



Rensing av sigevann og forslag til metoder som bør dokumenteres bedre

Desember, 2022



**Senter for
forskningsdrevet
innovasjon**

Rensing av sivevann og forslag til metoder som bør dokumenteres bedre
earthresQue Report no. 6
ISBN: 978-82-575-2981-9
RCN project 310042

Illustration front cover, header and end page: earthresQue
Photo front cover: Trond Mæhlum
Publisher: NMBU – Norwegian University of Life Sciences

earthresQue,
Rescue of earth materials and wastes in the circular economy,
Centre for Research-based Innovation
www.earthresQue.no
www.earthresQue.com

Ved elektronisk overføring kan ikke konfidensialiteten eller autentisiteten av dette dokumentet garanteres. Adressaten bør vurdere denne risikoen og ta fullt ansvar for bruk av dette dokumentet. Dokumentet skal ikke benyttes i utdrag eller til andre formål enn det dokumentet omhandler. Dokumentet må ikke endres uten samtykke fra earthresQue.

Rapportbeskrivelse

Rapporttittel:	Rensing av sigevann og forslag til metoder som bør dokumenteres bedre
earthresQue report no.:	6
ISBN	978-82-575-2981-9
Dato:	2021-12-22
Rev.nr./ Rev.dato:	1 / 2022-12-20
Utarbeidet av:	Trond Mæhlum, NIBIO

FORSKNING



PRIVAT SEKTOR



OFFENTLIG SEKTOR



Forord

Rapporten er utarbeidet som et underlag for å gjøre prioriteringer innen hvilke renseteknologier som bør undersøkes i regi av earthresQue i årene fremover (2021-28). Det er sammenstilt litteratur i løpet av 2021 og 2022 og det er avholdt møter med brukerpartnere som har gitt synspunkter. Rapporten bygger også på innspill gitt i søknadsprosessen til SFI earthresQue.

Det pågår et arbeid i regi av Miljødirektoratet i 2022/23 som utreder hvordan sivevann skal overvåkes og behandles i årene fremover. NIVA, NGI og NIBIO bistår i dette arbeidet gjennom et prosjekt som ferdigstilles våren 2023. Miljømyndighetene og earthresQue har felles målsettinger om redusere utslipp fra deponier ved god sivevannshåndtering og kostnadseffektive renseløsninger. Deler av informasjonen i denne rapporten inngår derfor som underlag i dette arbeidet.

Det er planer om å ansette en PhD- stipendiat og masterstudenter som kan bidra med spesifikke undersøkelser av renseteknologi. Når det etter hvert fremskaffes nye data på renseteknologi vil informasjonen bli sammenstilt og lagt ut på nettsiden til earthresQue som rapporter eller andre publikasjoner.

SFI earthresQue er takknemlig for informasjon om relevant renseteknologi for sivevann og erfaringer som kan være relevant og som ikke er omtalt her.



Rensing av sivevann i våtmarksfilter – Spillhaug i Aurskog Høland kommune

Innhold

1	Deponisigevann.....	4
2	Sigevannsdiskonering	5
3	Rensemeter.....	6
4	Valg av renseteknologi i forhold til resipient	9
5	Rensemeter anbefalt for videre undersøkelser	9
6	Aktiviteter innen sigevannrensing i 2023.....	11
7	Referanser	12
	Vedlegg 1 Utfyllende informasjon om sigevannrensing	14

1 Deponisigevann

Det er strengt regulert hva som kan deponeres og hvor det kan deponeres. Avfall fraktes nå over store avstander for å plasseres på egnet sted. Slik var det ikke når deponering i større skala tok til på 1950-tallet. De fleste kommuner i Norge hadde et eller flere arealer avsatt for deponering av blandet avfall fra husholdninger og næringsvirksomhet. Vanlig norsk deponipraksis var å benytte natur med lav utnyttelsesverdi som kunne egne seg til lagring og endring av terrengformasjoner, slik som

- dødisgroper (grytehull) og nedlagte sandtak i breelavsetninger
- ravinedaler i leirjordsområder
- torv/myrområder i skog
- forsengkninger i fjell

For de eldste deponiene var mulighet for transport av avfallet begrenset slik at deponiene kunne ligge i eller nær bebyggelse. Sigevann dannes av regnvann som infiltrerer deponiet og kommer i kontakt med avfallet. Vannet løser opp organiske og uorganiske stoffer og det foregår mange biokjemiske prosesser i deponiet. Sigevannskvalitet og -produksjon vil også være påvirket av fuktighet, temperatur og reaksjoner som skjer i deponiet. I gamle deponier dannes det også sigevann ved at grunnvann og overflatevann fra arealer utenfor deponiet kommer inn i deponiet.

Sigevann fra deponier inneholder en rekke kjemiske forbindelser som næringsstoff, spesielt ammonium, metaller, organiske forbindelser inkludert miljøgifter, suspendert stoff, foruten andre ioner som natrium, klorid, sulfid, bikarbonat som bidrar til en høy elektrisk ledningsevne (Öman et al. 2000, Amundsen et al. 2005, 2007, Weideborg og Furuseth 2006, Haarstad og Mæhlum 2009, Kjeldsen et al. 2010). Forurenset overvann fra behandlings- og lagringsområder tilknyttet deponi kan også være forurenset på nivå med sigevann og blir derfor ofte regulert som sigevann. Det er ikke uvanlig at disse vannkvalitetene føres sammen.

Noen stoffer er lite oppløselige i vann og festes til partikler som kan fraktes ut av deponiet med sigevannet. Partikulært bundet forurensning er ikke alltid lett å påvise i vann, men påvises i sediment i kummer og dammer nedenfor deponiet. Konsentrasjoner av stoffer og årlig stofftransport varierer med nedbør og deponiets innhold og utforming. Deponiet gjennomgår en omdanning i sitt livsløp som følge av ulike prosesser og gjennomstrømning av vann. Dette påvirker sigevannet, der konsentrasjoner for mange forbindelser er høyest i perioden deponiet var aktivt og siden avtar. Hvor fort konsentrasjoner avtar vil variere mye. For noen forbindelser er det antatt at utslipp kan pågå i flere hundre år etter avslutning. Siden nedbøren som infiltrerer i deponiet vanligvis er viktigste bidrag til sigevannsmengden må renseanlegg for sigevann må være robuste for variasjoner i vannmengder og konsentrasjoner.

