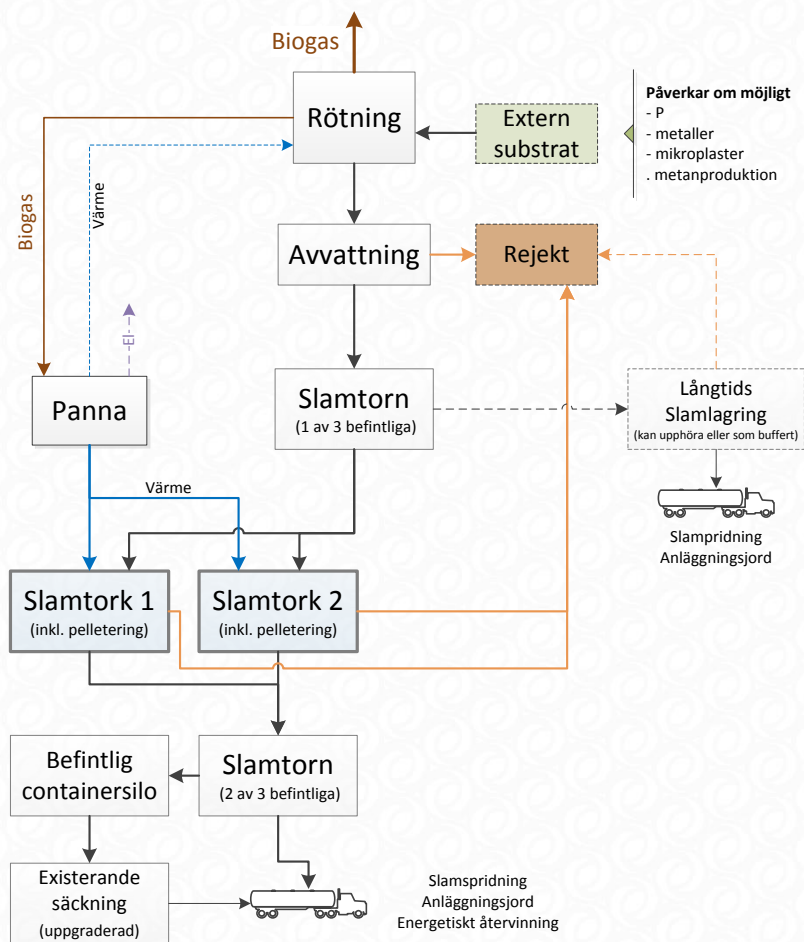




Nr B2276
Februari 2017



Slamtorkning som en del av slamhantering vid Syvab Himmerfjärdsverket

FoU-samarbete Syvab-IVL

Christian Baresel, Maximilian Lüdtke, Marie Berg, Elin Åfeldt, Anders Aronsson



I samarbete med: Sydvästra stockholmsregionens va-
verksaktiebolag, Syvab, Himmerfjärdsverket

Författare: Christian Baresel* Maximilian Lüdtke* Marie Berg** Elin Åfeldt** Anders Aronsson**

*IVL **Syvab

Medel från: Syvab & Institutet för Vatten- och Luftvårdsforskning (SIVL)

Rapportnummer B2276

ISBN 978-91-88319-45-6

Upplaga Finns endast som PDF-fil för egen utskrift

© **IVL Svenska Miljöinstitutet 2016**

IVL Svenska Miljöinstitutet AB, Box 210 60, 100 31 Stockholm

Tel 010-788 65 00 // Fax 010-788 65 90 // www.ivl.se

Rapporten har granskats och godkänts i enlighet med IVL:s ledningssystem

Förord

Det redovisade arbetet i denna rapport är en del av FoU-samarbetet mellan Syvab och IVL Svenska Miljöinstitutet som syftar till att bidra till en VA-verksamhet som tillgodoser samhällets krav på en resurseffektiv hantering av avloppsvatten och slam. Förutom en så effektiv rening av avloppsvatten och hantering av avloppsslam som möjligt, eftersträvas en VA-verksamhet med minsta möjliga miljöpåverkan där även indirekt påverkan från t.ex. produktion av kemikalier, transporter, elanvändning, slamlagring och slamspridning men även produktion av bioenergi räknas in. Samarbetet avser i första hand Syvabs eget reningsverk Himmerfjärdsverket men förhoppningen är att resultaten från samarbetet även kommer kunna stödja andra VA-aktörer i sitt arbete mot en mer hållbar verksamhet.

Innehållsförteckning

Sammanfattning.....	5
1 Introduktion.....	6
1.1 Bakgrund.....	6
1.2 Syfte.....	7
1.3 Förutsättningar och målsättning.....	7
1.4 Begränsningar och osäkerheter.....	7
1.5 Relaterade aktiviteter inom FoU-samarbete.....	7
2 Slamtorkning.....	8
2.1 Torkningsutrustning.....	8
2.2 Lagring och utlämning av slam.....	9
2.3 Integrering i reningsprocessen.....	9
2.4 Torkprodukt och närsaltsåterföring.....	11
2.5 Miljöpåverkan.....	12
2.6 Arbetsmiljö.....	13
2.7 Ekonomi.....	13
3 Slutsatser och rekommendationer.....	15
4 Referenser.....	17

Sammanfattning

Syvab Himmerfjärdsverket i Grödinge som renar omkring 43 Mm³ avloppsvatten årligen är ett av fyra avloppsreningsverk i Stockholmsområdet. Slamhanteringen vid avloppsreningsverk utgör en stor del av verksamheten och en ökad energiutvinning, återföring av viktiga näringsämnen till åkermark utan negativa bieffekter samt en problemfri hantering är några av de utmaningar som behöver bemötas. Dagens situation med osäkerheter med avseende på framtida krav på slamkvalitet, återvinning näringsämnen, m.m. kräver en flexibel slamhantering som kan anpassas till olika tänkbara utvecklingar och som samtidigt ger en resurseffektiv processintegrering med övriga delar av reningsverket. Vid Syvab har därför slamtorkning varit i fokus under flera år. Denna rapport presenterar en kartläggning av slamtorkning som en möjlig del av Syvabs framtida slamhantering; både genom att hjälpa till att bemöta de kända utmaningar som finns i dagens arbete för att kostnadseffektivt minska Syvabs totala miljöpåverkan idag, men även genom att ge den flexibilitet som behövs för anpassning till framtida krav.

