



Biomassa till energi och biokol -en effektivare råvaruansvändning med multifunktion för ett klimatsmart jordbruk

Susanne Paulrud och Kent Davidsson, RISE
Cecilia Wahlberg Roslund, CEWARO

RISE Rapport :2023:45



Europeiska jordbruksfonden för
landsbygdsutveckling: Europa
investerar i landsbygdsområden

Biomassa till energi och biokol -en effektivare råvaruanvändning med multifunktion för ett klimatsmart jordbruk

Susanne Paulrud och Kent Davidsson, RISE
Cecilia Wahlberg Roslund, CEWARO

Abstract

Biomass to energy and biochar – a more efficient and multifunctional use of feedstock for climate-beneficial agriculture

The interest for biochar has increased because of its potential as carbon sink and soil improvement. Biochar is produced by pyrolysis, i.e. heating without oxygen. Pyrolysis techniques suitable in Swedish agriculture have been mapped. Over 30 biochar producers have been interviewed regarding their experiences. Measurements on five facilities during operation and their biochar have been performed. A literature survey has been carried out concerning the use of biochar for soil improvement, biogas and animal feed.

Key words: Biochar, pyrolysis, soil improvement

RISE Research Institutes of Sweden AB

RISE Rapport:2023:45

ISBN: 978-91-89757-93-6

Innehåll

Abstract.....	2
Innehåll.....	3
Förord.....	4
Sammanfattning	5
1 Inledning	6
1.1 Projektets syfte och mål.....	6
2 Produktion av värme, el och biokol	7
2.1 Förbränning.....	7
2.2 Pyrolys och biokol.....	7
2.3 Pyrolysteknik	9
2.4 Biokol och andra begrepp	11
2.5 Klimatkompenserande utsläppsrätter / Kolsänksrätter	12
2.5.1 Ersättningar via EU:s gemensamma jordbrukspolitik, CAP.....	12
3 Biokolteknik för lantbruk	13
3.1 Installerade och planerade biokolanläggningar i Sverige	15
3.1.1 Biomacn.....	16
3.1.2 Pyreg.....	23
3.1.3 Ombyggda värmepannor	24
3.1.4 Egenutvecklad övrig teknik	25
3.1.5 Teknik till mindre värmeverk och närvärme.....	26
3.1.6 Ombyggnation av befintliga värmeverk och fjärrvärmeanläggningar	28
3.1.7 Sammanfattande analys kring erfarenheter och behov	29
4 Mätning och provtagning i biokolanläggningar	30
5 Användning av biokol.....	33
5.1 Biokol till jordförbättring	34
5.1.1 Biokolets egenskaper.....	34
5.1.2 Exempel på biokoltillsats	35
5.2 Biokol i gödsel och biogasanläggningar.....	36
5.3 Biokol i djurfoder	38
6 Sammanfattande diskussion	39
7 Referenser	39
Intervjuade personer	41
Bilagor Analysrapporter på råvara.....	42

Förord

Projektet ”Biomassa till energi och biokol – en effektivare råvaruanvändning med multifunktion för ett klimatsmart jordbruk” har finansierats av Jordbruksverket genom Landsbygdsprogrammet.

Arbetet har genomförts i samarbete mellan RISE Research Institutes of Sweden och CEWARO AB.

Vi vill tacka deltagare och finansiärer som alla medverkat till projektets genomförande.

RISE Borås

Mars 2023

Sammanfattning

Intresset för att producera biokol har ökat de senaste åren p.g.a. dess klimatnytta och de jordförbättrande egenskaperna. Biokol produceras genom pyrolys; d.v.s. upphettning utan syretillgång, en process som kan öka värdet på många restprodukter. I den här studien har ingått att kartlägga vilken teknik och biokolprocesser som är i drift och planeras på svenska gårdar. Anläggningar för produktion av biokol varierar från renodlade pyrolysanläggningar till ombyggda värmeanläggningar som genom bl.a. styrning av luften ger biokol. Företrädare för identifierade anläggningar har intervjuats. Fem anläggningar har besökts och mätningar har genomförts för att undersöka biokolprocessen och biokolets kvalitet. En litteraturoversikt av biokolets nytta vid jordförbättring, biogasproduktion och djurfoder har gjorts.

Resultatet från kartläggningen visar att den teknik som dominerar på lantbruk är den tyska pyrolystekniken Biomacon som producerar värme och biokol. Det fanns i början av 2023 nio installerade Biomaconpannor i storleken 60 kW-400 kW. Ytterligare 10 pannor är beställda eller planerade. När det gäller större panncentraler och värmeanläggningar så har många valt att bygga om och justera styrning för att kunna producera biokol i sin befintliga värmepanna. Det finns också satsvis matad biokolteknik, som Earth systems, där fokus är att lokalt omvandla restströmmar till biokol, genom att fylla korgar med material och pyrolysera satsvis, istället för en kontinuerlig matning av råvara. Marknaden för biokolteknik är fortfarande under utveckling vilket har resulterat i olika inledande tekniska problem hos flera av de installerade anläggningarna samt problem som uppstått vid hantering av råvaran och dess kvalitet. Erfarenheter från flera anläggningar är att råvaran bör vara förtorkad och att fukthalten inte får vara över 20–30 % beroende på teknik. Erfarenheten är också att råvaran behöver ha jämn kvalitet och storlek för att ge en jämn kvalitet på biokolet. Karakteristiskt för en pyrolyspanna är behovet av ett jämnt värmeuttag. Av de lantbruksägda biokolanläggningarna så säljer majoriteten sitt biokol direkt till kund, eller via ombud som Biokol.se och Biokolprodukter Global. Även de planerade anläggningarna avser att i första hand sälja externt. En mindre del används dock för eget bruk. Den vanligaste kunden använder biokol till jordförbättring i städernas olika applikationer.

Mätning av emissioner och provtagning av biokol har genomförts i fem av de driftsatta anläggningarna: Pyreg P500, Biomacon C160-F, Biomacon C400-I och en anpassad VETO 220. Koncentrationer av NO_x, CO, CO₂ och O₂ samt stoft i rökgasemissioner från anläggningarna har mätts. Resultaten visar att det är viktigt hur de olika pannorna trimmas in och anpassas utifrån vilken råvara som används. I jämförelse med ekodesigndirektivet så finns risk för att överskrida gränsvärden för stoft och i synnerhet CO i några fall. Analyserna på biokol är jämförbara med tidigare studier som visar att olika bränsleråvaror ger olika egenskaper hos biokolet. Bioagropelletts består exempelvis av delar från stråväxter med högre halter av askbildande ämnen än trä vilket ger biokol med en kolhalt <70 % och högre askhalt än biokol från rena träråvaror som ger biokol med en kolhalt >90 %. I övrigt visade analysen att stabiliteten är hög att döma av de låga förhållandena mellan väte och kol samt syre och kol. Råvarornas betydelse för kolkvaliteten belyses ytterligare i kapitlet om användning av biokol och kolets egenskaper.

1 Inledning

Samhällsutvecklingen och omställningen från fossilbaserad till biobaserad ekonomi kräver en effektiv användning av biobaserade råvaror vilket kan göras genom att utvinna fler och mer värdefulla produkter ur samma råvara. En utveckling som nu pågår inom det svenska lantbruket är en utbyggnad av kapaciteten för syrefri uppvärmning (pyrolys) av biomassa för utvinning av värme, el och biokol. Flera företag investerar nu i ny pyrolysteknik, t.ex. i anläggningar från tyska Pyreg och Biomacon. Ytterligare fabrikat används och även befintliga förbränningsanläggningar konverteras till denna typ av produktion.

Råvaran som används vid biokolsframställning är biomassa såsom restprodukter från lantbruket, skogsindustrin, trädgårdsrester, matavfall eller slam. Aktuella användningsområden för biokol idag är framförallt, som jordförbättrare, filtermaterial bl.a. för vatten, mark eller luftrening, som tillsats i djurfoder, biogasanläggningar och fyllnadsmaterial i betong. Det ökade intresset för biokol är också kopplat till dess klimatnyttor och möjligheter att skapa kolsänkor.

För att utveckla produktionskedjan med biokol och energi hos lantbruksföretagen krävs en effektiv användning av råvaran och det behövs kunskap hur biokolets egenskaper och kvalitet skiljer sig mellan olika produktionstekniker och biomassamaterial. Den största svenska marknaden för biokol idag är som jordförbättringsmedel i städer, där Stockholm stad har utvecklat ett prisbelönt och väl fungerande system för växtodling i kombination med rening av dagvatten [1]. För att biokolproduktion inom jordbruket ska öka i Sverige behöver fler användningsområden utvecklas. Beroende på användning kan dock kvalitetskraven på biokolet se olika ut.

I Sverige finns idag ett flertal biokolanläggningar i drift eller under uppbyggnad varav merparten är gårdsbaserade anläggningar. Tekniken som används för produktion av biokol varierar från teknik med syfte till att producera i huvudsak biokol till ombyggda värmeanläggningar som genom bl.a. styrning av luften ger biokol. Den teknik som dominerar de specialbyggda anläggningarna är den tyska tekniken Biomacon.

1.1 Projektets syfte och mål

Projektet syftar till att bidra till ett mer effektivt nyttjande av lantbrukets råvaror och restprodukter.

Projektets mål är att öka kunskapen om tillgänglig teknik för effektiv produktion av energi och biokol på gårdsnivå samt att öka kunskapen om biokol och dess kvalitet kopplat till dess funktion i jordbruket, t.ex. inom växtodling, mark- och vattenrening samt biogasproduktion. Projektets delmål är att:

- Kartlägga vilken teknik och biokolprocesser som är i drift och planeras på svenska gårdar
- Karaktärisera biokolprocessen genom att undersöka effektivitet, utfall energi och biokol i fem biokolanläggningar med olika teknik, funktion och storlek, som är i drift

- Karaktärisera biokolet från fem olika typer av biokolanläggningar som är i drift
- Undersöka erfarenheter kring användning av biokol, kopplat till dess kvalitet och med focus på biokolets nytta som tillsats vid biogasproduktion
- Kommunifiera resultaten till lantbrukare, kommuner, och branschorganisationer för att nå relevanta intressenter

2 Produktion av värme, el och biokol

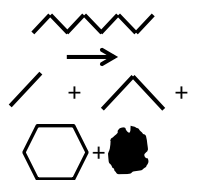
2.1 Förbränning

Det vanliga sättet att använda biobränslen är att förbränna dem under utveckling av värme som sedan kan användas för exempelvis uppvärmning eller torkning. Härvid omvandlas idealt bränslets kol- och väteatomer fullständigt till koldioxid och vatten, och kvar blir andra ämnen som finns i bränslet i form av aska. Förbränningen kan delas upp i två delprocesser: flamförbränning och glödförbränning. Under flamförbränningen brinner gaser, som bildas genom att bränslets temperatur når ca 350 °C eller mer, när de möter luftens syre. När gaserna tar slut börjar glödförbränningen genom att luftens syre når fram till det då förkolnade bränslet. Ett alternativ till att fullständigt förbränna bränslet är att bränna gaserna och utvinna de förkolnade bränslebitarna, som kallas biokol (om bränslet är biomassa). Det görs genom pyrolys.

2.2 Pyrolys och biokol

Pyrolys innebär upphettning utan tillförsel av syre. Råvaran, som vid förbränning skulle kallas bränsle, avger då brännbara gaser vilket beror på att stora molekyler som cellulosa och lignin, på grund av den höga temperaturen, sönderdelas i mindre och flyktiga molekyler såsom tjära, kolmonoxid, väte och lätta kolväten. Denna process avtar så småningom och den förkolnade råvaran återstår. Som antyds av orden "förkolnad" och "biokol" så har denna återstod hög halt av grundämnet kol och låga halter av syre och väte jämfört med råvaran. Ämnena som vid förbränning skulle bli aska återfinns till största delen i biokolet.

Pyrolys eller torrdestillation är en gammal metod som genom historien möjliggjort tex järnframställning genom att kol tillverkades i kolmilor för att levereras till järnbruken och ytbehandling av trä genom att tjärdalar framställde tjära som också varit en stor exportvara för Sverige [2]. Under andra världskriget användes en mer industrialiserad form av pyrolys genom de ugnar som framställde både träkol, tjära, träspit och ättika.

	Pyrolys	Förbränning
Process och produkter	Upphettnings utan syre eller annat oxidationsmedel gas, tjära, biokol	Oxidation med syre: flammförbränning och glödförbränning CO ₂ , vatten, värme
Kemiska reaktioner		

Figur 1. Processen för förbränning och pyrolys.

Biokolets egenskaper beror på råvaran och hur pyrolysen gått till. Råvaran innehåller tre huvudbeståndsdelar av intresse här: vatten, brännbar fraktion och askbildande ämnen. Vattnet har oftast inte någon avgörande betydelse för biokolets egenskaper. Däremot måste det förångas innan temperaturen höjs vilket kan vara kostsamt. Normalfuktiga biobränslen har oftast ett energiinnehåll tillräckligt för att både torka och pyrolysera bränslet men vissa blöta råvaror, exempelvis slam, kräver speciella torkåtgärder. Den brännbara fraktionen består i de flesta biomaterial av cellulosa, hemicellulosa och lignin i olika proportioner, som visserligen påverkar biokolets egenskaper men i begränsad omfattning. Askbildande ämnen däremot har stor betydelse för biokolets egenskaper. Dels kan aska förekomma i väldigt olika halt i råvaran – från ca 0,5 vikt-% i stamved till 40 % i vissa slamtyper – och dels kan askans sammansättning variera stort. Om ca 50 % av den brännbara fraktionen och allt vatten avgår vid pyrolysen så kommer biokol av stamved innehålla någon procent askbildande ämnen medan biokol av vissa slamsorter kommer ha uppemot 70 %. Det ger biokol med mycket olika fysiska, kemiska och biologiska egenskaper. En annan viktig egenskap hos råvaran är vilken storlek och form den har. Det påverkar upphettningen och hur lång tid denna tar vilket i sin tur påverkar hur mycket biokol det blir.

Pyrolysen definieras av pyrolystemperaturen och uppehållstiden. Pyrolystemperaturen är den högsta temperatur som bränslet erhåller under pyrolysen, och den påverkar biokolutbytet samt biokolets sammansättning och struktur. Förutsatt att pyrolysen fortgår till dess gasbildningen upphör så är utbytet, räknat på den brännbara fraktionen, dubbelt så stort vid 350 °C som vid 600 °C. Över 600 °C påverkas biokolutbytet i mindre utsträckning. Ju högre temperatur desto mer syre och väte avgår i relation till kol. Det innebär att kvoten H/C och O/C i biokolet minskar med ökande pyrolystemperatur. Det brukar fungera som ett mått på dess kemiska och termiska stabilitet. Minskningen av väte och syre ändrar också de kemiska egenskaperna hos biokolet. Exempelvis minskar generellt katjonbyteskapaciteten medan pH ökar. Vissa askbildande ämnen kan påverkas om temperaturen går över 750 °C. Då kan föreningar av kalium och kadmium förångas och alltså avgå från biokolet. Biokolets struktur är dess kanske viktigaste egenskap. Gasbildningen under pyrolysen innebär att fast material överförs till gasfas, vilket innebär att porositeten ökar. Det ger en stor specifik yta som består av porer från nanometer till tiotals mikrometer i diameter. Vanligtvis ligger den specifika ytan mellan 50 och 400 m²/g.

Uppehållstiden är, förenklat, den tid som bränslet befinner sig vid pyrolystemperaturen. Om den tiden är så lång att pyrolysen blir fullständig – d.v.s. gasbildningen upphör – så kan den sägas vara 100 %. Vid temperaturer över 600 °C motsvaras detta i praktiken – d.v.s. om vi betraktar råvarubitar i maximal flisstorlek – av tider på mindre än en minut. Mellan 350 och 600 °C rör det sig tider från någon minut upp till något tiotal minuter. Under 350 °C rör det sig om timmar och uppåt. Detta innebär att det i praktiken endast är vid de lägre pyrolystemperaturerna som uppehållstiden kan bli mindre än 100 %. Ett exempel på en sådan process är torrefiering där exempelvis träpellets behandlas med 300 °C i 15 min. Detta motsvarar uppskattningsvis en uppehållstid på bara någon procent av fullständig pyrolys och det är så kort att produkten knappast är att betrakta som biokol. En kortare uppehållstid än 100 %, säg 25-75 %, innebär dock att de ovan beskrivna processerna under pyrolysen avbryts. Ett sådant biokol bör alltså ha mindre specifik yta, lägre kemisk stabilitet, högre katjonbyteskapacitet och mindre värmevärde än om det hade haft en uppehållstid på 100 %, och det innebär andra kemiska och biologiska egenskaper.

Man kan skilja på olika typer av pyrolys efter pyrolystemperatur och uppehållstid. Tabell 1 sammanfattar de olika typerna av pyrolys. Pyrolys av biomassa kan alltså användas även för framställning av brännbar bioolja, som kondenseras ur gasen, och gas men då används ofta högre temperatur, mindre bränslebitar och andra typer av reaktorer såsom suspensions- eller fluidbäddreaktorer för att öka värmeöverföringen. För biokolproduktion används reaktorer och ugnar där uppehållstiden är betydligt längre.

Tabell 1. Karaktärisering av olika typer av pyrolys [3].

	Långsam pyrolys	Snabb pyrolys	Blixtpyrolys
Pyrolystemperatur (°C)	300-800	400-600	400-1100
Uppvärmningshastighet (°C/minut)	5-7	300-800	~1000
Uppehållstid	>1h	0,5-10 s	<2 s
Huvudprodukt	biokol	bioolja	gas
Biokolutbyte (vikt-%)	35-50	15-35	10-20

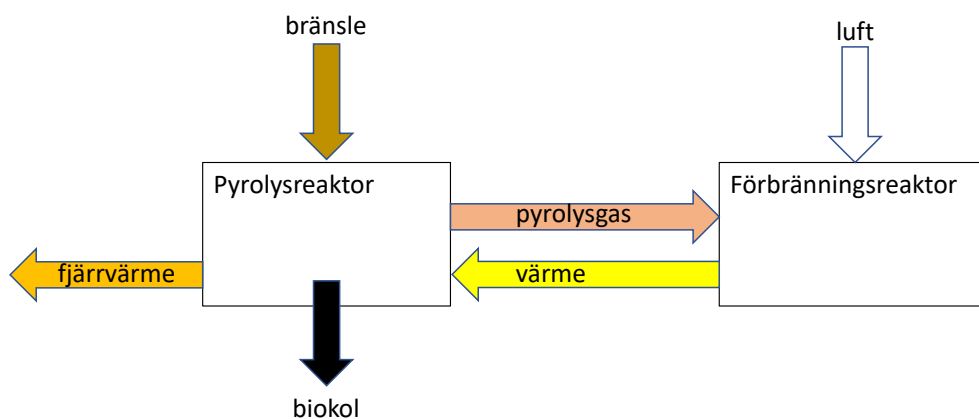
2.3 Pyrolysteknik

Medan en förbränningsanläggning skall tillföra luft i lagom mängd för att få en bra och fullständig förbränning av råvaran måste en pyrolysanläggning hindra luftens tillträde men ändå värma råvaran. Värme kan naturligtvis tas från en källa vilken som helst om temperaturen är tillräcklig, men i detta sammanhang förutsätts av klimat- och kostnadsskäl att bränslet skall försörja processen med värme. Härvid utesluts eluppvärmning och eldning med fossil olja eller avancerad bioolja. Bortsett från själva uppstarten så skall alltså pyrolysgaserna förbrännas och värmen därifrån driva torkning och pyrolys. För att starta processen krävs extern startenergi; till exempel el, biomassa, eller gas.

