

SLAMAVATTNING MED KEMICOND® OCH HYDRAULISKA KOLVPRESSAR PÅ KÄPPALAVERKET

Sludge dewatering with Kemicond® and hydraulic filter presses at the Käppala WWTP

av ANDREAS THUNBERG
Käppalaförbundet, Box 3095, 181 03 Lidingö
e-post: andreas.thunberg@kappala.se



Abstract

At the Käppala wastewater treatment plant (WWTP) in Stockholm, a novel approach for dewatering of sewage sludge has been developed. As in many wastewater treatment plants the dewatering is a costly part of the treatment process. The sludge produced at the plant must be hauled to be used on farmlands and dewatering greatly reduces the volumes and transportation costs. By combining a potent chemical conditioning of the sludge, the so-called Kemicond® process, with a powerful mechanical dewatering, the HPS 5007 Bucher hydraulic filter press, the old belt filter presses have been replaced and the total solids (TS) concentration increased from 19% to 40%. Moreover, the conditioning also functions as a potent pathogen control and reduces foul smells such as ammonia and mercaptans. In this paper both full scale results as well as laboratory tests are presented and the economical aspects are discussed.

See also Thunberg (2010a,b) for previous papers on the same issue.

Key words – Kemicond, hydraulic filter press, sludge conditioning, pathogen control

Sammanfattning

På Käppalaverket i Stockholm har en ny slamavvattningsmetod utvecklats med mycket goda resultat avseende torrhalten (TS-halt) i slammet. Som för många andra reningsverk står omhändertagandet av det avvattnade slammet för en betydande andel av driftkostnaderna och genom att öka TS-halten i det avvattnade slammet kan kostnaderna reduceras. På Käppalaverket har en kraftig kemisk konditionering av slammet, Kemicond® processen, kombinerats med en ny typ av hydrauliska kolvpressar, Bucher HPS 5007, och ersatt de tidigare använda silbandspressarna. Metoden har ökat TS-halten i det avvattnade slammet från 19% till 40% sett som årsmedelvärde. Den kemiska konditioneringen medför att illaluktande substanser som ammoniak och merkaptaner reduceras och fungerar också som en hygienisering av slammet. I denna artikel redovisas resultat från laboratorieförsök och fullskaledrift tillsammans med de ekonomiska aspekterna kring metoden.

Se också Thunberg (2010a, b) för liknande artiklar.

Bakgrund

Ett genomgående problem vid avloppsvattenrening med aktivt slam är uppkomsten och hanteringen av det bildade slammet. Stora mängder biologiskt slam bildas i reningsprocessen och trots rötning och nedbrytning av slammet kan det vara mycket svårt att avvattna. På Käppalaverket är situationen inte annorlunda och trans-

porten av det avvattnade slammet står för en stor del av reningsverkets driftkostnader. I och med en framtida ökad belastning på reningsverket ökar antalet transporter och behovet av höga TS-halter blir än större. Det biologiska slammet innehåller en hög andel metaboliska produkter som polysackarider, proteiner och lipider vilka alla är kända för att försvåra avvattningen. Kemiska konditioneringsmetoder som tillsats av polyakrylamid,

järnklorid och kalciumoxid har länge använts för att förbättra slammets avvattningsegenskaper, men TS-halter högre än 30 % är relativt ovanliga. Sedan november 2008 har Käppala avvattnat sitt rötade slam med en ny metod där en kemisk slamkonditionering (Kemicond®) föregår en mekanisk avvattning med hydrauliska kolvpressar (Bucher HPS 5007). Metoden kombinerar en kemisk oxidation av slammet med en kraftig mekanisk avvattning vilket har resulterat i en dubbling av TS-halten från 19 % till 40 % som årsmedelvärde och med veckomedelvärden över 50 % vid enstaka tillfällen. Allt slam har behandlats med Kemicond sedan april 2006, men inte förrän november 2008 kompletterades metoden med de hydrauliska pressarna.

Käppalaverket renar avloppsvatten från 11 stockholmkommuner och är beläget längst ut på Lidingö. Reningsverket är placerat i berget och har en nominell kapacitet på 700 000 personekvivalenter (p e) (70 g BOD₇/person×dag). Den aktuella belastningen (2010) är ca 550 000 p e. Reningen innefattar mekanisk, biologisk och kemisk rening. Det biologiska reningssteget är en konventionell aktivslamprocess med fördenitrifikation och biologisk fosforering (bio-P) samt simultanfällning med tvåvärd järnsulfat. Endast en tredjedel av flödet behandlas med bio-P.

