

Fjärrvärme med minusutsläpp 2019

Beräkningsunderlag för revision

Helena Söderqvist & Göran Erselius

2020-05-14



Sammanfattning

Stockholm Exergi säljer en del av sin fjärrvärme i Stockholm under benämningen "Fjärrvärme med minusutsläpp". Denna produkt är sammansatt genom att stabil kolinlagring i biokol beräknas och fördelas över fjärrvärmerna så att fjärrvärmens klimatavtryck neutraliseras och så att ett minusutsläpp om -100 g CO₂e per kWh fjärrvärme genereras. I denna redovisning redogörs för hur Stockholm Exergis Fjärrvärme med minusutsläpp beräknas, hur stor produktionen av minusutsläpp var under 2019, försäljningen av fjärrvärme med minusutsläpp under 2019, samt vilken mängd minusutsläpp som kvarstår efter försäljning.

Rapporten verifierades av Intertek den 3 juni 2020 och resultatet visar följande:

"Den granskning som har utförts visar att Stockholm Exergi produkt "Fjärrvärme med minus utsläpp" har ett koldioxidutsläpp på -100 g/kWh. Totalt har 43,4 ton CO₂ inlagras under 2019, varav 4,49 ton har förbrukats för att leverera 26 MWh fjärrvärme med ett minusutsläpp på 2,6 ton. Denna kolinlagring görs genom produktion av stabil biokol. Fjärrvärme med minus utsläpp genereras genom fördelning av minusutsläpp på fjärrvärmerna så att -100 g/kWh uppnås. Därefter makuleras minusutsläppen enligt avtal med kund. Bevis har lämnats för att dessa mängder har makulerats med två kunder."

I denna rapport redogörs för kolsänka som är producerad i pilotanläggningen samt för den mängd som förbrukas genom användandet av fjärrvärme med minusutsläpp i pilotprojektet. Vid en uppskalning kommer data att förändras till följd av förändrade produktionsprocesser och kringliggande faktorer men principen och processen för att bekräfta kolinlagringen i biokol och kolsänka kommer vara densamma¹.

I tabellen nedan redovisas, enligt de beräkningar som nu ska revideras, nettomängden koldioxid som inlagrats till följd av biokolsproduktionen i Högdalen under 2019 samt behållningen efter sålda förbrukade minusutsläpp genom försäljning av fjärrvärme med minusutsläpp. Skillnaden mellan avtalad fjärrvärme med minusutsläpp och såld och levererad fjärrvärme beror på att avtal tecknats från 1 oktober 2019.

Minusutsläpp under 2019

Producerade Minusutsläpp 2019	43,4	ton CO ₂ e
Avtalad fjärrvärme med minusutsläpp 2019	104	MWh/år
Levererad fjärrvärme med minusutsläpp 2019	26	MWh (3 av 12 månader)
Levererade minusutsläpp 2019	2,6	ton CO ₂ e
Förbrukade minusutsläpp 2019	4,49	ton CO ₂ e
Saldo kolbank för minusutsläpp 1 jan 2020	38,9	ton CO₂e

¹ Stycket är ett tillägg efter revision för att förtydliga hur denna rapport förhåller sig till framtida process.

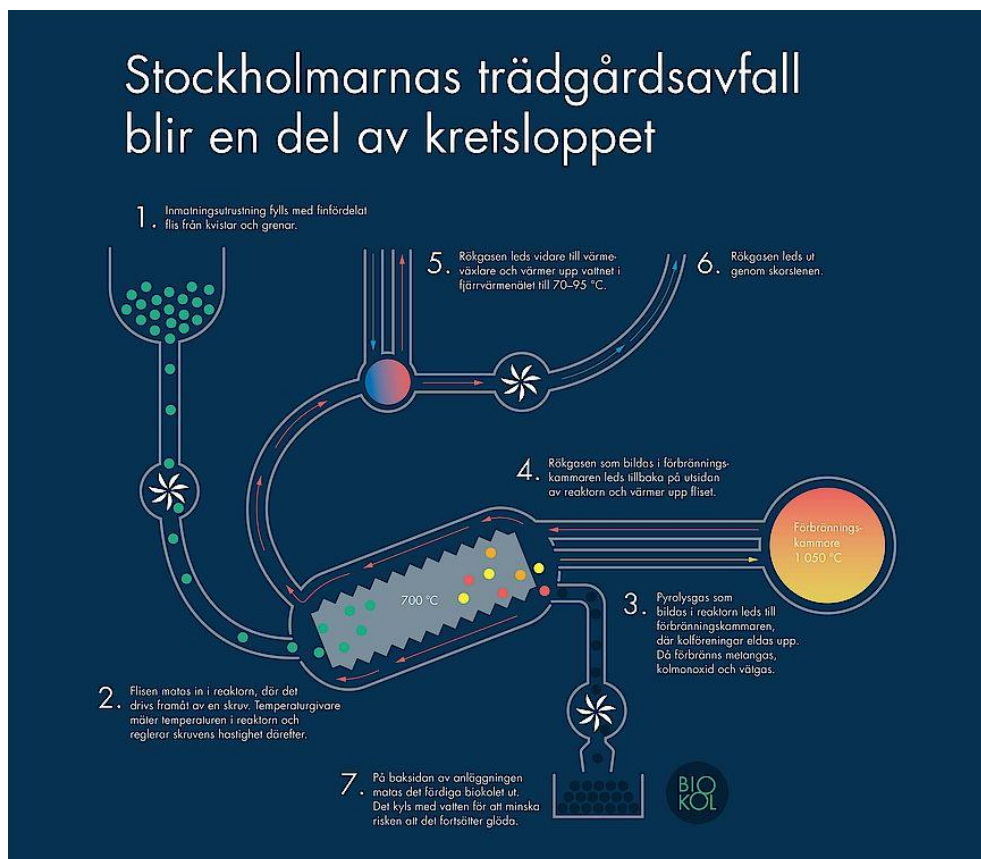
Bakgrund

Stockholm Exergi säljer en del av sin fjärrvärme i Stockholm under benämningen "Fjärrvärme med minusutsläpp". Denna produkt är sammansatt av att stabil kolinlagring genom produktion av biokol beräknas och fördelas över fjärrvärmens så att fjärrvärmens klimatavtryck neutraliseras och så att ett minusutsläpp om - 100 g CO₂e per kWh fjärrvärme genereras. Biokolet har under 2019 producerats i Stockholm Vatten och Avfalls anläggning på Högdalens återvinningscentral av stockholmarnas trädgårdsavfall och värmen som pyrolysisprocessen avger har växlats ut på fjärrvärmennätet.