Mange deponier ble lagt ned som følge av innføringen av deponidirektivet i 2003, fordi de ikke overholdt kravene som var satt i direktivet. Mange av disse deponiene har ikke sigevannsoppsamling, og vil være diffuse kilder til utslipp av sigevann til miljøet. Avsluttede deponier kan også være deponier som har tatt imot mengden avfall som lå i konsesjonen til deponiet, og derfor er toptettet og avsluttet.

Aktive deponier har høyere konsentrasjoner av en del komponenter enn det som var registrert ut av nedlagte deponier, ifølge siste sammenstilling av nasjonale sigevannsdata (NGI 2013). I hovedsak slippes det ut relativt store mengder med suspendert stoff, organisk materiale (målt som KOF, BOF, TOC), ammonium (NH_4^+) og jern (Fe) fra norske deponier. Videre viser oversikten fra NGI at deponier er opphav til utslipp av en rekke miljøgifter (metaller, olje, PAH, ftalater, bisfenol A), men mengden av miljøgifter som årlig slipper ut av deponier generelt sett er lav. De fleste deponier er mangfoldige i avfallet som tas imot, og deponier vil derfor være en svært heterogen forurensningskilde.

Av miljøgifter som er lite kartlagt og potensielt kan være et miljøproblem i utslipp av sigevann vil vi peke på PFAS forbindelser. Knutsen et al. (2020) gjorde en studie av PFAS (28 enkeltforbindelser) i sigevann fra 10 deponier som primært har tatt imot husholdningsavfall. Resultatene viste at det er relativt stor variasjon i utslippskonsentrasjoner for de ulike deponiene, men generelt slippes det ut mest av kortkjedede PFAS i vann, mens sigevannsedimenter inneholder utelukkende langkjedede PFAS.

2 Sigevannsdiskonering

Sigevannsdiskonering består av oppsamling, utjevning, forbehandling, behandling, etterpolering og sluttdiskonering. Et system for oppsamling av sigevann består dels av en bunntetting som hindrer sigevannslekkasje til underliggende jordmasser og dels av en drenering over tettingen som transporterer bort sigevannet som dannes. Bunntettingen kan bestå av en naturlig tett jord, f.eks. leire, eller et påført tettlag. For mange av de eldre deponiene som ble etablert av avsluttet i perioden 1950 – 1980 er det hverken naturlig eller kunstig bunntetting og ofte mangelfull drenering og kontroll på hvor sigevannet tar veien. Følgende håndteringsalternativer foreligger

- Oppsamling, lokal rensing og utslipp til overflatevann
- Oppsamling, lokal rensing og infiltrasjon til jord og grunnvann

- Oppsamling og påslipp til offentlig avløpsnett og renseanlegg

Lokale rensing med utslipp til nærliggende vannforekomst er den mest utbredte løsningen for sigevannshåndtering i forhold til antall anlegg. Dette omfatter både deponier i etterdriftsfasen og aktive deponier. Resipient omfatter alle typer vannforekomster. Rensekrav varierer en del mellom anlegg ut fra størrelse og geografisk plassering. Rensekrav har vanligvis omfattet reduksjon av jern, organisk stoff, suspendert stoff og til dels ammonium nitrogen og total nitrogen. Krav kan omfatte både utslippkonsentrasjoner og/eller reduksjon i årlig stofftransport.

3 Rensemetoder

Med strengere krav til fjerning av miljøskadelige komponenter i sigevann er det viktig å forstå i hvilken form de foreligger for å kunne velge passende teknologi. Mineralske og organiske forurensninger kan foreligge bundet til partikler (suspendert stoff) eller oppløst i sigevannet. Forurensninger som kan påvirkes av en biologisk behandling er viktig for valg av metode. Forurensning brytes ned til ufarlige stoffer ved hjelp av mikroorganismer i biologiske metoder, mens separasjonsteknikker skiller forurensningene fra vannet for øvrig. Separasjonsteknikker omfatter fysisk/kjemiske metoder. Valg av teknologi eller kombinasjoner av teknologier gjøres fortrinnsvis ut fra avfallet i deponiet og målte utslipp, lokale forhold og krav til rensing.

Informasjonen her er i hovedsak hentet fra tidligere sammenstillinger er litteratur om sigevannsbehandling som Mæhlum og Haarstad (1998), Berg (2005), Naturvårdsverket (2008), Haarstad og Mæhlum (2009), Okkenhaug Arp (2012) og Berg et al. (2017). Nyere internasjonal litteratur med oversikt over aktuell renseteknologi er også vurdert som Cossu og Stegmann (2017).

Kunnskap om behov for rensing av sigevann og aktuelle metoder ble utviklet fra 1970-tallet i Norge. Aktive deponier fikk krav til lokal rensing av sigevann eller overføring av sigevannet til kommunale renseanlegg. Mange av renseanleggene har hatt krav til drift også etter at deponeringen opphørte. Rensekrav har vanligvis omfattet reduksjon av jern, organisk stoff, suspendert stoff og til dels ammonium nitrogen og total nitrogen. Krav kan omfatte både utslippkonsentrasjoner og/eller reduksjon i årlig stofftransport.

Grunnlag for rensekrav er vanligvis tilpasset resipient ved lokale utslipp. I økende grad blir også kommunale ledningsnett betraktet som en resipient der det stilles krav til forbehandling ved påslipp. Over 40 % av sigevannet fra norske deponier behandles sammen med kommunalt avløp på sentrale renseanlegg (Berg et al. 2017). Overføringsledninger kan være kostbare og dessuten er ikke disse renseanleggene designet for å løse de utfordringene som sigevannet bringer med seg (Harr 2021). Det kan forventes at det blir strengere krav til påslipp på ledningsnettet for å bedre kvaliteten på slammet så går til landbruket.

