



AKADEMIN FÖR TEKNIK OCH MILJÖ
Avdelningen för bygg-, energi- och miljöteknik

Avsättningsalternativ för avloppsslam utifrån effektiviserad slambehandlingsmetod i Avesta kommun

- *med fokus på hygienisering och miljömässig nytta*

Författare: Sofia Backlund

2015-06-16

Examensarbete, Grundnivå (kandidatexamen), 15 hp
Miljöteknik
Miljöteknik - vatten, återvinning, Co-op

Handledare: Zhao Wang
Examinator: Mikael Björling

Sammanfattning

Avsättningsalternativ för avloppsslam utifrån effektiviserad slambehandlingsmetod i Avesta kommun – med fokus på hygienisering och miljömässig nytta

Sofia Backlund

Avloppsslam innehåller näringsämnen, som bör återföras till naturen för att skapa ett så kallat näringskretslopp. Genom att optimera hygieniseringen av avloppsslam med effektivare behandlingsmetod kan avloppsslam bli mer lämpligt att avsättas ur ett bättre ekonomiskt- och miljömässigt perspektiv. Syftet med arbetet var att undersöka och bedöma om effektivisering av befintlig slambehandling är möjlig för att uppnå tillräcklig hygienisering. Utifrån den effektiviserade slambehandlingsmetoden utreda möjliga avsättningsalternativ som lämpar sig bäst för avloppsslammet i Avesta kommun.

En litteraturöversikt utfördes för att öka kunskapen och förståelsen av avloppsslam, dess hantering och avsättning. Fallstudien är utformad med kvalitativ metod och informationen har inhämtats från vetenskapliga artiklar, myndigheter, rapporter, examensarbeten och personlig kontakt som komplement för att erhålla en god förståelse.

Uppgradering av mesofil rötning av avloppsslam vid 37 °C till termofil rötning, 55 °C – 65 °C innebär förhöjd temperatur; det kräver mer energi och ökade energikostnader. Komponenter av den mesofila rötningsprocessen kommer att behöva uppgraderas eller bytas ut och därför tillkommer extra kostnader som också behöver ses över. Fördelarna med termofil rötning inkluderar kortvariga uppehållstider, mindre röt-kammare och slammet blir tillräckligt hygieniserat.

Ett framtidsscenario är framtaget utifrån effektiviserad slambehandling där två avsättningsalternativ är mest lämpliga för avloppsslammet i Avesta kommun. Gödsel till produktiv mark är ett av de föreslagna alternativ som tillåter fosfor återvinnas och återanvändas. Om inte termofil rötning som effektivisering hade erhållit tillräcklig hygienisering borde andra komplementär processer ha införts, exempelvis komposteringstrumma eller pastörisering.

En fullständig kostnadsjämförelse mellan befintlig slambehandlingsmetod och mer effektiviserad slambehandlingsmetod är dock nästan omöjlig att utföra då alla kostnader beror på val av komponenter och faktorer. Denna fallstudie bidrar med ett underlag som kan ge större möjligheter för Avesta Vatten och Avfall AB att välja den mest lämpliga avsättningen för avloppsslammet i Avesta kommun i framtiden.

Nyckelord: Avloppsslam, Avloppsreningsverk, Slambehandling, Mesofil rötning, Termofil rötning, Hygienisering, Avsättning, Näringskretslopp

Abstract

Avsättningsalternativ för avloppsslam utifrån effektiviserad slambehandlingsmetod i Avesta kommun – med fokus på hygienisering och miljömässig nytta

Sofia Backlund

Sewage sludge contains nutrients, which should be returned to nature to create a so-called nutrient circulation. By optimizing sanitisation of sewage sludge with effective treatment methods, sewage sludge can be more appropriately disposed from a better economic- and environmental perspective. The aim of this work was to investigate and judge the efficiency of existing sludge treatment is possible to achieve a sufficient sanitation. Based on the streamlined sludge treatment method investigate the disposal options that is best suited for sewage sludge in Avesta town.

A literature review was conducted to increase the knowledge and understanding of sewage sludge, its treatment and disposal. The case study is formed with qualitative method and information which has been collected from the scientific articles, authorities, reports, theses and personal contact as a complement to obtain a good understanding.

Upgrading of mesophilic digestion of sludge at 37 ° C to thermophilic digestion at 55 ° C - 65 ° C means increased temperature; this requires more energy and hence increases energy costs. Components of the mesophilic digestion process need to be upgraded or replaced and therefore additional costs should also be considered. The advantages of the thermophilic digestion include short residence time, smaller digester and sludge becomes sufficiently disinfected.

A future scenario is developed based on more efficient sludge treatment where two disposal options are most appropriate for the sewage sludge in Avesta town. Returning digestate to productive land is one of those suggested alternatives that allows phosphorus to be recovered and recycled. If not thermophilic digestion as streamlining is not effective enough for sufficient sludge sanitation, other complementary processes have to be introduced, for instance, composting drum or pasteurization.

A full cost comparison between the existing sludge treatment and more efficient sludge treatment method is, however, almost impossible to be performed when all costs depend on the choice of components, factors and so on. This case study contributes with first-hand information that can provide greater opportunities for Avesta Vatten och Avfall AB to select the most appropriate options for sewage sludge disposal in Avesta town in the future.

Keywords: Sewage sludge, Sewage treatment plant, Sludge treatment, Mesophilic digestion, Thermophilic digestion, Sanitisation, Disposal, Nutrient circulation

Förord

Detta examensarbete fullbordar mina studier inom Miljöteknik – vatten, återvinning, Co-op vid Högskolan i Gävle. Examensarbetet utreder möjliga avsättningsalternativ för avloppsslam utifrån effektivisering av befintlig slambehandlingsmetod i Avesta kommun – med fokus på hygienisering och utfördes på uppdrag av Avesta Vatten och Avfall AB.

Tack till Thom Sandvik, VA-chef och Oskar Gustafsson, VA-utredare på Avesta Vatten och Avfall AB för gott samarbete, information som har bidragit till ökad kunskap inom ämnesområdet och för tålmodiga svar vid flertal frågor och funderingar.

Tack till Linda Niem, Utredare Klimatenheten på Jordbruksverket och Leif Silden, Projektledare på VA-ingenjörerna AB för visat engagemang och delande av information rörande Salixodlare i Dalarnas Län och uppgifter om effektivare rötningsanläggning.

Ett stort tack till Zhao Wang, Universitetslektor i Miljöteknik vid Högskolan i Gävle för bra feedback, användbar vägledning och för ett stort intresse i mitt arbete. Tackar för relevant information och snabba svar via mail.

Jag vill även passa på att tacka alla medverkande under min studietid på Högskolan i Gävle, för möjligheten till att ha fått träffa otroliga människor som allesammans har varit med och bidragit till den jag har utvecklats till idag. Jag avslutar nu mina studier med goda vänner, förbättrade kunskaper och en högre självkänsla.

Tack!

Sofia Backlund

Avesta/Gävle, juni 2015

Begreppsförklaring

Aerobt förhållande	Syrerikt förhållande
Anaerobt förhållande	Syrefritt förhållande
ARV	Avloppsreningsverk
Avsättning	Tänkbart användningsområde
Hygienisering	Metoder som kan minska förekomsten av sjukdomsframkallande mikroorganismer och patogener.
Mesofil rötning	Uppehållstid ca 15-20 dagar med temperaturen 30 ⁰ C - 40 ⁰ C
Pastörisering	Uppvärmning i ca 70 ⁰ C under minst en timme
Patogena ämnen	Samlingsnamn för smittspridande ämnen
Pe	Personekvivalent
ReVAQ	Ren växtnäring från avlopp (Q står för kvalitet)
Rötning	Nedbrytning av organiskt material, stabilisering av avloppslam och energin i slammet kan utvinnas.
SFNS	Statens naturvårdsverks författningssamling
SFS	Svensk författningssamling
Termofil rötning	Uppehållstid ca 7-12 dagar med temperatur 55 ⁰ C - 65 ⁰ C
TS-halt	Torrsubstanshalt, mäts i [%]

Innehållsförteckning

Sammanfattning	I
Abstract	II
Förord	III
Begreppsförklaring	IV
Innehållsförteckning	V
1. Inledning	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Problem	2
1.3 Syfte & mål	3
1.4 Omfattning	3
1.5 Målgrupp	3
2. Metod	4
2.1 Fallstudie	4
2.2 Litteraturöversikt	4
2.2.1 Datainsamling	4
2.3 Övriga källor	4
3. Teoretisk bakgrund	5
3.1 Avesta Vatten och Avfall AB	5
3.1.1 Avloppsvattenrening	6
3.1.2 Befintlig slambehandling	7
3.2 Slammets egenskaper	9
3.2.1 Tungmetaller	9
3.2.2 Patogena ämnen	9
3.3 Hygienisering	10
3.3.1 Mesofil och termofil rötning	10
3.3.2 Kompostering	11
3.3.3 Pastörisering	11
3.4 Lagstiftning	12
3.5 Existerande avsättningsalternativ	13
3.5.1 Gödsel till produktiv mark och skogsmark	13
3.5.2 Tillgänglig anläggningsjord	14
4. Resultat	15
4.1 Framtagen slambehandlingsmetod	15
4.2 Komplettering	17
4.2.1 Komposteringstrumma	17
4.2.2 Pastörisering	18
4.3 Avsättningsalternativ	18
4.3.1 Gödsel till produktiv mark	18
4.3.2 Anläggningsjord till reparation av skogsmark	19
5. Diskussion och slutsats	20
7. Framtida studier	22
8. Referenslista	23
Bilagor	27

Bilaga 1. Beräkning av slammängder	27
Bilaga 2. Ekonomi och energi	27

1. Inledning

Avloppsvatten renas på avloppsreningsverk genom olika reningssteg för att reducera mängden näringsämnen och organiskt material, för att minimera riskerna för övergödning av landets vatten. När avloppsvatten renas på avloppsreningsverk bildas ett avloppsslam som innehåller näringsämnen, organiskt material och förorenade ämnen. Förr ville samhällen snarast möjligt bli av med slammet då det ansågs som ett avfall (Lidström, 2012). Idag ses slammet som en resurs, ett sätt att återföra näringen i slammet till naturen, att skapa ett så kallat näringskretslopp. Slammets innehåll av oönskade ämnen hindrar dock återförsl av näringen på grund av negativa effekter i miljön och risken för smittspridning (Finnson, 2013).

På grund av höga halter av patogena ämnen och tungmetaller avsätts oftast avloppsslammet där det ger minst nytta, exempelvis som täckningsmaterial vid sluttäckning av deponier (Lloret et al, 2013). För att avloppsslam ska ge nytta måste effektivare metoder för slambehandling undersökas och implementeras. Hygienisering är en viktig aspekt att ta hänsyn till för att minska risken för spridning av smittsamma ämnen (Rönnlund, L. u.å). Att optimera hygieniseringen med effektiva slambehandlingsmetoder kan leda till en lämpligare avsättning som gör att avloppsslam kan nyttjas på bästa ekonomiska- och miljömässiga sätt (Lloret et al, 2013; Cho et al, 2013).