I denna redovisning redogörs för hur Stockholm Exergis Fjärrvärme med minusutsläpp beräknas, hur stor produktionen av minusutsläpp var under 2019 samt vilken mängd minusutsläpp som kvarstår efter försäljning av fjärrvärme med minusutsläpp.

Vad är biokol?

Biokol är den fasta produkt som bildas när biomassa hettas upp med begränsad tillgång till syre, en så kallad pyrolysisprocess. Det är möjligt att använda olika typer av biomassa så som rester ifrån skogs- och jordbruk. Pyrolysisprocessen är självförsörjande på energi och drivs förutom en mindre mängd startenergi genom att nyttja energin i de pyrolysgaser som processen avger. De varma rökgaserna har ett värmeöverskott som kan växlas ut på fjärrvärmennätet. En enkel översikt visas i bilden nedan som är en del av informationsmaterialet vid anläggningen i Högdalen.



Genom processen drivs lättflyktiga kolväten ut och kvarvarande kol i biomassan omformas till stabilare kolstrukturer. Dessa kolföreningar är mindre benägna att brytas ned än de ursprungliga föreningarna i biomassan. IPCC har i specialrapporten om uppvärmning på 1.5 grader identifierat biokol som en av få tillgängliga teknologier för att skapa kolsänkor genom minusutsläpp². Nyligen har riktlinjer för hur ökad kolinnehåll i marken genom tillskott av biokol ska beräknas uppdaterats³.



Biokolet kan liknas vid en stel svamp med många olika porstorlekar och strukturer med en stor aktiv yta. Detta ger biokolet en unik förmåga att buffra näringsämnen och vatten när det används till jordförbättring. Detta skulle kunna öka resiliensen mot torka och öka möjligheterna för en resurseffektivare hantering av näringsämnen⁴. I nordisk kontext saknas forskningsresultat som visar skillnad i skörd men kontrollerade försök i Kenya har visat på en fördubblad skörd⁵. Biokolets materialegenskaper har väckt intresse för andra användningsområden så som biokol som filtermaterial, tillägg i djurfoder och fyllnad i betong⁶.

² IPCC, 2018: In: *Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty* [Masson- Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield (eds.)]. <https://www.ipcc.ch/sr15/>

³ IPCC 2019a. 2019 Refinement to the 2006 IPCC *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. Vol 4. Appendix 4. *Method for Estimating the Change in Mineral Soil Organic Carbon Stocks from Biochar Amendments: Basis for Future Methodological Development*

⁴ Qamrani, N. A., Rahman, M. M., Won, S., Shim, S., & Ra, C., 2017. Biochar properties and eco-friendly applications for climate change mitigation, waste management, and wastewater treatment: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 79, pp 255– 273. <http://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.057>

⁵ Gitau, K.J., Mutune, J., Sundberg, C., Mendum, R. & Njenga, M., 2019. Implications on Livelihoods and the Environment of Uptake of Gasifier Cook Stoves among Kenya's Rural Households. *Applied science*. 9(6), art nr.1205. <https://doi.org/10.3390/app9061205>

⁶ Andersson, S., 2018. *Marknaden för biokol i Sverige*. Rapport 2018:14. Avfall Sveriges Utvecklingsstiftning ISSN 1103-4092. Malmö: Avfall Sverige, 2050 Consulting.

Metod

Metoden för att beräkna minusutsläppet har utarbetats i samråd med Stockholm Exergi, 2050 Consulting och biokolforskare på KTH. Processen har granskats av CICERO, Center for International Climate Research, varpå ytterligare justeringar gjorts.

Definition av minusutsläpp

Minusutsläpp i samband med biokolstillverkning avser den mängd koldioxid som korresponderar mot den mängd kol i biokolet som beräknas vara stabilt i sin applikation i minst 100 år, med avdrag för de extra klimatgasutsläpp som uppstår i samband med produktion och transport i förhållande till den konventionella hanteringen av biomassan.



Vad beräknas?

Denna utredning går igenom grundläggande teori om biokol och dess förmåga att lagra kol i stabila strukturer samt beräknar relevanta parametrar. De delmoment som ska beräknas för **minusutsläppet** är:

- Kolinlagring (i minst 100 år) i producerat biokol.
 - Kolhalt och stabilitet
 - Mängd biokol som sålts till godkänd applikation
- Utsläpp till följd av biokolsproduktionen.
 - Användning av energi för process
 - Transport av biokol

Därefter skapas **produkten Fjärrvärme med minusutsläpp** genom:

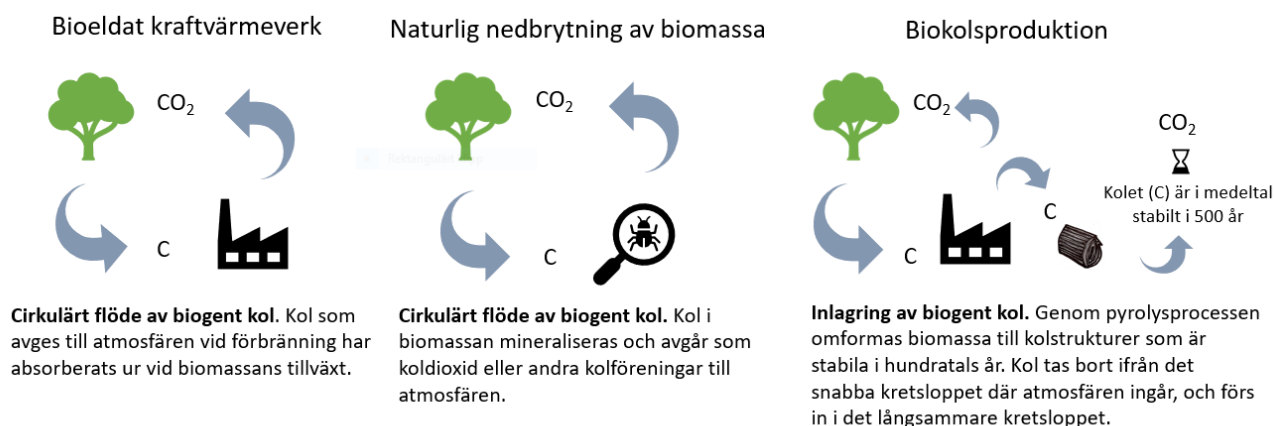
- Fördelning av minusutsläpp så fjärrvärmens uppnår $-100 \text{ g CO}_2\text{e/kWh}$
- Makulering av minusutsläpp enligt avtal med kunder
- Eventuell restpost av ej förbrukade minusutsläpp sparas i en buffert, den så kallade kolbanken.

