

# Slamstrategi för Stockholm Vatten och Avfall

Tillsammans för världens  
mest hållbara stad



STOCKHOLM  
VATTEN  
OCH AVFALL

# Slamstrategi för Stockholm Vatten och Avfall

Version 3, 2018-06-07

## 1. Mål och inriktning

Stockholm Vatten och Avfalls (SVOA:s) hantering av avloppsslam skall präglas av (utan inbördes rangordning):

- uppfylla gällande lagar och regler
- uppfylla nationella miljömål
- minsta möjliga påverkan på miljön
- hög tillförlitlighet och tillgänglighet
- god ekonomi
- ständig förbättring av slamkvaliteten

Dessa huvudkriterier ska uppfyllas i så hög utsträckning som möjligt. Lagar och regler utgör skallkrav.

SVOA:s rangordningslista för slamhanteringsmetoder (baseras på EU:s avfallshierarki):

1. metoder som nyttiggör växtnäring (P, N, K, mikronäringsämnen) och mullbildande ämnen i slam
2. metoder som nyttiggör fosfor i slam
3. metoder som ersätter naturresurser som morän, matjord etc.
4. metoder som möjliggör energiutvinning
5. metoder som enbart ger kvittblivning av slammet

## 2. Förutsättningar

Denna strategi omfattar slam från Stockholm Vatten och Avfalls avloppsreningsverk. Slamstrategin utgår från de lagkrav och nationella miljömål som gäller för slam från avloppsreningsverk, Stockholm Stads miljöprogram samt SVOA:s vision.

### 2.1. Lagkrav

Halter och maximal tillförsel av metaller i slam som ska användas på åkermark regleras i EU-direktiv 86/278/EEC samt i svensk lagstiftning SNFS 1994:2 med två ändringsföreskrifter samt i förordning SFS 1998:944. Kraven på halter i slam uppfyller SVOA normalt utan problem. Koppar kan ibland begränsa möjligheten till spridning av maximal slamgiva. Eftersom reningsverken är Revaq-certifierade är det betydligt strängare kraven i certifieringssystemet som kommer att vara begränsande för SVOA, se avsnitt 2.4.

## 2.2. Ny förordning

Naturvårdsverket redovisade i september 2013 sitt regeringsuppdrag om hållbar återföring av fosfor<sup>1</sup>. Uppdraget omfattade även förslag till ny författning för slam och andra restfraktioner ("slamförordningen") samt etappmål. Förslaget ligger nu hos regeringen.

De områden som föreslås regleras är:

- smittskydd genom hygieniserande behandling,
- begränsningar av innehåll och tillförsel av metaller och organiska ämnen i fraktionerna och i marken,
- begränsning av tillförsel av näringsämnen till marken,
- förebyggande åtgärder, och
- spårbarhet.

Naturvårdsverket föreslår även högst 20 % slam innehåll i jordblandningar.

Hittills har slam från Revaq-certifierade reningsverk enbart behövt hygieniseras genom långtidslagring i minst 6 månader, med efterföljande kontroll av salmonella. För att SVOA ska leva upp till de av Naturvårdsverket föreslagna kraven krävs mer avancerad hygienisering som värmebehandling (exempelvis termofil rötning eller torkning), kontrollerad kompostering eller behandling med kalk eller urea.

Kraven på metaller och organiska ämnen, förebyggande åtgärder och spårbarhet liknar de krav som finns idag inom certifieringssystemet Revaq.

## 2.3. Nationella miljömål

De nationella miljömålen är under revidering. I nuläget finns inga gällande miljömål som berör slam med avseende på återföring av näringsämnen från avlopp.

Naturvårdsverket har i samband med ovan nämnda regeringsuppdrag även föreslagit nya etappmål för hållbar återföring av fosfor och andra växtnäringsämnen<sup>1</sup>. Regeringen har, som ovan, ännu inte beslutat i ärendet.

I etappmålen anges bl.a. att kretsloppen av växtnäringsämnen ska vara resurseffektiva och så långt som möjligt fria från oönskade ämnen. Tillförsel och bortföring av växtnäringsämnen bör balanseras i skog och jordbruk. Avloppssystemen bör utvecklas så att en hållbar återföring av växtnäringsämnen underlättas.

Följande ligger för beslut:

- minst 40 procent av fosfor i avloppsvatten tas tillvara och återförs som växtnäring till åkermark utan att detta medför en exponering för föroreningar som riskerar att vara skadlig för människor eller miljö.
- minst 10 procent av kvävet i avloppsvatten tas tillvara och återförs som växtnäring till åkermark utan att detta medför en exponering för föroreningar som riskerar att vara skadlig för människor eller miljö.

---

<sup>1</sup> Naturvårdsverkets rapport 6580. Hållbar återföring av fosfor. September 2013

## 2.4. Revaq

Revaq startade år 2002 som ett utvecklingsprojekt, som sedan utvecklades till certifieringssystemet Revaq 2008. Revaq drivs idag av branschorganisationen Svenskt Vatten. Kopplat till Revaq finns en styrgrupp där LRF, Livsmedelsföretagen och representant från avloppsreningsverken deltar. Samverkan sker även med Naturvårdsverket. Svenskt Vatten står som ensam ägare till systemet.

Syftet med Revaq är att minska flödet av farliga ämnen till reningsverk, skapa en hållbar återföring av växtnäring samt att hantera riskerna på vägen dit. Certifieringen innebär att reningsverken bedriver ett aktivt och strukturerat uppströmsarbete, arbetar med ständiga förbättringar av slamkvaliteten och är öppna med all information. Kraven på slamkvaliteten för att få lägga slammet på jordbruksmark skärps kontinuerligt år från år.

Uppströmsarbetet är branschens sätt att arbeta för riksdagens miljömål Giftfri miljö, Levande sjöar och vattendrag samt Hav i balans. Genom att minska de oönskade ämnena i slam bidrar avloppsreningsverken också till att uppnå det av Naturvårdsverket föreslagna etappmålet om återföring av fosfor och kväve från avloppsvatten till jordbruksmark inom miljökvalitetsmålet God bebyggd miljö.

## 2.5. Stockholm Stads miljöprogram

Enligt Stockholms miljöprogram 2016-2019 ska avfallet från stadens verksamheter minska och det som uppstår ska nyttiggöras. Miljöprogrammet hänvisar till avfallsplanen (2017-2020) som anger att Stockholm Vatten och Avfall bl.a. ska avsätta mer slam till åkermark (>14 200 ton våtvikt per år), med Naturvårdsverkets förslag på återföring av 40 % av fosfor och 10 % av kvävet som mål, samt att SVOA ska utreda behandlingsmetoder som möjliggör utvinning av fosfor och kväve ur avloppsvatten eller slam.

Miljöprogrammet hänvisar till EU:s avfallshierarki som innebär att avfallet behandlas i följande prioritetsordning:

1. **förebyggande/avfallsminimering** – medveten konsumtion för minskad mängd avfall
2. **återanvändning** – reparera och använd igen
3. **materialåtervinning** – återvinn material för produktion av nya produkter
4. **energiutvinning** – förbränn avfall för produktion av värme och/eller el
5. **deponering** – restavfall som inte kan återanvändas eller återvinnas läggs på tipp

## 2.6. Stockholm Vatten och Avfalls vision och ägardirektiv

Gällande vision och verksamhetsidé för Stockholm Vatten och Avfall beslutades 2016:

Vision: Tillsammans för världens mest hållbara stad

Verksamhetsidé: Vi är en samhällsbyggare i framkant som driver och utvecklar vatten- och avfallstjänster med miljöfokus för invånare, företag och intressenter i ett Stockholm som växer.

I bolagets ägardirektiv för år 2018-2020 står att bolaget ska arbeta aktivt för att kunna öka återvinningen av näringsämnen från avloppshanteringen utan att miljöbelastningen ökar.