1.1 Bakgrund

Utvecklade behandlingsmetoder menade till avloppsreningsverk för att få ett renare slam har varit aningen segstartat. Det har på senare dar blivit allt mer eftertraktat att få ett renare slam för att kunna återanvända slammet där det ger nytta. Dagens miljötänk inom flertal parter i samhället har förändrats, det som samhället en gång lånat av naturen ska nu återföras för att kunna återge rätt balans (Lidström, 2012).

Det finns krav och riktlinjer för att få återföra näringen till naturen som försvårar för en del verksamheter. Dessa krav och riktlinjer är redan svåra att följa och till råga på det kommer nya skärpta krav att försvåra ännu mer. Regeringen gav Naturvårdsverket ett uppdrag om att införa ett nytt hygieniseringskrav för att få sprida avloppsslam på produktiv mark (Miljödepartementet, 2012). Naturvårdsverkets förändringsförslag visade sig inte vara godkänt från flertal inblandade parter, bland annat Stockholm Vatten och Naturskyddsföreningen skickade remissvar (Stockholm Vatten, 2013; Naturskyddsföreningen, 2014). Därför är föreskrifter om hygieniseringskrav under uppgörelse och enligt VA-chefen på Avesta Vatten och Avfall AB kommer kravet inte att bli infört förrän tidigast under hösten 2015.

En viktig aspekt som bör finnas i åtanke är den höga mängden fosfor som finns i avloppsslam. Fosfor är ett grundämne som gång på gång utvinns för att ständigt finnas till samhällets behov. Varje gång fosfor utvinns minskar förrådet av grundämnet och som för alla andra grundämnena så kommer det en dag att ta slut (Finnson, 2013). Fosfor späder även på övergödningseffekten från avloppsslam om det hamnar på fel ställen och därför är det extra viktigt att ta tillvara på och återvinna fosfor så gott det går (Ragnsells, u.å).

Det gäller att effektivisera avloppsvattenreningen för att reducera organiskt material, fosfor och andra oönskade ämnen som bidrar till negativa effekter i miljön. Även att hitta en god slambehandlingsmetod som kan rena avloppsslammet från patogena ämnen och tungmetaller. Samtidigt söka källan uppströms med hjälp av uppströmsarbete för att minska förekomsten av tungmetaller och andra förorenade ämnen redan innan vattenfasen för att slippa kostsamma och avancerade renings- och behandlingstekniker under ett senare skede (Finnson, 2013).

Denna studie är utformad utifrån behovet av effektivare slambehandling för att kunna hitta en bättre avsättning för avloppsslammet i Avesta kommun. Uppgiften diskuterades fram med Avesta Vatten och Avfall AB som är ett bolag som ägs av Avesta kommun. De sköter all hantering och behandling av avloppsvatten och avloppsslam (Avesta kommun, 2014). Det finns idag en befintlig våtrötningsanläggning som är placerad på Krylbo ARV belägen i Avesta kommun. Där rötas slammet i 37 °C, det vill säga mesofil rötning och förvaras sedan på en slamplatta. Utöver allt slam som rötas vid Krylbo ARV finns det ytterligare två verk som producerar slam, Horndal ARV och Näs ARV. Slammet från Näs ARV skickas över till Horndal ARV där det avvattnas (T. Sandvik, personlig kommunikation, 2015) och tillsammans med avvattnat slam från Horndal ARV skickas det till Karlslundsavfallsanläggning där kommunens deponi finns. Allt avloppsslam i kommunen är idag planerat att användas som sluttäckningsmaterial på Karlslunds nedlagda deponi. Dock är sluttäckningen ännu inte påbörjad, vilket innebär att slammet idag bara lagras (O. Gustafsson, personlig kommunikation, 2015).

1.2 Problem

Avesta Vatten och Avfall AB har i dagsläget rötning med mesofil temperatur som slambehandlingsmetod (Sandvik, 2015), vilken kan ifrågasättas som metod för att erhålla tillräcklig hygienisering av avloppsslammet för att kunna nyttja det till avsättning där näringsämnen återförs till naturen.

Den enda möjliga avsättningen för avloppsslammet i dagsläget är det redan befintliga alternativet som inte ger någon miljömässig nytta alls. Slammet lagras på en slamplatta för att sedan köras till Karlslundsavfallsanläggning där Avesta kommuns nedlagda deponi ligger. Där lagras ytterligare slam som tidigare skickats dit. Inom en snar framtid är det meningen att slammet ska användas som sluttäckningsmaterial på deponin. Denna sluttäckning är inte påbörjad och lagringshögen växer (O. Gustafsson, personlig kommunikation, 2015).

Framtidens ovisshet gällande sluttäckningen är stor och det kan innebära eventuella extra fraktkostnader, större ytor för långtidsförvaring och en hög deponeringsavgift. Den befintliga slambehandlingsmetoden klarar av dagens hygieniseringskrav. Nya krav från Naturvårdsverket (Miljödepartementet, 2012) innefattar strängare riktlinjer och kommer kanske därför utmana den befintliga metoden genom att inte längre klara av att erhålla ett bra resultat. Miljömässiga avsättningsalternativ kanske därför inte kommer kunna bli aktuella utan

att den enda avsättningen i framtiden kommer att vara täckningsmaterial menat för sluttäckning av kommunens nedlagda deponi.

1.3 Syfte & mål

Syftet med denna fallstudie är att undersöka och bedöma om effektivisering av befintlig slambehandlingsmetod räcker för att uppnå tillräckligt hygieniserat avloppsslam. Utifrån framtagen slambehandlingsmetod utreda de avsättningsalternativ som åstadkommer miljömässig nytta och lämpar sig bäst för avloppsslammet i Avesta kommun.

- Analysera om effektivisering av befintlig slambehandlingsmetod ger tillräckligt hygieniserat avloppsslam
- Utreda vilken komplettering som krävs förutsatt att effektiviseringen inte ger tillräckligt hygieniserat avloppsslam
- Undersöka existerande avsättningsalternativ och utifrån framtagen slambehandlingsmetod framföra de mest aktuella
- Den framtagna slambehandlingsmetoden och avsättningsalternativen ska erhålla ett tillräckligt hygieniserat slam för att uppnå bästa miljömässiga nytta
- Undersöka kostnader, energiförbrukning och energiproduktion

1.4 Omfattning

Studien utgår från avloppsslammet som bildas i Avesta kommun. Slammet som redogörs i denna studie kommer från kommunens tre avloppsreningsverk, Krylbo ARV, Horndal ARV och Näs ARV. Den effektiviserade slambehandlingsmetoden är menad för att placeras på Krylbo ARV och avsättningsalternativen håller sig till närområden. Då Avesta Vatten och Avfall AB tillför avloppsvatten från enskilda avlopp redan innan slambehandlingsprocessen medräknas denna mängd i den totala slammängden.

Förbränning och deponering är icke medtagna i rapporten som framtida avsättningsalternativ då de inte ger någon miljömässig nytta. Förbränning ger nytta i form av energi och finns därför med under diskussionsavsnittet och framtida studier. Alternativet som täckningsmaterial till deponier utesluts helt då denna studie fokuserar på återanvändning och återvinning.

Exakta ekonomiska- och energimässiga siffror är inte medtagna i denna rapport på grund av att de varierar från bland annat process till process, metod till metod och/eller slamkvalitet till slamkvalitet. Därför nämns endast faktorer som kan tänkas behöva uppgraderas eller nyinvesteras och därmed medföra extra kostnader.

1.5 Målgrupp

Denna studie riktar sig främst till Avesta Vatten och Avfall AB och Avesta kommun. Även andra kommuner med liknande förutsättningar som i Avesta kommun kan se detta som ett bra underlag. Övriga intressenter inom VA-branschen och studenter inom liknande kunskapsområden kan se materialet som användbart inför framtida studier.

2. Metod

Flertal metoder har använts för att nå ett resultat. Först och främst utfördes en litteraturöversikt för att få ett bredare perspektiv inom ämnet avloppsslam, dess hantering och avsättning. Detta arbete är en fallstudie som är utformad med kvalitativa metoder. För att få resultatet komplett har information även inhämtats från olika vetenskapliga artiklar, myndigheter, tryckta rapporter, examensarbeten och personlig kontakt i form av mail- och telefonkontakt. Slammängder räknades om till samma enhet med hjälp av densiteten för avloppsslam för att det skulle bli lättare att ha en och samma enhet.

2.1 Fallstudie

Denna studie är en fallstudie om effektivisering av befintlig slambehandlingsmetod samt undersökningar av alternativa avsättningsmöjligheter för avloppsslammet i Avesta kommun som sker på uppdrag av Avesta Vatten och Avfall AB. Kvalitativ metod står i fokus genom hela rapporten, mest för att skapa förståelse av situationen som råder gällande avloppsslam och dess hantering generellt och inom Avesta kommun.

2.2 Litteraturöversikt

Kvalitativ metod användes vid utformandet av litteraturöversikten för att få fram andras studier rörande avloppsslam och dess hantering för att få en bredare förståelse av ämnet. Vetenskapliga artiklar har sökts i databaser, de har granskats och en sammanställning av studerade resultat har utförts. Övriga källor har medtagits för att få tillräcklig förståelse.

2.2.1 Datainsamling

Vetenskapliga artiklar är hämtade från databasen ScienceDirect, då den fokuserar på bland annat miljö, teknik och effektivisering. Huvudsökordet var "*Sewage sludge*". Sökattribut AND var hjälpsamt vid komplettering av delord som exempelvis; *agricultural, removal, deposition, recycling, sanitisation, digestion*. Titeln var huvudavgörande vid val av artikel och om innehållet i titeln och sammanfattningen verkade stämma överrens med ämnet, valdes de ut för djupare granskning. Totalt 20 sökta artiklar hittades med passande innehåll. Flertal artiklar uteslöts på grund av att de var inaktuella, då tidsramen var bestämd till senaste tio åren. Slutligen valdes artiklar ut för detaljerad läsning och grovare granskning och slutligen bestod litteraturöversikten utav 5 vetenskapliga artiklar.

2.3 Övriga källor

Först och främst då denna studie är baserad på litteratur har källor hämtats från vetenskapliga artiklar, tryckta rapporter, tryckta böcker, examensarbeten, myndigheter samt andra informativa källor. För att inhämta mer detaljerad information om vissa delar i rapporten användes intervjuer, däribland personlig kontakt så som mail- och telefonkontakt. Mailkontakt har kontinuerligt skett med handledaren. Personlig kontakt och mailkontakt i form av guidning och dokument har varit aktuell med uppdragsgivaren.