Systemavgränsningar, antaganden och allokering

Utgångspunkten är att jämföra systemet för biokolsproduktion med den alternativa användningen av biomassa. I detta fall flisat trädgårdsavfall som skulle gått till förbränning ett värmeverk. De utsläpp som skulle finnas där även om biokolsproduktionen inte fanns inkluderas inte i beräkningarna. Dessa poster är markerade i grått i bilden nedan och omfattar produktion av bränsle och transport av bränsle samt produktion och rivning av anläggningen, som antas motsvara de utsläpp som motsvarande anläggning för förbränning skulle medföra. Den extra påverkan beräknas utifrån de aktiviteter som sker endast på grund av biokolstillverkningen, dvs bränsle och energi för processen samt extra interna transporter av bränsle och transport av producerat biokol, dessa är markerade med grönt i bilden nedan. Dessa beräkningar tar inte hänsyn till eventuella undanträngningseffekter som denna produktionsförändring innebär och beräknar inte heller eventuella effekter (positiva som negativa) av applikationen av biokol med avseende på de effekter materialet kan ha på klimatmildrande åtgärder och anpassning.

Produktion av bränsle	Transport av bränslen	Konstruktion och rivning av pyrolysanläggning	Transport av biokol till applikation
Systemeffekter av att trädgårdsfliset inte förbränns	Bearbetning och interna transporter av bränslen	Drift av anläggning, el och gasol.	Biokolets klimateffekter i sin applikation

Alla extra klimatgasutsläpp utsläpp allokeras till minusutsläppet som genereras av produktionen av biokol, och därmed sker ingen allokering till produkten biokol eller till den fjärrvärme som genereras. Detta är ett konservativt grepp och är menat att ta höjd för eventuella skillnader som produktionen skapar som ej fångas upp av de aktiviteter som här beräknas.



Figuren ovan illustrerar de biogena flödena i tre principiellt möjliga hanteringar av biomassa. När produktionens utsläpp beräknas undantas de biogena utsläpp som sker då biomassan pyrolyseras.

Anläggningen i Högdalen har varit i drift sedan 2017 men metod för att beräkna minusutsläppet har utvecklats under sista halvan av 2019. Detta medför att för utvärderingen önskvärd provtagning och processövervakning inte har skett före november 2019, dock finns tidigare provtagning tillgänglig och denna kan användas som ett substitut då råvara och process är densamma. Detta innebär att beräkningar baseras på faktiska sålda biokolsvolymerna under 2019, faktiska analyser för den mängd som producerats under november samt en representativ biokolsanalys⁷ för att beräkna kolsänkan för den mängd som producerats januari till oktober. Framtida beräkningar bör bygga på laboratorieanalyser av ett representativt prov av det faktiska biokolet.

Beräkning av minusutsläpp

För att beräkna minusutsläppet ska kolinlagringen i biokolet beräknas och avdrag för de utsläpp som har skett till följd av produktionen ska göras.

Kolinlagring i minst 100 år

Det hundraåriga perspektivet på kolinlagring är ett relevant tidsperspektiv då klimatgasers effekt vanligtvis översätts till dess potential i ett hundraårsperspektiv (Global warming potential 100). I litteraturen som behandlar stabilitet av biokol förekommer det ett stort spann av uppmätt stabilitet och stor vikt har här lagts för att finna en robust metod för att testa och förutsäga kolets stabilitet i ett hundraårsperspektiv.

Biokol och kol (C)

Biokolet innehåller förutom kol (C) en mängd olika ämnen. Kolföreningarna är uppbyggda kolväten och funktionella grupper med olika egenskaper, dessutom finns en rad inorganiska ämnen vilket brukar benämnas som aska. Förhållandet mellan dessa ämnen i biokolet beror på den ingående råvaran samt processen. Den relativa kvoten av kol (C) i förhållande till syre (O) och väte (H) ökar med processtemperaturen men den totala andelen kol (C) i biokolet minskar eftersom mängden aska förblir oförändrad⁸. Mängden kol (C) i biokolet som produceras i anläggningen vid Högdalen fastställs genom analys utförd av ackrediterat laboratorium.

Analys av biokol producerat i Högdalen	Kolhalt vikt-% (ts)	Referens
November 2019	0,597	Analys Eurofins 2019
2017	0,699	Söderqvist, 2019

⁷ Söderqvist, H. 2019. Carbon Stability of Biochar. Methods for assesment and indication. Mastersarbete i industriell ekologi vid Kungliga Tekniska Högskolan. Tillgänglig på: <http://kth.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2:1334635>

⁸ Weber, K. & Quicker, P., 2018. Properties of biochar. Fuel. 217, pp 240-261. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2017.12.054>.

Kol (C) och stabilt kol

Kolet (C) i biokolet ingår i en mängd olika typer av föreningar, alla med olika motståndskraft mot nedbrytning. Generellt gäller att ju renare kolföreningarna är desto mer motståndskraftiga är de mot nedbrytning och denna grad av karbonisering har ett nära positivt samband med processtemperaturen. Eftersom biokolsproducenten inte empiriskt kan undersöka hur stabilt det producerade biokolet är genom försök som sträcker sig över hundratals år behöver man finna en materialegenskap som indikerar ett visst beteende.

Provtagningen av biokol bör göras på ett sådant sätt att ett samlingsprov erhålles. Ett sådant samlingsprov ska representera hela den mängd som provtagits enligt ISO 18283, standard för manuell provtagning av kol. Analysresultatet av ett sådant prov ger medelvärden av det producerade biokolet under den aktuella provtagningsperioden och därmed den faktiska kolinlagringen. För att fånga upp eventuella variationer bör ett vecko-prov tas om minst 2 liter, förutsatt drift. Dessa delprover samlas på skyddad plats och kvartalsvis görs en laboratorieanalys för att fastställa biokolets sammansättning. Samlingsprovet som sänds till laboratorieanalys ska vara en delmängd om minst 10 liter, av de samlade prov som blandats väl⁹. Vid större processförändringar bör egenskaper som bulkdensitet kontrolleras då det påverkar biokolets volym i förhållande till vikt, och därmed måttet på hur mycket biokol en storsäck innehåller.