## 2.7. Framtidsutsikter

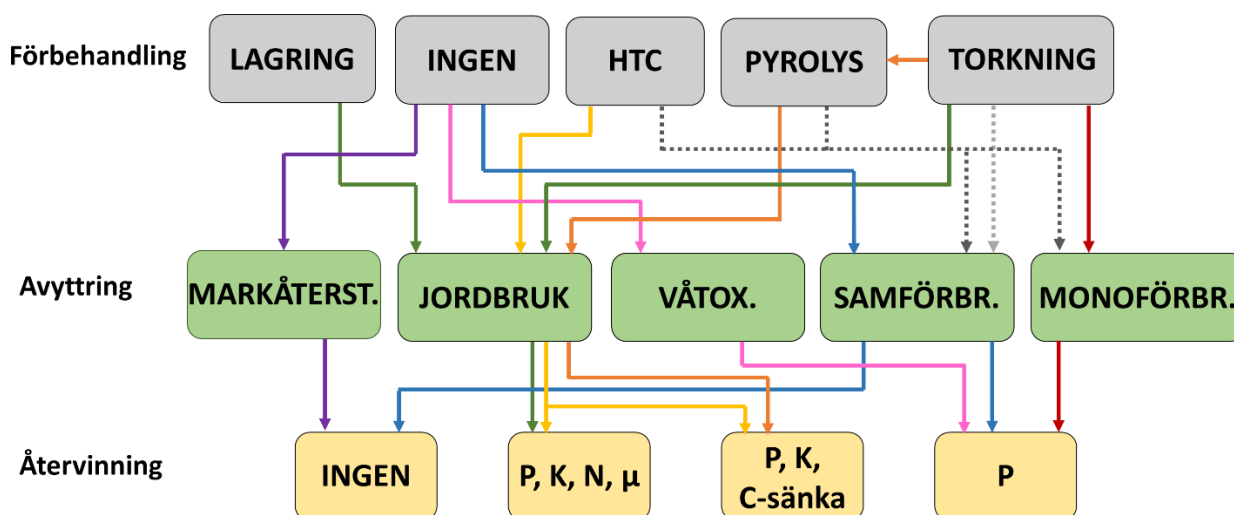
Svenskt Vatten förordar sedan länge spridning på jordbruksmark som den bästa avsättningsmetoden för en cirkulär ekonomi. Strategin måste dock kompletteras. Under 2017 initierade Svenskt Vatten därför ett *nationellt nätverk för fosfor och andra avloppsresurser* med syfte att utreda och utveckla andra cirkulära metoder för slamavsättning. Detta till följd av bl.a. osäkerheter kring miljöeffekter av mikroföroreningar i slam, Lantbrukarnas riksförbunds beslut att utreda om de ska fortsätta delta i Revaqsamarbetet och faktum att mängden slam som sprids på åkermark inte ökat de senaste 10 åren trots att mängden Revaq-godkänt slam ökat, vilket indikerar att taket kanske är nått<sup>2</sup>.

Samtidigt går en del Europeiska länder ifrån spridning på jordbruk<sup>3</sup>. I Tyskland trädde en ny lag i kraft i januari 2018 som förbjuder spridning på jordbruksmark av slam från stora reningsverk (>50 000 pe) samtidigt som krav på sam- eller monoförbränning och fosforåtervinning ur askan införs (12-15 års implementeringstid). I Schweiz är spridning av avloppsslam på jordbruksmark förbjudet sedan 2006 och förbränning är den vanligaste metoden för kvittblivning. För närvarande pågår arbete med att utforma förslag på en ny lag med krav på utvinning av fosfor ur slam.

## 3. Utvärdering av slamhanteringsmetoder

### 3.1. Utvalda metoder

De slamavsättningsmetoder som utvärderats kan delas in i tre delar; (i) förbehandling, (ii) avyttring och (3) återvinning. För att kunna göra en relevant jämförelse av metoderna bör alla tre delarna finnas representerade i varje avsättningsmetod. I de fall då ingen förbehandling krävs anges förbehandlingsmetod ”ingen”. De kombinationer som utvärderats listas nedan samt visualiseras i Figur 1. I samtliga fall består råmaterialet av rötat och avvattat slam från avloppsreningsverken. Metoderna beskrivs mer ingående i Bilaga 1.



<sup>2</sup> Presentation 2017-12-19 Nationella nätverket för fosfor och andra avloppsresurser. Anders Finnson, Svenskt Vatten

<sup>3</sup> SVU-rapport 2018-02 Fosforåtervinning i Europa. Bo van Bahr, RISE

**Figur 1. Förhållandet mellan förbehandling, avyttring och återvinning. De prickade linjerna visar möjliga kombinationer som inte utvärderats. P = fosfor, K = kalium, N = kväve,  $\mu$  = mikronäringsämnen, C-sänka = koldioxidsänka, HTC = hydrothermal carbonisation, FSA = flygaskestabiliserat avloppsslam. Anläggningsjord och deponitäckning med FSA finns inte med i bilden men kan likställas med markåterställning (Markåterst.), lila linje.**

Slamavsättningsmetoder som utvärderats:

1. Spridning på jordbruksmark
2. Produktion av anläggningsjord (till t.ex. golfbanor eller bullervallar)
3. Markåterställande (till exempel täckning av gråbergssupplag och sandmagasin med slam för växtetablering)
4. Sluttäckning av deponier med flygaskestabiliserat avloppsslam (FSA)
5. Samförbränning
6. Samförbränning med fosforutvinning
7. Monoförbränning med fosforutvinning (kräver torkning eller annan förbehandling som ger hög TS)
8. Torkning och spridning på jordbruksmark
9. Våtoxidering med fosforutvinning
10. Pyrolys och spridning av biokolet på jordbruksmark
11. Hydrotermisk karbonisering (HTC) och spridning av biokolet på jordbruksmark

### 3.2. Metod för utvärdering

Utifrån de angivna målsättningarna (i avsnitt 1) har följande huvud- och underkriterier definierats och utvärderats:

- **Tillförlitlighet och tillgänglighet**
  - Efterfrågan av slam för metoden
  - Teknisk sårbarhet
  - Acceptans
- **Ekonomi**
  - Investeringskostnad
  - Driftkostnad
- **Resurshushållning**
  - Växtnäring
  - Övrigt nyttiggörande
  - Exergianvändning
  - Kemikalieanvändning
- **Emissioner**
  - Utsläpp till vatten
  - Utsläpp till luft
  - Påverkan på mark

En bedömning av de olika avsättningsmetoderna har gjorts utifrån dessa kriterier. Vid utvärderingen har de lagar, krav och regler som gäller vid utvärderingens genomförande antagits vara gällande. I Bilaga 2 redovisas definitionen av kriterierna och hur poängsättning gjorts.

Vidare har de olika avsättningsmetodernas placering på ovan angivna rangordningslista (avsnitt 1) bedömts.

### 3.3. Resultat

En sammanfattande jämförelse av avsättningsmetoderna redovisas i Tabell 1. I Figur 2 nedan redovisas resultatet av utvärderingen med avseende på hur väl metoderna uppfyller Stockholm Vatten och Avfalls mål för slamavsättning. I Figur 3 redovisas hur metoderna har bedömts utifrån SVOA:s rangordningslista (avsnitt 1).

Kriterier	1. Jordbruk	2. Anläggningsjord	3. Markåterställande	4. Deponitäckning med FSA	5. Samförbränning	6. Samförbränning + fosforutvinning	7. Monoförbränning + fosforutvinning	8. Torkning + jordbruk	9. Våtoxideration + fosforutvinning	10. Pyrolys + jordbruk	11. HTC + jordbruk
uppfylla gällande lagar och regler	Grön	Grön	Grön	Grön	Grön	Grön	Grön	Grön	Grön	Grön	Grön
uppfyllda nationella miljömål	Grön	Röd	Röd	Röd	Röd	Gul	Gul	Gul	Gul	Gul	Gul
minsta möjliga påverkan på miljön	Gul	Gul	Röd	Grön	Gul	Gul	Gul	Grön	Gul	Gul	Grön
hög tillförlitlighet och tillgänglighet	Grön	Gul	Gul	Gul	Gul	Gul	Röd	Grön	Gul	Gul	Röd
god ekonomi	Grön	Grön	Grön	Grön	Grön	Röd	Röd	Röd	Röd	Röd	Röd

Figur 2. Sammanfattning av avsättningsmetodernas uppfyllnad av SVOA:s huvudkriterier för slamavsättningen (Grön = uppfyllt; Gul = delvis uppfyllt; Röd = ej uppfyllt).



Figur 3. Avsättningsmetodernas placering på SVOA:s rangordningslista.

Av de analyserade avsättningsmetoderna är det ingen som uppfyller samtliga fem huvudkriterier. Den metod som uppfyller flest kriterier och dessutom hamnar överst på SVOA:s rangordningslista är spridning på jordbruksmark (1) och, bara något sämre, torkning och spridning på jordbruksmark. Vid torkning minskar slamvolymen och slammet hygieniseras. Detta borde förenkla transport och lagring av slammet mellan spridningstillfällen. I övrigt förändras inte slammets innehåll av näring eller föroreningar. Därmed har metoden samma långsiktiga förutsättningar som spridning av avvattnat slam på jordbruksmark.