Resultaten visar att slamtorkning framstår som en resurseffektiv komplettering till Syvabs process. Bedömningen är att torkningen skulle ge en enklare och flexiblere slamhantering där såväl kunskap från tidigare erfarenheter av torkning som samlats vid anläggningen som delar av existerande infrastruktur kan utnyttjas. Konkret framstår följande aspekter som de mest relevanta:

- En hygienisering och vikt/volyminskning av slammet skulle åstadkommas men behöver även godkännas för att en slamtorkning skulle vara intressant.
- Gödselvärdet av slammet skulle ökas men de totala metall- och fosformängder skulle inte påverkas.
- På grund av den minskade slamvolymen/-vikten skulle relaterade transporter minska avsevärt. Transporter till och från slamlagring för hygienisering skulle upphöra helt.
- Växthusgasemissioner från slamlagringen och spridning skulle kunna minskas signifikant.
- Kväve som vid slamlagring och -spridning skulle emitteras till atmosfären, yt- och/eller grundvatten skulle kunna tas hand om vid reningsverket vilket minskar utsläppen. Den ökade interna kvävebelastningen från torkningen kan tas hand om av den nya rejektvattenbehandlingen.
- En optimal integrering av generering av det extra värmebehovet bör kunna ge flera synergieffekter.
- Minskade substitutionsvinster p.g.a. minskade volym fordonsbränsle vid användning av biogas för torkning bör kunna balanseras genom en utökning av samrötningen och samordning med övriga anläggningsinterna energiflöden.
- Kostnad och återbetalningstid för en slamtorkning är svåra att skatta då dessa beror på värdet av det torkade slammet och biogastillgång och -pris.
- En resurseffektiv slamtorkning vid Syvab skulle även kunna ta emot slam från mindre reningsverk i regionen.

1 Introduktion

Syvab Himmerfjärdsverket i Grödinge är ett av fyra avloppsreningsverk i Stockholmsområde och släpper ut det renade avloppsvattnet till Himmerfjärden. Anläggningens slamhantering består idag av en samrötning med externt material för biogasproduktion som används för framställning av fordonsbränsle och som intern energikälla. Slutprodukten, det avvattnade slammet, appliceras i största utsträckning på mark i form av slamgödsling och som jordförbättringsmaterial. Kommande miljökrav och Syvabs interna miljöarbete ligger till grund för att anpassa slamhanteringen så att den möter de utmaningar som finns och även visar vägen för andra reningsverk.

1.1 Bakgrund

En ökad energiutvinning från avloppsslam, återföring av viktiga näringsämnen till åkermark utan negativa bieffekter och kontamineringsrisk genom oönskade substanser samt en problemfri hantering av restprodukter är några av de utmaningar som reningsverksbranschen står inför och som behöver lösas för att i framtiden kunna tillhandahålla hållbara slamhanteringssystem. Dagens slamhantering utgörs av många kompromisser som grundar sig mycket i en förändrad användning av slammet över tid, nya krav, tradition, men även okunskap om för- och nackdelar för alternativa system. Ett mer hållbart samhälle har en högre efterfrågan på grön energi och ställer högre krav på lägre halter av restkoncentrationer av olika skadliga föroreningar i slammet vid markanvändning.

Förutom möjligheten att utvinna energi och återföra näringsämnen är även hantering, renhet och värdet av slutprodukten, växthusgasutsläpp, risk för smittspridning, eventuella luktproblem, m.m. viktiga aspekter som en hållbar slamhantering behöver bemöta.

Tittar man på de svenska miljömålen så påverkar slamhantering vid reningsverk nästan samtliga mål antingen direkt eller indirekt. Därmed finns även en möjlighet att bidra till att uppfylla dessa mål genom en mer hållbar slamhantering. Några av de mest berörda målen och hur dessa påverkas beskrivs nedan.

- Begränsad klimatpåverkan: berör energin som används och utvinns vid slambehandlingen men även metan- och lustgasutsläpp vid slamhanteringen.
- Giftfri miljö: berör alla giftiga substanser inklusive läkemedelsrester, flamskyddsmedel och andra föroreningar som vid vattenreningen hamnar i slammet och som vid t.ex. användningen av slammet som gödsel eller jordförbättring sprids i miljön.
- Ingen övergödning: detta mål berör näringsämnena i slammet som vid återföring till marken i olika former (gödsel, jordförbättring m.m.) i olika omfattning riskerar att läcka ut och medverka till eutrofiering.
- Grundvatten av god kvalitet: Vid användning av slam som innehåller organiska och oorganiska föroreningar finns risk att dessa föroreningar nå grundvattnet och därmed leder till en förorening av detta.
- Ett rikt växt- och djurliv: Vid användning av slam i miljön finns även risk för spridning av patogener som bakterier och virus. Även risken för antibiotikaresistens i miljön kan öka. Dessa och andra gifter som sprids med slammet kan leda till en minskning av biodiversiteten.
- God bebyggd miljö: detta mål berör själva sparsamheten när det gäller resurser såsom bästa möjliga nyttjande av näringsämnen och producerad biogas.

1.2 Syfte

Syftet med arbetet var att undersöka slamtorkning som en möjlig del av Syvabs framtida slamhantering för att hjälpa till att bemöta de utmaningar som finns redan i dagens arbete för att minska Syvabs totala miljöpåverkan och att utvärdera om slamtorkning ger en tillräcklig flexibilitet för att kunna hantera framtida miljökrav på en kostnadseffektiv slamhantering.