Processen kan beskrivas av följande steg:

1. Påfyllning av bränsle i en behållare.
2. Matning av bränsle från behållaren till en pyrolysreaktor.
3. Transport av bränslet genom pyrolysreaktorn under bildandet av pyrolysgaser och biokol.
4. Avskiljning av biokol från pyrolysgaser.
5. Förbränning av pyrolysgaser.
6. Värming av pyrolysreaktor med rökgaser.
7. Värmeväxling mellan rökgaser och värmenät.
8. Kylning, hantering och förvaring av biokol.

Figur 2 visar principen schematiskt.



Figur 2. Principskiss över hur en pyrolysanläggning fungerar.

Genom att komplettera anläggningen med t.ex. förbränningsmotor eller en ångturbin med generator kan även elektricitet produceras. Om man använder en förbränningsmotor så förbränns pyrolysgaserna direkt i denna och överskottsvärmen, som det då blir lite mindre av, används på samma sätt som i Figur 2. Om man använder en ångturbin så tas en del av värmen i Figur 2 för att förångna vatten eller annat medium, som genom den volymökning som sker vid förångningen, driver en turbin. Ett alternativ till vattenånga är ånga av ett passande organiskt ämne såsom i ORC (Organic Rankine Cycle). En lösning för detta finns hos ETC i Katrineholm som investerat i teknik från Againty [4, 5].

Jämfört med att fullständig förbränning är pyrolys en process som kräver en vanligtvis dyrare anläggning och förmodligen fler arbetade timmar för att hålla anläggningen i drift och för att hantera biokolet. För att få ihop den ekonomiska kalkylen måste alltså intäkterna vara högre. Avsättning för överskottsvärmen, exempelvis till att värma lokaler, fjärr- eller närvärmenät samt försäljning av biokolet, bidrar naturligtvis till lönsamheten. En anläggning som också kan producera elektricitet kan bli dyrare både avseende investering och drift. Det kan dock inte uteslutas att höga elpriser kan göra en flexibel anläggning, med både biokol, värme- och elproduktion, lönsam, vilket också pågående teknikutveckling kan bidra till.

2.4 Biokol och andra begrepp

Om man betraktar upphettning av biomassa till en temperatur sådan att dess organiska delar förkolnar finner man att det inte är en särskilt ny process. Äldre namn på denna process är torrdestillation och avgasning men idag kallas det pyrolys. Det finns en del termer som beskriver den förkolnade produkten och besläktade material och företeelser.

Arkeologiska fynd av förkolnad biomassa, visar att metoden använts i någon form av både vikingar och jordbrukare genom årtusenden. Bergsbrukets månghundraåriga historia i Sverige visar på ett sedan länge existerande behov av ett reduktionsmedel för att göra järn av järnoxid. Den främsta råvaran var trä som i kolmilan omvandlades till träkol. Det engelska ordet för träkol, charcoal, är mer generellt eftersom det inte förutsätter trä som råvara, men på svenska finns inte något traditionellt ord för andra förkolnade råvaror än trä. Av det skälet kan det relativt nya begreppet "biokol" framstå som behövligt. Det talar om att det är "bio", d.v.s. icke-fossilt, och "kol" får här tolkas som ett förkolnat material. "Kol" är annars en term som används i flera betydelser vilket kan skapa förvirring. Ett exempel är det fossila bränslet, såsom brun- och stenkol. Det kan också pyrolyseras varvid erhålls koks som alltså är den fossila motsvarigheten till biokol. Vidare finns grundämnet kol som förekommer rikligt i fossilt kol och biomassa och med ännu högre halter i koks och biokol.

Det är inte helt lätt att entydigt definiera biokol eftersom övergången mellan obehandlad biomassa och biokol är flytande. Ovan nämnda torrefiering är ett exempel på en process som ger en produkt som man kanske inte vill skall kallas biokol eftersom förkolningen inte gått tillräckligt långt. De egenskaper som man rimligen vill att biokol skall ha omfattar åtminstone en kraftig förkolning och hög porositet. Kravet på förkolning innebär att kolhalten är hög och omvänt att kvoterna syre/kol och väte/kol i materialet är låga. Vidare innebär det att biokolet inte skulle brinna med flamma om man förbrände det. Kravet på porositet innebär att biokolet har hög specifik yta. I praktiken torde dessa krav innebära att biomassan måste hettas upp syrefritt till 350 °C i åtminstone några minuter beroende på storlek.

Ett försök till definition av biokol har gjorts av European Biochar Certificate (EBC) [6]. Den lyder:

Biochar is a porous, carbonaceous material that is produced by pyrolysis of biomass and is applied in such a way that the contained carbon remains stored as a long-term C sink or replaces fossil carbon in industrial manufacturing. It is not made to be burnt for energy generation.

Noteras bör att EBC:s definition inte bara definierar själva materialet utan även tillverkningsmetoden, d.v.s. pyrolys, och användningen, d.v.s. kolsänka. Det innebär, som de själva påpekar, att torrefiering och hydrotermisk förkolning är uteslutna. De påpekar vidare att förgasning kan användas för biokolproduktion vilket kan ifrågasättas eftersom förgasning oftast innebär att man gör brännbar gas av biokolet, men det går att driva förgasningsprocessen partiellt så man får ett biokolutbyte. Förbränning nämns inte alls men om man avbryter förbränningen efter att flammorna avtagit så har man ett material som mycket påminner om biokol. Vidare utesluter definitionen användningar som innebär att kolatomerna återförs till atmosfären som t.ex. koldioxid inom en inte alltför avlägsen framtid. Det innebär att av två identiska material kan enligt definitionen

ett vara biokol medan det andra inte är det. I EBC:s certifiering av biokol fanns tidigare ett krav på en minsta kolhalt på 50 % i biokol. Det har man nu gått ifrån eftersom även biokol med lägre kolhalter kan vara till nytta ur klimatperspektiv och för att sluta kretslopp av näringsämnen [6].

2.5 Klimatkompenserande utsläppsrätter / Kolsänksrätter

Kolinlagring har blivit en allt viktigare fråga för lantbruksnäringen som åtgärd mot ökad CO₂-halt i atmosfären men även som affärsmöjlighet via handel med klimatkompenserande utsläppsrätter eller s.k. kolsänksrätter.

Företag kan köpa utsläppsrätter för att kunna klassa sig som klimatneutrala. Metoder för att bli klimatneutral handlar om ”Removal” och ”Avoidance”, d.v.s. fånga in eller undvika utsläpp av CO₂ i atmosfären. Produktion och användning av stabilt biokol via långtidslagring i tex jord eller byggnadsmaterial är ett sätt att minska CO₂-halten i atmosfären. Exempel på företag som arbetar med denna handel och dess utveckling:

- Puro earth (www.puro.earth)
- C-sink via EBC (www.european-biochar.org/en/c-sink)
- Carbonfuture (carbonfuture.earth)
- Svensk Kolinlagring (www.svenskkolinlagring.se)

Exempel på svenska biokolaktörer som säljer kolsänksrätter är Biokol.se, Bussme och Ecoera via Puro earth, medan Biokolprodukter Global säljer via Carbonfuture. Carbonfuture förklarar hur det fungerar på sin webbsida [7].

För att skapa en trovärdig marknad för kolsänksrätter med biokol krävs det att man kan räkna på hur stor klimatnyttan blir. Användningen av biokol bidrar till många miljönyttor och dessa är ofta svåra att sätta siffror på. Hushållningssällskapet Sjuhärad har tagit fram en modell som kartlägger och analyserar ett stort antal effekter när biokol tillämpas på olika sätt i lantbruket [8].

2.5.1 Ersättningar via EU:s gemensamma jordbrukspolitik, CAP

Kolinlagring i jordbruksmark påverkas av en rad faktorer som markens historiska användning, jordtyp, val av gröda, tillgänglig växtnäring och organiskt material (bl.a. skörderester), nedbrytningshastighet och lokalt klimat. Förändringstakten avseende kolhalt i mark är mycket långsam vilket försvårar vissa mätningar.

Enligt Jordbruksverket beslutades Sveriges aktuella villkor för CAP under hösten 2022 och dessa gäller till 2028. Det finns inga stöd till biokol under denna programperiod utan andra åtgärder för kolinbindning prioriteras, som mellangröda, fånggröda och vårbearbetning med fokus på södra Sverige. För att kunna premiera kolinlagring genom tillsats av biokol i odlingsjorden uttrycker myndigheter och forskare önskemål om fler forskningsresultat, metoder för att mäta/säkerställa nyttan och för att följa upp eventuella insatser. Ett resonemang om detta har förts i den utrednings som

presenterades hösten 2022, *Förslag för ökade kolsänkor i skogs- och jordbrukssektorn* ” [9].

3 Biokolteknik för lantbruk

Tabell 2 utgör en sammanställning av biokolteknik som finns på marknaden och som kan vara tillämpbar för svenska lantbruk och värmeverksanläggningar. Tabell 2 innehåller även teknik som är mer anpassad för industriell skala samt teknik som är egenutvecklad. Därutöver finns även vanlig värmeteknik som byggts för biokolproduktion som till exempel finska VETO.

Tabell 2. Sammanställning över pyrolysteknik lämplig för produktion av biokol på lantbruk/landsbygd (mars 2023).

Tillverkare	Nationalitet	Hemsida	Modell	Egenskaper Kontinuerlig / Satsvis	Installerade anläggningar i Sverige	Kommentar
Air burners	USA	www.airburners.com	PGFireBox, FireBox, Roll-Off FireBox			För tillverkning i skogen/på fält, körs på diesel och värmen utnyttjas inte.
Airex	Kanada	www.airex-energy.com/en/home				Industriell anläggning- värmen används för torkning av råvara. Ev för stor för lantbruk.
All power labs	USA	www.allpowerlabs.com	CharTainer, 500 kW, råvara in 250kg/h, kol ut 40 kt/h	K		Under utveckling, kommersialiseras 2023-24
ARTI	USA	www.arti.com	Moduler 2-10 ton biokol/dag	K		Skalbar teknik i container. Stor etablerad internat org med kontor i Tyskland (Europas).
Beston Group	Kina	www.bestongroup.com/wood-charcoal-making-machine/	Fr 12m3/batch eller 0.3-0.5m³/h	S & K		Har lev flera anläggningar till olika länder, bla Finland.
Biogreen	Frankrike	www.biogreen-energy.com	BGR300L6, BGR450L6, BGR600L6, BGR750L8	K	Envigas, NSR, Nordvästra Skånes Renhållnings AB	Teknik för större industriell anläggningar
Bioacon GmbH	Tyskland	www.bioacon.com	C43-F, C60-F, C100-F, C160-F, C250-I, C400-I	K	Lindebors, Hjelmsäter, ETC, VegTech, Hasta Gård, Nuntorp, Kiplingeberg, Essunga plantskola, Krageholm	Svensk återförljare med tysk teknik som byggs i Sverige : www.biokol.se/biokolpannor
Carbofex	Finland	www.carbofex.fi				Demo anläggning sedan 2017.
CarbonZero	Schweiz	www.carbonzero.com	CarbonZero Biochar Reactor 500 kg träflis/h, 165 kg kol/h	K		Industri och hobby versioner. Pilotanläggning i New York. Samarb m Seneca Farms Biochar LLC
Earth systems	Australien	www.esenergy.com.au	Charmaker MPP & CPP	S & K	Telge Återvinning, Skanska	Batch anl finns i Sverige. Har även kontinuerlig. 200 kg/h till 2 ton/h bränsle.
Energy Farmers	Australien	www.energyfarmers.com.au		K		Stor anläggning 1 MW värme. Designar anläggningar utifrån kundbehov.
Mash Makes Carbon removal	Danmark-Indien	www.mashmakes.com/carbon-removal	Upp till 3000 tons jordbruksrester/år.			En anläggning finns i Indien
New England Biochar	USA	www.newenglandbiochar.com/				Konsulter, utbildar, konstruerar och bygger kundanpassade anläggningar. Säljer mobil Adam-retort.
Pressvess	Storbritannien	www.pressvess.co.uk/products/charcoal-retorts/	RTS1000-1.5 m3, RTS1600-3.82 m3, RTD1000-3 m3, RTD1600-7.64 m3	S	Ugn finns hos Kollektivet i Tornedalen som ev lagt ned sin verksamhet (Aktiebolaget Kollektivet)	
Pyreg	Tyskland	www.pyreg.com	P500, P1500 Biomass, P500, P1500 Sludge	K	Stockholm Exergi, Skånefrö	Finns flera referensanläggningar
Pyrocal	Australien	www.pyrocal.com.au	CCT 12 (fr 250 kg biomassa/h 830 kW), CCT18, dual CCT 18	K		Forskningsanläggning
Rainbow bee eater	Australien	www.rainbowbeeeater.com.au	ECHO2			Innovation Pilotstadie
Regenis	Tyskland	www.regenis.de		K		Har en anläggning i Quakenbrück norra Tyskland. Haft projekt i Brasilien. Prospekt utan siffror. Även teknik för separation o torkning.
SPSC GmbH	Tyskland	www.sp-sc.de	Biochar-Retort Vario S, L, XL	S / S / K		Retortugn, även mobil. Kontinuerlig industriell men ännu ej kommersialiserad
Syncraft	Österrike	www.syncraft.at	CW700-200+, CW1200-400, CW1800-500, CW1800x2-1000	K		Större anläggningar. Elproduktion >220kW, värme >806 kW, kol >2 m3/d. Har flera installerade anläggningar.
Tigercat	Kanada	www.tigercat.com	6050 carbonator	K/S		Container att ställa i skogen och reducera biomassamängden. Svensk ÅF https://tigercatab.se
Tongli machinery	Kina	www.cncharcoalmachine.com	Charcoal machine. 300t, 1000t, 1500t, 3000t Charcoal production line			Kinesisk teknik i olika skalor, både ugn och kontinuerlig.
Vgrid	USA	www.vgridenergy.com	Vgrid M100 bioserver, 2 ton biomassa/dag, 100 kWh el			För gasningsteknik för produktion av biokol och el. https://ucanr.edu/sites/swet/files/324014.pdf
Egenutvecklade/Ombyggda anläggningar som producerar biokol						
Ala Talkkari via LT Energiteknik	Finland	www.energi-teknik.net	Veto		Frä Kentorp, Ödevata www.frakentorp.se	
Egenutvecklad australiensisk teknik	Sverige	www.spetsamalgard.se/grillkol-biokol			Spetsamåla Gård	
Egenutvecklad retorter	Sverige	www.vindelkol.se/biokol	3 st ugnar		Vindelkol	

Värmeverk /Fjärrvärmeanläggningar med produktion av biokol:

Borgans Bioenergi AB Biokolpanna i Melleruds fjärrvärmenät
 Bussme Energy Svedala fjärrvärme och Munka-Ljungby biovärme
 E.ON Energiinfrastruktur AB Biokolsproduktion i Malmö
 E.ON Pellets panna i Bålsta
 Getinge Biovärme AB Halmstad
 Kävlinge Fjärrvärme (Bussme) Löddeköpinge
 Kävlinge Fjärrvärme (Bussme) Kävlinge
 Nevel AB Kramfors
 Renova Miljö AB Tagene Göteborg
 Solör Bioenergi f.d. Lantmännens pannor i Motala och Skurup
 Vafab Miljö Kommunalförbund Produktionsanläggning för biokol Gryta avfallsanläggning

3.1 Installerade och planerade biokolanläggningar i Sverige

Antalet installerade biokolanläggningar har ökat i Sverige de senaste åren. Den teknik som dominerar på lantbruk är den tyska pyrolystekniken Biomacon som producerar värme och biokol. Det fanns i början av 2023 nio installerade Biomaconpannor i storleken 60 kW-400 kW. Ytterligare 10 pannor är beställda eller planerade. När det gäller större panncentraler och värmeanläggningar så har många valt att bygga om och justera styrning för att kunna producera biokol i sin befintliga värmepanna. Det finns också s.k. "batch"eldad biokolteknik som Earth systems där fokus är att lokalt omvandla restströmmar som grenar, ris och stubbresten till biokol, genom att fylla korgar med material och pyrolysera satsvis, istället för en kontinuerlig matning av råvara. Naturvårdsverkets stöd Klimatklivet är och har varit till stor hjälp för att möjliggöra investeringar i ny pyrolysteknik (Tabell 3). Majoriteten av beviljade stöd har hittills använts. I några enskilda fall har ansökan tagits tillbaka då förutsättningarna för en investering ändrats under processens gång.

Tabell 3. Beviljade stöd till biokolteknik från Klimatklivet.