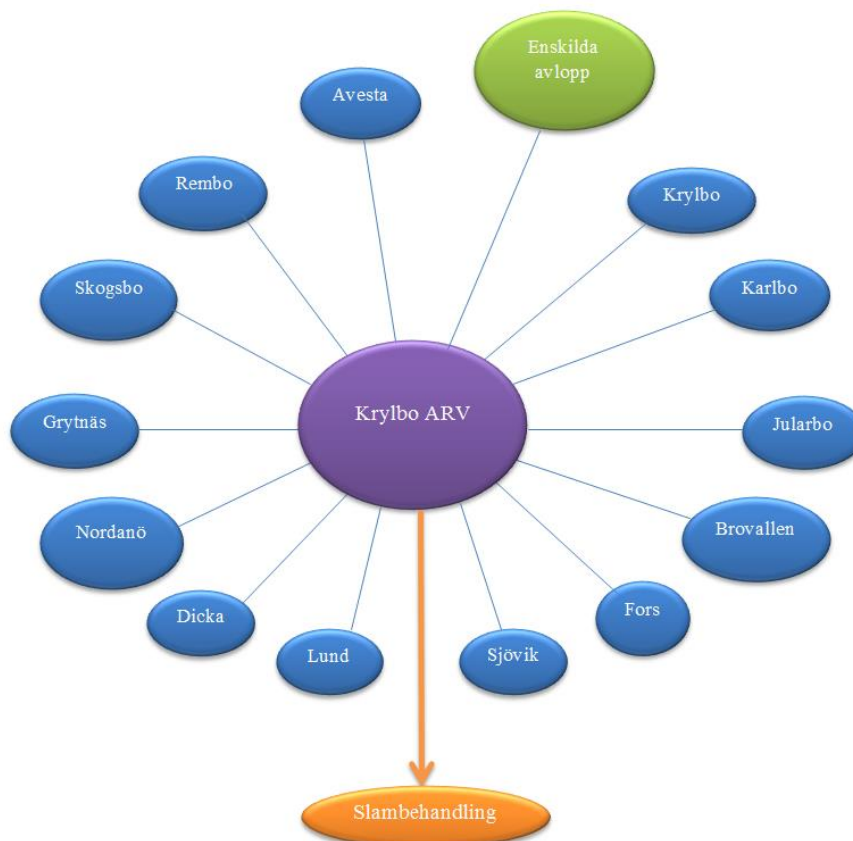
3. Teoretisk bakgrund

För att erhålla ett resultat där syftet och målen uppnås gällande undersökningar av effektiviserad slambehandlingsmetod och möjliga avsättningsalternativ behövs en teoretisk bakgrund. Därför sker en verksamhetsbeskrivning av Avesta Vatten och Avfall AB följt av en redogörelse av befintlig slambehandling, slammets egenskaper, information om utvecklade hygieniseringsmetoder samt relevant lagstiftning.

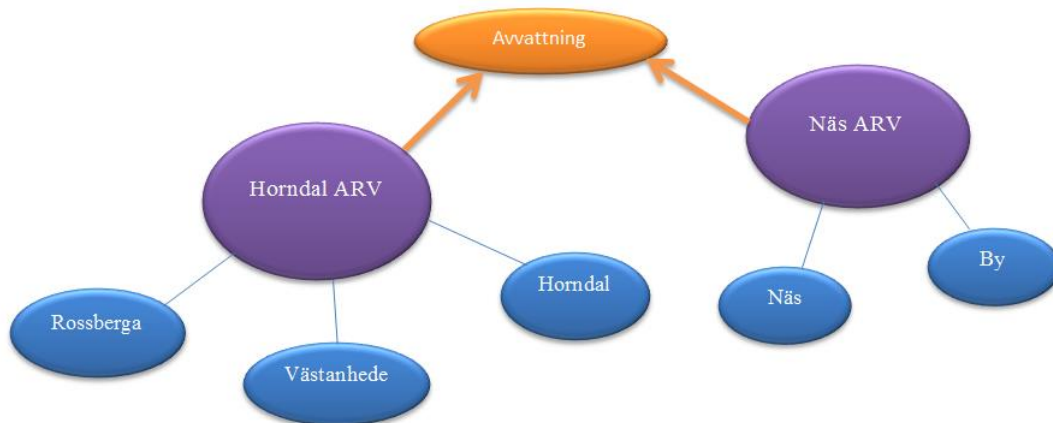
3.1 Avesta Vatten och Avfall AB

Avesta Vatten och Avfall AB är ett kommunalägt bolag (Avesta kommun, 2014) som behandlar allt avloppsvatten som uppkommer i Avesta kommun. Det finns tre brukliga avloppsreningsverk i kommunen; Krylbo ARV (Avloppsreningsverk), Horndal ARV och Näs ARV (Gustafsson, 2013). Krylbo ARV är det störst dimensionerade verket med flest anslutna personer (tabell 1). Avesta är en mindre kommun som ligger i Sydöstra Dalarna och invånarantalet uppgår till cirka 22 000 personer (Jernelius, 2014). Avesta har en total areal på 673 km², varav 430 km² är skogsmark och 102 km² åkermark (Palm, 2009).

Figur 1 visar flödet av avloppsvatten från flertal av kommunens statsdelar som är kopplade till Krylbo ARV. Avloppsvatten från enskilda avlopp ansluts direkt vid vattenfasen och det bildade avloppsslammet leds vidare till slambehandling, i det här fallet mesofil rötning. Figur 2 visar flödet av avloppsvatten från kommunens statsdelar som är anslutna till Horndal- och Näs ARV. Avlägsnat slam från Näs ARV fraktas över till Horndal ARV där slammet avvattnas i antingen en centrifug eller i torkbäddar (T. Sandvik, personlig kommunikation, 2015).



Figur 1. Flödesschema för avloppsvatten och avloppsslam anslutet till Krylbo ARV.



Figur 2. Flödesschema för avloppsvatten och avloppsslam anslutet till Horndal- och Näs ARV.

3.1.1 Avloppsvattenrening

På Krylbo ARV renas avloppsvatten genom tre huvudsteg, mekaniskt, biologiskt och kemiskt. I det mekaniska steget inkommer avloppsvatten från de områden som visas i figur 1. Det mekaniska steget består först och främst av två stycken rengaller som renar bort stora partiklar som är större än 3 mm. Det bildas då en väldigt torr grovrest som hanteras som ett avfall. Avloppsvattnet fortsätter sedan renas genom ett sandfång som består av sedimenteringsbassänger där organiskt material fångas upp i sand och tas om hand med bottenkrapor, även kallade travärser. Denna bortskrapade sandblandning förs till en sandtvätt där sanden tvättas för att sedan kunna återanvändas (T. Sandvik, personlig kommunikation, 2015).

Efter det mekaniska steget sker det en kemisk försedimentering i sedimenteringsbassänger. Dessa är ungefär 3.5 meter djupa och där tillsätts kemikalier för att reducera fosforhalten. Även i dessa bassänger går det travärser som skrapar bort den bildade resten. Detta extra steg har hjälpt till att minska fosforhalten från att ha legat över gränsen till att idag hålla sig under (T. Sandvik, personlig kommunikation, 2015).

Biologiskt steg, även kallat aktivslamprocess är det andra steget i reningsprocessen. Detta steg består även där av sedimenteringsbassänger varav avloppsvattnet har pumpats från det kemiska försedimenteringssteget. I dessa bassänger tillförs syre och på så sätt bildas ytterligare en rest som kan avlägsnas. I detta steg mäts syrehalten, susp., BOD och COD (T. Sandvik, personlig kommunikation, 2015).

Slutligen har avloppsvattnet nått det sista steget i processen, vilket är det kemiska steget. Här tillsätts kemikalier för att fälla ut de sista oönskade ämnen som finns kvar. Denna process avslutas med att utgående vatten släpps ut. Det tas kontinuerliga prover på detta vatten som sedan har utlopp i Dalälven mellan Krylbo och Karlbo (T. Sandvik, personlig kommunikation, 2015).

Vid reningens försedimentering och slutsedimentering har det bildats ett avloppsslam och sammanlagt gick cirka 401 ton (1 762 m³) avloppsslam från Krylbo ARV till slambehandling år 2014 (Avesta Vatten, 2014c). I Tabell 1 visas slammängder i olika enheter för respektive verk under 2013 och 2014. Densiteten för avloppsslam finns med som hjälp vid enhetsomräkning från ton till kubikmeter (m³). Uträkningen finns i bilaga 1.

Tabell 1. Antal anslutna personer, slammängd, TS-halt och densitet för respektive avloppsreningsverk år 2013 och 2014. Slammängderna erhålls i Ton, Ton TS och m³ (Avesta Vatten, 2014c; Avesta Vatten, 2013a; Avesta Vatten, 2013b; Avesta Vatten, 2013c).

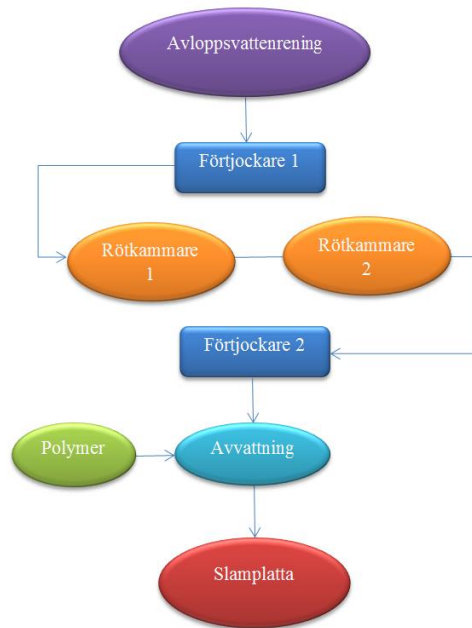
	Krylbo ARV (2014)	Krylbo ARV (2013)	Horndal ARV (2013)	Näs ARV (2013)
Anslutna (personer)	16 441	16 441	1 174	292
Producerat slam (Ton)	1 814	1 614	140	120
Producerat slam (Ton TS)	401	355	19.3	11.8
Producerat slam (m ³)	1 762	1 567	136	117
TS-halt (%)	22.1	22.0	13.8	9.8
Densitet (ρ) (ton/m ³)	1.03	1.03	1.03	1.03

3.1.2 Befintlig slambehandling

Den slamrest som har bildats vid försedimenteringen och slutsedimenteringen förs från avloppsvattenrensningen till förtjockare 1. Slammet i förtjockaren är då ett råslam som har en TS-halt på cirka 4.5 %. Efter att råslammet har förtjockats förs det in i röt-kammare 1 där slammet våtrötas. Det finns ytterligare en röt-kammare 2 som tar emot våtrötslam från röt-kammare 1 när den är fylld, se flödet i figur 3, (T. Sandvik, personlig kommunikation, 2015).

De tempererade rötningsskammarna är 750 m³ stora. De är serieanslutna och har en var sin toppinstallerad omrörare (Figur 4). I röt-kammaren rötas slammet under anaeroba villkor med mesofil temperatur på cirka 37° C (Avesta Vatten, 2014b). Den totala uppehållstiden i rötningssanläggningen är ungefär 15 dagar (T. Sandvik, personlig kommunikation, 2015).

Det rötade slammet går sedan vidare till förtjockare 2 och då är rötresten fortfarande väldigt våt och har därför fortfarande en låg TS-halt. Därför tillsätts polymer och slammet avvattnas i en slampress för att erhålla en mer lätthanterlig rötrest som har en TS-halt på cirka 20-25 %. Den färdiga rötresten förs till en slampatta belägen på Krylbo ARV (T. Sandvik, personlig kommunikation, 2015), cirka 180 ton TS/år, alltså 815 ton (Avesta Vatten, 2014c). Rötresten lagras där för att så småningom användas som sluttäckningsmaterial på Karlslundsavfallsanläggningens nedlagda deponi (Avesta Vatten, 2014a). Avvattnat slam från Horndal- och Näs ARV skickas till Karlslundsavfallsanläggning. Slammet mellanlagras för att i sinom tid kunna användas (O. Gustafsson, personlig kommunikation, 2015).



