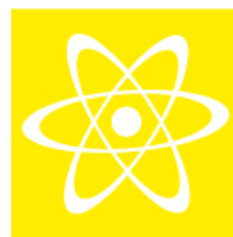
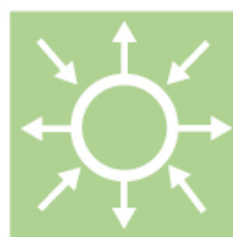




Teknikstatus och konkurrens- kraft med torrefiering

Förstudie

Elforsk rapport 13:05



Tomas Ekbom

Februari 2013

ELFORSK

Teknikstatus och konkurrens- kraft med torrefiering

Förstudie

Elforsk rapport 13:05

Förord

Föreliggande projekt har genomförts av Tomas Ekbom, Grontmij AB, som en förstudie inom Elforsks programområde El- och värmeproduktion.

Målsättningen med projektet är att göra en bedömning av teknikens mognadsgrad och status idag, och att analysera teknikens relevans för svensk vidkommande.

Projektets huvudsyfte är att ta fram en rapport, som kan ligga till grund för kommande satsningar inom området.

Stockholm februari 2013

Bertil Wahlund

Elforsk

Sammanfattning

Inledning

Torrefiering (engelska "torrefaction" vilket kommer med samma ord från franskan för rostning, eller torrefiering) är en gammal teknik som har studerats i många år men inte nått full kommersiell tillämpning. Rent allmänt tillämpas tekniken vid rosterier, vanligast för kaffe. Den enkla principen för torrefiering är liknande för lågtemperaturpyrolys eller högtemperaturtorkning.

Under de senaste åren har ett förnyat intresse för torrefiering uppstått främst för möjligheten att minska malnings- och transportkostnader för ett biobränsle, men även för att uppnå andra bränsleegenskaper. En av drivkrafterna i Europa är möjligheten att blanda torrefierad biomassa med fossilt kol till en högre grad än träpellets (oftast träbaserad) i kolkraftverk. Detta kan ge tillgång till en enorm marknad mycket snabbt men kan även bero av ytterligare incitament och styrmedel från regeringarna för att förverkligas.

Syftet med projektet är att ta fram ett underlag till Elforsk om de tekno-ekonomiska möjligheterna att tillverka ett torrefierat trämaterial som ökar kvaliteten och höjer värdet på råvaran. Målet med uppdraget är att underlaget om ett förädlad biobränsle ska kunna användas i besluten för framtida FoU-aktiviteter.

Relevans för svensk skogs- och kraftvärmeindustri

Sverige är globalt en skogsindustriell stormakt gällande massa- och pappersproduktion och för sågade trävaror. Den svenska skogsindustrin är starkt exportinriktad. Samtidigt är svensk skogsindustri en stor producent av biobränsle. Den svenska skogsindustrin har gemensamt antagit ett mål om att öka uttagen av bioenergi med 20 TWh till 2020. En begränsning finns i att biobränsle är kraftigt volyminös och har låg energidensitet. Detta gör att transporter kostar mycket och är svårt att hantera logistikmässigt. Om värdet på produkten antas till samma kostnad som för dagens träpellets med ca 340 SEK/MWh uppgår denna potential till ca 6,8 miljarder SEK per år.

Torrefiering kan ses som ett processteg där energidensiteten höjs och att bränslekvaliteten förbättras för att även kunna blandas med fossilt kol och därmed öka potentiella marknaden. Detta gör att skogsindustrin har ett stort intresse för att kunna ta tillvara outnyttjad skogsbränsle som annars delvis går till förmultning varje år till stora förlorade värden. För pappers- och massaindustrin, som potentiell producent och konsument, finns samma värderingar om marknadsvärden och som användare som hos för energi- och processindustrin.

Den svenska energiindustrin har ett intresse mer i användning och om angående bränslekvalitet (t.ex. fukt- och askhalt, värmevärde, densitet, hållbarhet, risk för damning, antändning etc). Priset är också avgörande i jämförelse med andra konkurrerande biobränslen såsom träpulver, sågspån, träpellets, returträ, rivningsvirke, grot med mera.

Två av de områden där många frågor tagits upp gäller kompatibiliteten vid användningen med andra bränslen och att minimera de problem som flera gånger lett till driftstörningar vid hantering och användning av träpellets. Ett bränsle som är mer hydrofob, har högre energidensitet, inte dammar och är lätt att hantera samt är hållbart över tid skulle vara mycket intressant för industrin.

Teknikstatus

Idag finns en mängd företag som utvecklar tekniken mot kommersiell status varvid två företag har kommit riktigt långt, Topell Energy och Stramproy Green, båda från Holland. Det finns en mängd teknologier som många gånger kommer från vanliga torktekniker och därför är utbudet mycket stort. Ett fåtal företag har idag demonstrerat teknik i en större demonstrationsskala >5 ton/timme.

Det publiceras ständigt nya press releaser från företag som har pilotprojekt på gång eller säger sig vara kommersiellt mogna. Det är svårt att få en exakt bild av utvecklingsläget då det är stor aktivitet på området men det bedöms att det finns det idag närmare 60 stycken utvecklare av torrefieringsteknik. Utöver det finns alternativa tekniker vilka också kan ge ett "biokol" som ångexplosion och pyrolys. Det gäller därmed att separera "torre-fact" från "torre-fiction"!

Kritiska problemområden är uppskalning och processtyrning för att förhindra att temperaturen skenar. De nya kommersiella anläggningarna har än så länge inte rapporterat några längre drifttider. Det är dock troligt att situationen snabbt kommer att förbättras då utvecklingen har accelererat tack vare den erfarenhet som finns inom liknande teknologier, såsom konventionella torkapparater.

Industriella erfarenheter vid skalning och validering av data behövs på områden som hantering, lagring (grad av hydrofobicitet), kvarnegenskaper, explosionsrisk, damning och luktproblem samt produktens förbränningsenskaper (utbränning, reaktivitet).

Exotermicitet och självantändning är relevanta områden att forska vidare på; det finns vissa belegg för att bränder kan ha självstartat genom att torrefierat material som lagras över 60°C uppvisar risk för självantändning.

Låga torrefieringstemperaturer (260-300°C) leder till bäst resultat genom bevarande av lignin som en bindningskomponent. Olika additiv undersöks för närvarande och t.ex. glycerol nämns som ett exempel.

Torkning kontra torrefiering

En produktionsanläggning som avser att torka ett material behöver storskalighet för att erhålla lägre specifika investeringskostnader och därmed ökad konkurrenskraft. På samma sätt gäller detta torrefiering där uppskalning är nyckeln till framgång. Frågan är om den extra kostnaden med torrefiering betalar sig med lägre total kostnad vid slutkund.

Med dagens biobränslepriser och volymer och kapaciteter på marknaden bedöms en konkurrenskraftig kommersiell anläggning vara >100 000 ton/år, vilket motsvarar omkring 600 GWh. Ett flertal pelletsanläggningar har byggt på senare år i storleken om över 500 000 ton/år. Det är sannolikt att framtida anläggningar behöver vara fortsatt stora för att möta kommande behov och konkurrens. Således lämpar sig enbart platser med mycket goda logistikmöjligheter och närhet till råvaran, samt helst lågvärdig värme till torkprocessen.

Vid torrefiering minskas massan mer än energiinnehållet, typiskt återfinns 90 % av energin och 70 % av massan i produkten. Med en analys för en anläggning som gör träpellets kontra torrefiering ges ett resultat enligt Topell att energidensiteten kan höjas från 17,5 MJ/kg med träpellets till 21,7 MJ/kg och än mer på energidensiteten: från 10,7 till 17,4 GJ/m³.

En lågvärdesgas bestående av lättflyktiga ämnen och vatten avgår också vilken innehåller en del tjärämnen vilka kan vara svåra att förbränna eller ta hand om. Processen kan dock drivas mer eller mindre långt från lättare torrefiering som ger en produkt som mer liknar vanlig vit pellets till hårdare torrefiering som gränsar mot karbonisering och ger en brun till svart produkt.

Det är svårt att finna tillförlitliga data på investerings- och produktionskostnader för existerande anläggningar då torrefieringstekniken inte är allmänt och brett kommersialiserad. Investeringskostnader för två anläggningar med kapacitet om 100 000 ton/år torrefierat pellets (600 GWh/år) har dock studerats av Topell och inkluderar en nyckelfärdig anläggning med träpellets kontra torrefierade pellets vid användning i en kolpanna där torrefierat material t.ex. ej behöver separat lagringssilo.

Tabell 1: Prestanda gällande anläggning med pellets eller torrefiering.

Bränsle	Träpellets	Torripellets
Konsumtion (50 % fukt)	255 000 ton/år	255 000 ton/år
Produktion	123 800 ton/år	100 000 ton/år
Produkt, LHV	600 GWh/år	600 GWh/år
Produkt, LHV	17,5 MJ/kg	21,7 MJ/kg
Produkt, bulkdensitet	620 kg/m ³	800 kg/m ³
Produkt, energidensitet	10,7 GJ/m ³	17,4 GJ/m ³

Källa: Topell.

Tabell 2: Uppskattad merkostnad i investering för varje anläggningstyp.

Bränsle	Enhet	Träpellets	TOP
Vedgård	MSEK	33,5	33,5
Förtork (rotertork)	MSEK	30,2	24,1
Torrefiering	MSEK	0	87,1
Hammarkvarn	MSEK	13,4	0
Pelletering	MSEK	26,8	20,8
Silo, lagring	MSEK	6,7	0
Bygg & mark etc	MSEK	20,1	28,8
Total	MSEK	130,6	194,0

Källa: Topell.

Tabell 3: Finansiella data.

Faktor	Värde
Växelkurs, SEK/USD	6,70
Växelkurs, SEK/EUR	8,30
Annuitet	8,7 %
Projektets livstid	15 år
Årliga drifttimmar, produkt	8000
Biobränsle, skogsflis	200 SEK/MWh
Elektricitet, köpkostnad	500 SEK/MWh

Tabell 4: Uppskattade produktionskostnader för träpellets och TOP.

Bränsle	Enhet	Träpellets	TOP
Bränslekostnad	MSEK/år	127,5	127,5
Elkostnad	MSEK/år	10,6	13,1
Arbetskostnad	MSEK/år	5,2	7,8
Kapitalkostnad	MSEK/år	11,4	16,9
Kostnad på plats	SEK / ton	1250	1650
	SEK / MWh	257	274
Kostnad, landtransport	SEK/MWh	27	14
Kostnad, sjötransport	SEK/MWh	49	31
Kostnad, landtransport	SEK/MWh	23	13
Extrakostnad vid verket	SEK/MWh	47	-
Total kostnad	SEK / ton	1960	2000
	SEK / MWh	403	332

Källa: Topell, justerad för svenska förhållanden.

Extrakostnad vid verket avser den merkostnad- och investering som behövs för träpellets då bränslet inte kan hanteras eller lagras på samma sätt som med stenkol.