Molförhållandet mellan väte och organiskt kol, H/C_{org} har genom tidigare forskningsförsök uppvisat samband med ett visst nedbrytningsbeteende och kan därigenom agera indikator för kolsänkans stabilitet¹⁰. Sambandet mellan H/C_{org} och andelen kol (C) som beräknas vara stabilt i minst hundra år modelleras fram med mätdata ifrån fält och inkubationsförsök. Budai m.fl.,¹¹ har utarbetat en metod där andelen stabilt kol (C) i minst hundra år (BC_{+100}) indikeras genom H/C_{org} . Leng m.fl.,¹² har studerat olika metoder som kan indikera stabilitet av kol i biokol och menar att H/C_{org} är en ideal indikator för stabilitet. En studie¹³ som genomförts i samarbete med KTH och Stockholm Exergi drar slutsatsen att H/C_{org} metoden är den bästa tillgängliga indikatorn för att bekräfta kolinlagring men även att det är en utmaning att mätvärden för H/C_{org} halter lägre än 0.4 saknar representation. IPCC, FN:s Klimatpanel har föreslagit processtemperaturen som indikator för stabilitet (se figur nedan) för att detta är en parameter som är lättillgänglig och inte kräver laboratorieanalyser av biokolet. Dock framhålls det att analyser av materialegenskaper som exempelvis H/C_{org} och ytterligare information om applikationsförhållanden är bra indikatorer¹⁴.

⁹ Eurofins, 2019. Samråd inför provtagningen och analys.

¹⁰ Budai m.fl., 2013; Leng m.fl., 2018; Lehmann & Joseph, 2009.

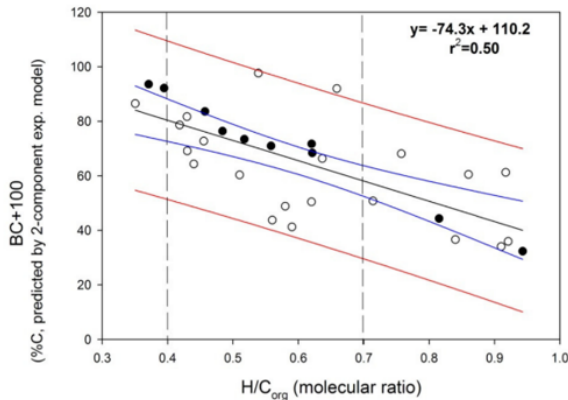
¹¹ Budai, A., Zimmerman, A.R., Cowie, A.L., Webber, J.B.W., Singh, B.P., Glaser, B., Masiello, C.A., Andersson, D., Shields, F., Lehmann,

Camps Arbestain, M., Williams, M., Sohi, S. & Joseph, S., 2013. Biochar Carbon Stability Test Method: An Assessment of Methods to Determine Biochar Carbon Stability. Technical report. Available at: https://www.researchgate.net/publication/298722030_Biochar_Carbon_Stability_Test_Method_An_assessment_of_methods_to_determine_biochar_carbon_stability

¹² Leng, L., Huang, H., Li, H., Li, J., Zhou, W., 2018. Biochar stability assessment methods: a review. *Science of the Total Environment*. 647, 210–222. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.07.402>.

¹³ Söderqvist, H. 2019. Carbon Stability of Biochar. Methods for assesment and indication. Masterarbete i industriell ekologi vid Kungliga Tekniska Högskolan. Tillgänglig på: <http://kth.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2:1334635>

¹⁴ IPCC 2019. 2019 Refinement to the 2006 IPCC *Guidelines for National Greenhousegas Inventories*. Vol 4. Appendix 4. *Method for Estimating the Change in Mineral Soil Organic Carbon Stocks from Biochar Amendments: Basis for Future Methodological Development*



IPCC:s sammanställning av stabilitet i relation till processtemperatur	
Produktion	Andel kol(C) som är stabilt i minst 100 år
Hög temperatur och gasifiering (> 600°C)	0,89 ± 13%
Medeltemperatur pyrolys (450 – 600°C)	0,80 ± 11%
Låg temperatur (350 - 450°C)	0,65 ± 15%
Alla värden är medelvärden och beräknade med ett 95% konfidensintervall. Beskrivna värden gäller för applikation i mineraljordar på jordbruksmark och gräsmarker (IPCC, 2019a).	

Till vänster, samband mellan hur stor andel av kolet som beräknas vara stabilt i minst hundra år (BC+100) och H/C_{org} kvoten. Varje datapunkt representerar data ifrån stabilitetsexperiment. Hämtad ifrån Budai m.fl., 2013. Till höger, IPCC:s sammanställning av sambandet mellan processtemperatur och stabilitet.

För beräkningar av inlagrat kol till fjärrvärme med minusutsläpp antas H/C_{org} metoden för att indikera stabiliteten på kolinlagringen, där H/C_{org} ≤ 0.4 och lägre indikerar en stabilitetsfaktor om 0.8 vilket betyder att 80 % av kolet (C) i biokolet kommer vara bundet i minst 100 år. Detta är en konservativ estimering i förhållande till IPCC:s uppskattning av stabilitet för processtemperaturer över 600°C vilket anläggningen i Högdalen är anpassad till. Kvoten H/C_{org} i biokolet som produceras i anläggningen vid Högdalen fastställs genom analys på ackrediterat laboratorium.

Analys av biokol producerat i Högdalen	H/C _{org} mol %	Referens
November 2019	0,08	Bifogas beräkningsbilaga
2017	0,28	Söderqvist, 2019

Analysen indikerar genom sin låga kvot av väte i förhållande till organiska kol att kolstrukturerna är mycket stabila. Enligt ovan beskriven teori görs för beräkningarna det konservativa antagandet att minst 80% av kolet är stabilt i minst 100 år.

I det fall en analys skulle visa på H/C_{org} värden högre än 0,4 används en linjär utveckling av stabiliteten upp till en H/C_{org} kvot om 0,7 indikerar en stabilitet om 50 % och värden högre än så bedöms sakna tillräckligt stabila kolföreningar för att utgöra en kolsänka tryggt nog för att beräkna minusutsläpp på.