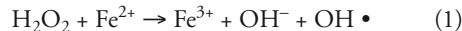
Primärslam rötas mesofilt i en separat rötkammare. Urtrötat slam från denna pumpas därefter till en annan rötkammare där även förtjockat överskottslam rötas. Anledningen till denna processutformning är för att motverka skumningsproblem som annars uppstår när färskt primärslam och bioslam samrötas. Den totala årliga slamproduktionen från rötkammarna är ca 320 000 m³ med en TS-halt på 3 %.

Teori

Slamkonditioneringen

När den tvåvärda järnsulfaten från simultanfällningen når de aeroba bassängerna oxideras järnet till trevärt. I rötkammarnas anaeroba miljö reduceras återigen järnet och fälls ut som tvåvärda järnsalter i form av hydroxider, fosfater och sulfider (Schaum m.fl., 2008). Vissa av dessa salter har en gelliknande struktur som kan försvåra den mekaniska avvattningen av slammet. Med den kemiska konditioneringen oxideras de tvåvärda salterna och trevärda utfällningar bildas samtidigt som slammet blir mer lättavvattnat. Konditioneringen består av tre steg; pH-sänkning, oxidation och flockning. pH-sänkningen utförs genom att tillsätta koncentrerad svavelsyra (94–97 %) tills det att ca pH 4 har uppnåtts. Vid detta pH-värde löses tvåvärda järnhydroxider, -fosfater och -sulfider upp. Eftersom alkaliniteten i det rötade slammet är hög avgår stora mängder koldioxid när pH-värdet

sänks. Delar av det organiska materialet i slammet löses också upp under pH-sänkningen (Nikolic m.fl. 2005). Efter pH-sänkningen utförs oxidationen genom att tillsätta väteperoxid (50 %). I närvaro av löst tvåvärt järn katalyseras då bildandet av hydroxylradikaler enligt Fenton's reaktion, se ekvation 1.

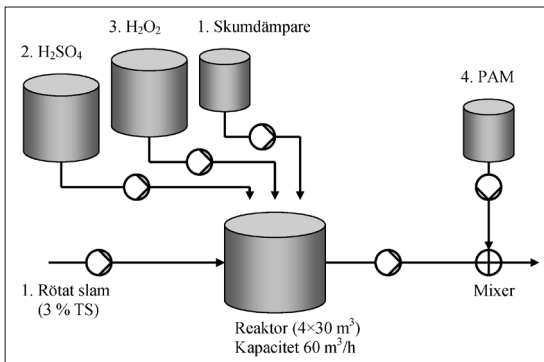


När mängden tvåvärt järn överskrider mängden väteperoxid tenderar reaktionen ha en koagulerande verkan (Schaum m.fl. 2008). Det lösta tvåvärda järnet oxideras till trevärt som fälls ut som järn(hydroxo)oxider vilket också medför att trevärd järnfosfat faller ut »in-situ» i slammet. Processen medför en flockning av slammet på mikroskopisk nivå och förbättrar dess avvattningsegenskaper. Tack vare hydroxylradikalens höga oxidationspotential (E° 2,80 V) skapas en kraftigt oxidativ miljö som bryter ned och förändrar organiska vattenhållande strukturer i slammet. Rötat avloppsslam innehåller stora mängder proteiner, polysackarider, nukleinsyror och lipider (Li och Gascarczyk, 1990). Substanserna härstammar till största delen från mikroorganismernas extracellulära polymera substanser (EPS) som är kända för sina vattenhållande egenskaper (Chen m.fl., 2001, Pike och Curds 1971, Houghton m.fl., 2001). Tack vare oxidationen kan EPS delvis brytas ned och avvattnings egenskaper förbättras. Rötat slam har vanligtvis en negativ nettoladdning. Genom konditioneringen förskjuts systemet mot sin isoelektriska punkt vilket ytterligare påverkar polyelektrolyter (som tex EPS) och försämrar deras löslighet. Slammets partikelstorlek förändras därmed genom att små partiklar binds samman till större vilket påverkar avvattningen positivt (Karr och Keinath, 1978) samt förbättrar rejektvattnets kvalitet avseende halten suspenderad substans (SS). En effekt av detta är också att behovet av polymer till flockning av slammet sjunker.