Investeringskostnaden och även produktionskostnaden är högre med torrefiering. Inräknat transportkostnaden med 100 km på lastbil från produktionsanläggningen och vidare transport på båt över Atlanten och ytterligare 100 km på lastbil till slutkostnaden blir totalkostnaden nästan 20 % lägre med torrefiering.

För en storskalig anläggning och riktad mot långväga transporter och export synes torrefiering vara ett mer konkurrenskraftigt alternativ. För svenska förhållanden är inhemska transporter sannolikt billigast med tåg eller lastbil för kortare avstånd.

Sammantaget är transportkostnaderna mycket viktiga för konkurrenskraften men det behövs dock en internationell och nationell standardisering av torrefierade pellets för att en storskalig marknad ska kunna komma till stånd.

Rekommendationer för framtida forskning

Det sker en stark utveckling inom torrefiering i Europa och i Sverige och för svenskt vidkommande ter det sig mindre intressant att exempelvis forska på samförbränning i kraftvärmeverken med kol. Här ges förslag på de viktigaste områdena som rekommenderas tas upp i en följdstudie eller i andra forskningsprojekt:

1. Långvariga, större bränsleförsök

Det behövs större försök med samförbränning med olika bibränslen för att undersöka effekter på pannan. Även pulvertekniska jämförelser med pulvriserat trä och torrefierat trä inklusive förbränningsegenskaper (utbränning, reaktivitet).

2. Ekonomisk optimeringsstudie

Ekonomiska analysen har visat att det kan vara svårt att få en konkurrenskraftig kostnad mot träpellets om inte långväga transporter räknas in. En optimeringsstudie om kostnadseffektivitet med skalor och tekniker bedöms angelägen.

3. Produktstandardisering

Marknaden behöver en standardisering av produktkvalitén och specifikationer. För närvarande finns det stora variationer. På samma sätt som träpellets har standardiserats behövs ett ramverk för torrefierade pellets.

4. Produktegenskaper samt hantering och lagring

Det behövs industriella erfarenheter inom hantering, lagring (grad av hydrofobicitet), kvarnegenskaper, explosionsrisk, damning och lukt och odöremissioner. Även exotermicitet och självantändning är relevanta områden då det finns vissa belägg för att bränder kan ha självstartat.

Till sist, skulle det även vara mycket intressant med produktionstester av "biokol" med SunCoals teknik från svenska skogsrester som grot och jämföra de egenskaperna med torrefierat trä från liknande samt göra en fallstudie på tekniken med en kostnadsanalys.

Summary

Introduction

Torrefaction (from French *torrefaction*) is an old technology that has been studied for many years but has not reached full commercial status. Generally this technology is used at roasters, mostly coffee. The principle of torrefaction is similar to low temperature pyrolysis or high temperature drying.

In recent years, there is a renewed interest in torrefaction primarily because the possibility to reduce grinding and transport costs of a biofuel, but also to achieve other fuel enhanced properties. One of the driving forces in Europe is the ability to mix torrefied biomass with fossil coal to a greater degree than with wood pellets in coal plants. This can give access to a huge market very quickly.

The aim of this project is to develop a basis for Elforsk of the techno-economic feasibility of producing torrefied wood materials that increases the quality and the value of the commodity. The goal of the mission is to aid decisions for future R&D activities in torrefaction.

Relevance for the Swedish forestry and power utility industry

Sweden is a global forest superpower with its pulp and paper production and sawn timber. The Swedish forest industry is highly export-oriented. Meanwhile, the Swedish forest industry is a major producer of biofuels. The Swedish forest industry have jointly adopted the goal to increase the production of bioenergy with 20 TWh by 2020. One limitation is that biofuel is bulky and have low energy density. This increases transport costs and there are difficult logistics. If the value of the product is assumed to be the same as of today's wood pellets with about 340 SEK/MWh the potential market value is then about 6.8 billion SEK per year.

Torrefaction can be seen as a process where the energy density is increased and the fuel quality improved to be blended with fossil coal, thereby increasing the potential market. Hence, the forest industry has a great interest in order to take advantage of untapped forest fuel that otherwise partly decays to large loss of values each year. The pulp & paper industry is potentially both a producer and consumer and have the same interest in the fuel.

The Swedish energy industry has an interest in a greater use and about higher fuel quality (e.g. moisture and ash content, heating value, density, durability, risk of dust, ignition, etc.). The price is also important in comparison with other competing biofuels such as wood powder, sawdust, wood pellets, recycled wood, forest residues, grot and much more.

Drying versus torrefaction

A production facility designed to dry a material needs large scale in order to obtain low specific investment costs and to increase the competitiveness. Similarly, for torrefaction scaling is the key to success. The question is whether the extra cost of torrefaction pays off with a lower production cost at delivery to the end-user.

With today's biofuel prices and volumes and capacities on the market, a full-sized commercial plant is considered to be >100 000 tonnes/year, equivalent to about 600 GWh. A number of pellet plants have been built in recent years with more than 500 000 tonnes/year. It is likely that future systems need to be large to meet future need and to face the competition. Thus, only a location with excellent logistic possibilities and proximity to raw materials is suitable, and preferably access to low-grade heat for the drying process.

Torrefaction reduces mass more than the energy content, typically 90% of the energy and 70% of the mass of the product is contained. Topell shows that the energy density can be increased from 17.5 MJ/kg of wood pellets to 21.7 MJ/kg and even more on energy density: 10.7 to 17.4 GJ/m³.

A low heating value gas consisting of volatile chemicals and water is also produced, which contain some tars that can be difficult to burn or taking care of. The process can be operated from light torrefaction conditions providing a product that more closely resembles normal white pellets to severe torrefaction close to carbonization giving a brown to black coloured product.

It is difficult to find reliable data investment and production costs on existing plants as the technology is not generally and widely commercialized. Estimated investment costs for the two plants with a capacity of 100 000 tonnes/year torrefied pellets (600 GWh/year) as base have been studied by Topell and includes a turnkey plant with wood pellets versus torrefied pellets for a coal-fired boiler.

Table 1: Performance of a plant with wood pellets or torrefied pellets.

Fuel	Wood pellets	Torrefied pellets
Consumption (50 % moisture)	255 000 ton/year	255 000 ton/year
Production	123 800 ton/year	100 000 ton/year
Product, LHV	17.5 MJ/kg	21.7 MJ/kg
Product, bulk density	620 kg/m ³	800 kg/m ³
Product, energy density	10.7 GJ/m ³	17.4 GJ/m ³

Source: Topell.

Table 2: Estimated marginal investment costs for the type of plant.

Fuel	Unit	Wood pellets	TOP
Wood yard	MSEK	33.5	33.5
Pre-dryer (drum dryer)	MSEK	30.2	24.1
Torrefaction unit	MSEK	0	87.1
Hammer head mill	MSEK	13.4	0
Pelletization	MSEK	26.8	20.8
Silos, storage	MSEK	6.7	0
Civil etc	MSEK	20.1	28.8
Total	MSEK	130,6	194,0

Source: Topell.

Table 3: Financial data.

Factor	Value
Exchange rate, SEK/USD	6.70
Exchange rate, SEK/EUR	8.30
Annuity	8.7 %
Project lifetime	15 years
Operation hours per year	8000
Biofuel, wood chips	200 SEK/MWh
Power, price	500 SEK/MWh

Table 4: Estimated production costs of wood pellets and TOP.

Fuel	Unit	Wood pellets	TOP
Biomass cost	MSEK/year	127.5	127.5
Power cost	MSEK/year	10.6	13.1
O & M cost	MSEK/year	5.2	7.8
Capital cost	MSEK/year	11.4	16.9
Cost at plant	SEK / ton	1250	1650
	SEK / MWh	257	274
Cost, land transport	SEK/MWh	27	14
Cost, sea transport	SEK/MWh	49	31
Cost, land transport	SEK/MWh	23	13
Extra cost at utility	SEK/MWh	47	-
Total cost	SEK / ton	1960	2000
	SEK / MWh	403	332

Source: Topell, adjusted for Swedish conditions.

The extra cost at the utility refers to the extra cost and investment to handle a fuel that can not be handled in the same way as the coal fuel.

The investment cost and even the production cost is higher with torrefaction. But including the cost of transport with 100 km by truck from the plant and further transport to the boat and another 100 km on the road to the final end-user, the total cost is almost 20% lower with torrefaction. For a large-scale facility and facing long-distance transports and export, torrefaction seems to be a more competitive alternative than traditional wood pellet production.

Recommendations for future research

There is a strong trend in torrefaction in Europe and in Sweden where for Swedish conditions it seems less interesting, for example, on research on co-firing in cogeneration plants with coal. Here are suggestions for the most important areas that are recommended to be divided into a sequential study or other research:

1. Long-term, large-scale fuel tests

There is a need for long-term, large-scale fuel tests with different biofuels to investigate the effects in the boiler. Technical comparisons on pulverized fuels with wood and torrefied wood including combustion characteristics (burning, reactivity).

2. Economic optimization study

Economic analysis has shown that it can be difficult to get a competitive cost of wood pellets unless long transport distances are included. An optimization study on scales and techniques is considered important.

3. Product standardization

The market needs a standardization of product quality and specifications. Currently there are large variations. In the same way as wood pellets are standardized, there is a need for a framework for torrefied pellets.

4. Product features and handling and storage

There is a need for industrial experience in handling, storage (degree of hydrophobicity), explosion, dust and odor. Even exothermicity and spontaneous combustion are relevant areas as there is some evidence for self-ignition.

Finally, it would also be very interesting to test production of "biochar" with the SunCoals technology from Swedish forest residues (grot) and compare the characteristics of torrefierat wood, and perform a case study on the technology with a cost analysis.

Innehåll

1	Inledning	1
1.1	Historik och bakgrund	1
1.2	Intresse och relevans	1
1.2.1	Skogsindustrin	2
1.2.2	Energi- och processindustrin	2
1.3	Mål och syfte	3
1.4	Omfattning och genomförande	3
2	Processteknik	5
2.1	Generella principer	5
2.1.1	Torkning och torrefiering	5
2.2	Processbeskrivning	7
2.2.1	Råmaterial	7
2.2.2	Torkning för tillverkning av pellets	7
2.2.3	Torrefiering	9
2.2.4	Ångexplosion ("steam explosion")	10
2.3	Torrefieringsteknologier	13
2.4	Produktspecifikationer	16
2.4.1	Torrt trä versus torrefierat trä	16
3	Utveckling och status	18
3.1	Leverantörer	18
3.2	Erfarenheter och analys	20
3.3	Miljöpåverkan och utsläpp	20
3.4	Marknadsutsikter	21
4	Tekniska prestanda och ekonomiska resultat	23
4.1	Förutsättningar och antaganden	23
4.2	Material- och energibalanser	23
4.3	Kostnader med ekonomisk analys	24
5	Slutsatser och diskussion	27
5.1	Relevans för skogs- och energiindustrin	27
5.2	Aktuell status för tekniken	28
5.3	Torkning kontra torrefiering	29
5.4	Rekommendationer för framtida forskning	30
6	Förkortningar och akronymer	31
7	Referenser	32
7.1	Internet	32
7.2	Publikationer	32
8	Bilaga: Grotspecifikation	34

1 Inledning

1.1 Historik och bakgrund

Torrefiering (engelska "torrefaction" vilket kommer med samma ord från franskan för rostning, eller torrefiering) är en gammal teknik som har studerats i många år men inte nått full kommersiell tillämpning. Rent allmänt tillämpas tekniken vid rosterier, vanligast för kaffe. Den enkla principen för torrefiering är liknande för lågtemperaturpyrolys eller högtemperaturtorkning. I Frankrike var en demonstrationsanläggning i drift på 80-talet med en nominell kapacitet på 12 000 ton per år. Anläggningen nedmonterades i början av 90-talet. I takt med ökad användning av biobränsle i Sverige och i Europa vilket kommer av ökade skatter på fossila bränslen har också intresset för att utveckla och vidareförädla biobränslen ökat. Torrefiering kan där ses som ett steg till efter torkning med förbättrade bränsleegenskaper för ett flertal användningsområden.

