

-Cross-border collaboration to improve the biogas circular economy

FÖRSTUDIE – PYROLYS AV SLAM TILL BIOKOL

Cecilia Palmborg, SLU

Ida Norberg, BioFuel Region

Johan Saarela, Ab Stormossen Oy

Ross Wakelin, SINTEF

2023-10-23

Interreg Aurora

Co-funded by the European Union

boost nordic biogas

Innehåll

Introduktion 3

Pyrolysteknik 6

Tekniskleverantörer 8

Aquagreen 9

Biogreen 9

Pyreg 10

Sammanfattning tekniskleverantörer 11

Lagar och certifiering 12

EU 12

EBC-certifiering 13

Slam som råvara 13

CO_2-reducering och certifikat 15

Sverige 16

Certifiering av rötrest i Sverige 16

Spridning av slam på jordbruksmark 17

Finland 17

Norge 19

Avsättning, kvalitet och pris 19

Användningsområden 20

Kvalitet 21

Pris 23

Summering 24

Tekniken 24

Regelverk 24

Användning 24

Introduktion

Biogasanläggningar genererar stora mängder rötrest som innehåller värdefulla växtnäringsämnen såsom fosfor och kväve. Med ny teknik skulle rötrestprodukter även från slambaserad biogasproduktion kunna återföras till lantbruket eller andra ändamål på ett hållbart vis som ett steg mot en cirkulär ekonomi. Genom att först tillvarata energin i slammet och sedan utnyttja kolet och näringsämnena i rötresten bidrar man väsentligt till den regionala hållbarheten genom ett effektiviserat kretslopp för bland annat fosfor (P) och kväve (N) samtidigt som kol binds in. Dessutom minskar behovet av importerad konstgödsel och den cirkulära ekonomin stärks.

Genom att tillverka en mer koncentrerad rötrestprodukt kan lagrings- och transportkostnader minskas. Hittills har stora mängder av den slambaserade rötresten använts för sluttäckning av deponier, men detta användningsändamål avtar nu vartefter deponierna sluttäcks och stängs ner. Att göra anläggningsjord av rötresten är i sig inte heller helt oproblematiskt eftersom det kan leda till läckage av näringsämnen. Dessutom kommer inte näringsämnena till effektiv användning som anläggningsjord, eller då rötresten används för täckning av deponier. Även lagstiftningen kring slam och slamrötrest skärps för att minska fara för miljö- och hälsa. Priset för en potentiell kontaminering av livsmedelskedjan och levande organismer är högt.

Fosfor är viktig för världens matproduktion och det finns inget annat ämne som kan ersätta fosfor. Fosfat är en icke förnybar resurs som är starkt geografiskt koncentrerad till ett litet antal länder däribland Kina, Marocko (som kontrollerar Västsaharas reserver) och USA, medan Europa och Indien är helt beroende av import av mineralgödsel.[1] Fosforn är dessutom listad som ett kritiskt råmaterial av EU.

Även en stor del av kvävet hamnar i avloppet och renas bort med aktivslamprocess (nitrifikation och de-nitrifikation), vilket leder till att kvävet omvandlas till en inert kvävgas som avgår till atmosfären. Inom EU finns avloppsreningsverkskapacitet installerad för 790 miljoner personekvivalenter, eller cirka 30 000 avloppsreningsverk.[2]

Den slambaserade rötresten kan i princip hanteras på följande sätt:

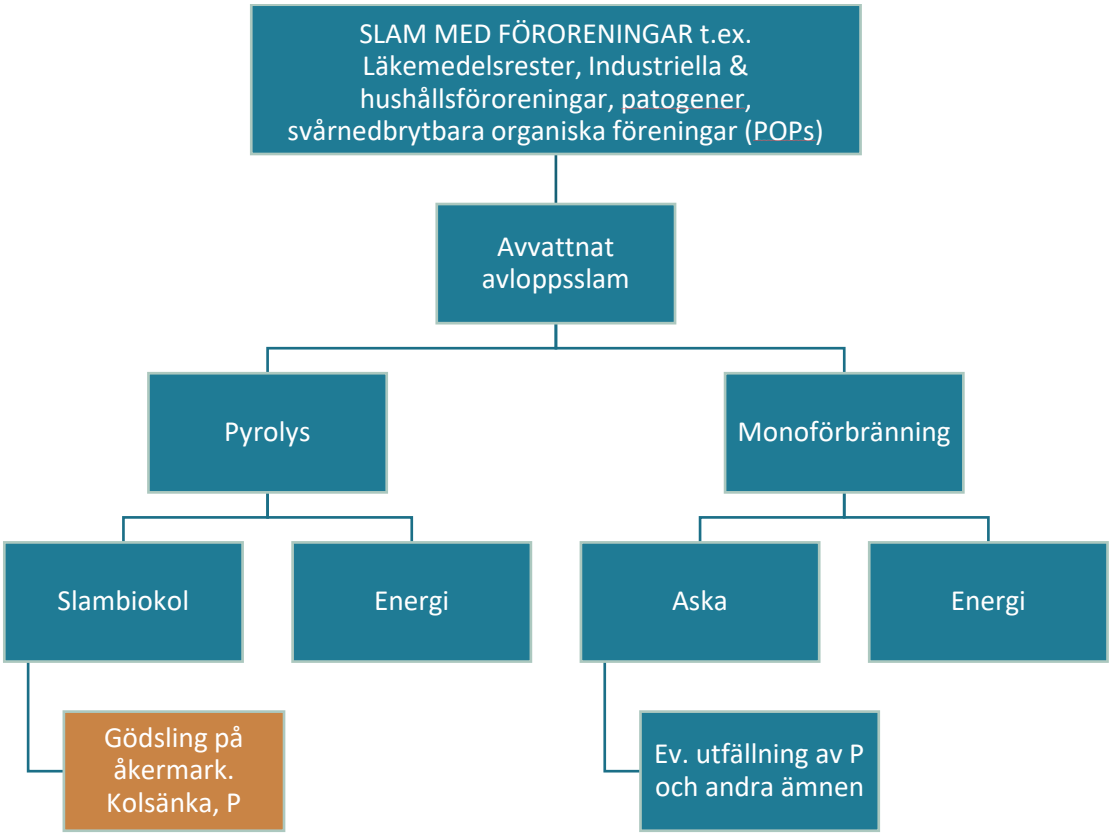
1. Spridning som sådan på åkermark för gödsling
2. Avvattning för att göras till anläggningsjord för olika ändamål
3. Termisk torkning och pelletering
4. Förgasning, vilket leder till att elementära föreningar hamnar i askan
5. Förbränning med eventuell återvinning av elementära föreningar såsom fosfor ur askan
6. HTC (hydro thermal carbonization) för att göra ett slambiokol
7. Pyrolys och göras till ett slambiokol

Slam innehåller flera olika typer av föroreningar så som tungmetaller, patogener, organiska föroreningar (POP), per- och polyfluorerade alkylsubstanser (PFAS), polycykliska aromatiska kolväten (PAH) och mikroplast. Om slamrötresten avvattnas, komposteras eller används som sådan så finns i mångt och mycket de olika föroreningarna kvar. Även vid termisk torkning eller HTC finns mycket föroreningar kvar eftersom temperaturerna är relativt låga medan en större del av kolet bibehålls.

[1] Andersson et al., (2014) Slutrapport - Optimering av näringsbalans i bionäring – en förstudie. Hämtad från: https://www.novia.fi/assets/Sidor/2/1360/Slutrapport-Optimering-av-naringsbalans-i-bionaring-en-forstudie.pdf

[2] International Water Association (2019) Rethinking our nitrogen needs in the circular economy. Hämtad från: https://www.thesourcemagazine.org/rethinking-our-nitrogen-needs-in-the-circular-economy/ Besökt: 2023-06-19

Förgasning av slam är den minst använda metoden och testas för tillfället främst i laboratorier.[3] Utifrån detta återstår två alternativ: förbränning (mono- och co-incineration) samt pyrolys, se Figur 1.



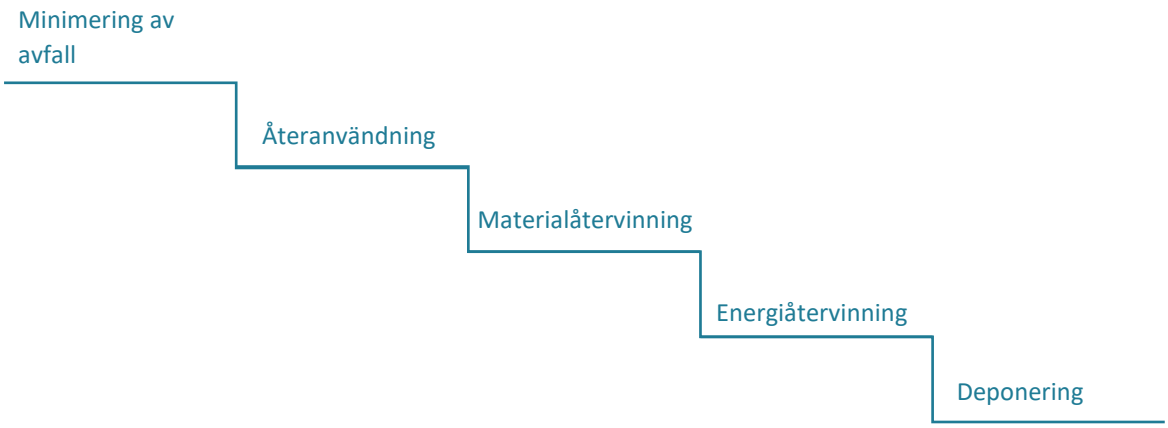
Figur 1. Behandlingsalternativ för slam.

Då det gäller förbränning är det mono-förbränning som gäller om det ska följa principen för cirkulär ekonomi eftersom en samförbränning av slam med t.ex. blandavfall ger en svårhanterlig aska ur vilken inga elementära föreningar kan återvinnas. Även vid mono-incineration av slammet bildas en aska som troligen inte kan spridas direkt eftersom förbränningen gett upphov till en koncentration av tungmetaller och därmed bör ett efterföljande återvinningssteg göras.[4] Däremot kan askan eventuellt användas för andra ändamål till exempel för inblandning i cement, men då går också värdefulla mineraler som fosfor förlorade. En stor skillnad mellan förbränning och pyrolys är att kolet går förlorat som CO_2 vid förbränning i stället för att skapa en kolsänka i form av slambiokol.

Om inga värdefulla ämnen tas tillvara vid förbränning av slam så placeras alternativet lägre ner i EU:s avfallshierarki som energiåtervinning i stället för materialåtervinning. Avfallstrappan eller avfallshierarkin, har beslutats av EU och styr hur avfall ska tas om hand, se Figur 2. För att nå högre upp i hierarkin och minska på avfallet, alltså på de värdefulla ämnena som går förlorade så krävs det att man minimerar förlusterna genom hela livsmedelskedjan. Om dessutom EU:s mål om 65% materialåtervinning till 2035 och CO_2-neutralitet till 2050 beaktas så krävs det att förbränning dessutom inkluderar tillfångatagande och nyttogörande av rökgaserna och dess koldioxid.

[3] Hušek et al., (2022) Sewage sludge treatment methods and P-recovery possibilities: Current state-of-the-art. Hämtad från: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301479722006636

[4] Hušek et al., (2022) Sewage sludge treatment methods and P-recovery possibilities: Current state-of-the-art. Hämtad från: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301479722006636



Figur 2. Avfallstrappan eller avfallshierarkin, har beslutats av EU och styr hur avfall ska tas om hand. Enligt avfallshierarkin placerar sig pyrolys av slam ett steg högre upp på materialåtervinning eftersom kol, fosfor och andra ämnen återvinns jämfört med förbränning där slammet omvandlas till energi.

Däremot finns det andra utmaningar vid pyrolys och främst kring själva slutprodukten slambiokol. Om ett slam med hög koncentration av tungmetaller används finns det risk för att den ökade koncentrationen leder till att gränsvärden för gödselprodukter överskrids.[5] Dock avdunstar en del tungmetaller så som kadmium och kvicksilver bort vid pyrolys med hög temperatur så att de kan avskiljas. Även fosforns tillgänglighet minskar för växter till följd av höga järn och/eller aluminium-halter, se avsnitt om kvalitet. Även påverkan på organiska föroreningar vid pyrolys är inte undersökt i detalj.[6] Möjligheten att återföra kol till marken och skapa en kolsänka samt markförbättrare är stor med slambiokol av god kvalitet.

