

# Fuldskala avanceret spildevandsrensning på Herlev Hospital

## Evaluering af drift og effektivitet

### RESUME

Der anvendes betydelige mængder af speciallægemidler på hospitaler. Disse lægemidler udskilles af patienter via urin og fæces og ender i spildevandet, som også indeholder en blanding af kemikalier, resistente bakterier og vira.

Mange lægemidler, såsom antibiotika og kræftmedicin, er giftige for vandlevende organismer. Kommunale rensningsanlæg er ikke bygget til at fjerne denne typer stoffer, hvilket resulterer i udledning til vandmiljøet. Desuden kan skadelige bakterier og vira fra patienter spredes via overløb og oversvømmelser i forbindelse med kraftig regn. Kloakarbejdere såvel som badende gæster i de pågældende områder risikerer således at blive inficeret.

Derfor ønsker de danske miljømyndigheder, at spildevand fra hospitaler, med betydelige udledninger af skadelige stoffer, skal behandles ved kilden. Men både hospitaler og kommuner har brug for dokumentation for, hvordan hospitalsspildevand kan behandles, og om dette er teknisk/økonomisk muligt.

I 2010-2011 udførte DHI for Miljøstyrelsen forundersøgelser af mulige innovative teknologier i laboratorieskala. Disse forundersøgelser blev fulgt op af målrettede pilot- og laboratorieforsøg af spildevand fra Herlev Hospital. Laboratorieundersøgelser viste, at membran bioreaktor-teknologi (MBR) kombineret med aktivt kul, ozon og UV er effektiv i forhold til de kritiske lægemidler og patogener i spildevandet.

Men forundersøgelserne viste ikke, hvordan teknologierne kombineres og tilpasses til en kontinuerlig strøm af hospitalsspildevand i fuld skala. Samtidig var der behov for at teste rensningseffektiviteten i forhold til fjernelse af et stort antal lægemidler og andre miljøfremmede stoffer, toksiske virkninger på alger, dafnier og fisk samt hormonpåvirkninger. Det var desuden nødvendigt at teste effektiviteten i forhold til vira og antibiotikaresistente bakterier.

På den baggrund besluttede Region Hovedstaden og Herlev Hospital i 2012 at igangsætte et privat-offentligt innovationsprojekt med den første fuldskalatest af rensning af hospitalsspildevand i Danmark. Herlev Hospital ejer anlægget, mens Grundfos BioBooster A/S har stået for det samlede projekt. DHI har været ansvarlig for forsøg, udvikling, evaluering og rapportering.

Det overordnede formål med projektet var at skaffe tilbundsående viden til danske hospitaler og miljømyndigheder og således tilbyde dem et bedre grundlag for at afgøre, om rensning af hospitalsspildevand er en mulig løsning i deres lokalområde. Samtidig var det hensigten at skabe en komplet løsning for decentral rensning af spildevand, luftemissioner og slam (tørring) med potentiale til at kunne eksporteres til hele verden.

Herlev Hospital er et universitetshospital med 700 senge og et årligt spildevandsvolumen på 150.000 m<sup>3</sup>. Hospitalet er i øjeblikket under udbygning og vil i 2020 have 900 senge og udlede 200.000 m<sup>3</sup> spildevand om året. Hospitalet betjener 700.000 borgere inden for en lang række medicinske specialer, og inden for kræftbehandling behandler hospitalet patienter fra hele Sjælland.