Biologisk behandling er både nasjonalt og internasjonalt den mest utbredte metoden for sigevannsbehandling, på grunn av effekt på miljøskadelige organiske forbindelser og redusert nitrogen (ammonium). I de fleste tilfeller er biologiske metoder også de mest økonomiske metodene. Ikke alle organiske stoffer er biologisk nedbrytbare. Ytterligere kjemisk og/eller

fysisk behandling kan være nødvendig for å oppfylle utslippskrav. Det er også viktig er å ta hensyn til årstidsvariasjoner i sigevannsmengde for å optimalisere renseanleggenes virkningsgrad. Dette vil ofte kreve en form for utjammingsbasseng for å redusere variasjon i hydraulisk belastning og forurensningsbelastning til videre rensing.

Det kan forventes at aktive deponier som har mottatt mineralisk avfall (lav TOC) vil produsere et sigevann med lavere konsentrasjoner av organisk materiale og nitrogen og være mer dominert av uorganiske parametere som metaller, ioner og suspendert stoff. Data tyder likevel på at nivået av organiske miljøgifter og nitrogen være et problem selv om TOC innholdet i avfallet er lavt (NGI 2013).

I Norge benyttes følgende renseløsninger, enten som fullstendig løsning eller forbehandling før påslipp til offentlig avløpsnett:

- Luftet lagune med sedimentering
- Luftet lagune med sedimentering og våtmarksfilter/biodam
- Luftet lagune med sedimentering og infiltrasjon
- Aktivslamanlegg/Sekvensiell batch reaktor (SBR)
- Filtrering i mettet sone (akvifer - uten forbehandling)
- Sedimenteringsdam og våtmarksfilter
- Membranfiltrering/omvendt osmose
- Lufting, kjemisk felling i kombinasjon med lamellseparator
- Kjemisk felling, flokkulering og avvanning med magnetisk partikkelseparasjon

Vedlegg 1 gir en kort beskrivelse av rensemetodene. En utdypende omtale av renseløsninger og rensesprosesser er gitt av Berg et al. (2017).

Sigevann er kjemisk redusert siden det er dannet under oksygenfrie forhold. Ved tilsetning av luft felles jern (og andre metaller) ut, og det etableres seg en bakteriekultur som kan omsette organisk stoff og næringsstoff. Hovedtypene biologisk rensing er en suspendert vekst av bakterier, eller fastsittende bakterier på et medium (biofilm) og kombinasjoner av disse.

Tilførsel av oksygen i form av lufting, som i luftet lagune med relativt lang oppholdstid (lang slamalder), er en utbredt rensemetode for sigevann i Norge og har vært dominerende løsning i flere tiår. Lett nedbrytbart organisk stoff (BOF) brytes ned og slam fjernes via gravitasjon i kummer, bassenger og dammer. KOF er en større utfordring og vanskelig å fjerne effektivt i slike anlegg. Tilsvarende vil nedbrytning av spesifikke organiske miljøskadelige forbindelser avhenge av nedbrytningsgrad og flyktighet. Biologiske rensesprosesser i luftet lagune fungerer bedre ved periodisk tilsetning av fosfor (fosforsyre av type industrikvalitet) siden det vanligvis er lite fosfor, men svært mye nitrogen i sigevann. Luftet lagune og våtmarksrensing har god effekt på PAH, BTEX, olje, men begrenset evne til å rense PFAS-forbindelser.

Aktivt slamanlegg av typen sekvensiell batch reaktor - SBR - er en kompakt rensesprosess med tilførsel av luft hvor deler av det biologiske slammet resirkuleres. SBR med utvidet oppholdstid er en metode som er mye brukt i Storbritannia og Sverige for sigevannrensing. Utvidet oppholdstid gir bedre rensing av forbindelser inkludert miljøgifter som er tungt nedbrytbare. SBR har god rensing av PAH, klorbenzener, ftalater og bisfenol A.

Kjemisk felling er også en metode som har hatt liten utbredelse på sigevann i Norge. En rensemetode som har blitt utviklet og er under utbredelse i Norge de siste 10 årene er kjemisk felling, flokkulering med magnetisk partikkelseparasjon (Tarasz, 2022) og som fjerner mange forbindelser i sigevann.

Andre fysisk-kjemiske Metoder er membranfiltrering, aktivt kull, skimmer, lamellfortykker og sorbenter. Disse metodene er spesielt godt egnet for et sigevann med lavt innhold av organisk stoff og begrensede vannmengder uten store hydrauliske variasjoner. Membranfiltrering gi en god rensing av tungmetaller, olje og BTEX. Sorbenter som aktiv kull (GAC) kan gi høy retensjon av PFAS-forbindelser.

Noen rensemetoder baseres på en separering av forurensinger via membranfiltrering der den rensede fasen (permeat) slippes ut, eller gjenbrukes som prosessvann og konsentratet (retentat) føres tilbake til deponiet via infiltrasjonsbrønner og et fordelingssystem. Deponiet fungerer som en anaerob reaktor. Økt tilførsel av væske til deponiet som fordeles godt kan fremskynde nedbrytningsprosesser og økt biogassproduksjon foruten at stoffer fastlegges i deponiet. Det er imidlertid erfaringer med at returpumping under norske klimaforhold øker stoffkonsentrasjoner og volumer av sigevann over tid og det synes derfor som praksisen har avtatt de senere årene.