En annan väsentlig skillnad mellan förbränning och pyrolys av slam är mängderna som krävs. Mono-förbränningsanläggningar finns för tillfället främst i Tyskland, Nederländerna, Polen och Schweiz. Detta utifrån att centraliserade lösningarna med höga investeringskostnader kräver stora mängder slam för behandling.[7] En centraliserad lösning med stora mängder kan också tänkas locka till sig annan kemisk industri i framtiden för återvinning av fosfor och andra ämnen. Pyrolysanläggningar däremot kan etableras decentraliserat för avloppsreningsverk med 50 000 – 200 000 personekvivalenter (PE).[8] Sett till de nordliga delarna av Finland, Sverige och Norge med långa avstånd och små städer ter sig pyrolys som ett intressant alternativ. Frågan är om slambiokolets värdefulla ämnen kommer till rätt användning och återvinns genom pyrolys eller om mono-förbränning med efterföljande återvinning är mer värdefullt? Denna förstudie syftar till att reda ut de mest väsentliga aspekterna vid pyrolys av slam.

[5] Hušek et al., (2022) Sewage sludge treatment methods and P-recovery possibilities: Current state-of-the-art. Hämtad från: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301479722006636

[6] Strubias pre-final report (2018) Recovery rules and market study for precipitated phosphate salts & derivates, thermal oxidation materials & derivates and pyrolysis & gasification materials in view of their possible inclusion as Component Material Categories in the Revised Fertiliser Regulation. Hämtad från: https://phosphorusplatform.eu/images/download/STRUBIAS-Pre-Final-Report-circulated-13-8-18-p1-report.pdf

[7] Hušek et al., (2022) Sewage sludge treatment methods and P-recovery possibilities: Current state-of-the-art. Hämtad från: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301479722006636

[8] EBI (2023) Sewage Sludge as feedstock for pyrolysis to be included in the scope of the EU Fertilizing Products Regulation. Freiburg, January 2023 Hämtad från: https://www.biochar-industry.com/wp-content/uploads/2023/01/20230131_EBI_Sewage_Sludge_Position_Paper_final.pdf

Pyrolysteknik

Pyrolys innebär att ett material upphettas till en hög temperatur, oftast mellan 400 °C och 1000 °C men helst över 600 °C för att ta bort organiska föroreningar, kadmium, kvicksilver och arsenik.[9] En högre temperatur leder till att mindre pyrolysolja uppstår, men samtidigt sänks också kolhalten i materialet eftersom förbränningen ökar. Pyrolysprocessen är en slags termisk nedbrytningsprocess i en syrefri miljö, vilket gör att materialet, sönderfaller utan att förbränning sker.[10]

Vid pyrolys avgår flyktiga ämnen i gasform vilka måste förbrännas i 1 sekund, 1100 °C (samma som för farligt avfall) eller 2 sekunder, 850 °C (samma som för brännbart avfall). Värmen som uppstår vid förbränning återförs till processen antingen till pyrolysugnen eller till förtorkningen.[11] Hanteringen av pyrolysgas sker så snabbt som möjligt innan pyrolysoljan hinner börja kondenseras ut för att i största möjliga mån hinna förbränna den och undvika hantering av oljan. När processen väl är i gång så räcker pyrolysgasen till för att täcka dess värmebehov och anläggningen fungerar utan extern bränslekälla.[12] För att förbättra energibalansen kan till exempel flis av trädgårdsavfall eller annat träavfall blandas med. Det finns dock en risk för att olika substrat leder till en icke homogen massa som blir svårare att hantera med skruvtransportörer och transportband.

Ett avvattnat slam har vanligen en torrsubstans (TS) på 20–30% och kräver därför en förtorkning för att höja TS till kring 80–90 %. Att avdunsta mer än 95% av vattnet är vanligtvis inte lönsamt eller behövligt eftersom den sista 5% är ytvatten och svårare att få bort. Slam med en torrhalt på cirka 90% är stabilt och lätt att transportera i skruvar eller band. Slamtorkningskurvan består av tre faser:

1. <40% TS, förångningshastigheten ökar och slammet liknar en kräm/smet
2. Vid ungefär 40 till 50% TS börjar slammet forma klumpar och bli kladdigt, vilket gör det svårhanterligt
3. >70% TS, finns inte tillräckligt med vatten för att hålla ihop klumparna och de börjar kollapsa

Torkare är vanligtvis designade för att undvika den svårhanterliga mellersta fasen med kladdiga klumpar. Antingen genom att blanda tillbaka en del färdigt torkat slam eller genom omrörning till exempel som i en skruv eller trumtork medan det för en bandtork kan behöva blandas tillbaks en del. Under vissa förhållanden, och för vissa slamegenskaper, kan slamdammpartiklarna explodera eller de fasta ämnena självförbrännas, varför en noggrann kontroll behövs vid torkning. Risken kan minimeras med hjälp av kvävgas. [13]

Den vanligaste torkutrustningen är bandtork eller roterande trumtork. Detta är så kallade direkta torkare där slammet kommer i kontakt med varm gas, luft eller ånga oftast mellan 80 och 180°C som gör att vattnet avdunstar.[14] Eftersom stora volymer varmt medie behövs recirkuleras oftast luft innan utsläpp för att spara energi. Energiåtgången ligger mellan 700 och 1400 kWh per ton

---

[9] Hušek et al., (2022) Sewage sludge treatment methods and P-recovery possibilities: Current state-of-the-art. Hämtad från: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301479722006636

[10] RISE (2020) Testbädd för pyrolysprocesser. Hämtad från: https://www.ri.se/sv/test-demo/pyrolys

[11] Hušek et al., (2022) Sewage sludge treatment methods and P-recovery possibilities: Current state-of-the-art. Hämtad från: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301479722006636

[12] EBI (2023) Sewage Sludge as feedstock for pyrolysis to be included in the scope of the EU Fertilizing Products Regulation. Freiburg, January 2023 Hämtad från: https://www.biochar-industry.com/wp-content/uploads/2023/01/20230131_EBI_Sewage_Sludge_Position_Paper_final.pdf

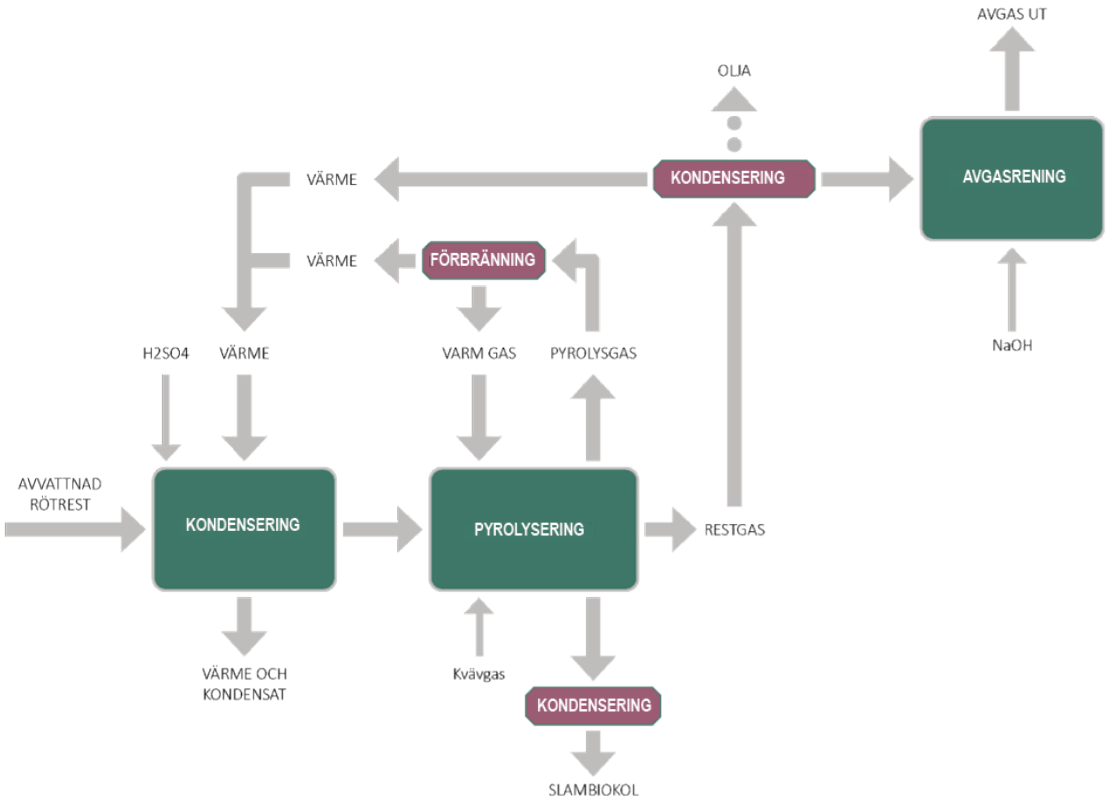
[13] Sludge processing (2020) Sludge treatment – properties of drying sludge. Hämtad från: https://www.sludgeprocessing.com/sludge-drying/properties-of-drying-sludge/ Besökt: 2023-09-11

[14] Sludge processing (2020) Sludge treatment – sludge dryer configurations. Hämtad från: https://www.sludgeprocessing.com/sludge-drying/sludge-dryer-configurations/ Besökt: 2023-09-11

avdunstat vatten. Andra typer av direkta torkare är fluidiserad bädd, roterande trumtorkare eller flash torkare med cyklon och filter.[15]

Vid indirekt torkning så kommer slammet i kontakt med en uppvärmd yta i stället. Värmningen sker i sådana fall med ånga eller varmoljesystem. Dessa torkar är ofta utformade som skruvtransportörer där torkningen sker från ena änden till den andra i ett stängt utrymme. Eftersom de inte använder varm gas eller ånga så uppstår en mindre mängd restgas och därmed också mindre lukt att hantera. Däremot så behöver värmen ur restgasen överföras till en vätska för att kunna återföras till torkningsprocessen. Energiåtgången är mellan 800 and 955 kWh per ton avdunstat vatten.[16]

Tillsats av svavelsyra (H_2SO_4) vid förtorkningen av rötresten görs för att neutralisera den illaluktande ammoniakgasen som uppstår. Ammoniakvattnet som uppstår från skrubbern kan användas för kylning av slambiokolet då det tas ut från anläggningen och samtidigt höjs dess kvävehalt. En av teknikleverantörerna, Aquagreen, har en lite annorlunda utformning där ångan cirkuleras och värms med pyrolysgasen för att sedan kondenseras och ta ut värmen varpå resterande avgaser/ångor förbränns tillsammans med pyrolysgasen för att förhindra lukt.[17] Efter pyrolysprocessen blir en fast återstod kvar som kallas biokol, se Figur 3 för en principskiss av pyrolysprocessen.



Figur 3. Principskiss av pyrolysprocessen

En pyrolysanläggning klassificeras som en förbränningsanläggning och kräver därmed rökgasrening. Som skrubbervätska vid rökgasreningen används ofta natriumhydroxid (NaOH) för att fånga klor (Cl) som mer eller mindre alltid förekommer i slamrötresten. Den främsta konsekvensen av ett högt

[15] Sludge processing (2020) Sludge treatment – convective sludge dryers. Hämtad från: https://www.sludgeprocessing.com/sludge-drying/convective-sludge-dryers/ Besökt: 2023-09-11

[16] Sludge processing (2020) Sludge treatment – conductive sludge dryers. Hämtad från: https://www.sludgeprocessing.com/sludge-drying/conductive-sludge-dryers/ Besökt: 2023-09-11

[17] Aquagreen (2023) Video Setores 1 000 at Fårevejle Wastewater Treatment Plant. Hämtad från https://aquagreen.dk/ Besökt 2023-10-23

klorvärde är att det höjer kemikalieåtgången. Ytterligare används aktivt kol som filtermaterial för rening av tungmetaller som övergått till gasfasen till exempel arsenik (As), kvicksilver (Hg), bly (Pb) och kadmium (Cd).

