

## Oppfinnelsens område

Oppfinnelsen vedrører en fremgangsmåte for rensingen av fosfor, nitrogen og organisk materiale fra avløpsvann i en kontinuerlig biofilmprosess med sirkulerende bærermedium. Videre vedrører oppfinnelsen en reaktor for anvendelse i utførelse av fremgangsmåten.

## Bakgrunn for oppfinnelsen

Avløpsvann fra husholdninger og industrielt avløpsvann, f.eks. fra matvareindustrien, omfatter organisk materiale og er også rikt på nitrogen- og fosforforbindelser, og dermed er rensing av slikt avløpsvann nødvendig før det rensede vannet kan bli sluppet ut i naturlige resipienter slik som elver, innsjøer og havet.

Biologiske reaktorer blir benyttet for å bryte ned organiske og uorganiske stoffer i avløpsvann fra husholdninger og industri. Kommersielt finnes det to hovedtyper av biologiske reaktorer i) aktiverte slamreaktorer og ii) biofilmreaktorer. I aktiverte slamreaktorer er mikroorganismene suspendert i avløpsvannet. I en biofilmreaktor vokser mikroorganismene på bærermedier. Bærermediene kan enten være stasjonære, f.eks. overflater på store beholdere eller reaktorvegger eller fritt flytende mindre bærelementer.

Aktiverte slamreaktorer tillater en kontinuerlig prosess, imidlertid er slike reaktorer svært areal-/volumkrevende, og dette er også tilfellet for den endelige slamseparasjonen ved sedimentering. En del av slammet blir resirkulert inn i reaktoren eller i inntaksstrømmen til reaktoren for å opprettholde den mikrobiologiske kulturen.

Bevegelige bed-biofilmreaktorer blir drevet kontinuerlig eller i ladninger. Forbedret biologisk fosforfjerning kan kun bli benyttet i et slikt system dersom det drives i ladninger, dvs., avløpsvann blir ført inn i reaktoren for behandling og det behandlede vannet blir sluppet ut før reaktoren kan bli fylt på nytt med avløpsvann. Dette betyr at for hvert volum som behandles så medfølger det en tidskrevende fyll- og tømmesekvens. Fremgangsmåten er derfor arbeidskrevende og vil normalt kreve at serier med reaktorer blir drevet parallelt.

Separasjon av slam og vann etter den biologiske prosessen er enklere for en biofilmprosess enn for en aktivert slamprosess. En biofilmprosess trenger et mindre reaktorvolum enn en aktivert slamprosess, og har heller ingen resirkulering av slam som krever prosessstyring og energi. Siden det ikke er noen resirkulering fra separasjonstrinnet i biofilmprosessen så påvirker ikke utførelsen av separasjonen den biologiske prosessen.

WO 2010/140898 A1 vedrører en fremgangsmåte og apparat for biologisk rensing av vann i en reaktor med ett eller flere inntaks- og utløpssoner der vann og substrat kommer i kontakt med bærerementer for en biofilm.

5 US 2008/0053897 A1 tilkjenner et væske-faststoff fluidisert-bed avløpsvannbehandlingssystem for simultan fjerning av karbon, nitrogen og fosforforbindelser. Systemet inkorporerer den fast-film biologiske fluidisert-bed teknologien med fjerningen av biologiske næringsstoffer i en todelt væske-faststoff fluidisert-bed, som har oppnådd den simultane fjerningen av organisk karbon, nitrogen og fosforforbindelser.

10 CN 201999792 U er rettet på en bruksmodell relatert til en bevegelig-bed bioreaktor, spesielt en internsirkulering bevegelig-bed bioreaktor. En ulempe med denne bruksmodellen er lekkasjen av vann fra den aerobe sonen tilbake i den anaerobe sonen, som slik inhiberer den anaerobe sonen.