Oxidationen har också en hygieniserande verkan där patogena mikroorganismer som E.Coli och Salmonella oskadliggörs. Samtidigt oxideras illaluktande substanser som ammoniak, svavelväte och merkaptaner vilket förbättrar arbetsmiljön.

Konditioneringen på Käppalaverket – processchema

Den kemiska konditioneringen utförs i en batchprocess i fyra reaktorer på 30 m³ vardera. Efter den kemiska behandlingen pumpas slammet till mekanisk avvattning i hydrauliska kolvpressar (Bucher HPS 5007). I figur 1 illustreras processschemat för den kemiska konditioneringen. pH-sänkningen påbörjas direkt efter att slampumparna börjat fylla en reaktor genom dosering av svavelsyra. Doseringen avslutas när ett börvärde som

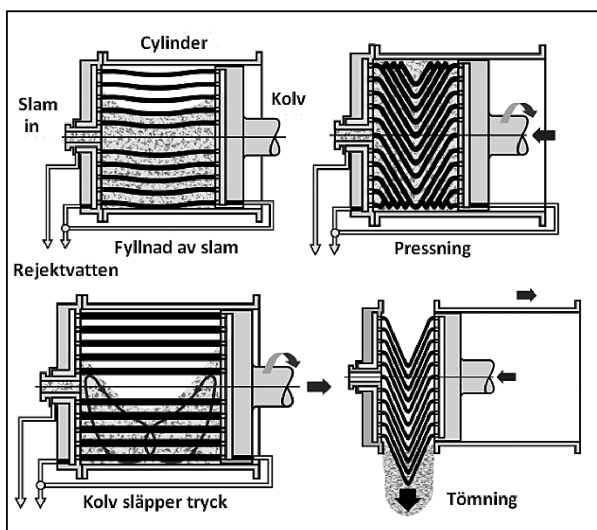


Figur 1. *Processchema kemicond. 1. Fyllnad av slam påbörjas och skumdämpare tillsätts. 2. Dosering av svavelsyra. 3. Dosering av väteperoxid. 4. Dosering av polymer (PAM).*

kg H_2SO_4 /ton TS är uppnått. Innan pH-sänkningen har också skumdämpare tillsatts för att motverka skumning när koldioxiden avgår. Efter pH-sänkningen genomförs oxidationen genom tillsats av väteperoxid. Slutligen tillsätts katjonisk polymer (PAM) innan slammet avvattnas i de mekaniska kolvpressarna.

Mekaniska avvattningen – hydrauliska kolvpressar

Flera typer av mekaniska avvattare har undersökts i kombination med slamkonditioneringen. Silbandspress, kammarfilterpress, centrifug, skruvpress och hydraulisk kolvpress har testats i pilotskala under 2006 och 2007.



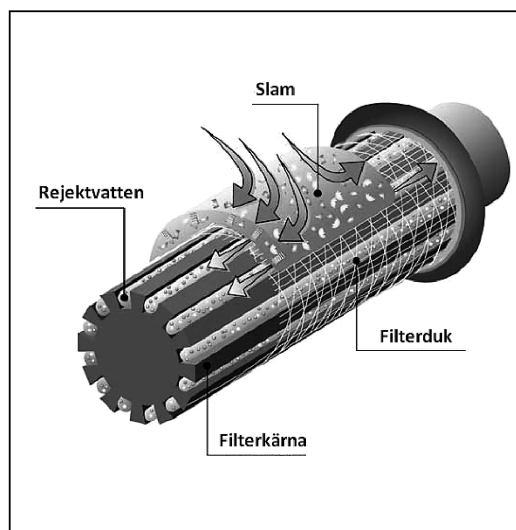
Figur 2. *Kolvpressarnas cykler; fyllnad, pressning och tömning. Till höger visas en filterslang i genomskärning.*

