

# Miljöeffekter av polymerer inom biogasbranschen - Förstudie

Gunilla Henriksson  
Maria del Pilar Castillo  
Ignacy Jakubowicz  
Håkan Enocksson  
Johnny Ascue Contreras  
Per Lundgren  
Thomas Engström



# **Miljöeffekter av polymerer inom biogasbranschen - Förstudie**

## **Environmental effects of the use of polymers in the biogas industry – Pre study**

Gunilla Henriksson, Maria del Pilar Castillo, Ignacy Jakubowicz, Håkan  
Enocksson, Johnny Ascue Contreras, Per Lundgren och Thomas Engström

Projektnummer WR-33  
År: 2010

**WASTE REFINERY**  
SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut  
Box 857, 501 15 Borås  
[www.wasterefinery.se](http://www.wasterefinery.se)  
[wasterefinery@sp.se](mailto:wasterefinery@sp.se)  
ISSN 1654-4706



## Sammanfattning

Avfall Sveriges styrgrupp för certifieringssystem, SPCR 120 Biogödsel [1], har från biogasbranschen fått en förfrågan om det är tillåtet att använda sig av polymerer som process- eller tillsatsmedel i biogasprocessen. Ett krav utifrån certifieringssystemet är att process- och tillsatsmedel inte påverkar biogödselns eller markens kvaliténegativt. Då kunskaperna om miljöeffekterna av polymeranvändning är begränsade har denna förstudie initierats. Studien avses ligga till grund för ett beslut, gällande användningen av polymerer hos certifierade biogasanläggningar, av styrgruppen för certifiering av biogödsel och för livsmedelsindustrins godkännande.

Målet med denna förstudie är att skaffa sig grundläggande kunskaper kring de polymerer som används för avvattning samt att identifiera polymerkandidater och analysmetoder för vidare studier av nedbrytning, ackumulation och toxicitet. Projektet är avgränsat till att omfatta litteraturstudie, enkätundersökning avseende polymeranvändning på biogasanläggningar och avloppsreningsverk, konsekvensanalys avseende polymeranvändning på biogasanläggningar samt kontakt med myndigheter för efterforskning av lagar och direktiv. Inga laboratorie- eller fältförsök ingår i denna förstudie. Enkätundersökningen har inkluderat avloppsreningsverk då dessa har använt polymerer för avvattning under flera års tid och därför bör ha god kännedom om polymerer och deras miljöeffekter.

Resultaten från litteraturstudien visar att sidokedjorna i PAM kan brytas ner både aerobt och anaerobt. Huvudkedjan bryts däremot ner mycket långsamt eller inte alls i naturliga miljöer, vilket kan leda till ackumulation. Rapporterade effekter av PAM på biogasprocessen är motstridiga. Inhiberande effekter påvisas i en del studier medan andra visar motsatt resultat. Kunskaperna om vilka miljöeffekter som kan förväntas vid spridning av biogödsel eller avloppsslam innehållandes polymerer är begränsade. Myndigheterna har inte hanterat frågeställningen tidigare och har inga ytterligare kunskaper. Avloppsslam innehållandes polymerer har spridits på åkermark under flertalet år utan att några direkta negativa miljöeffekter i anslutning till detta har observerats. Dock har inte förekomsten av polymerer i marken eller effekten av polymererna i slammet studerats specifikt.

Om polymerer inte kan användas i biogasprocessen minskar möjligheterna att ta emot olika sorters substrat och optimera TS-halten hos dessa. För rötningsprocessen får en försämrad möjlighet att anpassa TS-halt och volym på det inkommande substratet en rad negativa konsekvenser.

Rekommendationen till certifieringssystemets styrgrupp för SPCR 120 Biogödsel är att inte ta några generella beslut i polymerfrågan utan hålla den öppen tills ytterligare forskning genomförs.

Förslag på fortsatt arbete är att utveckla analysmetoder för att kunna analysera polymerer i jord; att studera hur nedbrytning av polymerens grundstruktur sker i biogödsel och jordprover; att mäta förekomst och ackumulation av polymerer och polymerrester i ett pågående långtidsprojekt (*Slamspridning på åkermark*, Hushållningssällskapet Malmöhus) samt att studera effekten av PAM-egenskaper (laddning, molekylvikt, struktur) på flockstorlek, koltillgänglighet och biogasproduktion.

**Nyckelord:** polyelektrolyter, polyakrylamid, biogas, biogödsel, miljöeffekter, SPCR 120.

## Summary

Avfall Sverige –Swedish Waste Management’s Steering Group for certification of digestate [1] got an inquiry from the biogas industry if the use of polymers as additive in the biogas process is allowed. A requirement according to the certification system is that any additive used must be free from negative effects on the digestate or the soil quality. This study is initiated because of the limited knowledge of how the use of polymers affects the environment. The study is intended to be used as a basis for a decision by the Steering Group concerning the use of polymers in digestate and for an approval by the agri-food industry.

The purpose of this study is to gather basic knowledge on the polymers used in dewatering and to identify polymer candidates and analytical methods for further studies of degradation, accumulation and toxicity. The project is limited to include a literature review, a survey concerning the use of polymers at biogas and sewage treatment plants, an impact analysis and a compilation of relevant laws and directives through contacts with authorities. No laboratory or field tests are included in this study. Sewage treatment plants (STPs) were included in the survey as they have been using polymers for dewatering of sewage sludge for many years and therefore should have substantial knowledge about polymers and their environmental effects.

According to the literature, the side chains of polyacrylamide (PAM) can be degraded both aerobically and anaerobically. However, the polymer backbone degrades slowly or not at all in the environment, possibly leading to accumulation. Reported effects of PAM on the biogas process are conflicting, showing both inhibitory effects and no effects on the biogas process. Knowledge about the environmental impacts to be expected from spreading polymer amended bio-manure or sewage sludge is limited. The authorities have not handled the issue before and have no further information. Polymer amended sewage sludge has been spread on arable land over several years without the observation of any negative environmental effects. However, the occurrence of polymers in the soil or the effect of polymers in the bio-manure has not been specifically studied.

If polymers cannot be used in the biogas process the possibilities to accept different kinds of substrates and optimize the DS-content of these substrates will be limited. Also, the limited possibilities to adjust DS-content and volume of the substrate will have a number of negative consequences on the digestion process.

The recommendations for the Steering Group of the certification system *SPCR 120* is to not take any general decision about the use of polymers in the biogas process and to wait until further research has been performed.

Suggestions for further work is to develop analytical methods to analyze polymers in soil, study the degradation of the polymer structure in bio-manure and soil samples, measure the presence and accumulation of polymers and polymer residues in the pending long-term project *Spreading of sludge on agricultural soils* (Hushållningssällskapet Malmöhus) and to study the effect of PAM-properties (charge, molecular weight, structure) on the flock size, carbon availability and biogas production.

**Keywords:** polyelectrolyte, polyacrylamide, biogas, bio-fertilizer, environmental effects, SPCR 120.

## Innehållsförteckning

<b>1</b>	<b>INLEDNING</b>	<b>9</b>
1.1	PROBLEMDISKUSSION	9
1.2	PROBLEMFÖRMULERING	10
1.3	PROJEKTMÅL - FÖRSTUDIEN	11
1.4	AVGRÄNSNINGAR	11
<b>2</b>	<b>BAKGRUND</b>	<b>12</b>
<b>3</b>	<b>METODER</b>	<b>14</b>
<b>4</b>	<b>RESULTATREDOVISNING</b>	<b>15</b>
4.1	LITTERATURSTUDIE	15
4.2	MYNDIGHETER OCH LAGSTIFTNING	25
4.3	ENKÄTUNDERSÖKNING	28
4.4	KONSEKVENSANALYS	30
<b>5</b>	<b>RESULTATANALYS</b>	<b>34</b>
5.1	LITTERATURSTUDIE	34
5.2	MYNDIGHETER & LAGAR	35
5.3	ENKÄT	36
5.4	KONSEKVENSANALYS	36
5.5	SLUTLIGA POLYMERHALTER I BIOGÖDSEL	37
<b>6</b>	<b>SLUTSATS</b>	<b>39</b>
<b>7</b>	<b>REKOMMENDATION OCH ANVÄNDNING</b>	<b>40</b>
<b>8</b>	<b>LITTERATURREFERENSER</b>	<b>41</b>

## Bilagor

**POLYMERANVÄNDNING HOS BIOGASANLÄGGNINGAR OCH AVLOPPSRENINGSVÄRK – ENKÄT, BILAGA 1**

**ENKÄTSAMMANSTÄLLNING – BIOGASANLÄGGNINGAR, BILAGA 2**

**ENKÄTSAMMASTÄLLNING – AVLOPPSRENINGSVÄRK, BILAGA 3**

**MÄNGD POLYMER I BIOGÖDSEL OCH AVLOPPSSLAM, BILAGA 4**





# 1 Inledning

## 1.1 Problemdiskussion

Avfall Sveriges styrgrupp<sup>1</sup> för certifieringssystem, SPCR 120 Biogödsel [1], har från biogasbranschen fått en förfrågan om det är tillåtet att använda sig av polymerer som process- eller tillsatsmedel i biogasprocessen. Styrgruppen för certifieringssystemet har tills vidare sagt nej till användande av polymerer i biogasprocessen då de anser att kunskapen om polymerers påverkan på biogödselns kvalitet och miljöpåverkan vid spridning är relativt låg. Det efterfrågas således mer kunskaper inom området polymeranvändning i biogasprocessen. Styrgruppen vill få ökad kännedom om vilka sorters polymerer som kan användas i biogasprocessen och vilken eventuell miljöpåverkan polymeranvändning medför. Det är inte helt ovanligt att livsmedelstillverkare använder polymerer för avvattning av slam från livsmedelsavfall innan slammet transporteras vidare till en biogasanläggning för att rötas. Enligt certifieringssystemet, SPCR 120 Biogödsel, får processkemikalier som används inom biogasanläggningen inte påverka vare sig biogasprocessen, biogödselns eller markens kvalitet på ett negativt sätt. Det vill säga, en polymer (processkemikalie) som används inom systemet för biogasproduktion ska vara nedbrytbar i naturen, inte ackumulerbar och inte heller toxisk för växter eller djur. Det behövs helt enkelt mer kunskap kring vilka polymerer som är aktuella och vad de har för påverkan på biogödseln och marken där biogödsel sprids. Lantbrukaren som använder biogödsel som gödselmedel ska också kunna visa livsmedelsindustrierna att de produkter han/hon levererar är kvalitetsgodkända och inte medför någon negativ påverkan på miljön.

Biogasbranschen vill att styrgruppen ska godkänna polymerer som process- eller tillsatsmedel i biogasprocessen. Deras argument är att användande av polymerer kan leda till minskad miljöpåverkan, genom att färre transporter med biogödsel behövs, att polymer kan ge ökad gasproduktion samt att det kan finnas möjlighet att få avsättning av pelleterad biogödsel som skogsgödning.

Två specifika förfrågningar om huruvida polymerer kan godkännas som process- eller tillsatsmedel har inkommit till styrgruppen, dels från Söderåsens Biogenergi, biogasanläggningen i Wrams Gunnarstorp, och dels från Skellefteå biogasanläggning.

### **Wrams Gunnarstorp:**

Biogasanläggning i Wrams Gunnarstorp tar emot livsmedelsavfall från Findus i Bjuv. Livsmedelsavfallet kommer till biogasanläggningen i avvattnad form. För att få optimal hanteringsprocess på biogasanläggningen finns intresse för att även avvattna biogödseln. Målsättningen är att kunna certifiera sin biogödsel men då måste polymerer bli godkända enligt certifieringssystemet som processhjälpmedel [2].

<sup>1</sup> Certifieringssystemets styrgrupp består av följande personer: Ola Palm, JTI (ordf.); Mikael Pell, SLU (vice ordf.); Angelika Blom, Avfall Sverige (sekr.); Claes Bohlin, Hasselfors Garden; Ingemar Börjesson, Lantmännen; Helena Elmquist, Svenskt Sigill; Sunita Hallgren, LRF; Rut Björling, KRAV samt Erik Norin, Sweco. Adjungerande i styrgruppen är följande personer: Katarina Hansson, NSR; Per-Erik Persson, Vafab Miljö; Bo von Bahr, SP; Gunilla Henriksson, SP; Stig Widell, Jordbruksverket samt Catarina Östlund, Naturvårdsverket.

**Skellefteå:**

Biogasanläggningen i Skellefteå ligger långt från jordbruksmark och har därför problem med avsättning av sin biogödsel. Avståndet till jordbruksmark medför mycket långa transporter och spridning på jordbruksmark bedöms inte som tillämpningsbart. För att få avsättning för sin biogödsel vill biogasanläggningen dels kunna pelletera biogödseln, för att sedan kunna sprida den på produktiv mark som gödningsmedel och dels få biogödseln certifierad enligt Avfall Sveriges certifieringssystem SPCR 120 Biogödsel. Tekniken för torkning av biogödsel finns redan genom att Tuvans avloppsreningsverk i Skellefteå idag använder tekniken för avvattning, torkning och pelletering av avloppsslam. Torkanläggningen togs i drift under 2010 och i samband med detta ökade intresset för att sprida producerad pellets i skogsmark. Detta är ett steg i rätt riktning, om man ser till riksdagens miljömål gällande återföring av fosfor till produktiv mark. I dagsläget är dock spridning av pelleterat avloppsslam i skog ifrågasatt, inte minst av skogsvårdsstyrelsen bl.a. på grund av organiska föroreningar. Därför är det viktigt att en gång för alla klarlägga hur polymererna påverkar slamkvaliteten och vilka effekter de har på omgivande miljö [3].

Således vill de båda biogasanläggningarna ha möjlighet att använda polymerer för att öka halten torrsbstans (TS), dels på inkommande substrat och dels på utgående biogödsel.

Biogödsel har ofta en mycket låg TS-halt, runt 2-4 %. Detta innebär att det är mycket vatten som transporteras ut till lantbruken i samband med att biogödseln ska användas som gödselmedel. Transporterna medför miljöpåverkan i form av övergödning, försurning och ökade koldioxidutsläpp. Ett sätt att minska miljöpåverkan från transportsektorn är att avvattna biogödseln innan den transporteras ut till lantbrukaren. Avvattning (förtjockning) av slam kan ske genom tillsats av polymerer (t.ex. polyelektrolyter (PE)), varpå slampartiklarna agglomererar vilket underlättar avskiljningen av vatten.

Ett krav utifrån certifieringssystemet SPCR 120 är att polymererna inte påverkar biogasprocessen, biogödselns eller markens kvalitet på ett negativt sätt. Det finns dock uppgifter i litteraturen om att t.ex. polyakrylamider (PAM) bryts ner mycket långsamt eller inte alls i naturen, vilket är mycket negativt då det kan leda till ackumulering.

Det är således viktigt att så mycket information som möjligt, avseende eventuella miljöeffekter från polymeranvändning, kommer fram så att detta kan ligga till grund för ett beslut av styrgruppen för certifiering av biogödsel och för livsmedelsindustrins godkännande.