15 Andre publikasjoner som omhandler vannrensing/-behandling er JPh 07163994 A, JPh 07163995 A, DE 19501260 C1 og Li, M., Nakhla, G., Zhu J., «Simultaneous carbon and nitrogen removal with enhanced bioparticle circulation in a circulating fluidized bed biofilm reactor». Chem. Eng. Jour. 181-182 (2012) 35-44.

Problemene forbundet med løsningene i den kjente teknikken blir løst med foreliggende oppfinnelse.

20

### **Kort beskrivelse av tegningene**

Figur 1 viser et skjematisk utkast av en utførelsesform ifølge foreliggende oppfinnelse.

25 Figur 2 viser inntak, anaerobe og aerobe  $PO_4$ -konsentrasjoner fra piloteksperimentene.

Figur 3 viser  $PO_4$ -belastning og opptak og SCOD (løselig kjemisk oksygenbehov)-belastning og -opptak.

### **Oppsummering av oppfinnelsen**

30 Oppfinnelsen vedrører en fremgangsmåte for rensingen av fosforholdig materiale, nitrogen og organisk materiale fra avløpsvann i en kontinuerlig biofilmprosess med sirkulerende bærermedier og en reaktor for anvendelse i utførelse av fremgangsmåten. Oppfinnelsen er definert i patentkravene.

35 Foreliggende oppfinnelse tilveiebringer en sirkulerende bevegelig-bed biofilmreaktor (eng. «Circulating Moving Bed Biofilm Reactor») og fremgangsmåte for behandling av ulike avløpsvann. Biofilmbærere blir sirkulert med avløpsvannet

mellom ulike soner i behandlingsanlegget før bærerene mekanisk blir fjernet fra vannet og introdusert i starten på prosessen.

### **Detaljert beskrivelse av oppfinnelsen**

- 5 Forbedret biologisk fjerning av fosforforbindelser involverer å utsette mikroorganismekulturen, f.eks. bakteriekultur, for alternerende anaerobe og aerobe betingelser. I en aktivert slaminstallasjon blir dette ganske enkelt utført ved å lede avløpsvannet med det aktiverte slammet fra en anaerob til en aerob reaktor og resirkulere slam fra sette-prosessen til den anaerobe seksjonen.
- 10 Fosforakkumulerende organismer (PAO), skiller ut fosfor ved anaerobe betingelser, og er i stand til å ta opp mer fosfor når de utsettes for aerobe betingelser. I en bio-P (biologisk fosfor)-installasjon er det slik nødvendig å eksponere slammet/bakteriene overfor alternerende anaerobe og aerobe betingelser. I dag er de fleste bio-P-
- 15 installasjoner aktiverte slaminstallasjoner. Noen få biofilminstallasjoner med forbedret fosforfjerning eksisterer, med disse er imidlertid ikke-kontinuerlige batch-
- 20 installasjoner, såkalte Sequencing Batch reaktor (SBR). Her foreligger bærermediene med biofilm i en reaktor som avløpsvannet tilsettes og som blir utsatt for en periode uten luft (anaerob) og en periode med luft (aerob) før det rensede vannet blir tappet ut og reaktoren blir fylt på nytt med ubehandlet avløpsvann.
- 25 I biologisk fjerning av nitrogen/ammonium er ulike bakteriekulturer ansvarlige for ulike deler av nedbrytningen av ammonium i avløpsvannet. Det første trinnet er nitrifisering, noe som finner sted ved aerobe betingelser, det andre trinnet er denitrifisering som finner sted under anoksiske (uten luft) betingelser. Dette kan bli utført i to ulike biofilmreaktorer som hver har sine bærermedier der kun
- Foreliggende oppfinnelse gir muligheten for å kombinere biofilmprosessens fortrinn med forbedret biologisk fjerning av fosforforbindelser i en kontinuerlig prosess. Slik tilveiebringer foreliggende oppfinnelse nye utførelsesformer for renseprosesser av biologisk avløpsvann.
- 30 Prosessen ifølge oppfinnelsen involverer at bærermediene for biofilmen blir flyttet eller strømmer med avløpsvannet mellom anaerobe og aerobe og eventuelt anoksiske reaktorsoner. Fra det siste trinnet i prosessen blir bærermediene forflyttet uten vann til starten av prosessen.
- 35 Før avløpsvannstrømmen blir tillatt inn i den biologiske reaktoren blir den ubehandlede avløpsvannstrømmen utsatt for forbehandling. Forbehandlingen er vanligvis mekanisk screening for å fjerne store objekter slik som plast, tekstiler og liknende, etterfulgt av fjerning av sand og gress. Avhengig av kvaliteten på avløpsvannet kan også sedimentering eller nøyere screening bli introdusert som forbehandlingstrinn.

