

Forskningsprojekt – Ångpanneföreningens Forskningsstiftelse

**Samtidig filamentbekämpning, reduktion av organiska miljögifter och utökad biogasproduktion genom ozonering av överskottsslam**

Åsa Davidsson, Per Falås, Filip Nilsson, Nadieh de Jonge, Kai Bester

## Summary

Ozone treatment of activated sludge to reduce foaming problems and filament-forming microorganisms has been used in periods at Klagshamn wastewater treatment plant for several years and proved effective for this purpose. Because ozone is energy-intensive, other effects of ozone, such as increased biogas production and reduction of micropollutants, could contribute to higher cost-effectiveness. However, in this study no such effects could be seen. The methane potential for untreated sludge and ozone treated sludge was as high regardless of the dose of ozone tested. The organic micropollutants were not affected by ozone treatment, but several of them were significantly reduced (25-95%) by the sludge being anaerobically digested. A microbial characterization was performed to study the effect from ozone on the microbial sludge community. It was seen that the microbial community was affected by anaerobic digestion, but not by the ozone treatment.

## Sammanfattning

Ozonering av aktivt slam för att reducera skumningsproblem och filamentbildande mikroorganismer har periodvis använts vid Klagshamns avloppsreningsverk sedan flera år tillbaka och visat sig effektivt för detta ändamål. Eftersom ozonering är energikrävande skulle andra effekter av ozoneringen såsom ökad biogasproduktion och nedbrytning av mikroföroreningar kunna bidra till en högre kostnadseffektivitet. I denna studie kunde emellertid inga sådana effekter ses. Metanpotentialen för obehandlat slam och ozonbehandlat slam blev lika hög oavsett vilken dos av ozon som testades. De organiska mikroföroreningarna påverkades inte av ozonbehandlingen, men flera av dem reducerades betydligt (25-95%) genom att slammet rötades. En mikrobiell karaktärisering av slammet gjordes för att undersöka om ozoneringen påverkade den mikrobiella sammansättningen. Den mikrobiella sammansättningen påverkades av rötningen, men ingen tydlig effekt från ozoneringen kunde påvisas.

## Inledning

### Bakgrund

Dagens avloppsreningsverk har många utmaningar. De skall vara klimatsmarta, ta bort problemsubstanser från vatten och slam samt utföra reningen till en låg kostnad.

Många avloppsreningsverk har problem med filamentbildande bakterier som ställer till problem i vattenreningen genom att försämma sedimentationen. Samma grupp av bakterier kan ge skumningsproblem i reningsverken och i rötkamrarna. En möjlig teknik för att lösa dessa problem är att behandla slammet i en liten sidoström med en mindre dos ozon som speciellt avdödar filamentbildande bakterier (Nilsson *et al.*, 2012). Metoden är effektiv, men ganska kostsam.

Ozon är ett kraftigt verkande oxidationsmedel, som effektivt kan avdöda mikroorganismer, till exempel filament- och skumbildande bakterier, i avloppsreningsverk genom att öppna upp cellstrukturerna. På detta sätt har ozon effektivt löst sedimentations- och skumningsproblem på reningsverk (Nilsson *et al.*, 2012; 2014) men har också visat sig kunna utnyttjas till att ge ökad biogasproduktion om överskottsslam får en dos av ozon före rötning (Davidsson *et al.*, 2013). Samtidigt är ozonering en välbeprövad metod för att ta bort organiska mikroföroreningar i avloppsvatten (Väänänen *et al.*, 2014). Bara i några få studier har metoden testats för att ta bort mikroföroreningar i slam och då med något oklart resultat (Davidsson *et al.*, 2013); men många organiska mikroföroreningar i slammet kan potentiellt oxideras och därmed destrueras. Ozon har alltså tidigare visats kunna användas för att uppnå:

- filamentkontroll
- utökad biogasproduktion eller
- nedbrytning av mikroföroreningar.

Om alla tre effekterna kan uppnås samtidigt ger synergien att metoden blir ekonomiskt och resursmässigt mer hållbar.

### Projektets syfte

Syftet med projektet var att utvärdera potentialen för att ozonering av överskottsslam kan leda till utökad biogasproduktion från överskottsslam, samtidigt reducera skumningsproblem i rötkammare genom att avdöda skumbildande bakterier och dessutom samtidigt reducera slammets halt av organiska mikroföroreningar.