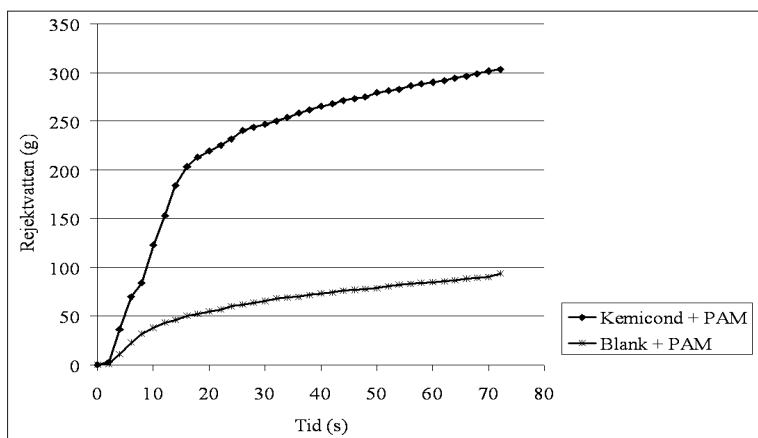
Den hydrauliska kolvpressen gav bäst resultat avseende TS-halten i det avvattnade slammet och SS-halten i rejecktvattnet. Fyra kolvpressar har därefter installerats och avvattnar nu allt slam som produceras på Käppalaverket. Kolvpressen består av en roterande kolv inuti. Inne i cylindern sitter 120 flexibla slangar med en perforerad yta. Avvattningen utförs batchvis genom att konditionerat slam pumpas in i cylindern varefter kolven trycksätter slammet och tvingar ut vattnet via de perforerade filterslangarna. Dessa har en kärna av polyuretan med räfflor i längdriktningen där rejecktvattnet leds ut. Kärnan är täckt av en finmaskig filterduk som filtrerar slammet. Figur 2 illustrerar kolvpressen och en tvärsnitt av filterslangarna. Här visas också pressens olika faser; fyllnad, pressning och tömning. Under fyllnadsfasen pumpas slam in i cylindern intermittent. Varje enskild fyllnad följs av en pressning med kolven vilket medför att ca 30 m^3 slam kan fyllas på under en batch, trots att cylinderns volym endast är 6 m^3 . Under pressningsfasen sker ingen fyllnad av slam mellan pressningarna vilket ger en kraftig ökning av TS-halten i slammet. När tillräcklig TS-halt är uppnådd töms allt slam momentant genom att cylindern öppnas upp.

Resultat och diskussion

Laboratorieförsök – filtrerbarhet

Ett sätt att illustrera effekten av den kemiska konditioneringen är att undersöka slammets filtrerbarhet. Genom att filtrera rötat slam samt kemiskt konditionerat





Figur 3. Filtreringsförsök med kemiskt konditionerat rötat slam samt obehandlat rötat slam.

rötat slam kan mängden rejecktvalet som avgår och filtreringshastigheten jämföras. I ett försök har 1 l prov av rötat slam (blankprov) samt konditionerat slam tagits ut och filtrerats genom en 0,37 µm filterduk (genomsläpplighet 1380 l×min×dm⁻²) med Büchnertratt. Rejecktvalet samlades upp i en bägare placerad på en våg varefter vikten lästes av varannan sekund under 60 sekunder. Katjonisk polymer tillsattes båda proven innan filtreringen till en koncentration på 5 g/kg TS. I Figur 3 visas resultaten. Efter 60 sekunder hade det konditionerade provet släppt 292 gram vatten och blankprovet 84 gram. Filtreringshastigheten, mätt som mängd vatten per tidsenhet, var under de första 20 sekunderna 11 ml/s för det konditionerade provet och 3 ml/s för blankprovet. SS-halten i rejecktvalet från blankprovet var 0,4 g/l och i det konditionerade provet 0,2 g/l. Resultaten från försöket visar tydligt hur slammets vattenhållande förmåga sänks och hur rejecktvalets kvalitet kan förbättras avseende SS-halten.

Laboratorieförsök – hygienisering

Det är väl känt att den mesofila rötningsprocessen inte är tillräcklig för att döda patogena mikroorganismer i slammet som Salmonella och E.Coli. Högre temperatu-

rer är nödvändiga för att säkerställa ett hygieniserat slam. En vanligt förekommande metod för hygienisering är termisk behandling vid 70°C med en uppehållstid på 1 timme. Käppalaverket har låtit undersöka slamkonditioneringens hygieniserande verkan genom att analysera rötat slam och konditionerat slam för ett antal mikroorganismer. För jämförelse har termisk behandling vid 70°C under 1 timme också utförts. I tabell 1 visas resultaten från ett sådant laboratorieförsök. Där framgår hur den kemiska behandlingen gav lika god hygieniserande effekt som den termiska behandlingen.