Idag produceras en stor mängd biogödsel i Sverige och mängden beräknas inom kort bli ännu större då flertalet nya anläggningar är planerade. Under 2009 producerades omkring 498 000 ton biogödsel. Av dessa återfördes 97 procent till lantbruket [4].

## 1.2 Problemformulering

Detta projekt är en förstudie där polymerers dokumenterade miljöeffekter ska utredas genom litteraturstudier och kontakt med myndigheter. Projektet innefattar också en

enkätundersökning för att få ökad kunskap om vilka polymerer som idag används för avvattning av slam/biogödsel i Sverige. Primärt syftar projektet till att ge styrgruppen för certifieringssystemet, SPCR 120 Biogödsel, underlag för att avgöra om det är tillåtet i enlighet med certifieringssystemet att använda polymerer i biogasprocessen eller ej. Kunskapen om vilka miljöeffekter som polymerer orsakar kan efter avslutad förstudie behöva utredas ytterligare genom analyser och laboratorieförsök där långtidseffekterna av polymeranvändning i biogasprocessen mäts.

Polymererna får inte påverka vare sig biogasprocessen, biogödselns eller markens kvalitet på ett negativt sätt. Det vill säga, en polymer som används inom ett system för biogasproduktion ska vara nedbrytbar, inte ackumulerbar och inte heller toxisk för växter eller djur. Det är därför nödvändigt att identifiera polymerer som inte har någon negativ påverkan på miljön och som kan användas inom biogasanläggningarnas systemområde, t.ex. vid avvattning av biogödsel eller för koncentrerings och vidare rötning av gödsel, samt vid avvattning av substrat från livsmedelsindustrin. Möjligt är att det finns behov av modifiering eller utveckling av nya polyelektrolyter som kan brytas ner i naturen. Projektet kommer att bidra till att öka kunskaperna om polymerer med avseende på nedbrytbarhet, ackumulation och toxicitet, samt vilka effekter de har på mark.

Projektet är tänkt att utföras i två etapper, en förstudie (denna studie, Etapp I) och en fortsättningsstudie (Etapp II). Polymerkunskap erhålls genom att studera lagstiftning, genomföra litteraturstudier och undersöka vilka olika slags polymerer som används idag. Användningsområden är avvattning av livsmedelsindustriavfall, processhjälpmedel inom biogasanläggningar eller avvattning av biogödsel. Lämpliga analysmetoder för nedbrytbarhet, ackumulation och toxicitet kommer att identifieras för att sedan kunna användas vid analyser i Etapp II.

### **1.3 Projektmål - förstudien**

Målet med Etapp I, denna förstudie, är att skaffa sig grundläggande kunskaper kring polymerer som används för avvattning samt identifiera polymerkandidater och analysmetoder för vidare studier i Etapp II.

Målet med Etapp II är att identifiera en eller flera väl fungerande polymer/er som kan användas inom ett system för biogasproduktion och som är nedbrytbara i naturen, inte ackumulerbara och inte toxiska för växter eller djur.

### **1.4 Avgränsningar**

Projektet är avgränsat till att omfatta litteraturstudie, enkätundersökning avseende polymeranvändning på biogasanläggningar och avloppsreningsverk, konsekvensanalys avseende polymeranvändning på biogasanläggningar samt kontakt med myndigheter för efterforskning av lagar och direktiv. Inga laboratorie- eller fältförsök ingår i denna förstudie.

## 2 Bakgrund

I tidigare studier vilka har syftat till att finna lösningar på kväverening av rejektivatten [5, 6] har det framkommit att enbart mekanisk avvattning av biogödsel inte har tillräckligt stor effekt för att tillgängliga tekniker på marknaden för kväverening ska kunna implementeras. En förutsättning i dessa studier har varit att biogödseln avvattnas med hjälp av någon polymer före det att rening av rejektivatten kan bli aktuellt.

Användning av polymerer på biogasanläggningar sker nästan uteslutande i samband med:

- Förtjockning av inkommande substrat
- Avvattning av rötat substrat
- Rejektivattenbehandling från substratavvattningen

De viktigaste anledningarna till att substratet förtjockas är att anpassa volymen för optimal transport till biogasanläggningen samt att anpassa volym och TS-halt på inkommande substrat till rötningen.

Avvattning av rötat substrat sker i syfte att anpassa volym och TS-halt för olika avsättningskrav. I samband med rejektivattenbehandling används polymer bland annat för att förbättra sedimenteringsegenskaperna i samband med slamavskiljning.

Det vanligaste och mest effektiva sättet att förtjocka substratet är med mekaniska förtjockare och avvattare. I vissa fall används även gravitationsförtjockare men dessa är normalt sett mindre effektiva. Tillsätts polymerer ökar kapaciteten och TS-halten, dessutom förbättras rejektivattnets kvalitet.

Labstudier har visat att ökad gasproduktion kan erhållas om polymerer tillsätts i biogasprocessen. Försöken har genomförts vid rötning av flytgödsel. För att erhålla ökad gasproduktion använder man sig av tvåstegsrötning där man kraftigt förlänger uppehållstiden för den svårömsättbara organiska delen av gödseln. Rötresten från första röttningssteget blandas med polymerer och fassepareras vilket medför att man ökar TS-halten. Fastfasen kalkas och rötas i en andra reaktor. Upphållstiden i efterröttningssteget kan mångfaldigas genom att TS-halten har ökat. Genom att koncentrera rötresten från första röttningssteget ökas tillgängligheten för nedbrytning av fibrer och detta kan utgöra en viktig del i att effektivisera rötningen av flytgödsel [7].

Att transportera oavvattnad biogödsel från biogasanläggningen till åkermark medför idag att mycket vatten transporteras på vägarna. Behovet av transporter och utsläppen från dessa kan minska om TS-halten i biogödseln ökar. Ytterligare utredning behövs för att kunna bedöma om användning av polymerer för avvattning är den rätta vägen att gå för att kunna minska miljöbelastning från transportsektorn. Här bör miljöeffekterna av polymeranvändning vägas mot miljöeffekter av transportsektorn.

Slam från avloppsreningsverk som avvattnats med hjälp av polymerer har länge spridits som gödningsmedel på åkermark. Då polymeranvändningen på avloppsreningsverk skett under lång tid bedöms reningsverken ha goda kunskaper om polymeranvändning och de har därför inkluderats i enkätundersökningen i detta projekt. Wahlberg och Paxéus (2003) har tidigare studerat polymerer och deras miljöpåverkan. De har tillsammans gett ut

VA-FORSK rapporten ”Miljöpåverkan av elektrolyter från användning vid reningsverk” [8]. Studien utgörs dels av en litteraturstudie och dels av ett långtidsförsök (sex månader) där polymerers nedbrytning i jord studeras. Resultatet från långtidsförsöket med nedbrytning i jord visar att polyakrylamiden PAM-PE<sup>2</sup> bryts ner mycket långsamt eller inte alls. Således finns det risk för att PAM-PE kommer att ackumuleras i jordar som slamgödslas. Vilka effekter som kan uppstå på sikt och som inte går att förutsäga i dag bör därför utredas vidare.

Hushållningssällskapet Malmöhus ansvarar för ett långtidsprojekt, *Slamspridning på åkermark* [9], där det under dokumenterade former spridits avloppsslam från avloppsreningsverk på åkermark. Projektet startade för 29 år sedan och fortgår än idag. Årligen har det gjorts mätningar på den slamgödslade jorden för att bland annat mäta förekomsten av tungmetaller i marken och grödans upptag av dessa. I studien framkommer det att markens biologi, mikrobiologi, mullhalt och bördighet påverkas positivt av slamspridning med avloppsslam. Inga mätningar har dock gjorts för att granska förekomsten av polymerer eller rester av dessa i åkermarken. Kontakt har tagits med Hushållningssällskapet Malmöhus, vilka ställer sig positiva till att bistå detta projekt och gärna ser att polymerfrågan utreds grundligt.

---

<sup>2</sup> PAM-PE är ett annat namn för polyakrylamid som kopolymeriserats med monomeren akryloyloxyetyltrimetylammoniumklorid (AETAC) se sidan 18.

### 3 Metoder

Projektet har bestått av olika delmoment, nedan redovisas metod för varje delmoment i löpande text.

1. Litteraturstudier för att erhålla kunskaper från tidigare studier, möjliga analysmetoder och annan nyttig information kring polymeranvändning har genomförts genom sökningar på Internet, besök på bibliotek och sökningar i databaser. Dessutom har aktörer/framtida projektpartner för Etapp II identifierats.
2. Kartläggning av lagar och andra krav för polymeranvändning genomfördes via kontakt med myndigheter, vilka har utfrågats avseende deras syn på polymeranvändning, risker och lagstiftning. Kartläggningen har skett via telefonintervjuer och förfrågningar via e-post till olika myndighetspersoner.
3. Enkätundersökning till avloppsreningsverk och till utvalda biogasanläggningar vilka idag använder polymerer i sin verksamhet. Syftet med enkätundersökningen var att få kunskap om nuläget för polymeranvändning på biogasanläggningar och avloppsreningsverk, deras syfte med polymeranvändning, vilka mängder samt vilken utrustning som används för exempelvis avvattning av biogödsel eller avloppsslam.
4. Konsekvensanalys med syfte att övergripande identifiera konsekvenserna på biogasanläggningars drift och funktion om polymerer inte kan användas i processen. Konsekvensanalysen skall ge en grundläggande förståelse för användning, funktion och behov av polymerer i biogasanläggningar. Konsekvensanalysen baserar sig dels på Läckeby Waters långa erfarenheter inom området och dels på verkliga fall från biogasanläggningar som medverkar i detta projekt.

## 4 Resultatredovisning

Resultat från projektets olika delmoment; litteraturstudien, kontakten med myndigheter, relevant lagstiftning, enkätundersökningen samt konsekvensanalysen, redovisas i detta kapitel.

### 4.1 Litteraturstudie

#### 4.1.1 Vad är polymerer och varför används de?

En polymer är en lång molekyl som består av en upprepning av någon eller några enkla grundbeståndsdelar (monomerer). Polymerer av typen polyelektrolyter (PE) tillsätts vid förtjockning och avvattnings av slam i syfte att agglomerera slampartiklarna och underlätta avskiljningen av vatten. Uppskattningsvis används årligen mellan 2000 och 2500 ton PE av VA-sektorn i Sverige, huvuddelen av dessa PE är polyakrylamider (PAM) [8]. Användningen av PE i biogasprocessen kan leda till problem. Kunskaperna är mycket begränsade m.a.p. vilken inverkan PAM har på biogödselns kvalitet, effekterna av spridning av PAM-behandlad biogödsel i miljön, påverkan på biogasprocessen samt potentiell ackumulering av PAM och/eller nedbrytningsprodukter i marken eller biogasreaktorer.

PE är vattenlösliga och främst syntetiskt framställda, även om några få biobaserade produkter förekommer. De viktigaste egenskaperna hos polymerer är molekylvikt (Mw) och laddningstäthet. Vanligtvis indelas polymerer efter Mw i låg, medium och hög Mw, motsvarande Mw-värdena  $<10^5$ ,  $10^5$ - $10^6$  och  $> 10^6$  [10]. Beroende på sidokedjornas laddning kan de också klassificeras som katjoniska (positiv laddning), anjoniska (negativ laddning) och nonjoniska (neutrala).

Polymerer och kopolymerer<sup>3</sup> som tillhör gruppen polyakrylamider (PAM) är mycket mångsidiga och används i en mängd olika områden som t ex klarning av dricksvatten, flockning för avloppsvattenrening, oljesanering, gödsling, jordbruk och biomedicinska tillämpningar [11].

Det finns dock farhågor gällande toxicitet och miljöpåverkan av PAM och detta har lett till en viss oro över vad som händer om polyakrylamider accepteras som säkra material. Denna oro uppkommer p.g.a. att AMD är klassat som ett neurotoxin och rör framförallt förekomsten av AMD-monomerer i polymerprodukten och eventuell bildning av AMD och andra gifter från nedbrytning av polymeren. Om huvudkedjan i PAM är stabil under en mycket lång tid, innebär detta även en ackumulering av polymerer i naturen vilket inte är önskvärt då effekterna är svåra att förutse.

Enligt Caulfield et al. [11] har också den nomenklatur som används för att namnge polymerer gett en viss förvirring i debatten. Polymerernas namn börjar med "poly" följt av monomerens namn från vilken polymeren härrör. T.ex. utgörs polyakrylamid av flera enheter av monomeren akrylamid. Detta kan vara lite missvisande när man värderar egenskaper utan att ta hänsyn till den kemiska karaktären av polymeren eftersom till

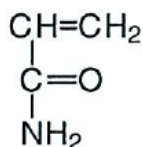
---

<sup>3</sup> Kopolymer är uppbyggd av olika grundbeståndsdelar (monomerer) till skillnad från en polymer som har byggts upp av en och samma grundbeståndsdel.

exempel monomeren har en dubbelbindning mellan två kolatomer, som inte förekommer i polymeren. Kemiskt har polymeren och monomeren mycket olika egenskaper [11].

#### 4.1.2 Akrylamid (AMD)

Akrylamid (AMD) är ett vitt, luktlöst, kristallint, fast ämne med smältpunkt på 84,5 °C. Den innehåller två funktionella grupper, en vinylgrupp med en dubbelbindning mellan två kolatomer och en amidgrupp (figur 1).

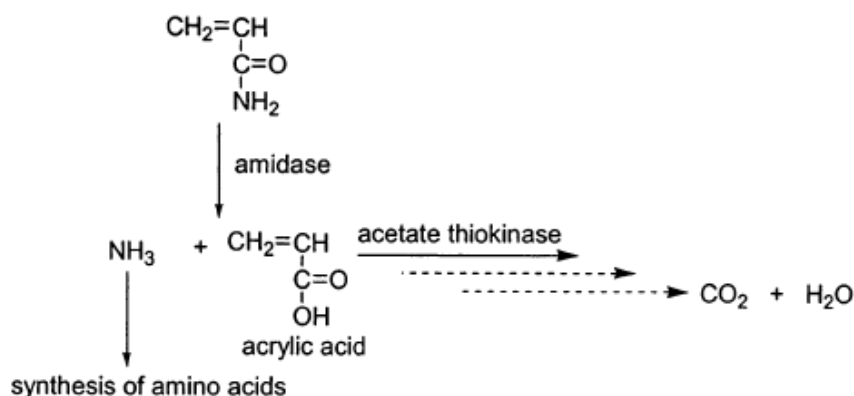


Figur 1. Akrylamidstruktur

Figure 1. Acrylamide structure

Akrylamid används i ett flertal industriella tillämpningar. Ca 90 % av all AMD används för framställning av polyakrylamid (PAM). Eftersom akrylamid är klassad som neurotoxin är den noggrant reglerad. I USA får halten AMD i PAM inte överskrida 0,05 vikts-%. Amerikanska "Food and Drug Administration" (FDA) har reglerat användning av polyakrylamid och akrylamid i kontakt med livsmedel. Enligt dessa regler får maximalt 10 mg polyakrylamid/l vatten användas i vatten som används för att skölja eller skala frukt och grönsaker [12].