Figur 3. Flödesschema över befintlig slambehandling belägen på Krylbo ARV.

Biogas (60-65 % metangas) fås ut av rötningen och leds till en gasklocka på 160 m³ (Avesta Vatten, 2014a). I själva gasklockan finns det en nivågivare som reglerar fyllnadsgraden som i sin tur styr gasförbrukarna, gaspannan och gasturbinen och vid för hög nivå tänds en fackla för att förbränna gasen (Avesta Vatten 2014b).

Efter passage av ytterligare komponenter, exempelvis gasdomer och kondensavskiljare leds gasen till pannrummet där gasen hanteras på två sätt. Det ena är att gasen förbränns i gaspanna för att omvandla energi till värme eller för att generera el i gasturbinen (Avesta Vatten, 2014b). Energin tas om hand och återanvändas, idag används endast värme, då produktionen inte ger tillräckligt med gas för att generera el (T. Sandvik, personlig kommunikation, 2015).



Figur 4. Visar den befintliga rötningsanläggningen till höger, förtjockare 1 i mitten och gasklockan till vänster, som är placerad på Krylbo ARV.

3.2 Slammets egenskaper

Ett avloppsslam innehåller olika egenskaper och dessa skiljer sig från slam till slam och reningsprocess till reningsprocess. Dessa egenskaper har betydelse vid val av slambehandlingsmetod och hur den bör utformas (Persson et.al, 2012).

3.2.1 Tungmetaller

I tabell 2 beskrivs närmare hur Avesta kommuns avloppsslam ser ut när det gäller tungmetallhalter. De framtagna värdena är från provtagningstillfällena under 2014 vid respektive avloppsreningsverk i kommunen och provanalyserna är utförda avalcon AB (Avesta Vatten, 2014d; Avesta Vatten, 2014e; Avesta Vatten, 2014f). Riktvärdena enligt SFS 1998:944 (se avsnitt 3.4 lagstiftning) är medtagna för att jämföra (Notisum, 1998). Det visar sig att tungmetallhalterna i Avesta kommuns slam idag inte överstiger riktvärdena, se rödmarkerade riktvärden i tabell 2.

Tabell 2. Avesta avloppsslams tungmetallsvärden från alla reningsverk samt riktvärden enligt SFS nr: 1998:944, (Avesta Vatten, 2014d; Avesta Vatten, 2014e; Avesta Vatten, 2014f; Notisum, 1998).

Tungmetaller	Krylbo ARV 2014 (mg/kg TS)	Näs ARV 2014 (mg/kg TS)	Horndal ARV 2014 (mg/kg TS)	Riktvärden (mg/kg TS)
Bly	26.3	9.6	15	100
Kadmium	1.18	0.58	0.81	2
Koppar	381	230	180	600
Krom	63.9	18	27	100
Kvicksilver	0.62	0.14	0.72	2.5
Nickel	37.3	7.7	16	50
Zink	756	300	400	800

3.2.2 Patogena ämnen

Tungmetallhalterna överstiger inte riktvärdena och därför bör fokus ligga på att hygienisera avloppsslammet från patogena ämnen. I detta avsnitt tas patogena ämnen upp som är viktiga att avlägsna då de kan ge smitta till människor och riskera ohälsa.

Salmonella - Salmonella finns i flertal arter, de flesta är vanligast i andra länder. En del kan spridas från person till person i kontakt med avföring. Salmonella bakterien påvisar inte symtom direkt utan bakterien kan finnas kvar i veckor, månader eller år. Buksmärtor, diarré och feber är några symtom som är vanliga (Folkhälsomyndigheten, 2015a).

E-coli - E-coli är en bakterie som finns i människors tarmar och som avges i anslutning med avföringen. Det finns flertal sorter av E-coli som agerar olika i människokroppen beroende på vart smittan kommer från och vilken E-coli art det är (Folkhälsomyndigheten, 2015b).

Clostridium perfringens - Bakterien växer i syrefattiga förhållande och bildar sporer. Sporerna bildar ett toxin som påverkar människors tarm. C. perfringens föder sporer väldigt fort och det är därför väldigt viktigt att avlägsna innan de når tarmen. Bakterien smittar inte från människa till människa på grund av att det är toxinet som ger smittan. Symtomen kan vara bland annat kolik och diarré (Folkhälsomyndigheten, 2015c).

3.3 Hygienisering

För att avloppsslam ska avsättas där det ger bäst nytta krävs att slammet är tillräckligt stabiliserat och hygieniserat. Hygienisering innebär att slammets innehåll av smittsamma ämnen minskas då en kombination av tid och temperatur spelar roll. Mesofil rötning reducerar patogena ämnen men nuförtiden anses den inte ge tillräcklig hygienisering. Det finns flertal olika sätt att hygienisera slammet, bland annat termofil rötning, kompostering och pastörisering (Finnson, 2013). Detta avsnitt beskriver resultat utifrån studerade artiklar och tidigare försök som har stabiliserat och hygieniserat avloppsslam med hjälp av olika kombinerade rötningmetoder eller annan form av hygienisering, just för att hitta en bra metod för att kunna använda slammet på bästa miljömässiga sätt.

3.3.1 Mesofil och termofil rötning

Mesofil- och termofil rötning skiljer sig, främst genom temperaturförändringar och uppehållstider (Lloret et al., 2013). Mesofil rötning innebär att rötningprocessen pågår under en längre period med en lägre temperatur, ungefär 15-20 dagar och 30° C - 40° C. Termofil rötning sker istället under en kortare period och har betydligt mycket högre temperatur än mesofil, cirka 7-12 dagar och 55° C - 65° C. Mesofil rötning har en stabil rötningstemperatur som skapar mindre störningar medan termofil rötning med mer ostabil rötningstemperatur riskerar störningar i processen (Bioenergiportalen, 2012).

Lloret et al (2013) utförde en analysering av innehållet av patogena ämnen i rått slam, mesofil rötat slam och termofil rötat slam, för att se om slammet uppnådde EU-direktivet gällande spridning av avloppsslam på produktiv mark, (se avsnitt 3.4 lagstiftning för mer information). Salmonella spp., E-coli och Clostridium perfringens spores är patogena ämnen som undersöktes (se avsnitt 3.2 slammets egenskaper). Termofil rötat slam höll sig under gränsvärdena, förutom för Clostridium perfringens spores, vilka är komplicerade att avlägsna enligt Lloret et al. (2013) som hämtat det från andra studerade fall som erhållit liknande resultat. Avancerade tekniker krävs för att avlägsna bakterien, vilket Lloret et al. (2013) rekommenderar genom två-stegs mesofil anaerobisk-termofil rötning. Denna metod testades på ett laboratorium och varje slamtyp hade två olika temperaturer, 55° C och 65° C och antingen rötades slamtyperna anaerobiskt eller aerobiskt. Det bästa urvalet blev termofil rötat slam vid 65° C under både anaerobiska och aerobiska förhållanden. Mesofil rötning upptäcktes ge en bättre groförmåga hos Clostridium perfringens spores, vilket kunde utnyttjas då hög temperatur tillfördes under kort tid för att utplåna dessa sköra sporer.

Enligt Persson et.al (2012) skulle tidigare nämnda metod även fungera åt andra hållet. Det vill säga att först använda termofil rötning som en förbehandling för att sedan följa upp med mesofil rötning som efterbehandling för att erhålla liknande resultat (Persson et.al, 2012).

Cho et al. (2013) beskriver istället hur ett High Efficiency Digestion system (HED-system) fungerar och hur effektivisering kan uppnås, för att avsätta avloppsslam där det ger nytta och för att öka metanproduktionen. Systemet innehåller komponenterna, mesofil anaerobisk reaktor (MAR), termofil aerobisk reaktor (TAR), flytande/fast separationsenhet och termisk-alkalisk behandling. Denna metod är enligt andra som Cho et al. (2013) har studerat väldigt

populär, då den påvisat positiva resultat. Cho et al. (2013) tog fram ett kombinerat HED-systemet med två förbehandlingsprocesser, alkalisk och termisk-alkalisk behandling, där olika egenskaper testades. Termisk-alkalisk behandling visade sig vara bäst, vilket Cho et al (2013) kunde jämföra med och få stöd av andra forskare som erhållit liknande resultat.

3.3.2 Kompostering

Kompostering betyder att avloppsslam stabiliseras och hygieniseras. Vanligtvis ligger temperaturen under 70° C och det finns antingen våtkompostering, sluten kompostering eller öppen kompostering som klassas som godkända metoder (Nandorf, u.å).

Komposteringstrumma är en form av sluten kompostering. Temperaturen och uppehållstiden samspelar, vid högre temperatur krävs mindre tid och tvärs om. Cirka 70° C innebär att uppehållstiden ligger runt ett dygn medans cirka 55° C betyder att uppehållstiden är ungefär 7 dagar. Kompostering kräver omrörning för att erhålla rätt syrehalt. Trumman medför att det blir lättare att hantera avloppsslammet då den automatiskt roterar och därmed ökar syrehalten (Rönnlund, u.å).

Det positiva med komposteringstrumma är att komposteringsprocessen är snabb och att tillräcklig hygienisering uppnås (Nandorf, u.å). Vad som är mindre bra med komposteringstrumma är dyra investeringskostnader och att eventuella korrosionsskador kan ske på utrustningen. Efter att avloppsslammet har komposterats krävs en efterbehandling. Det innebär att slammet måste ligga på en slamplatta under tak i ytterligare några veckor för att bryta ned material som inte har kunnat brytas ned under komposteringsprocessen (Rönnlund, u.å).

3.3.3 Pastörisering

Pastörisering betyder att slammet uppvärms med hög temperatur under en kortare period (Schönning, 2003). Rönnlund (u.å) menar på att pastöriseringstemperaturen ligger runt 70° C och är då upphettat i cirka en timme.

Kjerstadius et.al (2012) har inhämtat av flertal studier att upphättning för pastörisering ökar metanproduktionen. Vidare berättar Kjerstadius et.al (2012) om en studie där pastörisering som förbehandling till mesofil rötning har påvisat att effekten av metanproduktionen har ökat med hela 20 %. Enligt Kjerstadius et.al (2012) visar det sig även att pastörisering avlägsnar patogena ämnen och därför uppfyller slammet en god kvalitet.

3.4 Lagstiftning

Det är inte bara att sprida avloppsslam så att näringen återförs till naturen, det finns en hel del lagstiftning som bör tas hänsyn till. I tabell 3 tas relevanta lagstiftningar upp och en kortare beskrivning av dessa för att det ska bli lättare att förstå varför spridning av avloppsslam inte är en enkel sak att lösa.

Tabell 3. En tabell med sammanställd relevant lagstiftning gällande spridning av avloppsslam på produktiv mark för att återföra näringen till naturen.