### Genomförande

Projektet genomfördes under ledning av VA-teknik, Institutionen för Kemiteknik vid Lunds universitet i samarbete med VA SYD, Primozone Produktion AB, Aarhus universitet i Roskilde och Ålborg universitet. Analyserna av mikroföroreningar (Ålborg universitet) gjordes inom forskningsprojektet Nomigas med finansiering av Danmarks strategiska forskningsråd.

## Metod

Försöken utfördes i form av ozonering (med tre olika doser) av överskottsslam på VA SYDs avloppsreningsverk i Klagshamn. Verket har en ozoneringsanläggning i fullskala avsedd att avdöda filamentbildande mikroorganismer för att motverka problem med sedimentering och skumning i aktivslamanläggningen och skumning i röt-kamrarna när överskottsslammet rötas.

Ozondosen i fullskaleanläggningen varierades genom att hålla slammet olika lång tid i anläggningens kontakttank och därigenom variera den ozondos slammet fick. Obehandlat slam samt slam med de tre olika ozondoserna (låg, medel och hög) provtogs och genomgick följande analyser och tester:

- Analys av pH, COD, COD<sub>fil</sub>, TS, VS
- Bestämning av metanpotential genom satsvisa utrötningsförsök
- Analys av mikroföroreningar (före och efter rötningsförsök)
- Mikrobiell karaktärisering (före och efter rötningsförsök) genom DNA-sekvensering

## Resultat och Diskussion

### Karaktärisering

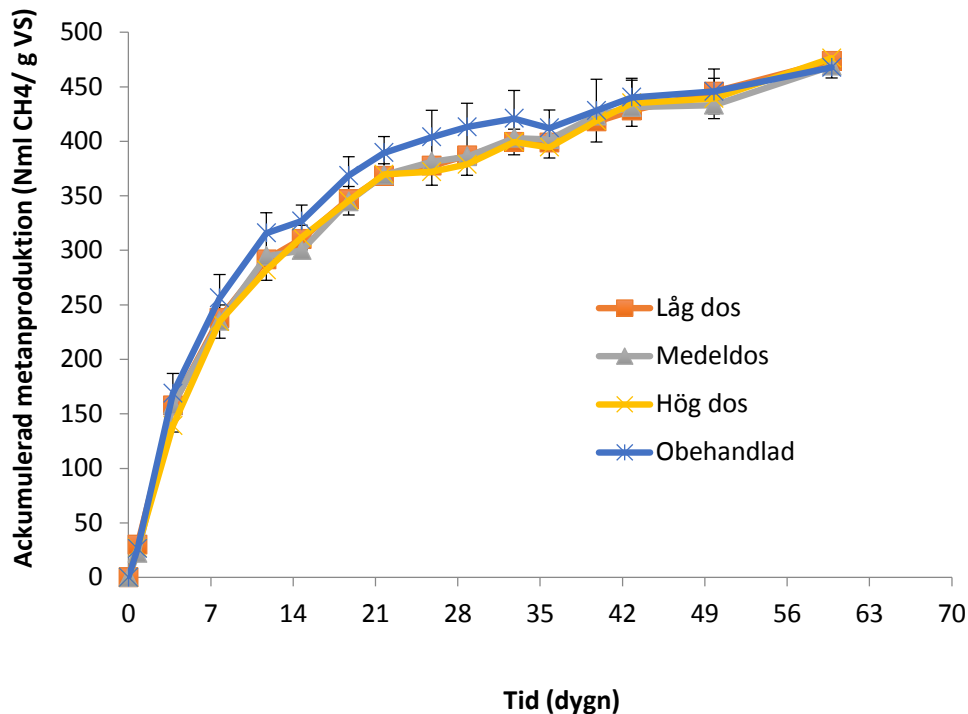
I samband med ozonförsöket analyserades slammen med avseende på TS, VS, COD och pH. Resultaten (tabell 1) visar att ozoneringen främst påverkar pH och COD. pH sjunker av ozoneringen och koncentrationen av löst COD ökar, vilket är förväntat eftersom syftet är att bryta ned slammet, vilket borde kunna ses som en ökning av COD<sub>fil</sub>. Ökningen av löst COD som andel av totala COD-innehållet är dock inte speciellt stor. Ozoneringen ger en ökning av andelen löst COD från 2 % till maximalt 6,5 %. Utöver detta ses en minskande koncentration av COD<sub>tot</sub>, vilket kan bero på att ozonet oxiderar en del organiskt material till koldioxid och vatten. Det bör dock noteras att analysosäkerheten är relativt stor för COD<sub>tot</sub> i slam pga att spädning görs.