Bruk av infiltrasjon i grunnen etter forbehandling har blitt benyttet i over 40 år for sigevann i Norge. Siden mange deponier er plassert på store sand- og grusforekomster som breelavsetninger er slike løsninger i bruk, spesielt på nyere deler av deponiet hvor det med bunntetting er mulig å samle opp sigevann og lede dette til rensing. For å unngå gjentetting på filterflaten er det nødvendig å fjerne partikulært materiale ved sedimentering. Lufting vil også redusere risiko for gjentetting som følge av biologisk vekst. For deponier som er plassert i grunnvannssonen vil det kunne være rensing i mettet sone dersom akviferen har stor utstrekning og egnede løsmasser. Det finnes noe nyere dokumentasjon på akvifer rensing av sigevann i Norge (Abiriga et al. 2021). Vedlegg B har mer informasjon om infiltrasjon av sigevann.

Rensing i våtmarksanlegg er etablert på en del eldre deponier, enten som eneste rensetrinn etter sedimentering for små deponier, eller som etterpolering etter lufting eller sedimentering. Konstruerte våtmarksanlegg vurderes å være et godt aktuelt alternativ for rensning av sigevann i etterdriftsfasen, forutsatt lave stoffkonsentrasjoner og arealer er tilgjengelig. Det oppnås rensing ved nedbrytning, planteopptak og retensjon for suspendert stoff, organiske forbindelser (olje, PAH, BTEX) og tungmetaller. Behovet for ettersyn er svært begrenset. Vanning av energiskog (typisk hurtigvoksende selje og vierarter) på avsluttet deponiflate eller nærliggende areal kan gi en god rensing ved planteopptak, binding og nedbrytning av stoff i rotsonen. Sigevannsmengden reduseres også. Metoden benyttes en del i Sverige og er testet i Norge.

4 Valg av renseteknologi i forhold til resipient

Sigevannsveilederen (SFT 2005) sier ikke noe om farligheten til forbindelsene som anbefales overvåket, og det foreligger ingen miljøkvalitetsstandard for sigevann spesielt. For å vurdere hva som er forsvarlig for det enkelte deponi må utslippsmengden sees i sammenheng med sårbarheten til resipienten som mottar forurensningen. Resipienter kan være overflatevann, grunnvann, offentlig avløpsnett (Harr 2021) og kombinasjoner av disse. Alle disse resipientene kan være sårbare for utslipp fra deponier.

Krav til oppsamling og rensning i de nasjonale krav i Avfallsforskriften og i EU direktivet for avfallsdeponering heter det at sigevann skal «ha en forsvarlig utslippskvalitet, før det kan slippes til resipient». Vannforskriften setter krav til at vannforekomster være i god kjemisk og biologisk tilstand innen en gitt tidsfrist. Definisjonen på god kvalitet er gitt i vannforskriften med veileder. Det er derfor naturlig å bruke vannforskriften som grunnlag for å beregne akseptgrenser. Det innebærer at utenfor en primær innblandingssone må normalt tilstanden Klasse II God (AA-EQS) gjelde (Berg et al. 2017). Siden det er et definert miljømål å stanse utslipp av prioriterte miljøgifter er det også flere hensyn enn kun resipientvurderinger som legges til grunn for valg av tiltak for å redusere utslipp fra deponier. Det pågår et arbeid i regi av Miljødirektoratet i 2022/23 som utreder hvordan Vannforskriftens krav til vannkvalitet benyttes i forhold til å begrense utslipp via sigevann.

5 Rensemetoder anbefalt for videre undersøkelser

I earthresQue er det definert mål om å undersøke metoder som ansees ha et potensiale for rensing av sigevann fra både eldre og aktive deponier/deponiceller. Her inngår både enkle naturbaserte løsninger som kan etableres på eldre nedlagte deponier med ingen eller begrenset tilsyn og mer avanserte løsninger for større aktive deponier. Ofte er det kombinasjoner av metoder som er meste aktuelle for et sigevann på grunn av store endringer hydraulisk og i kjemisk sammensetning. Av renseløsninger som vi har vurdert som spesielt aktuelle for undersøkelser under norske forhold vil vi peke på følgende:

1. En rensemetode som har blitt utviklet i Norge de siste 10 årene er kjemisk felling, flokkulering med magnetisk partikkelseparasjon i regi av MIVANOR. Dette er en metode som er tatt i bruk av flere brukerpartnere i earthresQue. Per dato foreligger det ikke erfaringer ut over det som leverandøren har sammenstilt.
2. Lamellseparator er en enhet som brukes til separasjon av faststoff fra væske. Ved å benytte skråstilte plater (lameller) i en tank øker sedimenteringshastigheten og volumet av sedimenteringsenheten kan reduseres betraktelig. Metoden er anvendt på sigevann i Norge i kombinasjon med andre metoder, men er lite kjent.
3. Sorbenter/filtermateriale som fjerner/holder tilbake miljøgifter. Det kan være spesielt aktuelt som siste rensetrinn før utslipp eller påslipp til ledningsnett.
4. Luftet lagune er en svært utbredt metode. Det foreligger likevel få publiserte data og heller ikke på muligheter med oppgraderinger som effekt av fosfortilsetning for å bedre nedbrytning, bedret hydraulisk funksjonalitet, effekt av intermittert lufting, effekt av

vegetasjonsøyer. Lokale muligheter for avvanning og håndtering av slam fra laguneanlegg bør utredes.

5. SBR med utvidet oppholdstid er en metode som er mye brukt i Storbritannia og Sverige for sigevannsrensing med gode erfaringer. SBR er en mer kompaktbiologisk rensemetode enn luftet lagune og kan gi en mer stabil rensing også vinterstid. Metoden bør utredes nærmere og testes.
6. Rensing i konstruert våtmark er etablert på en del sigevannsanlegg, enten som eneste metode på eldre deponier og som etterpolering etter lufting eller sedimentering. Våtmarksanlegg kan være et aktuelt alternativ for rensning av sigevann i etterdriftsfasen. Det er lite nyere informasjon om effekten tross mer enn 20 års erfaringer i Norge.
7. Infiltrasjon av forbehandlet sigevann og renseeffekt i jord. For å unngå gjentetting er det nødvendig å fjerne partikulært materiale. Lufting vil også redusere risiko for gjentetting som følge av biologisk vekst. Siden mange deponier er plassert på breelavsetning er slike løsninger i bruk, spesielt på nyere deler av deponiet hvor det med bunntetting er mulig å samle opp sigevann og lede dette til rensing. Det finnes noe dokumentasjon på akvifer rensing i Norge (Abriga et al. 2021). Forurenset sigevann kan også pumpes opp og ledes til et rensetrinn i form av lufting og infiltrasjon i umettet sone.