Lagstiftning	Innebörd
SFNS 1994:2	SFNS 1994:2 är en kungörelse som består av föreskrifter om skydd för miljön, framför allt marken, då avloppsslam brukas på produktiv mark. Ändamålet är att styra upp brukandet av avloppsslam inom jordbruket, så att farliga utfall på mark, vegetation, djur och människor motverkas och på samma gång främja brukandet av avloppsslam (Naturvårdsverket, 1994).
SFS 1998:944	SFS 1998:944 är en svensk förordning som innefattar förbud och bestämmelser mot och begränsningar för behandlingen av kemiska ämnen. 20 § talar om vilka gränsvärden som gäller för avloppsslam som är tänkt för produktiv mark. Gränsvärdena gäller för metallerna bly, kadmium, koppar, krom, kvicksilver, nickel och zink, se avsnitt 3.2 slammets egenskaper (Notisum, 1998).
Regeringsuppdrag; återföring av fosfor	År 2012 gav Regeringen ett uppdrag till Naturvårdsverket om att skärpa hygieniseringskravet vid återföring av fosfor (Finnson, 2013). Uppdraget är fortfarande under uppgörelse och förväntas bli aktuella tidigast hösten 2015 (T. Sandvik, personlig kommunikation, 2015).
EU-direktiv (86/278/EEG)	EU-direktiv (86/278/EEG) är ett direktiv som framför villkor på avloppsslammets kvalitet samt hur det får brukas på produktiv mark. Slammet skall alltså åstadkomma god kvalitet för att inte riskera att påverka människors hälsa, djur- och växtliv negativt (Notisum, 1986).
Svenska miljömål	Begränsad klimatpåverkan: detta mål berör energin som används- och utvinns vid slambehandlingen (Naturvårdsverket, 2015a). Giftfri miljö: detta mål berör alla giftiga produkter som på något sätt nått avloppsvattnet och som avskiljs och hamnar i slammet (Naturvårdsverket, 2015b). Ingen övergödning: detta mål berör näringsämnena i slammet som kan i vissa fall bli för höga, läcka ut och medverka till eutrofiering (Naturvårdsverket, 2015c). God bebyggd miljö: detta mål berör själva sparsamheten när det gäller resurser så som bästa möjliga nyttjandet av näringsämnena men även vid biogasproduktion (Naturvårdsverket, 2015d).
ReVAQ-certifiering	ReVAQ-certifierade kan avloppsreningsverk sträva efter att bli för att hela tiden arbeta efter att förbättra sin slamkvalitet så att det kan användas där det ger nytta. Revaq betyder ren växtnäring från avlopp, där Q står för kvalitet. Hela ReVAQ systemet ägs av Svenskt Vatten (Svenskt Vatten, u.å).

3.5 Existerande avsättningsalternativ

Det finns flertal möjliga avsättningsalternativ för avloppsslam i dagens samhälle, dock kan inte alla vara användbara på grund av för höga halter av förorenade ämnen (Finnson, 2013). För att kunna använda avloppsslam på en avsättning som är miljömässigt bra krävs bättre kvalitet. Exempel på existerande avsättningsalternativ presenteras i detta avsnitt.

3.5.1 Gödsel till produktiv mark och skogsmark

Då avloppsslam innehåller mycket näring skulle det kunna användas som växtnäring i form av gödsel på produktiv mark. På grund av krav gällande vart slam får spridas så är begränsningen stor och därför kan endast vissa odlingar använda gödsel från avloppsslam (Naturvårdsverket, 1994). Det vanligaste användningsområdena är spannmål och energigrödor. För att få sprida avloppsslam på produktiv mark krävs att slammet är hygieniserat och har avvattnats. Slammet ska efter hygienisering inte ge ifrån sig någon opassande lukt och slammet ska vara REVAQ-certifierat och därmed uppfylla dess krav (Finnson, 2013).

Salix är en typ av energigröda som odlas på åkermark och som främst används till att eldas för att få ut energi som vidare kan användas i form av el eller värme (Jordbruksverket, 2015).

Naturvårdsverket, (2014) menar på att nästintill 90 % av slammet från svenska avloppsreningsverk fixar dagens kvalitetskrav rörande tungmetaller och organiska ämnen. Salixgrödan har även förmågan att ta upp tungmetaller som medför att metallerna inte hamnar i marken vid spridning på odlingen (Jordbruksverket, 2014).

Gödsel från avloppsslam kan även användas till skogsmark för att bidra med extra växtnäring till skogen (Naturvårdsverket, 2014). Det är kvävet i avloppsslammet som är det intressanta när det gäller att ge näring åt naturen säger Sörhult & Högqvist (2010) som även menar på att handelsgödsel innehåller mycket mer kväve än avloppsslam, vilket borde innebära att nästintill dubbelt så stor mängd avloppsslam måste spridas på samma yta som för hälften så mycket handelsgödsel.

Det finns inte så mycket regler för att få sprida avloppsslam som gödselmedel på skogsmark som det gör för att få sprida avloppsslam på produktiv mark. Dock bör avloppsslammet förvandlas till slampellets innan spridning. Slampellets innebär att slammet har torkats och formats till mindre bitar. Gödsel i form av slampellets skapar en lätthanterlig produkt som medför mindre kostnader vid transport och avsättning (Hånell et.al 1996). Vått och tungt slam är mer opraktiskt och kostar mer vid spridning på grund av behov av större förvaringstankar eller behov av att sprida gödsel flertal gånger (Sörhult & Högqvist, 2010).

3.5.2 Tillgänglig anläggningsjord

Avloppsslam kan användas som anläggningsjord (Naturvårdsverket, 2014). I detta avsnitt tas existerande avsättningsalternativ upp som kan ta emot anläggningsjord från rötat avloppsslam. Anläggningsjorden kräver lagringsytor för att alternativen skulle kunna vara möjliga.

Parker och rabatter

Att använda anläggningsjord från avloppsslam på grödor som skall ätas råa är enligt kungörelsen inte acceptabelt (Naturvårdsverket, 1994). Då växter inte är till för att förtäras kan alternativet att avsätta anläggningsjorden i parker och rabatter vara ett alternativ.

Reparationsjord

När olika fordon och maskiner kör i skogen vid exempelvis avverkning innebär det att skogsmarken förstörs säger skogsprofessorn Iwan Wästerlund vid SLU, Svenska lantbruksuniversitet (Sveriges radio, 2013). Reparationsjord är ett alternativ som skulle kunna användas just till att reparera förstörd skogsmark.

Det bör finnas med i tanken att slam i form av jord fortfarande kan ha gödselbar effekt och kan därför ge extra växtnäring som är huvuduppgiften vid spridning på produktiv mark, vilket bör tas hänsyn till vid val av reparationsområden. Exempelvis skulle asfaltsväg inte vara ett alternativ, där det inte bör växa någon form av växtlighet överhuvudtaget. Naturvårdsverket (2014) menar på att avloppsslam som reparationsjord också kan vara ett alternativ för att laga golfbanor.

4. Resultat

Genom att effektivisera befintlig slambehandling kommer avloppsslammet lättare kunna användas på produktiv mark då kvaliteten på slammet blir så pass bra att det förmodligen kommer att hålla sig under framtida hygieniseringskrav. Samtidigt skulle energiproduktionen öka och innebära att energi i form av värme och el skulle kunna återanvändas i rötningsprocessen. Effektivare rötning ger även mindre rötslam som gör att mindre mängd behöver avsättas.

4.1 Framtagen slambehandlingsmetod

För att Avesta Vatten och Avfall AB ska få ett avloppsslam som är tillräckligt hygieniserat inför framtida hygieniseringskrav, för att hitta en avsättning som ger miljömässig nytta krävs effektivisering av befintlig slambehandling. Därför är ett framtidsscenario (figur 5) framtaget för att påvisa möjlig effektivisering och för att vidare utredning av aktuell avsättning ska kunna användas som ett underlag av Avesta Vatten och Avfall AB inför framtida val.

Rekommenderad effektivisering är att uppgradera mesofil rötning 37°C till termofil rötning 55°C – 65°C, vilket skulle innebära en temperaturhöjning med ungefär 18° C. Högre temperatur kräver mer energi och det skulle medföra ökade kostnader. Norin (2007) har tagit fram siffror för hur mycket energi (22 kWh/m³) som skulle gå åt vid uppgradering från 35°C till 55°C samt antal kronor per kubikmeter (5.50 kr/m³). Om man tar den totala slammängden från alla avloppsreningsverk i Avesta kommun i kubikmeter (2 015m³) och räknar med skulle energikostnaden öka med 243 815 kr vid effektivisering från mesofil rötning till termofil rötning (se bilaga 2 för uträkning). I bilaga 2 i tabell 6 finns den totala energikostnad för Krylbo ARV idag, på 564 409 kr. Vid pålägg av denna uträknade ökning innebär det att den totala energikostnaden skulle kunna sluta på cirka 808 224 kr. Dock visar den summan endast på hur det blir om ingen energi återanvänds och i detta fall räknas det med det och därför innebär det att kostnaden minskar.

Vissa komponenter vid mesofil rötning kommer inte att vara tillräckliga och därför kommer behövas uppgraderas, därav tillkommer extra kostnader. En del komponenter kommer också behöva bytas ut helt och därför behöver kostnader vid nyinvestering vara med i beräkningen. Enligt Norin (2007) krävs en större värmeväxlare då den vid mesofil rötning inte räcker till. Förmodligen kommer också en ny panna att behöva installeras för att termofil rötning producerar mer gas. I det här fallet kanske det inte behövs då Avesta Vatten och Avfall AB inte använder både panna och gasturbin samtidigt idagsläget, därav kan de effektivt använda båda istället för att installera en ny panna. Även rötkammarisolering och nya uppehållstankar vid värmeåtervinning behöver investeras vid ombyggnation (Norin, 2007). Även L. Silden (personlig kommunikation, 2015) berättade om att nyinvesteringar så som bland annat värmeväxlare tillkom när Hallsberg kommun effektiviserade sin slambehandlingsmetod.

Det som bör finnas med i beräkningen är de komponenter som behöver uppgraderas som Norin (2007) pratar om och där är det svårt att ta fram exakta kostnader då det dels beror på val av tillverkare, material och inhyrd personal. Även investeringar av nya komponenter kommer att innebära kostnader som beror på olika valmöjligheter. Det är även viktigt att ha i

åtanke att alla uppgraderingar och investeringar måste anpassas till förutsättningar som råder och det gäller slammängder, slammets egenskaper och behov av hygienisering.