Både Bromma och Henriksdals reningsverk är Revaq-certifierade. Slammet från båda reningsverken uppfyller alltid nuvarande lagkrav på metallhalter i slam och nästan alltid nuvarande lagkrav för tillförsel av metaller i samband med slamspridning. Kopparinnehållet begränsar idag undantagsvis slamgivan för enstaka slampartier. Båda reningsverken kommer sannolikt klara Revaqs krav på tillförsel av metaller år 2018, men marginalerna är små och för enstaka slampartier kan kadmiuminnehållet begränsa slamgivan.

Kraven i Revaq kommer skärpas varje år fram till 2025 och för att SVOA ska kunna sprida slam utan begränsning av slamgivan i framtiden måste kadmiumhalten i slammet minska. För Henriksdal begränsar även silverinnehållet redan nu slamgivan tidvis. Med nuvarande silverhalt kommer slammet inte att kunna användas alls på åkermark från ca år 2020.

I Naturvårdsverkets förslag till ny författning skärps kraven för tillförsel av metaller till åkermark i tre steg; 2015, 2023 och 2030. För att klara de specificerade kraven måste halten av silver i Henriksdals slam minska omgående, halten av kadmium och koppar minskas på båda reningsverken innan 2023 och halten kvicksilver minska innan 2030.

Silverutsläppen till Henriksdal spårades under 2016 till Värtans pumpstation och ett fortsatt uppströmsarbete med verksamheterna i området måste ge resultat för att det skall gå att avsätta slammet till jordbruksmark i framtiden.

Naturvårdsverket föreslår även i sitt förslag till ny slamförordning krav på långtgående hygienisering av slammet. I förslaget specificeras godkända metoder. Ingen implementeringstid anges i förslaget och regeringen har ännu inte beslutat i frågan. Det bedöms därför vara helt osannolikt att långtgående hygienisering kommer krävas inom de närmaste fem åren.

Dagens krav på hygienisering enligt Revaq omfattar 6 månaders lagring. Lagring på slamplatta tar stora arealer i anspråk och tillstånd för slamlagring måste finnas. I nuläget är lagringsmöjligheterna den stora flaskhalsen när det gäller spridning av slam på åkermark utan föregående torkning.

För att torkning av slammet ska kunna implementeras krävs att SVOA investerar i en slamtork. Detta bedöms vara en stor investering som utöver kostnaden kräver utrymme och en energikälla. En fördel med slamtorkning är att det finns fler alternativa avsättningsmöjligheter för torkat slam, t.ex. förbränning och pyrolys. Därmed kan en torkanläggning vara nyttig även om slammet i framtiden inte längre uppfyller kraven för spridning på jordbruksmark.

Trots att spridning av slam på jordbruksmark bedömts vara den bästa metoden och reningsverkens slam bedöms kunna uppfylla slamkvalitetskraven över de kommande 5-10 åren (detta förutsätter ett aktivt uppströmsarbete för förbättrad slamkvalitet) är det en risk att bristen på lagringsytor och jordbruksmark inom rimligt avstånd kommer att begränsa spridningsmöjligheterna. Stödet för spridning på jordbruksmark från olika intresseorganisationer är också sviktande. Bland annat beslutade Lantbrukarnas Riksförbund (LRF) vid sin årsstämma 30-31 maj 2017 att utreda ifall organisationen ska fortsätta att medverka i Revaq-samarbetet eller inte. Detta innebär att SVOA inte enbart kan förlita sig på denna metod utan måste satsa på flera olika alternativa avsättningsmetoder parallellt.

Metoder som finns tillgängliga för avsättning redan idag är utöver spridning på jordbruksmark produktion av anläggningsjord (2), deponitäckning med FSA (3) och samförbränning med avfall (5). Av dessa metoder bedöms enbart samförbränning med avfall kunna ta emot relevanta mängder slam. Samförbränning med avfall tar bort miljöfarliga ämnen såsom läkemedelsrester, PFOS och mikrokräp ut ur kretsloppet men det är en ren destruktionsmetod där inga resurser återvinns och metoden hamnar således långt ner på SVOA:s rangordningslista. Metoden kräver dessutom sannolikt lagring av slam vintertid när behovet av värmeproduktion är stort och substrat med högre värmeinnehåll kommer att prioriteras. Det kan även vara svårt att få tillstånd att förbränna slam i stor skala utan krav på fosforutvinning (Stockholm Exergi har idag endast tillstånd att elda 12 000 ton avvattnat slam i Brista).

Markåterställande (3), dvs täckning av slagghögar från gruvdrift, som varit en av SVOA:s främsta avsättningsmetoder sedan 2008, bedöms inte vara ett gångbart alternativ i framtiden då



Boliden meddelat att de inte vill förlänga avtalet med SVOA efter september 2019. Andra gruvbolag har inte heller visat intresse för att ta emot SVOA:s slam.

De metoder som hamnar högst på SVOA:s rangordningslista, utöver spridning på jordbruksmark, är förbränning med fosforutvinning (6, 7), våtoxideration med fosforutvinning (9) samt pyrolys eller HTC med spridning på jordbruksmark (10, 11). Vid pyrolys/HTC produceras ett biokol med högt fosforinnehåll som kan spridas på åkermark. Biokolet binder kol i marken under lång tid och räknas som en kolsänka. Eftersom biokolet även innehåller bl.a. metaller och PFAS kommer problemen med att klara Revaqs och kommande slamförordnings krav på metallinnehåll kvarstå (se ovan). Därmed bedöms förbränning med fosforutvinning utgöra bättre alternativ för framtiden. Även våtoxideration kan vara relevant att titta vidare på, framförallt möjligheten att utvinna fosfor ur technosanden.

## 4. Handlingsplan

Stockholm Vatten och Avfall ska i första hand prioritera de metoder som bäst svarar mot de målsättningar och den rangordning som anges under ”Mål och inriktning”. Slamavsättningen måste präglas av hög tillförlitlighet och tillgänglighet. Metoderna ska vara robusta och det ska alltid vara möjligt att få avsättning för slammet. För att uppnå hög tillförlitlighet och tillgänglighet är det önskvärt att ha tillgång till flera metoder eller att inom rimlig tid kunna byta metod. Slamhanteringen ska ske med så liten påverkan på miljön som möjligt och till rimliga kostnader.

Den avsättningsmetod som bedömts vara bäst utifrån målutvärderingen och rangordningslistan är spridning på jordbruksmark. Det är även den metod som förespråkas i Stadens Avfallsplan och SVOA:s ägardirektiv. I Stockholmsområdet produceras stora mängder slam och det är osannolikt att allt slam kommer kunna spridas på närliggande åkermark. För att återvinna 40 % av fosfor måste drygt 40 % av slammet spridas på åkermark. Om dessutom 10 % av inkommande kväve ska spridas på åkermark motsvarar det 50 % av slammet. Målsättningen är att sprida allt slam på jordbruksmark. Är det inte möjligt ska minst 50 % av slammet spridas på jordbruksmark, vilket motsvarar ungefär 45 000 ton avvattat slam per år, under kommande femårsperiod. För att möjliggöra detta krävs en kontinuerlig dialog med de entreprenörer som finns inom området samt ett aktivt uppströmsarbete vilket bl.a. omfattar en överenskommelse med Stockholms Hamnar om egenkontrollprogram föröreningar i avloppsvattnet.

En avgörande fråga för att detta mål ska kunna uppfyllas blir även slamlagringskapaciteten, både den interna och externa. De nya kraven på Valsta slamlager, som bl.a. innebär att allt lak- och dagvatten som släpps ut måste uppfylla haltkrav på kväve och fosfor (10 mg NH<sub>4</sub>-N/l, 15 mg Tot-N/l, 1 mg Tot-P/l samt bakterieinnehåll), medför stora investeringar och beslut om hur denna fråga ska hanteras blir oerhört viktig.

Även torkning av slam med efterföljande spridning på åkermark bedöms vara som en bra metod. Här finns det dock flera frågetecken gällande investerings- och driftkostnad, lokalisering och tillgång till energi. En utredning av slamtorkning ska göras för att ge svar på dessa frågor. Utredningen bör även titta på avsättningsmöjligheter för torkat slam på kort och lång sikt.

SVOA ska dessutom aktivt verka för att befintliga metoder där näringsämnen, främst fosfor, utvinns och renas från metaller och andra föreningar utreds vidare. Den metod som bedöms vara närmast en implementering är samförbränning med efterföljande fosforåtervinningsprocess. Samarbetet med Stockholm Exergi bör fortsätta, med fokus på att testa samförbränning av avvattat slam med biobränslen och utredning av potentialen för fosforutvinning ur askan.

SVOA ska även arbeta aktivt för att andra metoder för utvinning av fosfor och övriga näringsämnen ur slammet utreds och utvecklas. Pågående initiativ så som Stockholm Exergis planer på storskalig pyrolys och C-Greens HTC-anläggning i Finland, bör bevakas.