1.3 Förutsättningar och målsättning

Dagen slamhantering vid Himmerfjärdsverket består av en mesofil samrötning av primär- och bioslam (betecknat som flotationsslam) och externt substrat på omkring 50 kton per år bestående av flera olika substrattyper bl.a. matavfall från ägarkommunerna. En del av den producerade biogasen används till att driva anläggningsdelar (slamtork, varmvatten, uppvärmning av byggnader och luftning) och resten uppgraderas till fordonsgas. En mindre del facklas. Rötat slam avvattnas med hjälp av centrifuger till en torrhalt på omkring 24 %. Totalt uppstår omkring 30 000 t avvattnat slam våtvikt/år vilket motsvarar omkring 7000 t TS/år. En mindre del (<10 %) torkas i en slamtork till 90 - 98% torrhalt för användning inom jordbruk. Resten av det avvattnade slammet lagras externt i minst 6 månader innan det används inom jordbruk och skogsbruket samt som anläggningsjord.

Målsättningen med en eventuell slamtorkning är att få en bättre slamhantering vid Himmerfjärdsverket med minskade transportbehov, en förbättring av slamkvalitén, minskade emissioner från slamhanteringen, och en ökad resurseffektivitet i utnyttjande av resurser som är kopplade till slamhanteringen. En slamtorkning ska även kunna tillgodose eventuella krav på slamhygienisering och minska klimatpåverkan från slamhanteringen. Dessutom ska en implementering av slamtorkning ta till vara de goda erfarenheterna från tidigare torkningsförsök samt vara en del av en hållbarare slamhantering vid anläggningen som även ger en ökad flexibilitet inför framtida utmaningar.

1.4 Begränsningar och osäkerheter

Rapporten bygger på en övergripande konceptutredning av slamtorkning som en av flera delar i Syvabs framtida slamhantering. Arbetet baseras delvis på antaganden och generaliseringar samt genomsnittliga driftdata. Slutsatser och rekommendationer kan därmed endast ge ett beslutsunderlag för vidareutredning av specifika aspekter.

1.5 Relaterade aktiviteter inom FoU-samarbete

Slamtorkning är ett alternativ som Syvab har undersökt under en längre tid och som här belyses inom FoU-samarbetet mellan Syvab och IVL Svenska miljöinstitutet. Andra aspekter som relaterar till slamhanteringen och som olika aktiviteter inom detta FoU-samarbete för närvarande fokuserar på inkluderar bl.a.

- Ökad biogas-/nettoenergiproduktion från samrötningen
- Kvantifiering, förståelse och minskning av växthusgasemissioner från reningsprocesser och slamhanteringen
- Modellering av framtidens Himmerfjärdsverket och miljöpåverkan av olika processändringar inkl. slamhantering
- Termofil rötning (via MBR-slampilotprojekt vid Sjöstadsverket)

- Utveckling av substratverktyg för bättre planering och uppföljning av samrötning med en ökad biogasproduktion och bättre slamkvalitet som mål

2 Slamtorkning

2.1 Torkningsutrustning

Slamtorkningen bör ske i minst 2 parallella processlinjer för redundans och ökad flexibilitet eftersom processlinjerna då bättre kan anpassas till varierande slamflöden. En av linjerna skulle på så sätt kunna köras med optimala inställningar medan den andra linjen används för att utjämna belastningsvariationer. En viss belastningsvariation kommer krävas trots utjämningsmöjligheter i slamsilon så att torkningen kan anpassas till övriga reningsverksprocesser utan att torkdriften blir oekonomiskt. En automatisk reglering av slamtorken mot matningsflödet rekommenderas. Torkningen bör kunna ske såväl med endast en tork som båda (eller flera) torkarna samtidigt med reglerbar belastningsfördelning. För att ta höjd för en effektivare mekanisk slamavvattning eller andra processändringar som kan tänkas implementeras i framtiden (t.ex. Termisk Hydrolys, slamkarbonisering m.m.) och som påverkar slammets vattenhalt och minskar torkningsbehovet, bör slamtorken kunna köras inom ett TS-område på minst 20 % - 50 %. Även här bör en kontinuerlig processövervakning och autoreglering av processen kopplat till matningen ske. Blandningsmöjlighet av inkommande substrat med torkat slam till olika fraktioner behöver finnas för vissa typer av slamtork (t.ex. trumtork) för att hantera bl.a. limfasen. Bandtork brukar inte behöva detta. Även en onlinemätning och -styrning för rätt blandning/torkning bör tillämpas.

Som energikälla bör obehandlad biogas väljas med antingen luft, vatten, olja eller ånga som värmebärare. En mycket effektiv slamtorkning med hjälp av varmvatten används t.ex. i reningsverken Straubing och Backnang i Tyskland varifrån även mätdata har använts för jämförelse av skattade rejektflöden och energibehov. I båda system kan värmen från torkkondensatet och vattenanvändningen i torkningen integreras med andra värmebehov vid anläggningen (se 2.3) t.ex. genom användning av överskottsvärme/kylvärme från elgenererande gasmotor. Även värmeåtervinning från kondensat och skrubbevatten kan underlättas vid användning av vatten/vatten värmeväxlare. Om krav på produktionen av fordonsbränsle hindrar en användning av biogas som energikälla behöver andra resurseffektiva och klimatvänliga biobränslen användas.

En indirekt slamtorkning bör appliceras bl.a. för att undvika ammoniakutsläpp till atmosfären. Dagens torksystem levereras med en frånluftsrening med t.ex. skrubber som tar hand om eventuella föroreningar och gaser. Slutna torksystem bör tillämpas. Extra luft som behöver tas in i torkprocessen passerar en luftrening. Slamtransporten i själva torken bör ske under förhållanden som minimerar brandrisken och uppkomst av aerosoler utanför torkningsanläggningen. Detta genom användning av slutna processdelar och inertgas.

Produkten som tillverkas vid torkning bör kunna hanteras utan risk för dammbildning eller andra negativa effekter. Granulat eller pellets med en vätskehalt omkring 5 - 10% bör kunna tillverkas antingen i en kombinerad tork-pelletering eller via en separat efterbehandling.

Existerande byggnader för nuvarande slamtorkning, pelletering och säckning bör om möjligt användas för att ge en effektiv hantering av slam genom korta transportvägar. Ett fotavtryck på 20 x 20 x 6 m bör vara rimligt baserat på dimensionering av torkar med liknande kapacitet.