Organisation	Rubrik	Län	Kommun	Beslutsdatum	Beviljat stödbelopp (kr)	Stödandel i procent	Naturvårdsverkets diarienummer
Hjelsäters Egendom	Klimatpositiv värme och biokol på Hjelsäter	Västra Götalands län	Götene	2016-12-06	1 808 625	40%	KKL-00962-2016
Skånefrö Förvaltnings AB	Klimatpositiv fjärrvärme med biokolproduktion	Skåne län	Simrishamn	2017-06-20	17 183 400	65%	KKL-01499-2016
Henrik Falck	Biokolsproduktion	Västra Götalands län	Götene	2018-03-27	763 200	54%	KKL-02547-2017
Fräkenstads gård, Tomas von Heideken	Biokolsanläggning Bjursätters ladugård	Södermanlands län	Flen	2018-03-28	507 000	45%	KKL-02915-2017
Nordvästra Skånes Renhållnings AB	Anläggning för produktion av biokol	Skåne län	Helsingborg	2018-12-07	12 500 000	50%	KKL-05603-2018
Telge Återvinning	Från Avfall till Biokol	Stockholms län	Södertälje	2019-11-06	4 494 821	34%	KKL-06151-2019
Skanska Industrial Solutions AB	Biokolspanna	Västerbottens län	Skellefteå	2021-02-03	3 879 000	45%	KKL-07523-2020
Renova Miljö AB	Biokol av ris från trädgårdsavfall	Västra Götalands län	Göteborg	2021-04-08	18 000 000	40%	KKL-07539-2020
Karlskrona kommun	Biokolsproduktion av alger	Blekinge län	Karlskrona	2021-09-06	800 000	50%	KKL-08399-2021
Svedala Fjärrvärme AB	Fjärrvärmeutbyggnad och biokol i Svedala	Skåne län	Svedala	2021-09-23	7 803 520	46%	KKL-08598-2021
Getinge Biovärme AB	Fjärrvärme och biokol i Getinge	Hallands län	Halmstad	2021-10-21	7 800 000	37%	KKL-08486-2021
Henrik Jönsson	Biokol panna till Gårdens uppvärmning	Västra Götalands län	Töreboda	2022-02-10	5 295 000	60%	KKL-09206-2021
Skäggebo's gård	Klimatpositiv värme och biokolsproduktion	Värmlands län	Säffle	2022-03-17	3 341 000	65%	KKL-09429-2021
Lucrum tech AB	Biokolanläggning i Ulricehamn	Västra Götalands län	Ulricehamn	2022-03-31	10 620 000	60%	KKL-08827-2021
EM biovärme AB	Biokol anläggning i Herrljunga	Västra Götalands län	Herrljunga	2022-04-05	6 006 240	60%	KKL-08950-2021
Håkan o Paul enskild firma	Värmecentral och biokolsproduktion på Klevs Gård	Västra Götalands län	Sotenäs	2022-05-12	9 620 000	65%	KKL-09833-2022
Mats Areskoug	Biokolproduktion till växtodlingen	Skåne län	Ystad	2022-06-28	2 835 000	60%	KKL-09660-2022
Kävlinge Fjärrvärme AB	Fjärrvärme och biokol i Kävlinge	Skåne län	Kävlinge	2022-07-14	9 180 000	36%	KKL-09701-2022
Sahlsta Gård (Enskild näringsverksamhet Elisabeth Rudbeck)	Biokolproduktion till Salsta Gård	Södermanlands län	Arboga	2022-09-01	3 918 000	60%	KKL-10259-2022
Spetsmåla Gård HB	Småskalig industri för framställning av biokol	Blekinge län	Karlskrona	2022-09-06	1 001 400	60%	KKL-10274-2022
VafabMiljö Kommunalförbund	Produktionsanläggning för biokol vid Gryta avfallsanläggning	Västmanlands län	Västerås	2022-10-06	22 360 000	40%	KKL-10119-2022
Dille Fastighet AB	Biokolpanna på Dille Gård	Jämtlands län	Krokom	2022-10-27	5 118 750	65%	KKL-10275-2022
Anders Andersson	Biokol panna till Skattegården	Östergötlands län	Mjölby	2022-10-28	4 173 000	65%	KKL-10304-2022
Kävlinge Fjärrvärme AB	Biokol, Fjärrvärme och Fjärrkyla Löddeköpinge	Skåne län	Kävlinge	2022-11-11	22 400 000	60%	KKL-10072-2022
Borgans Bioenergi AB	Biokolpanna i Melleruds fjärrvärmenät	Västra Götalands län	Mellerud	2022-11-18	7 328 750	65%	KKL-10178-2022
E.ON Energiinfrastruktur AB	Biokolsproduktion i Malmö	Skåne län	Malmö	2022-12-08	8 400 000	40%	KKL-10965-2022
EkoBalans Fenix AB	Biokolpanna för energiproduktion	Skåne län	Bjuv	2022-12-14	4 550 000	50%	KKL-10302-2022
Högestad Christinehof Fideikommiss Aktiebolag	Ersättning av halmpanna och oljepanna med biokolpanna och fastbränslepanna	Skåne län	Ystad	2022-12-16	15 852 000	60%	KKL-10773-2022

En sammanfattande beskrivning görs nedan av de biokolanläggningar som planeras och är i drift i Sverige idag. Detta har gjorts genom insamling av information via intervjuer med berörda anläggningsägare, se referenslista.

3.1.1 Biomacon

Tyska företaget Biomacon levererar pannor i storleken från 40 - 400 kW. Biomacon har 2019 tillsammans med Edvard Hamilton på Hjelmsäters Egendom bildat ett svenskt bolag, BioMaCon Sweden AB, för att tillverka pannor i Sverige.



Figur 3. Biomaconpanna hos Hjelmsäter och Vegtech. Bildkälla: RISE

Installerade Biomaconpannor 2023:

- Hjelmsäter Egendom, Hällekis (2018)
- Lindeborgs Vrena Nyköping (2018)
- ETC Katrineholm (2018)
- Veg Tech Vislanda (2019)
- Hasta Gård Arboga (2021)
- Nuntorp (2021)
- Kiplingeberg (2021)
- Essunga plantskola (2022)
- Krageholms Eric Piper (2022)

Beställda och planerade Biomacon anläggningar:

- Henrik Jönsson Moholm, Töreboda (2023)
- Lucrum tech Ulricehamn och EM biovärme AB Herrljunga (2023)
- Slätte Gård Töreboda (2024)
- Mats Areskoug Ystad (2024)
- Skattegården Mjölby (2024)
- Klevs Gård Sotenäs (2024-25)
- Dille Fastighet AB, Ås (2024-2025)
- Ekobalans Fenix AB, Bjuv (2025)
- Högestad Christinehof Fideikomiss AB, Ystad (2025)
- Skägebols gård, Värmlands Nysäter (2025)

Hjelmsäter Egendom, Hällekis (installerad 2018)

På Hjelmsäter Egendom finns en Biomacn på 160 kW som förbrukar ca 6 kubikmeter flis per dygn, framförallt granbarkborreskadat virke. Värmen används för uppvärmning av bostads- och ekonomibyggnader, och för att torka spannmål. Anläggningen producerar ca 1250 liter biokol per dygn vilket motsvarar en storsäck (Figur 4). Totalt produceras ca 140 ton biokol per år. Anläggningen har avsättning för värmen större delen av året. Biokolen är EBC-certifierad och huvuddelen säljs och en del används som jordförbättring på gården. Av den totalt ingående energin i flisen stannar ca 30 % i biokolet.

Hjelmsäter är återförsäljare (generalagent) av biokolpannor från Biomacn och har tillsammans med dem bildat ett svenskt bolag för detta, BioMaCon Sweden AB. Hjelmsäters ägare Edvard Hamilton håller på att utveckla flera bolag, även för försäljning av biokol, just nu kallat Biokol.se. Biokol.se har ett helhetserbjudande till kund genom att erbjuda hjälp med ansökan till Klimatlivet för finansiering, leverans och installation av panna samt även försäljning av producerat biokol och utsläppsrätter om så önskas. Försäljningen av utsläppsrätter förmedlas via Biokol.se till Puro.earth eller annan handelsplats som i sin tur förmedlar kolkrediterna till slutköparen av klimatkompensation.



Figur 4. Biokol lagrad i storsäck på Hjelmsäter.

Lindeborgs Vrena Nyköping (installerad 2018)

Lindeborgs har installerat en Biomacn med en nominell effekt på 63 kW som oftast körs på 25-50 kW beroende på råvara samt en 6 m³ ackumulatortank. Råvaran som används är träpellets men anläggningen går att bygga om för flis (kräver annat lager och inmatning). Det tar ca 3 timmar för råvaran att passera genom pannan och matas ut som biokol. Anläggningen producerar ca 10–15 ton biokol/år. Anläggningens kapacitet utnyttjas idag inte fullt ut utan den körs främst vid behov och värmer bland annat en konferensanläggning men det pågår arbete att bygga till ett växthus. Anläggningen var den andra Biomacn anläggningen i Sverige och den sjunde som producerades vilket medfört många ”barnsjukdomar” inledningsvis.

Biokolförsäljningen betalar idag igen pelletskostnaden. De säljer en kubik för 2 400 kr exkl moms (februari 2023). Då vikten varierar beroende på hur mycket vatten som biokolet absorberar har de valt att sälja per volym. Lindeborgs använder 20 procent av

biokolet själva och säljer resten via Biokolprodukter Global AB. Biokolet är inte tillfört någon näring efter pyrolysen och inte certifierat.

ETC, Katrineholm (installerad 2018)

ETC har en Biomaccon på 160 kW som värmer två ganska stora växthus. De köper förtorkad flis av blandade träslag från Norrköping. Processtiden för materialet att passera genom pannan tar ca 2 timmar. Optimal förbränningstemperatur är över 700 grader C. En Osby Parca flispanna utan brännare används som värmeväxlare och en elgenerator finns inkopplad samt en 9 kubikmeters ackumulatortank. När tanken kommer upp i 120 grader startar elgeneratoren. Generatorlösningen är från Aganinity och anläggningen kan ge 25 kW el. Anläggningen har också solfångare som förvärmer vattnet. Driften har fungerat bra. De stänger ner en gång i månaden, en halvdag för underhåll av växlaren. Fuktig flis gav problem i början och de väljer därför att använda förtorkad flis.

ETC producerar en kubikmeter biokol per dygn. De säljer sitt biokol genom Ecotopic och som klimatkompensation/klimatinvestering i ETC-varuhuset. Den senare delen blandar de med Bokashi och gräver ner i odlingar. De säljer alltså biokol och klimatkompensation som två olika produkter. Biokolet är en av tre delar i den klimatkompensation som de säljer. De andra två delarna är investering i solceller och fermenterad näring som också grävs ner i jord.

Normalt kräver biokolpannan 2 timmar arbete per dag. De har tillsyn 3 ggr/dag. Johan Ehrenberg som äger verksamheten uppger att verksamheten är ekonomiskt lönsam, både försäljningen av biokol och försäljningen av klimatkompensation. De planerar att investera i ytterligare en biokolanläggning. Biokolet säljs för mellan 2000-5000 kr per m³ (2023), beroende på om det säljs direkt eller som klimatkompensation med inblandning av bokashi.

Veg Tech Vislanda (installerad 2019)

Veg Tech har en Biomaccon med effekten 160 kW. De använder Scandbios träpellets (av kutterspån) som råvara. De har även en vanlig pelletspanna av märket Hertz (österrikisk) som står för basvärmen. Båda pannorna är kopplade mot samma ackumulatortank och bränsleinmatning. Pyrolyspannan är svår att hålla i jämn drift under sommaren på grund av lågt värmebehov och är därför avstängd ca 2 månader/år, vilket begränsar produktionen av biokol.

De använder biokol i egen odling av sedummattor vilka används som vegetation på tak, mark och murar. Vegtech säkrar upp biokoltillgången genom inköp av biokol från andra producenter. En förändring Veg tech upplevt på senare tid är att biokolsäljarna nu frågar om köp med eller utan kolsänka. Även köp av större volymer fungerar bra nu. Veg Tech föredrar att köpa biokol som kommer från andra Biomacconpannor för att säkerställa så jämn biokolkvalitet som möjligt.

Med 3 års erfarenhet av Biomaccon-pannan konstateras att pannan behöver producera med ett kontinuerligt flöde av både kol och värme och är känslig för temperaturvariationer (för låg last). Lite förslitningar och underhållsbehov börjar visa sig. Pannan var inte helt färdigutvecklad vid leveransen 2019. Först nu 2022 har katastrofskydd installerats och CE-märkningen godkänts för all säkerhet.

Arbetsmiljöverket har meddelat att reglerna för certifiering av pannoperatörer behöver ses över och därför skjuts ikraftträdandet fram till 1 december 2025.



Figur 5. Biokolanläggning hos Vegtech.

Hasta Gård Arboga (installerad 2021)

Hasta Gård installerade en Biomacon på 160 kW under 2021. Pannan har bara hunnit testas lite då byggnationer pågår för att skapa en integrerad förädling med målsättning om ett regenerativt, cirkulärt, självförsörjande jordbruk som tillverkar egen växtnäring och tar tillvara på gårdens alla restprodukter. Råvaror som kommer att användas är träflis, hampa, avrens och annat som blir över på gården. Tanken är att använda en blandningssilo för att kunna mixa olika råvaror.

De fermenterar det mesta av den producerade biomassan som ska återföras till jorden men då de har mer biomassa än vad som kan fermenteras och tas om hand, är biokolpannan ett komplement för att förädla överskottsvolymen av biomassa.

Primärt ska biokolet användas i odlingen men mängden styrs av vad som är lönsamt. Gården planerar att optimera användningen av biokolet genom att ladda biokolet med fermenterad gödning. Planen är att använda precisionsspridning och lägga ut biokolet i samband med sådd. De har hittills bara testat lite biokol i fält och har därför inte hunnit se några särskilda effekter ännu.

Nuntorp (installerad 2021)

Nuntorp har en 400 kW Biomaccon som startades upp i oktober 2021. Råvaran som används är flis av stamved från gran och lövträd. De har en entreprenör som sköter flisningen.

Avsättning för nästan all värme finns men de kan inte maximera biokolproduktionen helt. De producerar ca 600 m³ biokol per år. Huvuddelen av biokolet säljs och resten används i egen verksamhet där det blandas i kompost med rester från köttjurens djupströbädd av halm. Komposten sprids sedan på åkern. De har ännu inte hunnit följa upp och se några resultat av biokolets funktion.

Inledningsvis har de haft några problem med fläktar, givare och småsaker som behövt bytas och trimmas på pannan.

Kiplingeberg (installerad 2021)

På Kiplingeberg finns en Biomaccon på 224 kW. Utöver biokolpannan finns även en värmepanna, en ETA-panna från Biovärme som reserv vid högt värmebehov. Råvaran som används är flis från gran (rundved skadad av barkborre). Råvaran har fungerat bra men det kvarstår vissa praktiska frågor att lösa kring materialhanteringen.

Planen är att få produktionen certifierad enligt EBC och därefter att sälja biokolet. De vill gärna ha hjälp med avsättningen.

Drifterfarenheterna visar att det krävs en del handpåläggning och att det är viktigt med jämn råvarumatning och värmeuttag för att få en jämn kvalitet på biokolet. Önskvärt hade varit en bättre automatisering, t.ex. digital uppföljning av olika processvariabler som EBC kräver.

Essunga plantskola (installerad 2022)

Essunga plantskola har installerat en Biomaccon med effekten 160 kW. Bränslet som används är flis från barrträd, mycket barkborreskadad gran. De har en egen konstruktion av flisinmatning. I stället för skrapor som matar så krattas flisen ned ovanifrån. Anläggningen värmer alla lokaler och boningshus och överskottsvärmen används i flistorken. Den gamla elpannan finns kvar som reserv. Försök med att effektivisera och maximera anläggningen pågår. Erfarenheter hittills är att inte använda för fuktig flisråvara, max 20%, och helst barrträdsflis. Lövträd innehåller för mycket energi för biokolprocessen. Det gör att pannan blir för varm vilket hämmar biokolproduktionen.

Biokolproduktionen är ca 300 m³ per år. De har inte analyserat biokolet ännu men planerar att EBC-certifiera biokolet. Biokolet används i olika odlingsförsök, bland annat genom blandning av olika substrat. Egna försök har visat att torvandelen kan minskas med 80% genom att ersättas av mixen biokol, kutterspån och kogödsel. Målet är att minska just torvanvändningen. Efter certifieringen av biokolet är målet att sälja överskottet.

Kragholm, Eric Piper (installerad 2022)

På Kragholm finns en 160 kW Biomaccon som levererar värme till ett fjärrvärmesystem. De har även en äldre 800 kW flispanna från Järnforsen som numera används vid stort värmebehov vintertid. Uppstarten har gått relativt bra. Optimering har krävts vad gäller

flishanteringen som är en egen konstruktion. Råvaran som används är skogsflis från egen skog, bok, ek och ask av stamved som flisas i ett aggregat med ett 50 mm såll. Målet är att kunna producera 90 ton biokol per år. De har inte analyserat biokolet men planerar att certifiera sig enligt EBC. Det första biokolet avses att användas på egen mark för tester. Därefter ska det certifierade biokolet säljas till trädgårdsnäringen, eventuellt via Biokol.se eller Biokolprodukter Global.

H Jönsson Enskild Firma, Moholm, Töreboda (planerad 2023)

Jönsson har beställt en Biomacn 400 kW som levereras hösten 2023. De har god avsättning för värme i egna lokaler som spannmålstork, verkstad, hus. De planerar att använda egen träflis som råvara. Det producerade biokolet kommer användas där det gör mest nytta men ännu oklart var. Gården har egen växtodling på lerjord som är humusfattig.

Lucrum tech, Ulricehamn och EM biovärme AB Herrljunga (planerad 2023)

Förberedelse pågår för installation av två Biomacn på 400 kW vardera i Ulricehamn och en panna på 400 kW i Herrljunga, för leverans av värme till fjärrvärmenätet samt produktion och användning eller försäljning av biokol. Biokolets kvalitet avgör hur kolet ska användas eller säljas.

Råvaran blir främst skogsflis av gran, mest stamved men även grot (grenar och toppar). Erfarenhet säger är att det krävs ren träråvara för att få högkvalitativ biokol. De vill ha agrofood-standard med >90% C i kolet och därmed kvalitet för djurfoder. Lucrum som sedan tidigare driver närvärmeanläggningar, lejer entreprenörer för flisning. Planen är att ha en skivtugg för att få jämn fraktion, P45 mm som i genomsnitt är 45 mm, men visst antal bitar får vara över 12 cm men ingen får vara över 15 cm.

Slätte Gård, Töreboda (planerad 2024)

Slätte Gård avser att installera två Biomacn-pannor på 400 kW med start under 2024. Råvaran kommer bestå av flis från granbarkborreskadad stamved.

Mats Areskoug Enskild Firma, Ystad (planerad 2024)

Har fått Klimatklivet-stöd och planerar investering i en Biomacn 160 kW för värme till en biogasanläggning som ännu inte är byggd. De tänker använda träflis, mest lövträ som råvara till pyrolyspannan.

Skattegården Mjölby (planerad 2024)

Skattegården planerar att investera i en Biomacn på 160 kW för leverans hösten 2024. Planen är att använda råvara från egen skog, tex från skogsavfall, dikesrenar, alkärr och övrigt som blir över, både löv- och barrträ. På gården finns fyra hus att värma och torkkänsliga jordar som behöver biokol för bättre skördar. De odlar idag spannmål och vall, och kommer eventuellt att sälja överskottsvolymer av biokolet men planerar också att använda biokolet som strö i hönsstallet.

Klevs Gård, Sotenäs (planerad 2024-25)

En Biomacn 224 kW är beställd och kommer levereras i slutet av 2024 eller början 2025. Förberedelser pågår i form av markarbete och installation av en vanlig flispanna, ETA 240 kW. Råvaran som ska användas är flis av röjningsvirke från åkerkanter,

granbarkborreved och annan egen energived. På sommaren kommer ev biokolproduktionen stängas då det inte finns avsättning för all värme. Produktion av biokol beräknas uppgå till ca 300 m³ per år och kommer troligen inledningsvis att säljas till jordtillverkare och via Hjelmsäters biokol.se. Egna tester i jordbruket planeras också men lönsamheten avgör om och hur mycket de kan använda själva, tex om det kommer något stöd för kolinlagring i jordbruket. Erfarenheter hittills är att det krävs lång framförhållning vid beställning p.g.a. pannornas långa leveranstid.

Ekobalans Fenix AB, Bjuv (planerad 2025)

Ekobalans planerar att investera i en Biomac 400 kW. Råvaran som ska användas är flis av det som finns tillgängligt. Valet av råvara beror på vad som prioriteras, energi eller biokol. Enligt Ekobalans ger tex gran mer biokol än björkflis men grot kommer inte bli aktuellt då den ger sämre kvalitet och innehåller alkali. Syftet med investeringen är att få värme till torkning av rötrest från biogasproduktion. De väljer en biokolpanna istället för en flispanna, för att biokolet ska förädlas till produkter och säljas men även användas som jordförbättring i egen verksamhet. De använder biokol i sin produktutveckling av gödselmedel.

Ekobalans har även utvecklat en egen process för pyrolys av avloppsslam. Från avvattnat slam till biokol med kombination torkning och pyrolys. Processen handlar om kadmium och hur man ska styra processen för att avskilja detta.