Sverige står just nu inför ett vägval gällande framtida avloppsslamavsättning och det är inte rimligt att tro att en enskild VA-organisation på egen hand ska sätta ramarna för detta val. Det är däremot möjligt för en enskild VA-organisation att påverka den nationella utvecklingen. Detta bör i nuläget framförallt göras genom aktivt deltagande i Svenskt Vattens nätverk där VA-branschen, forskare och företag samarbetar för att hitta de bästa framtida alternativen för Sverige.

Det är i slutändan trots allt marknaden som styr vilka avsättningsmöjligheter som blir tillgängliga vilket innebär att SVOA är hänvisat till de avsättningsalternativ som entreprenörer och mottagare av slam kan erbjuda. SVOA råar inte över några egna avsättningar för slammet. Det är därför viktigt att ha möjlighet till flera alternativa avsättningar.

**Tabell 1. En sammanfattande analys av de olika metoderna, skala 0-2 där högst värde är bäst. Utvärderingskriterier återfinns i Bilaga 2.**

Kriterier	1. Jordbruk	2. Anläggningsjord	3. Markåterställande	4. Deponitäckning med FSA	5. Samförbränning	6. Samförbränning + fosforutvinning	7. Monoförbränning + fosforutvinning	8. Torkning + jordbruk	9. Våtoxideration + fosforutvinning	10. Pyrolys + jordbruk	11. HTC + jordbruk
<b>1. Tillförlitlighet och tillgänglighet</b>											
1.1 Efterfrågan av slam för denna metod	1	0	0	0	1	1	0	2	0	0	0
1.2 Teknisk sårbarhet	2	2	2	2	2	0	0	1	1	1	0
1.3 Acceptans	1	2	1	1	0	2	2	1	2	2	2
<b>2. Ekonomi</b>											
2.1 investering	2	2	2	2	2	2	2	0	0	2	0
2.2 drift	1	1	2	1	1	0	0	0	1	0	1
<b>3. Resurshushållning</b>											
3.1 Nyttiggörande av växtnäring	2	1	0	0	0	1	1	2	1	2	2
3.2 Övrigt Nyttiggörande	1	1	1	0	1	1	0	1	1	0	0
3.3 Exergianvändning	1	1	1	1	0	1	0	1	2	1	2
3.4 Kemikalieanvändning	2	2	2	2	1	0	0	2	0	1	1
<b>4. Emissioner</b>											
4.1 Utsläpp till vatten	1	1	0	1	1	1	2	2	2	2	2
4.2 Utsläpp av föroreningar till luft	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
4.3 Utsläpp av koldioxid till luft	1	1	1	1	0	0	0	1	1	2	2
4.4 Påverkan på mark	1	1	1	2	2	2	2	1	2	1	1

## 1. Spridning på jordbruksmark

Slamspridning på åkermark bidrar till återföring av växtnäring till kretsloppet. Förutom fosfor nyttiggörs även kväve och mikronäringsämnen. Slammets organiska innehåll bidrar dessutom till ökande mullhalt i marken samtidigt som det bidrar med textur.

Företrädare för LRF, Livsmedelsindustrierna och Dagligvaruhandeln har länge varit tveksamma till användning av slam på åkermark. Det har funnits osäkerheter när det gäller oönskade ämnen i slam och det arbete som genomförs vid reningsverken i förebyggande syfte. Det har även funnits tveksamheter kring själva slamspridningen. Efterfrågan på slam till jordbruket har därför varierat.

Svenskt Vatten har i nära samråd med aktörer inom jordbruks- och livsmedelsbranschen, dagligvaruhandeln, konsumentorganisationer, miljöförhållanden och myndigheter tagit fram ett certifieringssystem, Revaq, för återföring av växtnäring från avloppsvatten. Syftet med certifieringssystemet är dels att säkra att växtnäring från avloppsvatten produceras på ett ansvarsfullt sätt och att kvaliteten uppfyller fastställda krav, dels att all information om slamhanteringen ska vara öppen och tillgänglig för alla. Systemet ska även vara en drivkraft för fortlöpande förbättring av kvaliteten på inkommande spillvatten och därmed även på slamkvaliteten.

Certifieringssystemet ställer krav på halten av bland annat metaller och oönskade organiska ämnen i slamm. Föroreningskällor kan vara hushåll, industrier, läkemedelstillverkning, dagvatten, lakvatten och externt organiskt material. Systemet ställer även långtgående krav på spårbarhet i samband med slamspridning där varje slamparti ska kunna spåras till varje enskilt fält. Slamm ska vara tillfredställande hygieniserat. För närvarande räcker 6 månaders lagring men det kan bli ännu högre krav i framtiden, vilket beskrivs närmare i Naturvårdsverkets förslag till ny slamförordning.

Naturvårdsverkets förslag till ny slamförordning (beskrivs bl.a. i Naturvårdsverkets rapport 6580 från 2012) ligger sedan 2013 hos regeringen men inget beslut har hittills fattats. I förslaget föreslås ett delmål om att minst 40 % av fosfor och minst 10 % av kvävet i avloppsvatten återförs till åkermark. I förslaget ingår också krav på långtgående hygienisering såsom termofil rötning i minst 8 h.

Idag är intresset från jordbruket att ta emot reningsverksslam större än tidigare. Flera stora uppköpare och livsmedelsföretag godtar spannmål från åkermark som gödslats med certifierat slam.

Det dyker löpande upp nya frågetecken angående slamspridning på åkermark; ofta diskuteras slammets innehåll av kadmium, andra tungmetaller, PFAS och läkemedelsrester. På senaste tiden har även mikroplaster kommit upp på agendan. Avskiljningen till slamm av flera ämnen blir sannolikt större efter införandet av membranteknik i Henriksdal då mer kommer att avskiljas från vattenfasen till slamfasen.

Svenskt Vatten initierade ett nationellt nätverk för fosfor och andra avloppsresurser i december 2017. Nätverket ska arbeta parallellt med Revaq för att säkerställa att de som inte kan sprida sitt slam på jordbruksmark hittar andra metoder för återföring av näringsämnen, med fokus på fosfor. Anledningen till att nätverket bildats är bl.a. att fler och fler reningsverk

Revaq-certifierar sig men mängden slam som sprids på jordbruk har trots detta varit konstant sedan 2008. Detta indikerar att marknaden kan vara mättad.

## **2. Anläggningsjord**

Slam har under lång tid använts till olika typer av jordtillverkning. Anläggningsjord som används vid golfbanor, bullervallar, planteringar m.m. har varit vanligt förekommande. Andelen slam i jordprodukten har varierat.

SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut (nu RISE) har i samarbete med bl. a. Naturvårdsverket utarbetat krav för certifierad anläggningsjord, SPCR 148. Där är ett av kraven att inblandningen av totalfosfor i en certifierad produkt endast får uppgå till högst 0,08 % för att näringen ska kunna tillgodogöras av växter.

Fosforhalten i Stockholm Vatten och Avfalls slam ligger på ca 3,3 % av TS (torrsubstansen). Om fosforhalten i jorden högst får vara 0,08 % får andelen slam i jorden vara högst en 40-del. Andelen slam som kan användas vid jordtillverkning blir därmed väldigt begränsad samtidigt som produktionen av anläggningsjord inte är särskilt stor i Sverige just nu. Det är därför inte realistiskt att uppnå det förslag som finns till miljömål att 40 % av fosfor i avloppsvatten ska återföras som växtnäring genom enbart slam till jordtillverkning för certifierad anläggningsjord.

Slam kan även blandas med annat organiskt material och komposteras. I detta fall tillåts en högre fosforhalt i slutprodukten som blir en sorts anläggningsjord. Komposteringen kräver anmälan enligt miljöbalken vid mängder över 10 ton/år och tillstånd vid mängder över 500 ton/år. Komposteringen är en långsam process som kräver stora lagringsytor men metoden kan innebära en hygienisering vilket underlättar fortsatt hantering och användning av produkten.

Efterfrågan på slam för produktion av anläggningsjord genom inblandning eller kompostering bedöms vara låg då det i dagsläget finns många andra förhållandevis billiga jordmassor att använda för samma ändamål. Slammets höga näringsinnehåll gör det dessutom mindre attraktivt vid vägbyggen och bullervallar då detta leder till ökad växtlighet och därigenom kräver ökat underhåll. Måluppfyllelse för utnyttjande av växtnäring i slam kan dessutom bedömas som tveksam.

Se även NV Handbok 2010:1 Återvinning av avfall i anläggningsarbeten.