Stabilitet kolinlagring enligt H/C _{org} Andel inlagrat C i minst 100 år		
H/C _{org}	BC ₊₁₀₀	%
< 0,4	80	%
0,40 - 0,45	78	%
0,45 - 0,50	73	%
0,50 - 0,55	68	%
0,55 - 0,60	63	%
0,60 - 0,65	58	%
0,66 - 0,70	53	%
> 0,7	0	%

Avrundade värden, centrerat i intervallen enligt funktionen: BC+100 (H/C_{org}, i intervallet 0,4–0,7) = 120 - 100(H/C_{org}) Baserad på de två kända punkterna (0.4, 0.8) och (0.7, 0.5)

Mängd biokol som sålts till godkänd applikation

Kolsänkan är beroende av att biokolet används som jordförbättring eller på annat sätt där kolet inte riskerar att användas som energikälla, eftersom klimatvärdet då går förlorat. Biokol som delas ut till medborgare kan inte inkluderas då det kan ske att biokolet läggs till en avfallsfraktion som går till förbränning istället för att appliceras och förbli som ett jordförbättringsmedel. Kolinlagringen i biokolet bokförs endast då det sålts eller distribuerats till godkänd användning och baseras inte på produktion.

Biokolet samlas och transporteras i storsäck som rymmer 1,5 m³. för att beräkna torrvikten av biokol per storsäck används en tidigare analys av bulkdensitet och fukthalt, för fullständiga beräkningar se beräkningsbilaga.

Analys av biokol producerat i Högdalen	Antal producerade säckar till godkänd användning	Torrsubstans biokol per storsäck (g)	Referens
November 2019	27	313 995	Platsbesök, inräkning av säckar.
Jan – okt 2019	51	313 995	Uppgift ifrån Stockholm Vatten och Avfall, fakturaunderlag. (med justering av inräknat antal säckar och kvarvarande vid årets slut.)

Pyrolyprocessen har haft tillgänglighetsproblem under stora delar av året, i huvudsak handlar detta om att processtekniken är känslig för variationer i råvaran. Flisat trädgårdsavfall har en utmaning i att det kan förekomma oväntade föroreningar. Ett exempel är om en metallbit följer med fliset och fastnar i matningen innebär det driftstopp som måste åtgärdas innan återstart av processen. Andra driftsproblem kan härröras till att råvaran har för hög fukthalt, vilket har avhjälpes genom att installera ett torksteg före processen. Denna installation gjordes under hösten 2019. Enligt driftkunnig personal har detta avsevärt förbättrat tillgängligheten och detta förmodas vara förklaringen till den relativt stora produktionen under november i jämförelse med resten av året. Den redovisade mängden under november är ungefär hälften av den möjliga kapaciteten, detta beror förmodligen främst på att processen inte helt har kalibrerats efter nyinstallationen samt att man förlorade ca 5 säckar biokol i en brand. Under december skedde ingen produktion då pyrolymaskinen monterades ner för att förflyttas.

Utsläpp till följd av biokolsproduktionen

De utsläpp som sker specifikt till följd av biokolsproduktionen kvantifieras genom att beräkna utsläpp processens energibehov samt transporter, se metodavsnittet för beskrivning avgränsningar och systemgränser.

Användning av energi för process och transport

Gasol

Pyrolysisprocessen använder en teknik som bygger på självdrift, detta innebär att processen drivs av sin egen energi när den är i drift. Dock behöver processen initieras och ibland understödjas genom ett tillskott av energi, i detta fall används gasol. Mängden gasol har beräknats per producerad säck biokol med underlag av använd gasol under november månad. Detta är med all säkerhet en överestimering av normal åtgång per säck eftersom driftsstörningar medför ett ökat användande av gasol då processen måste omstartas. Detta värde bör därför räknas om för framtida beräkningar av minusutsläpp och bör inte ses som generellt representativa. Gasolanvändningen per storsäck som beräknas för november används för hela 2019.

Elektricitet

Även om processen är självgående krävs en elektricitet för att driva mekaniska komponenter, fläktar mm. Elektriciteten som används på Högdalens ÅVC är ursprungsmärkt och någon specificerad användning för just pyrolysenheten finns inte tillgänglig. För att uppskatta processens elbehov gjordes en inventering där den totala installerade effekten studerades och med hjälp av information av platsansvarig drifttekniker¹⁵ uppskattades elkonsumtionen för produktionen av en storsäck. Se beräkningsbilaga för detaljerad dokumentation. Beräkningarna visar även påverkan om nordisk residual el används för jämförelse men för slutlig beräkning av minusutsläppet används utsläppsfaktor för ursprungsmärkningen. Det torksteg som installerats är inkluderat i kartläggningen vilket ger en något högre elkonsumtion per säck jämfört med före installationen. Detta högre värde används för att beräkna elektricitetens påverkan på allt biokol som producerats 2019 vilket är ett konservativt val.

¹⁵ Björn H, drifttekniker vid Högdalen.

Transport

Biokol säljs till Stockholms stad för att användas i grönområden i staden och för att bygga upp skelettjordar. En storsäck väger typiskt 0,32 ton och ett transportarbete om 20 km med dieseldriven lastbil med släp antas för dessa beräkningar. Detta inkluderar även eventuella interna transporter och beredning av biomassa som sker till på grund av biokolsproduktionen.

Behov per producerad storsäck biokol	Konsumtion (kWh eller tonkm)	Utsläppsfaktor g CO ₂ e/storsäck biokol	g CO ₂ e/storsäck	referens
Gasol	209,45	246,42	51 613	Baserad på användning, se beräkningsbilaga för underlag
Elektricitet (nordisk residualmix)	329,7	250,76	82 676	Se beräkningsbilaga för underlag och referenser
Elektricitet (Bra miljöval 100% vattenkraft)	329,7	9	2967	Se beräkningsbilaga för underlag och referenser
Transport	20	56,52	362	Lastbil med släp, Diesel reduktionsplikt (20% HVO, 5% RME) (tonkm). NTM (2019), Drivmedel 2018

Sammanräknat minusutsläpp

I tabellen nedan sammanfattas beräkningarna för minusutsläpp genererat av biokolsproduktionen i Högdalen. 2019, för detaljerat underlag se beräkningsbilaga.