Akrylamid är extremt vattenlöslig och kan lätt absorberas av en mängd olika mikroorganismer, såsom bakterier. När akrylamiden absorberas är enzymer involverade i dess omvandling till vatten, koldioxid, ammoniak och andra produkter. Shanker et al. [13] har visat att akrylamid kan fungera som enda kol- och kvävekälla för mikrobiell tillväxt. Shankers föreslagna väg för metabolismen av akrylamid i bakterier beskrivs i figur 2.



Figur 2. Bakteriell akrylamidnedbrytning enligt Shanker [13].

Figure 2. Bacterial degradation of acrylamide according Shanker [13].

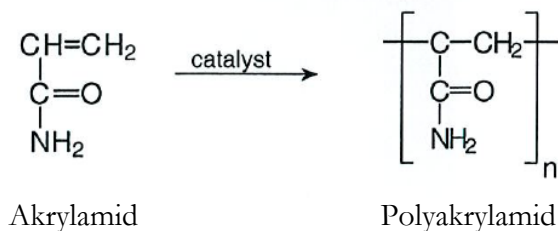


AMD bryts snabbt ner i biologiskt aktiva miljöer enligt flertal rapporter som Barvenik [14] refererar till. Enligt Sojka och Lentz [15] bryts AMD ner på några timmar i jord och vatten. Den viktigaste källan till förorening av dricksvatten med AMD är användningen av PAM som flockningsmedel innehållande rester av AMD-monomer. Enligt WHO [16] är maximalt tillåten mängd PAM 1 mg/l. Med en monomerhalt av 0,05 % ger det en maximal teoretisk koncentration av AMD av 0,5 µg/l vatten. Fältmätningar i USA och UK har visat att koncentrationen av AMD var <5 µg/l vatten i både älvar och dricksvatten i områden där PAM har använts.

I atmosfären reagerar AMD med fotokemiskt bildade hydroxyradikaler och har en uppskattad halveringstid på 6,6 timmar [17]. Enligt samma källa är bionedbrytning det främsta sättet som AMD avlägsnas på. Bionedbrytbarheten i jord under aeroba förhållanden är mellan 74 och 94 % efter 14 dagar. I vattendränkta jordar under anaeroba förhållanden ligger bionedbrytbarheten mellan 64 och 89 % efter samma period. Ett flertal mikroorganismer i vatten har identifierats som har förmågan att utnyttja kol och kväve i AMD. Till dessa hör *Arthrobacter* sp., *Nocardia rhodochrous*, *Bacillus spaericus*, *Pseudomonas putrefaciens*, och *Rhodococcus* sp.

#### 4.1.3 Polyakrylamider (PAM)

Polyakrylamider (PAM) produceras i allmänhet via friradikalpolymerisering av AMD med ett stort antal initieringsmetoder i vattenlösning eller dispersion. Detta ger en nonjonisk polymer eftersom AMD inte har några laddade sidokedjor, se figur 3.

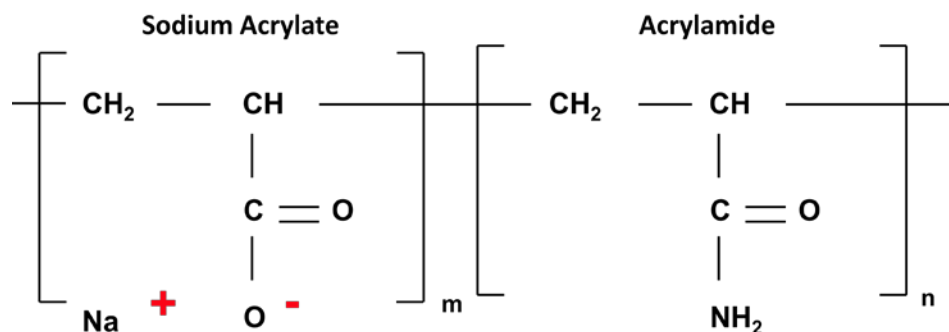


Figur 3. Nonjonisk polymer.

Figure 3. Non-ionic polymer

För att ändra de fysikaliska egenskaperna hos PAM modifieras de genom att kopolymerisera<sup>4</sup> AMD med en rad olika vinylmonomerer som redan bär en jonisk laddning. Till exempel ger sampolymerisering av akrylamid med natriumakrylat en anjonisk PAM som visas i figur 4.

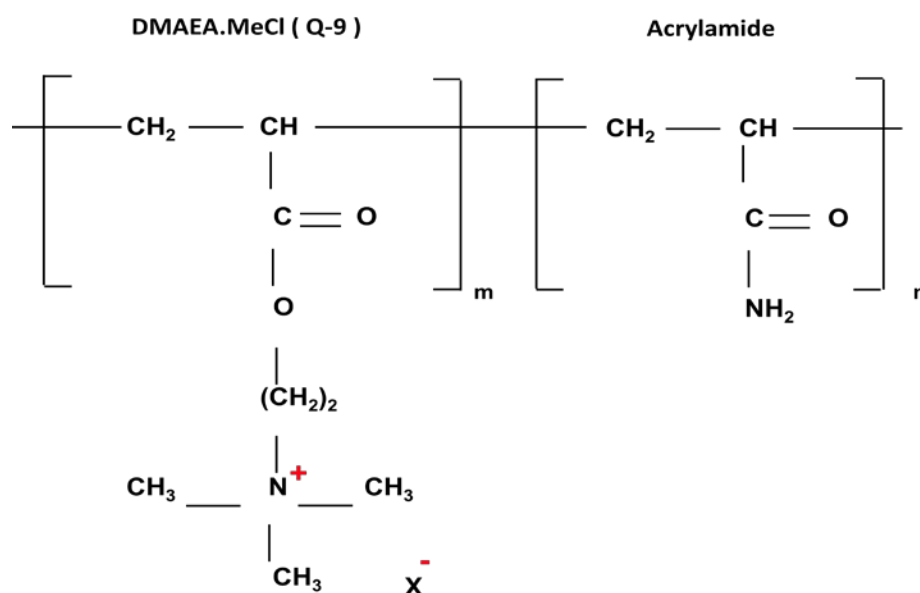
<sup>4</sup> Kopolymerisering innebär att man använder två eller flera olika monomerer som startmaterial i polymeriseringsreaktionen.



Figur 4. Anjonisk polyakrylamid. Kopolymerisering av natriumakrylat och AMD ger denna anjoniska polymer.

Figure 4. Anionic polyacrylamide. Copolymerisation of sodiumacrylate and AMD results in this anionic polymer.

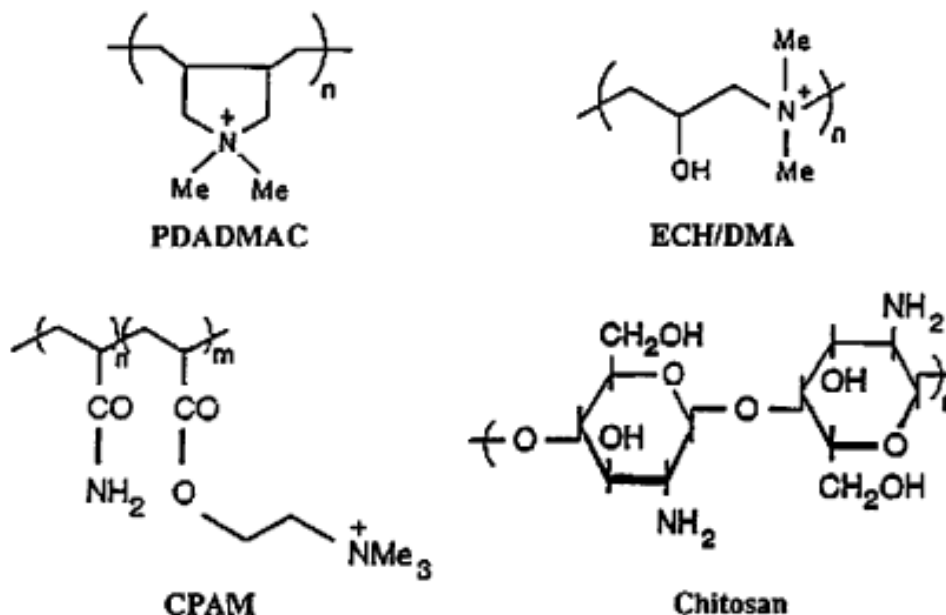
Kopolymerisering med amino-ester derivat av akrylsyra ger katjoniska PAM (figur 5). En mycket vanlig typ av amino-ester derivat av akrylsyra är dimetylaminoetylakrylat (DMAEA). Denna överförs ofta till en kvartenär form (för att behålla laddningen även vid höga pH) med MeCl som ger akryloyloxyetyltrimetylammoniumklorid (AETAC). Denna kan också betecknas DMAEA-Q, DMAEA-MeCl, Q-9 eller "ADAM" (figur 5) [18]. Den polymer som bildas vid kopolymerisering av AMD och DMAEA-MeCl kallas ofta PAM-PE [8] och är den mest använda polymeren i Sverige.



Figur 5. Katjonisk polyakrylamid. Kopolymerisering av DMAEA-MeCl och AMD ger den katjoniska polymeren PAM-PE.

Figure 5. Cationic polyacrylamide. Copolymerisation of DMAEA-MeCl and AMD results in the cationic polymer PAM-PE.

Utöver PAM finns det andra varianter av katjoniska polymerer tillgängliga som har granskats i detalj [10] (figur 6). Några naturliga produkter och deras derivat, såsom chitosan, används också inom vattenrening, dock inte så vanligt förekommande i Sverige [19].



Figur 6. Strukturer av de katjoniska polyelektrolyterna polydiallyldimetyl ammoniumklorid (PDADMAC), polymerer från epiklorhydrin och dimetylamin (ECH/DMA), en naturlig katjonisk polymer (chitosan) och katjoniska polyakrylamider (CPAM eller PAM-PE). Modifierad från Bolto, 2007 [10].

Figure 6. Structures from the cationic polyelectrolytics polydiallyldimethyl ammoniumchloride (PDADMAC), polymer from epichlorohydrine and dimethylamine (ECH/DMA), a natural cationic polymer (chitosan) and cationic polyacrylamides (CPAM eller PAM-PE). Modified from Bolto, 2007[10].

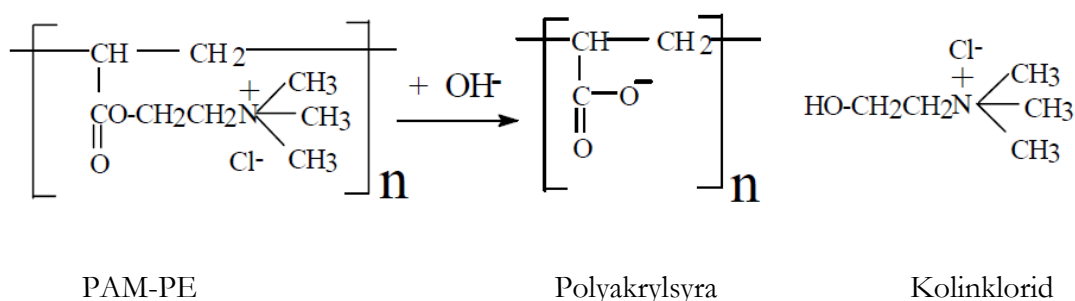
Som nämnts ovan fås PAM vid polymeriseringsprocessen av AMD och PAM har helt andra kemiska och biologiska egenskaper jämfört med monomeren. AMD är ett kemiskt mycket reaktivt ämne, främst på grund av att dubbelbindningen mellan kolatomerna kombineras med amidgruppen. Polymeriseringsprocessen som ger PAM eliminerar dubbelbindningen och därför är PAM förhållandevis kemiskt inerta under normala förhållanden.

#### 4.1.4 Nedbrytning av PAM

Nedbrytningen av PAM har grundligt granskats av Caulfield et al. (2002) [11] och kan ske genom flera processer:

- Termisk nedbrytning påverkas av faktorer som molekylvikt, kopolymerens sammansättning, syntesprocessen, syrehalt, förekomst av föroreningar, etc. Olika reaktioner, t.ex. bildning och nedbrytning av imider, kan ske beroende på temperaturen. Mer detaljerad information finns i Caulfield et al. (2002) [11].

- b) Fotonedbrytning av PAM är huvudsakligen en process med fria radikaler som kan leda till klyvning av polymerens grundstruktur, tvärbindingar, införande av nya funktionella grupper som omättnad och bildning av lågmolekylära produkter [11]. Dessa irreversibla förändringar svarar för den observerade förlusten av mekaniska och andra fysikaliska egenskaper hos polymeren. Närvaro av syre och föroreningar i systemet kan också ha en accelererande effekt på den observerade nedbrytningshastigheten [11].
- c) PAM kan brytas ner kemiskt och det finns gott om studier av detta. Till skillnad från AMD, är PAM inte känslig för nukleofila reaktioner med grundstrukturen eftersom den bara har en enkelbindning mellan kolatomerna [11]. Däremot kan PAMs amid- och estergrupper genomgå reaktioner som t.ex. hydrolys [8], [11] (figur 7).



Figur 7. Hydrolys av PAM-PE [8].

Figure 7. Hydrolysis of PAM-PE [8].

- d) Mekanisk nedbrytning förändrar polymerstrukturen irreversibelt och orsakas av kemiska reaktioner som initieras av tillförsel av mekanisk energi. Den mekaniska nedbrytningsprocessen kan underlättas genom en rad olika yttre stimuli eller genom direkt mekanisk belastning eller omrörning (fast fas). Tillräcklig energi kan överföras till polymerkedjan och ge klyvning av bindingar och bildning av fria radikaler. Dessa fria radikaler är mycket instabila och kan snabbt bli involverade i andra kemiska reaktioner [11].
- e) Biologisk nedbrytning kan ske i aeroba eller anaeroba system där PAM kan användas som källa för kol eller kväve. Biologisk nedbrytning av polymerer sker normalt i två steg. Det första steget omfattar en abiotisk process (utan mikroorganismer) som antingen leder till att sidokedjorna bryts ner och/eller att de långa polymerkedjorna bryts ner till molekyler med relativt låg molekylvikt. Den abiotiska nedbrytningen sker antingen genom hydrolys eller oxidation. I det andra steget sker mineralisering av dessa lågmolekylära nedbrytningsprodukter med hjälp av mikroorganismer.