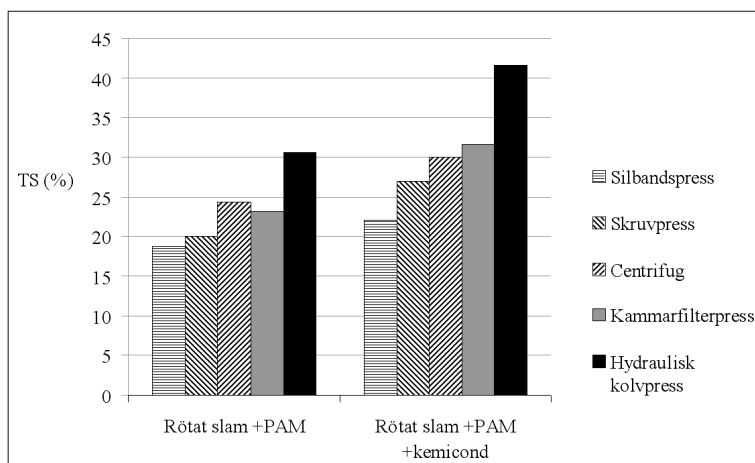
Pilotförsök med olika mekaniska avvattare

För att undersöka hur konditioneringen inverkar på olika typer av mekaniska avvattare har en rad pilotförsök utförts på Käppalaverket. Silbandspress, centrifug, kammarfilterpress, skruvpress samt hydraulisk kolvpress har testats dels med obehandlat rötat slam samt med konditionerat rötat slam. Figur 4 visar TS halten i det avvattade slammet från samtliga försök. Med silbandspressar uppnåddes endast 19 % TS med rötat slam. Med kemiskt konditionerat slam steg TS-halten till 22 %. Konditioneringen hade således endast en mindre inverkan på TS-halten. Dock ökade kapaciteten avseende

Tabell 1. Jämförelse mellan kemiskt konditionerat slam och termiskt behandlat slam som metod för hygienisering vid laboratorieförsök.

Bakterie	Rötat slam	Konditionerat rötat slam	Termiskt behandlat rötat slam (70°C, 1h)
Coliforma 37°C (cfu/ml)	63 000	< 10	< 10
Thermotoleranta coliforma (cfu/ml)	8 800	< 10	< 10
Escherichia Coli (cfu/ml)	7 100	< 10	< 10
Chlostridium Perfringens (cfu/ml)	112 000	55 000	198 000
Salmonella Enteritidis	Positivt	Negativt	Negativt
Salmonella Virchow	Positivt	Negativt	Negativt

Figur 4. Pilotförsök med olika typer av mekaniska avvattnare för undersökning av TS-halt. Både kemiskt konditionerat rötat slam samt obehandlat rötat slam undersöktes.



slamflödet med 85% samtidigt som polymerförbrukningen sänktes från 4 till 2 g/kg TS. Skruvpressen svarade bättre på konditioneringen med en ökning i TS halt från 20% till 27%. Centrifugen ökade från 24% till 30% och kammarfilterpressen från 23% till 32% TS. Bäst resultat både avseende obehandlat rötat slam och konditionerat rötat slam gav den hydrauliska kolvpressen som steg från 31% till 42%.

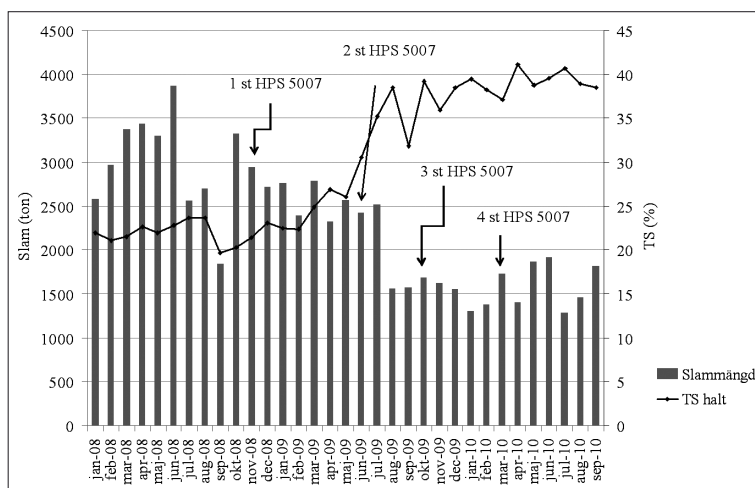
TS halt och rejektvattnets sammansättning – fullskaledrift