## **3. Återställande av mark**

Vid gruvbrytning erhålls stora mängder restmaterial. Detta är dels i form av gråberg som läggs upp i stora högar. Dels är det krossat berg där malmen avskilts och sand blir kvar som restmaterial, anrikningssand. Denna sand spolats ut i stora sandmagasin. Gruvbolagen har krav på att återställa marken kring gruvorna. Detta görs ofta genom att morän läggs över gråbergsupplagen, gödslas med konstgödsel och sås in. Resultaten har inte varit så bra eftersom näringen tar slut på några år och växtligheten dör.

Boliden har därför tagit hand om slam från Henriksdal och använt detta för att täcka upplagen, både sandmagasin och gråbergsupplag. Man lägger ut slam med en tjocklek av ca 30 cm. Detta har visat sig vara tillräckligt för att erhålla ett uthålligt växtskikt. Boliden har även prövat att blanda slam med morän och andra material med positivt resultat.

Behovet av material för återställning är mycket stort. Vid Aitikgruvan i Gällivare produceras dagligen 50 000 ton anrikningssand.

Slammet ersätter andra material som t.ex. morän. Vid återställande av mark kan närsaltläckage befaras eftersom tillgången på växtnäring överstiger vad växterna kan ta upp.

Denna metod innebär därmed en högst marginell återföring av näringsämnen. Regler för högsta tillåtna fosforgiva, motsvarande de som finns för spridning på åkermark, saknas idag. Enligt Naturvårdsverkets förslag till ny slamförordning får slaminnehållet i jordblandningar vara högst 20 %.

För att denna metod ska vara aktuell krävs mottagare av slammet. Det finns idag inga entreprenörer som agerar mellanhand för denna typ av avsättning utan SVOA måste själva hitta mottagare. Sedan 2008 har SVOA haft avtal med Boliden som tar emot allt slam från Henriksdal. Boliden har dock valt att avsluta detta avtal under 2019.

Grängesberg, som har flera gruvor i Västmanland och Dalarna, har enligt Ludvika kommun inga myndighetskrav avseende miljön och är därför inte intresserade av att ta emot vårt slam. Sala kommun kan inte täcka sina slagghögar förrän de är sanerade med avseende på metaller i slaggen, vilket de planerar. Slagghögarna är dessutom kulturminnesmärkta och kan därmed inte täckas. Falu Gruva blev år 2001 klassat som världsarv. Gruvan och omkringliggande områden inklusive slagghögarna är klassade som fornlämningar som enligt Kulturminneslagen ska bevaras för framtida generationer. Någon övertäckning av slagghögarna är därmed inte möjlig.

LKAB med gruvor i Kiruna, MalMBERGET, Svappavaara med flera orter i Lappland är däremot tänkbar som mottagare av slam för täckning av slagghögar. De är inte intresserade just nu, men kanske senare.

#### **4. Sluttäckning av avfallsdeponier med FSA - FlygaskaStabiliserat Avloppsslam**

Sopor som inte går att förbränna eller återvinna på annat sätt hamnar på deponi. För att vatten inte ska kunna tränga in i avfallet och få med sig föroreningar genom lakning täcker man över det med olika typer av syntetiska material eller bentonit, ett svällande lermineral. Sluttäckningskonstruktionen består av olika skikt, där tätskiktet har en central roll. Behovet av tätskiktsmaterial kommer troligen att minska de närmaste åren i Sverige då de flesta deponier ska vara avslutade och sluttäckta 2020 (dispenser finns dock).

För att ersätta eller komplettera traditionella lösningar med bentonit och andra naturresurser kan ett tätskiktsmaterial med arbetsnamnet FSA (FlygaskaStabiliserat Avloppsslam) vara ett mer miljövänligt alternativ. FSA består av en blandning av rötat avloppsslam och bioflygaska.

Både slam och aska är restprodukter, och uppstår vid rening av avloppsvatten respektive framställning av värme. Båda materialen har låg hållfasthet och är mycket sättningsbenägna när de packas vid höga vattenhalter men deras vattengenomsläpplighet är låg. Avloppsslam innehåller organiskt material, vilket inverkar negativt på dess beständighet pga benägenhet till nedbrytning av det organiska materialet genom efterrötning. Flygaska innehåller, i motsats till slam, mycket lite vatten, vilket sänker vattenhalten och därmed höjs hållfastheten i slam/aska-blandningen. Aska har även höga saltkoncentrationer och högt pH-värde som hämmar nedbrytning av organiskt material vid askinblandningen. Vid tillräckligt hög askhalt avstannar i praktiken nedbrytningen av organiskt material. På så sätt får blandningen av slam och aska bra egenskaper för en applikation som tätskikt.

FSA-material har en mycket låg permeabilitet och tillräckligt hög hållfasthet. Det är även beständigt mot biologisk nedbrytning. Detta möjliggör att uppnå ställda krav på tätskiktskonstruktioner på deponier för icke farligt avfall. Dock ger blandningen enligt erfarenhet en dålig stabilitet. Syntetiska täckmaterial som duk av geotextil är billigare och är det täckmaterial som används mest frekvent. FSA kräver stora lagerytor då blandningen

kräver mycket plats och produktion av FSA sker främst höst, vinter och vår då flygaskeproduktionen är som störst.

Slam kan nyttjas även i växtetableringsskiktet, översta skiktet i sluttäckningskonstruktionen, i motsvarande mängd som i tätskiktet.

Metoden används mest hos kommuner med kvittblivningsproblem och kräver tillstånd där problem med lukt och damm från flygaska kan förekomma.

Metoden medför inte någon återföring av näringsämnen.

## 5. Samförbränning

Samförbränning innebär att slam eldas i en förbränningspanna tillsammans med annat material som hushållsavfall, kol, biobränsle, cement etc. Det mest sannolika är att det samförbränns med avfall. Både torkat och avvattat slam kan samförbrännas. Energiinnehållet vid förbränning av rötat avvattat slam är mycket lågt, ca 0,2 MWh/ton, vilket kan jämföras med flis och returträ som ligger på 2-4 MWh/ton. Torkat slam har ett högre värmevärde – troligtvis omkring 1,5-2,0 MWh/ton men då åtgår omkring 0,7-1,4 MWh per ton avvattat slam för torkning (beroende på metod och värmeåtervinning). Samförbränning med avfall ger en för låg fosforhalt i askan för att fosforutvinning ska vara möjlig (<4%). Askan klassas som avfall och läggs på deponi. Inga näringsämnen eller metaller återvinns.

Försök med samförbränning med avfall har gjorts i både Högdalen och Brista i samarbete med Stockholm Exergi (tidigare Fortum Värme). Försöken visar att ca 12 % inblandning av avvattat slam är möjligt utan att utsläppskraven på rökgaser eller processvatten överskrids. Inblandning av slam ger ingen extra energiutvinning men kan vara fördelaktigt vid förbränning av torrt bränsle, t.ex. från industrin, eftersom en för snabb förbränning ger sämre värmeutbyte. Stockholm Exergi har idag tillstånd att elda slam i Brista (kapacitet 12 000 ton/år) och möjlighet att elda slam i Högdalen men där krävs ett utvidgat eller förnyat tillstånd. Enligt egen utsago har de teknisk kapacitet att förbränna 200 000 ton avvattat slam per år tillsammans med avfall. Troligtvis kommer Stockholm Exergi kunna ta emot slam till samförbränning under vår, sommar och höst men på vintern, när värmebehovet är som störst, förlorar de för mycket kapacitet vid samförbränning med slam. Det innebär att lagringsytor eller alternativa avsättningsmetoder för vintermånaderna krävs.

I övrigt krävs ingen föregående hygienisering av slammet (som blir fullständigt hygieniserat vid förbränning) och transportererna blir korta vid förbränning i Stockholmsområdet. Vid förbränning förstörs bl.a. mikroplaster, läkemedelsrester, organiska mikroföroreningar och PFAS. Kvicksilver och kadmium avgår som gas och renas ut i rökgasreningen. De resterande tungmetallerna binds i askan vilket innebär att dessa ämnen tas ut ur kretsloppet för gott. Utsläppen från förbränning är relativt små då hårda krav på rening av rökgaser och processvatten/kondensat ställs av tillsynsmyndigheterna.

Intresset för förbränning av avvattat slam är inte stort men Stockholm Exergi (som till 50 % ägs av Stockholm Stad) har i uppdrag att utöver värmeproduktion även rena restströmmar i samhället vilket resulterat i att de skulle lämna anbud på slammet vid en upphandling.

Kostnaden för samförbränning med avfall är okänd. Förbränning av gallerrens kostar 800 kr/ton (inklusive transport) och hushållsavfall har en gate-fee på ca 250 kr/ton exklusive transport. Det är rimligt att tro att kostnaden skulle landa någonstans mellan 500-800 kr/ton.