1.2 Intresse och relevans

Under de senaste åren har ett förnyat intresse för torrefiering uppstått främst för möjligheten att minska malningskostnader och elförbrukning för att omvandla fast biobränslematerial till ett fint pulver, men även för att uppnå andra bränsleegenskaper. I Holland har stora utvecklingssteg tagits, främst vid ECN och även i USA och Sverige.

En av drivkrafterna i Europa är möjligheten att blanda torrefierad biomassa med fossilt kol till en högre grad än biopellets (oftast träbaserad) i kolkraftverk. Vanlig pellets kan oftast blandas till högst 5-10 % i en kolkvarn på grund av den fibrösa naturen i materialet hos de flesta biomassor. Högre inblandning av biomassa skulle fordra byte av brännare i en panna till dedikerade brännare vilket lägger komplexitet på brand- och styrsystem i pannan. För specialbränslen har Fortum provat olivkärnor med framgång och blandar in i Värtaverket upp till 30 % med stenkol.

Torrefierade träpellets kan kringgå problemet och tillåter en högre tillsats av biomassa direkt i en kolkvarn. Dessutom är torrefierat material hydrofobt till skillnad från biomassa som är hydrofilt. Detta kan ge tillgång till en enorm marknad mycket snabbt men det kan även behövas ytterligare incitament och styrmedel från regeringarna för att förverkligas.

1.2.1 Skogsindustrin

Sverige är globalt en skogsindustriell stormakt gällande massa- och pappersproduktion och för sågade trävaror. Den svenska skogsindustrin är starkt exportinriktad. Samtidigt är svensk skogsindustri en stor producent av biobränsle. Den svenska skogsindustrin har gemensamt antagit två mål på skogsområdet:

- Den årliga tillväxten i den svenska skogen ska öka med 20 miljoner kubikmeter till 2020.
- Uttagen av bioenergi från skogen ska öka med 20 TWh till 2020.

I målet ingår avverkningsrester, i första hand grot (grenar och toppar) samt klena träd från röjningsgallring och stubbar från slutavverkningar. Däremot ingår inte övriga biobränslen såsom biprodukter, energiskog och returträ. Enligt SLU omfattar dagens leveranser av primära skogsbränslen totalt 18,3 TWh. Den potential till ökning av leveranserna med 20 TWh per år som finns berör både de traditionella skogsbränslena och nya skogsbränslen. Samtidigt finns en större potential inom andra bränslekategorier med bland annat skogsflis (34 TWh/år) ved till hushåll (11 TW/år), förädlade trädbränslen (12 TWh/år), returträ (3 TWh/år) och brännbart avfall (19 TWh/år) enligt Energimyndigheten (2011).

En begränsning finns i att biobränsle är kraftigt volyminös och har låg energidensitet. Detta gör att transporter kostar mycket och är svårt att hantera logistikmässigt. Det saknas ofta distributionskedjor samt incitament för att öka uttaget i skogen. Speciellt skulle tunna bestånd, stubbar och mer grot kunna tas ut om värdet på produkten kunde ökas för att konkurrera på en större marknad. Om värdet på produkten antas till samma kostnad som för dagens träpellets med ca 340 SEK/MWh uppgår denna potential till ca 6,8 miljarder SEK per år.

Torrefiering kan ses som ett processteg där energidensiteten höjs och att bränslekvaliteten förbättras för att även kunna blandas med fossilt kol och därmed öka potentiella marknaden. Detta gör att skogsindustrin har ett stort intresse för att kunna ta tillvara outnyttjad skogsbränsle som annars delvis går till förmultning varje år till stora förlorade värden. För massaindustrin, som både potentiell producent och konsument, finns samma värderingar om marknadsvärden som för energi- och processindustrin.

1.2.2 Energi- och processindustrin

Den svenska energiindustrin där kraftvärmeproducenter utgör störst andel är idag till stora delar redan biobränslebaserad. Intresset ligger mer i användning och om bränslekvalitet (t.ex. fukt- och askhalt, värmevärde, densitet, hållbarhet, risk för damning, antändning etc). Priset är också en viktig faktor i jämförelse med andra konkurrerande biobränslen såsom träpulver, sågspån, träpellets, returträ, rivningsvirke, grot med mera.

Två av de områden där många frågor tagits upp gäller kompabiliteten vid användningen tillsammans med andra bränslen och att minimera de problem

som flera gånger lett till driftstörningar vid hantering och användning av träpellets. Befintliga anläggningar som använder sig utav träpellets har mottagningsstationer, lager, kvarnar och krossar, inmatningssystem samt brännare. För ett nytt bränsle gäller att så lite nyinvesteringar som möjligt behövs. Samtidigt får inte bränslematerialet förändras, vilket annars ställer kostsamma krav på flexibilitet i systemen.

Träpellets har rapporterats damma med följd av explosioner och risk för hälsa och säkerhet, samt antända i lager på grund av att regnvatten eller fukt eller kondensvatten kommit in i lager och transportörer vilket lett i flera fall till stora lagerbränder. Trots att träpellets har en låg fukthalt är det ingen garanti för att materialet inte suger åt sig vatten och sväller vilket försämrar bränslets kvalitet till en hög grad.

Ett bränsle som är hydrofob, har högre energidensitet, inte dammar och är lätt att hantera samt är hållbart över tid skulle vara mycket intressant för industrin. Samtidigt passar ett torrefierat material väl in på förgasningsteknik i stora system som hitintills varit utvecklade för pulvriserat kol. Det ger möjlighet till effektiv storskalig förgasningsteknik för t.ex. biodrivmedel- eller kemikalieproduktion.

1.3 Mål och syfte

Elforsk har ett intresse att göra en statusuppdatering av torrefiering. Förstudie ska jämföras med de koncept som finns idag för användarna med främst torkning av trämaterial. Målet är att göra en bedömning om teknikens mognad samt prestanda med gjorda erfarenheter. Fokus läggs på relevansen för svenskt vidkommande, vad blir nyttan och var och hur kommer tekniken in i energisystemet?

Syftet med uppdraget är att ta fram ett underlag till Elforsk om de tekno-ekonomiska möjligheterna att tillverka ett torrefierat trämaterial som ökar kvaliteten och höjer värdet på råvaran. Målet med uppdraget är att underlaget om ett förädlad biobränsle ska kunna användas i besluten för framtida FoU-aktiviteter. Sammantaget bidrar detta till kunskapen om torrefierat trämaterial och dess tillverkning.

1.4 Omfattning och genomförande

Uppdraget omfattar en konceptuell tekno-ekonomisk utvärdering av torrefiering som process av skogsbränsle med beskrivning också av produkttegenskaper. Förutsättningar fastställs med designdata för ett typfall och processkrav behandlas och definieras. Därefter görs en state-of-the-art-analys och ett processval med fördjupning till de material- och energibalanser som utförs för vald specifik anläggningsstorlek.

Uppdraget omfattar i korthet att genomföra utredningen enligt fastställda mål innehållande:

- en övergripande, jämförande tekno-ekonomisk analys av torrefiering kontra torkning,
- en analys av state-of-the-art av teknikkoncepten,
- aktuella forsknings- och demoprojekt med tekniska erfarenheter.

Detta material är avsett att ligga till grund för en större utredning som skulle inkludera en systemstudie analyserande relevansen för svenskt vidkommande med frågor som:

- Var och hur kan torrefierat bränsle komma in i svenska energisystemet?
- Vilka exportmöjligheter finns?
- Transport och logistik är avgörande för konkurrenskraften. Var ska anläggningarna vara placerade?
- Identifiering av hinder och möjligheter.
- Investerings- och produktionskostnader vid olika skalor.
- Jämförelse koncepten emellan och optimering av tekniklösningar.

I första hand ska avses användning av grot och likvärdigt lågvärdigt biobränsle som råmaterial med analys av produkttegenskaperna. Såväl fysikaliska och kemiska som fysiska egenskaper specificeras. Med material- och energibalanser och råvarudata samt övriga förutsättningar kan sedan en konceptuell anläggningskostnad göras. Utifrån fastställda finansparametrar görs en beräkning av produktionskostnaden i SEK/MWh.

2 Processteknik

2.1 Generella principer

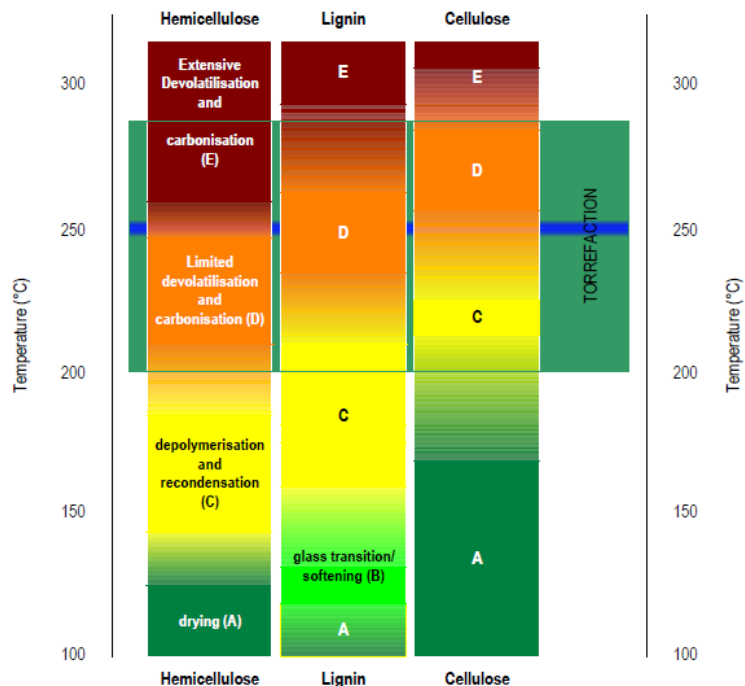
2.1.1 Torkning och torrefiering

Med upphettning av ett biobränsle startas avgång vatten vid torkning och vid torrefiering ett antal mekanismer med nedbrytningsprodukter. För vedträmaterial berörs de tre polymera strukturerna: cellulosa, hemicellulosa och lignin, tillsammans kallade lignocellulosa. Den termiska sönderdelningen av biobränsle sker genom många reaktioner och olika reaktionsvägar kan definieras. Alla dessa reaktionsvägar kan grupperas till några huvudsakliga reaktionstyper, såsom visas i Figur 1. De huvudsakliga mekanismerna är, med respektive temperaturområde:

- A. Torkning
- B. Glasövergång / mjukning
- C. Depolymerisation och förtätning
- D. Förkolning
- E. Kraftig flyktavgång och karbonisering.