#### 4.1.5 Aerob nedbrytning av PAM

Aerob nedbrytning av polymerer i jord och slam har rapporterats i flera studier. Wahlberg och Paxéus (2003) [8] undersökte nedbrytning av tre olika kemikalier, en katjonisk polymer, en anjonisk polymer och kolinklorid, i slam och jord. Nedbrytningen i slam av: a) en katjonisk polymer (Zetag 7652, PAM-PE) efter 28 dygn, uppgick till 8-9 % och denna polymer bedöms inte ha någon inneboende nedbrytbarhet; b) den anjoniska polymeren (Magnafloc 165) bröts ned 25 % under 28 dagar i slam och anses ha inneboende nedbrytbarhet; c) kolinklorid visade sig vara fullständigt nedbrytbar. Även studier i jord gjordes med hjälp av  $^{14}\text{C}$ -märkt katjonisk PAM-PE med märkningen antingen i metylkolen ( $^{14}\text{C}$ -A) eller i kolkedjan ( $^{14}\text{C}$ -B). Mineralisering var mellan 43-45 % för  $^{14}\text{C}$ -A och mindre än 0.5 % för  $^{14}\text{C}$ -B prover [8].

Mineraliseringen av PAM är låg. Exponering för UV-ljus kan dock enligt El-Mamouni et al (2002) [20] ge en ökad benägenhet för mikrobiell tillväxt p.g.a. en minskning i molekylvikt av nonjonisk polyakrylamid efter fotolys. Graden av mineralisering berodde på exponeringstid och den högsta nivån var ca 30 % efter 48 h. Minskningen i molekylvikt gjorde det möjligt för aeroba och anaeroba bakterier från avloppsreningsverk att absorbera de lågmolekylära oligomererna som ledde till ytterligare biologisk nedbrytning. De kunde dock inte observera att det bildats akrylamid efter fotolys av polymeren. I ett experiment av Kay-Shoemake et al. [21], där ett prov av anjonisk PAM utsattes för UV-strålning, kunde den resulterande polymeren inte stödja bakterietillväxt i jordprover berikade med anjonisk PAM. Författarna konstaterade också en minskning av molekylvikten hos polymeren, men den var inte tillräcklig för att polymeren skulle tjäna som enda kolkällan för bakterierna.

Nedbrytbarheten hos non-jonisk PAM studerades av Caulfield m.fl. [22] under olika betingelser såsom förhöjd temperatur, fluorescerande ljus (lysrör) och UV-bestrålning. Studien visade att PAM är stabil under bestrålning med fluorescerande ljus men delvis bryts ner under bestrålning med UV-ljus. Lagring i varmt vatten (95 °C) gav ingen detekterbar nedbrytning av huvudkedjan men en viss hydrolys av amidgrupper i sidokedjor kunde observeras. Ingen nedbrytning av PAM under inverkan av ogräsmedel och solljus konstaterades av Ver Vers [23]. Gröllmann och Schnabel [24] undersökte den oxidativa nedbrytningen av huvudkedjan i nonjonisk PAM initierad av OH-radikaler som angriper polymeren i en vattenlösning. Radikalerna producerades genom att bestråla utspädda polymerlösningar med högenergistrålning. Endast ca 1 % av OH-radikalerna initierade brott hos huvudkedjan. Nedbrytning av PAM kan också åstadkommas med hjälp av en lämplig katalysator. Liu med flera [25] har visat att  $\text{Fe(III)-SiO}_2$  fungerar utmärkt som katalysator vid fotooxidativ nedbrytning av nonjonisk PAM i vattenlösningar.

Nedbrytbarheten hos katjonisk PAM (NALCO-TROL II) i laborietester som simulerande naturliga miljöer studerades av Smith m.fl. [26] Exponering av PAM utfördes i destillerat vatten och i yt- och grundvatten vid temperatur som varierade mellan 20 och 33 °C och med ca 14 timmar solljus/dag i 6 veckor. Deras slutsats var att PAM kan brytas ner till akrylamid under dessa förhållanden. De använde mätningar av ammoniumkoncentrationen som ett mått på nedbrytbarhet hos PAM och/eller AMD. De visade att ammoniumkoncentrationen ökade när akrylamidkoncentrationen minskade.

I rapporteringen av fältförsök utförda i Södra Louisiana (USA) av Kornecki m.fl. [27] förklarades en del av resultaten med att anjoniska PAMs effektivitet blev hämmad av ett ovanligt torrt och varmt väder våren 2003. Författarna antyder att detta kunde vara

relaterad till nedbrytning av polymeren. Tidigare undersökningar har också antytt att både PAM och AMD bryts ner i jord och vatten. Båda är mottagliga för biologisk och fotokemisk nedbrytning i varierande grad. Dessutom kan polymeren brytas ner fysikaliskt genom mekaniska krafter i form av nötning, frys- och töjningscykler samt krympning och svällning av partiklar [14].

Katjoniska polymerer har visat sig ge upphov till stark lukt vid nedbrytning av sidokedjorna. Genom att tillsätta kalk till rötat slam innehållande olika katjoniska polymerer fick forskarna utsläpp av trimetylamin (TMA) [28]. Speciellt akrylamidbaserade polymerer utgjorde en dominerande källa till TMA-bildning. Det inledande esterhydrolyssteg verkar vara biologiskt betingat men den efterföljande omvandlingen till trimetylamin sker på grund av den alkaliska miljön.

Nakamiya et al (1997) [29] undersökte nedbrytningen av nonjonisk polyakrylamid med enzymer från bakterier. De konstaterade att det ligninnedbrytande enzymet hydrokinonperoxidase, från bakterien *Azotobacter beijerinckii* HM121, kunde bryta ned olika syntetiska polymerer inklusive polyakrylamider. Enzymextraktion och tillsättning av enzymet till polymerprovet kunde alltså övervinna begränsningen i upptag av högmolekylära polymerer i biologiska celler [11], [29].

Vad det gäller bildandet av AMD vid nedbrytningen av PAM så finns studier som rapporterar delvis motstridiga resultat. Calker-Scott [30] har rapporterat att PAM bryts ner till akrylamid och akrylat som anses vara en teratogen (ett kemiskt ämne som orsakar fosterskador). Smith E., et al [31] rapporterar att fri akrylamid bildas vid exponering av polyakrylamid för solljuset eller vid förhöjd temperatur medan Ver Vers [23] rapporterar att akrylamid inte bildas vid nedbrytning av PAM.

#### **4.1.6 Anaerob nedbrytning av PAM**

Det finns mycket lite information om polymerer och anaeroba processer. Schumann och Kunst [32] studerade bionedbrytbarhet hos både anjonisk och katjonisk  $^{14}\text{C}$ -märkt PAM i aktiverat slam. Resultatet från studien var att ingen av polymererna kunde brytas ner biologiskt varken under aeroba eller anaeroba förhållanden (endast ca 2 % av  $^{14}\text{C}$  var i gasfas). Det sättet på vilket polymererna var märkta begränsar den erhållna informationen till huvudkedjan.

Chang et al (2001) testade aerob och anaerob nedbrytning av en katjonisk polyakrylamid (PAM-PE, Percol 787 (även kallad Zetag 787), Ciba Geigy) [33]. De katjoniska funktionella grupperna frigjordes genom hydrolys och bröts delvis ned av både aeroba och anaeroba kulturer. Den återstående polyakrylamiden eller polyakrylatstrukturen förblev dock intakt [33].

#### **4.1.7 Effekt av polymerer på den anaeroba rötningsprocessen**

I litteraturen ges motstridiga uppgifter om flockningsmedlens inverkan på slamrötning. Gosset et al (1978) [34] rapporterade att nedbrytningsgraden sjönk vid användningen av för stora mängder organiskt fällningsmedel (Magnifloc 509-C, American Cyanamid Co, Wayne, NJ, USA, sannolikt en katjonisk polymer.).

I studier genomförda av Chu et al (2003) [35] om anaerob nedbrytning av polyelektrolytbehandlat slam konstaterades att tillsättning av katjoniska PAM (T-3052, Kai-Guan Inc., Taiwan) i höga doser (>15 g/kg DS) kan hämma nedbrytningens effektivitet påtagligt, förmodligen på grund av bildandet av större flockstorlek och begränsning av massutbyte.

Bolzonella et al (2005) [36] studerade påverkan av en katjonisk PAM (Praestol K233L, Stockhausen GmbH, Tyskland), på anaerob nedbrytning av aktiverat slam. Satsvisa och kontinuerliga processer kördes med ökande mängder av katjoniska PAM. Tillsättning av katjonisk PAM hade ingen signifikant påverkan på rötningens prestanda. Biogasproduktionen var nästan densamma för alla doser och ökade något med de högsta doserna, förmodligen p.g.a. biomassans anpassning och en viss biologisk nedbrytbarhet av flockningsmedlet. Å andra sidan observerades närvaro av de typiska funktionella grupperna hos PAM i reaktorns supernatant med spektrofotometrisk analys, detta talar mot nedbrytning. Författarna föreslog mer undersökningar för att verifiera det slutliga ödet för långlivade organiska föroreningar som polyakrylamid eller polyakrylat.

Tezel et al. [37] undersökte effekten av katjoniska (RS698) och anjoniska (RS460, R-Square Products Inc., Gainesville, GA, USA) PAM (enstaka eller i kombination) för anaerob nedbrytning av processvatten från fjäderfåhantering. Det visade sig att PAM (enstaka eller i kombination) inte hade någon negativ inverkan på processen.

Anjoniska PAM (Magnafloc LT27AG) kan användas som kvävekälla i N-begränsade miljöer (Haveroen et al (2005) [38]). Mikroorganismer från två avfallskällor, dels från bearbetning av oljesand och dels från inhemskt anaerobt avloppsslam, användes med bensoat eller acetat som kol- och energikällor. I varje ymp-substratkombination erhöles polyakrylamidstimulerad metangasproduktion, vilket tyder på att polyakrylamid kan stimulera mikrobiell aktivitet i anaeroba miljöer som är rika på fermenterbara kolkällor men saknar kvävekällor. Dessutom ändrade inte närvaron av PAM metanutbytet i någon av de ursprungliga anrikningsmikrokosmerna.

Campos et al (2008) [39] studerade nyligen rötning av den fasta fraktionen av svinflytgödsel som separerats med katjoniskt PAM vid olika doser, för att karaktärisera denna fasta fraktion och studera anaerob nedbrytbarhet och toxicitet av PAM. Syftet var att fastställa om polymeren eller dess eventuella nedbrytningsprodukter kan påverka anaeroba mikroorganismer under rötningprocessen av svingödselvatten. Anaerob toxicitet av PAM, eller av dess nedbrytningsprodukter, observerades inte för koncentrationer lägre än 415 g PAM/kg TS. Användningen av en PAM-koncentration högre än 12 g/kg TS hade två effekter: a) tre gånger högre torrsubstans i den fasta fasen, b) symptom på hämning av hydrolysfasen, troligen beroende på den starka kolloidala aggregeringen och hämning av det metanogena steget från fritt ammoniakkväve.

#### 4.1.8 Miljöeffekter vid användningen av PAM

I USA är användningen av anjoniska PAM mycket utbredd, bl.a. i behandlingen av dricksvatten, för avvattning av avloppsvatten och rötslam, tvätt av frukt och grönsaker, rening av juice och spad, i lim och papper som kommer i kontakt med livsmedel, förtjockning av djurfoder, i kosmetika, i papperstillverkning etc. Inga negativa effekter på vattenorganismer, marklevande organismer eller grödor finns dokumenterade när anjoniska PAM har använts i enlighet med gällande rekommendationer och regler [15].

Till skillnad från anjoniska PAM har katjoniska PAM visat sig ha en negativ effekt på vissa vattenorganismer, speciellt i rent vatten. Detta sker genom att katjoniska PAM inhiberar hemoglobinet i fiskgälar vilket leder till kvävning. Sojka och Lentz poängterar dock att denna effekt är mycket buffrad om katjoniska PAM används i förorenat vatten. Detta innebär att när man använder katjoniska PAM i förorenat vatten så neutraliserar föroreningarna laddningarna på PAM och på så sätt avtar den negativa effekten på vattenorganismer drastiskt [15]. Flera faktorer gör dock att den toxiska effekten snabbt avtar vid normal användning av katjonisk PAM [8].

#### 4.1.9 Analysmetoder

Aerob och anaerob bionedbrytning av flockningspolymer studerades av Chang med flera [33]. De använde Biochemical oxygen demand (BOD) mätningar vid utvärderingen av polymerens bionedbrytbarhet under aeroba förhållanden. Metoden finns beskriven i Standard Methods APHA (American Public Health Association). För att simulera en anaerob miljö använde Chang ”serum bottle test”. Ympen hämtades från en röt-kammare och själva testet genomfördes vid 35 °C.

Wahlberg och Paxéus [8] använde metoder enligt OECD 302 C, Modified MITI (II) (OECD Guidelines) för att bestämma den inherent aeroba bionedbrytbarheten hos PAM. Natriumbensoat användes som referens och nedbrytbarheten uppmättes som ackumulerad BOD (Biochemical Oxygen Demand). För att studera nedbrytbarhet i jord använde Wahlberg och Paxéus två typer av <sup>14</sup>C-märkta polymerer; en där den radioaktiva märkningen satt i sidokedjan, på metylkolen i den kvartära aminen och en som var märkt i huvudkedjan av PAM. Den eventuella bionedbrytbarheten detekterades som produktion av <sup>14</sup>CO<sub>2</sub> och <sup>14</sup>CH<sub>4</sub> kvantifierad genom vätskescintillationsmätning (LSC).

Scott med flera [40] studerade mekanisk nedbrytning av högmolekylära PAM (homo- och sampolymerer) under olika blandningsförhållanden. Minskningen i molekylvikten som orsakades av skjuvkrafterna bestämdes med Multiangle light scattering (MALS) metoden.

Nedbrytbarheten hos PAM under simulerad utomhusexponering studerades genom att bl a mäta mängden bildad akrylamid och ammonium [26]. Akrylamid analyserades med HPLC (high-performance liquid chromatography) med ett Perkin–Elmer instrument Series 2 vätskekromatograf (Norfolk, CT) med en Perkin–Elmer LC- 55 B spektrofotometrisk detektor. Ammonium analyserades kolorimetriskt (färgmätning) med Techicon Auto Analyzer.

Lanthong m.fl. [41] har demonstrerat användbarheten av FTIR (Fourier transform infrared spectroscopy) teknik för karaktärisering av nya syntetiserade sampolymerer. Många specifika toppar ger möjlighet att identifiera olika material. Till exempel indikerar toppar vid 3400, 1650, och 1600 cm<sup>-1</sup> en N–H sträckning, en C=O sträckning respektive en N–H böjningsvibration från amidgrupper, vilka är karaktäristiska för —CONH<sub>2</sub> gruppen i akrylamid. Ytterligare specifika toppar kan finnas vid 1411 cm<sup>-1</sup> för —C–N sträckning och en svag topp vid 765–710 cm<sup>-1</sup> för N–H ur plan böjningsvibration.



## 4.2 Myndigheter och lagstiftning

Genom intervjuer via telefonsamtal och e-post samt besök på myndigheternas hemsidor har information om deras syn på polymeranvändning inhämtats. Kontaktade myndighetspersoner fick besvara följande frågeställningar:

- Finns det lagstiftning som reglerar polymeranvändning på biologiska behandlingsanläggningar (biogasanläggningar eller avloppsreningsverk)?
- Har frågeställningen om polymeranvändningen varit uppe till diskussion tidigare?
- Har du/ni någon personlig åsikt om polymeranvändningen?