En av teknikleverantörerna, Aquagreen, har en lite annorlunda utformning där ångan cirkuleras och värms med pyrolysgasen för att sedan kondenseras och värmen tas ut varpå resterande avgaser/ångor förbränns tillsammans med pyrolysgasen för att förhindra lukt. Tungmetaller som kvicksilver, kadmium och arsenik reduceras eller försvinner för att senare fångas i rökgasreningen varifrån avgaserna/ångorna sedan förbränns tillsammans med pyrolysgasen.[18]

Teknikleverantörer

Det finns leverantörer och pyrolysanläggningar i drift runt om i världen. De flesta av dessa används för att producera pyrolysolja från olika substrat till exempel plast och skogsrester.[19] Däremot när det gäller pyrolys av slam för att producera ett slambiokol finns inte så många leverantörer med omfattande referenser och anläggningar i drift. Teknikleverantörer för olika pyrolysanläggningar finns i Tabell 1.

Tabell 1. Lista över teknikleverantörer för pyrolysanläggningar av olika slag.

Leverantör	Kommentar & webbsida
Aquagreen	Dansk leverantör med installation för pyrolys av slam. https://aquagreen.dk/
Biogreen	En del av norska Vow-koncernen. Erbjuder anläggningar för olika slags substrat. https://www.biogreen-energy.com/
Biomacon	Tyskt bolag med fokus på pyrolys av träbaserad biomassa. https://www.biomacon.com/
BTG-Bioliquids	Har testat på tiotals olika substrat bl.a. slam. Många installationer fast på större industrier t.ex. pappersmassabruk. https://www.btg-bioliquids.com/brochures/btg-bioliquids-pyrolysis/
Dürr	Tyskt företag som samarbetar med Pyreg t.ex. med modulen Cyplan® ORC som tillägg för elproduktion. https://www.durr.com/en/products/environmental-technology/decentral-power-generation/cyplan-orc
Ecomation	Finländsk leverantör som testat pyrolys av slam, huvudfokus verkar vara på plast och gummi. https://www.ecomation.com/
Eisenmann	Tyskt företag vars lösning för slam har benämnts till Pyrobuster och består av två steg, varav det första är ett pyrolyssteg som efterföljs av förbränning av biokolet. https://www.eisenmann-environmental.com/thermische-abfallentsorgung?lang=en
Elino	Tyskt bolag som tillverkar ugnar för olika ändamål till exempel torkning. www.elino.de
Kleanindustries	Kontor i London och Berlin i Europa. Oklart vilken råvara de utgår ifrån med benämningen ”waste”, men slam framkommer inte specifikt. Erbjuder olika typer av pyrolysanläggningar. https://kleanindustries.com/focus/gasification-pyrolysis/what-is-pyrolysis/
Mash Makes	Danskt bolag som är inriktat på pyrolys av jordbruksprodukter för produktion av biokol. https://www.mashmakes.com/carbon-removal
Pyreg	Tysk leverantör med flera installationer för olika substrat b.la. slam. https://pyreg.com/

[18] Aquagreen (2023) Video Setores 1 000 at Fårevejle Wastewater Treatment Plant. Hämtad från https://aquagreen.dk/ Besökt 2023-10-23

[19] IEA Bioenergy (2020) Commercial status of direct thermochemical liquefaction technologies. Hämtad från: https://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2020/09/Direct-Thermochemical-Liquefaction_Commercialization_Overview.pdf

Pyrogenesys	Brittiskt företag med en process som kallas Pyrochemy som omvandlar avfallsbiomassa till värdeskapande produkter som tex biokolsbriketter. Oklart om slam finns med som råvara. https://pyrogenesys.com/process/
SPCS	Tysk leverantör, men oklart hur många anläggningar som finns i drift och för vilka substrat. Verkar vara fokus på trä- och jordbruksbaserade substrat. https://www.sp-sc.de/
Zadcon	Tyskt bolag som designar, tillverkar och levererar olika anläggningar baserat på ”rotary”-teknik t.ex. för pyrolys, i huvudsak åt cement- och mineralindustri. https://www.zadcon.de

De tre leverantörer som har anläggningar anpassade för slambaserad råvara är Aquagreen, Biogreen och Pyreg. Dessa tre beskrivs mer utförligt nedan.

Aquagreen

Aquagreen är ett danskt företag inom cleantech. Deras teknologi kallas HECLA® 1000 och har en kapacitet på 1000 ton torrt slam per år som med en TS på 25 % motsvarar cirka 4 000 ton.[20] Den finns installerad vid reningsverket i Fårevejle som designats för en kapacitet på 4000 ton, TS 22-25%. En andra anläggning finns även under drifttagning i Söndersö med en kapacitet på 4000 ton och en tredje vid Ellinge i Eslöv.[21]

Första steget i processen är en ångtork (200°C) som drivs av ånga från processen. Om det blir ånga över tas det ut som värmeenergi. Slammet pyrolyseras vid 650°C och drivs av det organiska innehållet i slammet som avgår vid förbränning. Slutprodukten är biokol som lagrar 500 ton kol per år. Biokolen ger också upphov till kolkrediter där varje ton atmosfäriskt kol som reduceras eller elimineras motsvarar en kolkredit.[22] Förutom biokol produceras 2000 MWh värmeenergi som kan användas lokalt för till exempel indunstning av rejektvattnet eller läggas till fjärrvärmenätet.

Vid Fårvejele anläggning består slambiokolet av 30% kol och 6 % växttillgänglig fosfor samt 2-3 % N-tot.[23] Det har en bulkdensitet på 600-800 kg/m^3 där 90 % av kolet är i stabilt format och hålls hundratals år i jorden. Aquagreens process bryter ner mikroplaster, läkemedelsrester och PAHer. Tungmetaller som kvicksilver, kadmium och arsenik reduceras eller försvinner för att senare fångas i rökgasrenings skrubbern varifrån avgaserna/ångorna sen förbränns tillsammans med pyrolysgasen.[24] Även analyser för PFAS har gjorts av slammet samt vid olika temperaturer som visar på att PFAS bryts ner under pyrolysen. Förekomst av fragment av PFAS har dock inte undersökts.[25]

För att öka kapaciteten kan Aquagreens teknologi placeras parallellt. En enhet täcker ca 50 000 PE.

Biogreen

Biogreen grundades år 2003 och ägs av VOW koncernen.[26] De har olika pyrolys-lösningar för olika råvaror (biomassa, slam, däck & gummi). För slam har de anläggningar som kombinerar torkning och

[20] Aquagreen (2022) Technology. Hämtad från: https://aquagreen.dk/technology/ Besökt 2023-09-15.

[21] ESPP (2022) Newsletter special issue on Biochars: Perspectives for pyrolysis of sewage sludges. Hämtad från: https://www.phosphorusplatform.eu/images/scope/ScopeNewsletter144.pdf

[22] Carbon Credits (2023) Danish Company Turns Poop Into Profit via Biochar and Carbon Credits. Hämtad från: https://carboncredits.com/aquagreen-biomass-treatment-technology-turns-poop-into-biochar/ Besökt 2023-09-15.

[23] ESPP (2022) Newsletter special issue on Biochars: Perspectives for pyrolysis of sewage sludges. Hämtad från: https://www.phosphorusplatform.eu/images/scope/ScopeNewsletter144.pdf

[24] Aquagreen (2023) Video Setores 1 000 at Fårevejle Wastewater Treatment Plant. Hämtad från https://aquagreen.dk/ Besökt 2023-10-23

[25] Aquagreen (2022) Technology. Hämtad från: https://aquagreen.dk/technology/ Besökt 2023-09-19.

[26] Biogreen (2023) Pyrolysis, torrefaction & gasification. Hämtad från: https://www.biogreen-energy.com/ Besökt 2023-09-19.

pyrolys med ett kontinuerligt flöde. Processen är uppbyggd i två steg; torkning och pyrolys. Torkning av slam genomförs med en KENKI belt dryer tork. Kapaciteten är 50-1000 kg/h vått slam. Slammet som går in i torken har 80% fukthalt och efter torkning <10% fukthalt.[27] Sedan följer pyrolys med Biogreens kontinuerliga process som utgår från en torrhalt på 85-90%. Pyrolysen sker i syrefri miljö i temperaturer mellan 400 och 800°C. I en presentation från ett webbinarium 2021 visas det att temperaturen är ca 500°C i syrefri miljö.[28] På Biogreens hemsida redovisas att den producerade gasen kan användas för att producera el, värme, ånga mm.[29] Processen är kontinuerlig, har låga underhållskostnader och låg energiförbrukning. Biogreen använder sig av Evenson rotary kiln reaktorn som kan drivas med antingen el eller pyrolysgas där materialet förs fram i en skruvtransportör, vilket möjliggör justering av uppehållstid. Fördelen med pyrolys baserad på el är att man får en mycket homogen process. Installationer finns bland annat i; Helsingborg för trädgårdsavfall,[30] i Skellefteå hos Envigas[31] för träsubstrat och i Kobelco i Japan för pyrolys av slam.[32] Biogreen modulen är designad för att processa upp till 2,5 m^3/h. Verklig massakapacitet hänger ihop med uppehållstid samt materialets densitet. För att erhålla högre kapacitet placeras flera pyrolysenheter parallellt. Beroende på material och vilken produkt som eftersträvas, biokol, biooljor eller syngas, kan processen köras som antingen som torrefiering, pyrolys eller högtemperaturpyrolys.[33] Kryssningsfartyget Icon of the Seas som trafikerar i Karibien har utrustats med annan typ av Biogreens pyrolysprocesser, en mikrovågsbaserad process där organiskt material som slam omvandlas till energi för ångproduktion samtidigt som kolen kan lagras.[34] Biogreens första industriella anläggning togs i drift 2003 samma år som processen patenterades.

Pyreg

Den tyska leverantören Pyreg är största leverantören av pyrolysanläggningar i Europa och med nio anläggningar för slambaserad pyrolys av sina totalt 40 referenser runtom i världen.[35] Elique samarbetar med Pyreg kring förtorkning av slammet innan själva pyrolysen. Eliques bandtork finns i flera olika storlekar och använder värme från Pyregs process.[36] Pyregs modeller för slam finns i två storlekar PX500 kW och PX1500 se Tabell 2.

Tabell 2. Data för Pyregs modell PX500 och PX1500.

Modell	PX500	PX1500
Bränslekapacitet, kW	500	1500
Input TS 80%, ton vid 8000 h drift / år	1300	3900

[27] Biogreen (2023) Sludge pyrolysis: equipment for drying and thermal conversion. Hämtad från: https://www.biogreen-energy.com/pyrolysis-applications/sludge-pyrolysis Besökt 2023-09-19.

[28] BioFuel Region (2023) Baltic Biogas Circles, Webbinarier. Hämtad från: https://biofuelregion.se/projekt/baltic-biogas-circles/baltic-biogas-circle-webinars/ Besökt 2023-05-23.

[29] Biogreen (2023) Sludge pyrolysis: equipment for drying and thermal conversion. Hämtad från: https://www.biogreen-energy.com/pyrolysis-applications/sludge-pyrolysis Besökt 2023-05-30.