Högestad Christinehof Fideikommiss AB Ystad (planerad 2025)

Högestad har inte beställt pannor ännu, men ska presentera beslutsunderlag för styrelsen i mars 2023. De har idag en halmpanna på 1,2 MW från år 2000 som kräver nyinvestering. De vill inte längre skörda halmen utan låta den återgå till marken för ökad bördighet. De planerar därför att investera i en Biomac 400 kW för året-runt-drift samt en vanlig flispanna från Osby Parca på ca 1 MW som spets vid belastningstoppar, bl.a. vid drift av torkar under sensommar och höst. De anser att produktion av biokol och investeringar i kolsänkor ligger rätt i tiden och passar deras höga miljöprofilering.

Råvaran skall komma från egen skog där bok dominerar. Biokolpannan behöver fin flis av stamved från bok, lärk och kanske björk. I OsbyParcapannan kan gran och rustikare flis eldas. Planen är att biokolet ska säljas som miljöcertifierat och även EBC-certifierat för att nå en bred marknad. Inledningsvis kommer biokolet inte användas i egen verksamhet, men det beror på marknaden och avsättningsmöjligheterna. De har inte gjort några egna tester med biokol ännu.

Skäggebols gård, Värmlands Nysäter (planerad 2024)

Skäggebols gård har fått investeringsstöd via Klimatklivet för att investera i en 160 kW Biomac. De räknar med att projekteringen tar ca 2 år, men det hela är försenat så utgången är oklar. De har 5-6 byggnader som behöver värmas. Råvaran som ska användas är flis, mest troligt från egen skog. Planen är att sälja 90% av biokolet och använda 10 % till egna marker. De avser att certifiera enligt EBC.

Dille Gård, Krokom (planerad 2025)

Dille gård planerar för investering i en Biomac 160 kW, i kombination med en vanlig flispanna, Fröhlings eller ETA, då kolpannan har låg effekt och inte kommer räcka

vintertid. Planen är att kunna producera ca 62 ton biokol som ska användas på egen mark som jordförbättring och resten ska säljas. De har kontakt med Östersunds kommun som köper kol och är även granne med en matjordsproducent. De kan även tänka sig sälja via Biokol.se. Beslutet att investera i en biokolpanna var en kombination av tillgång till egen råvara och möjlighet till stöd från Klimatklivet.

3.1.2 Pyreg

Tyska Pyreg har utvecklat pyrolysteknik för allehanda råvaror i storleksordningen 500, 1500 och snart 6000 kW. Det finns två anläggningar i drift med Pyregs teknik i Sverige. En beskrivning av dessa görs nedan.



Figur 6. Pyregs biokolteknik PX 500. Bildkälla: www.pyreg.com/our-technology/

Högdalen, Bromma (installerad 2017)

Stockholm Vatten och Avfall har en 500 kW Pyreg. Anläggningen fanns tidigare i Högdalen men flyttades till Bromma under hösten 2020. Råvaran som används är park- och trädgårdsavfall.

Anläggningen har haft problem på grund av dålig råvarukvalitet samt att inmatningsutrustningen från Tyskland inte var optimerad för flis, vilket under längre perioder inneburit produktionsstopp. Det finns en 90 graders böj i matning där det ofta blir stopp och där konstruktionen kan förbättras. Matningen fungerar för slam men inte för flis i större bitar eller flis som är för fuktig. Den dåliga råvarukvaliteten har orsakats av föroreningar som glas och sten samt långa pinnar som följd med flisen. Planen är att detta ska fungera framöver men kravet är en ren råvara, stamved och ris utan föroreningar. Flisen får heller inte vara för fuktig. En entreprenör sköter flisningen och fliskvaliteten måste vara jämn och max 30 mm. Service utförs varje vecka samt att Pyreg kommer var tredje månad.

Produktionsmålet är att producera 70 ton biokol och mer per år, upp till 250 ton biokol som är maxkapacitet. Värmen från anläggningen används framför allt till att torka

råvaran i dagsläget. Planer har funnits att leverera värme till fjärrvärmenätet. Biokolen vattnas för att släcka glöden och minska dammet. De tillsätter ingen näring till biokolet. Analys på kolet görs en gång om året eller när man ändrar förutsättningarna tex byter till ny biomassa. De är inte certifierade eftersom de bara säljer internt, men de använder den europeiska certifieringen EBC som grund för sin provtagning. Biokolet har förpackats i storsäckar, men bedömningen är att container vore en bättre lösning.

Skånefrö (installerad 2018)

Skånefrö har två Pyreg-pannor, en större P1500 som är den första prototypen i denna storlek och en mindre P500. De har kapacitet att producera 10 respektive 2,5 m³/dygn. Råvaran som används i den stora anläggningen är agropellets; d.v.s. restprodukter från egna renserier i form av frö, skal och halm. Av råvaran blir ca 1/3 fjärrvärme, 1/3 biokol och 1/3 försörjer pyrolyprocessen med värme. Pyrolyspannorna levererar sammanlagt 1 MW till fjärrvärmenätet.

Den mindre pannan P500 är en experimentpanna där de försöker pyrolysera avloppsslam och fånga upp tungmetaller (kadmium) i särskilda filter. Skånefrö torkar slammet med egen fjärrvärme till 10-15% vattenhalt innan det kan pyrolyseras. Slamkolet kommer enligt EBC troligen kallas något annat än biokol och användas som PK-gödsel i jordbruket. EBC kommer snart godkänna nya råvaror och en ny klass kommer för slam. Skånefrö har deltagit aktivt tillsammans med Pyreg i utvecklingen av teknik och filter för rening av kadmium. Nu är pannorna väl utvecklade med en bra fungerande drift.

Det producerade biokolet används i egna försök och resten säljs som jordförbättringsmedel, och även till fotbollsplaner, både för nyanläggning och förbättring av befintliga. Skånefrö säljer biokol till privatpersoner via webbhandel och till jordtillverkare. De kommer undersöka marknaden för biokol som fodertillsats framöver. Biokolet är certifierat enligt EBC. Enligt Skånefrö har många egna försök genomförts med biokol från många olika tillverkare. Försöken har visat att kvaliteten på biokol kan variera mycket och ge många olika utfall, även felaktiga, i olika tester. EBC-certifieringen garanterar rätt kvalitet och visar vad det är för kol som är aktuell.

3.1.3 Ombyggda värmepannor

Ödevata Gårdshotell, Emmaboda (installerad 2007, ombyggd 2018)

Ödevata har en äldre (utan lamndasond) ombyggd Veto på 160 kW. Anläggningen körs bara under vinterhalvåret när den kan gå kontinuerligt. Ombyggnaden har bestått i en ändring av det rörliga rostret samt justering inne i pannan som byte till vattenmantlade ytor och en kolficka. Ingen ombyggnation av styrsåpet har krävts. Vid biokolproduktion krävs ändrad hastighet på skruvar och efterförbränning. För att hantera biokolet har en skruv och en säckupphängning för biokolet installerats samt sprinklersystem för släckning. Råvaran som används är skogsflis (tall och gran) med en max fukthalt på 30 %. Erfarenheter är att råvaran behöver vara torr och jämn i kvalitet och storlek. Det behöver finnas ett energibehov så pannan kan gå kontinuerligt. Askskruven får gärna vara i kraftigare material för kolet sliter mer på materialet än vad askan gör. Ödevata

producerar biokol 2-4 månader vintertid och som bäst ca 0,5 m³ per dygn. Biokolet används i kompost, i strö till höns och får samt till kommande odlingsprojekt.

Frä Kentorp Säteri, Malmköping (2018)

Frä Kentorp Säteri har en VETO 220 utrustad med ett brännarhuvud på 160 kW för att skapa utrymme i pannan. Vissa anpassningar för biokolproduktion har gjorts. Primärluften genom rosten har stängts av helt de sista 40 centimetrarna vilket utgör ca halva rosten. Sekundärluften har ändrats så att dess inblåsningsriktning är mot rostens första del. Roströrelsen har ändrats till en vid varje inmatning av bränsle. Vidare har askschaktets volym minskat så att biokolet skall släckas så fort som möjligt. Därtill har en del smärre inställningar gjorts för att gynna biokolproduktionen. Under hösten 2022 kompletterades styrningen med anpassad programvara från leverantören.

Pannan fungerar bäst om den går kontinuerligt med full effekt för att få fram biokol, men är egentligen lite för stor för gårdens behov då förutsättningarna har förändrats sedan start. Belastningstoppar täcks bäst av en annan biobränslepanna.

Flis från egen skog används som råvara; helst från lövträd men mycket granbarkborreskadat virke finns tillgängligt. Frä Kentorps teori är att processen och biokolet blir bättre av råvara från lövträd än barrträd p.g.a. mindre tjärbildning. De har egen flistugg (Heizohack) som gör flis i storlek 20 mm med varierande tjocklek. De använder rester från torrt virke. Planer finns på att bygga flistork och flisa rått material. Frä Kentorp kombinerar produktion av energi och biokol med mjölk och kött, växtodling samt egen fiskodling där biokolet används för att laddas med näring och rena vattnet. Nuvarande produktionstakt är ca 6 m³ biokol per år. De kommer troligen att använda allt själva, som exempelvis till rening av vattnet i gårdens fiskodling. De har också testat lite biokol i trädgårdsodlingen.

3.1.4 Egenutvecklad övrig teknik

Vindelkol (1990)

Vindelkol har tillverkat grillkol sedan 1990. Vindelkol har tre egenutvecklade retorter (batch-ugnar) med teoretisk kapacitet på ca 16 m³ råvara per ugn. De nyttjar gaserna från veden för att driva processen förutom lite el till fläktar. Sedan år 2000 har de ett eget utvecklat styrsystem som fungerar mycket väl. Kolningstiden är 8–14 timmar per batch, beroende på råvarans beskaffenhet. Temperaturen är över 500 grader. Produktionsvolymen beror på hur anläggningen körs.

Råvaran består av tall, björk, al, asp, gallringsvirke samt kapspill från sågverk i storlek 5-50 cm. Deras analyser visar en C-halt upp mot 95% i kolet. Enligt Vindelkol är marknaden för grillkol och träkol stor och efterfrågan på svenskproducerat träkol är 20 gånger större än Vindelkols nuvarande kapacitet. De levererar den utsorterade finfraktionen som biokol till bl.a. jordtillverkare och växthusodlare. Den utsorterade finfraktionen håller samma kolkvalitet som grillkol. Vindelkols tekniska koncept skulle kunna säljas och etableras på fler platser.

Spetsamåla Gård Holmsjö (2012)

Efter tio års utvecklingsarbete har Spetsamåla Gård börjat bygga en småskalig industrianläggning för tillverkning av biokol. Nuvarande prototypmila ska skalas upp

och bli effektivare. Anläggningen delfinansieras av NextGeneration EU och Naturvårdsverket via Klimatklivet. Detta kombineras med investeringar i solenergi.

På gården finns idag en batch-ugn, en prototyp som de byggt själva. Nu ska den skalas upp till två helt nya ugnar i samma storlek som prototypen. De släcker kolet med vatten för att maximera absorptionsförmågan/porvolymen.



Figur 7. Batch-ugn för tillverkning av grillkol och biokol. Bildkälla: Spetsamåla gård

De använder stamved, brännved och röjningsvirke som råvara. För tillverkning av grillkol används tunga lövträd och till biokol tex skadad gran och sämre råvara. Spetsamålas nisch är produktion av biokol i större fraktioner som kan skräddarsys efter kundens önskemål. Ett användningsområde är reningsfilter för t.ex. avloppsvatten, akvaponi eller fiskodling där större fraktioner kan eliminera risken för igensättning av filter. Fraktioner på upp till 50 mm kan idag sorteras fram i anläggningen.

Målet är att producera ca 75 ton biokol/år med den nya anläggningen. De har hittills tillverkat ca 1-2 ton/år och ännu har inga analyser av biokolet gjorts, men de är KRAV-certifierade och vill sälja kolet till konsument så analyser ska göras framöver. ECB-certifiering kan bli aktuellt. Biokol har använts på gården i krukor vid plantproduktion, i frilandsodling och i havtornsodlingen på 1 ha, där biokolet bidragit till lucker jord och god rotutveckling. Spetsamåla har även testat biokol som täckmaterial mot ogräs. Kolet brukar varvas med kompost, ibland med gödsel-/nässelvatten, olika beroende på vad som ska göras. Energin från pyrolysuignarna kommer att användas för att torka råvara, värma vissa lokaler och ev värma ett växthus. På sikt vill de utveckla processen ytterligare genom att utvinna t.ex. el, kondensat och wood vinegar ur rökgaserna.

3.1.5 Teknik till mindre värmeverk och närvärme

I Sverige finns även ett antal större anläggningar som producerar biokol.

Charmaker från Earth systems i Australien

Earth systems levererar en batch-eldad mobil containerlösning (MPP) i storleken 20 fot och 40 fot där man kör in råvaran i korgar istället för transportskruvar vilket innebär att anläggningarna kan ta emot större fraktioner av biomassa såsom stubbar, kvistar, grenar och restvirke som därmed inte behöver flisas. Anläggningen består av två containrar som är sammanbundna med en kanal. Den ena är en pyrolyskammare och den andra en tork

där överskottsvärmen kan återvinnas. Korgarna med det färdiga biokolet lyfts efter avslutad pyrolys ut och kyls i ett vattenbad.

MPP systemet bygger på att omvandla biomassa till biokol där det lokalt finns behov att ta tillvara överskottsbiomassa. Det finns idag två anläggningar i Sverige, en i Södertälje och en i Skellefteå.

Earth systems har även tagit fram en kontinuerligt matad pyrolyspanna (CPP) med värmeåtervinning. Kapaciteten är från 200–2000 kg biomassaråvara per timme med en fukthalt upp till 45 %.



Figur 8. kontinuerligt matad pyrolyspanna, CPP Bildkälla: www.esenergy.com.au/continuous-charmaker-cpp

Telge Återvinning Södertälje (installerad 2021)

Telge i Södertälje upphandlade i december 2019 direkt från Earthsystems i Australien en anläggning Charmaker MPP40. Anläggningen består av två 40 fots containrar som kundanpassades med isolering, brännare, fläktar och givare. (Figur 9) Viss utveckling och anpassning av effektbehov för elsystem och CE-märkning krävdes. Mellan pyrolys och tork finns en efterbrännkammare – en s.k. Thermal oxidizer som förbränner pyrolysgaserna fullständigt vilket ger endast vattenånga och koldioxid i skorstenen. När pyrolysen är klar flyttas korgarna med kol till två vattenbad. En biodieselbrännare från Earth System används vid uppstart.

Råvaran består av 2 000 ton ris, grenar och julgranar som lämnas vid återvinningsstationerna Tveta och Returen. Varje år tillverkas ca 300 ton biokol.

Telge Återvinning säljer endast större mängder biokol i hela containers. Av produktionstekniska skäl säljs inte små mängder. Då Telge var mycket delaktiga i framtagandet av anläggningen som driftsattes under våren 2021, har de sammanfattat sina erfarenheter i en folder [10].



Figur 9. Telges anläggning, råvarukorg och biokol. Bildkälla: RISE eget foto samt Telge

Skanska Skellefteå (installerad 2022)

Skanskas första anläggning, en CharMaker MPP, invigdes hösten 2022. Planer på effektivisering och utveckling ingår i Skanskas koncept [11].

Råvaran kommer inledningsvis att bestå av stubbar från etableringsplatsen för Northvolts batterifabrik i Skellefteå. Målet är att framställa ca 1000 ton biokol per år av restprodukter som stubbar och annat virke. Fyra korgar med biomassa förtorkas först i ena containern för att sedan flyttas över och pyrolyseras i den andra (Figur 10). När kolet är släckt med vatten och svalnat, sönderdelas de stora kolbitarna med hjälp av en krosskopa. Skanska planerar att använda biokolet som jordförbättringsmedel i egna och andras projekt.



Figur 10. Batcheldad CharMaker MPP och skopa som krossar biokolet. Bildkälla: www.skanska.se/vart-erbjudande/produkter-och-tjanster/biokol/ och Cewaro.

3.1.6 Ombyggnation av befintliga värmeverk och fjärrvärmeanläggningar

Även större panncentraler och värmeanläggningar investerar nu för att producera biokol, vissa genom justeringar och ombyggnationer i befintlig panna. Denna volym biokol kan också bli tillgänglig på marknaden och för jordbruket.

Installerad eller planerad biokolproduktion (mars 2023)

- Borgans Bioenergi AB – Biokolpanna i Melleruds fjärrvärmenät
- Bussme Energy – Svedala fjärrvärme och Munka-Ljungby biovärme
- E.ON Energiinfrastruktur AB – Biokolsproduktion i Malmö
- E.ON – Pellets-panna i Bålsta

- Getinge Biovärme AB – Halmstad
- Kävlinge Fjärrvärme (Bussme) Löddeköpinge
- Kävlinge Fjärrvärme (Bussme) Kävlinge
- Nevel AB – Kramfors
- Renova Miljö AB – Tagene Göteborg
- Solör Bioenergi – f.d. Lantmännens pannor i Motala och Skurup
- Vafab Miljö Kommunalförbund – Produktionsanläggning för biokol vid Gryta avfallsanläggning

3.1.7 Sammanfattande analys kring erfarenheter och behov

Marknaden för biokolteknik är fortfarande omogen och under utveckling vilket har resulterat i olika inledande tekniska problem hos de beskrivna anläggningarna. De flesta tillverkare av biokolteknik har fortfarande ett litet antal referensanläggningar med undantag av Biomacn som är den vanligaste pyrolyspannan på lantbruk i Sverige. Utöver tekniska problem med pyrolysanläggningen så har många erfarenhet av problem som uppstått vid hantering av råvaran och dess kvalitet.

Majoriteten av anläggningarna använder idag flis som råvara. Liksom i vanliga värmeanläggningar så måste råvaran anpassas till vad tekniken är dimensionerad för. Om råvaran har för hög fukthalt eller består av överstora bitar så uppstår ofta problem med inmatningen.

Erfarenheter från flera anläggningar är att råvaran bör vara förtorkad och att fukthalten inte får vara över 20–30 %, beroende på teknik. Erfarenheten är också att råvaran behöver vara jämn i kvalitet och storlek för att få en jämn kvalitet på biokolet. Karakteristiskt för en pyrolyspanna är behovet av ett jämt värmeuttag. Om det inte finns tillräckligt stor avsättning för värmen behöver pannan stängas av tex under sommaren. För att pyrolyspannan ska kunna gå på en hög och jämn last har en del anläggningar valt en panna med lägre effekt i relation till behovet och kompletterat med en vanlig värmepanna för topplast och som reservpanna.

Det framförs olika perspektiv på vilket trädslag som fungerar bäst i pyrolysen eller för att uppnå rätt kolkvalitet. Vissa hävdar att lövträd ger bättre biokolqualität medan andra menar att lövträd innehåller för mycket energi för biokolprocessen vilket hämmar biokolproduktionen då pannan blir för varm.

Energimängden i löv och barrträd är dock relativt lika i viktenhet. Dock kan det skilja i energi per volym vilket påverkar hur stor energimängd som matas in i pannan. Varje anläggning behöver hitta optimal inställning till den råvara som används.