Herlev Hospitals rensningsanlæg blev bygget i 2013-2014 og har været i drift siden maj 2014. Testperioden har dækket en periode på 1,5 år fra maj 2014 til november 2015. Anlægget består af en membran bioreaktor (MBR) med nitrogen- og fosforfjernelse, efterfulgt af en kombination

af forskellige poleringsteknologier. Under testperioden blev poleringsdelen opdelt i to separate linjer med forskellige konfigurationer, Linje 1 og Linje 2, som blev drevet parallelt. Linje 1 bestod af behandling med granulært aktivt kul (GAC), efterfulgt af ozon og UV. Linje 2 bestod af ozon, efterfulgt af GAC-behandling og UV. Arbejdet med de to forskellige opsætninger af de to linjer gjorde det muligt at sammenligne GAC- og ozonbehandlingen. Efter testperioden blev Linje 1 rekonstrueret til samme opsætning som Linje 2, da evalueringen viste, at Linje 2 var mest effektiv både i forhold til fjernelseseffektivitet og GAC-forbrug.

Alt fast affald (ristegods, slam og brugt GAC) sendes til forbrænding på det lokale forbrændingsanlæg (850-1,200 °C), hvor 80% af den producerede energi bliver til fjernvarme, mens 20% anvendes til strømforsyning.

En central luftrensningseenhed med en fotoioniseringsproces baseret på UV-lys behandler al udluftningsluft fra anlægget (vakuum i bygningen). Undersøgelser af de mikrobiologiske risici i forbindelse med luftemissioner viste, at rensningen var effektiv. Der er heller ikke registreret klager fra naboer eller andre vedrørende lugtgener.

Ved hjælp af et overvågnings- og testprogram blev der foretaget en grundig evaluering af spildevandsrensningen. 118 prøver blev analyseret for aktive lægemiddelstoffer, og i alt 122 stoffer blev analyseret. Endvidere blev der testet for bakterier, virus og toksicitet på vandlevende organismer. En oversigt over analyse- og testresultater fra rå spildevand til det færdigrensede spildevand er præsenteret i Tabel 1.

Tabel 1 Oversigt over spildevandsrensningen. Fra rå hospitalsspildevand til færdigrenset spildevand

Parametre	Rå urensset spildevand	Renset spildevand
Giftige og persistente antibiotika (fx ciprofloxacin, clarithromycin og sulfamethoxazol), smertestillende midler (diclofenac) og cytostatika (f.eks capecitabin)	Faktor 10-300 overskridelse af effektgrænser ( $PNEC_{\text{Ferskvand}}$ ) for vandlevende organismer	99,9% fjernelse og ingen overskridelse af effektgrænserne ( $PNEC_{\text{Ferskvand}}$ ) for vandlevende organismer
Kontrastmidler (fx iomeprol)	Høj koncentration (2,5-7 mg/l)	99% fjernelse
Antibiotikaresistente bakterier	Høj forekomst af antibiotikaresistente bakterier	Ingen fækale eller antibiotikaresistente bakterier
Vandbåren virus (norovirus)	Høj koncentration ( $1.7 \cdot 10^5$ )	Under detektionsgrænsen (<26 GC/l)
Fiskeyngel (Zebrafisk)	100% dødelighed inden for 96 timer	0 % dødelighed inden for 96 timer
Crustacean (Dafnier)	Ingen afkom (alle forsøgsdyr døde)	Afkom overlever som i rent kontrolvand
Østrogen aktivitet (A-YES)	Østrogeneffekter	Ingen østrogeneffekter

Tabel 1 viser, at belastningen af lægemiddelstoffer blev reduceret med 99,9%, og at de stoffer, der stadig kunne måles i udløbet, lå under effektkoncentrationerne for ferskvandslevende organismer ( $PNEC_{\text{Ferskvand}}$ ) uden fortynding. De stærkt persistente, men mindre giftige, kontrastmidler blev fjernet med 99%. Fækale og antibiotikaresistente bakterier blev fjernet, og virus - repræsenteret ved norovirus - kunne ikke påvises. Økotoksiske effekter på fisk og dafnier samt østrogenvirkninger kunne ikke måles i det færdigrensede spildevand.

Rensningseffektiviteten for almindelige organiske stoffer og næringsstoffer var høj sammenlignet med typiske udlederkrav. I slutningen af testperioden, hvor de biologiske og kemiske processer var tilpasset, blev COD, Total-N og Total-P målt til henholdsvis 10-20, 2-3 og 0,2 mg/l.