Øvrige forhold som bør undersøkes er topptetting og betydning for sigevannsproduksjon (Hassel og Fagernes 2022), samt hvordan sedimenter og slam fra lokale sigevannsrenseanlegg bør håndteres.

Vi anbefaler at undersøkelser av rensemetoder spesielt tar for seg fjerning av miljøgifter og nitrogen, da det her ofte er mangelfulle data og det er prioritert på nasjonalt nivå (NoU 2010) og forventes å få økt oppmerksomhet i forhold til kommende rensekra. Det er begrenset med norske data for renseteknologiens virkningsgrad på spesifikke grupper av miljøgifter.

Det må være løsninger for å håndtere sediment, slam, filter og retentat fra prosesser som konsentrerer stoffene på et mindre volum. For aktive deponier og deponier som ikke har avsluttet arbeid med topptetting kan slikt materiale ofte håndteres innfor deponiområdet, mens for deponier i etterdriftsfasen er det vår erfaring at det er lite kjent hvor slikt materiale kan leveres.

Nitrogen er et næringsstoff en må forvente å måtte håndtere i hele deponiets levetid. Rensing av nitrogen kan forventes å bli vanligere, blant annet som følge av mistanke om skader på større økosystemer, som for eksempel Oslofjorden. Nitrogen foreligger i stor grad på redusert form som et kation (ammonium) løst i sigevannet. Det er vanligvis ikke krav til nitrogenfjerning fra norske sigevannsrenseanlegg, bortsett fra enkelte anlegg med våtmarksrensing i kombinasjon med lagune hvor det oppnås denitrifikasjon. Noen laguneanlegg på Østlandet har krav til nitrifikasjon og oppnår god fjerning av ammonium i sommerperioden.

Tabell 1 viser hvilke deponier som har tilgjengelige data som kan sammenstilles i 2022/23 og hvor det er aktuelt med nye undersøkelser/testing i regi av earthresQue.

Tabell 1. Aktuelle renseløsninger og lokaliteter aktuelle for undersøkelser i regi av earthresQue hvor det enten foreligger data som kan sammenstilles og/eller nye undersøkelser kan skje.

Teknologi	Lokalitet Deponi og kommune	A. Tilgang til data	B. Ny testing	Oppgaver 2022
Biologisk rensing - kombinasjoner				
Luftet lagune Flytende våtmark, P-tilsats, sedimentering	Bølstad	1995-2022		Sammenstille data
Luftet lagune P-tilsats, sedimentering, våtmarksanlegg	Spillhaug	2000-2022		Sammenstille data
Luftet lagune P-tilsats, sedimentering	Teigen	1998-2022		Sammenstille data
Luftet lagune, sedimentering og infiltrasjon	HRA	2000-2022		Vurdere data
Luftbasseng, kjemisk jernutfelling i konteiner og våtmarksfilter	Trolldalen, Moss	2020-2022	2022-24	Innhente data
Dam/våtmarksanlegg som eneste metode*	Paddetjern, Ski ROAF anlegg?	2005-2022	2023-24	Innhente data
Kjemisk felling og magnetisk separasjon				
MIVAMAG	Oredalen, IRIS Salten?		2022-24	Vurdere data
Filtrering og sorpsjon				
Aktivt kull (GAC) PFAS filter	Oredalen		2021-22	Innhente data
Infiltrasjon i umettet sone**	HRA	2005-2021		Innhente data
Naturlig selvrensing i mettet sone**	HRA, Spillhaug	2000-2021		Innhente data

* Mulig lokaliteter (ikke undersøkt nærmere): 2 ROAF anlegg i Enebakk, Skedsmo

**Mulig lokaliteter (ikke undersøkt nærmere): Stormoen (Perpetum), Buktamoen (Senja avfallsselskap), Bardu avfallsdeponi, VEFAS Alta, nedlagt deponi i Bø, Telemark (Abriga et al. 2021).

6 Aktiviteter innen sigevannsrensing i 2023

Følgende aktiviteter innen sigevannsrensing planlegges for 2023.

1. NIBIO sammenstiller egne erfaringer og overvåkingsdata for luftet lagune og våtmarksrensing og vurderer behov for eventuelle oppfølgende undersøkelser av disse eller liknede renselanlegg, fortrinnsvis i samarbeid med prosjektets brukerpartnere.
2. Igangsatte undersøkelser av sorbenter for PFAS-forbindelser ved bruk av granulert aktivt kull fortsetter.
- 3.
4. Fysisk- kjemiske metoder med oksidering og kjemisk felling/lamellseparasjon og med magnetisk separasjon av partikler igangsettes og dokumenteres i samarbeid med leverandører og brukerpartnere.

Erfaringer med sigevannsrensing presenteres i earthresQue rapporter foruten publikasjoner.