För varje polymer kan liknande system av sönderdelningsprodukter definieras. I temperaturområdet A sker fysisk torkning av biomassan. När temperaturen ökas till området C sker depolymerisering och de förkortade polymererna kondenserar i den fasta strukturen. En ytterligare ökning av temperaturen till området D leder till begränsad förgasning och förkolning av de intakta polymererna och de fasta strukturerna som bildas i temperaturområdet C.

Ytterligare ökning av temperaturen till området E leder till omfattande förgasning och förkolning av polymerer och, för de fasta produkterna som bildades i området D. För lignin definieras även ett temperaturområde B i vilken mjukning av denna beståndsdel inträffar, ett fenomen som är mycket fördelaktigt i förtätning av biomassa, där mjukt lignin är ett bra bindemedel.



Figur 1: Huvudsakliga fysikalisk-kemiska reaktionsmekanismer vid upphettning av lignocellulosa. Översiktliga nedbrytningsområden är baserad på Koukis et al (1982).

I allmänhet är hemicellulosa den mest reaktiva polymeren följt av lignin och cellulosa är mest termostabil. I det nedre torrefieringsområdet kommer den viktigaste nedbrytningen från den begränsade förgasningen och förkolningen av hemicellulosa. Mindre nedbrytning kan förväntas för lignin och cellulosa förutom kemiska förändringar i deras struktur, som dock inte leder till en signifikant viktförlust.

Vid högre torrefieringstemperaturer blir nedbrytningen mer kraftfull där hemicellulosa sönderdelas till flyktiga komponenter och en koksliknande fast produkt och även lignin och cellulosa uppvisar begränsad förgasning och förkolning.

Övergångarna från ett till ett annat område är ganska gradvisa. För hemicellulosa är övergångarna ganska distinkta (smalt temperaturområde), men för lignin och cellulosa sker de över ett bredare temperaturområde. Exakta temperaturövergångar beror på typ och egenskaper för materialet.

Reaktiviteten av hemicellulosa beror mycket på dess molekylära struktur. En stor skillnad finns mellan strukturer hemicellulosa av lövskog (vide, bok) och barrträd (gran, lärk). På grund av dessa skillnader är lövved mycket mer reaktiv och resulterar i betydligt mer förgasning (och förkolning).

2.2 Processbeskrivning

2.2.1 Råmaterial

Både lövved och barrved kan användas som träslag för råmaterial som exempelvis skogsflis, grot, förädlade trädbränslen, returträ och rivningsvirke, jordbruksprodukter och brännbart avfall. Dessutom kan andra biprodukter användas som sågspån, kutterspån, kärnor, bark och liknande. Rått biobränsle från skogen innehåller vanligtvis 50-60 % vatten.

I vilken utsträckning materialet skall torkas eller torrefieras kan analyseras ur två synvinklar: uppnåelig avkastning och produktivitet. När det gäller utbyte är den grundläggande frågan huruvida produkten får önskad erforderlig kvalitet. Vid högre processtemperatur och längre uppehållstid avgår mer av trämaterial vid torrefiering till gasfas och mindre utbyte uppnås till färdig produkt.

2.2.2 Torkning för tillverkning av pellets

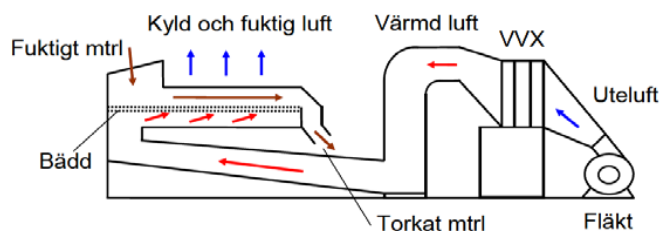
Motivet för att torka bark, grot, flis eller annat skogsbränsle är flera:

- Skapa ett nytt bränsle eller förstadium till bränsle som kan användas som oljesubstitut i förbränningsapplikationer som inte lämpar sig för fuktigt skogsbränsle
- Inom ramen för förbränningsdiagrammen för fastbränslepannor öka förbränningskapacitet och termisk verkningsgrad
- Möjliggöra pelletering av bränsle som kan lagras och transporteras för avsaluändamål med hög energitäthet.

Huvuddragen i ett torkkoncept är en tork som torkar fuktigt skogsbränsle till en torrhalt på ca 70 %. Motivet för att inte driva det första torksteget mycket längre är att man i första hand kan använda lågvärdig värme som värmekälla, dels att fastbränsle med 70 % TS är oftast tillräckligt torrt som tillsatsbränsle i pannor eller en eventuell förgasare. Det finns två typer av torkar för 70 % TS som generellt används:

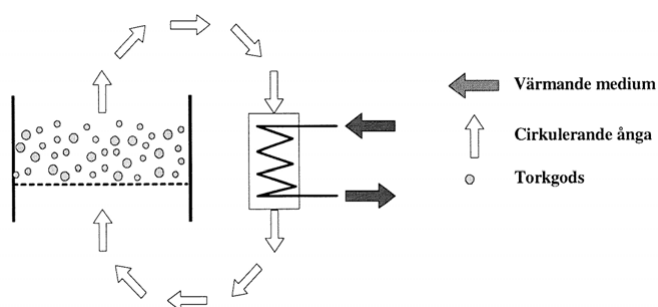
- Bandtork (eller bäddtork)
- Ång/fluidiseringstork.

De principiella skillnaderna mellan en bandtork och en ångtork visas i Figur 2 och Figur 3. Bandtorken använder luft som torkmedium genom hål i ett band eller bälte som materialet flyttas framåt på. Värmekällan är i första hand lågvärdig värme som till exempel 85°C sekundärvärmeöverskott. För det fall fjärrvärme finns till lågt pris sommartid (till exempel vid fjärrvärmenät med stor andel avfallsbaserad värme), är det ett gott alternativ. Vid behov används ånga för att spetsvärma torkmediet till en temperatur på 80-120°C.



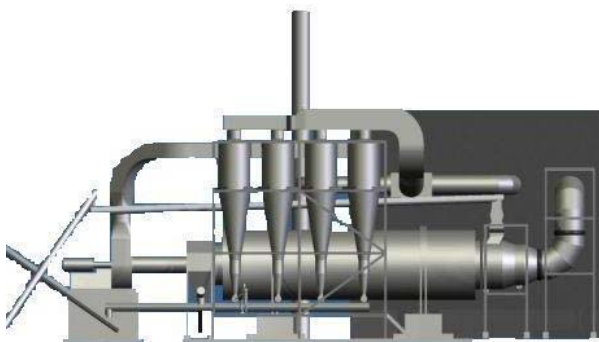
Figur 2: Bäddtork.

Som exempel på ångtorkens funktionsprincip visas Niro's fluidiseringstork i Figur 3. Torkmedium är överhettad ånga och värmekälla är färskånga från ett låg- eller mellantrycksnät. Torkmediet fluidiserar bränslet vilket skapar god omblandning och avdrivning av fukt från torkgodset. Fukt som avdrivs från torkgodset skapar ett överskott av ånga i torken. Överskottet tappas av i tryckkärlets topp och leds till en värmeväxlare där värme kan återvinnas genom överföring till matarvattenssystem, fjärrvärme eller sekundärvärme.



Figur 3: Ång / fluidiseringstork Niro.

Bränsle som skall användas som pulverbränsle eller pelleteras behöver torkas till 90 % TS. Detta görs lämpligen i en rotertork, Figur 4, som värms med rökgaser (det är även möjligt i en bandtork, förutsatt tillgång till högkvalitetsvärme). En möjlighet är en separat förbränningsutrustning som värmer rotertorken såväl som rökgas från en panna. Skall man elda pulver eller pelletera bränsle behöver man även mala torkgodset innan det sedan kan blåsas till pulverbrännare eller ångpannor.



Figur 4: Rotertork.

Pelletering av bränsle görs i första hand för att öka energidensiteten och få ett transporterbart bränsle. En pelleteringslinje består av en kvarn följt av en pelleteringsmaskin.

Miljöpåverkan från en tork ligger främst i att den avger flyktiga organiska ämnen (VOC) på samma sätt som en flisstack. VOC kan bidra till marknära ozon. Barkångkondensat från en ångtork är toxiskt på samma sätt som barkpressvatten och kan kräva separat behandling.

2.2.3 Torrefiering

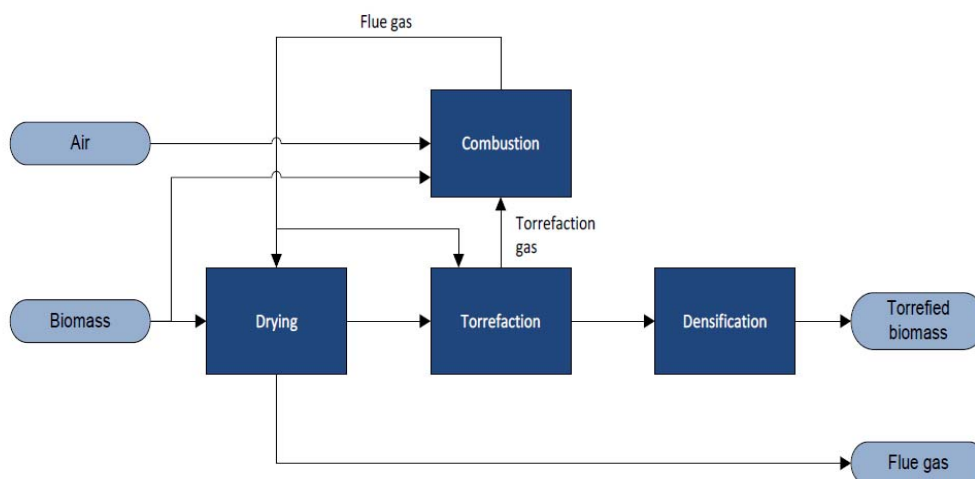
Torrefiering, även kallad rostning, är en termo-kemisk process som ett steg i en förbehandling för att torka ett bränsle och bryta ner strukturer till en produkt med förbättrade fysikaliska egenskaper. Produkten får kvaliteter som ökad energidensitet, vattenavvisande, lång hållbarhet och låg kostnad vid malning för det fall man pelleterat produkten.

Torrefiering som är en exoterm process, kan liknas vid långsam pyrolys som äger rum mellan 200 och 320°C i en inert atmosfär (utan närvaro av syre eller vatten) och atmosfäriskt tryck. Detta förhindrar antändning och oxidation. Vatten och flyktiga ämnen avgår under processen, och typiskt reduceras bränslets vikt med ca 20 % och till en förlust om ca 10 % på energibasis, vilket ger en energidensitet i intervallet 18-20 MJ/kg. Med högre temperaturer och längre uppehållstider ökar energiförlusten till gas. Det har också visats att lövskog tenderar att ge högre energiförlust än barrskog.