2.2 Lagring och utlämning av slam

Lagring av det avvattnade slammet bör ske i de befintliga slamsilorna. Även det torkade slammet kan mellanlagras i en eller två av de tre befintliga slamsilor före antingen hämtning eller säckning. Produktionen av torkat slam skattas ligga under 150 ton/vecka motsvarande 250 m³ vid > 600 kg/m³ och nuvarande slammängder. En lagringsvolym som kan lagra upp till minst en veckas produktion rekommenderas som säkerhet vid eventuella problem med hämtning.

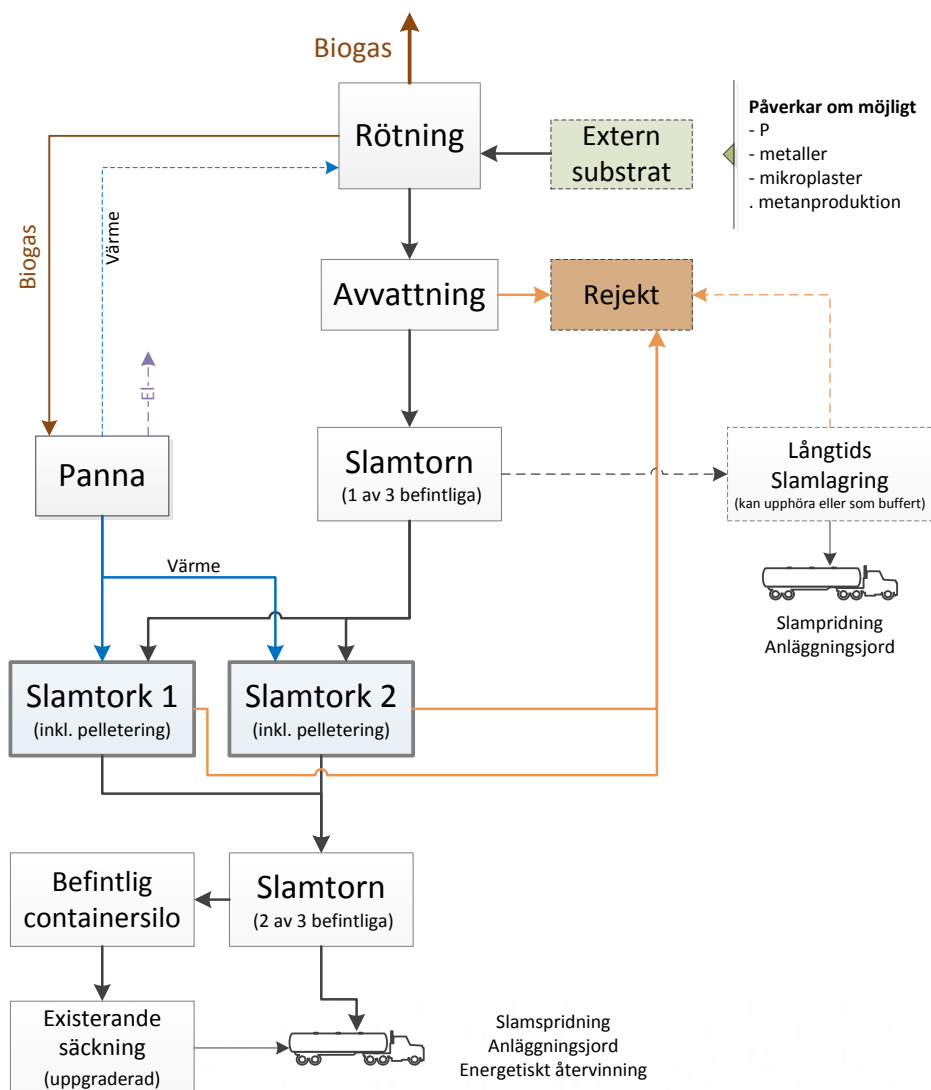
Brandrisken vid lagring av torkat slam behöver minimeras t.ex. genom inert gas (kvävgas). Många torkinstallationer har inbyggda säkerhetslösningar som inert transport m.m. för att förhindra band- och explosionsrisk. Bildning av damm utgör en av de största riskkällorna som vid användning av pelletering kan minskas. Lagring i utrymme med låg luftfuktighet behövs vid TS-halter >90% för att undvika återfuktning. Här bör t.ex. en övervakning av TS-halten av det torkade slammet tillämpas som dessutom minimerar risker med självantändning. En utökad säckning av torkat slam representerar ett bra alternativ och en uppgradering av säckningsanläggningen bör övervägas vid slamtorkning.

Utlämning sker direkt från slamsilo eller via lastning av säckar.

2.3 Integrering i reningsprocessen

Figur 1 visar hur en slamtork skulle kunna integreras vid Himmerfjärdsverket. Förslaget baseras på användning av egen biogas som energikälla till torkningen. Exemplet beskriver en slamtorkning med hjälp av vatten som värmemedium som produceras i befintliga biogaspannor som uppgraderas eller kompletteras med nya. Dessa använder sig av rågas och kan, om det anses som relevant, förses med en värme-/elkoppling för att utnyttja den producerade värmen maximalt och för att öka flexibiliteten för att producera olika energibärare från biogas. Ifall vatten ska användas som värmemedium vid torkningen så behöver det ha en temperatur på omkring 140 °C och ett flöde på omkring 140 m³/tim enligt skattningar för torkningsprocessen. Vattenkretsloppet skulle även kunna kopplas till den befintliga uppvärmningen av röt-kammarna och därmed ge synergieffekter. En integrering med och utökning av det befintliga värmesystemet skulle dessutom säkra värmebehovet oavsett om slamtorken är påslagen då endast mängd biogas för värmeproduktion påverkas. Rågas som inte används för uppvärmning bör då utnyttjas optimalt genom antingen uppgradering till fordonsbränsle eller en utökad elproduktion om denna möjlighet finns.

En eventuell omställning till termofil rötning skulle genom värmesystemet underlättas och mängden biogas som produceras ökas. Därmed kunde även den mängden biogas som används i biogaspanna/gasmotor och som därför inte står till förfogande för tillverkning av fordonsbränsle delvis kompenseras genom den ökande biogasproduktionen. Dessutom skulle slammängderna minska vid termofil rötning vilket även skulle leda till ett minskat energibehov vid torkning. En optimerad värmeåtervinning från kondensatet är en annan förutsättning för en resurseffektiv slamtorkning och är standard vid installation av torkapparater. Även vid användning av uppvärmd luft som energibärare vid torkning kan kondensatvärme integreras i Himmerfjärdsverkets varmvattenkretslopp.