De myndigheter som kontaktades var; Kemikalieinspektionen, Livsmedelsverket, Naturvårdsverket, Jordbruksverket och Skogsstyrelsen.

### 4.2.1 Kemikalieinspektionen

Kemikalieinspektionen anser att de polymerer som är aktuella i detta sammanhang, för avvattnings av biogödsel, inte kan anses vara skadliga för levande organismer och miljö. Vidare anser kemikalieinspektionen att eftersom de aktuella polymererna är godkända för rening av dricksvatten kan de även användas i biogasprocessen. Gränsvärde för halten restmonomer av akrylamid i dricksvatten är 0,10 µg/l. Polymeren polyakrylamid räknas inte heller som något persistent ämne (långlivad organisk förening) och tas inte upp i människokroppen. Det är polyakrylamidens monomer, akrylamid som kan vara skadlig, cancerogen. Den har därför riskfrasen R45 vilket innebär att den är ett utfasningsämne [42]. Enligt Lund, Kemikalieinspektionen, har polymertillverkare successivt minskat halterna av fria monomerer i polymererna [42], [43].

### 4.2.2 Livsmedelsverket

I Livsmedelsverkets föreskrifter om dricksvatten [44] finns gränsvärden avseende akrylamid reglerade.

*5 § Dricksvatten får inte innehålla några ämnen som används vid beredning eller distribution av dricksvatten, eller föroreningar som har samband med sådana ämnen, i högre halter än som är nödvändigt för att tillgodose ändamålet med användningen.*

*Dricksvatten får inte heller innehålla material från installationer som används vid beredning eller distribution av dricksvatten, eller ämnen som har samband med sådana material, i högre halter än som är nödvändigt för att tillgodose ändamålet med användningen av materialen.*

I föreskriftens bilaga 1 ”Processkemikalier för beredning av dricksvatten” anges att för polyakrylamid som används för beredning av dricksvatten får den genomsnittliga doseringen inte överstiga 0,5 g/m<sup>3</sup> räknat som aktiv substans. Vidare får monomerhalten i polyakrylamid uppgå till maximalt 500 mg/kg.

Gränsvärde för när dricksvatten klassas som otjänligt avseende halten akrylamid finns angivet. Den beräknade mängden akrylamid i dricksvatten får inte överstiga 0,10 µg/l. Det

är halten restmonomer i dricksvatten som teoretiskt beräknas och anges som parametervärde.

### 4.2.3 Jordbruksverket

Jordbruksverket [45], [46] uppger att det inte finns någon specifik lagstiftning som reglerar vad gödsel får innehålla avseende polymerer. Däremot hänvisar de till att ”försiktighetsprincipen” i Miljöbalkens allmänna hänsynsregler [47] gäller.

*2 kap Miljöbalken*

*Om någon vill göra något, eller tänker göra något, som kan få inverkan på miljön eller på människors hälsa, ska de allmänna hänsynsreglerna följas om inte åtgärden är av försumbar betydelse med hänsyn till balkens mål. Syftet med reglerna är framför allt att förebygga negativa effekter och att miljöhänsynen i olika sammanhang ska öka.*

### 4.2.4 Naturvårdsverket

Naturvårdsverket uppger att de inte har någon kännedom om huruvida polymerer kan medföra några problem i biogasprocessen eller då biogödsel, alternativt avloppsslam, som innehåller polymerer sprids på marken [48].

### 4.2.5 Skogsstyrelsen

Skogsstyrelsen kan inte uttala sig om huruvida polymerer är skadliga för skogsmark eller inte. De saknar underlag för att uttala sig i frågan, skogsstyrelsen är dock mycket intresserade av att fortsätta studier inom området sker. Vid gödsling på skogsmark sker ingen omblandning, så som det gör vid spridning på jordbruksmark då gödseln plöjs ner i åkern. I stället läggs gödseln ovan mark och den hamnar i mårslagret, det översta lagret där organiskt material ansamlas. Att sprida pelleterad biogödsel på skogsmark är inget som har genomförts tidigare enligt Lomander på Skogsstyrelsen [49]. Lomander säger att spridning av biogödsel, vilken har sitt ursprung från matavfall, gödsel, livsmedelsavfall och slakteriavfall, är något som skogsstyrelsen kan se som positivt, men vill se vidare utredning inom området.

#### 4.2.6 REACH

Vid granskning av säkerhetsdatablad för några olika polymerer, vilka framkommit vid enkätundersökningen (se kapitel 4.3), anges att halten av akrylamid-monomeren ska vara  $\leq 2\%$ . Då halten av akrylamid understiger  $2\%$  är den undantagen från REACH<sup>5</sup>, en kemikalielagstiftning som gäller direkt i Sverige. Vid sökning på Kemikalieinspektionens hemsida om polymerer finns följande avsnitt i REACH som handlar om polymerer och huruvida de ska registreras eller ej [50].

Polymerer är undantagna från registrering enligt artikel 2. 9 i Reach-förordningen. Enligt artikel 6.3 måste emellertid monomerer och andra ämnen, som inte redan har registrerats av en aktör i distributionskedjan, registreras om de uppfyller båda dessa krav:

1. Polymeren består av minst 2 viktprocent sådan monomer eller andra ämnen i form av monomeriska enheter och kemiskt bundna ämnen.
2. Den totala mängden av sådana monomerer eller andra ämnen i bunden eller obunden form uppgår till minst 1 ton per år.

I Reach-förordningen definieras polymer i artikel 3.5 och monomer i artikel 3.6.

Kommissionen kan också enligt artikel 138.2 i Reach-förordningen komma att lägga fram lagförslag med krav på registrering av polymerer när ett praktiskt och kostnadseffektivt sätt kan etableras för att välja ut polymerer för registrering och som grundar sig på tekniska och vetenskapliga kriterier. Detaljerade riktlinjer och praktiska exempel finns i ”Vägledningen om monomerer och polymerer”.

---

<sup>5</sup> REACH är en kemikalielagstiftning som ersätter stora delar av de kemikalie regler som gällde före den 1 juni 2007 i EU och i Sverige. Reglerna finns i en EG-förordning och ska därför tillämpas direkt av företagen, utan att översättas i svenska regler. Reach står för Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals. På svenska: Registrering, utvärdering, godkännande och begränsning av kemikalier. Förordningen trädde i kraft inom hela EU den 1 juni 2007, men bestämmelserna i Reach börjar gälla stegvis.

### 4.3 Enkätundersökning

Enkäten skickades ut till ca 50 polymeranvändare, både biogasanläggningar och avloppsreningsverk. De flesta av enkäterna skickades ut till avloppsreningsverk då dessa är stora användare av polymerer. Svarefrekvensen vid enkätundersökningen var mycket låg, totalt har tolv svar kommit in där tre kom från biogasanläggningar och nio från avloppsreningsverk. Resultaten från enkätundersökningen redovisas nedan i löpande text samt i tabellform, sammanställning av svar från biogasanläggningar i bilaga 2 och från avloppsreningsverk i bilaga 3.

#### 4.3.1 Polymeranvändningen på biogasanläggningar

Två av de tre biogasanläggningarna som besvarat enkätundersökningen anger att de använder sig av polymerer för att avvattna biogödsel. Den tredje biogasanläggning tar emot livsmedelsavfall som när det anländer till biogasanläggningen redan är avvattnat med hjälp av polymerer, därefter avvattnas substratet ytterligare med hjälp av polymerer innan substratet går in i biogasreaktorn.

Två anläggningar använder katjoniska polymerer och en anläggning använder anjoniska polymerer. Ingen av de svarande anläggningarna använder några metallsalter i biogasprocessen. Dock har en av anläggningarna uppgett att de tidigare använde sig av Ekofloc 91 (polyaluminiumhydroxiklorid).

Biogasanläggningarna som besvarat enkätundersökningen anger att polymeren ska användas för att koncentrera torrsbstans (TS), suspenderat material (SS), fosfor (P) samt kväve (N) i fastfasen. Förutom dessa användningsområden anger en av de svarande anläggningarna att en önskvärd egenskap hos polymeren är att den ska kunna fälla grönsaksslam.

Enligt enkätundersökningen används följande kriterier när en polymer ska införskaffas till biogasanläggning:

- ”Polymeren ska ge tillräcklig TS-halt på slammet och bra suspension på rejektet samtidigt som det ska vara ekonomisk att använda den.”
- ”Att den ska bilda stora och starka flockar som går att separera”

Två av biogasanläggningarna anger att de inte vet vad som händer med polymeren i biogasprocessen. En biogasanläggning uppger att polymeren tillsätts efter rötningen och att den till viss del bryts ned i biogödsellagret.

Biogasanläggningarna som svarat på enkätundersökningen har angett vilken sorts polymer/polymerer som används vid deras biogasproduktion. Totalt används fyra olika sorters polymerer på de tre biogasanläggningarna, tre av dessa polymerer är katjoniska och en är anjonisk. De avvattningsutrustningar som används vid anläggningarna är skruvavvattnare, dekantercentrifug och silbandsavvattnare. I bilaga 2 redovisas en sammanställning över biogasanläggningarnas svar från enkätundersökningen.

### 4.3.2 Polymeranvändningen på avloppsreningsverk

Avloppsreningsverken som svarat på enkäten uppger att de använder polymerer för avvattning av slam. Ett reningsverk har angett att de tar emot substrat vilket innehåller polymerer när det kommer till reningsverket och ytterligare ett reningsverk anger att polymer används till förfällning i en försedimenterare.

Två avloppsreningsverk använder sig av både katjoniska och anjoniska polymerer, resterande sju reningsverk använder sig endast av katjoniska polymerer. Inget av de svarande reningsverken använder oladdade eller andra sorters polymerer till exempel stärkelsebaserade. Alla reningsverk som svarat på enkäten är överens om att polymererna som de använder är effektiva och de labbtestar alltid polymererna före inköp.

Två av reningsverken uppger att de förutom att rena avloppsvatten även tar emot substrat från livsmedelsindustrin vilket de samrötar med avloppslammet i sin biogasprocess.

Avloppsreningsverken som besvarat enkätundersökningen uppger att polymererna ska användas för att koncentrera torrsbstans (TS), suspenderat material (SS), fosfor (P) samt kväve (N) i fastfasen. Förutom ovan nämnda egenskaper hos polymererna anger avloppsreningsverken att önskvärda egenskaper hos polymererna är:

- Pulverform, granulat, gärna lättnedbrytbar och ej toxisk
- Miljöriktig
- Säker/lätthanterlig ur arbetsmiljösynpunkt
- Bra effekt
- Billig, effektiv, ska innehålla låga halter av tungmetaller

De kriterier som används när en polymer ska införskaffas till ett avloppsreningsverk är enligt enkätundersökningen:

- Låg monomerhalt, max 0,1 %.
- Separering av lösta ämnen som N och K.
- Helst förnyelsebar råvara till polymeren.
- Funktion: skall ge hög TS med minsta möjliga dos.
- Bästa möjliga (med acceptabel funktion) ur miljösynpunkt.
- Bra effekt med så lite polymerer som möjligt.
- Billig, effektiv, innehålla låga halter av tungmetaller.
- Pris efter upphandling.
- Fullskalekörning ger bäst pris/kg avskilt slam
- Skall ge tillräcklig TS-halt på slammet och bra susp på rejektet samt vara ekonomisk att använda.

Ett reningsverk uppger att de tror att polymeren bryts ner i biogasprocessen. Övriga åtta reningsverk anger att de inte har någon kunskap om vad som sker med polymeren i biogasprocessen.

Åtta reningsverk har angett vilka sorters polymerer som används vid respektive reningsverk, totalt används 15 olika sorters polymerer vid dessa åtta reningsverk. Övervägande är det katjoniska polymerer som används (11 st) medan ett reningsverk angett att de använder anjonisk polymer och tre reningsverk ej angett vilken laddning polymeren har. Två reningsverk har uppgett att de använder samma polymer, ”Zetag 8165” de övriga reningsverken använder olika sorters polymerer. Den avvattningsutrustning som används tillsammans med polymeranvändningen är centrifug, silbandsavvattare, bandförtjockare och skruvavvattare. I bilaga 3 redovisas en sammanställning över avloppsreningsverkens svar från enkätundersökningen.

## 4.4 Konsekvensanalys

Konsekvensanalys för polymeranvändning på rötningsanläggningar har utförts av Håkan Enocksson på Läckeby Water/Purac. Enocksson har stor kunskap om hur en biogasanläggning ska optimeras för att erhålla en god kvalitet på biogas och biogödsel samt drift och underhåll med god ekonomi.

### 4.4.1 Anpassning av substrat för rötningsprocessen

En biogasanläggnings funktion och ekonomi är mycket beroende av vilka substrat som rötas och under vilka förutsättningar som den rötade biogödseln kommer till användning. De flesta biogasanläggningar är därför anpassade att kunna ta emot flera typer av organiska substrat.

Exempel på inkommande substrat till biogasanläggningar är:

- Källsorterat matavfall
- Livsmedelsavfall från livsmedelsproduktion
- Grödor odlade för tillverkning av biobränsle
- Slakteriavfall
- Gödsel

Karaktären på dessa substrat är mycket olika och kan även variera kraftigt i mängd beroende på tillgång och leveranssätt. Det ställs därför krav på flexibilitet hos anläggningarna. De ska kunna ta emot och förbehandla de olika substraten så att en homogen massa erhålls innan rötning och biogasproduktion.

Två huvudparametrar för en väl fungerande rötningsprocess och gasproduktion är uppehållstiden samt TS/VS-belastning för röt-kammaren. Båda parametrarna är beroende av att flödet, det inkommande blandade substratet, håller så konstant TS-halt som möjligt. Optimalt är om två substrat kan blandas och på så vis få önskad TS-halt för rötning. Om denna möjlighet inte finns måste substrat med låg TS-halt (t.ex. slurry från förbehandling av matavfall) förtjockas innan rötning. Motsatt behöver substrat med hög TS-halt spädas före rötning.

En annan viktig faktor är materialets transportbarhet (pumpar, transportskruvar etc.) vilket också ställer krav på substratets TS-halt. Ytterligare en anledning till att behöva anpassa TS-halten är specifika förbehandlingsbehov av substraten. Vid sandavskiljning i cykloner krävs till exempel att substratet spädas före cyklonerna för att sedan förtjockas före rötningsprocessen.

#### 4.4.2 Anpassning av rötat substrat för optimal avsättning

Avsättningen för det rötade substratet är av stor betydelse för biogasanläggningarnas ekonomi. Stora krav finns på att kunna anpassa biogödseln efter slutanvändarens behov.

Normalt sett sker avvattning i syfte att separera det rötade substratet i en gödselfraktion och en vätskefraktion. Detta ger en koncentring av N och P i gödselfraktionen. Vätskefraktionen kan användas för spädning av inkommande substrat vid behov. Alternativt måste det renas innan utsläpp till recipient.