Rapport Minusutsläpp 2019	Januari - oktober	November	Totalt 2019	enhet
Driftsinformation:				
Antal godkända säckar	51	27	78	st
Använd gasol under perioden	-	540		kg
Använd gasol under perioden/säck	-	16,4		kg
Använd gasol under perioden/säck	209,5	209,5	209,5	kWh
Analysresultat:				
askhalt	0,212	0,35		Vikt - % (ts)
kolhalt	0,699	0,60		Vikt - % (ts)
H/Corg	0,28	0,08		mol - % (ts)
estimerad BC+100	0,80	0,80	0,80	(0,28<0,4) (0,08<<0,4)
En storsäck om 1,5 m3 innehåller:	313 995	313 995		g biokol (ts)
Stabilt kol C per storsäck (variabler är kolhalt och stabilitet)	175 586	149 964		g C
Kolinlagring per storsäck:	643 815	549 868		g CO ₂ e
Utsläpp av produktionen:				
El (Bra miljöval vattenkraft)	2967	2967		g CO ₂ e/säck
Transport av biokol 20 km med diesellastbil(reduktionsplikt)	362	362		g CO ₂ e/säck
Gasol för processen	51 613	51 613		g CO ₂ e/säck
Totalt utsläpp per storsäck i hela värdekedjan	54 942	54 942	54 942	g CO ₂ e/säck
Totalt netto minusutsläpp av koldioxid per storsäck biokol (hela värdekedjan):	588 873	494 926		g CO ₂ e/säck
Antal säckar:	51	27	78	st
Minusutsläpp (g CO ₂ e)	30 032 538	13 363 002		g CO ₂ e
Minusutsläpp (ton CO ₂ e)	30,0	13,4		ton CO ₂ e
Totalt minusutsläpp 2019			43,4	ton CO₂e

Beräkningar för Fjärrvärme med minusutsläpp

Fjärrvärme med minusutsläpp är en produkt som genereras genom fördelning av minusutsläpp så fjärrvärmens uppnår -100 g CO₂e/kWh. Därefter makuleras minusutsläppen enligt avtal med kunder och eventuell restpost av ej sålda minusutsläpp sparas i en buffert, den så kallade kolbanken som redovisas i resultatet.

Fördelning av minusutsläpp så fjärrvärmens uppnår -100 g CO₂e/kWh

För att en kWh fjärrvärme med minusutsläpp ska generera -100 g CO₂e måste ett minusutsläpp som motsvarar fjärrvärmens klimatavtryck samt ytterligare 100 g CO₂e användas ifrån den kolsänka biokolet genererar. Stockholm Exergis produkt Klimatneutral fjärrvärme använder ett beräknat LCA-utsläpp för fjärrvärmens¹⁶ om 72,8 g CO₂e per kWh. Detta innebär att varje såld kWh med minusutsläpp förbrukar ett minusutsläpp om 172,8 g CO₂e.

Fjärrvärmens fördelning av minusutsläpp (gCO₂e/kWh)

Utsläpp av fjärrvärmeproduktionen	Klimatvärde produkt	Produktens totala behov av minusutsläpp
72,8	100	172,8

Makulering av minusutsläpp enligt avtal med kunder

Avtal har tecknats av två kunder med start 1 oktober 2019. Avtalen är skrivna på årsbasis och därför beräknas 3/12 av avtalet för 2019. Kolsänkan fördelas sedan över fjärrvärme i sådan proportion att varje kWh levererad värme motsvarar ett minusutsläpp om 100 g CO₂e netto.

Kunder	Avtalad mängd FVM (MWh) (per år)	Faktiskt köpt mängd 2019 (MWh)	Köpta minusutsläpp 2019 (ton CO ₂ e) (100 g CO ₂ e /kWh)	Förbrukade minusutsläpp 2019 (ton CO ₂ e) (172,1 g CO ₂ e/kWh)
2050 Consulting AB	50	12,5	1,25	2,16
Fores	54	13,5	1,35	2,33
total:	104	26	2,60	4,49

¹⁶ Klimatneutral fjärrvärme 2019, Göran Erselius 2050 Consulting

Resultat Fjärrvärme med minusutsläpp 2019

Minusutsläpp som förbrukas för den sålda mängden fjärrvärme med minusutsläpp subtraheras ifrån den mängd minusutsläpp som enligt här beskriven metod har producerats under 2019.

Minusutsläpp under 2019	ton CO ₂ e	
Producerat under januari – oktober	30,03	51 säckar biokol
Producerat under november	13,36	27 säckar biokol
Producerat under december	0	
SUMMA producerat 2019	43,4	ton CO₂e
förbrukade minusutsläpp 2019	4,49	ton CO ₂ e (2,6 ton levererade)
Saldo kolbank för minusutsläpp (1 jan 2020)	38,9	ton CO₂e

Beräkningsbilaga

Stabilitetsberäkningar

November 2019-12-06		w/w ts							
H	m (H)	0,4 M(H)	1,008	n = m/M	n(H)	0,396825	---	H/Corg	0,08154694
TOC	m(TOC)	58,4 M(C)	12,0011	---->	n(TOC)	4,866221			
	(massa)		(Molmassa)		(Mol)			(M/M)	(0,08 << 0,4)
Analysresultat(eurofins) Beräkning				Resultat					
		w/w ts							
H	m (H)	0,4 M(H)	1,008	n = m/M	n(H)	0,396825	---	H/C	0,079771211
C	m(C)	59,7 M(C)	12,0011	---->	n(C)	4,974544			
	(massa)		(Molmassa)		(Mol)			(M/M)	(0,08 << 0,4)
Analysresultat(eurofins) Beräkning				Resultat					

Utsläppsfaktorer

	Utsläppsfaktorer	gCO ₂ e (Totalt i hela värdekedjan)	Enhet	Referens och kommentar
Elektricitet för process	Bra miljöval 100% vattenkraft	9	gCO ₂ e/kWh	Vattenfall EPD. Beräknas enligt typdrift för produktion som genererar 2 storsäck biokol per dygn. Effekten för respektive motor i hela processen (se el-tabell) för typfunktion under produktionen av biokol inklusive torksteg
	Nordisk Residualmix	250,76	gCO ₂ e/kWh	Energimarknadsinspektionen (Svensk Energi "Ursprungmärkning av el, 2019") https://www.ei.se/sv/for-energiforetag/el/ursprungsmarkning-av-el/ . Används för jämförelse
Transport av biokol till applikation	Lastbil med släp, Diesel reduktionsplikt (20% HVO, 5% RME) (tonkm)	56,51728852	gCO ₂ e/tonkm	NTM (2019), Drivmedel 2018. Beräkning för typtransport av biokol till applikation
Gasol för pyrolyprocess	Gasol (kWh)	246,4164	gCO ₂ e/kWh	Scope 1: SNV, Scope 3: IVL Miljöbränslehandbok 2001. Gasanvändningen varierar med driften, total användning under perioden beräknas (och ingen allokering till värmen som produceras)