**Tabell 1. Slammets karaktär med och utan ozonering**

Substrat	pH	TS (g/L)	VS (g/L)	COD <sub>tot</sub> (mg/L)	COD <sub>fil</sub> (mg/L)	VS/TS
Obehandlat	7,17	4,99	2,66	4750	81	53%
Låg O <sub>3</sub>	6,79	5,06	2,75	4590	141	54%
Medel O <sub>3</sub>	6,73	5,14	2,8	4510	213	54%
Hög O <sub>3</sub>	6,73	5,12	2,81	4300	288	55%

### Biogaspotential

För att utvärdera ozonets effekt på biogaspotentialen utfördes satsvisa utrötningsförsök. Resultaten (figur 1) visas som ackumulerad producerad metan per mängd tillfört organiskt material. Försöket pågick i 70 dygn. Resultaten visar inte på någon ökning i metanpotential för slam som ozonerats, varken vid låg eller hög dos.



Figur 1. Ackumulerad metanpotential per mängd organiskt innehåll (VS) för de utrötade slammen. Medelvärden (N=3) med standardavvikelse.

### Analys av mikroföroreningar

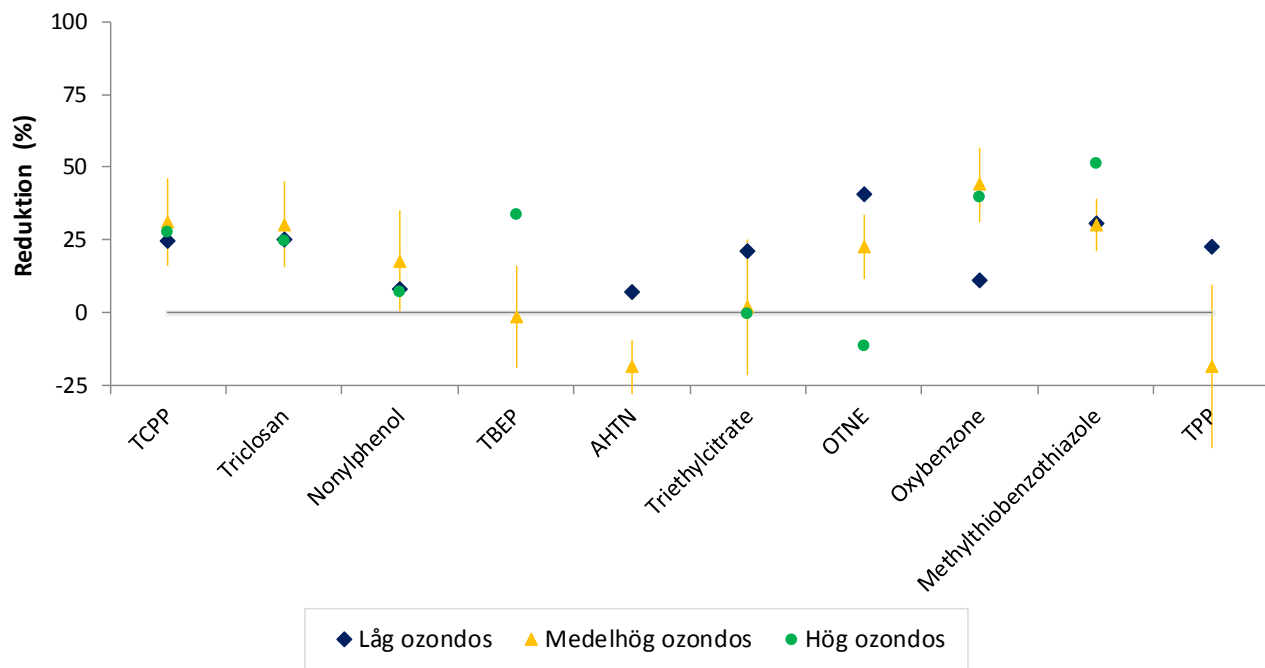
Totalt analyserades 27 organiska mikroföroreningar i slam före och efter ozonering och rötning. Tio av dessa ämnen presenteras i rapporten. De består av nonylfenol, triclosan, oxybensone, trietylцитrat, metylbenzothiazole, två syntetiska doftämnen (AHTN och OTNE), och tre organofosfatestrar (TBEP, TCPP och TPP).