Önskad effekt för avvattningen av biogödsel, avseende volym och TS-halt, måste anpassas efter slutanvändarens behov gällande:

- Transportkostnader
- Spridningsteknik

I vissa fall sker ytterligare en separering av vätskefraktionen för att erhålla t.ex. N- och P-koncentrat. Exempel på sådana tekniker är ammoniakstripping och ultrafiltrering. Vid användandet av dessa tekniker är det av stor vikt med en väl fungerande mekanisk förseparering av substratet.

Utöver olika aspekter kring transporter av substrat finns det andra problemområden kopplade till hanteringen av oavvattnad biogödsel, t.ex. behov av omrörning i lager och igensättning av rörledningar, spridarutrustning etc.

#### 4.4.3 Referensanläggningar och deras behov

Förutom konsekvensanalysen ovan, beskrivs två verkliga fallbeskrivningar, en för Söderåsens Biogasanläggning och bioslam från Findus [2], samt en för Skellefteå Biogasanläggning och Tuvans avloppsreningsverk [3].

##### **Söderåsens biogasanläggning och bioslam från Findus**

Söderåsens biogasanläggning tar emot substrat från Findus i form av avvattnat livsmedelsavfall som levereras från Findus reningsverk. Livsmedelsavfallet från Findus reningsverk består av bioslam från livsmedelsindustri vilket produceras i två parallella aktivslamanläggningar med ytluftare.

Den största belastning på reningsverket är under ärtsäsongen, från mitten av juni till slutet september, eller vad skördeperioden medger. Därefter minskar belastningen något fram till december månad då spenat, morot etc. processas i fabriken. Under januari till maj är belastningen som lägst och då används endast en av de två aktivslamanläggningarna.

Under ärtsäsongen avvattnas bioslammet kontinuerligt i Findus egna slamavvattningsutrustningar till ca 14-15 % TS. Bioslammet körs sedan i containrar till biogasanläggningarna i Wrams Gunnarstorp och Falkenberg. Efter ärtsäsongen avvattnas bioslammet endast under dagtid och vid behov. Ytterligare sker pumpning av bioslam till Söderåsens biogasanläggning från en så kallad slamsilo med ca 2,5 % TS. Pumpning av bioslam sker hela tiden parallellt med avvattning på reningsverket.

Vid avvattningen på Findus reningsverk används järnklorid och katjonisk polymer (Zetag 8140). Vid svåravvattnat eller åldrat bioslam tillsätts också Magnafloc LT32, detta sker dock endast vid några få tillfällen. Förbrukningen av polymer (Zetag 8140) är ca 1-1,2 kg/ton TS. Den totala mängd avvattnat 14-15%-igt slam är 3680 ton/år för 2008.

När bioslammet (2,5 % TS) kommer till Söderåsens biogasanläggning avvattnas det på ett viraband till ca 7-8 % TS och då framförallt med hjälp av Magnafloc LT32. Vid vissa perioder tillsätts också en flytande katjonisk polymer, Zetag XT 60. Förbrukningen är 10-12 kg/ton TS av Magnafloc LT32 och 2-2,3 kg/ton TS av Zetag XT 60. Den totala mängd bioslam som har avvattnas på Söderåsens Biogas är ca 360 ton TS under år 2008.

Efter inblandning av övriga substrat (bl.a. gödsel) fås en total polymerhalt på 1,2 kg polymer/ton TS i den substratblandning som går in i rötkammaren.

Vid ansökan av certifiering av biogödsel från Söderåsens Biogasanläggning enligt SPCR 120 godkändes inte biogödseln eftersom polymerer användes vid anläggningen. Dock hade certifieringsorganet inga synpunkter på det bioslam vilket avvattnats vid Findus reningsverk och transporteras direkt till biogasanläggningen<sup>6</sup>. Slammet som avvattnas på biogasanläggningen innehåller lägre halter polymer då avvattningen endast sker till ca 7-10 % TS mot ca 15 % TS på reningsverket [2].

Således råder det en viss förvirring hos både Söderåsens biogasanläggning och livsmedelsproducenten Findus, detta eftersom det är accepterat att ta emot substrat till biogasanläggningen vilket har avvattnats med hjälp av polymerer innan det anlände till biogasanläggningen. Samtidigt är det inte godkänt att använda polymerer för att höja TS-halten som processhjälpmedel efter att substratet anlant till biogasanläggningen. Söderåsens biogasanläggning strävar efter att kunna certifiera sin biogödsel, detta efterfrågas även av de lantbrukare som tar emot biogödseln som gödningsmedel.

### **Skellefteå Biogasanläggning och Tuvans avloppsreningsverk**

Biogasanläggningen i Skellefteå invigdes 28 feb 2007 och byggdes för att ta hand om kommunens utsorterade matavfall och producera fordonsgas. Anläggningen är klassificerad enligt certifieringssystemet SPCR 120 som en A-anläggning (med termofil rötning), vilket innebär att den förutom hushållsavfall även tar in slakteriavfall, fett, fiskrens m.m.

Polymerer används idag för avvattning av biogödsel och avvattningen sker med hjälp av en skruvavvattnare. Tillsättningen av polymer sker på två punkter efter biogödsellagret. Först tillsätts en polyamin, Magnafloc LT 32, därefter i tillsatspunkt två, blandas en katjonisk akrylamid (Zetag 8185) in i biogödseln före avvattningssteget. Rejektvattnet som bildas vid avvattningen leds till Tuvans reningsverk som är beläget intill biogasanläggningen. Utgående TS-halt från biogödsellagret är ca 1,7 % och efter avvattningssteget ca 20 %. Idag transporteras den avvattnade biogödseln med lastbil och används som täckningsmaterial vid gruvor, deponier och liknande. Visionen är dock att biogödseln i framtiden ska torkas till pellets (TS-halt 90-95 %) och användas som gödsel på skogsmark. På anläggningen finns det en torkanläggning för detta vilken togs i drift under 2010 (i nuläget körs endast

---

<sup>6</sup> Inkommande substrat har bedömts utifrån att tidigare ha varit KRAV godkänt. Dock är det utifrån certifieringssystemet SPCR 120 inte tillåtet att använda polymerer som tillsats- eller processkemikalie på biogasanläggningen.



avloppsslam från avloppsreningsverket i denna). Under 2010 producerades 1161 ton avvattnad biogödsel på biogasanläggningen. För detta användes ca 6 ton polymer vilket ger ca 20 kg polymer/ton TS i den avvattnade biogödseln.

Skellefteå kommun bedriver sedan en tid tillbaka ett skogsgödslings-projekt med SLU, som hittills har visat ett mycket bra resultat. Projektet bygger på att avloppsslam/biogödsel skall spridas som pellets i skog och mark. Projektet har även lett till ett ökat intresset för att certifiera sin produkt ”torkad och pelleterad biogödsel”. I nuläget är dock en certifiering av biogödseln enligt SPCR 120 inte möjlig då polymerer används vid avvattningen och detta inte är godkänt enligt certifieringsreglerna. Utan avvattning kan inte heller någon pelletsproduktion ske.

Intill Skellefteå biogasanläggning ligger Tuvans reningsverk, vilket är det största reningsverket i Skellefteå kommun. Reningsverket tar hand om centralortens avloppsvatten samt slam från yttre reningsverk. Det slam som uppstår vid reningen av spillvattnet rötas genom mesofil rötning, avvattnas och torkas till slampellets. Tuvans reningsverk och biogasanläggningen är två helt separata processer med egna rötkammare och avvattningslinjer.

På Tuvans reningsverk används tre olika sorters polymer som tillsätts vid tre olika platser på reningsverket. Magnafloc 919 (en polyakrylamid) används efter biosteget i eftersedimenteringsbassängen för att ”polera” utgående vatten. Det slam som uppstår i sedimenteringsbassängerna passerar sedan en slamsil/rensavskiljare för att ta bort fibrer som kan orsaka problem i rötkammaren. Innan slammet pumpas in i rötkammaren går det via en bandförtjockare för att öka TS-halten till ca 5-6 %. För att kunna förtjocka slammet tillsätts Zetag 7550 (katjonisk polyakrylamid). Därefter rötas materialet, innan det återigen avvattnas med en skruvavvattnare till ca 20 % för att kunna torkas till pellets (TS 90-95%). Före skruvavvattnaren tillsätts Zetag 8185 (katjonisk akrylamid) [3].

Skellefteå biogasanläggning behöver avvattna biogödseln för att minska antalet transporter med biogödsel samt för att få avsättning för sin biogödsel. Enligt Skellefteå biogasanläggning kan detta endast ske genom att polymerer tillsätts i processen.

## 5 Resultatanalys

### 5.1 Litteraturstudie

Polyakrylamid (PAM) är den polymer som enligt enkätundersökningen är vanligast förekommande på biogasanläggningar och avloppsreningsverk. Litteraturstudien har därför fokuserat på PAM. I litteraturstudien framkom det att PAM kan brytas ner både aerobt och anaerobt. Vid nedbrytning av PAM kan denna delas in i två huvudkategorier: nedbrytning av a) sidokedjor och b) polymerens grundstruktur. Data i litteraturen visar att nedbrytning av PAM huvudsakligen sker genom frigörande och nedbrytning av sidokedjor. Den lågmolekylära produkt (kolinklorid) som bildas från den i Sverige mest använda PAM är vattenlöslig och biologisk nedbrytbar. I naturliga miljöer finns det flera olika mekanismer för nedbrytningen av PAM till mindre molekyler. I laboratorieförsök med naturliga betingelser har det observerats både att akrylamid (AMD) bildas vid nedbrytning av PAM och att AMD inte bildas. Det är högst osannolikt att AMD skulle kunna bildas vid bionedbrytning av PAM [8]. I de fall bildningen av AMD har observerats har det inte bildats stora mängder på kort tid. Det skall också noteras att AMD bryts ner snabbt i både aeroba och anaeroba naturliga miljöer.

#### Påverkan på biogasprocessen

Det finns en del studier genomförda avseende polymerer inom biogasprocessen och hur polymeranvändning påverkar biogasutbytet. Rapporterade effekter av PAM på biogasprocessen är dock motstridiga, en del studier visar, medan andra inte visar, att det finns inhiberande effekter på biogasprocessen. Det tycks som om flockstorleken på substrat behandlat med PAM är viktig för produktionen av biogas. Typen och storleken på flockarna kan begränsa massutbytet (genom att påverka tillgängligheten av kol). Polymerens egenskaper (laddningstäthet, molekylvikt, struktur) och vilken typ av substrat som behandlas bestämmer flockarnas egenskaper. Så kan till exempel två polymerer med samma laddningstäthet men med olika molekylvikt (Mw) ge mycket olika avvattningseffektivitet och flockstorlek (ej publicerade data från SLF-projekt Gödsel vid JTI) [7]. Resultat visar också på att PAM kan stimulera mikrobiell aktivitet i anaeroba miljöer om dessa är rika på fermenterbara kolkällor men saknar kvävekällor. Dock är det mer förekommande i biogasanläggningar att det råder brist på kolkällor varför detta inte tros vara ett problem.

#### Analysmetoder

Några analysmetoder har identifierats i litteraturstudien avseende PAMs och AMDs nedbrytbarhet. Detta är främst metoder som kan användas vid labbförsök. Inga metoder hittades för att analysera halterna av PAM eller AMD vid verkliga förhållanden, t.ex. i marken efter spridning av biogödsel.

#### Ackumulering av PAM i marken

Om polymerer ackumuleras i marken beror på om de är stabila eller bryts ner. En tidsbegränsad förekomst av syntetiska polymerer i naturen är acceptabel förutsatt att de inte är toxiska. Samtidigt är det viktigt att polymererna är bionedbrytbara för att undvika en ackumulering i naturen oavsett om de är toxiska eller inte. Dessutom måste det säkerställas att inga toxiska produkter bildas under polymerernas nedbrytningsprocess.

Det finns inga långtidsstudier genomförda som undersöker polymerernas bionedbrytbarhet och ackumulering. Att vissa monomerer (t.ex. AMD) är toxiska är känt och det finns också gränsvärden för polymertillsats vid dricksvattenberedning. Ytterligare finns det reglerat för polymertillverkare vilken halt av monomeren AMD som får förekomma i produkten PAM.

Utifrån resultaten i litteraturstudien är projektgruppen överens om att vidare forskning behövs för att undersöka om nedbrytning av polymerens grundstruktur sker i biogödsel och jordprover. Det finns några få rapporter i litteraturen som visar att förbehandling av polymeren via exponering för UV-ljus, mekanisk påverkan eller enzymatisk nedbrytning kan göra grundstrukturen mer benägen för mikrobiell nedbrytning. Ytterligare studier behövs också för att se effekten av PAM-egenskaper (laddning, molekylvikt, struktur, etc.) på flockstorlek, koltillgänglighet och biogasproduktion. Utveckling av analytiska metoder för bestämning av PAM i fasta prover (biogödsel, jord) måste ske då man vill studera nedbrytning av polymerens grundstruktur i biogödsel och jord.

## 5.2 Myndigheter & lagar

Polymerer används inom väldigt många applikationer och finns överallt runt omkring oss i samhället. Mest lik polymeranvändningen som denna rapport syftar på, polymerer i biogasprocessen, är polymeranvändningen vid avvattning av avloppsslam. Vid kontakt med myndigheter förklarades polymeranvändningen i biogasprocessen så som den polymeranvändning som används vid avvattning av avloppsslam. Kunskaperna hos myndigheterna om vad som händer med polymeren i biogasprocessen, eller efter denna, tycks vara begränsade.

**Kemikalieinspektionen** är den myndighet som uttalat sig till fördel för polymerer i biogasprocessen, de anser inte att det finns några risker med att använda biogödsel eller avloppsslam som innehåller polymerer för spridning på åkermark. Kontaktade personer hos Kemikalieinspektionen anser att kan man använda polymerer vid beredning av dricksvatten kan de inte medföra någon skada på åkermark.

**Naturvårdsverket** och **Jordbruksverket** har ingen direkt uppfattning om huruvida polymer skulle var skadliga eller inte då biogödsel innehållandes polymerer sprids på åkermark. De uppger också att de inte har fått frågeställningen presenterad tidigare.

**Skogsstyrelsen** är den myndighet som uttalar sig restriktivt. De anser att det finns för lite kunskaper om hur polymerer kan påverka skogsmarken. Samtidigt är det den myndighet som efterfrågar fler studier inom området.

Vid granskningen av lagar framkom det att Livsmedelsverket har gränsvärden som reglerar användningen av polymerer i dricksvattenframställningen och halterna monomer i dricksvatten. Dock är dricksvatten och biogödsel inte jämförbara produkter och dessa gränsvärden är därför inte relevanta i sammanhanget. Enligt Miljöbalken skall all verksamhet följa försiktighetsprincipen. Detta innebär att utövaren skall skaffa sig nödvändig kunskap och vidta skyddsåtgärder för att skydda människors hälsa och miljön samt undvika kemiska produkter som kan befaras medföra risker för människors hälsa eller miljön. Denna rapport är en del i insamlandet av nödvändig kunskap och identifieringen av lämpliga polymerer för att inte riskera negativa effekter på människors hälsa och miljön.