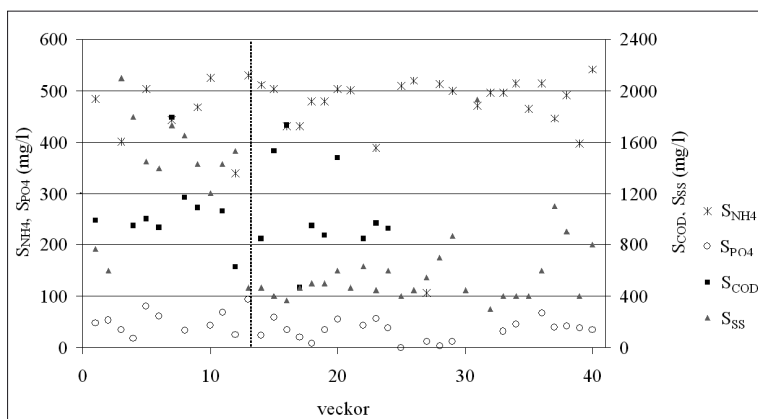
Den första kolvpressen installerades på Käppalaverket november 2008 och från och med mars 2010 har hela slamflödet avvattnats med kolvpressar efter den kemiska slamkonditioneringen. I Figur 5 framgår hur TS halten i det avvattnade slammet har ökat allteftersom de gamla

silbandspressarna har ersatts av hydrauliska kolvpressar. Med samtliga silbandspressar utbytta har TS halten dubblats från 19% till 40% och slammängderna som transporteras från reningsverket har halverats från ca 40 000 ton/år till 20 000 ton/år.

Ett problem som uppkommer vid all slamavvattning är hanteringen av det näringsrika rejektvattnet. Med rötat slam står denna sidostrom ofta för 10– 20% av reningsverkets totala kvävebelastning och även fosforns inverkan kan vara betydande. Eftersom den kemiska konditioneringen löser upp salter och andra substanser i slammet är det viktigt att rejektvattnets sammansättning noga övervakas. I Figur 6 redovisas hur koncentrationen av ammonium (S_{NH4}), fosfat (S_{PO4}), kemisk syreförbrukning (S_{COD}) samt SS-halt (S_{SS}) förändrades i samband med införandet av konditioneringen på Käppalaverket (den vertikala streckade linjen). S_{NH4} påverkades

Figur 5. TS halt hos det avvattnade slammet som transporteras från reningsverket samt slammängder månadsvis, januari 2008–september 2010. I figuren illustreras antalet kolvpressar i drift.





Figur 6. Sammansättning av rejecktvalet innan och efter införande av den kemiska konditioneringen.

inte nämnvärt av införandet och låg kvar vid 480 mg/l som medelvärde. S_{PO4} sjönk från 49 till 36 mg/l vilket sannolikt beror på återfällningen av fosfat från två- till trevärt järnfosfat som binder 50 % mer fosfat till varje järnjon. S_{COD} sjönk något från 1124 mg/l till 1023 mg/l vilket beror på den stora minskningen av S_{SS} från 1452 mg/l till 592 mg/l. Anledningen till att minskningen av S_{COD} inte korrelerar bättre till minskningen av S_{SS} beror på att organiskt och oorganiskt material löses upp och inverkar kraftigare på S_{COD} än S_{SS} .

Ekonomiska aspekter – fullskaledrift

Metoden innebär extra kostnader jämfört med konventionella avvattningsmetoder i och med kostnaderna för svavelsyra och väteperoxid. Eftersom slammet är rötat har det en hög alkalinitet vilket kräver stora mängder svavelsyra för att nå ned till erforderligt pH-värde. Mängden väteperoxid är betydligt lägre än svavelsyra vilket framgår av tabell 2 där genomsnittlig förbrukning av svavelsyra, väteperoxid, skumdämpare och katjonisk polymer redovisas. För att metoden ska vara ekonomiskt försvarbar måste de tillkommande kemikaliekostnaderna uppvägas av de minskade transportkostnaderna som en ökad TS halt innebär och hygieniseringen. I tabell 3 har metoden jämförts med en konventionell avvattningsmetod (centrifuger) och hygienisering med termofil rötning. Det framgår hur investeringskostnaden har

Tabell 2. Genomsnittlig kemikalieförbrukning för slamavattning med kemicond och hydrauliska kolpressar.