I det følgende blir en utførelsesform av oppfinnelsen, reaktoren og fremgangsmåten beskrevet med referanse til figur 1.

Den biologiske reaktoren omfatter en anaerob (A), eventuelt anoksisk (B), og en aerob (C) sone, der alle inkluderer bærermedier for biofilm. Avløpsvannet som skal renses strømmer inn i den første sonen av reaktoren gjennom et innløp (1). Separasjonen i de ulike sonene blir utført på en slik måte at avløpsvann og bærermedier kan strømme sammen fra én sone til den neste, eller de kan bli mekanisk (3,4) forflyttet, f.eks. med en impeller eller kanaltransportinnretning. I enden av den siste sonen (C) av reaktoren blir bærermediene, uten vann, mekanisk flyttet (5) til inntaksenden av den første prosess-sonen (A). Forflytning av bærermediene blir utført ved hjelp av én eller flere mekaniske innretninger slik som f.eks. heiser, transportskruer, transportbelter eller liknende. Hver sone (anaerob (A), anoksisk (B), aerob (C)) kan være separert i flere påfølgende kammere, eller designet som lange kanaler for å motta så mye pluggstrømning som mulig. Det behandlede avløpsvannet, uten biofilmbærerne, forlater den aerobe sonen (C) gjennom ett eller flere utløp (2). Eventuelt blir en del av utløpsstrømmen (6) gjenintrodusert i den anoksiske sonen (B) for ytterligere fjerning av nitrogen. Strømmen (6) kan f.eks. bli forflyttet ved anvendelse av en pumpe.

På denne måten blir bakteriekulturen utsatt for alternerende anaerobe og aerobe betingelser for å oppnå forbedret biologisk fjerning av fosfor kombinert med biofilmens effektivitet, enkelhet og gode separasjonsegenskaper med hensyn på slamseparasjon.

Prosessen vil effektivt tilveiebringe fjerning av fosfor og organisk materiale, og dersom prosessen blir utvidet med en anoksisk sone og en returnering av vann fra den aerobe til den anaerobe sonen, også fjerning av nitrogen/ammonium.

Det er også mulig å oppnå fullstendig/delvis fjerning av nitrogen ved samtidig nitrifisering/de-nitrifisering i den aerobe sonen.

Siden det ikke transporteres noe avløpsvann fra den aerobe til den anaerobe sonen blir inhibering av den anaerobe sonen med  $\text{NO}_3$  unngått.

Biofilmbærerne blir mekanisk forflyttet (5) fra den aerobe sonen (C) til den anaerobe sonen (A) uten vannet, og på denne måten forhindrer foreliggende oppfinnelse at nitrat blir fraktet med tilbake til den anaerobe sonen (A). Nitrater blir løst i vannet, og ettersom vann blir tappet av når biofilmbærerne blir forflyttet (5) til den anaerobe sonen (A) blir nitratene ikke fraktet over i den anaerobe sonen (A).

Biofilmbærere som varierer i størrelse, tetthet, materiale og form/design er kjent på fagområdet, og enhver biofilmbærer kan være passende i foreliggende oppfinnelse.