Några av anläggningarna har valt att EBC-certifiera sitt biokol och flera av de planerade anläggningarna har det som mål. Fördelen med ett EBC-certifikat är att fler köpare kan nås då vissa kunder valt att endast köpa EBC-certifierat biokol. EBC-certifieringen är dock en process som tar tid och kostar pengar.

Av de lantbruksägda biokolanläggningarna så säljer majoriteten sitt biokol direkt till kund och även de planerade anläggningarna avser att i första hand sälja externt. En

mindre del används dock för eget bruk. Det vanligaste kunderna är till jordförbättring. Ett alternativ till att sälja direkt till kund är att sälja genom tex Biokol.se eller Biokolprodukter Global.

4 Mätning och provtagning i biokolanläggningar

Emissionsmätningar och provtagning av biokol har genomförts i fem driftsatta biokolanläggningar med olika teknik, funktion och storlek. Beskrivning av anläggningarna görs i stycke 3.1. Biokolet från dessa anläggningar har analyserats. Syftet med mätningarna och provtagningarna är främst att undersöka ifall emissionerna är acceptabla med hänsyn till gällande utsläppsgränser samt att karaktärisera biokolet. Syftet är inte att jämföra anläggningarnas emissioner och biokol. Därtill är de olika råvarorna och anläggningarna för olika. Möjligen kan man jämföra med EBC:s krav för det fall att man skulle vilja certifiera biokolet.

Mätning och provtagning av biokol har genomförts på modellerna Pyreg P500, Biomacon C160-F, Biomacon C400-I och en anpassad VETO 220. Mätningar avser koncentrationer av NO_x , CO , CO_2 och O_2 samt stoft i rökgasemissioner från anläggningarna, och gjordes således i skorstenen. Resultaten sammanfattas i Tabell 4. Med energieffektivitet kan avses en energibalans uttryckt som skillnaden mellan energin i råvaran å ena sidan och energin i biokolet och värmen å den andra. Skillnaden utgörs huvudsakligen av värmeförluster. För att kunna beräkna detta skulle t.ex. ingående råvaruflöde behöva bestämmas genom vägning – något som inte var möjligt. En annan tolkning av effektivitet är hur mycket energi som finns kvar i biokolet. Även detta kan vara svårt att säga säkert men Skånefrö och Hjelmsäter bedömer att det rör sig om ca en tredjedel. Det går dock inte att generellt säga om en sådan effektivitet är bra eller dåligt. Hur mycket biokol som bildas och vilka egenskaper det har kan delvis styras efter önskemål på biokolet och värmebehovet.

Biokolen har analyserats bl.a. med avseende på kemisk sammansättning, pH, toxiska metaller och PAH (polycykliska aromatiska kolväten), som i praktiken kan jämföras med tjära. Dessa resultat sammanfattas i Tabell 5. Analysrapporter från RISE avseende råvara och biokol återfinns i Bilaga.

Rökgasemissionerna av NO_x från de olika anläggningarna härrör från kvävet i råvaran. Vid pryolysen avgår en betydande del av detta som ammoniak eller vätecyanid, vilka oxideras till NO_x vid förbränningen. En kväverik råvara ger upphov till högre halter NO_x . Det exemplifieras av Skånefrös Pyreg P500 som eldas med bioagropellet som är betydligt kväverikare än träflis och träpellets, och här ger en rökgas med mer än tre gånger så hög koncentration av NO_x .

Koncentrationen av CO är beroende av råvarans kvalitet (form, fukthalt) och/eller anläggningens förmåga att blanda råvara och luft. Det är normalt i förbränningsanläggningar att koncentrationen oftast är ganska låg men kan stiga snabbt till höga värden då ovanligt mycket råvara, mycket finfraktion eller mycket fuktig råvara av en tillfällighet kommer in i förbränningsrummet. Då konsumeras syret hastigt och det bildas CO i stället för CO_2 . Om detta sker ofta blir genomsnittskoncentrationen högre. Det är orsaken till de höga koncentrationerna uppmätta i Frä Kentorps anpassade VETO

220, där flisen var ojämn med inblandning av spån. I Nuntorps Biomacon C400-I är också koncentrationerna höga men där hade vid tillfället en tätning runt den skruv som matar ut biokolet lossnat. Exakt hur det påverkat CO-koncentrationen är oklart men det har sannolikt spelat roll här.

Ingen av anläggningarna uppvisar höga stofthalter. Skånefrös P500 är dessutom utrustad med filter som fångar upp det mesta av partiklarna; därav de mycket låga stofthalterna.

I betraktande av gränsvärdena enl. ekodesigndirektivet (Tabell 4) så finns risk för att överskrida dessa avseende stoft och i synnerhet CO. Risker för att överskrida gränsvärdena avseende NO_x verkar inte föreligga trots bränsle med relativt hög kvävehalt. Material med ännu högre kvävehalt såsom avloppsslam skulle dock kunna ge för höga NO_x-utsläpp. Stoftutsläpp minskas enklast med någon form av filter. CO-utsläpp kan förmodligen minskas med intrimning av lufttillförseln och råvara med bra kvalitet. Det CO som med nödvändighet bildas vid pyrolysen måste få tid att brinna ut med syre så att det omvandlas till CO₂. Härvid kan kvoten mellan primär- och sekundärluft anpassas, och sekundärluftens inblåsningsriktning justeras. För att få upp temperaturen kan eventuellt valda delar av rör m.m. isoleras.

Tabell 4. Koncentrationer i rökgasemissioner.

Anläggning	NO _x		CO		CO ₂	O ₂	Stoft
	ppm	mg/Nm ^{3b}	ppm	mg/Nm ^{3b}	%	%	mg/Nm ^{3b}
Pyreg P500, Skånefrö	180	145	9,8	7	17	2,8	3,5
Biomacon C160-F, Hjelmsäter	52	99	47	84	7,3	13,3	30
Biomacon C160-F, VegTech	52	94	16	24	7,7	13	^a
Biomacon C400-I, Nuntorp	48	55	990	1060	10,4	8,1	40
anpassad VETO 220, Fräkentorp	30	35	5200	5800	11,2	8,8	44
Utsläppsgränser ^c	-	200	-	500	-	-	40

^a uppgift saknas eftersom det inte gick att komma åt rökgaserna med stoftsonden.

^b omräknat till 10 % O₂

^c enl. KOMMISSIONENS FÖRORDNING (EU) 2015/1189 av den 28 april 2015 om genomförande av Europaparlamentets och rådets direktiv 2009/125/EG vad gäller ekodesignkrav för värmeapparater för fastbränsle

Olika bränsleråvaror som bioagropellet, träflis och träpellets ger olika förutsättningar i anläggningen och olika egenskaper hos biokolet. Bioagropellet består av delar från stråväxter med högre halter av näringsämnen än trä vilket innebär att de har högre askhalt och innehåller mer av kväve, fosfor. Det ger därför ett biokol med en kolhalt <70 % och hög halt askbildande ämnen. Biokol från rena träåvaror ger biokol med en kolhalt >90 %. I Pyreg P500 släcks biokolet med vatten för att stoppa oönskade förbränningsreaktioner. Det ger en högre fukthalt i biokolet. Flyktiga ämnen är sådana som avgår i gasfas vid analysen. Höga halter av flyktiga ämnen kan orsakas av låg pyrolystemperatur, kort uppehållstid eller att PAH i gasfas tillåts kondensera på biokolet. Inget biokol uppvisar extrema halter av flyktiga ämnen men Fräkentorps ligger högre och det är förmodligen relaterat till de höga CO-halterna, och kan påverkas med intrimning. Biokolen har lägre halt av PAH, kadmium och kvicksilver än EBC:s krav. Stabiliteten är mycket hög att döma av de låga förhållandena mellan väte och kol samt mellan syre och kol. pH varierade mellan 7,25–9,7 vilket kan ge önskad pH-höjande effekt i jorden vid växtodling.

Tabell 5. Biokolens egenskaper. Analyser är gjorda av RISE där inte annat anges.

Plats	Skånefrö	Hjelmsäter	Veg Tech	Nuntorp	Fräkentorp	EBC ^b
Modell	Pyreg P500	Biomaccon C160-F	Biomaccon C160-F	Biomaccon C400-I	Anpassad VETO 220	^c
Bränsle	bioagropellets	träflis	träpellets	träflis	träflis	^c
Bulkdensitet (kg/m ³)	507 ^d	162 ^d	553 ^d	205 ^d	^a	^c
Parametrar						
Fukt (vikt-%)	23,1	1,8	1,1	1,6	2,1	^c
Aska (vikt-%, TS)	25,4	2,3	2,6	8,5	3,1	^c
Flyktiga ämnen (vikt-%, TS)	10,7	7,7	7,5	7,4	30	^c
Klor (vikt-%, TS)	0,21	0,02	<0,01	<0,01	<0,01	^c
Svavel (vikt-%, TS)	0,16	<0,01	0,01	<0,01	0,03	^c
Kol (vikt-%, TS)	68,1	94	93,6	85	80,4	^c
TOC (vikt-%, TS)	67,8	94	93,5	85	80,4	^c
Väte (vikt-%, TS)	0,8	0,9	0,6	0,5	2,1	^c
Kväve (vikt-%, TS)	1,9	0,27	0,36	0,35	0,18	^c
Syre (vikt-%, TS)	3	2	2,8	6	14	^c
syre/kol (mol/mol)	0,04	0,02	0,02	0,05	0,134	<0,4
väte/kol (mol/mol)	0,14	0,11	0,08	0,07	0,31	<0,7
pH	9,7	8,6	8,2	8,8	7,25	^c
Kalorimetriskt värmevärde (MJ/kg, TS)	24,95	34,06	33,9	32,24	29,34	^c
Effektivt värmevärde (MJ/kg, TS)	24,78	33,87	33,77	32,13	28,88	^c
Kalcium (vikt-%, TS)	1,2	0,54	0,63	0,59	0,61	^c
Magnesium (vikt-%, TS)	0,57	0,070	0,086	0,12	0,9	^c
Kalium (vikt-%, TS)	3,0	0,26	0,21	0,44	0,33	^c
Fosfor (vikt-%, TS)	1,0	0,025	0,037	0,28	0,18	^c
Arsenik (mg/kg TS)	<6	<0,5	<0,6	<2	<1	13
Bly (mg/kg TS)	3	0,17	1,1	2	0,6	120
Kadmium (mg/kg, TS)	<0,3	<0,1	<0,1	0,1	0,15	1,5
Koppar (mg/kg TS)	19	10	7	7	8	100
Nickel (mg/kg TS)	9	23	2	6	31	50
Kviksilver (mg/kg TS)	0,34	<0,02	0,05	<0,02	<0,02	1
Zink (mg/kg TS)	140	25	36	105	50	400
Krom (mg/kg TS)	10	36	4	17	62	90
Summa 16 PAH (mg/kg TS)	<1,6 ^d	3,7	0,8 ^d	5,9 ^d	1,3	6

^a uppgift saknas

^b gränsvärden enligt EBC:s certifieringsklass Agro

^c ej relevant

^d analyserat av Eurofins vid annat tillfälle

5 Användning av biokol

För varje användningsområde bör man sträva efter att hitta rätt sorts biokol tillverkat med den mest lämpliga tekniken och råvaran. De råvaror som kan finnas tillgängliga hos svenskt lantbruk är ofta ved, röjningsvirke och restprodukter från olika träslag som tall, gran, björk och andra lövträd. Material från barr -och lövträd kan ha olika dominans av stamved, splintved, bark/näver, stubbar eller hela grenar och toppar. Dessa delar har olika kemiska och fysikaliska egenskaper. Även odlad biomassa från tex salix, poppel och asp kan utgöra råvara och därmed ha sina egenskaper precis som jordbrukets odlade grödor eller restprodukter i form av halm, strån, avrens m.m. har sina.

Tabell 6 återger olika råvarors egenskaper som påverkar pyrolyprocessen. Biokolets slutliga kvalitet kan uppskattas genom att jämföra parametrar som finns dokumenterade för dessa råvaror som bränsle. För pyrolys har parametrarna betydelse såtillvida att fukten påverkar energiåtgång och tid för torkning av råvaran eller torkdelen i processen, aska motsvarar material varav det mesta finns i biokolet efter pyrolys, H_{cal} är värmeverdet som är den energimängd som tillförs pyrolyprocessen via råvaran, och bulkdensiteten påverkar materialhanteringen.

Tabell 6. Råvaraegenskaper av vikt för biokolproduktionen [12].

Bränsle	Fukt (vikt-%)	Aska (vikt-% torr bas)	H_{cal} (MJ/kg torr bas)	Bulkdensitet (kg/m ³)
Trä (spån, flis pulver)	8-60	0,4-0,6	16-18	200-350
Trä (pellets, briketter)	9-10	0,4-0,8	19-21	550-700
GROT	35-55	1-5	19-21	200-350
Stubbar	18-55	4-17	19-21	^a
Returträ	3-50	3-16	20-24	200-350
Salix	25-50	1-5	18-20	200-350
Bark	21-65	2-6	20-25	300-550
Halm	10-20	4-10	18-20	låg
Rörflen	10-15	3-7	17-20	200-300
Spannmål	14	2-4	17-22	250-390
Spannmålsavrens	12	10	20	hög

^a uppgift saknas

Om kolhalten är lägre rymmer biokolet alltså mer av andra ämnen som t.ex. olika oorganiska (askbildande) ämnen som kalium, fosfor och kalcium. Dock är dessa ämnen inte fullt växttillgängliga utan bara delvis, beroende av kemiska bindningar och biokolets absorptionsförmåga [6].

5.1 Biokol till jordförbättring

Jordens beskaffenhet och det lokala klimatet påverkar förutsättningarna för odling och jordförbättring. Med jordförbättring avses en förändring (av jord) som bidrar till tex ökad tillväxt hos någon önskad gröda. Jordförbättring kan ske genom tillsats av biokol. Förutsättningarna för en växt beror på en mängd fysiska, kemiska och biologiska förutsättningar. Det är därför ofta svårt att peka ut vilka egenskaper hos biokolet som ger jordförbättringen i ett visst fall. Det finns dock ett antal egenskaper som rimligen bidrar. Nedan beskrivs dessa. Exempel på tillsats av biokol och dess effekt på grödan ges därefter. Härvid kan noteras att all tillsats av biokol inte ger jordförbättring.

5.1.1 Biokolets egenskaper

De egenskaper som bidrar till jordförbättringen, är biokolets katjonbyteskapacitet, eventuella näringsinnehåll, pH, porösa struktur och kolinnehåll.

Katjonbyteskapacitet är förmågan att ta upp eller avge positiva joner beroende på hur hög koncentrationen är i omgivningen av dessa ämnen. Koncentrationen av exempelvis kalium kan minska om växterna tar upp det. I den mån det finns kalium i biokolet så avger det då kalium. På grund av många mikroskopiska positioner med negativ laddning har biokol hög katjonbyteskapacitet [13]. Biokol av råvaror som har mycket näringsämnen såsom gräs och gödsel ger biokol med högre katjonbyteskapacitet än råvaror med mindre näringsämnen såsom trä [14]. Biokolets förmåga att ta upp och släppa ifrån sig näringsämnen alltefter behovet hos växterna innebär mindre förluster i form av näringsläckage [15]. Ökning av katjonbyteskapaciteten hos biokolet kan ske genom tillsatser före eller efter pyrolysen [15].

Näringsämnen kan indelas i makro- och mikronäringsämnen. I den förra kategorin ingår N, P, K samt, i denna framställning, Ca och Mg, och i den senare ingår resten av näringsämnena. Eftersom vissa typer av biokol innehåller N, P, K, Ca och Mg [16] innebär en tillsats av biokol att jorden kommer att innehålla mer av dessa ämnen [13] men växttillgängligheten kan variera stort i ett komplext samspel mellan jordegenskaper, gröda, lokalt klimat och biokol. Växttillgängligheten av N, P, K och Ca har i studier angivits till 1-17 %, 20-81 %, 52-100 % respektive 35-100 % av det totala innehållet av dessa ämnen i biokolet [17]. Pyrolystemperaturen påverkar växttillgängligheten, som exempelvis ökar för K och Mg upp till 800 °C [14]. Även koncentrationerna av de flesta makronäringsämnena ökar med pyrolystemperaturen men koncentrationen av N minskar [14, 15] genom bildning av huvudsakligen NH₃. Näringsinnehållet påverkas naturligtvis av råvarans innehåll. Ett lämpligt val av råvara eller mix av råvaror som utsätts för långsam pyrolys kan ge ett näringsrikt biokol [15]. Råvaran kan också behandlas med ett näringsrikt material före pyrolysen för att ge ett biokol med särskilda näringsämnen men behandlingen kan också påverka andra egenskaper. Alternativt kan biokolet behandlas med ett näringsrikt material [15]. Studier har visat att förekomsten av mikronäringsämnen som Fe, Cu, Zn, Mn och Co i biokol gör att tillskott av biokol potentiellt kunde användas för att öka dessa ämnens koncentrationer i jorden [14]. Tillverkningen av handelsgödsel är fossilberoende och innehåller ändliga råvaror, så i den mån biokol kan minska användningen av handelsgödsel är det en klimatvinst.

Tillsats av biokol till jord ökar dess pH [16], och eventuellt har det långtidseffekt [13]. Biokol kan vara ett förnybart alternativ för att höja pH i jorden istället för kalk som kommer från s.k. ändliga och begränsade resurser, då kalk inte förnyas under en människas livstid. Den elektriska ledningsförmågan ökar på grund av frisläppandet av basiska katjoner [15].

Biokolets porösa och porrika struktur gör att biokolstillsats även kan öka jordens porositet och minska dess densitet samt ändra dess textur, vilket i sin tur gynnar rötternas syretillförsel, vattenhållande förmåga och bearbetningsbarhet [13, 15]. Biokolets stora yta kan adsorbera organiskt material och näringsämnen vars nedbrytning därmed minskar [15], och samtidigt motverkas läckage till omgivande vattendrag.

Växters upptag av näringsämnen gynnas av – och är ibland helt beroende – av s.k. mykorrhiza som är en symbiotisk växelverkan mellan svamporganismer och växtrötter. Förekomsten av biokol i jorden kan påverka bildningen av mykorrhiza. Fyra mekanismer har framhållits [18]:

- Förändring av jordens fysiska och kemiska egenskaper, och därigenom näringstillgängligheten
- Indirekt effekt på mikrober som påverkar bildning av mykorrhiza
 - Förekomst av vissa kolinnehållande ämnen i biokolet utgör föda för dessa mikrober
- Effekt på signalsubstanser och allelokemikalier
 - Biokolets porösa struktur och funktionella grupper kan binda dessa ämnen.
- Förmåga att skydda svamphyfer mot svampätare
 - Biokolets porer är lagom stora för hyfer och vissa mikrober medan deras predatorer är för stora för att rymmas i porerna

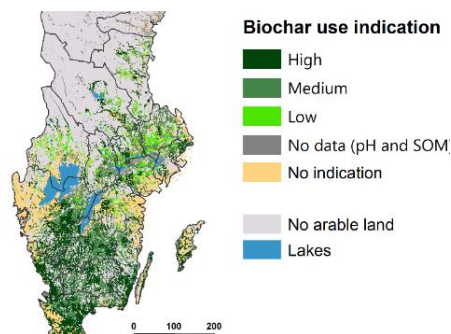
Biokol binder också tungmetaller i jorden så att risken minskar för upptag hos olika grödor.