[30] VOW (2022) Vow technology BioGreen selected by NSR for Sweden's first biochar research centre. Hämtad från: https://www.vowasa.com/blog/vow-asa-vow-technology-biogreen-selected-by-nsr-for-swedens-first-biochar/ Besökt 2023-09-19

[31] VOW (2020) Powered by waste. Hämtad från: https://ml-eu.globenewswire.com/Resource/Download/6f059bf2-4d32-4c56-8c9a-a7413c2c7e1f Besökt: 2023-09-19

[32] VOW (2020) 1st Half year presentation. Hämtad från: https://assets.ctfassets.net/jgqj05vxq9zr/7g50B5056CKfgfgPt3GRlC/04a217525b566aff70bed3789d8a0355/VOW-First-Half-Year-2020-Presentation.pdf Besökt: 2023-09-19

[33] Biogreen (2023) Biogreen pyrolysis technology - Thermochemical conversion of biomass and waste. Hämtad från: https://www.biogreen-energy.com/biogreen-pyrolysis Besökt 2023-09-18

[34] Seatrade (2023) Icon eco attributes include cruising's first microwave-assisted pyrolysis. Hämtad från: https://www.seatrade-cruise.com/environmental-health/icon-eco-attributes-include-cruisings-first-microwave-assisted-pyrolysis Besökt 2023-09-19

[35] Pyreg (2022) References. Hämtad från: https://pyreg.com/wp-content/uploads/221103_BROSCHUERE_REFERENCES_SOLUTIONS_EN_doppelseiten.pdf Besökt 2023-09-15

[36] Elique (2023) Elodry. Hämtad från: https://www.eliquo-tech.com/en/elodry.html Besökt 2023-09-15

Output, ton	800	2400
Kolsänka, ton CO_2/år	600	1800
Värme output, kW (GWh vid 8000h)	200 (1,6)	600 (4,8)
Elförbrukningseffekt, kW (MWh vid 8000 h)	16 (128)	48 (384)

När det gäller kapacitet för inmatning är den specificerad för slam med en TS på 80%, eftersom förtorkningsanläggningar finns i olika storlekar. En PX1500 med input på 3900 ton med TS 80% motsvarar ungefär en rötrestmängd på 12 480 ton med TS 25% vid 8000 timmars drift per år. En större enhet PX6000 kommer snart. Det torde vara relativt enkelt att få en godkänd tredjepartskontroll för CO_2-handel via till exempel Puro.earth med Pyregs anläggningar eftersom mass- och energibalanser har påvisats vid anläggningar. Anläggningarna är även erkända av miljömyndigheten (EPA) i USA.[37]

Anläggningen är utrustad med en Flameless-oxidation (FLOX) brännare med upp till 1000°C i förbränningskammaren. Där elimineras praktiskt taget organiskt baserade föroreningar (som lösningsmedel och mikroplaster) och mineralbaserade föroreningar filtreras bort. Förbränningen sker tillräckligt snabbt för att förhindra bildning av tjära och olja vilka annars kan orsaka problem. Även termisk NOx reduceras avsevärt. Innan rökgaserna leds till skorsten genomgår den rökgasrening där skadliga sura komponenter absorberas med hjälp av alkaliska rökgasskrubber, medan flyktiga komponenter som kvicksilver fångas med aktivt kolfilter.[38] Några generella baskrav är att torrhalten (TS) är minst 80%, lägsta värmevärdet är 10 MJ/kg, samt att massan är ganska homogen, hällbar och fritt flytande. En mer homogen massa minskar risken för stockning.

Sammanfattning teknikleverantörer

I Tabell 3 ses en sammanställning av huvudparameterar för de tre leverantörer som undersökts utförligare.

Tabell 3. Sammanfattande tabell med de mest intressanta teknikleverantörerna med pyrolysutrustning för slambiokol.

Företag	**Biogreen**	**Aquagreen**	**Pyreg**
Är tekniken anpassad för pyrolys av slam?	Ja	Ja	Ja
Storlekar och kapacitet in	2,5 m^3/h	1000 ton TS 100	1300 ton TS 80 3900 ton TS 80
Antal personekvivalenter/enhet*	Ca 3 500–70 000	Ca 50 000	Ca 40 000 Ca 120 000
Pyrolystemperatur, °C	400–800	500–700	500–700
Förtorkning, typ & energiåtgång	Bandtork	Ångtork	Bandtork
Ingående TS slam, %	20	22	80 till pyrolys
Vid vilken TS-halt blir processen självförsörjande på energi?	85–90	Efter uppstart av processen	Efter uppstart av processen
Rökgasrening	Ja	Ja	Ja
Hantering av bioolja/tjära?	Förbränns	Förbränns	Förbränns

[37] Pyreg (2023) Premium carbonization technology for a valuable business proposition. Hämtad från: https://pyreg.com/our-technology/ Besökt 2023-09-15

[38] Pyreg (2023) Premium carbonization technology for a valuable business proposition. Hämtad från: https://pyreg.com/our-technology/ Besökt 2023-09-15

Ammoniakinfångning från förtorkning	?	?	Valfritt

*Beräkning baserat på 1PE = 70 g/person/dygn

De generella kraven är i stort väldigt lika för alla pyrolysprocesser, däremot skiljer sig den tekniska utformningen en del mellan leverantörerna. Enligt danska Miljöministeriets en utredning är TRL 8 för Aquagreen och för Pyreg 9, en nio i TRL motsvarar kompostering.[39] Enligt beskrivningen i Technology Readiness Level (TRL) är nio ett färdigt system som framgångsrikt används i verkliga förhållanden samt att det finns konkurrens med andra företag.[40]

Lagar och certifiering

Inom EU finns flera lagar och förordningar kopplat till slam och biokol. För att nå ut på den europeiska marknaden krävs en EU-certifiering enligt 2019/1009. Många länder har också nationella regler som måste uppfyllas och ett biokol som till exempel är godkänt i Sverige får endast säljas inom landet om det inte är EU-certifierat också. Detta avsnitt beskriver vad som gäller inom EU samt på nationell nivå i Finland, Sverige och Norge.

EU

Principen för bästa tillgängliga teknik kallas Best Available Technology (BAT). Varje bransch ska inom ramen för industriutsläppsdirektivet (IED) ta fram ett så kallat BREF-dokument. Det är ett tekniskt dokument som fastställer vad som är bästa tillgängliga teknik (BAT) för reducering av miljöpåverkan från en sektor. Detta arbete leds av den del av EU-kommissionen som kallas IPPC-byrån och från Sverige är det Naturvårdsverket som deltar samt ibland någon från länsstyrelser.[41] BREF omfattar förbränning eller samförbränning av avfall, inklusive kommunalt avfall, annat icke-farligt avfall, avloppsslam, farligt avfall och kliniskt avfall. Denna BREF beskriver, förutom traditionella förbränningsprocesser, även pyrolys- och förgasningsprocesser.[42]

Inom EU:s Cirkulära Ekonomipaket har en ny förordning kring bestämmelser om tillhandahållande av EU-gödselprodukter (2019/1009) tagits fram. Förordningen reglerar och samordnar handel med bland annat organiska gödselmedel. Länderna får behålla sina egna regler för till exempel kadmiuminnehållet i gödsel så länge de uppfyller de EU-gemensamma kraven. När alla kraven är uppfyllda ska avfallet inte längre betraktas som avfall utan en produkt eller en råvara. CE-märkning säkerställer att gödselmedlet följer förordningen. Ett CE-märkt gödsel får säljas fritt inom EU.

EU:s Slamdirektiv från 1986 förblir relevant men de föroreningar som regleras behöver ses över, särskilt med tanke på organiska föreningar, patogener, läkemedel och mikroplaster som finns i avloppsslam. Direktivet lyfte fram kostnadseffektiviteten av slamanvändning inom jordbruket, utifrån att det är betydligt billigare än förbränning och är nu under evaluering.[43]

[39] Danska Miljöministeriet (2022) Alternativ udnyttelse af spildevandsslam. Hämtad från: https://www2.mst.dk/Udgiv/publikationer/2022/04/978-87-7038-415-5.pdf Besökt 2023-09-25

[40] Wikipedia (2023) Technology Readiness Level. Hämtad från: https://sv.wikipedia.org/wiki/Technology_Readiness_Level Besökt 2023-09-29

[41] Naturvårdsverket om BREF processen https://www.naturvardsverket.se/vagledning-och-stod/industriutslapp-ied/bref-processen/ Besökt 2023-06-29.

[42] European Commission (2019) BAT reference documents – Waste incineration. Hämtad från: https://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/waste-incineration-0 Besökt 2023-09-25

[43] European Commission https://environment.ec.europa.eu/topics/waste-and-recycling/sewage-sludge_en Besökt 2023-09-20.

EBC-certifiering

För biokol finns en certifiering inom EU:s Fertilizing Products Regulation som heter EBC, European Biochar Certificate.[44] En EBC-certifiering innebär att biokolet uppfyller krav som ställs på råvaran (biomassa), produktionen och biokolet avseende kvalitet, utsläpp och en hållbar produktionskedja. Det finns en checklista på svenska som tar upp kraven enligt EBC inom biomassa, produktion, regelverk, provtagning och analys samt förpackningsinformation.[45] Redan idag finns en del uppköpare som ställer kravet att de endast köper EBC-certifierat biokol. Dock är det endast Schweiz i Europa som kräver att all biokol ska vara certifierad för att få användas inom jordbruket.[46] Ett EBC-certifierat biokol möjliggör försäljning av CO_2-ekvivalenter.[47]

Slam som råvara

Certifierat biokol enligt EBC innehåller minst 50 % kol.[48] Slammet innehåller dock i allmänhet mindre än 50 % kol. Slam har inte funnits med i listan av godkända råvaror från pyrolys och förgasning som får användas inom jordbruket (positive list EBC 3.1).[49] Anledningen är att det inte finns tillräckligt med forskning som kan visa att oönskade ämnen som finns i slam elimineras i pyrolys- eller förgasningssteget. I januari 2023 kom en uppdatering på positionspapperet från European Biochar Industry Consortium (EBI) som argumenterar för att slam ska bli inkluderat som råvara.[50] Det framförs argument med hänvisning till olika vetenskapliga artiklar att pyrolys eliminerar mikroföroreningar från slam; organiska föroreningar så som läkemedel och hormonstörande molekyler, per- och polyfluorerade alkylsubstanser (PFAS) samt polyaromatiska kolväten (PAH). Argumenten som framförs är följande:

- Patogener elimineras vid temperatur över 350 °C i flera minuter. Traditionell pastörisering vid 70 °C i 1 h eliminerar inte dessa.
- Organiska föroreningar med läkemedelsrester elimineras helt med termokemiska behandlingar, tex. Pyrolys enligt tyska miljöministeriet.
- PFAS elimineras från avfallsslam vid pyrolys vid 600 °C i 10 minuter och förbränning av pyrolysgaser vid 850 °C enligt US EPA Office of Research and Development samt Aquagreens anläggning i Fårvejle.
- PAH:er elimineras till mer än 99,8% vid långsam pyrolys vid >400 °C enligt Aquagreens anläggning i Fårvejle.
- Mikroplasterna polyetylen och polypropylen, som är de två vanligaste förekommande mikroplasterna i avfallsslam degraderas helt vid en pyrolystemperatur på 450 °C.
- Kolsänkan är mellan 300 och 500 kg CO_2 för varje ton torkat slam.
- Det finns flera teknikleverantörer som har nått TRL8 eller 9. Dessa arbetar i spannet 0,5-1 ton/h avvattnat slam per processlinje vilket motsvarar 50 000 – 200 000 personekvivalenter.
- Jordförbättrande egenskaper som ökar biomassaproduktionen.

---

[44] European Biochar Certification homepage https://www.european-biochar.org/en/home Besökt 2023-09-20.

[45] Checklista EBC version 2.0 (2020) Mattias Gustafsson Hämtad från: https://www.biokol.se/wp-content/uploads/2021/03/biokol-se-ebc-checklista.pdf Besökt 2023-05-26.

[46] EBC Biochar Certification homepage https://www.european-biochar.org/en/home Besökt 2023-09-21.

[47] https://www.european-biochar.org/media/doc/2/version_en_10_3_track_changes.pdf Sid. 11.

[48] European Biochar Foundation (EBC) (2012) European Biochar Certificate - Guidelines for a Sustainable Production of Biochar. Arbaz.

[49] Positive list of permissible biomasses for the production of biochar. European Biochar Certificate. Hämtad från: https://www.european-biochar.org/media/doc/2/positive-list_en_v10_3.pdf Besökt 2023-05-26.

[50] Sewage Sludge as feedstock for pyrolysis to be included in the scope of the EU Fertilizing Products Regulation (2023) Hämtad från: https://www.biochar-industry.com/wp-content/uploads/2023/01/20230131_EBI_Sewage_Sludge_Position_Paper_final.pdf Besökt 2023-05-25.

