen kommer att krävas, kan installation av kemisk fällning och sedimentering samt sand- och kolfilter byggas i första etappen, och sen kan installation av SAFF (alternativ 2) eller ytterligare sand- och kolfilter (alternativ 3) kompletteras i ett senare skede.

Reningseffekt

Samtliga systemlösningar som har tagits fram syftar till att reducera partiklar, metaller och organiska miljögifter (med fokus på PFOS och PAH). Alternativ 1, alternativ 2 och alternativ 3 har samma huvudlinje så är reningseffekten för samtliga alternativ bedöms tillräcklig för att åstadkomma reduktion av fokusparametrarna. Alternativ 2–3 har en separat rening för lakvatten från PFAS-cellen. SAFF har visat på en god rening av PFAS-ämnen i pilotförsök och även fullskaleinstallation i Sverige. Aktivt kol har också visat god reduktion av PFOS och är implementerat på reningsanläggningen i Fläskebo. Kolfilter har den fördelen jämfört med exempelvis SAFF, att de kan rena ett stort spann organiska miljögifter medan SAFF tekniken reducerar främst PFAS ämnen för den applikationen. Den nackdel som kolfilter har när man ser på separat rening av lakvatten från PFAS-cellen, är att det krävs förbehandlingssteg före kolfiltren, vilket inte krävs för SAFF tekniken.

Beprövad teknik

Samtliga systemlösningarna som beskrivs har samma huvudlinje som består av kemisk fällning, lamellsedimentering och sand- och kolfilter. Samtliga processteg är beprövade tekniker för behandling av lakvatten. Alternativ 2 innehåller SAFF lösningen, vilket är en relativt obeprövad teknik i Norden. SAFF har testats i pilotskala i Sverige de senaste åren på flera olika anläggningar och har visat upp goda resultat för rening av PFAS-ämnen, speciellt för de långa kedjorna. När det gäller PFAS händer det just nu mycket i den frågan inom lakvattenområdet. Det blir därför svårt att veta vad som i ett längre perspektiv är den bästa lösningen för lakvattenreningen av den

specifika PFAS-cellen på Ottersbo. I nuläget är kolfilter mer beprövad teknik för lakvattenrening, men utifrån driftkostnadsperspektiv är SAFF en lovande teknik.

Drift, underhåll och arbetsmiljö

I samtliga alternativ har huvudlinjen tagits fram med drift- och underhållsarbete i åtanke. Kemisk fällning och lamellsedimentering är tekniker som kräver relativt lite tillsyn och är robusta processer. Filterlinjerna har tagits fram med två parallella sandfilter för att säkra driftsäkerhet och robusthet, samt säkerställa kontinuerlig drift om ett filter är ur drift vid underhållsarbete. Tre seriekopplade kolfilter som driftas med två filter i drift och ett redundant medför en ökad flexibilitet, säkerställer tillräcklig reduktion av PFOS och andra organiska miljögifter samt medför ett bättre utnyttjande av kolet i respektive filter.

8. Rekommendation för fortsatt arbete

- Geotekniska förutsättningar på platsen
- Hydrauliska utredningar. Möjligheter till självfall genom del/eller hela reningsanläggning
- Säkerställa att deponin kan fungera som utjämning eller om en utjämningsbassäng erfordras
- Närmare undersökning av materialen som planeras att deponeras

9. Referenser

- Baresel, C., Magner, J., Magnusson, K., & Olshammar, M. (2017). *Tekniska lösningar för avancerad rening av avloppsvatten. Rapport C235*. Stockholm: IVL, Svenska Miljöinstitutet.
- Collvik, D. (den 09 08 2020). Fläskebo och Tagene. (D. Olsheimer, Intervjuare) Envytech. (den 29 10 2020). *SAFF - Surface Active Foam Fractionation*. Hämtat från Envytech.se: http://envytech.se/wp-content/uploads/sites/2/2020/10/Envytech_PFAS_SAFF.pdf
- Johansson, S. (2010). *Grundvattenrening av Perfluoroktansulfonat (PFOS) med aktivt kol - en pilotstudie för Luftfartsverket*. Göteborg: Institutionen för växt- och miljövetenskaper, Göteborgs Universitet.
- Malovanyy, A., Hedman, F., Goicoechea Feldtmann, M., Harding, M., & Yang, J. (2021). *Rening av PFAS-förorenat vatten från avfallsanläggningar*. Stockholm: IVL - Svenska miljöinstitutet.
- Nilsson, A. (2006). *Optimering av den kemiska reningen vid Fläskebo deponi*. Uppsala: Department of Information Technology, Division of System and Control, Uppsala University.
- SeaEco. (2021). *Overvåkningsresultater Stormoen deponi – trender for sigevann og resipient 2020*. Sea Eco.
- Snilsberg, P., Nordal, O., Amundsen, C. E., Haarstad, K., Hartnik, T., & Mæhlum, T. (2005). *Veileder om overvåking av sigevann fra avfallsdeponier*. Statens forurensningstilsyn.
- Wilson, D. L. (den 17 April 2014). *An Overview of Coagulation-Flocculation Technology*. Hämtat från www.wcponline.com: <https://wcponline.com/2014/04/17/overview-coagulation-flocculation-technology/>