Bränslet lämpar sig väl till att mala till ett fint pulver och vid pelletering erhålls ca 65 % högre energidensitet än träpellets och 150 % högre än träflis. Bränslet kan användas i stor utsträckning i kolpannor och i nya brännare.

En viktig funktion med torrefiering är förändringen i malningsegenskaper. Trä med sin fiberstruktur är svårt och energikrävande att mala till fina partiklar som är mindre än några få millimeter stora. Efter torrefiering reduceras elförbrukningen generellt till mindre än en fjärdedel för att nå en viss storleksfraktion. Kvarnens kapacitet ökar också kraftigt, mer än tre gånger. Den sammanlagda effekten minskar både driftskostnaderna (energiförbrukning) och investeringar (antal kvarnar).

Det holländska företaget Topell Energy har visat ett blockschema över processen som är tvådelad, med torkning och torrefiering enligt nedan figur. Den är relativt typisk och är därmed ett bra exempel på processkonfiguration för torrefiering med torkning.



Figur 5: Blockschema över Topells process (Ref. Topell).

Det som skiljer olika tekniker förutom reaktortyper är även hur värmen återförs till processen vid en integrering. De möjligheter generellt som ges för torrefieringstekniken angående en värmeintegrering kan klassificeras enligt:

1. direkt värme genom återföring av rökgaser: effektiv värme/massöverföring men till förlust av produkt
2. direkt värme genom återföring av torrefieringsgaser: effektiv värme/massöverföring men formering av tjäran
3. direkt eller indirekt värme genom återföring av ånga: risk för karbonisering.

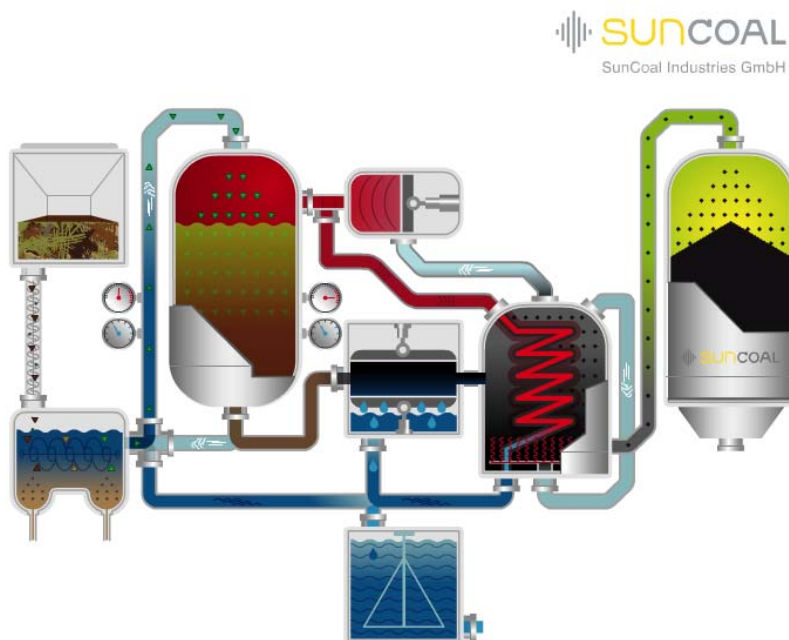
2.2.4 Ångexplosion ("steam explosion")

Som ett intressant alternativ till torrefiering med en liknande bränsleprodukt finns en metod som kallas ångexplosion som är en nästan 80 år gammal teknik gällande satsvis tillverkning. Vid ångexplosion utsätts lignocellulosafibrer i biomassa för en högtrycksånga (typiskt 13-30 bar) under 1 till 10 minuter, följt av plötslig dekomprimering genom att den resulterande produkten flashas till atmosfärstryck. Den här explosiva urladdningen förändrar utgångsmaterialet (fast) till en fibrös "kompost" genom en kombination av mekanisk och kemisk påverkan.

För träflis orsakar tryckfallet en defibrillering av flisen till fiberknippen och partiell hydrolys av cellulosa, andra kolhydrater, lignin och flyktiga komponenter. Efter explosionssteget finns det många möjligheter på hur man kan använda denna produkt för att antingen behandla med kemikalier för att separera ut önskvärda komponenter eller avlägsna till exempel mineraler och spårämnesmetaller genom tvättning. Denna teknik utvecklas kommersiellt av processleverantörerna SunCoal Industries. Det är mycket troligt att även Zilkha Biomass har utvecklat ångexplosion för att uppnå en produkt likt för torrefiering.

SunCoal Industries är ett tyskt företag lokaliserat i Ludwigsfelde, Brandenburg, omkring 20 km söder om Berlin som utvecklar, bygger och driver anläggningar som förädlar organiskt avfall till SunCoal® biocoal med den patenterade CarboREN®-tekniken, baserad på hydrotermisk förkolning (Hydro-Thermal Carbonization, HTC). De samarbetar med Andritz som EPC-leverantör.

CarboREN-tekniken är baserad på principerna om hydrotermisk förkolning och kan använda mycket fuktigt biobränsle för att producera torr och fast SunCoal biobränsle, vilket har liknande egenskaper som torrt brunkol eller torv. Den patenterade tekniken homogeniserar biomassan till ett slags biokol, som sedan torkas. Med hjälp av denna process, kan en fuktig biomassa (t.ex. matavfall) med 20-75 % vattenhalt och ett lågt värmevärde omvandlas till ett biokol som har liknande egenskaper som fossilt brunkol, eller torv. Processen behöver 7-12 % av energin från producerat biokol och är utformad i modulära enheter.



Figur 6: SunCoals patenterade CarboREN-teknik med Hydrothermal Carbonization (Ref. SunCoal).

Bränslet krossas till en storlek om ca 60 mm, filtreras och tvättas från stenar, metall och plaster etc. Materialet matas sedan in i en "carbonizer" kokare och temperaturen höjs till 200°C med 30 bars ånga och trycksätts därmed till 20 bar. Detta bryter ner biobränslet och vatten separeras. Den resulterande slurryn leds ut och flashas till atmosfärstryck och kyla.

Med mekanisk pressning minskas vattenhalten till 50 % och där vattnet kan användas igen till kokaren. Presskakan torkas ner till en vattenhalt om 5 %. Processvatten leds till extern vattenrening eller renas i anläggningen. SunCoal-produkten kan bearbetas till ett pulver, granuler eller pellets/briketter beroende på kundens krav. Gällande den tekniska kvaliteten på produkten har en analys gjorts på "biokolet" från träflis (se tabell).

Tabell 1: Typiska bränsleegenskaper av SunCoals biokol från träflis.

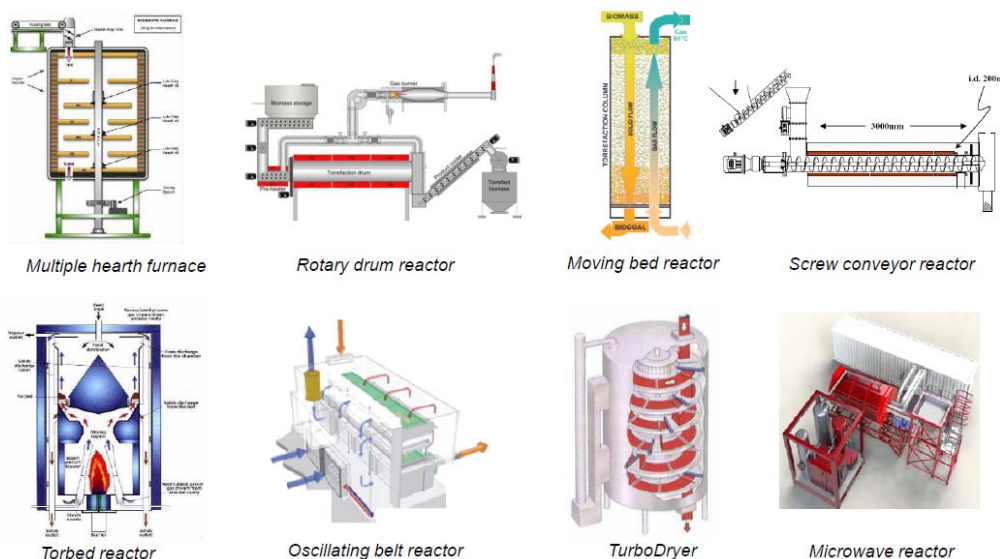
Faktor	Värde
Värmevärde, LHV	Typiskt 20 MJ/kg. Upp till 25 MJ/kg med andra processparametrar
Bulkdensitet, pulver	450 kg/m ³
Bulkdensitet, pellets	650 kg/m ³
Vattenhalt	ca 8 %
Volatiler	ca 50 %
Askhalt	<1,5 %
Klor	ca 0,07 vikts-%
Svavelsyra	ca 0,2 vikts-%
Nitrater	ca 0,7 vikts-%
Asksmälttemperatur	>1100°C

Källa: SunCoal.

SunCoal ser två olika användningsområden, förbränning med andra bränslen eller dedikerat samt till cementindustrin. Speciellt för den senare skulle den otorkade presskakan kunna användas, men i övrigt är produkterna som pulver, granuler eller pellets. Hanteringen kan skötas med standardutrustning på samma sätt som med övriga bränslen av samma form. Även lagring och transport kan skötas med standardutrustning och förenklas då produkten är starkt hydrofob och har låg fukthalt, vilket liknar kolbränslen.

2.3 Torrefieringsteknologier

Det finns många olika typer av torrefieringsteknologier med flera val av processdesign och tekniska lösningar för torrefieringsprocessen. Ett urval av dessa teknologier redovisas i bilden nedan med processfigurer och med förklarande beskrivning.



Figur 7: Ett urval av tekniker för torrefiering (Ref. Kema).

- Multiple Hearth Furnace* (MHF) är en multipel av ugnshärdar som är vertikalt uppbyggd med en keramisk inmurning. Ugnen kan innehålla 6-12 härdar med en roterande centeraxel med armar. Biobränslet matas från toppen med rökgaser strömmande uppåt från botten. Ett exempel på denna teknik är Wyssmont-torken (även kallad TurboDryer®) som utvecklades tidigt för torrefiering. Leverantörer: Belgien: CMI-NESA, USA: Wyssmont.
- Rotary drum reactor* är en roterande trumma som tumlar biobränslet tillsammans med inerta, uppvärmda gaser. Konceptet liknar det för pyrolys och rotertorkar och där roteringshastigheten är avgörande för produktkvaliteten vilket gör processen svår att kontrollera. Leverantörer: Belgien: 4Energy Invest, Holland: Torr-Coal, ECN, FoxCoal, BioLake, Finland: Metso, Frankrike: Bio3D, Storbritannien: CDS, Sverige: BioEndev, AB Torkapparater, Schweiz: Atmosclear SA, USA: TSi, RTF, Agri-Tech, Österrike: Andritz/EBES.
- Moving bed reactor* är en vertikal transportreaktor där biobränslet matas från toppen och flyttas med varma gaser. Konceptet har flertal svagheter och ses som svårt. Ett exempel är Thermyas process Torsypd®. Leverantörer: Holland: ECN, Frankrike: Thermya (förvärvad sedan juli 2012 av AREVA), USA: Buhler, Pyrovac (pyrolysreaktor).