I den aktuella listan version 10.3 som uppdaterades 5 april 2023 finns nu slam från reningsverk med, s.k. ”biosolids” med benämning WW-01.[51] I kommentarerna framgår att det inkluderar både orötat och anaerobt rötat slam. Kraven innefattar en pyrolystemperatur på minst 500°C i 3 minuter för att eliminera mikroföroreningar och polymeradditiv som använts i reningsprocessen. Även regelbundna analyser av slammet samt biokolet med avseende på tex klor, tungmetaller och PCDD/F krävs.[52] Slammet (WW-01) får användas som ”EBC basic materials”, vilket är den lägsta nivån av certifiering och innebär att det får användas inom basindustri så som tillverkning av byggmaterial, asfalt, elektronik och kompositmaterial som skidor, båtar, bilar, raketer utan risk för miljö och användare. Däremot får det inte användas inom jordbruket eller som anläggningsjord. Alla nivåer av EBC-certifiering innebär också att det är berättigat till certifiering av kolsänka, dvs försäljning av CO_2-ekvivalenter.[53]

I en del länder är slambiokol godkänd som råvara inom jordbruket.[54] I Tjeckien måste biokol producerat från slam godkännas av regionala myndigheter för att få användas inom jordbruket och då uppnå den nationella end-of-waste statusen. Även estnisk lagstiftningen tillåter jordbruksanvändning av slambiokol framställt av avloppsslam enligt förordning nr 24/2017, som är baserad på avfallsslagen samt på produktöverensstämmelselagen.[55] I Danmark räknas pyrolys som hygieniseringsmetod för slam för att få användas inom jordbruket sedan 2022. Danska miljöministeriet tillåter användning av biokol producerat från avloppsslam i jordapplikationer med villkoret att pyrolysen sker vid minst 500°C och en uppehållstid på 3 minuter.

Förordning (EU) 2019/1009 fastställer regler för leverans av gödselprodukter på EU-marknaden.[56] Tabell 4 visar gränsvärden för användning av avloppsslam inom jordbruket dels inom EU, dels de nationella gränsvärdena.[57] Generellt har Sverige, Finland och Norge högre krav på tungmetaller jämfört med EU:s krav. Det är endast Danmark och Tyskland som har gränsvärden för PFAS.

Tabell 4. Gränsvärden för användning av avloppsslam inom jordbruket i mg/kg torrsubstans för slam. I Sverige och Norge gäller samma värden för orötat och rötat slam.

	EU direktiv 86/278/EEC	Sverige[58] SPCR 120	Finland LARA-kvalitetssystem	Norway[59] Class 0 to II	Danmark, BEK nr 1001/2015, 56/2000	Tyskland, AbfKlarV, 2017; DüMV, 2012
Cd	20–40	2 (1*)	1	0,4–2	0,8	1,5
Cu	1000–1750	600	500	50–650	1000	900
Ni	300–400	50	50	20–50	30	80
Pb	750–1200	100	70	40–80	120	150

[51] Positive list of permissible biomasses for the production of biochar. European Biochar Certificate. Hämtad från: https://www.european-biochar.org/media/doc/2/positive-list_en_v10_3.pdf Besökt 2023-05-26.

[52] EBC Biochar Certification homepage. https://www.european-biochar.org/en/ct/28-How-to-get-EBC-certified Besökt 2023-06-28.

[53] EBC (2012-2023) 'European Biochar Certificate - Guidelines for a Sustainable Production of Biochar.' Carbon Standards International (CSI), Frick, Switzerland. (http://european-biochar.org). Version 10.3 from 5th Apr 2022. Hämtad från: https://www.european-biochar.org/media/doc/2/version_en_10_3_track_changes.pdf sid. 11-13.

[54] Sewage Sludge as feedstock for pyrolysis to be included in the scope of the EU Fertilizing Products Regulation (Update of the EBI Position Paper elaborated in March 2020) Freiburg, January 2023

[55] ESPP (2022) Newsletter special issue on Biochars: Perspectives for pyrolysis of sewage sludges. Hämtad från: https://www.phosphorusplatform.eu/images/scope/ScopeNewsletter144.pdf

[56] Europaparlamentets och rådets förordning (EU) 2019/1009 Hämtad från: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SV/TXT/?uri=CELEX%3A32019R1009

[57] Sewage sludge treatment methods and P-recovery possibilities: Current state-of-the-art. (EU, Danmark)

[58] Jordbruksverket (2021), Användning av avloppsslam på jordbruksmark. Hämtad från: https://jordbruksverket.se/download/18.666a627517078da0aba4a5a4/1646227175268/Informationsblad-slam-tga.pdf

[59] Hämtad från: https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2003-07-04-951

Zn	2500–4000	800	1000	150–800	4000	4000
Hg	16–25	2,5	0,75	0,2–3	0,8	1
Cr	-	100	200	50–100	100	-
CrIV	-				-	2
As	-		25		-	40
Ti	-				-	1
AOX	-				-	400
PCB	-	8 riktvärde**			0,2	0,1
PAH	-	3,5 riktvärde**			3	-
LAS	-				1300	-
benzo(a) pyrene	-				-	1
NPE	-				10	-
DEHP	-				50	-
PCDD/F	-				-	30
PFAS	-				0,01/0,4	0,1
microbial limit	NEJ			2500 TKB/g DM	JA	JA
Application rate t DM /da/ 10 år				2		

*guidevärde i den svenska bilaga 5 i EBC.[60]

** Naturvårdsverkets generella riktvärden för förorenad mark vid känslig markanvändning.[61]

Rötrestens godkända innehåll av tungmetaller regleras via lagar inom respektive land, men vad gäller andra oönskade material (såsom mikroplaster och läkemedelsrester) finns ingen gällande lagstiftning. Den lagstiftning som finns omfattar synlig plast och gäller för kompost och gödsel.[62] Det får vara högst 3 g/kg torrsubstans av orenheter över 2 mm och totalt högst 5 g/kg torrsubstans. Fr.o.m. 16 juli 2026 ska förekomsten av plast > 2 mm vara högst 2,5 g/kg torrsubstans. Senast 2029 ska gränsvärdet för plast bedömas på nytt.

CO_2-reducering och certifikat

Slambiokol kan ses som en permanent kolsänka på mellan 300–500 kg CO_2-ekvivalenter för varje ton torrt (TS 80%) slam som pyrolyseras, vilket även stämmer väl överens med teknikleverantörernas uppgifter. Spridning av slam direkt på jordbruksmark bidrar till utsläpp av växthusgaser (CH_4 och N_2O). Då kan torkning och pyrolys av slam minska växthusgasutsläppen med i storleksordningen 1 – 1,7 ton CO_2-ekvivalenter per ton torkat slam med beräkningar av CO_2-utsläpp över 100 år.[63] Därmed blir även fosforn som återvinns i slambiokolet klimatnegativ. Dessutom uppstår syngas som kan

[60] EBC (2012-2023) 'European Biochar Certificate - Guidelines for a Sustainable Production of Biochar.' Carbon Standards International (CSI), Frick, Switzerland. (http://european-biochar.org). Version 10.3 from 5th Apr 2022 https://www.european-biochar.org/media/doc/2/version_en_10_1.pdf Bilaga 5, sid 63.

[61] Paulsson, M. (2020). Sammanfattande slutrapport för projektet Rest till Bäst (steg 2), sid 9. https://www.ri.se/sites/default/files/2022-06/slutrapport%20RtB.pdf

[62] Europaparlamentets och rådets förordning (EU) 2019/1009. Sid. 61 och 64. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SV/TXT/?uri=CELEX%3A32019R1009

[63] EBI (2023) Sewage Sludge as feedstock for pyrolysis to be included in the scope of the EU Fertilizing Products Regulation. Freiburg, January 2023 Hämtad från: https://www.biochar-industry.com/wp-content/uploads/2023/01/20230131_EBI_Sewage_Sludge_Position_Paper_final.pdf Besökt 2023-08-14

användas för värmeproduktion med beaktande av att det oftast inte lämnar mycket överskottsvärme till andra ändamål vid pyrolys av slam.

Det finländska företaget Puro.earth är en marknadsplats som erbjuder handel med certifikat för borttagning av koldioxid från atmosfären. Dessa certifikat kallas CORC:s (Carbon Dioxide Removal Certificate) finns på den globala marknaden. Från 2022 finns också biokol med och det finns en metod/guide för biokol.[64] Metoden kvantifierar nettoreduceringen av CO_2-ekvivalenter under 100 år genom produktion av biokol som används i olika applikationer. Enligt Pyregs guide går CO_2-försäljningsprocessen till på följande vis: [65]

1. Företag använder en pyrolysanläggning för att omvandla sitt kolhaltiga avfall till biokol i detta fall slam. På så sätt tas kol bort från atmosfären.
2. Kolinbindningen verifieras av en oberoende tredje part och CO_2-certifikat (så kallade carbon credits eller CORCs) utfärdas för varje ton CO_2 som tas bort.
3. Klimatmedvetna företag köper dessa certifikat på en handelsplattform för att neutralisera sina utsläpp t.ex. puro.earth, Carbonfuture och Verified Carbon Standard om inte ännu tagits i bruk.[66]
4. Köparna använder dessa certifikat i sin hållbarhetsrapportering eller för att skapa klimatneutrala tjänster. Alternativt kan CO_2-certifikaten användas för att göra egen verksamhet klimatneutral.

Priset för CORC (CO_2-reduction certificate) på puro.earths hemsida ligger som lägst på 25€/CORC till strax över 500 €/CORC. För olika typer av biokol ligger priset mellan 110 och 500 €/CORC, men för de allra flesta kring 200 €/CORC.[67]

Sverige

Certifiering av rötrest i Sverige

I Sverige finns det två typer av certifieringsorganisationer med regler för certifiering av rötrestför producenter och för konsumentprodukter.

- REVAQ certifierar rötrest och produkter från rötrest med ursprung från avloppsslam till exempel slambiokol. Denna certifiering drivs av Svenskt Vatten.[68]
- För bioavfallsbaserade produkter finns SPCR 120 för certifiering av rötrest och SPCR 152 för certifiering av kompost. Dessa två drivs av Avfall Sverige.[69]

De som certifierar konsumentprodukter är KRAV för ekologisk produktion och Svenskt Sigill för integrerad produktion. Ingen av dessa tillåter gödsling med avloppsslam. REVAQ garanterar att avloppsslammet håller sig under vissa gränsvärden för tungmetaller, mikroorganismer och synliga föroreningar (till exempel plast) och att de anslutna anläggningarna bedriver ett uppströmsarbete för att minimera kemikalier som spolas ned i avloppen. Innehållet av näringsämnen och tungmetaller ska deklareras. All spridning ska dokumenteras på skiftesnivå och nedbrukning, till exempel

[64] https://fs.hubspotusercontent00.net/hubfs/7518557/Supplier%20Documents/Puro.earth%20Biochar%20Methodology.pdf Besökt 2023-06-29.

[65] Pyreg (2021) From biogenic waste to CO2 certificates. How does it work? Hämtad från: https://pyreg.com/wp-content/uploads/CO2-certificates-with-PYREG-how-does-it-work.pdf Besökt 2023-08-14

[66] UK Water industry research (2023) Converting sewage sludge to biochar – A review of options & feasibility. Hämtad från: https://ukwir.org/converting-sewage-sludge-to-biochar-a-review-of-options-feasibility-0 Besökt 2023-08-14

[67] Puro.Earth (2023) CORC Supplier list. Hämtad från: https://puro.earth/CORC-co2-removal-certificate/ Besökt 2023-08-17

[68] Revaq (2023) Regler för certifiering, utgåva 9.0 Hämtad från: https://www.svensktvatten.se/globalassets/avlopp-och-miljo/uppstromsarbete-och-kretslopp/revaq-certifiering/revaq-regler-2024-utgava-9.0-vit.pdf Besökt 2023-09-25

[69] Avfall Sverige (2020) Biogödsel. Hämtad från http://www.biogodsel.se/

plöjning, ska ske snarast.[70] För 60 grundämnen finns gränsvärden över hur mycket som får tillföras åkermark per ha och år. Dessa värden minskas dessutom från år till år. För kadmium ska dessutom en kadmiumbalans upprättas enligt en särskild mall. Ansvaret för detta ligger på certifikatinnehavaren.