Figur 1. Schematisk skiss över en möjlig integrering av slamtorkning (här med varmvatten).

Kondensvattnet som uppstår behöver tas hand om för att rena bort de höga ammoniumhalter som slamvattnet ger. Utifrån analyser av kondensat från den befintliga slamtorkningsprocessen och uppräknningar för torkning av allt slam bedöms ett extra rejektflöde på $< 5 \text{ m}^3/\text{tim}$ med en koncentration på upp till $1700 \text{ mg NH}_4\text{-N/L}$ uppstå. Detta skulle ge en extra belastning på rejektvattenbehandlingen på omkring maximal $200 \text{ kg NH}_4\text{-N/dygn}$. Detta är maxvärden som även bekräftas av fullskalereferensanläggningar och när belastningen räknas ut baserat på medelvärde för kvävekoncentrationer och TS-halter i slammat. Medelbelastningen om både kondensatet och skrubbevattnet räknas in bedöms hamna på $< 4 \text{ m}^3/\text{tim}$ med koncentrationer kring $1500 \text{ mg NH}_4\text{-N/L}$ vilket ger en extra belastning i medel på $70\text{-}150 \text{ kg NH}_4\text{-N/dygn}$. Den existerande rejektvattenbehandlingen kan redan i dagsläget endast behandla ett delflöde och skulle därmed inte kunna ta hand om denna extra belastning. Den nya rejektbehandlingen som är under uppförande är dock dimensionerad för att klara ett flöde av $35 \text{ m}^3/\text{h}$ med en koncentration på $1700 \text{ mg NH}_4\text{-N/L}$ och därmed en belastning på $1430 \text{ kg NH}_4\text{-N/dygn}$ vilket tillåter en hantering av den extra belastningen som skulle uppstå vid slamtorkning med god marginal. Hur kvävehalten i utgående vatten skulle kunna påverkas vid implementering av slamtorkningen är svårt att bedöma. Reningskraven för anläggningen påverkas dock inte då den extra belastningen från torkkondensatet kan tas hand om inom den befintliga processkapaciteten. Planerade dynamiska

simuleringar av anläggningen kan hjälpa att få bättre indikationer. Med en väl fungerande rejektivattenrening bör effekten på utgående koncentrationer dock vara hanterbar.

Även en utvinning av närsalter från kondensvattnet bör tittas närmare på. Beroende på renheten av processvattnet skulle t.ex. en möjlig indunstning/koncentrering av ammonium kunna ge en högvärdig gödselprodukt. Processenergin kunde fås genom att utnyttja lågvärdig spillvärme från värmekretsloppet.

2.4 Torkprodukt och närsaltsåterföring

Slamtorkningen ger en hygienisering av slammet som säkerställer att virus och patogener inkl. antibiotikaresistenta bakterier inte sprids i miljön vid vidareanvändning av slammet t.ex. för jordförbättring. Detta visar samtliga analyser som gjordes under åren 2012-2015 på torkat slam från den mindre torkanläggningen som varit i drift (Alcontrol 2017)). Som för andra hygieniseringsmetoder så gäller även här att en avdödning av antibiotikaresistenta bakterier inte kan garantera att inte gener för antibiotikaresistens sprids vidare i miljön. Slamtorkning behöver dock först bli godkänd som hygieniseringsmetod av tillsynsmyndigheten och en dialog med denna krävs i så fall. Den extra pastöriseringen av vissa externa substrat som krävs i dagsläget bör kunna avvecklas vid en hygienisering av hela slamflödet.

Torkprodukten bör i vanligt fall utgöras av lätthanterbara pellets med en totalvolym och -vikt som är avsevärt mindre än för det avvattnade slammet före torkningen. Även lukten av slammet reduceras av torkningssteget men beror på den ingående substratblandningen i slammet.

Slamtorkningen påverkar generellt inte halten av tungmetaller i slammet räknat på ton TS även om mängden per ton slam ökar. Tidigare analyser av torkad slam (TS = 94 %) vid Himmerfjärdsverket visade t.ex. en genomsnittlig kadmiumhalt på 0,8 mg/kg TS och kopparhalt på 300 mg/kg TS vid en fosforkoncentration på 29 000 mg/kg TS. Avvattnat slam (TS = 22 %, före torkningen) visade upp samma genomsnittshalter.

Slamtorkning påverkar inte fosforhalten i slammet vilket även slamanalyser vid anläggningen visar. Därmed kan samma återföringsmetoder som vid traditionell slamhantering brukas. Den minskade slamvolymen underlättar dock en slamgödsling då mindre volymer och lättare maskiner krävs vid transport, lagring och spridning. Dessutom minskar eventuella luktproblem vid dessa hanteringssteg. Även en förbränning av slammet med en påkopplad fosforutvinning eller återföring av askan är principiellt möjligt. En fosforutvinning från askan kräver dock antingen en monoförbränning av slammet eller en samförbränning med andra fosforrika substrat i en biopanna. Även om tekniker för en industriell tillämpning av fosforutvinning inte finns idag så pågår det mycket arbete kring detta och bl.a. så planerar Ragn-Sells redan för en svensk fabrik för att bearbeta cirka 30 000 ton aska per år.

Slamtorkning leder däremot till en minskning av totalmängden kväve i slammet genom att delar av det vattenlösta kvävet hamnar i kondensvattnet. Hur mycket av detta kväve som skulle ha kommit till nytta på åkermark vid slamgödsel är dock svårt att bedöma med tanke på att en del skulle omvandlas till lustgas redan vid lagring och spridning och andra delar skulle laka ut till yt- och grundvatten. Då det är troligt att det är just kvävet i slamvattnet som skulle ta dessa vägar vid slamspridning så kan omhändertagandet av denna kvävefraktion vid reningsverket under kontrollerade förhållande och med en garanterat rening anses som fördelaktigt. Kvävet i den fasta slamfraktionen kan däremot återföras vid markanvändning av det torkade slammet. Dessutom ökar den faktiska mängden totalkväve och ammonium i torkat slam jämfört med avvattnat slam från omkring 12 g TN/kg och 3 g NH₄-N/kg till omkring 46 g TN/kg och 5,7 g NH₄-N/kg. En

slamtorkning minskar vattenandelen i slammet och ökar därmed gödselvärdet per ton slam av torkat slam avsevärt jämfört med avvattat slam.