- *Screw conveyor reactor* även kallad Auger reactor är en skruvmatare där upphettning sker med rökgaser liksom i många av de andra koncepten. Dock ses konceptet ha många begränsningar. Leverantörer: Holland: BTG, BioLake, FoxCoal, USA: Agri-Tech, RTF.
- *Torbed reactor* är en reaktor byggd på en princip med en toroidal luftström som injiceras med hög hastighet (50-80 m/s) genom vertikala "blad" vilken lyfter materialet uppåt. Leverantörer: Holland: Topell, Storbritannien: Torftech Ltd.
- *Oscillating belt reactor* är en oscillerande bandtork där materialet skakas samtidigt som det förflyttas och en uppvärmd gas strömmar genom hål i bandet vilket torrefierar materialet. Tekniken är liknande det för som används vid kommersiella bandtorkar. Leverantörer: Holland: Stramproy Green Investments, USA: NewEarth Eco Technology, REMASCO.
- *TurboDryer* är en reaktor som består av en stapel av långsamt roterande cirkulära brickor. Material matas från toppen och torrefieras och blandas varv efter varv nedåt. Brickorna finns i en inneslutning i vilken uppvärmd luft eller gas cirkuleras genom interna fläktar (se MHF).
- *Microwave reactor* är en reaktor som använder mikrovågor för att torka och torrefiera materialet vilket sker direkt och snabbt. En teknik för hög kapacitet och snabb produktion men med behov av el. Leverantörer: Storbritannien: Rotawave.

De flesta reaktorkonceptet som tillämpas för torrefiering är beprövade för andra processer (torkning, pyrolys, förgasning, förbränning). Alla har sina egna fördelar och nackdelar men den övergripande verkningsgraden beror av dess utformning för hantering av värmeenergin och integreringen med direkt eller indirekt uppvärmning. Nyckeln till bästa prestanda är processtyrning (temperatur, uppehållstid, partikelstorlek, blandning). En sammanfattning av fördelar och nackdelar med exempel på reaktorer ges i tabellen nedan.

Tabell 2: Fördelar och nackdelar med olika torrefieringsreaktorer.

Teknologi	Fördelar	Nackdelar	Uppvärmning
"Mutiple hearth" Flera härdar TurboDryer®	- Bra värmeöverföring - Bra temperaturkontroll - Kan ta brett spann av partikelstorlekar - Beprövad skalning	Stor anläggning fysiskt	Direkt
Roterande trumma	- Uniform värmeöverföring - Stor flexibilitet av bränslets partikelstorlek	- Låg värmeöverföring - Skalning oprövad - Stort ytbehov och stor kostnad	Direkt/indirekt
Moving bed	- Enkel konstruktion och ekonomisk - Hög värmeöverföring	- Selektiv till bränslestorlek och struktur, p.g.a. tryckfall - Svår att temp.kontrollera (risk för hot spots) - Skalning obeprövad - Icke uniform temperaturdistribution	Direkt/indirekt
Skruvmatare (Auger)	- Bra biobränsleflöde - Kan ta brett spann av partikelstorlekar	- Små chanser till uppskalningsmöjligheter - Icke homogen produkt	Indirekt
"Torbed reactor" Centrifug med jetström genom en tunn bädd	- Snabb mass/värmeöverföring - Snabb processkontroll - Litet ytbehov - Effektiv reaktionskinetik	- Risk för kolning - Bara små partiklar kan användas	Direkt
Fast/fluidiserad bädd	- Bra värmeöverföring - Kan ta brett spann av partikelstorlekar - Beprövad skalning	- Begränsning i partikelstorlek - Nötning av partiklar och förlust av finpartiklar - Långsam temp.respons	Direkt
Leverantörer	Kanada: Alterna USA: River Basin Energy		
Oscillerande bandtork	- Bra värmeöverföring - Bra biobränsleflöde - Kan ta brett spann av partikelstorlekar	- Stort ytbehov - Temperaturkontroll	Direkt
Mikrovågsugn	- Hög värmeöverföring - Kan ta brett spann av partikelstorlekar - Bra temperaturkontroll - Snabb torrefiering	- Behöver elkraft - Behov av integrering med konventionell värmare för uniform värmning	Direkt

Källa: (modifierad från WPAC, 2011 och Dhungana, 2011).

2.4 Produktspecifikationer

2.4.1 Torrt trä versus torrefierat trä

Torrefierat trä kan hanteras som övriga stenkolsmaterial, och kan processas samtidigt utan extra investeringar vilket inte vanligt trämaterial kan på samma sätt. Med torrefiering avgår en del volatiler vilket delvis minskar risken för slaggning i pannan. Torrefiering löser därmed några stora skillnader mellan trä och kol, där kolanläggningar kan lättare integrera torrefierat trä i en kolpulverpanna.

	Y	Tough (Taai)	N
	Y	Fibrous (vezelig)	N
	Y	Hydrophylic (wateropnemend)	N
	Y	Biodegradable	N
	Y	Heterogeneous	N
	Y	Poor energy density	N
			

Figur 8: Trä versus stenkol (Ref. Integro).

	N	Tough (Taai)	N
	N	Fibrous (vezelig)	N
	O	Hydrophylic (wateropnemend)	N
	N	Biodegradable	N
	O	Heterogeneous	N
	N	Poor energy density	N
			

Figur 9: Torrefierat trä versus stenkol (Ref. Integro).

Produkten är vattenavvisande (max: 1-6 % upptag av fukt) och kan lagras utomhus utan stor risk för självantändning eller förändring genom nedbrytning av mikroorganismer som för trämaterial. Produkten är också mer homogen i sina egenskaper genom förbehandlingen.

Torrefierat trä kan beskrivas i sina egenskaper och kvalité ligga mellan trä och träkol men sammansättningen är mer lik torrt trä än med träkol, se nedan tabell. TOP är torrefierad pellets. Mängden aska med alkali, klorider, metaller etc är dock inte förändrad i stort jämfört med trä, enbart anrikad.

Energivärden för produkterna beror i hög grad av typ av biobränsle som används och dess fysiska egenskaper. De varierar därmed mycket och det finns egentligen ingen referens.

Det finns dock standarder, t.ex. den svenska standarden för träpellets, SS 187120 ger densiteten till 600 kg/m³ för Grupp 1 med ett energivärde om $\geq 16,9$ MJ/kg (LHV). Detta är den bästa kvaliteten och som kallas normalt för "villakvalitet". Fukthalten får ej överstiga 10 % TS och askhalten 0,7 % TS.

I tabellen nedan redovisas ungefärliga värden för de olika produkterna som exempel. Data för de olika torrefieringskoncepten varierar då processerna skiljer sig åt.

Tabell 3: Jämförelse av bränsleegenskaper, indikativa värden.

	Skogsflis	Träpellets	TOP	Träkol	Stenkol
Värmevärde, MJ/kg (LHV)	9-12	15-19	18-24	30-32	23-28
Fukthalt, vikt %	30-50	7-10	1-5 (~3)	1-5	10-15
Askhalt, vikt %	2-4	<0,50 %	<0,50 %?	Max 4 %	3-20 %
Volatiler, % (t.b.)	70-75	70-75	55-65	10-12	15-30
Fixerat kol, % (t.b.)	20-25	20-25	22-35	85-87	50-55
Bulkdensitet (kg/m ³)	200-250	≥ 600	650-800	~200	800-850
Energidensitet (GJ/m ³)	2,0-3,0	7,5-10,4	15,0-18,7	6,0-6,4	18,4-23,8
Elementaranalys:					
C vikts % av TS	~50	50,8	59,7	~87	~50-90
H vikts % av TS	~6	6,24	5,6	~3	~3-6
N vikts % av TS	~0,2	0,1	0,25	n/a	~1,5
O vikts % av TS	~43	42,8	32,9	~10	~5-20
Damm	Medel	Begränsad	Begränsad	Hög	Begränsad
Hydroskopisk egenskap	Hydrofil	Hydrofil	Måttligt hydrofob	Hydrofob	Hydrofob
Biologisk nedbrytning	Ja	Ja	Långsam	Nej	Nej
Malningskrav	Special	Special	Standard	Standard	Standard
Handhavande	Special	Lätt	Lätt	Lätt	Lätt
Produkthållfasthet	Begränsad	Hög	Hög	Hög	Hög
Transportkostnader	Hög	Medel	Låg	Medel	Låg

Källa: Kema och Bränslehandboken.

Det finns flera sorter av stenkol vilka kan klassificeras som av olika organisk mognadsgrad i processen som stenkol har bildats med. Ungt stenkol kallas brunskol ("lignite"), sedan kommer äldre stenkol som sub-bituminösa och bituminösa (stenkol från Indiana, USA) och sist antracit som är hårdast. Kol- och vattenhalt ökar med mognadsgrad. Följaktligen har antracit högst kolhalt och lägst vattenhalt.

3 Utveckling och status

3.1 Leverantörer

Idag finns en mängd företag som utvecklar tekniken mot kommersiell status varvid två företag har kommit riktigt långt, Topell Energy och Stramproy Green, båda från Holland. Det finns en mängd teknologier som många gånger kommer från vanliga torktekniker och därför är utbudet mycket stort.

Kritiska problemområden är uppskalning och processtyrning för att förhindra att temperaturen skenar. De nya kommersiella anläggningarna har än så länge inte rapporterat några längre drifttider. Det är dock troligt att situationen snabbt kommer att förbättras då utvecklingen har accelererat tack vare den erfarenhet som finns inom liknande teknologier, såsom konventionella torkapparater.

Vattenfall stödjer en satsning av ett holländskt forskningsinstitut, ECN, som utvecklar egen teknik och Vattenfall har planer på egna produktionsanläggningar. Ett demoprojekt har avslutats där tusentals ton torrefierade pellets har testats i en kolförbränningsanläggning upp till 50 vikt-% motsvarande 80 MWel.

I USA finns ytterligare en mängd pilotanläggningar och projekt syftande till uppförande av kommersiella anläggningar. I Sverige finns ett utvecklingsspår med Umeå Universitet som har en pilotreaktor och företaget Bioendev med en demonstrationsanläggning planerad för Örnsköldsvik.

Det publiceras ständigt nya press releaser från företag som har pilotprojekt på gång eller säger sig vara kommersiellt mogna. Det är svårt att få en exakt bild av utvecklingsläget då det är stor aktivitet på området och nedan tabell ger en summering av utvecklingsläget men som inte är absolut fullständig. Enligt R.A. Walton och B.G. van Bommel finns det idag hela 59 stycken utvecklare av torrefieringsteknik. Det gäller därmed att separera "torre-fact" från "torre-fiction"!