De gränsvärden som gäller för plast är olika för kompost respektive flytande/fast biogödsel. För kompost får den totala halten av synliga föroreningar (>2 mm) ej överstiga 0,25 viktprocent av torrsubstansen. För flytande/fast biogödsel får det glidande medelvärdet för föroreningar ej överstiga 10 cm^2/kg för flytande biogödsel och 30 cm^2/kg för fast biogödsel (>20% TS-halt).[71]

Spridning av slam på jordbruksmark

Idag sprids både orötat och rötat slam på jordbruksmark som uppfyller krav på gränsvärden för olika tungmetaller. Kraven gäller både producenter och användare. Jordbruksverket har tagit fram information om vilka lagkrav som gäller.[72]

För att få sprida på jordbruksmark måste gränsvärden på metaller i marken där det ska spridas understiga vissa nivåer. Kraven omfattar att slam inte får spridas på grödor som ska antingen skördas inom 10 månader efter spridning samt på mark där odling av bär, potatis, rotfrukter eller grönsaker som är i kontakt med jorden och konsumeras råa och där man räknar med skörd inom 10 månader.

År 2020 publicerades Statens offentliga utredningar Hållbar slamhantering (SOU 2020:3), betänkandet av Utredningen om en giftfri och cirkulär återföring av fosfor från avloppsslam.[73] Utredning ger förslag om att förbjuda spridning av slam på åkermark helt eller med mycket begränsande undantag samt också återvinningskrav på minst 60% av fosforn som finns i avloppsslammet. Utredning framför också att uttag av biogas med mera troligtvis bara är början på en utveckling där teknisk innovation och systemtänk kan ge stora förändringar.

Biokol som uppfyller EBC-certifieringsnivå EBC-Agro eller EBC-AgroOrganic får spridas på jordbruksmark. I Sverige måste det också uppfylla de gränsvärden som är tillagda i Annex 5 i EBC vilket omfattar bly (100 mg/kg TS) och kadmium (1 mg/kg TS).[74]

Finland

Den nya Lagen om gödselmedel 711/2022 reglerar tillverkning, utsläppande på marknaden, import och export av gödselfabrikat. Genom reformen av lagen om gödselmedel förenhetligas förfarandena enligt EU-förordningen och den nationella lagstiftningen samt skapandet av en mer flexibel verksamhetsmodell, som främjar marknaden för nya, hållbart framställda produkter och samtidigt garanteras att de är säkra att använda.[75] Lagen om gödselfabrikat 539/2006 gäller för ärenden som

---

[70] Linusson, A. (2019). REVAQ renare vatten - bättre kretslopp Regler för certifieringssystemet Svenskt Vatten AB. Hämtat från: https://www.svensktvatten.se/globalassets/avlopp-och-miljo/uppstromsarbete-och-kretslopp/revaq-certifiering/revaq.regler-2019-gul.pdf

[71] SPCR120, 2024. Hämtad från: https://www.avfallsverige.se/fakta-statistik/certifierad-atervinning/certifieringsregler-for-biogodsel/ Besökt 2023-09-20.

[72] Jordbruksverket (2021), Användning av avloppsslam på jordbruksmark. Hämtad från: https://jordbruksverket.se/download/18.666a627517078da0aba4a5a4/1646227175268/Informationsblad-slam-tga.pdf

[73] Hållbar slamhantering (2020) SOU 2020:3 Hämtad från: https://www.regeringen.se/contentassets/3d68880d2e6942f3a1dccb158e46beb7/hallbar-slamhantering-sou-20203/ Besökt 2023-09-25

[74] EBC (2012-2023) 'European Biochar Certificate - Guidelines for a Sustainable Production of Biochar.' Carbon Standards International (CSI), Frick, Switzerland. (http://european-biochar.org). Version 10.3 from 5th Apr 2022 Hämtad från: https://www.european-biochar.org/media/doc/2/version_en_10_3_track_changes.pdf Sid. 63.

[75] Finlex (2022) Lag om gödselmedel (711/2022) Hämtad från: https://www.finlex.fi/sv/laki/alkup/2022/20220711 Besökt 2023-09-25

inletts före ikraftträdandet av lagen om gödselmedel 711/2022.[76] I statsrådets förordning om användning av gödselprodukter och naturgödsel som innehåller fosfor 64/2023, föreskrivs det om användningen av fosfor i jordbruk och trädgårdsodling samt vid anläggning av grönområden och miljöbyggande.[77]

I Jord- och skogsbruksministeriets förordning om gödselfabrikat 24/11 bestäms kraven för kvalitet, märkning, förpackning, transport, lagring och användning samt om råvaror till gödselfabrikat. Förordningen fastställer att gränsvärdena för tungmetaller och gödselmedel som innehåller högre halter av tungmetaller än gränsvärdena inte får säljas.[78] I och med att kadmium kan nå jordmånen speciellt via fosforgödselmedel, så har gränsvärden för detta även fastställts i EU. Finland har ett av de mest strikta gränsvärdena för kadmium i gödselmedel på 22 mg/kg P_2O_5 (fosforpentoxid), vilket är nationella bestämmelser som anmälts av Finland och beslutats av kommissionen (2006/348/EG).[79] Även gränsvärden för plast finns beskrivet i Jord- och skogsbruksministeriet 24/11.[80] Högsta tillåtna mängder av orenheter i gödselfabrikat (glas, metall, plast, ben, sten):

- i förpackad produkt: 0,2% av den råa volymvikten
- i oförpackad produkt: 0,5% av den råa volymvikten

Enligt förordningen får organiska gödselmedel användas i åker och trädgård samt inom landskapsarkitektur och vid underhåll och anläggande av grönområden, om inte något annat föreskrivs specifikt för typbeteckningsgruppen. För de oorganiska gödselmedlen tillämpas samma användningsområde plus skogsmark. Förordningen gäller inte gödselfabrikat som används i landskapsarkitektur på avstjälpningsplatser eller andra slutna områden.[81]

I jord- och skogsbruksministeriets förordning om utövande och tillsyn av verksamhet gällande gödselfabrikat 11/12 föreskrivs om verksamhetsutövares anmälningsskyldighet; skyldighet att föra register, ha egenkontroll och göra förhandsanmälan, godkända laboratorier, godkännande av anläggningar som tillverkar, teknisk bearbetning eller lagring av organiska gödselfabrikat eller råvaror till sådana samt om ordnande av tillsynen över gödselfabrikat.[82]

Livsmedelsverket är den myndighet som övervakar och godkänner tillverkare av organiska gödselfabrikat eller organiska råvaror till sådana. Därmed granskas även att hygieniseringskraven uppfylls vid anläggningarna. I Finland kan man göra en standardhygienisering i 70 °C i en timme eller alternativt en validering av de metoder som anläggningen använder som hygienisering.[83] Livsmedelsverket för en nationell förteckning över typbeteckningar för gödselfabrikat. Det första

[76] Finlex (2006) Lag om gödselfabrikat (539/2006) Hämtad från: https://www.finlex.fi/sv/laki/ajantasa/2006/20060539 Besökt 2023-09-25

[77] Finlex (2023) Statsrådets förordning om användning av gödselprodukter och naturgödsel som innehåller fosfor (64/2023) Hämtad från: https://www.finlex.fi/sv/laki/alkup/2023/20230064 Besökt 2023-09-25

[78] Jord- och skogsbruksministeriets (2011) Förordning (24/2011) Om gödselfabrikat. Hämtad från: http://www.finlex.fi/data/normit/37638-11024sv.pdf Besökt 2023-09-25

[79] EU Kommissionen (2006) Beslut (2006/348/EG) Om de nationella bestämmelser som anmälts av Republiken Finland enligt artikel 95.4 i EG-fördraget beträffande högsta tillåtna kadmiumhalt i gödselmedel. Hämtad från: https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2006:129:0025:0030:SV:PDF Besökt 2023-09-25

[80] Jord- och skogsbruksministeriets (2011) Förordning (24/2011) Om gödselfabrikat. Hämtad från: http://www.finlex.fi/data/normit/37638-11024sv.pdf Besökt 2023-09-25

[81] Jord- och skogsbruksministeriets (2011) Förordning (24/2011) Om gödselfabrikat. Hämtad från: http://www.finlex.fi/data/normit/37638-11024sv.pdf Besökt 2023-09-25

[82] Finlex (2012) ord- och skogsbruksministeriet: Jord- och skogsbruksministeriets förordning om utövande och tillsyn av verksamhet gällande gödselfabrikat (1033/14/2022) Hämtad från: https://www.finlex.fi/sv/viranomaiset/normi/400001/39201 Besökt 2023-09-25

[83] Livsmedelsverket (2023) Godkännande av anläggning. Hämtad från: http://www.ruokavirasto.fi/sv/vaxter/godselfabrikat-och-verksamhet-inom-godselbranschen/verksamhet/godkannande-av-anlaggning/ Besökt 2023-09-25

utkastet över Livsmedelsverkets nationella förteckning över komponentmaterial i enlighet med den nya gödselmedellagen publicerades den 5.7.2023, men har ännu inte godkänts.[84]

Certifieringssystemet för gödselfabrikat i Finland heter Laatulannoite (LARA). Systemet är relativt nytt i Finland och i mars år 2020 godkändes de första produkterna enligt dessa certifieringsregler.[85] Detta certifieringssystem uppdateras för tillfället inom projektet Lara 2.0 för att motsvara kraven enligt den nya Lagen om Gödselmedel 711/2022.

Norge

Nuvarande situation i Norge är att den biokol som produceras från slam på reningsverk måste uppfylla samma krav som obehandlat slam. Bestämmelserna som rör tillförsel av slam på jordbruksmark finns i Lovdata.[86]

Slammet kan inte appliceras på mark där grönsaker, potatis, bär eller frukt produceras, under minst 3 år efter sista spridningen (Forskrift 2003-07-04-951 §25). Slammet är klassificerat i olika klasser (0, I, II och III). Användningsområdena för dessa olika klasser är:

- Klass 0: Jordbruksmark, privata trädgårdar, parker, grönområden. Användning begränsad till växternas näringsbehov.
- Klass I: jordbruksmark, privata trädgårdar och parker – upp till 40 ton TS/ha/10 års period
- Klass II: jordbruksmark, privata trädgårdar och parker – upp till 20 ton TS/ha/10 års period
- Klass III: endast på grönområden där mat inte produceras – i upp till 5 cm tjocklek under en 10-årsperiod

Slammet ska plöjas ner inom 18 timmar efter spridning. Spridning är inte tillåten på frusen jord (nominellt tillåten under perioden 15 februari till 1 november). Spridning av slam kräver att journal sparas i minst 10 år.

Det totala innehållet av plast, glas och metall större än 4 mm får inte utgöra mer än 0,5 viktsprocent av den totala torrvikten i gödseln.[87]

Det pågår flera studier i Norge som undersöker omvandlingen av avloppsvattenslam till biokol genom pyrolys, och också lobbyverksamhet för att möjliggöra ett större utbud av applikationer av slamframställt biokol, men för närvarande verkar det som om samma regler som för obehandlat slam gäller.

Avsättning, kvalitet och pris

Detta avsnitt tar upp slambiokolets användningsområden, vad som påverkar kvalitén hos slambiokol samt hur prisbilden ser ut. Träbiokol finns också med som jämförelse då marknaden har kommit längre inom det området.

[84] Livsmedelverket (2016) Föreskrift om utvidgning och ändring den nationella förteckningen över gödselfabrikats typbeteckningar. Hämtad från: https://www.ruokavirasto.fi/globalassets/yritykset/lannoiteala/tiedostot/evira_foreskrift_1_2016.pdf Besökt 2023-09-25
[85] Laatulannoite (2020) Tiedote: Ensimmäiset tuotteet saivat Laatulannoite-sertifikaatin. Hämtad från: https://laatulannoite.fi/julkaisut/ Besökt 2023-09-25
[86] Lovdata (2016) Forskrift om gjødselvarer mv. av organisk opphav. Hämtad från: https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2003-07-04-951 Besökt 2023-09-20.
[87] Lovdata (2016) Forskrift om gjødselvarer mv. av organisk opphav. Hämtad från: https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2003-07-04-951?q=organisk*%20gj%C3%B8dsel* Besökt: 2023-09-20.