For separasjonen av biofilmslam ved å følge den biologiske prosessen er flere fremgangsmåter tilgjengelige, f.eks. sedimentering eller finsikting. Enhver slik fremgangsmåte som er kjent på fagområdet kan bli benyttet. I motsetning til aktivert

slam fra en aktiv slamprosess så omfatter slammet som er fjernet fra vann som blir behandlet i overensstemmelse med foreliggende oppfinnelse fosfor i en plantetilgjengelig form og slammet er slik en verdifull resurs som plantenæring/plantegjødsel.

- 5 Foreliggende oppfinnelse tilveiebringer en kontinuerlig prosess som er arealeffektiv sammenlignet med en batch-prosess. En batch-prosess må bli kjørt i flere paralleller for å behandle de samme mengdene med avløpsvann som i en kontinuerlig prosess.
- I ett aspekt av oppfinnelsen blir en fremgangsmåte for biologisk rensing av avløpsvann i en kontinuerlig prosess tilveiebrakt der fremgangsmåten omfatter
- 10 trinnene med å
- a) motta en forhåndsbehandlet avløpsvann-inntaksstrøm (1) i en anaerob sone (A) i en reaktor der mikroorganismekultur foreligger på fritt flytende biofilmbærere,
  - b) slippe avløpsvannstrømmen med biofilmbærerne inn i en aerob sone (C) for å luften avløpsvannstrømmen og bærere mottatt fra den anaerobe sonen,
- 15 c) i enden av den aerobe sonen (C), flytte biofilmbærerne mekanisk til den anaerobe sonen (A) uten overføring av vann (5), og
- d) slippe ut vannet gjennom et utløp (2) til en slamseparasjonsprosess.
- I en utførelsesform av fremgangsmåten er en anoksisk sone (B) inkludert mellom den anaerobe (A) og den aerobe (C) sonen.
- 20 I en annen utførelsesform av fremgangsmåten blir en resirkuleringsstrøm (6) f.eks. pumpet fra utløpsstrømmen (2) inn i den eventuelle anoksiske sonen (B).
- I en ytterligere utførelsesform av fremgangsmåten blir bærermediene med biofilm mekanisk (3,4) forflyttet fra én sone/kammer til den neste.
- I nok en annen utførelsesform av oppfinnelsen er fyllingsgraden av bærermediene
- 25 på mellom 1 % og 100 %, fortrinnsvis mellom 30 % til 70 % av våtvolumet i reaktoren.
- I et annet aspekt av oppfinnelsen blir en reaktor for kontinuerlig biologisk rensing av avløpsvann tilveiebrakt, der reaktoren omfatter et inntak (1) til en anaerob sone (A), etterfulgt av en aerob sone (C), én eller flere mekaniske innretninger (5) for
- 30 overføring av biofilmbærere fra den aerobe sonen (A) til den anaerobe sonen (C), og et utløp (2),
- karakterisert ved at én eller flere mekaniske transportinnretninger (5) for overføring av biofilmbærere tillater at vann renner av.
- I én spesifikk utførelsesform omfatter reaktoren ytterligere en anoksisk sone (B)
- 35 mellom den anaerobe (A) og den aerobe sonen (C).
- I en annen utførelsesform av oppfinnelsen (reaktoren) tillater de mekaniske transportinnretningene for overføring av biofilmbærere vann å renne av under

overføring. De mekaniske transportinnretningene for overføring av biofilmbærere kan bli valgt fra heiser, transportskruer, transportbånd eller liknende.