Biokoltillsats till jord ökar naturligtvis kolinnehållet. Svenska jordar innehåller lite olika kolhalt beroende på hur djupt ned i jorden man mäter. Grödor med grunda rotsystem i jordar med lägre kolhalt borde gynnas av en tillförsel av biokol. Det kan vara ett komplement till odling av vissa grödor, såsom vallodling, i syfte att öka kolhalten i jorden.

5.1.2 Exempel på biokoltillsats

Tillsats av biokol kan öka katjonbyteskapaciteten hos jorden [16, 15] genom att göra näringsämnen tillgängliga [13]. Generellt är effekten av biokoltillsats större om jorden saknar det som biokolet har. Tropiska och subtropiska jordar har ofta låg bördighet på grund av snabb mineralisering av organiskt material, låg katjonbyteskapacitet och lågt näringsinnehåll. I sådana jordar har tillsats av biokol ökat katjonbyteskapaciteten på lång sikt [13]. Tillsats av biokol på runt 10 vikt-% har exempelvis visat sig öka katjonbyteskapaciteten med drygt fem gånger [13, 15]. Generellt har forskningen i Sverige visat att effekten av biokoltillsats i jordbruksmark är störst på lätta och sandiga jordar där vatten och näring lätt lakas ut samt den naturliga kolhalten i jorden är låg, eller i tyngre jordar med stor markpackning som luftas med hjälp av biokol. Figur 11 visar

på vilka jordar biokol skulle kunna göra nytta. Det framtida behovet av biokol är uppskattat till 500 000 ton per år [19].



Figur 11. Nyttan (low, medium eller high) av biokol på odlingsbar mark i Sverige [19].

När biokol ska användas som jordförbättringsmedel är det oftast viktigt att det laddas med växtnäring för att inte suga åt sig befintlig näring i jorden/substratet och därmed försämra odlingsresultatet kortsiktigt. Tillsats av näringsberikat biokol har givit ökad mikrobiell aktivitet och skörd [20]. Tillsats av biokol upp till 11 ton/ha har givit ökad skörd på jord med samtidig gödsling av NPK [13].

I kontrollerade försök med odling av potatis utan biokol och gödsling, med biokol, med NPK-gödsling och med biokol+NPK-gödsling, blev effekten av biokolet en ökning av mikro- och makronäringsämnen, organiskt material, pH och katjonbyteskapaciteten i jorden [21]. Inte helt oväntat gav dock kombinationen Biokol+NPK-gödsling störst skörd. Försöken visar dock biokolets effekt i de flesta av parametrarna nämnda under 5.1.1.

Biokol av agropelletts från Skånefrö (Pyreg) och granflis från Hjelmsäter (Biomaccon) har studerats med det primära syftet att bestämma hur lång tid biokolet måste vara i kontakt med en näringslösning innehållande ammonium, kalium, och fosfor för att bli laddat med denna näring. Studiens slutsats blev att det tar minst 15 timmar (helst 48 timmar) innan biokolet är laddat med näringsämnena [22].

Biokolets förmåga att absorbera näringsämnena beror på tillverkningsmetod (tid och temperatur) och råmaterial. En högre pyrolystemperatur minskar de negativt laddade jonerna på biokolets yta vilket kan motverka absorptionsförmågan. Vidare är frågan hur kolets åldrande påverkar förmågan att binda näring, vilken borde förbättras då påverkan av syre ger fler negativt laddade joner. Om biokolet laddas med organisk näring innehållande mikrober kan detta ge en ökad stimulans i odlingsjorden och vissa studier verkar visa att odlingsresultatet blir bättre med biokol som laddats med organisk istället för kemisk växtnäring [23].

5.2 Biokol i gödsel och biogasanläggningar

Biogas tillverkas genom så kallad anaerob fermentering – ofta kallat rötning – av organiskt material. Det innebär att bakterier bryter ner stora organiska molekyler i syrefri miljö under bildandet av huvudsakligen metan och koldioxid. Typiska material är slamliknande restprodukter från näringsliv, jordbruk och samhället såsom matavfall, gödsel respektive avloppsslam. Jämfört med termokemiska processer är biogasframställning långsam vilket medför att uppehållstiden måste vara så lång att

bakterierna hinner bryta ner makromolekylerna. Det gör i sin tur att volymerna som skall hanteras blir ganska stora. Att snabba på processen är därför önskvärt. Vidare kan bakterierna hämmas av vissa oönskade ämnen såsom ammoniak vilket gör gasproduktionen långsammare. Att motverka denna effekt är också önskvärt. Biogas produceras i fyra steg:

- Hydrolys: Nedbrytning av komplexa makromolekyler till monomerer
- Acidogenes: Omvandling av lösliga monomerer till volatila fettsyror (VFA) och alkoholer
- Acetogenes: Nedbrytning av VFA till ättiksyra och väte
- Metanogenes: Bildning av metan av ättiksyra och väte

Bakterier, specialiserade på respektive steg, är verksamma i biogasprocessen.

Biokolet har en rad egenskaper som kan verka gynnsamt på biogasproduktionen:

- Näringsinnehåll
- Stor specifik yta och porös struktur
- pH-buffrande förmåga och lätt alkalinitet
- Bindande av metaller och ammoniak

Ofta innehåller det material som går in i biogasprocessen tillräckligt med makronäringsämnen för att bakterierna skall kunna verka. Ibland uppstår dock brist på vissa spårämnen som kan tillföras med ett lämpligt biokol [24]. Biokol kan vara mycket olika – främst beroende på ursprungsmaterialet – varför biokolet måste väljas med omsorg så att det innehåller rätt spårämnen i tillgänglig form.

Biokol har ofta en relativt stor yta på grund av dess porösa struktur. Ytan mäts med tekniker som ger ganska olika resultat på samma prov och spridningen är stor mellan olika material, varför olika ytmått inte skall jämföras utan försiktighet [25]. Ytan är beroende på vilket material biokolet är gjort av och ökar med ökande pyrolystemperatur. Vanligen är ytaarean 50-400 m²/g [25]. Ytans storlek och innehåll av kemiskt aktiva områden är avgörande för biokolets funktion. Det finns ett starkt samband mellan volymen av mikroporer och yta men i biogassammanhang är det makroporerna (0,05-1000 µm) [25] som är viktigast eftersom bakterierna får plats i dem [16]. Bakterierna kan fästa på ytan i makroporerna och bygga upp en biofilm [26]. Detta gör att förlusten av bakterier minskar och att den viktiga elektronövergången mellan vissa bakterier accelererar [24], vilket sammantaget ökar biogasproduktionen.

Det mesta av råvarans askbildande ämnen återfinns i biokolet efter pyrolysen. Dessa är ofta lätt basiska och har en pH-buffrande effekt på materialet i biogasprocessen [26], vilket kan minska syrastressen för bakterierna [27].

Biokolet har förmåga att binda toxiska metaller och ammoniak genom elektrostatiske och andra krafter som verkar mellan kolet och ämnena i fråga. Ammoniakens hämmande effekt på bakterier kan dessutom mildras genom ovan nämnda bildning av biofilm och elektronövergång [20].

Biokol av vetestrå, trä, risskal och kycklinggödsel har använts med positivt resultat vid biogasproduktion [24]. Exempelvis biokol av lövträd ökade biogasproduktionen med det dubbla vid en tillsats på 10 g/l. Biokol av valnötsskal ökade biogasproduktionen från samrötning av kogödsel och strå med 38-88 % [22]. Tillsats av biokol av strå, majscolvar,

trä, kokosnötskal och avloppsslam har ökat biogasutbytet vid tillsats till kväverika digestat, vilket tyder på förmåga att mildra ammoniakinhibering [24].

5.3 Biokol i djurfoder

Biokol som tillsats i foder har traditionellt använts hos husdjuren tex vid olika magåkommor. Även vilda djur äter förkolnat material i naturen som självmedicinering [29]. Människor har också sedan urminnes tider ätit kol mot förgiftning och numera rekommenderas aktivt kol, (en förädlad form av biokol med ännu större porositet/absorptionsförmåga) vid förgiftning.

Det finns både gammal tradition och ny forskning om olika nyttor med att använda biokol som tillsats i djurfoder. Biokolprodukter som ska säljas för användning i djurfoder måste märkas/kallas Vegetabiliskt kol eller Träkol, då dessa två benämningar är godkända och finns i EU:s lista för foderråvaror.

Orsaken till biokolets positiva egenskaper som ingrediens i djurfoder är potentiellt dess

- förmåga att binda mykotoxiner i fodret
- förmåga att reglera växtgifter
- affinitet till föroreningar
- förbättring av den mikrobiella populationen i mag- och tarmkanalen

2-8 % biokol i djurfoder har givit ökad tillväxt hos höns, grisar och idisslare [30]. Hönsen lade fler ägg med bättre kvalitet. Biokolet anses vara ett alternativ till antibiotika.

Den samlade kunskapen om biokol i djurfoder, dokumenterad i 112 vetenskapliga publikationer, har sammanställts [31]. Studien visade att i de flesta studierna visades positiva effekter på olika parametrar som adsorption av toxiner, matsmältning, blodvärden, fodrets effektivitet, köttkvalitet och utsläpp av växthusgaser.

Även i Sverige har intresset för biokol i djurfoder vuxit senaste åren. Hos SLU pågår forskning om hur biokol kan bidra till olika positiva effekter på mjölkgårdar [32], tex vid ensilering för förbättrat fodervärde och säkrare ensilering, som fodertillsats för att minska bildandet av metan och ammoniak i våmmen och även för att få torrare gödsel och renare djur. Gödsel från djur som ätit biokol kan också minska förlust (avdunstning) av växtnäring från flytgödsel under lagring.

Ett annat projekt hos SLU studerar hur kycklingar påverkas genom att få biokol i fodret [33]. Inledningsvis ska effekter studeras för olika inblandningsnivåer av biokol på tillväxt, FCR, immunstatus, vitaminupptag och dominerande bakterier i kycklingarnas mag-tarmkanal. Näringsförluster via gasavgång från gödsel och biokolets påverkan på parasiter ingår också i studien.

6 Sammanfattande diskussion

Sammanfattningsvis kan konstateras att biokol tillför flera positiva egenskaper för flertalet användningsområden. Internationellt finns många studier och fältförsök gjorda gällande olika typer av biokol och dess effekter och funktion i jord och växtodling. Dock är underlaget för svenska studier mer begränsat. Genom kunskap om olika jordars beskaffenhet, lokalt klimat, egenskaper för olika typer av biokol och aktuella grödors behov kan odlare få en bild över i vilka fall en tillsats av biokol i odlingsjorden kan göra nytta. Framför allt grödor med grundare rotsystem på lättare jordar kan vara betjänta av biokol men även tyngre jordar med markpackningsproblem har visat goda resultat med en tillsats av biokol. Vidare är kunskapen om kombinationen av biokol och gödsel/tillförd växtnäring viktig. Eftersom det är ett flertal fysikaliska, kemiska och biologiska parametrar som samverkar är alla effekter av att tillföra biokol för olika ändamål fortfarande inte helt klarlagt. Det finns därför behov av fler studier som kan följas upp under långa tidsserier. Frågan om kompensation för kolinlagring är högaktuell men har inte prioriterats via jordbruksstöden i nuvarande programperiod (CAP). Däremot håller den frivilliga marknaden för kolkrediter/utsläppsrätter på att utvecklas via flera olika handelsplatser och aktörer både nationellt och internationellt.

Studien visar att det finns ett behov av ett ökat utbyte av kunskap anläggningsägare emellan och mellan forskning och lantbrukare vilket blev tydligt vid samtal och intervjuer där många frågor kom upp och olika uppfattningar framkom. Intresset för vilka teknikleverantörer som finns internationellt och tillgängliga i Sverige är stort. Ännu finns få märken av biokolpannor att välja mellan. Investeringsstödet Klimatklivet har varit betydelsefullt för att investeringar på lantbruken ska kunna genomföras. De pionjärer som ofta varit involverade i ansökningar om investeringsstöd och visning, förmedling eller försäljning av anläggningar och biokol har haft stor betydelse för utvecklingen.

7 Referenser

1. Växtbäddar i Stockholm stad – en handbok, 2017.
2. Isacson, M. Träkol – bergsbrukets oundgängliga och konfliktfyllda energiresurs, 2018.
3. Liu, W.-J. et al. Chemical Reviews 115, 12251-12285, 2015.
4. <https://www.youtube.com/watch?v=eOHqgHms1Ic>
5. <https://againity.se/etc-solpark-med-vaxthus/>
6. EBC (2012-2022) 'European Biochar Certificate - Guidelines for a Sustainable Production of Biochar.' Carbon Standards International (CSI), Frick, Switzerland. (<http://european-biochar.org>). Version 10.2 from 8th Dec 2022.
7. <https://www.carbonfuture.com/>

8. Celandier, F., Söderqvist, H. Miljönyttomodell Kartläggning av systemeffekter av biokol i lantbruket, Hushållningssällskapet, 2021.
9. Förslag för ökade kolsänkor i skogs- och jordbrukssektorn, ISBN 978-91-620-7059-5, Natuvårdsverket, Skogsstyrelsen, Jordbruksverket, Rapport 7059, augusti 2022.
10. Att sälja och tillverka biokol. Samlade erfarenheter och reflektioner i samband med start av biokolanläggning, Telge Återvinning, odaterad.
11. <https://www.skanska.se/vart-erbjudande/produkter-och-tjanster/biokol/>
12. Strömberg, B., Herstad Svärd, S. Bränslehandboken, Värmeforsk, Rapport 1234, 2012.
13. Manyà, J.J. Environmental Science & Technology 46, 7939-7954, 2012.
14. Ippolito, J.A. et al. Biochar 2, 421-438, 2020.
15. Ornelle, C. et al. Heliyon, <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e08473>.
16. Ahmad, J. et al. Environmental Technology & Innovation 21, 101310, 2021.
17. Camps-Arbestain, M et al. in: Biochar for Environmental Management, Routledge, ed.: Lehmann, J., Joseph, S. 2015.
18. Warnock, D. et al. Plant Soil 300, 9-20, 2007.
19. Osslund, F. examensarbete, Kungliga Tekniska Högskolan, 2020.
20. Ghodake G.S. et al. Journal of Cleaner Production 297, 126645, 2021.
21. Farooque, A.A. et al. Arabian Journal of Geosciences 13, 336, 2020.
22. Modin, O. Kolsänksrätter med biokol Laddning av biokol: adsorption av ammonium, kalium och fosfat, Hushållningssällskapet, 2021.
23. Svensson, A. Biokol i substratblandningar, Självständigt arbete, Sveriges lantbruksuniversitet, 2022.
24. Cai, Y. et al. Bioresource Technology 351, 126924, 2022.
25. Weber K., Quicker, P. Fuel 217, 240-261, 2018.
26. Saif, I. et al. Journal of Environmental Chemical Engineering 10, 107960, 2022.
27. Kumar, M. et al. Journal of Cleaner Production 305, 127143, 2021.
28. Ngo, T. et al. Fuel 316, 123374, 2022.
29. <https://www.sciencedaily.com/releases/1997/09/970901072246.htm>
30. Lao, E.J., Mbega, E.R. Malaysian Journal of Sustainable Agriculture 4, 86-93, 2020.
31. Schmidt, H.-P. et al. PeerJ 7:e7373 DOI 10.7717/peerj.7373, 2019
32. <https://www.slu.se/centrumbildningar-och-projekt/ekoforsk/projekt-2020-2022/biokol/>

33. https://www.lantbruksforskning.se/projektbanken/biokol-som-fodertillsats-till-slaktkycklingar/?category=&search=biokol&pub_year=&page=1&app_year=

Intervjuade personer

Alviksgården	Peter Csirmaz	2023-03-01
Dille Fastighet AB	Patrik Holmberg, Elias Eriksson	2023-02-17
Ekobalans Fenix AB	Gunnar Thelin	2023-02-17
Essunga Plantskola	Pannskötare Joakim Arvidsson	2023-02-13
ETC Katrineholm	Johan Ehrenberg	2023-03-01
Fräkentorp	Tomas von Heideken	2023-02-21
Hasta Gård	Stefan Schörling	2022-12-22
H Jönsson Enskild Firma	Henrik Jönsson	2023-03-13
Hjelsäter	Edvard Hamilton	2023-03-22
Högestad Christinehof		
Fideikommiss AB	Jessica Reslow	2023-02-22
Kiplingeberg	Jakob von Engeström	2023-01-10
Klevs Gård	Johan Christensson	2023-03-13
Krageholm	Christer Pålsson	2023-02-09
Lindeborgs	Carl Lindeborg	2023-02-22
Lucrum Tech AB & EM Biovärme	Erik Öhlund	2023-02-22
M Areskoug Enskild Firma	Mats Areskoug	2023-02-23
Nuntorp	Richard Johansson	2023-02-23
Salsta Gård	Fredrik Wedén	2023-02-17
Skanska	Peter Lundmark, Emma Viklund	2022-10-05
Skattegården	Anders Andersson	2023-02-15
Skånefrö	S-O Bernhoff, C-G Henriksson	2023-03-21
Skäggebols Gård	Alexander Hebbe	2023-02-22
Slätte Gård	Emil Olsson	2023-02-02
Spetsmåla Gård	Carina & Leif Larsén	2023-02-15
Stockholm Exergi & VA	Åsa Dalén	2023-02-21
Telge Återvinning	Johan Fagerlund	2023-02-22
Vackstanäsgymnasiet	Sofia Isaksson	2022-02-01
Veg Tech	Lina Pettersson	2023-03-07
Vindelkol	Per Almersson	2023-03-01
Ödevata	Magnus Axelsson	2022-03-07

Bilagor Analysrapporter på råvara

Bilaga 1 Analysrapporter på råvaran agropelletts och biokol



RAPPORT

utfärdad av ackrediterat provningslaboratorium

Kontaktperson RISE
Mathias Berglund
Kemi och material
010-516 56 69
mathias.berglund@ri.se

Datum
2020-05-20

Beteckning
9P09416-02-01

Sida
1 (4)



RISE Bioprocesser och miljötjänster
Susanne Paulrud

Analys av bränsle

(1 bilaga)

Föremål

Två prover insända av uppdragsgivaren.

Provmärkning samt provmängd:

1. Träpellets, ca 1kg
2. Biokol bioagropelletts (25%), ca 0,2kg
(11.26 13.13 14.47 15.58)

Förpackning:
Ankom KMk:
Provningsdatum:

Plastpåsar
2020-04-03
Vecka 15-17, 2020.

Uppdrag

Bestämning av pH, fukt, aska, kol, väte, kväve, syre, svavel, klor, huvudelement, spårelement, kalorimetriskt värmevärde samt beräkning av effektivt värmevärde.