Reduktionen av mikroföroreningar var obetydlig vid samtliga ozondoser (figur 2). Den låga reduktionen kan troligen förklaras med att ozonet reagerade med det organiska materialet i slammet och därmed inte blev tillgängligt för oxidation av mikroföroreningar. Möjligheterna till effektiv behandling av mikroföroreningar i slam med ozon bedöms därför som begränsade.

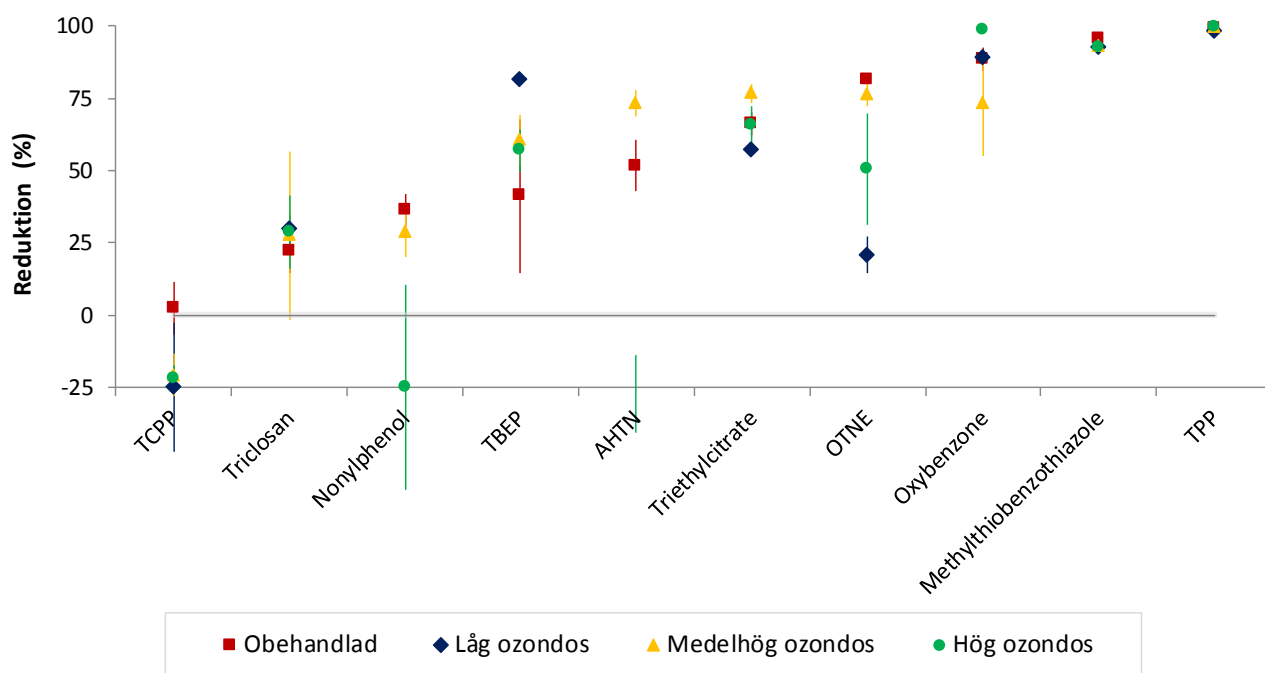
Intressant att notera är istället reduktionen av en del av mikroföroreningarna som effekt av rötningen, se figur 3. Nio av de tio föroreningarna reduceras med 25-95 % när slammet rötas, men reduktionen är helt oberoende av om slammet ozonerats eller inte.

En möjlighet som inte testats är att ozonera slam efter rötning, vilket skulle kunna leda till utökad reduktion av organiska mikroföroreningar och möjligen även nedbrytning av svårnedbrytbart

organiskt material till mer lättnedbrytbart material. Det sistnämnda skulle kunna ge en utökad biogasproduktion om slammet genomgår ytterligare rötning.



Figur 2. Reduktion av 10 organiska mikroföroreningar vid ozonbehandling av slam.



Figur 3. Reduktion av 10 organiska mikroföroreningar vid rötning av obehandlat och ozonbehandlat slam.

## Mikrobiell karaktärisering

Den mikrobiella karaktäriseringen visade på vissa skillnader i sammansättning mellan proverna som analyserades. Emellertid berodde skillnaderna inte på ozonbehandlingen utan snarare på rötningen, dvs skillnaden mellan slammen före och efter rötning. Detta kan delvis ses i figur 4 som visar innehållet av de 10 mest förekommande arterna i de olika proverna, både före och efter rötningen. Den förändring som syns (före och efter rötning, dvs start och end) är i princip likvärdig för det obehandlade slammet (C\_Untreated) som för de ozonbehandlade slammerna (D\_Low, E\_Medium och F\_High).