Användningsområden

Slambiokol har delvis andra egenskaper än biokol från växtrester och trä. Framför allt har det mer näringsämnen, särskilt fosfor. Därför passar slambiokol bra till all användning till växter. I urbana miljöer kan slambiokol användas för att förbättra kvalitén på jorden och gräsets tillväxt vid anläggning av gräsmattor[88,89]. I blandning med komposterad tallbark kunde 20-60 % slambiokol (med en tredjedel parkavfall) ersätta vitmossetorv som substrat i växthusodling[90]. Utlakningen av kväve och fosfor minskade dessutom.

I jordbruket har effekterna av slambiokol främst undersökts i tropiska och subtropiska miljöer. Där har slambiokol generellt en större positiv effekt på skördenivåerna än annan, mer näringsfattig biokol [91]. Ibland kan dock hög salthalt eller pH i slambiokolen vara negativt, särskilt i alkalina jordar. Biokol kan ha en kalkningseffekt och öka katjonbyteskapaciteten i jorden.[92] Biokol fungerar bäst i sandiga, näringsfattiga och sura jordar. Där kan det öka både den vatten-och näringshållande förmågan och ha en pH-höjande effekt.[93]

Slambiokol kan stabilisera biogasprocessen vid rötning av kväverika substrat som till exempel hushållsavfall.[94] Den kan också användas vid kompostering och då kan komposteringsprocessen snabbas upp[95] och kväveförlusterna minska under själva komposteringen.[96]

Slambiokol kan också användas som filtermaterial för att rena avloppsvatten från läkemedelsrester, rena dagvatten och ta bort lukt.[97] Olika biokol har olika egenskaper och lämpar sig därför för olika tillämpningar. Till exempel är slambiokol bra för att ta bort färger och andra organiska föroreningar[98] samt fosfor, kadmium och vissa former av krom ur olika avloppsvatten. Egenskaperna påverkas både av förhållanden under pyrolysen[99] och av aktivering med till exempel ånga eller koldioxid[100]. Rening av läkemedelsrester i utgående vatten från reningsverk är en mycket aktuell fråga just nu.

---

[88] Tian, Y. F. et al. (2019). The Sewage Sludge Biochar at Low Pyrolysis Temperature Had Better Improvement in Urban Soil and Turf Grass. Agronomy-Basel, 9(3), Article 156. Hämtat från: https://doi.org/10.3390/agronomy9030156

[89] Yue, Y. et al. (2017). Efficiency of sewage sludge biochar in improving urban soil properties and promoting grass growth. Chemosphere, 173, 551-556. Hämtat från: https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.01.096

[90] Kaudal, B. B. et al. (2018). Urban biochar improves nitrogen and phosphorus availability in growing media. *Soil Research*, *56*(7), 675-684. Hämtat från: https://doi.org/10.1071/sr18022

[91] Paz-Ferreiro, J. et al. (2018). Biochar from Biosolids Pyrolysis: A Review. International Journal of Environmental Research and Public Health, 15(5), Article 956. Hämtat från: https://doi.org/10.3390/ijerph15050956

[92] Tisserant, A. & Cherubini, F. (2019). Potentials, Limitations, Co-Benefits, and Trade-Offs of Biochar Applications to Soils for Climate Change Mitigation. Land, 8(12), Article 179. Hämtat från: https://doi.org/10.3390/land8120179

[93] Joseph, S. et al. (2021). How biochar works, and when it doesn't: A review of mechanisms controlling soil and plant responses to biochar. Global Change Biology Bioenergy, 13(11), 1731-1764. Hämtad från: https://doi.org/10.1111/gcbb.12885

[94] Tiainen, S. et al. (2022). *SLUDGE DERIVED BIOCHAR IN BIOGAS PRODUCTION* Nordic Biogas conference 2022, Linköping. Poster direkt från författaren.

[95] Kaudal, B. B. & Weatherley, A. J. (2018). Agronomic effectiveness of urban biochar aged through co-composting with food waste. *Waste Management*, *77*, 87-97. Hämtat från: https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.04.042

[96] Malinska, K. et al. (2017). Biochar amendment for integrated composting and vermicomposting of sewage sludge - The effect of biochar on the activity of Eisenia fetida and the obtained vermicompost. *Bioresource Technology*, *225*, 206-214. Hämtat från: https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.11.049

[97] 2050 Fast Forward to a Greener Future (2021). Marknaden för biokol i Öresundsregionen (Nuvarande och framtida marknadsområden för NSR AB, Hämtat 2023-09-29 från 2050-Marknaden-for-biokol-i-Oresundsregionen.pdf

[98] Patel, S. et al. (2020). A critical literature review on biosolids to biochar: an alternative biosolids management option. Reviews in Environmental Science and Bio-Technology, 19(4), 807-841. Hämtat från: https://doi.org/10.1007/s11157-020-09553-x

[99] Jellali, S. et al. (2021). Sludge-derived biochars: A review on the influence of synthesis conditions on pollutants removal efficiency from wastewaters. Renewable & Sustainable Energy Reviews, 144, Article 111068. Hämtat från: https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111068

[100] Patel, S. et al. (2020). A critical literature review on biosolids to biochar: an alternative biosolids management option. Reviews in Environmental Science and Bio-Technology, 19(4), 807-841. Hämtat från: https://doi.org/10.1007/s11157-020-09553-x

Slambiokol har visat sig absorbera många olika sorters aktiva substanser i läkemedel och metoder för användning i reningsverk är ett hett forskningsämne på många håll i världen.[101]

Förorenade jordar kan bli mindre skadliga för organismer och den omgivande miljön om de blandas med biokol. På detta sätt kan man undvika tunga transporter och att man bara flyttar problemet till en deponi. Även här har olika biokol olika egenskaper som gör att de lämpar sig för olika tillämpningar. I odlingsförsök i Kina minskade upptaget av en del tungmetaller och arsenik i gurka, sallad och tomater, medan upptaget av kadmium i gurka ökade, troligen på grund av att slammet innehöll mycket kadmium.[102] Försök med förorenad jord vid en gruva visade större minskad löslighet av kadmium, bly och zink med slambiokol än med träbiokol.[103]

Slambiokol kan också användas i olika industriella processer. Ett exempel är att det kan ersätta fossilt kol vid cementtillverkning. En livscykelanalys visade att i jämförelse med användning i jordbruk gav detta en större negativ kolbalans.[104] Andra konstruktionsmaterial där tillsats av slambiokol testats är asfalt (vanligast), gips, tegel och frigolit. Slambiokol kan också fungera som pigment och tillsats till biokompositer.[105]

Kvalitet

Biokol är mycket stabilt och ökar markens halt av kol både på kort och lång sikt. Effekten ökar med ökande mängder tillförd biokol. Slambiokol skilde sig inte från andra biokol i hur det påverkade markens kolinnehåll.[106] Slambiokol och andra näringsrika kol kan å andra sidan påverka markens ursprungliga kol så att det bryts ned fortare men den effekten försvinner efter något år.[107] Den totala klimatpåverkan av biokol av slam är negativ på grund av att kol lagras långsiktigt i jorden. Koldioxidpåverkan på många system för förbränning av slam och återvinning av fosfor från askan ligger runt 1,2 CO_2 eq/kg P_2O_5 medan påverkan av biokol av slam (Pyreg) är -4,0 CO_2 eq/kg P_2O_5 .[108]

Slambiokol tillför näringsämnen, framför allt fosfor till jorden. Kvävet i slammet avgår till stor del under pyrolysen och kalium är mycket vattenlösligt och anrikas därför inte i slammet i någon högre grad. Lika viktigt som mängden näringsämnen som tillförs är ämnenas löslighet och därmed tillgänglighet för växterna. Vid pyrolysen reagerar näringsämnen och metaller och bildar svårlösliga föreningar. Detta är mer omfattande vid högre temperaturer. För Mn, Fe och Zn, som är viktiga

---

[101] Ihsanullah, I. et al. (2022). Removal of pharmaceuticals from water using sewage sludge-derived biochar: A review. Chemosphere, 289, Article 133196. Hämtat från: https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.133196

[102] Khan, S. et al. (2013). Reduced bioaccumulation of PAHs by Lactuca satuva L. grown in contaminated soil amended with sewage sludge and sewage sludge derived biochar. Environmental Pollution, 175, 64-68. Hämtat från: https://doi.org/10.1016/j.envpol.2012.12.014
Waqas, M. et al. (2014). The effects of sewage sludge and sewage sludge biochar on PAHs and potentially toxic element bioaccumulation in Cucumis sativa L. Chemosphere, 105, 53-61. Hämtat från: https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.11.064
Waqas, M. et al. (2015). Application of sewage sludge and sewage sludge biochar to reduce polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) and potentially toxic elements (PTE) accumulation in tomato. Environmental Science and Pollution Research, 22(16), 12114-12123. Hämtat från: https://doi.org/10.1007/s11356-015-4432-8

[103] Penido, E. S. et al. (2019). Combining biochar and sewage sludge for immobilization of heavy metals in mining soils. Ecotoxicology and Environmental Safety, 172, 326-333. Hämtat från: https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.01.110

[104] Barry, D. et al. (2019). Pyrolysis as an economical and ecological treatment option for municipal sewage sludge. Biomass & Bioenergy, 122, 472-480. Hämtat från: https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2019.01.041

[105] UKWIR. (2023). Converting Sewage Sludge to Biochar - A Review of Options & feasibility. Hämtat från: https://ukwir.org/converting-sewage-sludge-to-biochar-a-review-of-options-feasibility-0

[106] Chagas, J. K. M. et al. (2022). Biochar increases soil carbon pools: Evidence from a global meta-analysis. Journal of Environmental Management, 305, Article 114403. Hämtat från: https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.114403

[107] Tisserant, A. & Cherubini, F. (2019). Potentials, Limitations, Co-Benefits, and Trade-Offs of Biochar Applications to Soils for Climate Change Mitigation. Land, 8(12), Article 179. Hämtat från: https://doi.org/10.3390/land8120179

[108] Sewage Sludge as feedstock for pyrolysis to be included in the scope of the EU Fertilizing Products Regulation (Update of the EBI Position Paper elaborated in March 2020) Freiburg, January 2023 Hämtad 2023-09-29 från: EBI Position Paper: Sewage sludge as feedstock for pyrolysis to be included in the scope of the EU Fertilizing Products Regulation – The European Biochar Industry Consortium (biochar-industry.com)

mikronäringsämnen för växter, minskade lösligheten vid högre pyrolystemperaturer (från 300-700° C). Fosfor reagerar med både järn, magnesium och kalcium och bildar mycket stabila föreningar.[109] Detta minskar slambiokolets gödslingsvärde på kort sikt, men minskar också risken för fosforutlakning och borde därför möjliggöra gödsling med större mängder fosfor per tillfälle än vid slamspridning. Slambiokol kan dock ha olika effekt beroende både på dess sammansättning och vilken jord och gröda det används till. En sammanställning fann stora skillnader i tillgängligheten av P efter gödsling med slambiokol. Två slambiokol ökade inte tillgängligheten alls medan två andra ökade jordens tillgänglighet av P.[110] Slambiokolens fosfortillgänglighet kan ökas med finmalning och oxidering[111] samt höjning eller sänkning av pH genom blandning med andra restprodukter.[112] Tillsats av kalium före pyrolys gör att en del av fosforn binds till lättlösliga kaliumföreningar och ökar därför också växttillgängligheten.[113] Ett nytt Dansk/Svenskt projekt ska undersöka växttillgängligheten av fosfor i olika sorters slam och slambiokol i ett fyraårigt försök.[114]