Eftersom samförbränning utan fosforutvinning inte är en hållbar, cirkulär metod är detta inte något bra alternativ på lång sikt utan kan möjligtvis nyttjas som en sista utväg för ren kvittblivning. Att investera i en slamtork enbart för att kunna samförbränna slammet med avfall är därmed inte relevant.

## 6. Samförbränning med fosforutvinning

För att fosforutvinning ska vara möjlig måste fosforhalten i askan överskrida 4 %. Genom att elda slam tillsammans med bibränslen med högt värmevärde och låg askbildningspotential kan en aska med högre än 4 % fosforinnehåll erhållas med en inblandning av rötat avvattnat slam på 32-48 %. En högre inblandning är orimligt med avseende på energiutbytet.

Stockholm Exergi (tidigare Fortum Värme) har en panna i Brista som eldas med bibränslen, med teoretisk kapacitet att elda maximalt ca 50 000-75 000 ton avvattnat rötslam per år (beroende på hur stor del av året som det finns utrymme att elda slam med hänsyn till värmebehovet). För att kunna elda avloppsslam i Brista krävs dock ett nytt miljötillstånd samt omfattande investeringar i lagringsutrymmen, inmatningssystem, rökgasrening, rökgaskondensering (pga högt vätskeinnehåll i slammet) och askutmatning. Eftersom denna avsättningsmetod innebär återvinning av fosfor (och eventuellt även järn och vissa tungmetaller) samt avskiljning av oönskade ämnen är det en metod som kan vara värd att satsa på inför framtiden. Därmed skulle det kunna vara intressant att investera i en slamtork för att öka värmevärdet i slammet.

Kostnaden för samförbränning av slam med bibränsle är okänd men borde kunna motsvara kostnaden för samförbränning med avfall plus påslag för att återbetala de investeringar som måste göras för anpassning av pannor till samförbränning med slam.

Vid fosforutvinning ur aska kan >90 % av fosfor återföras. För utvinning av fosfor ur askan krävs att en anläggning byggs i Sverige eller i ett grannland. Idag finns ingen fullskaleanläggning vare sig i Sverige eller i resten av världen. Däremot har EasyMining precis driftsatt en pilotanläggning i Helsingborg (Ash2Phos) som ska utvinna fosfor ur aska från monoförbränt slam från Köpenhamn (9 % fosforinnehåll). Piloten har kapacitet att behandla en mängd motsvarande 20 % av Henriksdals slam. En ny större anläggning bör kunna byggas på några år om branschen visar ett genuint intresse och förbinder sig att använda metoden över en längre tidsperiod. EasyMining utreder just nu möjligheten att bygga en fullskaleanläggning med kapacitet att ta emot 30 000 ton aska/år (>3ggr hela SVOA:s slamproduktion).

Kostnaden för utvinning av fosfor är enligt EasyMining ca 1000 kr per ton aska vilket motsvarar drygt 100 kr per ton avvattnat slam. Med en lägre fosforhalt i askan blir kostnaden något högre.

Miljöpåverkan för fosforutvinningsprocessen är inte kartlagd men beror på vilken metod som väljs. I EasyMinings metod används syra och bas. Restprodukt blir en sandrest som läggs på deponi (dock en mindre mängd än om askan läggs på deponi utan utvinning) eller används i byggmaterial och en metallslurry som kan omhändertas.

## 7. Monoförbränning med fosforutvinning

Monoförbränning innebär att endast avloppsslam förbränns i en separat panna. Fördelen med monoförbränning är att en hög fosforhalt erhålls i askan (omkring 9 %) vilket är fördelaktigt vid fosforutvinning. Eftersom rötat slam har ett lågt värmevärde krävs att slammet torkas eller att TS-halten i slammet höjs på annat sätt innan förbränning. Förbränning av rötat slam utan extern energitillförsel kan teoretiskt ske om TS-halten uppgår till 35-40 % varvid vattenhalten högst ligger på 60-65 %. Rökgasen kan då användas som stödbränsle, varvid huvuddelen av den frigjorda energin kan återvinnas genom t.ex. rökgaskondensering. Metoden ger ingen nämnvärd energiproduktion utan förbränningen drivs enbart för kvittblivning av slam. Monoförbränningspannor finns i t.ex. Köpenhamn, Tyskland och Schweiz.

Stockholm Exergi (tidigare Fortum Värme) är inte intresserade av monoförbränning eftersom det inte medför någon energivinst.



Ingen monoförbränningspanna finns i Sverige idag. För att monoförbränning ska bli verklighet krävs tydligt initiativ från branschen där fler VA-organisationer i regionen går in och delfinansierar en panna (och slamtork) samt förbinder sig att avsätta slammet till monoförbränning över en lång tid för att investeringen ska återbetalas. Det finns därmed en stor risk för irreversibel inlåsning i en metod över tid vilket förhindrar utvecklingen av andra metoder.

För fosforutvinning gäller samma sak som i stycket ovan.

Kostnaden för monoförbränning är väldigt svår att bedöma men i Schweiz ligger "gate fee" på ca 1 200-1 700 kr/ton avvattnat slam. Då tillkommer transport och eventuella lagringskostnader.

## 8. Torkning och spridning på jordbruksmark

Torkning av slam resulterar vanligen i en granulerad eller pelleterad slamprodukt med 90–95 % TS för spridning på jordbruksmark. Fosfor, delar av kvävet, mikronäringsämnen och mullinnehållet i slammet bevaras samtidigt som lukt och smittrisk tas bort. Eventuella föroreningar blir dock kvar i slutprodukten, så metoden förbättrar inte förutsättningarna att klara Revaq-kraven eller eventuella kommande krav på andra mikroöroreningar. Torkat slam är enkelt att sprida för jordbrukaren. Torkningen minskar volymen av slam avsevärt (drysigt 70%), vilket resulterar i färre slamtransporter.

För att uppnå torkningen behövs någon form av värme; energitillgången är en viktig faktor. På reningsverk används ofta biogas från rötningen som energikälla för torkning. I de fall där torkat slam förbränns används ofta värme från förbränningen eller rökgasen som energikälla. Vid torkning med efterföljande pyrolys kan på samma sätt spillvärme från förbränningen av pyrolysgas användas för att driva torkningen. I de fall där en fristående tork anläggs utan någon tillgänglig energikälla byggs även en förbränningspanna, som drivs på t.ex. flis eller olja, för att producera värme eller ånga.

Anläggningar för ångburen värme blir allt populärare.

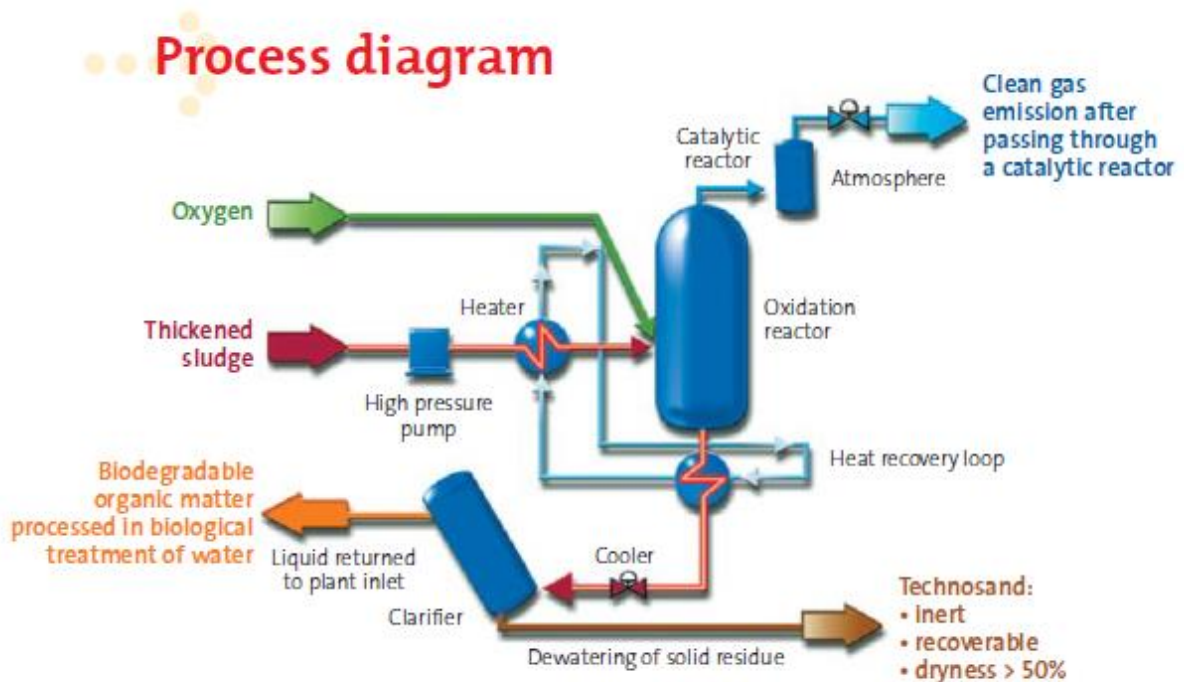
Granuler får sin form i torktrumman där torkningen sker. För att få pellets behövs ett särskilt pressverktyg följt av torkning i exempelvis en bandtork. Fördelen med pelletering är att pelletsen får en enhetlig form, vilket uppskattas av jordbrukarna. Fördelen med granulerna är att man slipper momentet att pressa slammet till pellets. Det torkade slammet kan, förutom att spridas på produktiv mark som gödning, användas för energiproduktion. Slammet har i torkad form ett energiinnehåll på ca 2 MWh per ton. Det effektiva värmevärdet, dvs total producerad energi minus total tillförd energi, för avvattnat slam är dock nära noll.