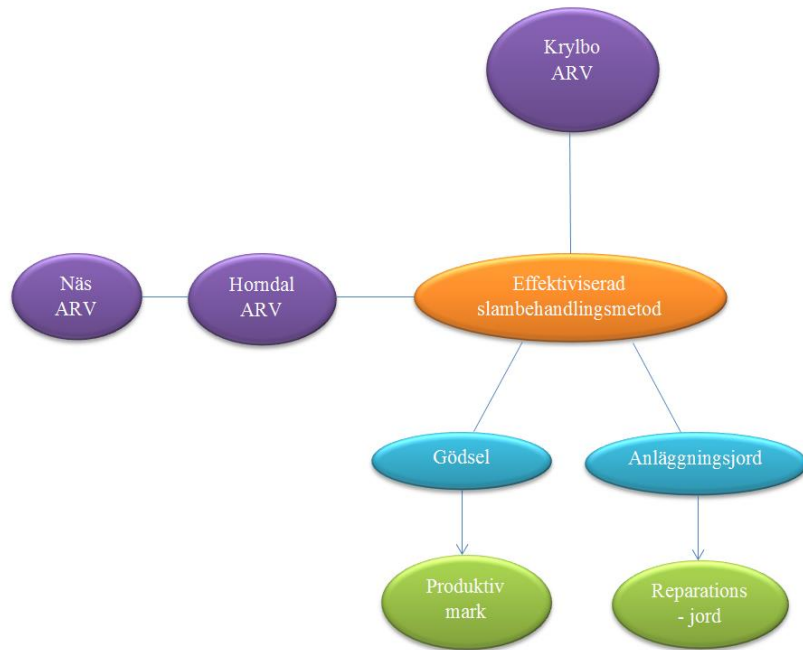
Såklart medför effektiviseringen inte bara negativa saker utan även positiva, exempelvis kommer kortare uppehållstider kunna erhållas och den höga temperaturen kommer kunna leda till en mindre rötrest. Därför behövs inte lika stora rötningsskammare och mer avloppsslam kommer att kunna rötas samtidigt. Termofil rötning får även avloppsslammet tillräckligt hygieniserat och därför reduceras riskerna för smittspridning (Sjöberg, 2008).

Ett liknande fall som detta har utförts i Hallsberg kommun, där L. Silden (personlig kommunikation, 2015) förklarar att effektivisering är praktiskt möjlig. Själva effektiviseringen innebar oförändrad storlek på rötningsskammarna (400 m³), dock kunde mer slam intas samtidigt på grund av att rötresten blev mindre. Den totala uppehållstiden uppgår till cirka 12 dagar. L. Silden (personlig kommunikation, 2015) kan uppskatta en total kostnad på cirka 6.5 miljoner kronor för hela effektiviseringen. Jämförelsevis kan man se till Hallsberg kommun där det har skett en effektivisering från mesofil till termofil rötning och som har invånarantal som kan liknas med Avesta kommun, cirka 15 000 stycken (Ekonomifakta, 2014) att det också skulle kunna vara praktiskt möjligt i Avesta.

Enligt Kävlinge kommun (u.å) kan rötningsskammarna ha en storlek på 600 m³ när avloppsslam ska behandlas med termofil rötning 55° C och då krävs det att gasklockan har en volym på cirka 210 m³. För att slammet ska bli tillräckligt stabiliserat och hygieniserat behöver slammet ligga i rötningsskammarna i ungefär 10 dagar. Kävlinge kommun som har liknande invånarantal, 29 808 stycken (SCB, 2014) att även detta teoretiskt sätt skulle fungera i Avesta kommun med cirka 22 000 invånare.

Ett flödesschema för framtidsscenario kan följas i figur 5. Detta framtidsscenario förutsätter att allt avloppsslam från alla tre avloppsreningsverk i kommunen kan rötas i den effektiviserade slambehandlingsmetoden. Enligt T. Sandvik (personlig kommunikation, 2015) är det inte möjligt att bygga ut avloppsledningsnätet för att tillföra avloppsslam från Horndal ARV och Näs ARV direkt vid vattenfasen som för enskilda avlopp. Därför behöver slammet fraktas på väg och sedan föras in i den effektiviserade slambehandlingsmetoden direkt och därför föreslås att en direktgång bör installeras på den nya effektiviserade slambehandlingsmetoden, se figur 5.

Utifrån den effektiviserade slambehandlingsmetoden föreslås två kategorier i form av antingen gödsel eller anläggningsjord. Det mest lämpligaste avsättningsalternativet ur kategorin gödsel är användning som växtnäring till produktiv mark. Reparationsjord till skogsmark är det andra föreslagna avsättningsalternativet som går under kategorin anläggningsjord, se figur 5.



Figur 5. Framtidsscenario för avloppsslammet i Avesta kommun.

4.2 Komplettering

Om inte termofil rötning som effektivisering av mesofil rötning skulle ha räckt för att slammet skulle ha blivit tillräckligt hygieniserat för att få användas till produktiv mark eller annan avsättning borde eventuell komplettering ha införts. Komplettering i det här fallet skulle kunna vara antingen komposteringstrumma eller pastörisering för att erhålla bästa möjliga resultat.

4.2.1 Komposteringstrumma

Som komplement förutsatt att föreslagna effektiviserade slambehandlingen inte skulle ge tillräcklig hygienisering skulle komposteringstrumma fungera för att erhålla ett hygieniserat avloppsslam. Nu förutsätts det att effektiviseringen räcker men för att påvisa att komposteringstrumma som metod är ett bra komplement ökar valbarheten för Avesta Vatten och Avfall AB inför framtiden.

Rönnlund (u.å) skriver om att komposteringstrumma är ett dyrare alternativet än vanlig öppen kompostering. Dock är det en mer enklare och mindre underhållskrävande metod som sköter rotering av avloppsslammet automatiskt. Vidare har Rönnlund (u.å) räknat på en trumma på cirka 75 m³ där då 1 000 ton TS/år får plats och att själva investeringskostnaden uppgår till cirka 1 miljon kronor. I åtanke bör finnas att trumman kräver en frostfri plats, vilket medför extra kostnader för inbyggnation. Samtidigt tillkommer eventuella extra kostnader för transporter och resurser i form av material och inhyrd personal (Rönnlund, u.å).

Då Krylbo ARVs avloppsslam som gick till slambehandling år 2014 endast uppkom i 401 ton TS/år så kommer en så stor komposteringstrumma som tidigare nämndes inte att behövas. Om fallet blir så att avloppsslam från alla avloppsreningsverk i kommunen ska komposteras, totalt 432,1 ton TS/år behövs inte heller en så stor komposteringstrumma. Storleksminskningen skulle innebära lägre investeringskostnader och övriga kostnader.

4.2.2 Pastörisering

Idag klarar de flesta avloppsreningsverk i Sverige av hygieniseringskrav och tungmetallshalter i avloppsslammet har på flera håll inte överstigit riktvärdena, vilket inte heller avloppsslammet i Avesta kommun har gjort. Därför har heller inga drastiska slambehandlingsmetoder som ger en högre hygienisering behövts utredas och implementerats. Inför kommande högre krav och strängare riktlinjer kan därför sådana metoder behöva analyseras mer.

Pastörisering är en sådan metod som inte är allt för vanlig i Sverige (Rönnlund, u.å) och kan därför behöva tittas närmare på vid införandet av nya hygieniseringskrav då mesofil rötning förmodligen inte kommer att erhålla ett tillräckligt hygieniserat avloppsslam för att få sprida rötresten på produktiv mark. Enligt Kjerstadius et.al (2012) visar det sig att pastörisering avlägsnar patogena ämnen och därför uppfyller det rötade slammet en god kvalitet.

Då även effektivisering av mesofil rötning till termofil rötning enligt flertal studier medför ett slam av god kvalitet som klarar av dagens satta krav så finns det ingen anledning till att Avesta Vatten och Avfall AB behöver pastörisera slammet i dagsläget. Därför kan pastörisering uteslutas som komplementering till befintlig slambehandlingsmetod men bör ändå finnas med som ett komplementerande framtidsförslag inför kommande hygieniseringskrav.

4.3 Avsättningsalternativ

För att kunna använda avloppsslam på en avsättning som är miljömässigt bra krävs bättre kvalitet. Utifrån den effektiviserade slambehandlingen finns det några avsättningsalternativ som är mer passande än andra. Med tanke på det och Avesta kommuns förutsättningar är två alternativ utvalda (se figur 5 för valda alternativ).

4.3.1 Gödsel till produktiv mark

Avsättningsalternativet gödsel till produktiv mark är ett av två föreslagna alternativ som skulle vara möjliga för avloppsslammet i Avesta kommun, där då så delmålet som handlar om att återföra fosfor till naturen tillfredsställs (Finnson, 2013), (se avsnitt 3.4 lagstiftning).

Salixodlingar är intressant för detta fall och har därför undersökts lite mer. Vid kontakt med utredaren (L. Niemi, Jordbruksverket, personlig kommunikation, 2015) kunde alla Salixodlare i Dalarnas Län listas. Sammanlagt finns det 30 stycken salixodlingar motsvarande 197.79 anmäld skiftsareal. Varför alla odlingar i hela länet är medtagna är på grund av få antal i just Avesta kommun och därför behövde vyerna vidgas en aning. I Avesta kommun finns 5 stycken salixodlare på 23.89 anmäld skiftsareal. Det intressanta med listan över salixodlare i Dalarnas Län är att det finns en hel del odlingar i Hedemora kommun, hela 15 stycken motsvarande hela 128.79 anmäld skiftsareal. Hedemora kommun ligger cirka 2,5 mil från Avesta kommun, vilket är ett rimligt avstånd för att kunna avsätta slam där (se tabell 4 för alla salixodlingar i Dalarnas Län).

Tabell 4. Antal salixodlingar och anmäld skiftsareal i fem kommuner i Dalarnas Län (L. Niemi, Jordbruksverket, personlig kommunikation, 2015).

Dalarnas Län	Antal (st)	Anmäld skiftsareal
Avesta kommun	5	23.89
Hedemora kommun	15	128.79
Säter kommun	6	27.96
Falun kommun	2	14.58
Borlänge kommun	2	2.57
Totalt:	30	197.79

Avloppsslammet i Avesta kommun skulle kunna avsättas som gödselmedel på åkermark och främst energiodlingen salix då extra nytta kan fås ut i form av energi samtidigt som salixgrödan bidrar med extra upptagning av tungmetaller. Främst för att det finns åkermark i Avesta kommun (se avsnitt 3.1) och för att det finns flertal salixodlare i Avesta kommun och inom närområdet, Hedemora kommun.

Ett bevis på att rötresten kan användas på salixodlingar är att i Enköping där en salixodling finns har dem enligt Finnson (2013) använt rejektvatten från slamavvattningen för att energigrödan sedan ska eldas och bidra med bränsle lokalt i staden. Även externslam ska tydligen ha använts som växtnäring på energigrödan där då ENA-kraft i Enköping använt utvunnet bränsle från odlingen (Finnson, 2013).

Avesta Vatten och Avfall AB skulle kunna ha ett samarbete med salixodlare i Avesta kommun och Hedemora kommun för att kunna bidra med växtnäring och även med Avesta Energi för att tillsammans bidra till en avsättning som ger både miljömässig nytta genom återföring och samtidigt energimässig nytta genom att sluta kretsloppet.

4.3.2 Anläggningsjord till reparation av skogsmark

Täckningsmaterial som dagens avloppsslam avsätts till är en typ av anläggningsjord. Då anläggningsjord används redan idag i Avesta kommun behöver ingen extra behandling eller omvandling ske vid användning av anläggningsjord till reparation av skogsbruket. Anläggningsjorden kommer eventuellt kräva större lagringsytor för att alternativet skulle kunna vara möjligt. Då ytor finns på reningsverket i Krylbo är det inget problem.