7 Referanser

- Abiriga, D., Jenkins, A., Vestgarden, L.S. og H. Klempe. 2021. A nature-based solution to a landfill-leachate contamination of a confined aquifer. *Sci Rep* **11**, 14896 (2021).
<https://doi.org/10.1038/s41598-021-94041-7>
- Amundsen, C.E., P. Snilsberg, S. Turtumøygard og H. Stubberud. 2005. Sammenstilling av resultater fra screening-analyser av sigevann fra avfallsfyllinger. Jordforsk rapport 107/04 og Statens forurensningstilsyn, TA 2075/2005
- Amundsen, C.E., B. E. Berg, K. Haarstad, T. Mæhlum, P. Snilsberg 2007. Kurs i miljøprøvetaking – grunnvann, overflatevann, sedimenter og løsmasser, Bioforsk rapport Vol 2, Nr 101.
- Berg, B.E. 2005. Lokal rensing av sigevann fra deponi – erfaringsammenstilling, 2005. NRF Rapport, 4/2005.
- Berg, B.E. 2012. Miljøgifter i sigevann. Avfall Norge Rapport 1/2012, ISBN 82-8035-094-2.
- Berg, B.E., J. Jarstad og T. Stabel. 2017. Valg av renseløsning på deponi. Avfall Norge rapport nr 04/2017.
- Cossu, R. og R. Stegmann. 2018. Solid Waste Landfilling. Chap 11. Elsevier.
- Harr, A. 2021. Sigevann fra deponi til kommunale renseanlegg – hva er problemet. Innlegg på Deponiseminaret 2021. Avfall Norge, 28.10.2021.
- Haarstad, K., T. Mæhlum, T. Hartnik, S. Turtumøygard. 2003. Sammensetning av sigevann fra avfallsdeponier for kommunalt avfall i Norge. VANN, 3, 286-300.
- Mæhlum, T. Hartnik, K. Haarstad, T. Källqvist. 2003. Fra produkt til avfall – miljøproblemer ved deponering. Rapportutkast, TA-nummer-1945/2003.
- Haarstad, K. og Mæhlum, T. 2009. Rensing av miljøgifter i sigevann fra avfallsdeponier - resultater fra en screeninganalyse som omfatter fire renseanlegg. VANN 44(2):178-186.
- Haarstad, K. og Mæhlum, T. (2011): Modern Norwegian Leachate (2005-2010) compared to older (1998-2002). Proceedings Sardinia 2011. Thirteenth International Waste Management and Landfill Symposium, S. Margherita di Pula, Cagliari, Italy; 3-7 October 2011.
- Haarstad, K., T. Mæhlum, T. Hartnik, S. Turtumøygard. 2003. Sammensetning av sigevann fra avfallsdeponier for kommunalt avfall i Norge. VANN, 3, 286-300.
- Hassel, M.T. og O.K. Fagenes. 2022. Kartlegging av topptetting. Rapport 4 earthresQue og Avfall Norge. August 2022.
- Knutsen, H., Mæhlum, T., Haarstad, K., Slinde, G.A., Arp, H.P. 2019. Leachate emissions of short- and long-chain perand polyfluoralkyl substances (PFASs) from various Norwegian landfills. *Environmental Science: Processes & Impacts* Volum 21.(11) s. 1970-1979.
<http://dx.doi.org/10.1039/c9em00170k>

- Kjeldsen, P., M. A. Barlaz, A. P. Rooker, A. Baun, A. Ledin, T. H. Christensen. 2010. Present and Long-term composition of MSW Landfill Leachate: A review. *Critical Rev. Env. Sci. Tech.*, 32, 4, 297-336. doi.org/10.1080/10643380290813462
- Mæhlum, T og K. Haarstad. Rensing av sigevann fra kommunalt avfall. *VANN*, 1, s 100.
- Mæhlum, T, Hartnik, K. Haarstad, T. Källqvist. 2003. Fra produkt til avfall – miljøproblemer ved deponering. Rapportutkast, TA-nummer-1945/2003.
- Naturvårdsverket. 2008. Lakvatten från deponier. Fakta 8306. Stockholm.
- NOU 2010. Et Norge uten miljøgifter - hvordan utslipp av miljøgifter som utgjør en trussel mot helse eller miljø kan stanses, Norges offentlige utredninger, 2010:9
- Okkenhaug, G., H. P. Arp. 2012. Miljøgifter i sigevann fra avfallsdeponier i Norge Data for perioden 2006–2010. Vedleggsrapport 1. TA-2976/2012».
- Okkenhaug, G., H. P. Arp. 2012. Miljøgifter i sigevann fra avfallsdeponier. Data for perioden 2006-2010. Renseeffekt for lokale behandlingsanlegg for sigevann. Vedleggsrapport 2. NGI rapport 20110546-00-6-R.
- Statens forurensningstilsyn, 2005. (Snilsberg, PO, Nordal, CE, Amundsen, K, Haarstad, T, Hartnik, Mæhlum, T og Kallquist T.) Rettleiar om overvaking av sigevann frå avfallsdeponi. TA-2077/2005.
- Tarasz, R. 2021. Oversendt underlag om sigevannrensing fra Mivanor.
- Weideborg, M., K. O. Furuseth. 2006. Miljøgifter i sigevann – en gjennomgang av dagens situasjon på deponiene, og anbefalinger ved vurdering av miljøgifter i sigevann. Rapport Hjellnes Cowi/Aquateam.
- Öman, C., M. Malmberg, C. W-Watz. 2000. Utveckling av metoder för karakterisering av lakvatten från avfallsupplag – slutrapport, IVL-rapport B1353, Stockholm.

Vedlegg 1

Utfyllende informasjon om metoder for sigevannsrensing

Nedenfor gis det en beskrivelse av biologiske og fysisk/kjemiske rensemetoder for sigevann. Informasjonen er i hovedsak hentet fra tidligere sammenstillinger er litteratur om sigevannsbehandling som Mæhlum og Haarstad (1998), Berg (2005); Naturvårdsverket (2008), Haarstad og Mæhlum (2009), Okkenhaug Arp (2012) og Berg et al. (2017). Nyere internasjonal litteratur med oversikt over aktuell renseteknologi er også vurdert (Cossu og Stegmann 2017).