Elförbrukning i pyrolyprocess

<i>komponent</i>	<i>effekt kW</i>	<i>Antal</i>	<i>typdrift per storsäck (timmar/storsäck)</i>	<i>kWh /storsäck</i>
Torken och cisternen:				
<i>motor</i>	4	1	4	16
<i>matare</i>	2,2	1	0,1	0,22
<i>uppmatare</i>	1,5	1	8	12
<i>Trummsikt</i>	1,5	1	8	12
<i>driven</i>	5,5	1	8	44
Inmatning och pyrolys:				
<i>uppmatare</i>	2	1	8	16
<i>matarskruv</i>	1	2	1,8	3,6
<i>matargolv</i>	1	1	12	12
<i>polisen</i>	1	1	4	4
<i>rotor</i>	0,37	2	12	8,88
<i>reaktormotor</i>	0,25	2	12	6
<i>cellmatare</i>	0,37	2	6	4,44
<i>samlare/blötare</i>	0,37	1	12	4,44
<i>konditionsskruv</i>	0,37	1	12	4,44
<i>uppmatare av kol</i>	0,37	1	12	4,44
<i>slutskruv</i>	0,37	1	12	4,44
Fläktar:				
<i>storfläkten</i>	5,5	1	9,6	52,8
<i>förbränningsluftfläkt</i>	2	1	12	24
<i>utblåstfläktar</i>	1,5	2	12	36
<i>fjärrvärmepumpen</i>	5	1	12	60
Total elförbrukning per storsäck:				329,7

Beräkning av minusutsläpp

Minusutsläpp januari - oktober 2019

	<i>värde</i>	<i>enhet</i>	<i>kommentar</i>
Driftsinformation:			
<i>Antal producerade säckar</i>	-	st	
<i>Antal godkända säckar</i>	51	st	78 - 27 enligt uppgifter ifrån SVOA Lotta Claeson
<i>Antal bortränkade säckar</i>	-	st	till medborgare
<i>Använd gas under perioden</i>	-	kg	
<i>Använd gas under perioden/säck</i>	16,36	kg	antag samma förbrukning som under november
<i>Använd gasol under perioden/säck</i>	209,5	kWh	1 kg gas motsvarar 12,8 kWh https://www.aga.se/sv/processes_ren/index.ht ml
Analysresultat:	Tidigare utförd analys biokol 2017-10-13 (Söderqvist, 2019 http://kth.diva-portal.org/smash/get/diva2:1334635/FULLTEXT01.pdf)		

askhalt	0,212		
kolhalt	0,699		
H/Corg	0,28		
estimerad BC+100	0,8		eftersom (0,28<0,4)
En storsäck om 1,5 m ³ innehåller:	313 995	g (TS)	Massa (TS) per volym biokol. I enlighet med tidigare analyser. bulkdensitet = 242 kg/m ³ Fukthalt(w/w%) 13,5%. 1 m ³ = 0,242 * (1-0,135) = 0,20933 ton biokol/m ³ . 1 storsäck = 0,20933* 1.5 = 0,313995 ton biokol
Stabilt kol C per storsäck (variabler är kolhalt och stabilitet)	175 586	g C	1 storsäck = 0,313995*59,7(C w%)*0.8 (BC+100)
Kolinlagring per storsäck:	643 815	g CO ₂	faktor för omvandling C-> CO ₂ = 44/12
Utsläpp av produktionen			Antags motsvara beräknade utsläpp november
El (Bra miljöval vattenkraft)	2967	g CO ₂ e/säck	mängden el per säck beräknas i el-tabell
El (Nordisk resuidal)	82 676	g CO ₂ e/säck	(för jämförelse)
Transport av biokol 20 km med diesellastbil(reduktionsplikt)	362	g CO ₂ e/säck	typvikt per säck 0,32 ton (verklig vikt) (Björn H), antagen transportsträcka 20 km
Gasol för processen	51 613	g CO ₂ e/säck	
Totalt utsläpp per storsäck i hela värdekedjan	54 942	g CO ₂ e/säck	med beskriven produktion
Netto koldioxidbalans per storsäck att tillgodoräkna i kolbank	588 873	g CO ₂ e/säck	
Totalt minusutsläpp av koldioxid per storsäck biokol (hela värdekedjan i produktion):			588 873 g CO ₂ e/säck
Antal säckar:			51 st
Totalt minusutsläpp januari - oktober:			30 032 538 g CO ₂ e eller: 30,0 ton CO₂e

Minusutsläpp november 2019

	värde	enhet	kommentar
<i>Driftsinformation:</i>			
Antal producerade säckar	33	st	totalt 33 varav 5 säckar gick förlorade i en glödbrand
Antal godkända säckar	27	st	till godkänd applikation
Antal borträknade säckar	1	st	till medborgare
Använd gas under perioden	540	kg	Enligt uppgifter ifrån Björn H
Använd gas under perioden/säck	16,4	kg	Beräknat i förhållande till produktion

Använd gasol under perioden/säck	209,4545	kWh	1 kg gas motsvarar 12,8 kWh https://www.aga.se/sv/processes_ren/index.html
<i>Analysresultat:</i>			ref eurofins analys biokol 2019
askhalt	0,353		
kolhalt	0,597		ink inorganiskt kol
H/Corg	0,08154694		(0,08 << 0,4) Se flik BC+100
H/C	0,07977121		för jämförelse
estimerad BC+100	0,8		eftersom (0,08<<0,4)
<i>En storsäck om 1,5 m3 innehåller:</i>	313 995	g (TS)	Massa (TS) per volym biokol. I enlighet med tidigare analyser. bulkdensitet = 242 kg/m3 Fukthalt(w/w%) 13,5%. 1 m3 = 0,242 * (1-0,135) = 0,20933 ton biokol/m3. 1 storsäck = 0,20933* 1.5 = 0,313995 ton biokol
<i>Stabilt kol C per storsäck (variabler är kolhalt och stabilitet)</i>	1 499 64	g C	1 storsäck = 0,313995*59,7(C w %) *0.8 (BC+100)
Kolinlagring per storsäck:	549 868	g CO2	faktor för omvandling C-> CO2 = 44/12
<i>Utsläpp av produktionen</i>			
El (Bra miljöväl vattenkraft)	2967	g CO2e/säck	mängden el per säck beräknas i eltabell
El (Nordisk resuidal)	82 676	g Co2e/säck	(för jämförelse)
Transport av biokol 20 km med diesellastbil(reduktionsplikt)	362	g Co2e/säck	typvikt per säck 0,32 ton (Björn H), antagen transportsträcka 20 km
Gasol för processen	51 613	g CO2e/säck	
Totalt utsläpp per storsäck i hela värdekedjan	54 942	g CO2e/säck	med beskriven produktion
<i>Netto koldioxidbalans per storsäck att tillgodoräkna i kolbank</i>	494 926	g CO2e/säck	
<i>Totalt minusutsläpp av koldioxid per storsäck biokol (hela värdekedjan i produktion):</i>		494 926	g CO2e/säck
<i>Antal säckar:</i>		27	st
Totalt minusutsläpp november:	13 363 002	g CO2e	Eller: 13,4 Ton CO2e