I nedan tabell ges en sammanställning av anläggningar i drift och projekt med planerade anläggningar. Listan är inte komplett och inkluderar inte angränsande tekniker som ångexplosion och pyrolys och de tillhörande anläggningarna och projekt. Några har dock tagits med, som Zilkha vilken inte räknas som torrefiering och har heller inte marknadsfört sig som leverantör av torrefierat material, men dock ett bränsle som liknar torrefiering, troligen via ångexplosion. Pyrovac har å sin sida en pyrolysisprocess vilket ger ett material mer likt koks, träkol.

Av dessa närmare 60 st utvecklingsprojekt på gång finns åtta distinkt skilda teknologier men med bara ett fåtal företag som gått före och demonstrerat teknik i en större demonstrationsskala >5 ton/timme.

Tabell 4: Utvecklingsstatus över torrefieringsprojekt och anläggningar i drift.

Utvecklare	Leverantör	Kapacitet	Start	Plats	Status
EBES AG	Andritz	10 000 ton / år	2011	Frohnleiten, Österrike	I drift
ECN	Andritz	10 000 ton / år	Q2 2012	Stenderup, Danmark	I drift
Horizon Bioenergy	Stramproy Green Technology	45 000 ton / år	Q1 2011	Steenwijjk, Holland	I drift igen efter brand
Integro Earth Fuels	Wyssmont	80 000 ton / år	2010	Roxboro, North Carolina, USA	I drift men ej med Wyssmont
RHI Energy UK	RHI Energy UK	10 000 ton / år	2012	Ontario, Kanada	I drift
Topell Energy	Torfttech	60 000 ton / år	Q1 2011	Duive, Holland	I drift
Torr-Coal	Torr-Coal	35 000 ton / år	Q3 2010	Dilsen Stokken, Belgien	I drift
Thermya / LMK Energy	Thermya	20 000 ton / år	Q4 2011	Mazingarbe, Frankrike	Driftsättning
Thermya / Lantec (IDEMA)	Thermya	20 000 ton / år	Q4 2012	Urnieta, Spanien	Driftsättning
Zilkha	Zilkha*	40 000 ton / år	Q4 2010	Crockett, Texas, USA	I drift
Renergy / 4Energy Invest	Stramproy Green Technology	38 000 ton / år	-	Amel, Belgien	Terminerat 2010
Renergy / 4Energy Invest	Stramproy Green Technology	38 000 ton / år	-	Ham, Belgien	Terminerat 2010
Atmosclear SA	Airless Systems	50 000 ton / år	Q4 2010	Rezekne, Lettland	Byggt men i konkurs
Atmosclear SA	Airless Systems	50 000 ton / år	Q4 2010	New Zealand	Planerad
Agri-Tech Producers	Kusters Zima	40 000 ton / år	2010	USA	Planerad
Airex	Airex	40 000 ton / år	i.u.	Laval, Quebec, Kanada	Planerad
BTG	BTG	40 000 ton / år	2014	Holland	Planerad
BioEndev	Metso	30 000 ton / år	2013	Örnsköldsvik, Sverige	Uppskjuten
Bioenergy Development & Production	Bioenergy Dev. & Production	i.u.	i.u.	Nova Scotia, Kanada	Planerad
BioLake	ECN	40 000 ton / år	Q4 2010	i.u.	Planerad
C2SKY	i.u.	40 000 ton / år	2011	i.u.	Planerad
Canadian BioCoal Energy	Rotawave	110 000 ton / år	Q4 2011	Terrace, British Columbia, Kanada	Stoppad?
Diacarbon	Diacarbon	64 000 ton / år	2014	British Columbia, Kanada	Planerad
Earth Care Products	Earth Care Products	i.u.	i.u.	Kansas, USA	Planerad
FoxCoal	FoxCoal	35 000 ton / år	2012	Winschoten, Holland	Företaget i konkurs
FoxCoal	FoxCoal	100 000 ton / år	2012	Holland	Konkurs?
Green Circle	TSi	i.u.	i.u.	Florida, USA	Planerad
HM3 Energy Inc	i.u.	40 000 ton / år	2013	Prineville, Oregon, USA	Under byggnad
Konza	Konza	80 000 ton / år	2012	i.u.	Planerad
New Earth Renew. Tech.	Pyrovac*	i.u.	2012	Texas, USA	Planerad
New Biomass Energy	New Biomass Energy	80 000 ton / år	i.u.	Quitman, Mississippi, USA	I drifttagning
Magnolia Biopower	i.u.	i.u.	i.u.	Waynesville, Georgia, USA	Planerad
RHI Energy UK	RHI Energy UK	40 000 ton / år	2013	Storbritannien	Planerad
RWE Innogy	Topell	i.u.	i.u.	i.u.	Planerad
RFT	RFT	i.u.	i.u.	i.u.	Planerad
River Basin Energy	River Basin Energy	48 000 ton / år	2011	Laramie, Wyoming, USA	Planerad
Rotawave	Group's Vikoma	110 000 ton / år		Terrace, British Columbia	Stoppad?
Torrefaction Systems	BEPEX Int.	i.u.	2013	USA	Planerad
Vattenfall (Nuon)	ECN	20 000 ton / år	i.u.	Delfzijl, Holland	Planerad
WPAC	i.u.	35 000 ton / år	2012	Vanderhoof, British Columbia, Kanada	Planerad
Zilkha	Zilkha*	275 000 ton / år	Q1 2013	Selma, Alabama, USA	Planerad

i.u. = ingen uppgift.

* Annan process än torrefiering.

3.2 Erfarenheter och analys

Industriella erfarenheter vid skalning och validering av data behövs på områden som hantering, lagring (grad av hydrofobicitet), kvarnegenskaper, explosionsrisk, damning och lukt och odöremissioner samt produktens förbränningsegenskaper (utbränning, reaktivitet).

Exotermicitet och självantändning är relevanta områden att forska vidare på; det finns vissa belägg för att bränder kan ha självstartat genom att torrefierat material som lagras över 60 C uppvisar risk för självantändning.

Låga torrefieringstemperaturer (260-300°C) leder till bäst resultat genom bevarande av lignin som en bindningskomponent. Olika additiv undersöks för närvarande och t.ex. glycerol nämns som ett exempel. Men effekten på produkttegenskaperna är inte kända. Förbränningskaraktäristiken kännetecknas av snabb devolatilisering, med en något längre utbränning.

Första batchen från Stamproy Green Investment levererades till Essent/RWE 29 juli 2010 men höll inte avsedd kvalitet enligt specifikationerna. Detta kan vid denna tidpunkt emellertid ha rättats till. Det har också rapporterats att driften har stoppats vid tillfällen p.g.a. tekniska problem.



Figur 10: Stramproys första TOP-leverans till Essent / RWE (Ref. Kema).

3.3 Miljöpåverkan och utsläpp

Restgasen som avgår vid torrefiering innehåller organiska syror och primära tjäror, som måste reformeras eller krackas i en efterbrännkammare. Även om tjärorna som bildas under torrefiering krackas i efterbrännaren, kan tjärorna utgöra ett allvarligt problem när de kondenserar på produkten eller interna ytor i anläggningen. Med ökande torrefieringstemperatur ökas tjärbildningen exponentiellt och därför behövs denna fråga bör hanteras speciellt.

Restgasen kan förbrännas i t.ex. en efterbrännarkammare (EBK). Driften av EBKn beror mycket på kvaliteten på restgasen. När restgasen innehåller mycket fukt, minskar värmevärdet, vilket också leder till suboptimal förbränning. Dessutom kommer fukten i restgasen att värmas upp från ca 300°C till minst 900°C, vilket minskar den termiska verkningsgraden.

Testresultat har visat att även efter förbränningen, kommer rökgasen att innehålla en del organiska föreningar, samt svavel och kväveoxider som måste avlägsnas innan rökgasen släpps ut. Därför behövs ytterligare rökgasrening. Torrefieringsutvecklare använder slangfilter och keramiska filter med absorberande material (t.ex. aktivt kol) för att kontrollera utsläppen. En annan möjlighet är kondensation av torrefieringsgas, men detta resulterar i en avloppsvattenström som måste tas om hand.

Utsläppen av torrefierat bränsle regleras av IPCC och inom en snar framtid även med hållbarhetskriterier för biomassa. Den senare fokuserar på CO₂-utsläpp över hela biovärdekedjan. Detta innebär att CO₂-utsläppen under torrefiering bör hållas så lågt som möjligt. Utsläppen från torrefiering förväntas inte bli en stor teknisk utmaning men bör beaktas tillräckligt.

Vissa utvecklare hävdar avsevärd minskning av aska, klor, svavel och ibland även alkali genom por-behandling av biomassa med torrefiering. Men åtgärder under typiska torrefieringsförhållanden (260-300°C/25-35 minuter) och utan extra reningsåtgärder kan inte ge det resultatet. Vid dessa temperaturer kommer endast mycket små procentandelar av klor och svavel förflyktigas, medan alkali förblir i biomassan.

3.4 Marknadsutsikter

Marknaden behöver en standardisering av produktkvalitén och specifikationer. För närvarande finns det stora variationer.

De flesta svenska värmeverk och industrier anger ett pelletspris om ca 340 SEK/MWh (eller ca 1630 SEK/ton räknat med 4,80 MWh/ton) som referens, vilket korrelerar till torrefierad pellets till 2040-2380 SEK/ton. Nedan tabell visar en sammanfattning av hur marknadspotentialen ter sig för torrefierat bränsle i EU.

Tabell 5: Marknadspotential för torrefierat biobränsle i EU.

Marknadssegment	Process	Teknologi	State-of-the-art biobränsle	Krav på förbehandling	Fördelar med torrefiering	Marknads-potential
Storskalig kraftvärme-produktion	Samförbränning	Biopannor Kol- och oljepannor	Träpellets	Höga	Processat med kolet, högre förbränningsandelar	Hög
	Samför-gasning	Medströms förgasare	Träpellets	Mycket höga (partikel-storlek)	Storleksreducering, C/H/O kvot, mycket torr	Begränsad
	Separat förbränning (>20 MWe)	CFB-pannor	Skogsflis	Moderata	Begränsad, relativt dyrt	Liten
Industriell värme	Förbränning	Ugnar och pannor	Inget	Moderata	Hantering, C/H/O kvoten, energiinnehåll	Hög
Fjärrvärme-centraler	Förbränning	Ugnar, pannor	Träpellets	Höga, decentraliserat	Transportkostnadsbesparingar	Hög

Framtiden för europeisk torrefieringindustri innefattar ökat behov för än större volymer av säkra och långvariga leveranser av biobränslen för samförbränning till konkurrenskraftiga priser som också kan möta EUs krav på hållbarhet. För detta behövs också standardiseringar av produkten för att öka transparensen på marknaden och underlätta för köparna.