### **Eksperimentelt**

- 5 Pilotanlegget som ble benyttet i eksperimentene har et totalvolum på  $6,6 \text{ m}^3$  for det biologiske behandlingstrinnet. I enden av den aerobe sonen ble biofilmbærerne løftet opp fra vannet med en transportskrue, og levert til den første anaerobe sonen. Innløps-avløpsvannet ble introdusert i den første anaerobe sonen, og tappet ut av
- 10 den siste aerobe sonen. Biofilmbærerne strømmet gjennom de anaerobe sonene og de aerobe sonene ved å følge avløpsvannstrømmen. Både den anaerobe og aerobe sonen var delt opp i flere avdelinger separert av en vegg med en liten åpning der avløpsvann og bærere strømmet gjennom. Separasjon av biofilmslam ble utført i en flottørenhet.
- 15 Pilotskala-eksperimenter ble utført for å verifisere prosessen, Inntaks-avløpsvann til pilotanlegget har vært avløpsvann fra Hias avløpsvannbehandlingsanlegg i Norge, som mottar avløpsvann fra 4 kommuner i Hedmark fylke. På figur 2 er ortofosfatkonsentrasjonene i inntaket, den anaerobe og den aerobe sonen vist for noen av ukene i eksperimentperioden.
- 20 På figur 3 er  $\text{PO}_4$ -belastning og – opptak, og SCOD-belastningen og – opptaket vist for noen piloteksperimenter.

## PATENTKRAV

1. Fremgangsmåte for rensing av avløpsvann i en kontinuerlig prosess omfattende  
5  
a) motta en forhåndsbehandlet avløpsvann-inntaksstrøm (1) i en anaerob sone (A) i en reaktor der mikroorganismekultur foreligger på fritt flytende biofilmbærere,  
b) slippe avløpsvannstrømmen med biofilmbærerne inn i en aerob sone (C) for å  
10  
c) i enden av den aerobe sonen (C), flytte biofilmbærerne mekanisk til den anaerobe sonen (A) uten overføring av vann (5), og  
d) slippe ut vannet gjennom et utløp (2) til en slamseparasjonsprosess.
2. Fremgangsmåte ifølge krav 1,  
15  
omfattende en anoksisk sone (B) mellom den anaerobe og den aerobe sonen.
3. Fremgangsmåte ifølge ethvert av kravene 1 til 2,  
omfattende mekanisk overføring (3, 4) av biofilmbærerne mellom soner/kamre.
- 20  
4. Fremgangsmåte ifølge ethvert av kravene 2 til 3,  
der en del av utløpsstrømmen (6) blir gjenintrodusert inn i den anoksiske sonen.
5. Fremgangsmåte ifølge ethvert av kravene 1 til 4,  
der fyllforholdet av bærermedier er mellom 1 % og 100 %, fortrinnsvis mellom  
25  
30 % og 75 %, av våtvolumet i reaktoren.
6. Fremgangsmåte ifølge ethvert av de foregående krav,  
der utløpstrømmen (2) går videre til et separasjonstrinn for oppsamling av slam for  
ytterligere behandling og utslipp av rensset vann til resipient.  
30
7. Reaktor for kontinuerlig biologisk rensing av avløpsvann, omfattende et  
inntak (1) til en anaerob sone (A), etterfulgt av en aerob sone (C), én eller flere  
mekaniske innretninger (5) for overføring av biofilmbærere fra den aerobe sonen  
(A) til den anaerobe sonen (C), og et utløp (2),  
35  
karakterisert ved at én eller flere mekaniske transportinnretninger (5) for overføring  
av biofilmbærere tillater at vann renner av.
8. Reaktor ifølge krav 7, der reaktoren ytterligere omfatter en anoksisk sone (B)  
mellom den anaerobe (A) og den aerobe sonen (C).  
40

9. Reaktor ifølge krav 7 eller 8, der de én eller flere mekaniske transportinnretningene (5) er heiser, transportskruer, transportbelter eller liknende.



## SAMMENDRAG

Oppfinnelsen vedrører en fremgangsmåte for rensingen av fosfor, nitrogen og organisk materiale fra avløpsvann i en kontinuerlig biofilmprosess med sirkulerende bærermedium, og en reaktor for anvendelse i utførelse av fremgangsmåten.