**REACH** ställer två krav för att användningen av polymerer skall vara anmälningspliktig. Det skall finnas minst 2 % obunden monomer i den färdiga produkten och användningen av produkten skall uppgå till sådana mängder att det motsvarar minst 1 ton obunden monomer per år. I de aktuella produkterna är halterna obunden monomer lägre än 2 % och därmed finns idag inga lagar inom REACH som påverkar polymeranvändningen hos biogasanläggningar.

### 5.3 Enkät

Enkätundersökningens svarsfrekvens var mycket låg, kort begärd svarstid samt semestertider förmodas vara orsakerna till detta. Från enkätundersökningen ses att katjoniska polymerer är den mest förekommande polymertypen vid avvattning av avloppsslam eller biogödsel. Det finns inget standardrecept som kan tillämpas vid tillsättning av polymer, varje polymeranvändare provar ut polymersort och dos för varje specifik biogödsel eller avloppsslam. I enkätundersökningen framgår det att använd mängd polymerer i respektive process varierar mellan de olika anläggningarna. Om detta är kopplat till vilken sorts polymer som används och/eller vilken avvattningsutrustning som används har inte undersökts i projektet. Avvattningsutrustning och polymersort bör anpassas så att minsta möjliga mängd polymer används i varje process.

Avloppsreningsverk är stora användare av polymerer, dock anger åtta av de nio svarande avloppsreningsverk i enkätundersökningen att de inte har någon kännedom om huruvida polymeren bryts ner eller ej i biogasprocessen. Av biogasanläggningarna svarade två av tre att de saknar kännedom om vad som händer med polymeren i biogasprocessen.

### 5.4 Konsekvensanalys

Polymeranvändning för avvattning av biogödsel är begränsad då det mest förekommande är att biogödsel transporteras ut oavvattnad. Vid avvattning av biogödsel går kväve med i vattenfasen vilket kan minska det ekonomiska värdet på biogödseln. Å andra sidan kan avvattningen leda till att växtnäringssinnehållet per ton våt biogödsel blir högre och transport- och spridningskostnaderna blir lägre.

Enligt konsekvensanalysen som genomförts är det för biogödsel som baseras på biologiskt avfall nödvändigt med polymeranvändning för att uppnå önskat resultat i de fall mekanisk avvattning används. Biogödsel med mycket fibrer kan avvattnas relativt effektivt utan polymer för att uppnå nödvändig TS-halt i fastfasen. För bägge sorternas biogödsel är det mycket svårt att erhålla ett bra resultat gällande rejektvattnets kvalitet utan tillsats av polymer.

Det finns ett flertal olika tekniker för förtjockning/avvattning. Erfarenhet visar att polymertillsats är avgörande för att uppnå optimal partikelavskiljning oavsett vilken av teknikerna som används.

Användningen av mekanisk förtjocknings-/avvattningsutrustning utan tillsats av polymer ger:

- Försämrade och kostnadsineffektiva funktioner på förtjockning/avvattning
- Försämrade kvaliteter på rejektvattnet vilket ger en ökad internbelastning p.g.a. framförallt suspenderat material

Försämrade kvalitet på rejecktvalet innebär ofta att kompletterande system för rening av detta vatten krävs. För detta har bland annat ultrafiltrering prövats.

Om polymerer inte kan användas i biogasprocessen minskar flexibiliteten för inkommande transporter och vilka substrat biogasanläggningarna kan ta emot.

För röttningsprocesser där polymerer inte används fås en försämrade möjlighet att anpassa TS-halt och volym på det inkommande substratet, vilket leder till en rad konsekvenser. Direkta effekter på röttningsprocessen är:

- Lägre TS-halt ger större substratvolym och krav på större röttningsvolym
- Kortare uppehållstid ger lägre utröttningsgrad och lägre gasproduktion
- Varierande TS/VS ger instabilare röttningsprocess och driftsförutsättningar
- Större substratvolym kräver högre kapacitet på pumpar, värmesystem etc.
- Förutsättningarna för driftsoptimering försämrade

Detta är faktorer som direkt påverkar möjligheten att driva biogasanläggningen på ett effektivt sätt och medför en minskad utnyttjandegrad av röttningsvolym och värmesystem, vilket kan leda till minskad gasproduktion.

För förädlingen av rötrest får en försämrade funktion och flexibilitet i avvattningsprocessen en rad konsekvenser. Exempel på faktorer som påverkas är:

- Möjligheten att optimera/minimera transporter av rötrest minskar.
- Möjligheten att anpassa rötresten till mottagarens krav för optimala möjligheter till spridning minskar.
- Förutsättningarna för att ytterligare fassettera t.ex. vattenfasen i N- och P-fraktioner försämrade.
- Försämrade kvalitet på rejecktvalet ställer större krav på behandling. Detta medför betydande behandlingskostnader antingen i egna reningsanläggningar eller vid t.ex. kommunala reningsverk som tar emot rejecktvalet.

Eftersom avsättningen av det rötade substratet/biogödseln är en betydande faktor för ekonomin i biogasanläggningar påverkar dessa faktorer möjligheten att driva biogasanläggningen på ett flexibelt och effektivt sätt.

## 5.5 Slutliga polymerhalter i biogödsel

Om polymerer förekommer i ett av de inkommande substraten till en biogasanläggning, eller används för att höja TS-halten för ett visst substrat hos biogasanläggningen, bör det bli en relativ liten mängd polymer som hamnar i biogödseln i jämförelse med de mängder polymer som används vid avvattning av slam vid avloppsreningsverk. Ett exempel på detta är Söderåsens biogasanläggning där halterna polymer i biogödseln är ca 6-13 gånger lägre än halterna i slammet från avloppsreningsverk i Stockholm, Eslöv, Lund och Malmö (Bilaga 4).

Om polymererna används för att avvattna rötrest, på samma sätt som avloppsreningsverk använder polymerer för att avvattna sitt avloppsslam, blir situationen annorlunda. Ett exempel på detta är Skellefteå biogasanläggning där halten polymer i biogödseln är 1,5-3 gånger högre än i slammet från redovisade avloppsreningsverk (Bilaga 4). Biogödsel är känt

för att vara svåravvattnat och kräver större mängder polymerer än slam från avloppsreningsverk [3].

Eftersom det saknas kunskap om huruvida biogödsel avvattnad med polymerer påverkar odlingsmark kan det vara ett alternativ att studera resultaten från långtidsprojektet *Slamspridning på åkermark* som drivs av Hushållningssällskapet Malmöhus. Detta projekt undersöker effekterna av slamspridning på åkermark. Rapporterna visar att slamgödslingen är positiv för markens biologi, mikrobiologi, mullhalt och bördighet. Förhöjda metallhalter observeras endast för koppar och kvicksilver, av 70 olika organiska toxiska ämnen har endast ett fåtal detekterats i slammet och då i mycket låga koncentrationer. Det är idag okänt vilka polymerhalter som funnits i slammet som spridits i Malmöförsöken, Hushållningssällskapet är dock positiva till att undersöka även detta. Eventuell ackumuleringen av polymerer i marken har inte studerats men om förekomsten av polymerer i slammet har en negativ inverkan på mark och grödor borde detta ha visat sig under studiens lopp.

## 6 Slutsats

De studier som har granskats uppvisar skiftande och motsägelsefulla slutsatser och det finns ett stort behov av vidare undersökningar av polymerernas överlevnad i, och effekter på, miljö, natur och djur.

Av de kontaktade myndigheterna har endast Skogsstyrelsen invändningar mot användningen av polymerer i biogasprocessen och anser att mer forskning på området behövs. Jordbruksverket har inga invändningar men hänvisar till Försiktighetsprincipen.

Enkätundersökningen visar att deltagande anläggningar saknar tillräckliga kunskaper om polymerernas påverkan på biogasprocessen och miljön. De uppfyller därmed inte Försiktighetsprincipens krav på kunskap.

Användningen av polymerer i biogasprocessen ökar möjligheterna att ta emot olika sorters substrat och optimera TS-halten på ingående substrat. Det ger också ökade möjligheter till förädling av rötrest vilket kan underlätta avsättning av denna.

Allmänt är kunskaperna om vad som händer med polymeren i biogasprocessen, eller efter denna, högst begränsade. Avloppsslam innehållandes polymerer har dock spridits på åkermark under flertalet år och några direkta negativa miljöeffekter i anslutning till detta har inte observerats. Dock har inte förekomsten av polymerer i marken eller effekten av polymererna i slammet studerats specifikt.

## 7 Rekommendation och användning

Styrgruppen för certifiering rekommenderas att inte ta några generella beslut i polymerfrågan utan hålla den öppen tills ytterligare forskning genomförs. Ingen polymer blir automatisk vare sig godkänd eller icke godkänd utan varje anläggning som önskar använda en polymer får via ansökningsblanketten för nya substrat och processhjälpmedel skicka in en ansökan till styrgruppen. I ansökan ska polymerhalt i den färdiga produkten biogödsel anges. Denna halt kan med fördel jämföras med avloppsreningsverkens polymerhalt för att få en bild av polymerhaltens storlek och påverkan på mark.

Styrgruppen rekommenderas att noggrant följa fortsatt forskning inom området.

Förslag på fortsatt arbete avseende att öka kunskapen om miljöeffekter från polymerer i biogasproduktionen:

- Utveckla analysmetoder för att analysera polymerer i jord.
- Utföra studier som undersöker grundläggande parametrar för nedbrytning av polymerens grundstruktur.
- Analysera hur nedbrytning av polymerens grundstruktur sker i biogödsel och jordprover.
- Mäta förekomsten av polymerrester och/eller eventuell ackumulation från långtidsprojekt, *Slamspridning på åkermark*, Hushållningssällskapet Malmöhus i Skåne.
- Studera effekten av PAM-egenskaper (laddning, MW, struktur) på flockstorlek, koltillgänglighet och biogasproduktion.



## 8 Litteraturreferenser

- [1] Avfall Sverige, ”SPCR 120 Certifieringsregler för Biogödsel”, maj 2010, Borås, <http://www.sp.se/sv/units/certification/product/Documents/SPCR/SPCR120.pdf>
- [2] Engström T.; Findus, Skriftlig information, 2010-07-30
- [3] Lundgren P.; Skellefteå Biogasanläggning, Skriftlig information, 2010-08-10, 2010-12-28
- [4] Avfall Sverige; <http://www.avfallsverige.se/avfallshantering/svensk-avfallshantering/biologisk-aatervinning/>
- [5] Aarsrud P., Bisailon M., Hellström H., Henriksson G., Jakobsson E., Jarlsvik T., Martinsson U., Jensen C., Johansson L-G., Kanerot M., Ling D.; ”WR 20, Förädling av rötrest från större biogasanläggningar”, Waste Refinery, Borås, maj 2010.
- [6] Hagsköld G; Uppsala Biogasanläggning, Muntlig information, maj 2010.
- [7] Castillo MdP; ”Ökad biogasproduktion från flytgödsel”, Stiftelsen Lantbruksforskning, SLF, projektet pågår
- [8] Wahlberg C. & Paxéus N; ”Miljöpåverkan av polyelektrolyter från användning vid reningsverk”. VA-FORSK, 2003.
- [9] Andersson P-G; ”Slamspridning på åkermark. Fältförsök med kommunalt avloppsslam från Malmö och Lund under åren 1981-2008” Hushållningssällskapet, 2009.
- [10] Bolto, B. and Gregory J.; “Organic polyelectrolytes in water treatment”. Water Research, 2007. **41**(11): p. 2301-2324.
- [11] Caulfield, M.J. Qiao G.G., and Solomon D.H.; “Some aspects of the properties and degradation of polyacrylamides”. Chemical Reviews, 2002. **102**(9): p. 3067-3083.
- [12] SUBSTANCE PROFILES, REPORT ON CARCINOGENS, ELEVENTH EDITION Acrylamide CAS No. 79-06-1
- [13] Shanker, R., Ramakrishna C., and Seth P.K.; “MICROBIAL-DEGRADATION OF ACRYLAMIDE MONOMER”. Archives of Microbiology, 1990. **154**(2): p. 192-198.
- [14] Barvenik, F.W. “Polyacrylamide Characteristics related to soil applications”. Soil Sci. 158:235-243 (1994).
- [15] R.E. Sojka and R.D. Lentz, “A brief history of PAM and PAM-related issues”, USDA-Agricultural Research Service (1996)
- [16] WHO. “Guidelines for Drinking-water Quality” (GDWQ) WHO/SDE/WSH/03.04/71, 2003
- [17] EPA 749-F-94-005a, “CHEMICAL SUMMARY FOR ACRYLAMIDE”, September 1994
- [18] Dentel, S.K., “Conditioning, in Sludge into Biosolids”, L. Spinosa and P.A. Vesilind, Editors. 2001, IWA Publishing.
- [19] Persson P-E.; Vafab Miljö, Muntlig information, 2010-08-25
- [20] El-Mamouni, R., Frigon, J.C., Hawari, J., Marroni, D. and Guiot.S.R.; ”Combining photolysis and bioprocesses for mineralization of high molecular weight polyacrylamides”. Biodegradation 2002. **13**(4): 221-227

- [21] Kay-Shoemake, J.L., et al.; "Polyacrylamide as an organic nitrogen source for soil microorganisms with potential effects on inorganic soil nitrogen in agricultural soil". *Soil Biology & Biochemistry*, 1998. **30**(8-9): p. 1045-1052.
- [22] Marcus J. Caulfield, Xiaojuan Hao, Greg G. Qiao and David H. Solomon, "Polymer", Volume 44, Issue 5, March 2003, Pages 1331-1337.
- [23] Ver Vers LM, "Determination of acrylamide monomer in polyacrylamide degradation studies by high-performance liquid chromatography", *J Chromatogr Sci*. 1999 Dec;37(12):486-94
- [24] U. Gröllmann and W. Schnabel, "Free radical-induced oxidative degradation of polyacrylamide in aqueous solution", *Polymer Degradation and Stability*, Volume 4, Issue 3, May 1982, Pages 203-212
- [25] Ting Liu, Hong You and Qiwei Chen, "Heterogeneous photo-Fenton degradation of polyacrylamide in aqueous solution over Fe(III)-SiO<sub>2</sub> catalyst", *Journal of Hazardous Materials*, Volume 162, Issues 2-3, 15 March 2009, Pages 860-865.
- [26] Eldon A. Smith, Susan L. Prues, Frederick W. Oehme (1997) *Environmental Degradation of Polyacrylamides*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, Volume 37, Issue 1, Pages 76-91.
- [27] Kornecki, T.S., Grigg, B.C., Fouss, J.L., Southwick Jr, L.M. (2006) *Effectiveness of Post-Harvest Sugarcane Residue and Polyacrylamide on Reducing Soil Deposition in Quarter-Drains*. *Applied Engineering in Agriculture*, 22(6):857-865.
- [28] Chang JS, Abu-Orf M, Dentel SK, "Alkylamine odors from degradation of flocculant polymers in sludges", *Water Res*. 2005 Sep;39(14):3369-75.
- [29] Nakamiya, K., Ooi T., and Kinoshita S.; "Degradation of synthetic water-soluble polymers by hydroquinone peroxidase". *Journal of Fermentation and Bioengineering*, 1997. 84(3): p. 213-218.
- [30] Calker-Scott, "The myth of polyacrylamide hydrogels" <http://www.cfr.washington.edu/research.mulch/myths/hydrogels.pdf>
- [31] Smith E, Prues S and Oehme F. "Environmental degradation of polyacrylamides: Effect of artificial environmental conditions". *Ecotoxicology and Environmental Safety* 1996, 35,121-35
- [32] Schumann, H. and Kunst S.; "Elimination von <sup>14</sup>C-markierten Polyelektrolyten in biologischen Abwasserreinigungsprozessen". *Gas-Wasserfach, Wasser/Abwasser* 1991. **132** p. 376-383.
- [33] Chang, L.L., Raudenbush D.L., and Dentel S.K.; "Aerobic and anaerobic biodegradability of a flocculant polymer". *Water Science and Technology*, 2001. **44**(2-3): p. 461-468.
- [34] Gossett, J.M., et al.; "ANAEROBIC DIGESTION OF SLUDGE FROM CHEMICAL TREATMENT". *Journal Water Pollution Control Federation*, 1978. **50**(3): p. 533-542.
- [35] Chu, C.P., et al.; "Anaerobic digestion of polyelectrolyte flocculated waste activated sludge". *Chemosphere*, 2003. **53**(7): p. 757-764.
- [36] Bolzonella, D., et al.; "Influence of the cationic flocculant praestol K233L on the mesophilic anaerobic digestion of waste activated sludge". *Journal of Residuals Science & Technology*, 2005. **2**(3): p. 133-141.
- [37] Tezel, U., Pierson J.A., and Pavlostathis S.G.;"Effect of polyelectrolytes and quaternary ammonium compounds on the anaerobic biological treatment of poultry processing wastewater". *Water Research*, 2007. 41(6): p. 1334-1342.