Nackdelen med torkning är att det krävs en ytterligare investering jämfört med att sprida enbart avvattnat slam på jordbruk. Hur stor investering är lite oklart men troligtvis någonstans mellan 150 och 500 Mkr. Driftkostnaderna för torken beror mycket på vilken energi-/värmekälla som finns att tillgå. Det bästa är att utnyttja restvärme från någon befintlig process men det är också vanligt att anlägga en liten pelletspanna för produktion av värme eller ånga i anslutning till torken. Dessutom kräver anläggningen tillgång på utrymme i storleksordningen 1000-3000 m<sup>2</sup> plus utrymme för eventuell pelletspanna. Behovet av utrymme för lagring av slam minskar dock.

Torkningen innebär i de flesta fall att slammet hygieniseras (beror på metod, temperatur, uppehållstid etc. vilket varierar mellan olika torkmetoder). Ett torkat slam kan, förutom att spridas på åkermark, även utgöra substrat för förbränning eller pyrolys, vilket ger ökad flexibilitet för avsättningen.

## 9. Hydrotermisk våtoxideration Athos (HTO)

Överkritisk våtoxideration finns inte som färdigutvecklad process och intresset verkar ha svalnat sedan början av 2000-talet. Veolia har en liknande process som är baserad på hydrotermisk våtoxideration (HTO). Den kallas Athos och finns uppförd på 5 olika reningsverk i Europa. Den utförs vid 235°C och 45 bar i närvaro av syrgas. Energin som frigörs vid oxidationsprocessen används för att värma upp slammet. Ingen extern värmekälla krävs. Uppehållstiden är en (1) timme och utgående produkter är enligt beskrivningen "ren gas" efter att den gått igenom en katalytisk reaktor, en lättnedbrytbar vätska som kan/bör föras tillbaka in i avloppsreningsverket samt något som kallas technosand där metaller och fosfor fastläggs och som innehåller <5 % organiskt kol. Processen kräver värmeväxlare, högtryckspump för inpumpning av slam, katalytisk reaktor för den utgående gasen samt separering av vätskan som ska återföras till reningsverket från technosanden. Se nedanstående bild.



Fosfor hamnar både i rejektet och i technosanden. Huvuddelen av de organiska mullbildande ämnena blir till koldioxid och vatten, kvävet övergår till kvävgas. Det mer svårnedbrytbara organiska materialet blir löst oxiderbart kol (COD) och ammonium som hamnar i rejektet. Med en kammarfilterpress kan en torrsubstanshalt på 50-55% uppnås. Technosanden innehåller <5 % totalt oxiderbart kol (TOC).

Utsläppet av koldioxid är 50 % lägre än vid förbränning och utsläppen av skadliga gaser uppges vara noll. Toxiska och illaluktande ämnen som t ex merkaptaner bryts ned. Metallerna fastläggs som icke utlakningsbara i den fasta fasen vilken kan användas som byggnadsmaterial enligt processbeskrivningen. Technosanden, som innehåller fosfor, fällningskemikalier och metaller, går att upparbeta på samma sätt som aska eller den fasta resten i processen för överkritisk våtoxideration men det är inget som Veolia rekommenderar och det finns idag inga sådana anläggningar i drift. Övriga näringsämnen samt mullbildande ämnen tas inte till vara.

HTO-processen är inte utrymmeskrävande men kräver syrgas, förhöjt tryck och temperatur samt återföring av vätskefasen. Det sista innebär att den bör placeras i närheten av ett reningsverk. Den förefaller ganska tekniskt avancerad.

## 10. Pyrolys och spridning av biokol på jordbruksmark

Pyrolys, eller torrdestillation, är en termisk process där ett material upphettas till 500-1000°C (vanligtvis <750°C) i en syrefri miljö vilket gör att materialet sönderfaller utan att det förbränns. Vid pyrolys avgår flyktiga ämnen i gasform och resterande ämnen återfinns i flytande (pyrolysolja som kondenseras ut ur gasen) eller fast (biokol) fas.

Pyrolys av avvattnat slam kräver att slammet först torkas till minst 65 % torrhalt (TS). Ofta integreras en tork i pyrolysanläggningen och drivs av spillvärme från pyrolysen. Det torkade slammet matas in i pyrolyskammaren där det upphettas. Gasen som avgår leds in i en förbränningskammare där den eldas upp. Den heta gasen från förbränningen används för att värma upp slammet. Den värme som finns kvar i gasen efter upphettning av slammet kan utvinns som fjärrvärme eller nyttjas till att torka slammet (eller både och).

Rökgasen från förbränning av pyrolysgasen innehåller bland annat NO<sub>x</sub> och kvicksilver vilket gör att en avancerad rökgasrening krävs.

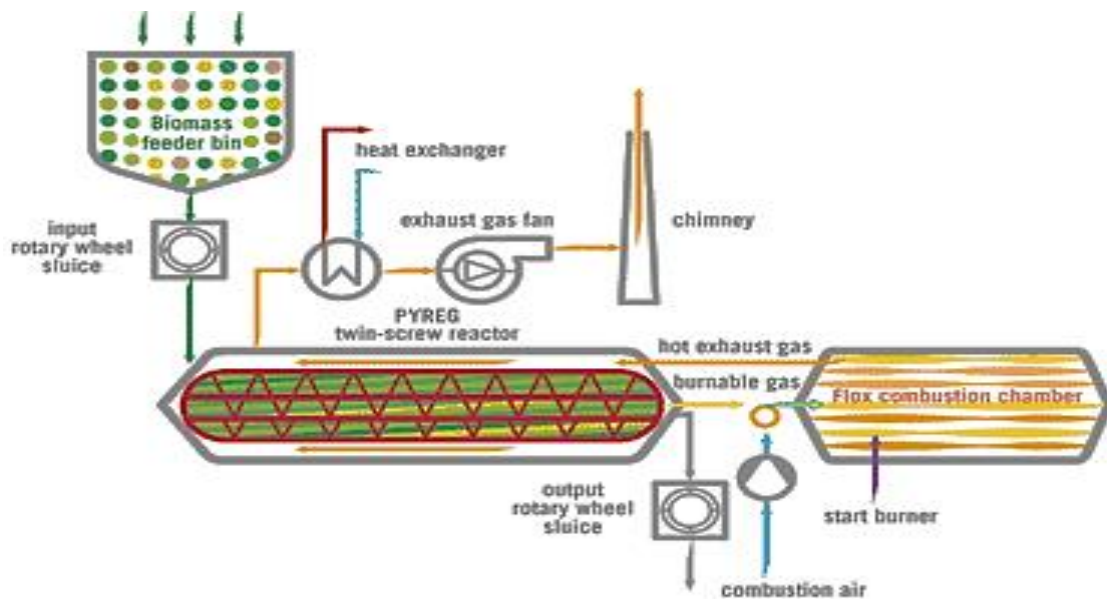
Vid pyrolys av slam bildas en fast produkt som ofta benämns biokol – även om det i strikt bemärkelse inte är ett biokol eftersom askhalten är för hög. "Biokolet" innehåller allt fosfor som fanns i slammet och 50 % av det organiska kolet – i form av grafit, en form av elementärt kol som kan benämnas koldioxidsänka. Även metallerna hamnar i den fasta fasen, undantaget kvicksilver (kokpunkt 357°C) och eventuellt kadmium (beroende på pyrolystemperatur – kokpunkt 767°C). De flesta mikroplaster bryts ner till monomerer vid pyrolys. Vad som händer med läkemedelsrester är inte klarlagt. PFAS bryts ner vid 800-1000°C vilket innebär att det hamnar i "biokolet" i de flesta fall.