Metall/fosfor-kvoter påverkas inte av slamtorkningen då dessa räknas per TS.

Det bör noteras att den låga vattenhalten i torkat slam inte medför problem även vid t.ex. samförbränning med andra substrat där en hög vattenhalt kan vara önskvärd i vissa anläggningstyper kan på grund av processtekniska förutsättningar. I så fall kan den erforderliga vätskemängden tillsattas till processen. Samtidigt skulle en efterföljande slamförgasning gynnas av den höga TS-halten.

2.5 Miljöpåverkan

Slamtorkning är en extra process som innebär både en direkt och indirekt miljöpåverkan. Den direkta miljöpåverkan uppstår bl.a. genom den energiförbrukningen som torkningen kräver för att förångas bort vattnet från slammet. För torkning av avvattat slam med en TS på 25 % till en TS-halt på minst 90 % krävs i genomsnitt 0,85 – 1,2 kWh/L vatten som avlägsnas. Hur energin för detta produceras och hur effektivt denna energi utnyttjas och återvinns i processen bestämmer hur stor miljöpåverkan blir i form av koldioxidutsläpp vid energiproduktionen. Vid Syvab rekommenderas att egen biogas används som energikälla och därmed skulle inga direkta extra koldioxidutsläpp orsakas av torkningen. En användning av biogas innebär dock samtidigt att mindre biogas kan användas som fordonsbränsle som substituerar fossila drivmedel. Som en första scenarioanalys av koldioxidutsläpp (Baresel *m fl.*, 2016) visar så skulle bortfall av denna substitution kunna leda till en ökning av anläggningens totala koldioxidfotavtryck med mer än 10 %. Detta dock alltså framförallt genom en minskning av utsläppskompenserande produktion av fordonsbränsle. Dessutom räknas i ett sådant scenario inte gödselsubstitutionseffekt vid spridning av torkat slam med på samma sätt som för spridning av vanligt slam. Hur en omställning till termofil rötning skulle påverka utfallet har inte heller undersökts.

Ett optimalt utnyttjande av energin är det bästa sättet att minska miljöpåverkan. Detta kan ske genom strikta krav på energieffektivitet av slamtorken, en maximal värmeåtervinning från processluften och kondensatet samt en smart integrering av slamtorkningen med övriga anläggningsprocesser. Den beskrivna kopplingen till existerande gaspannor och uppvärmning av röt-kammarna är ett sätt.

Även föroreningar i kondensatet och processluften räknas till direkta miljöpåverkan. Kondensatet behandlas i rejektivattenprocessen och processluften i gasreningen. Båda processer innebär att emissioner till miljön undviks samtidigt som en indirekt miljöpåverkan uppstår genom själva energin och materialen som behövs i reningsprocesserna.

Slamtorkning leder även till en signifikant emissionsminskning då utsläpp av lustgas och metan från slamlagring och slamspridning i princip upphör. Även mängden slam som behöver transporteras från anläggningen kommer minska signifikant vid slamtorkning vilket kan ge en minskning av transportemissioner med en fjärdedel (Baresel *m fl.*, 2016). Dessutom krävs ingen extra lagring och relaterade transporter till sådana lager bortfaller därmed helt.

Till den indirekta miljöpåverkan räknas förstås även påverkan av material och energiförbrukning vid tillverkning av slamtorken samt gaspannor och andra installationer relaterat till slamtorkning.

Miljöpåverkan som uppstår vid användning av slam på åkermark eller som jordförbättring förblir för det mesta den samma som för liknande användning av avvattat slam dock med mindre

emissioner av växthusgaser och direkta utsläpp till vatten av föroreningar som avlägsnats med kondensatet vid torkningen. Föroreningar som via reningsverket har koncentrerats i avloppsslammet ombildas vid dessa användningar till diffusa föroreningskällor som kan påverka miljön på lång tid och som är nästintill omöjlig att åtgärda.

2.6 Arbetsmiljö

Möjliga arbetsmiljöproblem som orsakas av slamtorkningen bör kunna minimeras vid installation av slutna torkar och en anpassning av slamhanteringen relaterad till torkningen. Potentiella lukt- och aerosolproblem kan undvikas genom slutna system och luftreningen. Hanteringen av torkat slam kräver en anpassning av utrustningen för att undvika en förhöjd brandrisk. Dammbildning kan dock undvikas genom pelletering och en anpassad lagring. Även vid säckning bör inga nya moment uppstå. De arbetsmiljömässiga förändringar vid slamtorkning som redan har tillämpats vid Himmerfjärdsverket kommer förbättras avsevärt vid installation av en ny slamtork.

2.7 Ekonomi

En slamtorkning innebär en stor investering som bör ge kostnadsbesparing på andra utgifter. Detta även om olika krav på slamhanteringen i sig kan kräva en torkning (eller andra relevanta lösningar som uppfyller kraven) och återbetalningen av investeringen därmed inte bör hanteras som andra, mer ekonomiskt styrda investeringar. Förutom själva investeringen och drift av slamtorken så innebär torkning flera andra kostnader men även besparingar som listas i tabellen nedan. Även om kostnaderna baseras på referensanläggningar och anläggningspersonalens erfarenheter så bör de endast anses som indikativa.

Tabell 1. Skattade kostnader och besparingar vid slamtorkning.