Metod

Total fukt:	SS-EN-ISO 18134-2
Aska:	SS-EN-ISO 18122
Flyktiga ämnen:	mod. SS-EN-ISO 18123*
Svavel:	SS-EN-ISO 16994 (svavelanalysator)
Klor:	SS-EN-ISO 16994 (jonkromatografi)
Kol, väte, kväve:	SS-EN-ISO 16948
Syre:	Beräknat som differens*
Värmevärde:	SS-EN-ISO 18125
Huvudelement:	
- Al, Si, Fe, Mn, Ti, Mg, Ca, Ba, Na, K, P	mod. ASTM D 3682 (ICP-OES)
Spårelement:	
- As, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, V, Zn, Mo	mod. ASTM D 3683 (ICP-OES)
pH (CaCl ₂):	Utfördes enligt SS-EN 15933 kapitel 8.1*
Kviksilver:	EPA 7473

*Ej ackrediterad metod.

Metoderna är ackrediterade för fasta biobränslen.

RISE Research Institutes of Sweden AB

Postadress
Box 857
501 15 BORÅS

Besöksadress
Brinellgatan 4
504 62 BORÅS

Tfn / Fax / E-post
010-516 50 00
033-13 55 02
info@ri.se

Denna rapport får endast återges i sin helhet, om inte utfärdande laboratorium i förväg skriftligen godkänt annat.



Ackred.nr. 1002
Provning
ISO/IEC 17025

Resultat

På prov i inlämningstillstånd	Träpellets	Biokol
Total fukt, vikt-%	10,5	23,1
Aska, vikt-%	6,5	19,5
Klor, Cl, vikt-%	0,10	0,16
Svavel, S, vikt-%	0,14	0,12
Kol, C, vikt-%	40,3	52,3
Väte, H, vikt-%	6,6	3,2
Kväve, N, vikt-%	1,5	1,5
pH (CaCl ₂)	6,5	9,7
Kalorimetriskt värmevärde vid konstant volym, MJ/kg	16,17	19,19
Effektivt värmevärde vid konstant tryck, MJ/kg	14,73	18,49
På torrt prov		
Aska, vikt-%	7,2	25,4
Flyktiga ämnen, vikt-%	76,0	10,7
Klor, Cl, vikt-%	0,12	0,21
Svavel, S, vikt-%	0,16	0,16
Kol, C, vikt-%	45,0	68,1
TOC, vikt-%	-	67,8
Väte, H, vikt-%	6,1	0,8
Kväve, N, vikt-%	1,7	1,9
Syre, O, (diff) vikt-%	40	3
Kvot O/C _{org} , mol/mol	-	0,04
Kvot H/C _{org} , mol/mol	-	0,14
Kalorimetriskt värmevärde vid konstant volym, MJ/kg	18,07	24,95
Effektivt värmevärde vid konstant tryck, MJ/kg	16,74	24,78

På torrt prov

	Träpellets	Biokol
Aluminium, Al, vikt-%	0,057	0,25
Kisel, Si, vikt-%	1,9	7,6
Järn, Fe, vikt-%	0,039	0,18
Titan, Ti, vikt-%	<0,005	0,02
Mangan, Mn, vikt-%	0,007	0,03
Magnesium, Mg, vikt-%	0,15	0,57
Kalcium, Ca, vikt-%	0,29	1,2
Barium, Ba, vikt-%	<0,005	<0,02
Natrium, Na, vikt-%	0,041	0,17
Kalium, K, vikt-%	0,78	3,0
Fosfor, P, vikt-%	0,26	1,0
Arsenik, As, mg/kg	<2	<6
Kadmium, Cd, mg/kg	<0,1	<0,3
Kobolt, Co, mg/kg	<0,3	0,8
Krom, Cr, mg/kg	1	10
Koppar, Cu, mg/kg	5	19
Molybden, Mo, mg/kg	0,7	<3
Nickel, Ni, mg/kg	1	9
Bly, Pb, mg/kg	0,6	3
Vanadin, V, mg/kg	<1	<3
Zink, Zn, mg/kg	39	140
Kvicksilver, Hg, mg/kg	0,02	0,34

På prov inaskat vid 550°C

	Träpellets	Biokol
Aluminium, Al, vikt-%	0,80	0,97
Kisel, Si, vikt-%	27	29
Järn, Fe, vikt-%	0,55	0,68
Titan, Ti, vikt-%	<0,05	0,06
Mangan, Mn, vikt-%	0,10	0,10
Magnesium, Mg, vikt-%	2,1	2,2
Kalcium, Ca, vikt-%	4,1	4,7
Barium, Ba, vikt-%	<0,05	<0,05
Natrium, Na, vikt-%	0,58	0,65
Kalium, K, vikt-%	11	11
Fosfor, P, vikt-%	3,7	3,9
Arsenik, As, mg/kg	<20	<20
Kadmium, Cd, mg/kg	1	<1
Kobolt, Co, mg/kg	<3	<3
Krom, Cr, mg/kg	17	39
Koppar, Cu, mg/kg	69	72
Molybden, Mo, mg/kg	<10	<10
Nickel, Ni, mg/kg	15	36
Bly, Pb, mg/kg	9	11
Vanadin, V, mg/kg	<10	<10
Zink, Zn, mg/kg	550	540

Resultaten gäller enbart för de objekt som genomgått provning.

RISE Research Institutes of Sweden AB
Kemi och material - Kemi

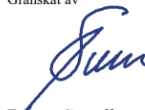
Utfört av



Signed by: Mathias Berglund
Reason: Jag är författare till det här dokumentet
Date & Time: 2020-05-20 11:57:52 +02:00

Mathias Berglund

Granskat av



Signed by: Peter Sundberg (KMK)
Reason: Jag har granskat det här dokumentet
Date & Time: 2020-05-25 09:02:38 +02:00

Peter Sundberg

Bilaga

Mätosäkerhet

Bilaga 2. Analysrapporter biokol från Hjelmsäter



RAPPORT

utfärdad av ackrediterat provningslaboratorium

Kontaktperson RISE

Mathias Berglund
Material och produktion
010-516 56 69
mathias.berglund@ri.se

Datum

2021-01-29

Beteckning

P106696-01

Sida

1 (4)



Provning

RISE Bioprocesser och miljötjänster
Susanne Paulrud

Analys av biokol

(1 bilaga)

Föremål

Två prover insända av uppdragsgivaren.

Provmärkning samt provmängd:

3. Biokol prov 1 Hjelmsäter, ca 4 liter
2020-11-04 10.25-12.40

4. Biokol prov 2 Hjelmsäter, ca 4 liter
2020-11-04 14.30-16.30

Förpackning:

Plasthinkar med lock

Ankom KMK:

2020-11-23

Provningsdatum:

Vecka 49-52, 2020.

Uppdrag

Bestämning av pH, fukt, aska, kol, väte, kväve, syre, svavel, klor, huvudelement, spårelement, kalorimetriskt värmevärde samt beräkning av effektivt värmevärde.

Metod

Total fukt:

SS-EN-ISO 18134-2

Aska:

SS-EN-ISO 18122

Flyktiga ämnen:

mod. SS-EN-ISO 18123*

Svavel:

SS-EN-ISO 16994 (svavelanalysator)

Klor:

SS-EN-ISO 16994 (jonkromatografi)

Kol, väte, kväve:

SS-EN-ISO 16948

Syre:

Beräknat som differens*

Värmevärde:

SS-EN-ISO 18125

Huvudelement:

- Al, Si, Fe, Mn, Ti, Mg, Ca, Ba,
Na, K, P

mod. ASTM D 3682 (ICP-OES)

Spårelement:

- As, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, V, Zn, Mo

mod. ASTM D 3683 (ICP-OES)

pH (CaCl₂):

Utfördes enligt SS-EN 15933 kapitel 8.1*

Kviksilver:

EPA 7473

TOC:

SS-EN 15936

*Ej ackrediterad metod.

Metoderna är ackrediterade för fasta biobränslen.

RISE Research Institutes of Sweden AB

Postadress

Box 857
501 15 BORÅS

Besöksadress

Brindlgatan 4
504 62 BORÅS

Telefon / Fax / E-post

010-516 50 00
033-13 55 02
info@ri.se

Denna rapport får endast återges i sin helhet, om inte
utfärdande laboratorium i förväg skriftligen godkänt annat.



Ackred.nr. 1002
Provning
ISO/IEC 17025

Resultat

På prov i inlämningsstillstånd	Biokol prov 1	Biokol prov 2
Total fukt, vikt-%	1,8	2,0
Aska, vikt-%	2,2	2,4
Klor, Cl, vikt-%	0,02	0,02
Svavel, S, vikt-%	<0,01	<0,01
Kol, C, vikt-%	92	92
Väte, H, vikt-%	1,1	0,9
Kväve, N, vikt-%	0,26	0,26
pH (CaCl ₂)	8,6	8,7
Kalorimetriskt värmevärde vid konstant volym, MJ/kg	33,46	33,25
Effektivt värmevärde vid konstant tryck, MJ/kg	33,22	33,07
På torrt prov		
Aska, vikt-%	2,3	2,4
Flyktiga ämnen, vikt-%	7,7	8,1
Klor, Cl, vikt-%	0,02	0,02
Svavel, S, vikt-%	<0,01	<0,01
Kol, C, vikt-%	94	94
TOC, vikt-%	94	94
Väte, H, vikt-%	0,9	0,6
Kväve, N, vikt-%	0,27	0,27
Syre, O, (diff) vikt-%	2	2
Kvot O/C _{org} , mol/mol	0,02	0,02
Kvot H/C _{org} , mol/mol	0,11	0,08
Kalorimetriskt värmevärde vid konstant volym, MJ/kg	34,06	33,92
Effektivt värmevärde vid konstant tryck, MJ/kg	33,87	33,78

På torrt prov

	Biokol prov 1	Biokol prov 2
Aluminium, Al, vikt-%	0,017	0,020
Kisel, Si, vikt-%	0,034	0,035
Järn, Fe, vikt-%	0,023	0,028
Titan, Ti, vikt-%	<0,002	<0,002
Mangan, Mn, vikt-%	0,043	0,040
Magnesium, Mg, vikt-%	0,070	0,071
Kalcium, Ca, vikt-%	0,54	0,57
Barium, Ba, vikt-%	0,010	0,010
Natrium, Na, vikt-%	0,016	0,018
Kalium, K, vikt-%	0,26	0,27
Fosfor, P, vikt-%	0,025	0,025
Arsenik, As, mg/kg	<0,5	<0,5
Kadmium, Cd, mg/kg	<0,1	<0,1
Kobolt, Co, mg/kg	0,7	0,69
Krom, Cr, mg/kg	35	38
Koppar, Cu, mg/kg	9	12
Molybden, Mo, mg/kg	1	3
Nickel, Ni, mg/kg	22	24
Bly, Pb, mg/kg	<0,5	0,28
Vanadin, V, mg/kg	<0,5	<0,5
Zink, Zn, mg/kg	26	24
Kvicksilver, Hg, mg/kg	<0,02	<0,02

På prov inaskat vid 550°C

	Biokol prov 1	Biokol prov 2
Aluminium, Al, vikt-%	0,73	0,79
Kisel, Si, vikt-%	1,4	1,4
Järn, Fe, vikt-%	0,99	1,1
Titan, Ti, vikt-%	<0,05	<0,05
Mangan, Mn, vikt-%	1,9	1,6
Magnesium, Mg, vikt-%	3,0	2,9
Kalcium, Ca, vikt-%	23	23
Barium, Ba, vikt-%	0,43	0,41
Natrium, Na, vikt-%	0,69	0,73
Kalium, K, vikt-%	11	11
Fosfor, P, vikt-%	1,1	1,0
Arsenik, As, mg/kg	<20	<20
Kadmium, Cd, mg/kg	3	3
Kobolt, Co, mg/kg	31	28
Krom, Cr, mg/kg	1500	1500
Koppar, Cu, mg/kg	390	470
Molybden, Mo, mg/kg	61	110
Nickel, Ni, mg/kg	930	950
Bly, Pb, mg/kg	<10	11
Vanadin, V, mg/kg	<10	<10
Zink, Zn, mg/kg	1100	950

Resultaten gäller enbart för de objekt som genomgått provning.

RISE Research Institutes of Sweden AB
Material och produktion – Kemi, biomaterial och textil

Utfört av



Mathias Berglund

Signed by: Mathias Berglund
Position: Analytiker (Kemi och biomaterial)
Date & Time: 2021-01-29 13:55:35 (+01:00)

Granskat av



Peter Sundberg

Signed by: Peter Sundberg (KEMI)
Position: Analytiker (Kemi och biomaterial)
Date & Time: 2021-01-29 13:41:07 (+01:00)

Bilaga

Mätosäkerhet

Kontaktperson RISE:
Richard Sott
Kemi, Biomaterial och Textil
010-516 57 89
richard.sott@ri.se

Datum
2021-01-29

Beteckning
P106696-02

Sida
1 (2)

RISE
Bioprocesser och miljötjänster
Susanne Paulrud

Bestämning av halt PAH i biokol

Provmärkning: 3. Biokol prov 1 Hälmsäter, ca 4 liter 2020-11-04 10.25-12.40 och
4. Biokol prov 2 Hälmsäter, ca 4 liter 2020-11-04 14.30-16.30
Ankom RISE Januari 2021
Testdatum: 2021-01-14 till 2021-01-19

Metod

Provet och extraherades i toluen genom återloppskokning i en Soxhlet-extraktor. Extrakten analyserades med GC-MS och koncentrationerna bestämdes med 16 PAH som externa standarder och naftalen-d, krysen-d och benso[a]pyren-d som internstandarder.

Resultat

Resultaten ges i följande tabell.

PAH	3. Biokol prov 1 Hälmsäter (mg/kg)	4. Biokol prov 2 Hälmsäter (mg/kg)
Naphtalene	1,9	1,9
Acenaphthylene	<0,5	<0,5
Acenaphthene	<0,5	<0,5
Fluorene	<0,5	1,5
Phenanthrene	0,7	2,0
Anthracene	1,1	3,9
Fluoranthene	<0,5	<0,5
Pyrene	<0,5	<0,5
Benso a anthracene	<0,5	<0,5
Chrysene	<0,5	<0,5
Benso b,j fluoranthene	<0,5	<0,5
Benso k fluoranthene	<0,5	<0,5
Benso a pyrene	<0,5	<0,5
Indeno 123 cd pyrene	<0,5	<0,5
Dibenso ah anthracene	<0,5	<0,5
Benso ghi perylene	<0,5	<0,5
Summa 16 PAH	3,7	9,3

RISE Research Institutes of Sweden AB

Postadress
Box 857
501 15 BORÅS

Besöksadress
Brinellgatan 4
504 62 BORÅS

Telefon/Fax/E-post
010-516 50 00
033-13 55 02
info@ri.se

Detta dokument får endast återges i sin helhet, om inte RISE
i förväg skriftligen godkännt annat.

RISE Research Institutes of Sweden AB
Kemi Biomaterial och Textil

Utfört av:

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Richard Sott'.

Signed by: Richard Sott
Person: Ang är förbehålls för det här dokumentet
Date & Time: 2021-01-29 15:22:40 +01:00

Richard Sott



RAPPORT

utfärdad av ackrediterat provningslaboratorium

Kontaktperson RISE

Mathias Berglund
Material och produktion
010-516 56 69
mathias.berglund@ri.se

Datum

2021-06-02

Beteckning

P106696-02

Sida

1 (4)



Provning

RISE Bioprocesser och miljötjänster
Susanne Paulrud

Analys av biokol

(1 bilaga)

Föremål

Två prover insända av uppdragsgivaren.

Provmärkning samt provmängd:

5. Biokol Veg Tech 21-04-14 10:15-10:50
6. Biokol , Veg Tech 21-04-14 11:15-11:45

Provmängd:

Ca 4 liter per prov

Förpackning:

Plasthinkar med lock

Ankom KMK:

2021-04-23

Provningsdatum:

Vecka 18-22, 2021.

Uppdrag

Bestämning av pH, fukt, aska, kol, väte, kväve, syre, svavel, klor, huvudelement, spårelement, kalorimetriskt värmevärde samt beräkning av effektivt värmevärde.

Metod

Total fukt:

SS-EN-ISO 18134-2

Aska:

SS-EN-ISO 18122

Flyktiga ämnen:

mod. SS-EN-ISO 18123*

Svavel:

SS-EN-ISO 16994 (svavelanalysator)

Klor:

SS-EN-ISO 16994 (jonkromatografi)

Kol, väte, kväve:

SS-EN-ISO 16948

Syre:

Beräknat som differens*

Värmevärde:

SS-EN-ISO 18125

Huvudelement:

- Al, Si, Fe, Mn, Ti, Mg, Ca, Ba,
Na, K, P

mod. ASTM D 3682 (ICP-OES)

Spårelement:

- As, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, V, Zn, Mo

mod. ASTM D 3683 (ICP-OES)

pH (CaCl₂):

Utfördes enligt SS-EN 15933 kapitel 8.1*

Kviksilver:

EPA 7473

TOC:

SS-EN 15936

*Ej ackrediterad metod.

Metoderna är ackrediterade för fasta biobränslen.

RISE Research Institutes of Sweden AB

Postadress

Box 857
501 15 BORÅS

Besöksadress

Brinellgatan 4
504 62 BORÅS

Tfn / Fax / E-post

010-516 50 00
033-13 55 02
info@ri.se

Denna rapport får endast återges i sin helhet, om inte
utfärdande laboratorium i förväg skriftligen godkänt annat.



Ackred.nr. 1002
Provning
ISO/IEC 17025

Resultat

På prov i inlämningstillstånd	Biokol prov 5	Biokol prov 6
Total fukt, vikt-%	1,1	1,0
Aska, vikt-%	2,5	2,4
Klor, Cl, vikt-%	<0,01	<0,01
Svavel, S, vikt-%	0,01	0,01
Kol, C, vikt-%	92,6	92,8
Väte, H, vikt-%	0,7	0,4
Kväve, N, vikt-%	0,36	0,37
pH (CaCl ₂)	8,2	8,3
Kalorimetriskt värmevärde vid konstant volym, MJ/kg	33,52	33,64
Effektivt värmevärde vid konstant tryck, MJ/kg	33,36	33,54
På torrt prov		
Aska, vikt-%	2,6	2,5
Flyktiga ämnen, vikt-%	7,5	8,1
Klor, Cl, vikt-%	<0,01	<0,01
Svavel, S, vikt-%	0,01	0,01
Kol, C, vikt-%	93,6	93,7
TOC, vikt-%	93,5	93,6
Väte, H, vikt-%	0,6	0,3
Kväve, N, vikt-%	0,36	0,38
Syre, O, (diff) vikt-%	2,8	3,1
Kvot O/C _{org} , mol/mol	0,02	0,03
Kvot H/C _{org} , mol/mol	0,08	0,04
Kalorimetriskt värmevärde vid konstant volym, MJ/kg	33,90	33,97
Effektivt värmevärde vid konstant tryck, MJ/kg	33,77	33,90

På torrt prov

	Biokol prov 5	Biokol prov 6
Aluminium, Al, vikt-%	0,024	0,023
Kisel, Si, vikt-%	0,082	0,082
Järn, Fe, vikt-%	0,030	0,026
Titan, Ti, vikt-%	0,002	0,001
Mangan, Mn, vikt-%	0,069	0,069
Magnesium, Mg, vikt-%	0,086	0,087
Kalcium, Ca, vikt-%	0,63	0,63
Barium, Ba, vikt-%	0,011	0,011
Natrium, Na, vikt-%	0,012	0,010
Kalium, K, vikt-%	0,21	0,21
Fosfor, P, vikt-%	0,037	0,037
Arsenik, As, mg/kg	<0,6	<0,6
Kadmium, Cd, mg/kg	<0,1	<0,1
Kobolt, Co, mg/kg	0,5	0,4
Krom, Cr, mg/kg	4	4
Koppar, Cu, mg/kg	10	4
Molybden, Mo, mg/kg	<0,5	<0,5
Nickel, Ni, mg/kg	3	2
Bly, Pb, mg/kg	2	0,3
Vanadin, V, mg/kg	<0,3	<0,3
Zink, Zn, mg/kg	38	34
Kvicksilver, Hg, mg/kg	0,05	0,02

På prov inaskat vid 550°C

	Biokol prov 5	Biokol prov 6
Aluminium, Al, vikt-%	0,97	0,90
Kisel, Si, vikt-%	3,3	3,3
Järn, Fe, vikt-%	1,2	1,0
Titan, Ti, vikt-%	0,07	0,06
Mangan, Mn, vikt-%	2,8	2,8
Magnesium, Mg, vikt-%	3,4	3,5
Kalcium, Ca, vikt-%	25	25
Barium, Ba, vikt-%	0,42	0,42
Natrium, Na, vikt-%	0,47	0,41
Kalium, K, vikt-%	8,2	8,3
Fosfor, P, vikt-%	1,5	1,5
Arsenik, As, mg/kg	<20	<20
Kadmium, Cd, mg/kg	2	<1
Kobolt, Co, mg/kg	18	15
Krom, Cr, mg/kg	160	160
Koppar, Cu, mg/kg	410	160
Molybden, Mo, mg/kg	<10	<10
Nickel, Ni, mg/kg	100	87
Bly, Pb, mg/kg	89	11
Vanadin, V, mg/kg	<10	<10
Zink, Zn, mg/kg	1500	1400

Resultaten gäller enbart för de objekt som genomgått provning.