	H ₂ SO ₄	H ₂ O ₂	PAM	Skumdämpare
Förbrukning (g/kg TS)	234	27	5,2	2,2

varit betydande men att vinsten i driftkostnaderna uppväger denna post och en årlig besparing motsvarande 3,8 Mkr beräknas. Enligt leverantören av den kemiska processen (Kemira) finns nu denna tillgänglig som en containerlösning vilket sägs reducera investeringskostnaden för en motsvarande anläggning väsentligt.

Slutsatser

Genom att kombinera en kemisk slamkonditioneringsmetod med en ny typ av mekanisk kolpress har TS halten i Käppalaverkets avvattnade slam dubblats. Effekten av den kemiska konditioneringen beror av vilken sorts mekanisk avvattnare den kombineras med. Genom att testa konditioneringen med ett flertal olika typer av mekaniska avvattningsmaskiner har hydrauliska kolpressar fastställts som mest lämpade. Tack vare den starka oxidationen fungerar metoden också som hygienisering och har i laboratorieförsök gett lika god effekt som termisk behandling vid 70°C under 1 timme. Oxidationen medför också att illaluktande substanser som ammoniak, svavelväte och merkaptaner oxideras med förbättrad arbetsmiljö och minskad störning på omgiv-

Tabell 3. Ekonomisk jämförelse mellan kemicond med kolpressar och centrifuger med termofil rötning.

	Kemicond och kolpressar	Centrifuger och termofil rötning
Investeringskostnad (Mkr)	69	57
Kapitalkostnad (Mkr/år)	7,5	5,5
Driftkostnad (Mkr/år)	14,5	20,3
Årskostnad (Mkr/år)	22,0	25,8

ningar som följd. Metoden medför ökade kemikaliekostnader i och med att svavelsyra och väteperoxid förbrukas. Vid jämförelse med konventionella metoder för slamavvattning och hygienisering kan dock en årlig besparing motsvarande 3–4 Mkr ses.

Referenser

- Chen, Y., Yang, H., Gu, G. (2001). Effect of acid and surfactant treatment on activated sludge dewatering and settling. *Water Research*, Vol. 35, 2615–2620.
- Houghton, J. I., Quarmby, J. & Stephenson, T. (2001). Municipal wastewater sludge dewaterability and the presence of microbial extracellular polymer. *Water Science and Technology*, Vol. 44(2–3), 373–379.
- Karr, P. R. & Keinath, T. M. (1978). Influence of particle size on sludge dewaterability. *Journal of Water Pollution Control Federation*, Vol. 50, 1911–1930.
- Li, D.H. & Ganczarczyk, J. J. (1990). Structure of activated sludge flocs. *Biotechnology and Bioengineering*, Vol. 35(1), 57–65.
- Nikolic, A. & Karlsson, I. (2005). Evaluation and development of the Kemicond-process at Käppala wastewater treatment plant [online]. <http://www.kappala.se/admin/bildbank/uploads/Dokument/Processutveckling/Report.pdf> [accessed 2 August 2009].
- Pike, E. B. & Curds, C.R. (1971). The microbial ecology of activated sludge process. In *Microbial Aspects of Pollution*, eds Seyes G. & Skinner, F. A. S., pp 123–147. Academic Press, London
- Shcaum, C., Cornel, P., Faria, P., Recktemwald, M. & Norrlöv, O. (2008). Chemical Sludge Conditioning in Combination with Different Conventional and Alternative Dewatering Devices: Chamber Filter Press, Decanter and Bucher Press. *Journal of Environmental Science and Health*, Vol. 43(13) 1521–1527
- Thunberg, A. (2010a). Optimizing Sludge Dewatering by Using the KemiCond® Process with the Bucher Hydraulic Filter Press – Full Scale Experiences at Käppala WWTP. In proceedings of the *WEF Residuals and Biosolids 2010*. Savannah, USA.
- Thunberg, A. (2010b). Sludge Dewatering With The Kemicond Treatment and Bucher Presses. In proceedings of the *15th European Biosolids and Organic Resources Conference*. Leeds, UK.