Investeringar (skattade eller baserat på offerter)			
Slamtork inkl. pelletering (2 styck med 30% överkapacitet)			20 Mkr
Mark- och anläggningsarbete, anpassningar kring torken etc.			10 Mkr
Uppgradering/ny biogaspanna			2,5 Mkr
Uppgradering silo (vid behov)			0,25 Mkr
Uppgradering säckning (vid behov)			0,25 Mkr
	Delsumma investering		33 Mkr
Driftkostnader (3 scenarier)			
	1	2	3
Extra kväverening ¹	- Mkr	- Mkr	- Mkr
Extra drift tork/säckning (extra personal)	0,2 Mkr	0,2 Mkr	0,2 Mkr
Avsättning torkat slam (enligt dagens pris)	2,6 Mkr	0 Mkr	0 Mkr
Bortfall av pastörisering	-0,7 Mkr	-0,7 Mkr	-0,7 Mkr
Återanvändning av värme ²	- Mkr	- Mkr	- Mkr
Bortfall slamlagring/transport (enligt dagens pris)	-10 Mkr	-10 Mkr	-10 Mkr
Bortfall inkomst biogas ³	~5 Mkr	~5 Mkr	0 Mkr
	Delsumma drift		-10,5 Mkr
	-2,9 Mkr	-5,5 Mkr	-10,5 Mkr
	Skattad återbetalningstid		~3 år
	~11,5 år	~5,6 år	

¹ - Ingen extra kostnad antagen då den nya Demon anläggningen har kapacitet att ta emot den extra belastningen

² - Synergier med annat värmebehov vid anläggningen kan bli signifikanta men är svårt att skatta

³ - Vid skattade 1,5 m³ biogas till torkningen och nettovinst på 4,80 kr/m³ fordonsbränsle

Kostnadsskattningar tyder på en avbetalningstid på omkring 11 år om nuvarande avsättningspriser för avvattnat slam gäller även för torkat slam och inkomstbortfall från försäljning av den biogasen som krävs för torkningen tas med till dagens pris (scenario 1). Det bör dock

nämnas att det finns en del osäkra faktorer i denna beräkning som påverkar utfallet. Baserat på dimensioner av motsvarande fullskaleinstallationer vid andra anläggningar så har t.ex. ingen extra byggnadskostnad tagits med då slamtorken skulle kunna rymmas i befintliga byggnader. Besparingarna genom bortfall av pastöriseringen av viss extern material är svårt att skatta då denna hantering inte är ett frånkopplat processteg som lätt kan följas upp. Antagandet att samma avsättningspris gäller för det torkade slammet som för avvattnat slam kan också diskuteras. Då torkat slam kräver mindre transporter, lagringsutrymme och maskinutrustning vid spridning bör värdet för torkat slam vara avsevärt högre än för endast avvattnat slam. Detta visar även nuvarande återkoppling från de 200t slam som torkas vid anläggningen idag. Även slammets produktvärde ökar som visat i avsnitt 2.4. Ett mycket lägre avsättningspris, en avsättning utan kostnader eller som till och med inbringa en viss ersättning för produktionen av torkat slam bör inte uteslutas om slammet håller kvalitetskrav i förhandling med slamavsättningsföretag. Kostnader för Revaqadministrationen har antagits förbli samma för de olika scenarierna. Scenario 2 i Tabell 1 visar att en avsättning av torkat slam som varken ger merkostnader eller inkomster ger en mycket kortare återbetalningstid av torkinstallationen.

Som jämförelse kan en kostnad för handelsgödsel på i snitt 11 kr/kg N och 23 kr/kg P (inkl. transport) antas. Med en andel på omkring 27% N respektive 20% P per ton gödsel blir det omkring 300 kr/ton respektive 4600 kr/ton handelsgödsel. Himmerfjärdsverkets avvattnade slam innehåller mycket vatten (~76%) och jämfört med handelsgödsel låga halter av kväve (~11,5 g/kg TS) och fosfor (~30 g/kg TS). Detta ger ett teoretiskt värde för kväve på 30,5 kr/ton och för fosfor 165,5 kr/ton. Räknas in transporten så blir det tydligt varför reningsverken behöver betala för avsättningen av slammet som gödsel. En slamtorkning minskar vattenandelen och därmed ökar "slamvärdet" till 113 kr/ton med hänsyn till kväve och 621 kr/ton för fosfor. Värdet av slammet som gödsel ökar alltså. Dock krävs fortfarande en mångdubblad hantering av slamgödsel jämfört med handelsgödsel och kostnader för detta är svåra att bedöma. Ett slam som inte möter kvalitetskraven eller som p.g.a. andra hänsyn behöver avsättas på annat sätt (t.ex. förbränning) kan samtidigt innebära högre avsättningskostnader än idag, dock skulle detta även gälla slam som inte torkas. Utöver gödselvärdet har dock inte värdeminskningen orsakad av tungmetaller och andra föroreningar som finns i slammet räknats med. Dessa återförs till kretsloppet vid användning av slam som biogödsel eller jordförbättring och kan utgöra signifikanta diffusa föroreningskällor.

Bortfall av delar av försäljningen av fordonsbränsle uppstår om biogas används till torkningen. Även om andra energikällor används så innebär det en viss kostnad. Hur mycket biogas som krävs till torkningen beror dock på vilken teknisk lösning för torkningen som implementeras och hur den integreras i den övriga verksamheten (se 2.3). Kostnadsskattningen utgår dessutom från att all fordonsbränsle kan säljas. Med eventuella ändringar på marknaden kan en intern användning av biogas till energiproduktion vara mer fördelaktigt i framtiden än idag. Den minskade produktionen av biobränsle skulle även kunna kompenseras genom mottagning av mer externt substrat om sådan är tillgängligt.

Att en installation av slamtorkningen även skulle kunna ge möjlighet att erbjuda en hygieniserings- och förädlings tjänst som kan erbjudas till andra reningsverk för mottagning av avvattnat slam har inte tagits med i kostnadsberäkningen. En mottagning av externt slam bör dock vid införande av hygieniseringskrav och samtidig viljan att minska växthusgasutsläpp från slamlagringen kunna utgöra en inkomstkälla som kan korta ner återbetalningstiden av investeringen. Eventuella mertransporter vid slammottagning vägs upp av de minskade slamtransporterna från anläggningen vid införande av slamtorkning.