Stockholm Exergi (tidigare Fortum Värme) utreder för närvarande möjligheten att bygga en 15 MW anläggning i Brista. Anläggningen skulle bestå av 3 parallella linjer som kan matas med olika substrat, bl.a. avloppsslam. Anläggningen bedöms kunna stå klar redan 2021.

Eftersom avvattnat slam har ett väldigt lågt energiinnehåll (0,2 MWh/ton) ger pyrolys av slam inte någon nettoproduktion av värme. Det är också oklart om jordbrukare skulle vara intresserade av att sprida slam-biokol på jordbruksmark. Metall-fosforkvoten i biokolen är i de flesta fall detsamma som i slammet vilket gör att kraven i Revaq kan begränsa spridningsmöjligheten. Metoden innebär ingen återföring av kväve eller mullbildande ämnen även om biokolet i sig tillför struktur till jorden vilket kan ha positiv effekt på produktiviteten. Det är också oklart hur växttillgänglig fosfor i biokolet är. Kostnaden för slampyrolys i extern anläggning och spridning av biokolsprodukten på jordbruksmark med hjälp av entreprenörer är okänd men troligtvis relativt hög.

Det bedöms inte vara rimligt för SVOA att bygga en egen pyrolysanläggning för slam i nuläget.

I figuren nedan visas en översikt över SVOAs pyrolysanläggning, levererad av Tyska Pyreg, som används för pyrolys av trädgårdsavfall i Högdalen.



## 11. Hydrotermisk karbonisering (HTC)

Hydrotermisk karbonisering eller hydrotermisk förkolning är en förbehandlingsteknik där slammet behandlas anaerobt vid högt tryck (>20 bar) och hög temperatur (200-370°C). Produkterna blir en vätska (rejektvatten), en gas och ett biokolsliknande material, innehållande ca 85 % av inkommande organiskt kol, 60 % av kvävet och 99 % av fosfor.

HTC av rotat slam genererar en biokolsliknande produkt med 55-65% torrhalt (TS) som kan spridas på åkermark eller förbrännas. Metoden kan jämföras med slamtorkning där produkten i stort sätt innehåller samma saker som det ursprungliga slammet men där volymen reduceras kraftigt samtidigt som värmevärdet i produkten höjs. Skillnaden mellan torkning och HTC är att HCT genererar överskottsenergi i form av värme medan torkning konsumerar energi. HTC-processen ger en lite våtare produkt där en del av det organiska materialet omvandlats till elementärt kol med en lång halveringstid i marken (500-1000 år) vilket ofta benämns kolsänka.

Det finns idag ingen fullskaleanläggning byggd för tekniken men pilotanläggningar finns i bl.a. i Sverige, Tyskland och Spanien och företaget C-Green bygger en fullskaleanläggning med kapaciteten 25 000 ton/år för slam från pappersmassatillverkning på Stora Ensos område i Lahti ca 10 mil från Helsingfors som ska vara i drift i januari 2019.

I HTC-processen höjs temperaturen och trycket på slammet i två steg med hjälp av ånga, först till ca 170 grader och ca 10-12 bar (mättnadstryck) och sedan ytterligare med ånga till ca 200 grader och ca 20 bars tryck innan det matas in i HTC-reaktorn. Där sjunker tyngre partiklar och tas ut som HTC-slam i botten. Temperaturen sänks på det uttagna HTC-slammet och ångan används till första stegets uppvärmning. Därefter avvattnas slammet i filterpressar till 55-65 % torrsbstans (TS).

En del av rejektet från filterpressarna används till att bereda inkommande slam till en lägre TS-halt (ingående slam ska hålla ca 15% TS). Resterande rejekt kan ledas tillbaka till reningsprocessen eller till röttkammare. HTC-filtratet kan ev. ge högre biogasproduktion vid rötning men innehåller ammoniak som kan påverka röttningsprocessen negativt.

Filtrat från HTC-reaktorns övre del leds via en flashtank där syre tillsätts för oxidation av organiskt material. Detta sker med en kraftig värmeutväxling i samband med att trycket minskar. Ångan används sedan till andra steget i uppvärmningen av slam.

Tekniken möjliggör nyttiggörande av 60 % av inkommande kväve, 99 % av inkommande fosfor och en minskning av det organiska materialet med ca 15 %. Tungmetaller och organiska föroreningar avskiljs inte utan dessa hamnar i biokolet. Det är oklart vad som händer med läkemedelsrester när de utsätts för hög temperatur och högt tryck. En oönskad bieffekt av behandlingen är den eventuella produktionen av miljöfarliga benzenringar. Huruvida detta sker eller inte utreds i pilotanläggningar.

Anläggningen ger en hygieniserad produkt, är kompakt och kräver liten plats. I full drift ger processen ett energiöverskott. Det avvattnade biokolet har en hög TS-halt vilket möjliggör förbränning och den höga TS-halten ger dessutom färre transporter.

Tekniken kan leda till dålig lukt via avluftningen vilket kräver att åtgärder behövs för att förhindra detta.

HTC-processen kan vara ett intressant framtidsalternativ men i dagsläget saknas mycket information om storskaledrift och produktens beskaffenheter.

**Bilaga 2. Definition av utvärderingskriterier för slamavsättningsmetoder**

Kriterier	Tolkning	Betyg 0	Betyg 1	Betyg 2
<b>1. Tillförlitlighet och tillgänglighet</b>				
1.1 Efterfrågan av slam för denna metod	Kommer det finnas någon som VILL ta emot slam med denna metod inom 5 år? Bör finnas avsättning för minst 20 000 ton/år för att metoden ska vara intressant. Efterfrågan bör inte minska över den tidsperiod som utvärderingen omfattar.	<20 000 ton/år	20-70 000 ton/år	>70 000 ton/år
1.2 Teknisk sårbarhet	Är tekniken välbeprövad? Finns risker för driftstopp/haverier etc. som påverkar avsättningen? Om en metod inkluderar fler anläggningsdelar tar man ett medelvärde. T.ex. torkning + monoförbränning + P-utvinning	Finns inte i fullskala så vitt vi vet	Fullskaleanläggningar finns i världen	Flera fullskaleanläggningar i Norden. Minst en i Sverige
1.3 Acceptans	Acceptans från allmänhet, LRF, VA-Sverige etc. Finns det risk för att vi får mycket klagomål? Lukt?	Risk för många klagomål och nej från LRF/branch/tung aktör	Finns viss risk för klagomål/opinion	Ingen har nån direkt negativ synpunkt
<b>2. Ekonomi</b>				
2.1 investering	Krävs någon investering av SVOA? Generellt förutsätts av vi använder Valsta men inte bygger något nytt slamlager. Entreprenörerna får tillhandahålla lagringsplats då detta behövs.	stor	liten	ingen
2.2 drift	Driftkostnaden blir oftast samma som avsättningskostnaden. Alternativt transport + gate fee. Interna kostnader?	>800 kr/ton	500-800 kr/ton	<500 kr/ton
<b>3. Resurshushållning</b>				
3.1 Nyttiggörande av växtnäring	Främst P, N, K och mikronäringsämnen	Ingen	Bara P	P + N/K/mikro
3.2 Övrigt Nyttiggörande	T.ex. mullbildande ämnen (organiskt kol), energi, utvinning av metaller.	Ingen	en av nämnda	minst två av nämnda
3.3 Exergianvändning	Energi som åtgår för t.ex. transporter eller behandling av slammet.	transport + högvärdig värme	transport som idag	50% av dagens transporter
3.4 Kemikalieanvändning	Krävs tillsats av externa kemikalier för behandlingen	i två steg	i ett steg	nej
<b>4. Emissioner</b>				
4.1 Utsläpp till vatten	Utsläpp av näringsämnen via rökgaskondensat, dränvatten, urlakning etc.?	Stor risk för läckage/utsläpp av större mängd näring till vatten	Risk för läckage/utsläpp vid lagring eller avsättning	nej (ev lak-/processvatten samlas upp och renas)
4.2 Utsläpp av föroreningar till luft	Metanavgång vid lagring? Lustgas? Utsläpp av metaller, dioxiner etc via rökgas?	metaller, dioxiner	metan eller väl renad rökgas	inga
4.3 Utsläpp av koldioxid till luft	Hur mycket av ingående kol omvandlas till koldioxid eller annan växthusgas?	ca 100%	ca 0-100%	koldioxidsänka
4.4 Påverkan på mark	Ackumulering av mikroplaster, föroreningar? Försämrad markkvalitet?	mikroplast, läkemedel, PFAS och tungmetaller	Max två av nämnda	I princip inget