- 
- [38] Haveroen, M.E., MacKinnon M.D., and Fedorak P.M.; "Polyacrylamide added as a nitrogen source stimulates methanogenesis in consortia from various wastewaters". *Water Research*, 2005. 39(14): p. 3333-3341.
- [39] Campos, E., et al.; "Feasibility study of the anaerobic digestion of dewatered pig slurry by means of polyacrylamide". *Bioresource Technology*, 2008. 99(2): p. 387-395.
- [40] J. P. Scott, P. D. Fawell, D. E. Ralph, J. B. Farrow "The shear degradation of high-molecular-weight flocculant solutions", *Journal of Applied Polymer Science*, Volume 62 Issue 12, Pages 2097 - 2106
- [41] P. Lanthong, R. Nuisin, S. Kiatkamjornwong, "Graft copolymerization, characterization, and degradation of cassava starch-g-acrylamide/itaconic acid superabsorbents", *Carbohydrate Polymers* 66 (2006) 229–245
- [42] Lund B-O; Kemikalieinspektionen, Muntlig information, 2010-08-18
- [43] Östman M; Kemikalieinspektionen, Muntlig information, 2010-08-18
- [44] "Livsmedelsverket föreskrifter om dricksvatten", SLVFS 2001:30
- [45] Nemi L; Jordbruksverket, Muntlig information, 2010-08-16
- [46] Bong M; Jordbruksverket, Muntlig information, 2010-08-17
- [47] Miljöbalken (1998:808)
- [48] Östlund C; Naturvårdsverket, Skriftlig information, 2010-08-18
- [49] Lomander A; Skogsstyrelsen, Muntlig information, 2010-08-23
- [50] "Guidance for monomers and polymers", ECHA, maj 2008, [http://guidance.echa.europa.eu/docs/guidance\\_document/polymers\\_en.htm?time=1282228380](http://guidance.echa.europa.eu/docs/guidance_document/polymers_en.htm?time=1282228380)

## Polymeranvändning hos biogasanläggningar och avloppsreningsverk, Bilaga A

<p>1a, Används polymerer i någon del av er process?      JA <input type="checkbox"/>      NEJ <input type="checkbox"/></p> <p>1b, Om JA, var någonstans i processen används polymerer?  <input type="checkbox"/> Inkommande substrat innehåller polymerer  <input type="checkbox"/> Som tillsatsmedel i röt-kammaren (för att öka utrotningsgraden)  <input type="checkbox"/> För avvattning av biogödsel  <input type="checkbox"/> För avvattning av avloppsslam  <input type="checkbox"/> Annat (t ex skumning)</p> <p>1c, Vilken sorts laddning har de polymerer som används?  <input type="checkbox"/> katjonisk      <input type="checkbox"/> anjonisk      <input type="checkbox"/> ingen laddning</p> <p>1d, Används andra sorters polymerer (ex stärkelsebaserade)?          JA <input type="checkbox"/>      NEJ <input type="checkbox"/></p> <p>1e, Om JA, vad för slags polymer?</p> <p>1f, Polymerens handelsnamn:</p> <p>1g, Namn på tillverkare av polymeren:</p> <p>1h, Vilka mängder/doser används av polymeren (ange enhet, t.ex. ml/l eller g/m<sup>3</sup>)?</p>
<p>2a, Används metallsalter i samband med polymeranvändning i er process?          JA <input type="checkbox"/>      NEJ <input type="checkbox"/></p> <p>2b, Om JA, hur ofta används metallsalter?</p> <p>2c, Vilka mängder, doser används av metallsalter (t.ex. ml/l eller g/m<sup>3</sup>)?</p> <p>2d, Vilken sorts utrustning används vid polymeranvändning (ex. typ av avvattare etc.)?</p>
<p>3a, Anser ni att er polymer är effektiv för vad den är tänkt att användas för?          JA <input type="checkbox"/>      NEJ <input type="checkbox"/></p> <p>3b, Vilka egenskaper vill du ha på polymerer som ni använder?          Separera: TS <input type="checkbox"/>, SS <input type="checkbox"/>, N <input type="checkbox"/>, P <input type="checkbox"/> Alla? <input type="checkbox"/></p> <p>3c, Beskriv övriga egenskaper som ni vill ha på polymeren?</p> <p>3d, Vilka kriterier har ni när ni väljer polymerer?</p>
<p>4a, Har polymeren labbtestas innan den blivit beställd?          JA <input type="checkbox"/>      NEJ <input type="checkbox"/></p>
<p>5a, Vilka substrat används i er biogasprocess?  <input type="checkbox"/> Matavfall från hushåll  <input type="checkbox"/> Slakteriavfall  <input type="checkbox"/> Gödsel  <input type="checkbox"/> Substrat från livsmedelsindustrin  <input type="checkbox"/> Slam från avloppsreningsverk          Andra substrat (lista dem gärna här):</p>
<p>6a. Känner ni till vad som händer med polymeren i er biogasprocess?      JA <input type="checkbox"/>      NEJ <input type="checkbox"/></p> <p>6b. Om JA, ange vad (t ex är opåverkad, bryts ner delvis, omvandlas till biogas, ...):</p>

## A.1 Enkät svar från biogasanläggningar, Bilaga 2

Tabell 1. Polymeranvändning på biogasanläggningar. Tabellen redovisar handelsnamn, tillverkare, laddning och angiven ev. sort, mängd/dosering samt vilken utrustning som används på respektive avloppsreningsverk. I tabellen har biogasanläggningarna numrerats från B1 till B3.

Table 1. Polymers used at biogas plants. The table shows trade name, manufacturer, charge (and if named, sorts of polymer), and quantity/dosage and technique at the waste water plant, respectively. The biogas plants have been numbered from B1 to B3.

Biogas-anläggning	Handels-namn	Tillverkare	Laddning, samt ev. polymer-sort	Mängd/dosering	Utrustning	Användningsområde			
						TS	SS	N	P
B1	Magnafloc LT 32 (polyamin, koaguleringsmedel) flytande polymer som levereras färdigblandad med ca 50% aktiv substans.	BAFS	Katjonisk polyamin, koaguleringsmedel	70 ml/m <sup>3</sup> slam	Hübers skruv-avvattnare.	X	X	X	X
	Zetag 8185 (katjonisk akrylamid), ett pulver som blandas med vatten, koncentrationen är 0,28%.	BAFS	Katjonisk akrylamid	240 ml/m <sup>3</sup> slam	Hübers skruv-avvattnare.				
B2	Zetag 8180 (katjonisk akrylamid copolymer)	BAFS	Katjonisk	41.6 liter (av 0.3 % lösning)/m <sup>3</sup>	Dekanter-centrifug	X	X		
B3	Zetag 9016	BAFS	Anjonisk	160 g/m <sup>3</sup>	Silbands-avvattnare	X			

## A.2 Enkätvar från avloppsreningsverk, Bilaga 3

Tabell 2. Polymeranvändning på avloppsreningsverk. Tabellen redovisar handelsnamn, tillverkare, laddning och ev. angiven sort, mängd/dosering samt vilken utrustning som används på respektive avloppsreningsverk. I tabellen har reningsverken numrerats från A1 till A9.

Table 2. Polymers used at waste water plants. The table shows tradename, manufacturer, charge and if named, sorts of polymer. Further quantity/dosage and technique at the waste water plant, respectively. The different waste water plants have been numbered from A1 to A9.

Reningsverk	Handelsnamn	Tillverkare	Laddning, samt ev. Polymer-sort	Mängd/dosering	Utrustning	Användningsområde			
						TS	SS	N	K
A1	Zetag 8165	BAFS	Katjonisk	8 kg/ton TS, TS-halt ca 30	Centrifug	X	X		
A2	Zetag 8165	BAFS	Katjonisk	700 g pulver/m <sup>3</sup> vått slam	-	X			
A3	Nordfloc C-111	SNF Nordic AB	Katjonisk	7-8 kg/ton TS till centrifug.	Avvattning av rötat slam: Centrifug (AlfaLaval).	X	X		
	Nordfloc C-172	SNF Nordic AB	Katjonisk	2-3 kg/ton TS till föravvattnare.	Förtjockning av råslam: Mekanisk avvattnare med silband (Bellmer)				
A4	-	-	Katjonisk	-	Centrifug, Mekanisk Bellmerförtjockare, Efterpolering	X	X		
A5	Superfloc C492HMW	Kemira	Katjonisk	ca 0,9 g/m <sup>3</sup>	Centrifug	X	X		
A6	Superfloc A110HVMV	Kemira	Anjonisk	0,12 g/m <sup>3</sup> vid förfällning	Försedimentering	X	X	X	X
	Superfloc C-448	Kemira	Katjonisk	3,5 g/m <sup>3</sup> 1%-lösning vid förfällning	Försedimentering				
	Ekapam C3503	SNF Nordic AB	-	olika doser	Centrifug				
	Zetag 7563	BAFS	-	olika doser	Avvattningsbord				
A7	Nordfloc C-91	SNF Nordic AB	Katjonisk	250 g/m <sup>3</sup>	Centrifug	X			
A8	Zetag 7155	BAFS	Katjonisk polyakrylamid	pulverform (220 ml/m <sup>3</sup> slam)	Bandförtjockare	X	X	X	X
	Zetag 8185	BAFS	Katjonisk akrylamid	ett pulver som blandas med vatten, koncentrationen är 0,2% (95ml/m <sup>3</sup> slam)	Hübers skruvavvattnare				
	Magnafloc 919	BAFS	- polyakrylamid	pulver med 0,2% koncentration (ca 0,6 ml/m <sup>3</sup> inkommande flöde, väldigt osäkert...)	Eftersedimentering				
A9	Nordfloc K-211	SNF Nordic AB	Katjonisk	9 kg/ton TS	-	X			

### A.3 Mängd polymer i biogödsel och avloppsslam, Bilaga 4

Följande antagande har gjorts för att genomföra beräkningen gällande för Söderåsens Biogasanläggning 2009:

- All polymer som tillsätts (oavsett om det är hos Findus eller på biogasanläggningen) hamnar till slut i biogödseln.
- Polymeren bryts inte ner i processen.
- Mängden biogödsel är lika stor som mängden ingående substrat.

Nedan i tabell redovisas indata för beräkning samt resultat från beräkning.

*Tabell 3 Indata och beräkning av polymerhalter i biogödsel gällande för Söderåsens Biogasanläggning 2009*

*Table 3 Data and calculation of polymer in digest applicable for The Söderåsen Biogas plant 2009*

Bioslam från Findus	350	ton TS
Total mängd substrat behandlat på Söderåsen	4 700	ton TS
Tillsatt polymer på Findus	4 500	kg
Tillsatt polymer på Söderåsen	1 100	kg
Total mängd behandlat substrat	<b>47 000</b>	ton
Total mängd tillsatt polymer	<b>5 600</b>	kg
Halt polymer i ingående substratblandning	<b>1,2</b>	kg polymer/ton TS

Följande antagande har gjorts för att genomföra beräkningen gällande för Skellefteå Biogasanläggning 2010:

- All polymer som tillsätts hamnar i biogödslen.

Nedan i tabell redovisas indata för beräkning samt resultat från beräkning.

Tabell 4. Indata och beräkning av polymerhalter i biogödsel gällande för Skellefteå Biogasanläggning 2010

Table 4. Data and calculation of polymer in digest applicable for The Skellefteå Biogas plant 2010

Avvattnad biogödsel 2010	1 161	ton
TS-halt	26	%
Torrsvikt biogödsel	302	ton TS
Polymer 1, förbrukning	1 684	Liter
Polymer 1, densitet	1,2	kg/Liter
Polymer 1, förbrukning	2 021	kg
Polymer 2, förbrukning	2 065	m3
Polymer 2, koncentration	0,28	%
Polymer 2, förbrukning	5,8	m3
Polymer 2, densitet*	700	kg/m3
Polymer 2, förbrukning	4 048	kg
Polymerer, total förbrukning	6 068	kg
Polymerhalt i biogödsel	20,1	kg/ton TS
* Uppgift från säkerhetsdatablad.		

Polymeranvändningen på några svenska avloppsreningsverk redovisas nedan.

Tabell 5. Polymerhalt i avvattnat slam från några svenska reningsverk 2009

Table 5. Polymer content in dewatered sludge from a few Swedish waste water treatment plants in 2009

Reningsverk	Polymerdosering	
Henriksdal, Stockholm*	8	kg/ton TS
Eslöv*	7,5	kg/ton TS
Källby, Lund#	13	kg/ton TS
Sjölunda, Malmö#	6,4	kg/ton TS
*Svar från enkät. #Data från miljörapport 2009		





**WASTE REFINERY**  
SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut  
Box 857, 501 15 Borås  
wasterefinery@sp.se  
[www.wasterefinery.se](http://www.wasterefinery.se)