3 Slutsatser och rekommendationer

Att satsa på torkning av hela slamflödet vid Himmerfjärdsverket framstår som en resurseffektiv komplettering till Syvabs process. Bedömningen är att torkningen skulle ge en enklare och flexiblere slamhantering som bygger på kunskap med torkning som insamlats vid anläggningen och som kan utnyttja en del existerande infrastruktur. Slamtransporter och utsläpp från slamlagringen och spridning skulle kunna minska signifikant. Den ökade interna kvävebelastningen från torkkondensatet kan tas hand om när den nya rejektivattenbehandlingen är tagen i drift. Det ökade energibehovet för torkningen bör täckast genom egen biogas. Minskade substitutionsvinster som produktion av fordonsbränsle bör balanseras genom en utökning av samrötningen och ökad samordning mellan anläggningsinterna energiflöden. Denna aspekt framstår som den viktigaste som behöver detaljstuderas.

Följande för- och nackdelar av slamtorkning har identifierats och beskrivits i avsnitten ovan.

Tabell 2. Summering av för och nackdelar för slamtorkning.

Fördelar	Nackdelar
<ul style="list-style-type: none"> Minskade GHG-utsläpp från slamlagring och transport 	<ul style="list-style-type: none"> Kräver en utökad intern användning av biogas eller annan energikälla
<ul style="list-style-type: none"> Slamlagring faller bort 	<ul style="list-style-type: none"> Ökar N-belastningen på rejektivattenrening (eller annan omhändertagning/produktifiering krävs)
<ul style="list-style-type: none"> Minskade transporter/transportkostnader 	<ul style="list-style-type: none"> Kräver en investering
<ul style="list-style-type: none"> Ett högre produktvärde uppnås som kan öppna för minskade kvittblivningskostnader 	<ul style="list-style-type: none"> Kan öka den totala klimatpåverkan om substitution genom fordonsbränsle faller bort
<ul style="list-style-type: none"> En slamhygienisering kan åstadkommas 	
<ul style="list-style-type: none"> N och P mängden i slamprodukten och därmed gödselvärdet ökar räknat på ton slam 	
<ul style="list-style-type: none"> Mindre lukt 	
<ul style="list-style-type: none"> Enklare hantering/spridning av slutprodukten 	
<ul style="list-style-type: none"> Efterfrågan för torkat slam finns 	
<ul style="list-style-type: none"> Extra pastörisering av substrat faller bort 	
<ul style="list-style-type: none"> Kan bygga på bra erfarenheter 	
<ul style="list-style-type: none"> Torkning kan erbjudas till andra verk 	
<ul style="list-style-type: none"> Kan delvis använda existerande infrastruktur 	
<ul style="list-style-type: none"> Möjliggör en integrering med andra processdelar t.ex. varmvattenbehovet för slamrötning 	
<ul style="list-style-type: none"> Ett kontrollerat omhändertagandet av kväve i slamvatten kan åstadkommas 	
<ul style="list-style-type: none"> Öppnar för en termisk energiutvinning från slam 	
Påverkar inte slamkvaliteten med avseende av metallkoncentrationer eller metall/fosfor-kvoter	

Följande aspekter rekommenderas att de utredas eller beaktas i nästa led för en implementering av slamtorkning vid Himmerfjärdsverket.

- Som primär energikälla bör den egna biogasproduktionen väljas. En integrering med befintliga energibärare som varmvatten för uppvärmning av rötkammarna bör siktas på

för att åstadkomma en energieffektiv lösning. En närmare kartering av det faktiska energibehovet en slamtorkning skulle kräva en analys av hur en användning av biogas för att täcka detta behov påverkar anläggningens ekonomi (mindre fordonsbränsle), miljöpåverkan (substitution av fordonsbränsle, och alternativa energikällor till slamtorkning, etc.).

- Minst två parallella torklinjer bör ligga till grund för att uppnå både processflexibilitet och driftreduktion.
- En viss överkapacitet bör planeras in för att garantera en flexibilitet för en eventuell framtida ökning av slammängder pga. ökat samrötning. En högre kapacitet ger även möjlighet att erbjuda slamtorkningstjänsten till andra reningsverk som t.ex. Nynäshamn vilket kan öka intäkterna.
- Slamtorkning behöver bli godkänd som hygieniseringsmetod av tillsynsmyndigheten och en dialog med denna behöver etableras.
- En samförbränning i biopannor bör utredas med existerande (Telge energi) eller andra samarbetspartner (t.ex. Enköping energi) för optionen till en potentiell framtida P-utvinning från askan när slamkvalitetskriterierna blir omöjliga att uppfylla.
- En eventuell förgasning av det torkade slammet bör utredas för tillverkning av biokol.
- En maximal möjlig energiåtervinning från torkningsprocessen bör eftersträvas.
- Omtag för avsättning av torkat slam bör tas med förhandlingar om leverans till lantbrukare via organisation som Biorec eller Biotal för att sätta ett rättvist pris på slammet.
- En uppgradering av säckningen för att öka kapaciteten bör göras om merkostnaderna för säckningen kan tas in genom ett högre pris på produkten.
- En möjlig "alternativ hantering av torkkondensat" dvs. ej späda ut den koncentrerade N-NH₄-strömmen bör funderas på.
- Olika sätt att underlätta avvattning för att minska torkningsbehovet bör undersökas.
- Arbetet med att minska tungmetallinnehåll i slammet behöver fortsätta (separat fråga).

4 Referenser

Alcontrol 2017. Rapport analys/undersökning av salmonella torkat slam Syvab Himmerfjärdsverket. Rapport Nr 12299758, 13305422, 13074624, 14306261, 14076212 och 15087237, Alcontrol Laboratories, Linköping.

Baresel, C., Yang, J., Tjus, K. 2016. Klimatpåverkan från Syvab Himmerfjärdsverket - FoU-samarbete Syvab-IVL Delprojekt: Tillämpning och resultat av ett statistiskt klimatberäkningsverktyg år 2016. IVL Svenska Miljöinstitut, rapport B2270.



IVL Svenska Miljöinstitutet AB // Box 210 60 // 100 31 Stockholm
Tel 010-788 65 00 // Fax 010-788 65 90 // www.ivl.se