Enligt VA-chefen på Avesta Vatten och Avfall AB finns en hel del skogsmark i Avesta kommuns trakter som kan behöva repareras och var väldigt positiv till denna avsättning. Denna avsättning har idag inga krav eller riktlinjer som hänsyn behövs tas till och är därför ett bra alternativ och då avloppsslammet rötas uppstår ingen obehaglig lukt och bör därför inte påverka samhället.

5. Diskussion och slutsats

Litteraturoversikten har medfört ökad kunskap inom ämnesområdet avloppsslam, dess hantering och behandling. Den har bidragit med intressanta resultat på utförda försök av kombinerade slambehandlingsmetoder för att erhålla ett tillräckligt hygieniserat avloppsslam. Utifrån dessa resultat har tydligare förståelse för flertal delar i rötningsprocesserna erhållits och på så vis har kunskapen inför detta falls resultatavsnitt varit lättare att försöka förmedla.

Effektivisering eller inte, komplettering eller inte, val av avsättningsalternativ, allt hänger på framtidens hygieniseringskrav. Idag skulle teoretiskt sätt en effektivisering räcka för att uppnå dagens krav för spridning på produktiv mark. Troligtvis kommer Avesta Vatten och Avfall AB behöva fokusera mer på val av slambehandlingsmetod för att kunna vara förberedda på att nuvarande slam eventuellt inte kommer att uppfylla de nya kraven vad gäller tungmetallhalter och smittspridande ämnen vid spridning på produktiv mark.

En effektivisering skulle medföra mindre rötchammare eller i alla fall mindre rötrest och därmed kunna röta mer slam samtidigt. Avesta Vatten och Avfall AB skulle få ut mer energi för att kunna återanvända den i form av värme och el tillbaka till processen och slammet skulle bli tillräckligt hygieniserat för att kunna använda avloppsslammet där det ger miljömässig nytta. Dock kommer uppgraderade komponenter eller nya komponenter kräva höga kostnader och bör därför finnas med i beräkningen men samtidigt kan en dyr investering löna sig i det långa loppet och dessutom uppfylla miljömässig nytta. En fullständig kostnadsjämförelse av befintlig slambehandlingsmetod och den effektiviserade är nästintill omöjlig att utföra då alla kostnader beror på komponenter, faktorer och fler därtill. För att kunna jämföra krävs siffror på hur mycket olika komponenter kostar som kräver mer insyn och kan därför inte utföras i detta arbete. Med tanke på det hela så skulle en effektivisering idag vara lämplig men om framtiden, dess nya krav och dyra investeringar påverkar förslaget bör Avesta Vatten och Avfall AB kolla närmare på eventuella kompletteringar.

Komplettering i form av pastörisering kan vara ett alternativ inför kommande krav då ovissheten kring striktheten är oklar och pastörisering visar sig vara ett effektivt sätt att med upphettning ge en effektiv reduktion av patogena ämnen. Men som sagt så uppnår termofil rötning tillräcklig hygienisering och därför skulle pastörisering i dagsläget inte vara aktuellt. Kompostering och då främst en komposteringstrumma är också en eventuell komplettering förutsatt att avloppsslammet inte blir tillräckligt hygieniserat vid termofil rötning.

Utifrån den effektiviserade slambehandlingsmetoden kommer slammet kunna avsättas på en rad olika avsättningsalternativ. Dock sätter vissa begränsningar käppar i hjulet för att alla ska kunna vara möjliga och därför är det två alternativ som sticker ut mer än de andra.

Avsättningsalternativet anläggningsjord till reparation av sönderkörd skogsmark är ett positivt alternativ. Inga krav ställs, det är slam i form av anläggningsjord som inte behöver ha kontakt med ätbara ting och VA-chefen på Avesta Vatten och Avfall var positivt inställd till alternativet på grund av egna erfarenheter av förstörd skogsmark. Enligt mig är detta en förträfflig avsättning som återför näringsämnen till naturen, reparerar förstörd mark och inga konsumenter till livsmedel behöver oroa sig för orena grödor. Samtidigt anser jag att hänsyn bör tas till hur marken där reparationsjorden läggs påverkas om avloppsslammet inte uppfyller framtida krav enligt Naturvårdsverket.

Gödsel som avsättningsalternativ till produktiv mark har goda förutsättningar i Avesta kommun, främst inom salixodlingar där det hygieniserade slammet skulle kunna avsättas. Salixodlare finns det gott om i Dalarnas Län, inte så många i Avesta kommun men desto fler i Hedemora kommun som inte ligger allt för långt bort och det är därför inte omöjligt. Som tidigare nämnts har salixgrödan en förmåga att uppta tungmetaller så att inte den produktiva marken förstörs. Med tanke på det och genom att näring återförs till naturen vore denna avsättning den mest optimala ur miljömässig synpunkt.

Sista urvalet är att använda slammet som täckningsmaterial till deponin som Avesta Vatten och Avfall AB har tänkt göra när Karlslundsavfallsanläggning bestämmer sig för att sluttäcka deponin. Deponering är enligt mig inte ett alternativ för avloppsslam innehållande näringsämnen som skulle kunna återföras till naturen och bidra med miljömässig nytta för att på så sätt sluta näringskretsloppet. Deponering innebär dessutom en hög deponeringsavgift. I slutändan när deponin är sluttäckt och det inte längre finns något alternativ, kan det innebära förhastade beslut som slutar dyra investeringar. Därför är denna studie viktig som ett underlag inför ett kommande val av framtida avsättning. Denna fallstudie bidrar med ett framtidsscenario som ger större möjligheter för Avesta Vatten och Avfall AB att välja ut den lämpligaste avsättningen för avloppsslammet i Avesta kommun.

7. Framtida studier

- Det finns åtgärder som bland annat uppströmsarbete som går ut på att söka källan till höga tungmetallhalter i avloppsslam (Svenskt Vatten, u.å). Uppströmsarbete underlättar för reningsverken vid tanke på att de inte har kapaciteten att rena mer än vad de är konstruerade för att rena. Genom att ständigt ställa krav och informera företag/hushåll om hur och vad som får spolas ned i avloppet bibehålls ett någorlunda behandlingsbart avloppsvatten och orenat utgående vatten minimeras, vilket leder till färre risker för förorenade vattenmiljöer (Finnson, u.å).
- För att få sprida avloppsslam på produktiv mark krävs det att avloppsslammet är ReVAQ-certifierat och därmed följer dess krav. Därför skulle en framtida studie kunna vara att kolla om det finns möjlighet för avloppsslammet i Avesta kommun att bli just ReVAQ-certifierade för att kunna avsättas på det föreslagna avsättningsalternativet under resultatavsnittet (Finnson, 2013).
- MS 3 är ett systemverktyg som Carbonell et al. (2009) syftar till att använda för att granska ekotoxikologi effekter på levande organismer i anknytning till spridning av avloppsslam på produktiv mark. (Carbonell et al. 2009) menar på att detta MS 3 system funkar för att utföra prover på slam- och jordförändringar. Vidare studier i form av olika verktyg för att kolla hur den produktiva marken reagerar på olika typer av hygieniserade avloppsslam kan vara intressant.
- Slutligen kan en framtidsstudie vara att utveckla och ta tillvara på fosfor och tungmetaller som hamnar i askan vid förbränning. Då salixodlingar tar upp tungmetaller i grödan är det inte så att tungmetallerna försvinner, utan vid förbränningen hamnar de förmodligen i askan. Ebbers et.al (2014) har studerat metoder som lyckats avlägsna tungmetaller i aska från förbränning av avloppsslam, men inte lyckats med fosfor. Ebbers et al. (2014) har främst studerat ED-metoden som består av tre delar, en omrörande lösning och två jonbytarmembran (anoden och katoden). Denna metod förändrar en aning. Justeringen gjorde att askan släppte ifrån sig mycket fosfor. Den avlägsnade fosforvätskan separerades med filtrering och kunde återvinnas genom indunstning/utfällning (Ebbers et.al 2014).

8. Referenslista

- Avesta kommun, 2014. Avesta Vatten och Avfall AB. Från: <http://www.avesta.se/Kommunen--Politiken/Kommunens-organisation/Avesta-VA-och-Avfall-AB/> Hämtad: 2015-04-08
- Avesta Vatten. (2013a). *Miljörapport 2013: Krylbo ARV*. Avesta: Avesta Vatten och Avfall AB.
- Avesta Vatten. (2013b). *Miljörapport 2013: Horndal ARV*. Avesta: Avesta Vatten och Avfall AB
- Avesta Vatten. (2013c). *Miljörapport 2013: Näs ARV*. Avesta: Avesta Vatten och Avfall AB
- Avesta Vatten. (2014a). *Explosionsskyddsdocument*. Norrköping: Nitoveskonsulterna AB.
- Avesta Vatten. (2014b). *Riskutredning*. Norrköping: Nitoveskonsulterna AB.
- Avesta Vatten. (2014c). *Miljörapport 2014: Krylbo ARV*. Avesta: Avesta Vatten och Avfall AB.
- Avesta Vatten. (2014d). *Miljörapport 2014: Krylbo ARV*. Avesta: Avesta Vatten och Avfall AB.
- Avesta Vatten. (2014e). *Miljörapport 2014: Krylbo ARV*. Avesta: Avesta Vatten och Avfall AB.
- Avesta Vatten. (2014f). *Miljörapport 2014: Krylbo ARV*. Avesta: Avesta Vatten och Avfall AB.
- Carbonell, G., Pro, J., Gómez, N., Babín, M., Fernández, C., Alonso, E., Tarazona, J. (2009). Sewage sludge applied to agricultural soil: Eco toxicological effects on representative soil organisms. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 72(4), 1309-1319. doi:10.1016/j.ecoenv.2009.01.007
- Cho, H., Park, S., Ha, J., Park, J. (2013). An innovative sewage sludge reduction by using a combined mesophilic anaerobic and thermophilic aerobic process with thermal-alkaline treatment and sludge recirculation. *Journal of Environmental Management*, 129, 274-282. doi:10.1016/j.jenvman.2013.07.009
- Ebbers, B., Ottosen, L., Jensen, P. (2014). Comparison of two different electro-dialytic cells for separation of phosphorus and heavy metals from sewage sludge ash. *Chemosphere*, 125, 122-129. doi:10.1016/j.chemosphere.2014.12.013
- Ekonomifakta, (2014). Invånare i kommunen, Hallsberg. Från: <http://www.ekonomifakta.se/sv/Fakta/Regional-statistik/Alla-lan/Orebro-lan/Hallsberg/?var=17246> Hämtad: 2015-06-16
- Finnsen, (u.å). Verktyg för uppströmsarbete för vattentjänstföretag. Från: <http://www.svenskvatten.se/Vattentjanster/Avlopp-och-Miljo/Kemikalier-och-uppstomsarbete/Om-uppstomsarbete/For-vattentjanstforetag/> Hämtad: 2015-05-19
- Finnsen, A. (2013). *Slamanvändning och strategier för slamanvändning*. Motala: Svenskt Vatten AB.