Biologiske rensemetoder

- | | |
|--------------------|--|
| Anaerobe reaktorer | Den anaerobe behandlingsprosessen kan foregå i dammer, filtre, råtnetanker og i selve deponiet ved returpumping og baseres på en mikrobiell kultur som omdanner organiske forbindelser til metan, karbondioksid og andre metabolitter. Energibehovet er lite sammenliknet med aerobe løsninger som lufting og aktivslam. |
| Luftet lagune | Luftet lagune er et avgrenset basseng der luft tilføres mekanisk på ulike vis. Vanligst i Norge er overflateluftere som pisker inn oksygen via en propell som samtidig bidrar til omrøring i lagunen. Luftingen kan også skje via diffusorer på bunnen av bassenget. Mikroorganismer bidrar til aerob nedbrytning og det skjer en kjemisk utfelling av metalloksider. Ved lang oppholdstid (>7 d) blir slamalder også lang, noe som bidrar til at det biologiske slammet som dannes også brytes ned slik at total slamproduksjon begrenses. For å øke effekten av biologisk nedbrytning tilsetter laguneanlegg fosforsyre av industrikvalitet for å bedre forhold mellom N og P for mikroorganismer siden det er lite fosfor i sigevann i forhold til nitrogen. Det er vanlig å kombinere luftet lagune med et sedimenteringsenhet (basseng, slamavskiller og konteiner). |
| Aktivslam/
SBR | Aktivslam baseres på prosess der mikroorganismer tilføres luft i en reaktor og det dannes en biomasse som bryter ned forbindelser i sigevannet. Biomassen sedimenterer. Noe av slammet returneres til luftebasseng og resten av slammet går til slambehandling. I Storbritannia er det vanlig med aktivslamanlegg som har utvidet oppholdstid i forhold til avløpsvann slik at mikroorganismer kan tilpasse seg sigevannets spesielle sammensetning og som også gir mindre slamproduksjon. En mer kompakt løsning av aktivslam anlegg er sekvensiell batch reaktor (SBR). Reaktoren driftes over ulike sekvenser der det skjer en hvileperiode hvor bakteriekultur og slam sedimenterer. Deler av slammet tas ut for slambehandling mens noen av slammet benyttes i ny syklus. Metoden er videreutviklet ved at det kan benyttes et flytende bæremateriale av platenheter (ca 10 mm) med stor overflate for vekst av biofilm (moving bed biofilm reaktor - MBBR). Konsentrasjonen av biomasse øker, og volumkravet er mindre enn for et tradisjonelt aktivslamanlegg. Det trengs også her en enhet for sedimentering av slam, noe som gir mulighet for å resirkulere slammet og derved opprettholde en aktiv biomasse. |

Biorotor Dette er en biofilmmetode hvor strukturer med stor overflate er festet til en roterende aksel halvvegs neddykket i sigevannet. Metoden har en viss utbredelse i Europa for sigevann, men det er få erfaringer i Norge. Metoden er robust og krever lite tilsyn.

Fysisk kjemiske metoder

Kjemisk felling Kjemisk felling skjer ved at det sigevannet tilføres fellingskjemikalier som aluminiumsulfat, jernsulfat og jernklorid. De treverdige metallionene destabiliseres negativt ladde kolloider. Det dannes fnokker som feller ut organisk stoff og metaller fra vannfasen. Utfelling av hydroksider bidrar til god koagulering og dannelse av store fnokker. Tilsetting av organiske polymerforbindelser forsterker dannelsen av fnokker. Slammet sedimenterer, og det trengs en slambehandling som kan avvanne slammet før en sluttdisponering.

Membranfiltrering Omvendt osmose (RO) Dette er en fysisk separasjonsteknikk der metodene basere seg på å skille molekyler og ioner ved hjelp av en membran hvor vannpartikler trykkes gjennom, og forurensinger samles opp i et konsentrat (filtrat) som må håndteres i ettertid. Det finnes mange varianter av membraner som mikro-, ultra-, nano- og hyperfiltrering avhengig av hvilke stoff som skal skilles ut fra vannfasen. Hyperfiltrering (omvendt osmose) innebærer å etablere et trykk på oppimot 120 bar langs en membran. For å unngå å overbelaste membranen med suspendert stoff og utjevne hydrauliske belastninger er det vanlig med et utjavningsbasseng i forkant og fjerning av SS. Det er vanligvis to eller flere parallelle enheter i serie. Prosessen innebærer at det dannes et konsentrat (retenat) som må behandles.

Ionebytting Ved metoden byttes uønskede ioner ut ved hjelp av materialer som har ionebytte egenskaper, for eksempel zeolittmembraner. Benyttes mest på drikkevann, men det finnes eksempler der ionebytting renser sigevannspåvirket grunnvann som benyttes til rengjøring på gjenbruksstasjoner.

Luftstripping Forholdet mellom ammonium og ammoniakk kan reguleres med pH endring. Ved å øke pH (typisk i området pH 11) øker mengden av gassen ammoniakk og ved luftinnblåsing er det mulig å drive av ammoniakk gass og samle opp denne ved hjelp av svovelsyre. Produktet ammoniumsulfat er en næringsløsning som kan benyttes av landbruket. Metoden kan være egnet til forbehandling før biologisk behandling for sigevann med spesielt høye konsentrasjoner av NH_4^+ .

Sorpsjon i reaktive filtre Filtermaterialer kan tilpasses en overflate som sorberer forurensninger i sigevannet. Vanligst er å benytte granulert aktivt kull som finnes i mange varianter og har en stor spesifikk overflate med mange bindingssteder. Det er vanlig å kombinere aktivt kull med en biologisk forbehandling slik at innholdet av organisk stoff avtar og risikoen for biologisk vekst på overflater reduseres, noe som vil

forlenge levetiden til materialet. Aktivt kull kan regenereres ved forbrenning, men noen av materialet går da tapt og må erstattes. Sorpsjon ved aktivt kull regner som en aktuell metode for noen miljøproblematisk organiske forbindelser i sigevann om er vanskelige å bryte ned, som f.eks. PFAS.