Evalueringen af renseprocesserne viste, at opsætningen med MBR-ozon-GAC var den mest effektive sammenlignet med MBR-GAC-ozon. Forsøgene viste, at ozonering havde en højere fjernelseeffektivitet over for lægemidler, når den blev anvendt før GAC, hvilket samtidig gjorde GAC mere effektiv. Det kunne desuden konstateres, at opsætningen med MBR-ozon-GAC resulterede i et mindre GAC-forbrug, sandsynligvis fordi de almindelige organiske stoffer under ozoneringen omdannes til mere vandopløselige forbindelser. Der blev ikke observeret dannelse af kritiske ozon-biprodukter, såsom bromat eller HDMA.

Vurderingen af den samlede økonomi var baseret på en registrering af alle driftsudgifter. Dette omfattede forbrug af energi, kemikalier, GAC og omkostninger til håndtering af biprodukter samt mandetimer til service. Dertil kommer vedligeholdelsesudgifter til almindelig vedligeholdelse af anlægget. Disse blev beregnet som 2-3% af investeringsomkostningerne pr år.

Investeringsomkostningerne for et fuldt funktionsdygtigt rensningsanlæg antages at beløbe sig til 25-35 millioner kroner. Investeringen afhænger i høj grad af opførelsen af selve rensningsanlægsbygningen. Den faktiske investering på Herlev Hospital var høj på grund af et ønske om at opføre en bygning til rensningsanlægget med særlig arkitektoniske udformning. De økonomiske nøgletal er vist i Tabel 2.

Tabel 2 Overordnede økonomiske nøgletal for Herlev Hospitals rensningsanlæg.

Omkostningstype	DKK
Investeringsomkostninger	25 - 35 mill. DKK
Drifts- og vedligeholdelsesomkostninger	10.87 DKK/m <sup>3</sup>
Afledningsafgift til offentlig kloak	25.54 DKK/m <sup>3</sup>

Herlev Hospital betaler i øjeblikket en afledningsafgift på 25,54 kr./m<sup>3</sup> for afledning af spildevand til offentlig kloak. Hvis spildevandet fremover udledes direkte til det nærliggende lokale vandløb (Kagså), vil hospitalet ikke længere blive opkrævet dette gebyr, hvilket vil resultere i en mulig besparelse på 15 kr./m<sup>3</sup> (25.54 - 10.87 = 15 kr./m<sup>3</sup>). Der er således tale om en win-win situation, hvor forurenende stoffer bliver fjernet, det rensede vand anvendes til at øge vandføringen i det lokale vandløb samtidig med, at der opnås besparelser på de samlede spildevandsomkostninger. Det skal dog bemærkes, at der - afhængigt af den specifikke fremtidige løsning - vil komme andre omkostninger i forbindelse med direkte udledning, såsom opførelse af en særlig rørledning eller afgifter for brug af vandselskabets ledningsnet.

Hvis det rensede vand udledes direkte til det lokale vandløb (Kagså) og herfra videre til det marine badevandsområde (Lodsparken), skal de mulige miljø- og sundhedsmæssige risici vurderes. Derfor er der udført risikovurderinger for de lokale vandområder baseret på hydrodynamisk modellering af kemiske og mikrobiologiske parametres spredning og skæbne. Resultaterne viste, at de estimerede risici var ubetydelige under normal drift af rensningsanlægget.

Den høje vandkvalitet af det færdigrensede spildevand åbner mange muligheder for genbrug. I øjeblikket er der planlagt genbrug af det rensede vand i de eksisterende køletårne på hospitalet. Omkring 10.000 m<sup>3</sup>/år forventes at blive genanvendt her. Den praktiske planlægning i forbindelse med gennemførelsen af den direkte udledning til Kagså er i gang i skrivende stund.