RISE Research Institutes of Sweden AB
Material och produktion – Kemi, biomaterial och textil

Utfört av

Granskat av

Mathias Berglund

Peter Sundberg

Bilaga

Mätosäkerhet

Bilaga 4. Analysrapporter biokol från Nuntorp.



RAPPORT

utfärdad av ackrediterat provningslaboratorium

Kontaktperson RISE
Mathias Berglund
Material och produktion
010-516 56 69
mathias.berglund@ri.se

Datum
2022-05-06

Beteckning
P106696-04

Sida
1 (4)

RISE Bioprocesser och miljötjänster
Susanne Paulrud

Analys av biokol och flis

(1 bilaga)

Föremål

Tre prover insända av uppdragsgivaren.

Provmärkning samt provmängd:

7. Nontorp 220331 kl. 10.05
8. Nontorp 220331 kl. 12.55
9. Nontorp 220331 Träflis

Provmängd:

Ca 4 liter per prov

Förpackning:

Plasthinkar med lock

Ankom KMK:

April 2022.

Provningsdatum:

Vecka 14-17, 2022.

Uppdrag

Bestämning av pH, fukt, aska, kol, väte, kväve, syre, svavel, klor, huvudelement, spårelement, kalorimetriskt värmevärde samt beräkning av effektivt värmevärde.

Metod

Total fukt:	SS-EN-ISO 18134-2
Aska:	SS-EN-ISO 18122
Flyktiga ämnen:	mod. SS-EN-ISO 18123*
Svavel:	SS-EN-ISO 16994 (svavelanalysator)
Klor:	SS-EN-ISO 16994 (jonkromatografi)
Kol, väte, kväve:	SS-EN-ISO 16948
Syre:	Beräknat som differens*
Värmevärde:	SS-EN-ISO 18125
Huvudelement:	
- Al, Si, Fe, Mn, Ti, Mg, Ca, Ba, Na, K, P	mod. ASTM D 3682 (ICP-OES)
Spårelement:	
- As, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, V, Zn, Mo	mod. ASTM D 3683 (ICP-OES)
pH (CaCl ₂):	Utfördes enligt SS-EN 15933 kapitel 8.1*
Kviksilver:	EPA 7473
TOC:	SS-EN 15936

*Ej ackrediterad metod.

Metoderna är ackrediterade för fasta biobränslen.

RISE Research Institutes of Sweden AB

Postadress
Box 857
501 15 BORÅS

Besöksadress
Brinellgatan 4
504 62 BORÅS

Tfn / Fax / E-post
010-516 50 00
033-13 55 02
info@ri.se

Denna rapport får endast återges i sin helhet, om inte
utfärdande laboratorium i förväg skriftligen godkänt annat.



Ackred.nr. 1002
Provning
ISO/IEC 17025

Transaktion 09222115557468709620



Signerat MB, PS

Resultat

På prov i inlämningstillstånd	Prov 7	Prov 8	Prov 9
Total fukt, vikt-%	1,6	1,6	8,3
Aska, vikt-%	8,5	8,3	0,6
Klor, Cl, vikt-%	<0,01	<0,01	<0,01
Svavel, S, vikt-%	<0,01	<0,01	0,01
Kol, C, vikt-%	82	85	46,1
Väte, H, vikt-%	0,7	0,6	6,6
Kväve, N, vikt-%	0,34	0,34	0,10
pH (CaCl ₂)	8,8	8,7	-
Kalorimetriskt värmevärde vid konstant volym, MJ/kg	31,75	31,72	18,69
Effektivt värmevärde vid konstant tryck, MJ/kg	31,58	31,58	17,25
På torrt prov			
Aska, vikt-%	8,6	8,4	0,6
Flyktiga ämnen, vikt-%	7,3	7,4	84
Klor, Cl, vikt-%	<0,01	<0,01	<0,01
Svavel, S, vikt-%	<0,01	<0,01	0,01
Kol, C, vikt-%	84	86	50,3
TOC, vikt-%	84	86	-
Väte, H, vikt-%	0,6	0,4	6,2
Kväve, N, vikt-%	0,35	0,34	0,11
Syre, O, (diff) vikt-%	7	5	43
Kvot O/C _{org} , mol/mol	0,06	0,04	-
Kvot H/C _{org} , mol/mol	0,08	0,06	-
Kalorimetriskt värmevärde vid konstant volym, MJ/kg	32,26	32,22	20,38
Effektivt värmevärde vid konstant tryck, MJ/kg	32,13	32,12	19,04

På torrt prov

	Prov 7	Prov 8	Prov 9
Aluminium, Al, vikt-%	0,44	0,46	0,009
Kisel, Si, vikt-%	2,2	2,3	0,024
Järn, Fe, vikt-%	0,24	0,25	0,006
Titan, Ti, vikt-%	0,022	0,022	<0,001
Mangan, Mn, vikt-%	0,060	0,062	0,009
Magnesium, Mg, vikt-%	0,11	0,12	0,023
Kalcium, Ca, vikt-%	0,57	0,61	0,13
Barium, Ba, vikt-%	0,012	0,013	0,002
Natrium, Na, vikt-%	0,12	0,13	0,003
Kalium, K, vikt-%	0,43	0,45	0,079
Fosfor, P, vikt-%	0,025	0,031	0,007
Arsenik, As, mg/kg	<2	<2	<2
Kadmium, Cd, mg/kg	<0,1	0,1	0,1
Kobolt, Co, mg/kg	1	1	0,2
Krom, Cr, mg/kg	14	19	0,8
Koppar, Cu, mg/kg	7	6	1
Molybden, Mo, mg/kg	2	2	<0,1
Nickel, Ni, mg/kg	5	7	0,6
Bly, Pb, mg/kg	2	2	0,3
Vanadin, V, mg/kg	6	6	<0,1
Zink, Zn, mg/kg	100	110	16
Kvicksilver, Hg, mg/kg	<0,02	<0,02	

På prov inaskat vid 550°C

	Prov 7	Prov 8	Prov 9
Aluminium, Al, vikt-%	5,1	5,4	1,4
Kisel, Si, vikt-%	26	27	3,6
Järn, Fe, vikt-%	2,8	2,9	0,93
Titan, Ti, vikt-%	0,26	0,26	<0,05
Mangan, Mn, vikt-%	0,69	0,74	1,4
Magnesium, Mg, vikt-%	1,3	1,4	3,5
Kalcium, Ca, vikt-%	6,6	7,1	19,3
Barium, Ba, vikt-%	0,14	0,15	0,31
Natrium, Na, vikt-%	1,4	1,6	0,50
Kalium, K, vikt-%	5,0	5,3	12,2
Fosfor, P, vikt-%	0,29	0,37	1,0
Arsenik, As, mg/kg	<20	<20	<20
Kadmium, Cd, mg/kg	<1	1,5	16
Kobolt, Co, mg/kg	15	15	38
Krom, Cr, mg/kg	160	220	120
Koppar, Cu, mg/kg	80	71	180
Molybden, Mo, mg/kg	20	27	<10
Nickel, Ni, mg/kg	58	84	93
Bly, Pb, mg/kg	23	23	44
Vanadin, V, mg/kg	65	70	13
Zink, Zn, mg/kg	1210	1260	2500

Resultaten gäller enbart för de objekt som genomgått provning.

RISE Research Institutes of Sweden AB
Kemi och tillämpad mekanik - Kemisk produktsäkerhet

Utfört av

Granskat av

Mathias Berglund

Peter Sundberg

Bilaga

Mätosäkerhet



REPORT

Contact person
Richard Sott
Division Materials and Production
+46 10 516 57 89
richard.sott@ri.se

Date
2022-05-23

Reference
P106696-05

Page
1 (2)

RISE Bioprocesser och miljöjänster
Susanne Paulrud

Analysis of PAH in biocarbon

Sample

One samples of biocarbon provided by the costumer.

Date of analysis: 2022-05-17 to 2022-05-23
Sample labelling: Mixed sample
Nontorp 220331 kl. 10.05 + Nontorp 220331 kl. 12.55

Method

The sample was added internal standard followed by Soxhlet extraction for 6 hours in toluene. The extract was analysed by GC-MS. The PAH concentrations were determined using 16 external standards and Naphtalene-d8, Chrysene-d12 and Benzo (a) pyrene-d12 as internal standards.

Results

The results from the PAH determination is presented in the following table.

PAH	mg/kg
Naphtalene	< 0.5
Acenaphthylene	< 0.5
Acenaphthene	< 0.5
Fluorene	<0.5
Phenanthrene	< 0.5
Anthracene	< 0.5
Fluorantene	0.8
Pyrene	2.4
Benso a anthracene	<0.5
Chrysene	<0.5
Benso b,j fluorantene	<0.5
Benso k fluorantene	<0.5
Benso a pyrene	0.9
Indeno 123cdpyrene	<0.5
Dibenso ah antracene	<0.5
Benso ghi perylene	5.0
Sum of detected PAHs	9.1

RISE Research Institutes of Sweden AB
Chemistry and Applied Mechanics - Chemical Problem Solving

Performed by

Examined by

Richard Sott

Peter Sundberg

Bilaga 5. Analysrapporter biokol från Fräkentorp



RAPPORT

utfärdad av ackrediterat provningslaboratorium

Kontaktperson RISE

Mathias Berglund
Material och produktion
010-516 56 69
mathias.berglund@ri.se

Datum

2023-03-14

Beteckning

P106696-06

Sida

1 (4)

RISE Bioprocesser och miljö tjänster
Susanne Paulrud

Analys av biokol och flis

(1 bilaga)

Föremål

Tre prover insända av uppdragsgivaren.

Provmärkning samt provmängd:

10. Fräkentorp Biokol 1
11. Fräkentorp Biokol 2
12. Fräkentorp Flis

Provmängd:

Ca 4 liter per prov

Förpackning:

Plasthinkar med lock

Ankom KMk:

2023-02-08

Provningsdatum:

Vecka 7-12, 2023.

Uppdrag

Bestämning av pH, fukt, aska, kol, väte, kväve, syre, svavel, klor, huvudelement, spårelement, kalorimetriskt värmevärde samt beräkning av effektivt värmevärde.

Metod

Total fukt:

SS-EN-ISO 18134-2

Aska:

SS-EN-ISO 18122

Flyktiga ämnen:

mod. SS-EN-ISO 18123*

Svavel:

SS-EN-ISO 16994 (svavelanalysator)

Klor:

SS-EN-ISO 16994 (jonkromatografi)

Kol, väte, kväve:

SS-EN-ISO 16948

Syre:

Beräknat som differens*

Värmevärde:

SS-EN-ISO 18125

Huvudelement:

- Al, Si, Fe, Mn, Ti, Mg, Ca, Ba,
Na, K, P

mod. ASTM D 3682 (ICP-OES)

Spårelement:

- As, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, V, Zn, Mo

mod. ASTM D 3683 (ICP-OES)

pH (CaCl₂):

Utfördes enligt SS-EN 15933 kapitel 8.1*

Kviksilver:

EPA 7473

TOC:

SS-EN 15936

*Ej ackrediterad metod.

Metoderna är ackrediterade för fasta biobränslen.

RISE Research Institutes of Sweden AB

Postadress
Box 857
501 15 BORÅS

Besöksadress
Brinellgatan 4
504 62 BORÅS

Tfn / Fax / E-post
010-516 50 00
033-13 55 02
info@ri.se

Denna rapport får endast återges i sin helhet, om inte
utfärdande laboratorium i förväg skriftligen godkänt annat.



Resultat

På prov i inlämningstillstånd	Frä Kentorp Biokol 1	Frä Kentorp Biokol 2	Frä Kentorp Flis
Total fukt, vikt-%	2,1	2,2	28
Aska, vikt-%	3,0	3,0	0,3
Klor, Cl, vikt-%	<0,01	<0,01	<0,01
Svavel, S, vikt-%	0,05	0,01	<0,01
Kol, C, vikt-%	78,3	79,0	36,0
Väte, H, vikt-%	2,4	2,2	7,6
Kväve, N, vikt-%	0,20	0,14	0,03
pH (CaCl ₂)	7,0	7,5	-
Kalorimetriskt värmevärde vid konstant volym, MJ/kg	28,73	28,70	14,41
Effektivt värmevärde vid konstant tryck, MJ/kg	28,21	28,23	12,75
På torrt prov			
Aska, vikt-%	3,1	3,1	0,4
Flyktiga ämnen, vikt-%	30	28	84
Klor, Cl, vikt-%	<0,01	<0,01	<0,01
Svavel, S, vikt-%	0,05	0,01	<0,01
Kol, C, vikt-%	80,0	80,8	50,3
TOC, vikt-%	80,0	80,7	-
Väte, H, vikt-%	2,2	2,0	6,2
Kväve, N, vikt-%	0,20	0,15	0,05
Syre, O, (diff) vikt-%	15	14	43
Kvot O/C _{org} , mol/mol	0,137	0,131	-
Kvot H/C _{org} , mol/mol	0,326	0,291	-
Kalorimetriskt värmevärde vid konstant volym, MJ/kg	29,33	29,35	20,13
Effektivt värmevärde vid konstant tryck, MJ/kg	28,85	28,92	18,79

På torrt prov

	Frä Kentorp Biokol 1	Frä Kentorp Biokol 2	Frä Kentorp Flis
Aluminium, Al, vikt-%	0,098	0,016	0,005
Kisel, Si, vikt-%	0,15	0,037	0,010
Järn, Fe, vikt-%	0,11	0,035	0,005
Titan, Ti, vikt-%	0,006	<0,002	<0,001
Mangan, Mn, vikt-%	0,097	0,14	0,02
Magnesium, Mg, vikt-%	0,077	0,10	0,014
Kalcium, Ca, vikt-%	0,49	0,73	0,11
Barium, Ba, vikt-%	0,010	0,014	0,002
Natrium, Na, vikt-%	0,017	0,007	<0,001
Kalium, K, vikt-%	0,28	0,38	0,049
Fosfor, P, vikt-%	0,015	0,022	0,003
Arsenik, As, mg/kg	<1	<1	<1
Kadmium, Cd, mg/kg	0,1	0,2	0,09
Kobolt, Co, mg/kg	1	0,6	0,4
Krom, Cr, mg/kg	91	34	0,7
Koppar, Cu, mg/kg	9	6	140
Molybden, Mo, mg/kg	2	0,5	<0,1
Nickel, Ni, mg/kg	48	17	0,7
Bly, Pb, mg/kg	0,6	<0,6	1
Vanadin, V, mg/kg	3	<0,6	<0,05
Zink, Zn, mg/kg	47	54	18
Kviksilver, Hg, mg/kg	<0,02	<0,02	<0,02

På prov inaskat vid 550°C

	Frärentorp Biokol 1	Frärentorp Biokol 2	Frärentorp Flis
Aluminium, Al, vikt-%	3,6	0,50	0,99
Kisel, Si, vikt-%	5,7	1,2	2,0
Järn, Fe, vikt-%	4,0	1,1	1,1
Titan, Ti, vikt-%	0,21	<0,05	0,05
Mangan, Mn, vikt-%	3,6	4,6	4,6
Magnesium, Mg, vikt-%	2,8	3,2	3,0
Kalcium, Ca, vikt-%	18	23	23
Barium, Ba, vikt-%	0,37	0,43	0,45
Natrium, Na, vikt-%	0,61	0,21	0,17
Kalium, K, vikt-%	10	12	10
Fosfor, P, vikt-%	0,55	0,69	0,61
Arsenik, As, mg/kg	<20	<20	<20
Kadmium, Cd, mg/kg	5	5	19
Kobolt, Co, mg/kg	54	20	80
Krom, Cr, mg/kg	3400	1100	140
Koppar, Cu, mg/kg	320	180	29000
Molybden, Mo, mg/kg	70	16	<10
Nickel, Ni, mg/kg	1800	550	140
Bly, Pb, mg/kg	24	<10	270
Vanadin, V, mg/kg	120	<10	<10
Zink, Zn, mg/kg	1700	1700	3700

Resultaten gäller enbart för de objekt som genomgått provning.

RISE Research Institutes of Sweden AB
Kemi och tillämpad mekanik - Kemisk produktsäkerhet

Utfört av

Granskat av

Mathias Berglund

Peter Sundberg

Bilaga

Mätosäkerhet

Through our international collaboration programmes with academia, industry, and the public sector, we ensure the competitiveness of the Swedish business community on an international level and contribute to a sustainable society. Our 2,800 employees support and promote all manner of innovative processes, and our roughly 100 testbeds and demonstration facilities are instrumental in developing the future-proofing of products, technologies, and services. RISE Research Institutes of Sweden is fully owned by the Swedish state.

I internationell samverkan med akademi, näringsliv och offentlig sektor bidrar vi till ett konkurrenskraftigt näringsliv och ett hållbart samhälle. RISE 2 800 medarbetare driver och stöder alla typer av innovationsprocesser. Vi erbjuder ett 100-tal test- och demonstrationsmiljöer för framtidssäkra produkter, tekniker och tjänster. RISE Research Institutes of Sweden ägs av svenska staten.



RISE Research Institutes of Sweden AB
Box 857, 501 15 BORÅS
Telefon: 010-516 50 00
E-post: info@ri.se, Internet: www.ri.se

Energiteknik 1
RISE Rapport :2023:45
ISBN: 978-91-89757-93-6