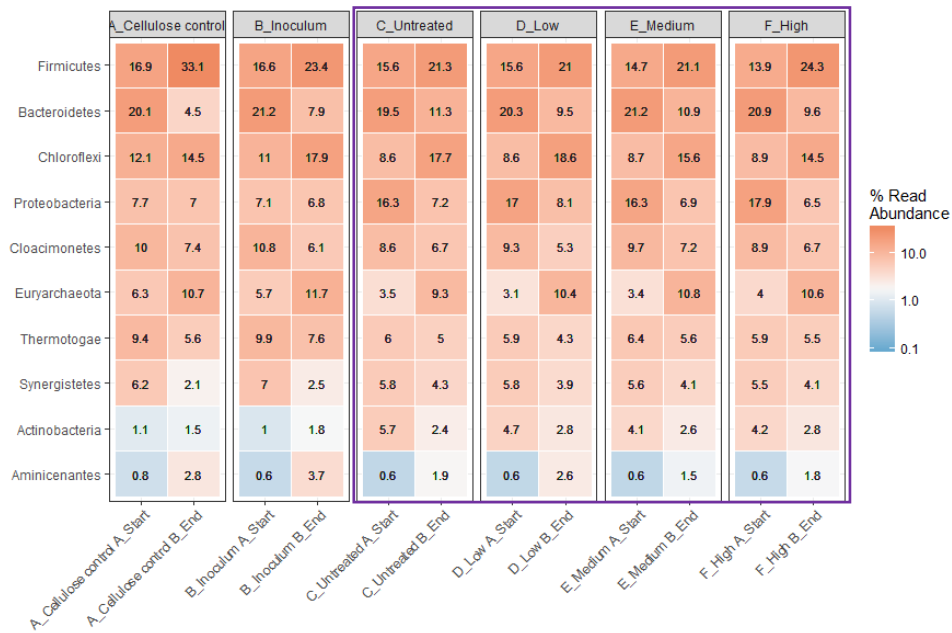


Figure 4. De 10 mest förekommande arterna (phyla) från den mikrobiella karaktäriseringen.



## Slutsatser

Ozonering av aktivt slam kan göras för att reducera skumningsproblem och filamentbildande mikroorganismer. Ozonering är emellertid relativt energikrävande. Om ozoneringen kan ge positiva effekter såsom ökad biogasproduktion och nedbrytning av mikroföroreningar skulle kostnadseffektiviteten däremot bli högre. I denna studie undersöktes därför detta, men resultaten visade inte på några sådana effekter. Slutsatserna var att:

- Metanpotentialen för obehandlat slam och ozonbehandlat slam (med tre olika doser) är lika hög.
- De organiska mikroföroreningarna påverkades inte av ozonbehandlingen, men flera av dem reducerades betydligt (25-95%) genom att slammet rötades.
- Den mikrobiella karaktäriseringen visade inte heller på någon tydlig effekt från ozoneringen.

## Referenser

Nilsson, F., Jönsson, K. & Dimitrova, I. (2012) Full-Scale Ozonation to Reduce Filamentous Sludge at Klagshamn WWTP. Artikel presenterad vid International Ozone Associations konferens, Toulouse, Frankrike, 4-6 juni.

Nilsson, F., Hagman, M., Mielczarek, A. T., Nielsen, P. H. & Jönsson, K. (2014) Application of Ozone in Full-Scale to Reduce Filamentous Bulking Sludge at Öresundsverket WWTP. *Ozone: Science & Engineering*, Vol 36, No. 3, pp 238-243.

Davidsson, Å., Eriksson, E., Fick, J. (2013) Ozonation and Thermal Pre-treatment of Municipal Sewage Sludge – implications for Toxicity and Methane Potential. *Journal of Residuals Science & Technology*, Vol. 10, No. 2, pp. 95-101.

Väänänen J., Nilsson, F., Jansen, J. la C., Hörsing, M., Hagman, M. & Jönsson, K. (2014) Discfiltration and Ozonation for Reduction of Nutrients and Organic Micro-Pollutants from Wastewater – a Pilot Study. *Water Practice & Technology*, Vol. 9, No. 4, pp 475-482.