- Folkhälsomyndigheten, (2015a). Sjukdomsinformation om salmonellainfektion. Från: <http://www.folkhalsomyndigheten.se/amnesomraden/smittydd-och-sjukdomar/smittsamma-sjukdomar/salmonellainfektion/> Hämtad: 2015-05-27
- Folkhälsomyndigheten, (2015b). Sjukdomsinformation om escherichia coli - infektioner i tarmen. Från: <http://www.folkhalsomyndigheten.se/amnesomraden/smittydd-och-sjukdomar/smittsamma-sjukdomar/escherichia-coli-infektioner-i-tarmen/> Hämtad: 2015-05-27
- Folkhälsomyndigheten, (2015c). Sjukdomsinformation om clostridium perfringens – matförgiftning. Från: <https://www.folkhalsomyndigheten.se/amnesomraden/smittydd-och-sjukdomar/smittsamma-sjukdomar/clostridium-perfringens-matforgiftning-/> Hämtad: 2015-05-27
- Gustafsson, O. (2013). Vatten och avloppsreningsverk. Från: <http://www.avesta.se/Miljo--Trafik/Dricksvatten-och-avlopp/va-verk/> Hämtad: 2015-03-08
- Hånell, B., Magnusson, T. & Modig, T., (1996). *Pelletering av slam: världsnyhet stärker skogens roll i kretsloppet*. Uppsala: SLU.
- Jernelius, E. (2014). Avestas invånare, Avesta kommun. Från: <http://www.avesta.se/Kommunen--Politiken/Fakta-statistik-och-utveckling/Avestas-invanare/> Hämtad: 2015-03-08
- Jordbruksverket, (2014). Energigrödor är mer än bara energi. Från: <http://www.jordbruksverket.se/amnesomraden/miljoklimat/ettriktodlingslandskap/villdularadigmerom-naturochkulturvarden/havdatnyhetsbrevomettriktodlingslandskap/2014nyhetsarkiv/energigroddorarmer-anbaraenergi.5.37e9ac46144f41921cdf55.html> Hämtad: 2015-05-26
- Jordbruksverket, (2015). Odling av salix. Från: <http://www.jordbruksverket.se/amnesomraden/odling/jordbruksgrador/salix/odlingavsax.4.2ae27f0513e7888ce2280009132.html> Hämtad: 2015-05-20
- Kjerstadius, H., Jansen, J., Stålhandske, L., Eriksson, E., Olsson, M., Davidsson, Å., (2012). *Rötning av avloppsslam vid 35, 55 och 60 °C*. (Nr 2012-15). Stockholm: Svenskt Vatten Utveckling.
- Kävlinge kommun, (u.å). Rötning. Från: <http://www.kavlinge.se/byggaboochmiljo/vattenochavlopp/kommunaltvattenochavlopp/avlopp/studieb-esok/rotning.4.e1e323d13d64f5a9643516.html> Hämtad: 2015-05-27
- Lidström, V. (2012). *Vårt Vatten: Grundläggande lärobok i vatten- och avloppsteknik*. Solna: Åtta.45.
- Lloret, E., Salar, M., Blaya, J., Pascual, J. (2013). Two-stage mesophilic anaerobic-thermophilic digestion for sludge sanitation to obtain advanced treated sludge. *Chemical Engineering Journal*, 230, 59-63. doi:10.1016/j.cej.2013.06.066
- Miljödepartementet, (2012). Uppdrag om hållbar återföring av fosfor. Från: <http://beta.regeringen.se/contentassets/3e425e0c3249441783c50277eafb58af/uppdag-om-hallbar-aterforing-av-fosfor> Hämtad: 2015-05-21

Nandorf, E., (u.å). *FÖRSTUDIE: Inventering och möjligheter till användning av slamfraktioner i Umeå och Skellefteå kommun som gödselmedel till odling av rörfen*. Från: file:///C:/Users/sofia_000/Downloads/Nandorfs%20Slutrappport%20R%C3%B6rfen%20o%20slam%20vid%20kusten.pdf Hämtad: 2015-05-27.

Naturskyddsföreningen, (2014). Naturskyddsföreningens remissvar på naturvårdsverkets redovisning av regeringsuppdrag om hållbar återföring av fosfor. Från: http://www.naturskyddsforeningen.se/sites/default/files/dokument-media/remissvar/remissvar_ang_hallbar_aterforing_av_fosfor.pdf Hämtad: 2015-05-21

Naturvårdsverket, (1994). Statens naturvårdsverks författningssamling (SFNS). Kungörelse med föreskrifter om skydd för miljön, särskilt marken, när avloppsslam används i jordbruket. Från: <http://www.naturvardsverket.se/Nerladdningssida/?fileType=pdf&downloadUrl=/Documents/foreskrifter/nfs1994/snfs-1994-2.pdf> Hämtad: 2015-03-11

Naturvårdsverket, (2014). Från: <http://www.naturvardsverket.se/Stod-i-miljoarbetet/Vagledning/Avlopp/Avloppsslam/Anvandningsmojligheter-for-avloppsslam/> Hämtad: 2015-05-20

Naturvårdsverket, (2015a). Begränsad klimatpåverkan. Från: <http://www.miljomal.se/sv/Miljomalen/1-Begransad-klimatpaverkan/> Hämtad: 2015-05-20

Naturvårdsverket, (2015b). Giftfri miljö. Från: <http://www.miljomal.se/sv/Miljomalen/4-Giftfri-miljo/> Hämtad: 2015-05-20

Naturvårdsverket, (2015c). Ingen övergödning. Från: <http://www.miljomal.se/sv/Miljomalen/7-Ingen-overgodning/> Hämtad: 2015-05-20

Naturvårdsverket, (2015d). God bebyggd miljö. Från: <http://www.miljomal.se/sv/Miljomalen/15-God-bebyggd-miljo/> Hämtad: 2015-05-20

Norin, E. (2007). Hygienisering av avloppsslam; Vad den nya förordningen innebär för slambehandlingen... SWECO VIAK. Från: http://www.envisys.se/dokument/2007_dok/EN.pdf Hämtad: 2015-05-21

Notisum, 1986. Rådets direktiv 86/278/EEG av den 12 juni 1986 om skyddet för miljön, särskilt marken, när avloppsslam används i jordbruket. Från: <https://www.notisum.se/rnp/eu/fakta/..%5Clag%5C386L0278.htm> Hämtad: 2015-05-19

Notisum, 1998. Förordning (1998:944) om förbud m.m i vissa fall i samband med hantering, införsel och utförsel av kemiska produkter. Från: <http://www.notisum.se/rnp/sls/lag/19980944.htm> Hämtad: 2015-04-08

Palm, M. (2009). Avestas geografi. Från: <http://www.avesta.se/Kommunen--Politiken/Fakta-statistik-och-utveckling/Avestas-geografi/> Hämtad: 2015-04-08

Persson, E., Ossiansson, E., Carlsson, M., Uldal, M., Johannesson, S. (2012). *Rötning med inledande termofilt hydrolyssteg för hygienisering och utökad metanutvinning på avloppsreningsverk*. Stockholm: Svenskt Vatten Utveckling.

Ragnsells, (u.å). Avloppsslam, en grön resurs. Från: <http://www.ragnsells.se/Global/st%C3%A5ndpunkter%20o%20remissvar/avloppsslam.pdf> Hämtad: 2015-05-06

Rönnlund, G., L. (u.å). *Framtida hantering av kommunalt avloppsslam, en studie av och för små Norrlandskommuner*. Examensarbete, Umeå universitet, Miljö och hälsoskyddsprogrammet.

SCB, (2014). Befolkning. Från: <http://www.kavlinge.se/kommunochpolitik/kommunfakta/statistik/befolkning.4.733c4d9113d1efc66f1888.html> Hämtad: 2015-05-27

Schönning, C., (2003). *Risk för smittspridning via avloppsslam: Redovisning av behandlingsmetoder och föreskrifter*. Från: <http://www.naturvardsverket.se/Nerladdningssida/?fileType=pdf&downloadUrl=/Documents/publikationer/620-5215-2.pdf> Hämtad: 2015-05-27

Sjöberg, A. (2008). *Energibalans för röt-kammarsanläggningen vid centrala reningsverket i Kristianstad för olika driftsalternativ*. Examensarbete, Kristianstad Universitet, VA och kretsloppsteknikerprogrammet.

Stockholm Vatten, (2013). Remiss från Miljödepartementet – Naturvårdsverkets redovisning av regeringsuppdrag om återföring av fosfor. Från: <http://insynsverige.se/documentHandler.ashx?did=1735360> Hämtad: 2015-04-08

Svenskt Vatten, (u.å). Vad är Revaq? Från: <http://www.svensktvatten.se/Vattentjanster/Avlopp-och-Miljo/REVAQ/> Hämtad: 2015-05-20

Sveriges radio, (2013). Tunga skogsmaskiner förstör skogen. Iwan Wästerlund, Skogsprofessor vid SLU. Från: <http://sverigesradio.se/sida/artikel.aspx?programid=91&artikel=5531565> Hämtad: 2015-05-26

Sörhult, M. & Högqvist, O. (2010). *Slam - en outnyttjad resurs i skogsbruket*. Självständigt arbete, SLU, Fakulteten för skogsvetenskap.

Bilagor

Bilaga 1. Beräkning av slammängder

Horndal ARV:

$$[\text{Ton} = \text{Ton TS/TS}] \rightarrow 19.3/0.138 = 139.86 \text{ Ton}$$

$$[\text{m}^3 = \text{Ton}/\rho] \rightarrow 139.86/1.03 = 135.78 \text{ m}^3$$

Näs ARV:

$$[\text{Ton} = \text{Ton TS/TS}] \rightarrow 11.8/0.098 = 120.41 \text{ Ton}$$

$$[\text{m}^3 = \text{Ton}/\rho] \rightarrow 120.41/1.03 = 116.90 \text{ m}^3$$

Krylbo ARV (2013):

$$[\text{Ton} = \text{Ton TS/TS}] \rightarrow 355/0.220 = 1\,613.64 \text{ Ton}$$

$$[\text{m}^3 = \text{Ton}/\rho] \rightarrow 1\,613.64/1.03 = 1\,566.64 \text{ m}^3$$

Krylbo ARV (2014):

$$[\text{Ton} = \text{Ton TS/TS}] \rightarrow 401/0.221 = 1\,814.48 \text{ Ton}$$

$$[\text{m}^3 = \text{Ton}/\rho] \rightarrow 1\,814.48/1.03 = 1\,761.63 \text{ m}^3$$

Bilaga 2. Ekonomi och energi

I denna bilaga visas total energi för Krylbo ARV och uträkning av total energikostnad vid uppgradering från 30 °C till 55 °C.

Tabell 6. Total energikostnad för Krylbo ARV i Avesta kommun (VA-web, 2015)

Energi (kr)	Krylbo ARV (2014)
Elenergi	
Nätkostnader exkl moms	108 075
Elkostnader exkl moms	507 447
Andra energislag	
Kostnader	56 962
Total Energi kostnad	564 409

Uträkning av extra energikostnader:

Energi (22 kWh/m³) vid uppgradering från 35°C till 55°C. (5.50 kr/m³).

Total slammängd från alla avloppsreningsverk i Avesta kommun (2 015m³)

$$*22 \text{ kWh} * 2\,015 \text{ m}^3 = 44\,330 \text{ kWh}$$

$$*44\,330 \text{ kWh} * 5.50 \text{ kr/m}^3 = 243\,815 \text{ kr (ökning)}$$