Resultat av laboratorieanalys 2019



2050 Consulting AB
Helena Söderqvist
Skeppsbron 32
11130 STOCKHOLM



Eurofins Environment Testing Sweden AB
Box 737
531 17 Lidköping
Tlf: +46 10 490 8110
Fax: +46 10 490 8051

AR-19-SL-286246-01

EUSELI2-00707269

Kundnummer: 8L7653686

Analysrapport

Provnummer:	177-2019-12061192	Provtagare:	Helena Söderqvist		
Provbeskrivning:					
Matris:	Kol				
Provet ankom:	2019-12-06				
Utskriftsdatum:	2019-12-18				
Analysema påbörjades:	2019-12-06				
Provmärkning:	Blokol November 2019				
Analys	Resultat	Enhet	Mått.	Metodref	
Provbredning	1.00			ISO 18283:2006	a)
Total fukt	48.0	%	5%	ISO589:2008 mod/ASTM-D5142:2009	a)
Askhalt	36.3	% Ts	5%	ISO 1171:2010/ASTM-D5142:2009	a)
Askhalt lev.tillstånd	18.0	%	5%	ISO 1171:2010/ASTM-D5142:2009	a)
Flykthalt	12.7	% Ts	5%	ISO 562:2008 mod / ASTM-D5142:2009	a)
Flykthalt lev.tillstånd	6.6	%	5%	ISO 562:2008 mod / ASTM-D5142:2009	a)
C-fix (beräknat)	62.0	% Ts	7%	ISO 562/ASTM-D5142 mod	a)*
C-fix lev.tillstånd (beräknat)	28.6	%	7%	ISO 562/ASTM-D5142 mod	a)*
Svavel S	0.118	% Ts	10%	ASTM-D4239:17	a)
Svavel S lev.tillstånd	0.068	%	10%	ASTM-D4239:17	a)
Klor	0.124	% Ts	15%	ASTM-D4208:2013	b)
Klor Cl lev.tillstånd	0.083	%	15%	ASTM-D4208:2013	b)
Kol C	68.7	% Ts	5%	ASTM-D5373:2016	a)
Kol C lev.tillstånd	30.4	%	5%	ASTM-D5373:2016	a)
Väte H	0.4	% Ts	10%	ASTM-D5373:2016	a)
Väte H Lev.tillstånd	6.7	%	10%	ASTM-D5373:2016	a)
Kväve-N	0.81	% Ts	10%	ASTM-D5373:2016	a)
Kväve N Lev.tillstånd	0.41	%	10%	ASTM-D5373:2016	a)
Syre O (beräknat)	3.6	% Ts		EN 14918:2010 annex E/EN 15400:2011 annex E/ASTM-D 15400:2011 annex E/ASTM-D	a)
Syre O Lev.tillstånd (beräknat)	46.4	%		EN 14918:2010 annex E/EN 15400:2011 annex E/ASTM-D	a)
Emissionsfaktor (beräknat)	106.3	t CO2/TJ			a)*
Kol C	68.1	% Ts	10%	EN 13137:2001	a)
TIC, totalt organiskt kol	0.7	% Ts	10%	SS-EN 13137:2001 metodappl. A	a)
TOC	68.4	% Ts	15%	SS-EN 13137:2001 metodappl. A	a)

Denna rapport är elektroniskt signerad.

Fotnoter

Laboratorier/laboratorierna är ackrediterade av respektive länds ackrediteringsorgan. Ej ackrediterade analyser är markerade med *

Mätosäkerheten, om inget annat anges, redovisas som utvidgad mätosäkerhet med täckningsfaktor 2. Undantag relaterat till analyser utförda utanför Sverige kan förekomma. Ytterligare upplysningar samt mätosäkerhet och detektionsnivåer för mikrobiologiska analyser lämnas på begäran. Denna rapport får endast läsas i sin helhet, om inte utbörande laboratorium i förväg skriftligen godkänt annat. Resultaten relaterar endast till det inlämnade provet.

AR-007v26

Side 1 av 2

a)		MJ/kg	kcal/kg	MWh/ton
Kalorimetriskt värmevärde	Leverans tillstånd	10.631	2516	2.824
	Torr prov	20.886	4938	5.738
Effektivt värmevärde	Konstant volym Lev.tillstånd	8.368	2236	2.688
	Konstant volym Torr prov	20.680	4816	5.716
	Konstant volym tp asktritt	31.808	7687	8.833
	Konstant tryck Lev.tillstånd	8.288	2218	2.678
	Konstant tryck Torr prov	20.674	4814	5.713
	Konstant tryck tp asktritt	31.788	7686	8.830

1) Mätosäkerhet 5%

Utförande laboratorium/underleverantör:

- a) Eurofins Biofuel & Energy Testing Sweden AB, SWEDEN, ISO/IEC 17025:2005 SWEDAC 1820
- b) Eurofins Water Testing Sweden, SWEDEN, ISO/IEC 17025:2005 SWEDAC 10300

Albin Klint, Rapportansvarig

Denna rapport är elektroniskt signerad.

Denna rapport är elektroniskt signerad.

Fotnotningar

Laboratoriet/laboratorierna är ackrediterade av respektive lunds ackrediteringsorgan. Ej ackrediterade analyser är markerade med *
 Mätosäkerheten, om inget annat anges, redovisas som utvidgad mätosäkerhet med täckningsfaktor 2. Undantag gäller till analyser utförda utanför Sverige kan förekomma. Ytterligare upplysningar samt mätosäkerhet och detektionsnivåer för mikrobiologiska analyser lämnas på begäran.
 Denna rapport får endast återges i sin helhet, om inte utförande laboratorium i förväg skriftligen godkänt annat. Resultaten relaterar endast till det insända provet.

AR-007v26

Side 2 av 2