- Magnetfelling** Løsningen baseres på å etablere fnokker som er magnetiske via tilsetning av jernoksidpulver (magnetitt). Vannfasen transporteres over et magnetisk drev der fnokker dannet i flokkuleringskamre fester seg og oppkonsentreres på drevet for deretter å skrapes av. I tillegg til en kjemisk del og mekanisk slamseparasjon er det vanlig med et utjammingsbasseng som forbehandling. Dette bassenget kan være luftet for å supplere med en biologisk forbehandling. Både fellingskjemikalium og organiske polymere tilsettes
- Skimmer** Enhet som produserer skum i sigevannet og skiller ut skummet og stoff som løses i skum på overflaten. Noen organiske forbindelser i sigevann følger skummet.
- Lamellseparat or/fortykket** Lamellseparator er en enhet som brukes til separasjon av faststoff fra væske. Ved å benytte skråstilte plater (lameller) i en tank øker sedimenteringshastigheten og volumet av sedimenteringsenheten kan reduseres betraktelig.

Naturbaserte metoder

- Våtmarksfilter** Våtmarksfilter kan etableres som et tilplantet filter i et avgrenset basseng eller som et tilplantet grunt basseng. Det benyttes våtmarksplanter som er tilpasset vannmettede forhold og en næringsrik vannkvalitet. Plantene bidrar til renseprosesser ved å tilføre oksygen til sedimentene og spesielt rotsonen, skape en stor overflate for biofilmprosesser, opptak av næringsstoffer i vekstsesongen og de fremmer sedimentering og stabiliserer sedimentet. Det er ikke vanlig å høste vegetasjonen. Våtmarksfilter egner seg best som en metode for etterpolering av andre løsninger, eventuelt som en løsning for eldre deponier med lave stoffkonsentrasjoner. Metoden er arealkrevende og for å oppnå god rensing bør det være en god hydrologisk utforming som utnytter mest mulig av vannvolumet og der det er minimum en ukes oppholdstid.
- Biodam** Fakultative biodammer er en arealkrevende rensemethode med aerob og anaerob nedbrytning i vannmassene, i øverste delen av sedimentene og i tilknytning til plante og dyreliv. Oksygenbehovet i ubehandlet sigevann er vanligvis for høyt til at slike dammer er egnet som tiltak siden det vil utvikles anaerobe forhold i hele dammen. Det er derfor mer vanlig at slike dammer benyttes som en etterpolering etter luftet lagune. På grunn av høyt nitrogeninnhold kan det dannes mye alger i slike dammer. Algene bidrar også til en rensing selv om vannkvaliteten ikke ser bra ut.

- Infiltrasjon og akvifer rensing** En del deponier i Norge er plassert i nedlagte sand- og grustak uten bunntetting. Sigevannet vil her kunne forurense grunnvannet i strømningsretningen. Samtidig vil det i den forurensete «plumen» foregå en rekke biokjemiske prosesser som bryter ned forurensinger og hvor stoff filtreres og holdes tilbake. Om det er mye organisk stoff i sigevannet vil det også kunne skje en frigjøring av metaller fra mineraler i sand og grus, noe som bidrar til økt forurensning av jern og mangan som det også finnes mye av i sigevann. En bedre renseløsning vil være å filtrere sigevannet i umettet sone over grunnvannet der det forekommer store sand- og grusavsetninger. Det vil gi en forbehandling vekslende mellom aerobe og anaerobe forhold og en bedre rensing enn i mettet sone når organisk innhold er lavt. Det kan gjøres ved å pumpe oppsamlet sigevann eller forurenset grunnvann opp til et infiltrasjonsbasseng. På grunn av mye stoffinnhold og jernutfellinger anbefales kun åpne infiltrasjonsbasseng etter sedimentasjon for å hindre gjentetting av filterflate og lette vedlikehold. Det anbefales også å benytte en lufteprosess (for eksempel luftet lagune) i forkant av sedimentering og infiltrasjon for å redusere risiko for gjentetting og forurensning av grunnvann. Effekten av infiltrasjon kan undersøkes med brønner nedstrøms infiltrasjonsanlegget og i forventet område for selvrensing. Det vil ofte være en usikkerhet om det tas ut vannprøver som er representative på grunn av vertikale og horisontale variasjoner i konsentrasjoner i grunnvann som er påvirket av sigevann.
- Sandfilter** I sandfilter fordeles sigevann på en filterflate av sand og grus ved trykkfordeling og sigevannet perkolerer ned gjennom filteret og samles opp i bunn. Det dannes en biofilm på filtermaterialet som bidrar til nedbrytning. Ofte er det rapportert om gjentetting av slike filtre som hadde en viss utbredelse for sigevann i Norge for noen tiår siden. I dag kan det være en egnet metode for etterpolering dersom det er lite slam (spesielt jern) i sigevannet. Det kan også være aktuelt å benytte utsorterte avfallsfraksjoner som filter foruten knuste lettklinker som har en større overflate og er minst like permeabelt som sand og grus.
- Energiskog** Energiskog her vanligvis en enkel oppbygging med oppsamling, mellomlagring, pumping og fordeling på en vegetasjonsdekket overflate. Metoden egner seg best for lave konsentrasjoner siden høyt saltinnhold kan skade vegetasjon. Typisk vegetasjon er hurtigvoksende busker som selje og vier. Ved å anlegge energiskog på avsluttet deponiflate kan en kombinere energiskog med bedre metanoksiderende sjikt i toppdekket siden planterøtter i kombinasjon med mikroorganismer fremmer oksidasjon av deponigasser. Metoden kalles på engelsk *phytocapping* og har fått en økt internasjonal utbredelse de siste årene.

FORSKNING



PRIVAT SEKTOR



OFFENTLIG SEKTOR



The earthresQue centre is a Centre for Research-based Innovation (SFI) funded by the Research Council of Norway. The centre will develop technologies and systems for sustainable handling and treatment of waste and surplus masses.



Senter for
forskningsdrevet
innovasjon

earthresQue