Skördenivån påverkades övervägande positivt för gräs, tomater, majs, rädisa, sojaböna, ris, lusern, gurka och jordnöt med inga negativa effekter.[115] I norra Skandinavien använder man dock oftast kemisk fosforrening med ett överskott av järn eller aluminium vilket ger ett mycket järnrikt slam. Få studier har genomförts med biokol från denna typ av slam. Studier i Finland har visat att järnrikt slambiokol inte är lika poröst som träbaserat kol och därför inte har samma positiva verkan på vattenhållande förmåga, näringshållande förmåga och för att tillföra habitat för markmikrober.[116] Däremot hade slambiokolet en viss luftande effekt i lerjord, men måste då tillföras i mycket stor mängd, 10 volymprocent.[117]

Förutom att användas till frilandsodling kan slambiokol användas vid blandning av substrat för växthusodling.[118] Det vanligaste substratet i dag är torv som har hög klimatpåverkan eftersom det är fossilt och bryts ned till koldioxid. Särskilt kombinationen kompost och olika sorters biokol är mycket lovande.[119] Dock ska inte biokolet överdoseras. Tillsatser över 50 % ger ofta negativa effekter på

---

[109] Xiao, R. et al. (2018). Biochar produced from mineral salt-impregnated chicken manure: Fertility properties and potential for carbon sequestration. *Waste Management*, *78*, 802-810. Hämtat från: https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.06.047

[110] Glaser, B. & Lehr, V. I. (2019). Biochar effects on phosphorus availability in agricultural soils: A meta-analysis. Scientific Reports, 9, Article 9338. Hämtat från: https://doi.org/10.1038/s41598-019-45693-z

[111] Muller-Stover, D. et al. (2021). Increasing plant phosphorus availability in thermally treated sewage sludge by post-process oxidation and particle size management. *Waste Management*, *120*, 716-724. Hämtat från: https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.10.034

[112] Haarstad, K. & Bavor, J. (2017). Phosphorus recycling from wastes. *Journal of Environmental Protection*, *8*(8), 831-843. Hämtat från: https://doi.org/DOI: 10.4236/jep.2017.88052

[113] Buss, W. et al. (2020). Unlocking the Fertilizer Potential of Waste-Derived Biochar. *Acs Sustainable Chemistry & Engineering*, *8*(32), 12295-12303. Hämtat från: https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.0c04336

[114] Svenskt vatten (2023) Hämtat 2023-09-23 från: Fosfortillgänglighet i slam och slambiokol - Sweden Water Research

[115] Patel, S. et al. (2020). A critical literature review on biosolids to biochar: an alternative biosolids management option. Reviews in Environmental Science and Bio-Technology, 19(4), 807-841. Hämtat från: https://doi.org/10.1007/s11157-020-09553-x

[116] Keskinen, R. E. et al. (2021). Feasibility of Nitrogen-Enriched Chars as Circular Fertilizers. *Waste and Biomass Valorization*, *12*(12), 6823-6833. Hämtat från: https://doi.org/10.1007/s12649-021-01471-5

[117] Turunen, M. et al. (2021). Pore structure of wastewater sludge chars and their water retention impacts in different soils. *Biosystems Engineering*, *206*, 6-18. Hämtat från: https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2021.03.010

[118] Kaudal, B. B. et al. (2018). Urban biochar improves nitrogen and phosphorus availability in growing media. *Soil Research*, *56*(7), 675-684. Hämtat från: https://doi.org/10.1071/sr18022
Mendez, A. et al. (2017). The effect of sewage sludge biochar on peat-based growing media. *Biological Agriculture & Horticulture*, *33*(1), 40-51. Hämtat från: https://doi.org/10.1080/01448765.2016.1185645

[119] Huang, L. & Gu, M. M. (2019). Effects of Biochar on Container Substrate Properties and Growth of Plants-A Review. *Horticulturae*, *5*(1), Article 14. Hämtat från: https://doi.org/10.3390/horticulturae5010014

växterna.[120] Tillsats av växtbaserat biokol vid kompostering minskar kväveförlusterna[121], men det behöver göras fler studier med slambiokol för att veta om denna har samma effekt.

Vad gäller organiska föroreningar och sjukdomsframkallande organismer förbränns de allra flesta vid pyrolystemperaturer över 500 °C och längre pyrolystid än 3 minuter. En studie i Lund fann att halterna av dioxiner, PCB och PAH-er i slambiokol var lika låga som i biokol från parkavfall eller jordbruksrester trots höga halter i det ursprungliga slammet[122]. Tungmetallhalterna ökar i allmänhet vid pyrolysering eftersom vikten minskar, men metallerna blir kvar. Däremot minskar lösligheten av de flesta metaller så att deras giftighet minskar. Detta påverkas dock av pyrolysförhållandena så att långsam pyrolys[123] och högre pyrolystemperatur[124] minskar de flesta metallers löslighet.

Pris

Generellt så är kvävehalterna låga i aska och biokol, medan fosfor och kalium koncentrerats. Används biokolen som tillsatsämne i kompostering kan de effektivisera processen och minska kväveförlusterna. Beroende på råvarans sammansättning, pyrolystemperatur och pyrolyshastighet eller blandning med andra råvaror får biokolet olika egenskaper.[125] Biokolen är att betrakta som framför allt ett markförbättringsmedel, men slambiokol är också ett fosforgödselmedel. För att få bra skördar behöver den kompletteras med något kvävegödselmedel. Biokol kan också ersätta fossilt kol inom tex gruv- och stålindustrin.

Priset för slambiokol har vid diskussioner med teknikleverantörer och andra i branschen inom EU uppskattats till 0 – 150 €/ton, vilket främst baserar sig på fosforinnehållet och dess värde. Däremot om slammet pyrolyserats tillsammans med träråvaror och uppnår ett högre kolinnehåll samt bättre struktur på slutprodukten kunde ett högre pris väntas, troligen kring 300 €/ton.

För träbiokol finns en bättre uppfattning om priset och marknaden har kommit längre. SLU har gjort en förstudie där ett genomsnittligt pris i Sverige är 5000–10000 SEK/ton exkl. transport vilket ungefär motsvarar 1500–3000 SEK/m^3. Ett EBC-certifierat kol har ett något högre pris. Små förpackningar som säljs till privatpersoner har ett betydligt högre pris, 12000–40000 SEK/ton.[126] En annan rapport inom Öresundsregionen pekar på stora prisskillnader beroende på användningsområde. Biokol som jordförbättringsmedel, 3800–15000 SEK/ton, biokol inom lantbruket, 10000–12000 SEK/ton, biokol som filtermaterial, 10000–30000 SEK/ton samt biokol vid användning vid förorenade jordar, 150–180 SEK/ton förorenad jord.[127] Rapporten nämner också en del företag som använder träbiokol (Green, NCC Ballast, Hasselfors, Rölunda, Econova och Biokolprodukter) samt att Stockholm är den region i Sverige som använder mest biokol.

---

[120] Graber, E. R. (2021). Mysteries and musings at the biochar/plant/stress/growing media interface.*Acta Horticultura* ISHS 20 Proc. II Int. Symp. on Growing Media, Soilless Cultivation, and Compost Utilization in Hort. Hämtat 2023-09-29 från: Mysteries and musings at the biochar/plant/stress/ growing media interface (actahort.org)

[121] Guo, X. X. et al. (2020). The role of biochar in organic waste composting and soil improvement: A review. *Waste Management*, *102*, 884-899. Hämtat från: https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.12.003

[122] Paulsson, M. et al. (2020). Sammanfattande slutrapport för projektet Rest till Bäst (steg 2). Hämtat 2023-09-29 från: Sammanfattande slutrapport för projektet Rest till Bäst (steg 2) - Rest till Bäst (biokol.org)

[123] Barry, D. et al. (2019). Pyrolysis as an economical and ecological treatment option for municipal sewage sludge. *Biomass & Bioenergy*, *122*, 472-480. Hämtat från: https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2019.01.041

[124] Yuan, H. R. et al. (2015). Influence of pyrolysis temperature on physical and chemical properties of biochar made from sewage sludge. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, *112*, 284-289. Hämtat från: https://doi.org/10.1016/j.jaap.2015.01.010

[125] Seppänen et al. (2020) Gödsling med återvunnen gödsel – Planering, praxis och möjligheter i framtiden. Helsingfors: Luke.

[126] https://internt.slu.se/globalassets/mw/stod-serv/miljo/forstudie_biokolproduktion_vid_slu_2022.pdf

[127] Anonymous. (2021). Marknaden för biokol i Öresundsregionen (Nuvarande och framtida marknadsområden för NSR AB, 2050 Fast Forward to a Greener Future.

Summering

Enligt EU:s avfallshierarki placerar sig pyrolys av slam ett steg högre upp i materialåtervinning-hierakin eftersom kol, fosfor och andra ämnen återvinns jämfört med förbränning där slammet omvandlas till energi. Slambiokol innehåller stabilt kol och fungerar som kolsänka. För varje ton torrt slam (TS >80%) som pyrolyseras skapas en kolsänka på 300–500 kg CO_2-ekvivalenter. Denna CO_2-reducering kan efter tredjeparts verifiering säljas på någon marknadsplats t.ex. puro.earth där priset ligger mellan 100 och 200 €/ton CO_2-ekvivalent.

Tekniken

- Pyrolysanläggningar kräver mindre slammängder jämfört med mono-förbränning med efterföljande återvinningssteg för att återvinna fosforn.
- Det finns flera leverantörer av pyrolysutrustning, men väldigt få som är specialiserade på pyrolys av slam, endast tre stycken i Europa. Tekniken har TRL 9, vilket innebär att den är ett färdigt system som framgångsrikt används i verkliga förhållanden samt att det finns konkurrens med andra företag.
- Den vanligaste metoden för torkning av slammet efter avvattning är bandtork. Detta steg kräver mycket energi då TS ska höjas från ca. 25% till närmare 90%. Därmed krävs stödbränsle vid uppstart men när pyrolysprocessen är i gång hålls den självförsörjande på energi, samt eventuellt överskott kan tas ut som värmeenergi.

Regelverk

- Slambiokol finns med som råmaterial på EU:s positiva lista och kan därför bli certifierat inom EBC på nivån EBCbasic materials. Detta innebär att det får användas inom basindustri så som tillverkning av byggmaterial, asfalt, elektronik och kompositmaterial utan risk för miljö och användare. Det kan vara möjligt att användas nationellt där det är tillåtet, som i till exempel Tjeckien, Danmark och Estland.
- För att få säljas på den europeiska marknaden måste biokolet vara certifierat enligt EU2019/1009, dvs uppfylla gränsvärden på tungmetaller och andra ämnen.
- Sveriges, Finlands och Norges regelverk har generellt hårdare krav på innehåll av tungmetaller jämfört med EU.

Användning

- Slambiokol kan användas som cirkulärt gödselmedel eller ingå i krukjord inom jordbruk och trädgårdsodling. Detta innebär också kollagring i jorden. Cirka 95% av fosforn återvinns. Dock behöver man troligtvis behandla materialet antingen före eller efter pyrolys för att öka växttillgängligheten hos fosfor.
- Slambiokol kan användas som filtermaterial för vatten eller luft. Det är särskilt effektivt för att eliminera läkemedelsrester och PFAS.
- Slambiokol kan användas som en komponent i byggnadsmaterial som till exempel cement och asfalt.
- Beroende på kolets struktur och sammansättning finns även många andra applikationsområden som det forskas kring till exempel kompositmaterial, kol-skum och även för batteri-industrin.
- Pyrolys minskar halterna av organiska föroreningar kraftigt och minskar lösligheten hos tungmetaller.
- Danmark, Estland och Tjeckien har visat att användning inom jordbruket är möjlig.

boost nordic biogas



Interreg Co-funded by the European Union

Aurora

region västerbotten · Region Västernorrland · SINTEF NARVIK · STORMOSSEN · SLU · NOVIA · BioFuel Region · Skellefteå kommun

Nordland FYLKESKOMMUNE · VAKIN · HÄRNÖSAND ENERGI & MILJÖ · norrmejerier · Rå Report · Troms og Finnmark fylkeskommune Romssa ja Finnmárkku fylkkagielda Tromssan ja Finnmarkun fylkinkomuuni · REGIONAL COUNCIL OF LAPLAND

LUMIRE LULEÅ MILJÖRESURS · BODENS KOMMUN · ALVIKSGÅRDEN LANTBRUKS AB