Flera demonstrationsanläggningar i Europa behöver visa att de kontinuerligt kan producera stora volymer och en produkt av hög kvalitet. Nästa steg i utvecklingen kommer att behöva vara uppförande av flera kommersiella anläggningar (>100 000 ton/år), speciellt i regioner där biomassa är lättillgängligt och relativt billigt, som i Sverige och Finland, Ryssland, Vitryssland, Slovakien samt även Brasilien, Afrika, Kanada och USA.

4 Tekniska prestanda och ekonomiska resultat

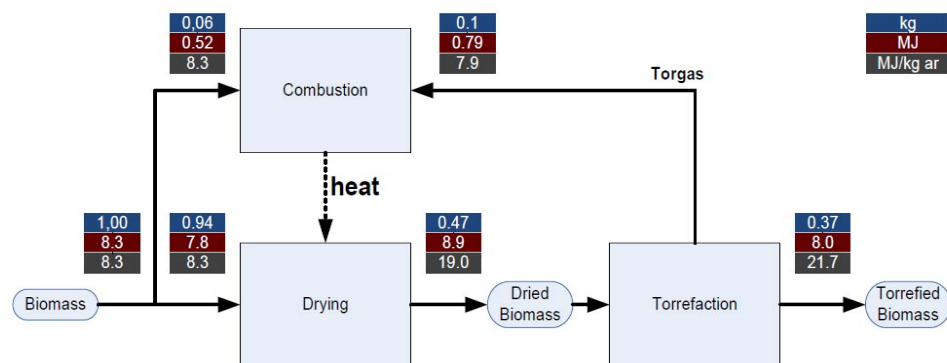
4.1 Förutsättningar och antaganden

En ny torkningsanläggning vid en industri skalas generellt till vald effekt på exempelvis pannan samt lagringsbehov. Kostnaden för lagerhållning behövs dock hållas nere samtidigt som ägaren vill bibehålla bränsleflexibilitet och ta hänsyn till säsongsvariationer.

Detta gäller även till stor del en produktionsanläggning där storskalighet ofta är lika med lägre specifika investeringskostnader och därmed ökad konkurrenskraft. På samma sätt gäller detta torrefiering där uppskalning är nyckeln till framgång. Med dagens bibränslepriser och volymer och kapaciteter på marknaden bedöms en fullstor kommersiell anläggning vara >100 000 ton/år, vilket motsvarar omkring 600 GWh.

4.2 Material- och energibalanser

Topell Energy har visat ett schema med material- och energibalanser över processen som också är relativt typisk och därmed är ett bra exempel. Det är viktigt att poängtera att processen kan drivas olika långt för en slutprodukt som är mer eller mindre torrefierad där framför allt de tidiga pyrolysreaktionerna ger olika egenskaper. Mass- och energiutbytet till fast produkt blir mindre med högre temperatur och längre uppehållstid.



Figur 4: Blockschema över Topells process med mass- och energibalanser.

Vid torrefiering minskas massan mer än energiinnehållet, typiskt återfinns 90 % av energin och 70 % av massan i produkten. En lågvärdesgas bestående av lättflyktiga ämnen och vatten avgår ("torgas"). Processen kan dock drivas mer eller mindre långt från lättare torrefiering som ger en produkt som mer liknar vanlig vit pellets till hårdare torrefiering som gränsar mot karbonisering och ger en brun till svart produkt.

Med en analys för en anläggning som gör träpellets alternativt torrefiering ges denna tabell nedan med resultat med 100 000 ton TOP eller ca 600 GWh/år som bas och motsvarande ingående råvarumängd med träpellets.

Tabell 6: Prestanda över anläggning med pellets eller torrefiering.

Bränsle	Träpellets	Torrpellets
Konsumtion (50 % fukt)	255 000 ton/år	255 000 ton/år
Produktion	123 800 ton/år	100 000 ton/år
Produkt, LHV	600 GWh/år	600 GWh/år
Produkt, LHV	17,5 MJ/kg	21,7 MJ/kg
Produkt, bulkdensitet	620 kg/m ³	800 kg/m ³
Produkt, energidensitet	10,7 GJ/m ³	17,4 GJ/m ³

Källa: Topell.

4.3 Kostnader med ekonomisk analys

Torkteknik för den skala som är aktuell är fullt kommersiell teknik. Investeringskostnaden för en tork som producerar 600 GWh/år torkat bränsle uppskattas till ca 40-70 MSEK (kostnaden för pelletering tillkommer), enbart för hårdvaran, vilket generellt dubblas till total investeringskostnad inklusive projektering och driftstart samt ospecifikt.

Utöver kostnaden för råvara (fuktigt skogsbränsle) förbrukar en tork och eventuell pelleteringslinje även värme och elenergi. Värmekostnaden beror av val av torkteknik, värmekälla och möjlighet att återvinna förångningsvärmes genom kondensation. Värmeconsumtionen vid pelletstillverkning (torkning till 90 % TS och pelletering) brukar uppskattas till 10-20 % och elförbrukningen 4-7 % av pelletens värmeinnehåll. Enligt Topell och deras process är elåtgången uppskattad till 171 kWh per ton träpellets och 263 kWh per ton TOP.

Det är inte möjligt att finna tillförlitliga data på investerings- och produktionskostnader då torrefieringstekniken inte är allmänt och brett kommersialiserad. En anläggning som nyligen startats i USA av Integro Earth Fuels i Roxboro anges till en investeringskostnad om 12 MUSD för en kapacitet om 84 000 ton/år, dock oklart vad som ingår i denna kostnad. I övrigt är uppgifter kring andra anläggningar få.

Svenska företaget Bioendev har projekterat en industriell prototyp som är en uppskalning av befintlig pilotanläggning. Prototypen har en kapacitet om 24 MW råvara in (4,9 ton/h) och 23-19 MW produkt ut (4,3-3,3 ton/h). Den avgivna gasen har en effekt om 0,8-4,2 MW (LHV) med ett värmevärde om 2,2-8,7 MJ/Nm³ (vått, 67-87%). Råvaran in har en fukthalt om 30-55 %. Driftdata är 250-300°C under 25-10 min. Produkten är torrefierat flis och förtätad biokol. Investeringskostnaden har angetts till ca 110 MSEK.

Investeringskostnader för två anläggningar med kapacitet om 100 000 ton/år torrefierat pellets (600 GWh/år) har studerats av Topell och inkluderar en nyckelfärdig anläggning med träpellets kontra torrefierade pellets (se nedan). I detta fall valdes en placering av anläggningen i södvästra USA med transport till Antwerpen, Holland. Anläggningen med torrefiering är dyrare med ett extrasteg men kvaliteten höjs. 1 USD = 6,7 SEK.

Tabell 7: Uppskattad merkostnad och investering för varje anläggningstyp.

Bränsle	Enhet	Träpellets	TOP
Vedgård	MSEK	33,5	33,5
Förtork (rotertork)	MSEK	30,2	24,1
Torrefiering	MSEK	0	87,1
Hammarkvarn	MSEK	13,4	0
Pelletering	MSEK	26,8	20,8
Silo, lagring	MSEK	6,7	0
Bygg & mark etc	MSEK	20,1	28,8
Total	MSEK	130,6	194,0

Källa: Topell.

IEA Bioenergy Task 32 har nyligen publicerat en rapport, *"Status overview of torrefaction technologies"* som beskriver den analys som Topell har gjort. Uppskattningen är gjord för samförbränning med stenkolk i ett kraftvärmeverk. Det förutsätts att TOP inte behöver någon extra hammarkvarn och att TOP-bränslet kan hanteras och lagras på samma sätt som med stenkolk vid verket.

Topells uppskattning ger vidare nedan poster för produktionskostnader, de vis justerade efter svenska förhållanden och energikostnader (men ej transport). Transportkostnaden är räknad med lastbil transporterad 100 km från produktionsanläggningen för att sedan lastas på båt för sjötransport över Atlanten och sedan ytterligare lastas vid hamn och fraktas vidare med lastbil 100 km fram till kraftvärmeverket. För svenska förhållanden är inhemska transporter sannolikt billigast med tåg eller lastbil för kortare avstånd.

Tabell 8: Finansiella data.

Faktor	Värde
Växelkurs, SEK/USD	6,70
Växelkurs, SEK/EUR	8,30
Annuitet	8,7 %
Projektets livstid	15 år
Årliga drifttimmar, produkt	8000
Biobränsle, skogsflis	200 SEK/MWh
Elektricitet, köpkostnad	500 SEK/MWh

Tabell 9: Uppskattade produktionskostnader för träpellets och TOP.

Bränsle	Enhet	Träpellets	TOP
Bränslekostnad	MSEK/år	127,5	127,5
Elkostnad	MSEK/år	10,6	13,1
Arbetskostnad	MSEK/år	5,2	7,8
Kapitalkostnad	MSEK/år	11,4	16,9
Kostnad på plats	SEK / ton	1250	1650
	SEK / MWh	257	274
Kostnad, landtransport	SEK/MWh	27	14
Kostnad, sjötransport	SEK/MWh	49	31
Kostnad, landtransport	SEK/MWh	23	13
Extrakostnad vid verket	SEK/MWh	47	-
Total kostnad	SEK / ton	1960	2000
	SEK / MWh	403	332

Källa: Topell, justerad för svenska förhållanden.

5 Slutsatser och diskussion

5.1 Relevans för skogs- och energiindustrin

Under de senaste åren har ett förnyat intresse för torrefiering uppstått främst för möjligheten att minska malnings- och transportkostnader för ett biobränsle, men även för att uppnå andra bränsleegenskaper. En av drivkrafterna i Europa är möjligheten att blanda torrefierad biomassa med fossilt kol till en högre grad än träpellets (oftast träbaserad) i kolkraftverk. Vanlig pellets kan oftast blandas till högst 5-10 % i en kolkvarn på grund av den fibrösa naturen i materialet hos de flesta biomassor. Högre inblandning av biomassa skulle fordra extra kostnader.

Torrefierade träpellets kan kringgå problemet och tillåter en högre tillsats av biomassa direkt i en kolkvarn. Dessutom är torrefierat material hydrofobt till skillnad från biomassa som är hydrofilt. Detta kan ge tillgång till en enorm marknad mycket snabbt men beror även av ytterligare incitament och styrmedel från regeringarna för att förverkligas.

Sverige är globalt en skogsindustriell stormakt gällande massa- och pappersproduktion och för sågade trävaror. Den svenska skogsindustrin är starkt exportinriktad. Samtidigt är svensk skogsindustri en stor producent av biobränsle. Den svenska skogsindustrin har gemensamt antagit mål om att öka uttagen av bioenergi med 20 TWh till 2020. I detta ingår avverkningsrester, i första hand grot samt klena bestånd av träd från röjningsgallring och stubbar från slutavverkningar.

En begränsning i användandet av biobränsle är att det är kraftigt volyminöst och har låg energidensitet. Detta gör att transporter kostar mycket och är svårt att hantera logistiskt. Det saknas ofta distributionskedjor samt incitament för att öka uttaget i skogen. Speciellt skulle tunna bestånd, stubbar och mer grot kunna tas ut om värdet på produkten kunde ökas för att konkurrera på en större marknad. Om värdet på produkten antas till samma kostnad som för dagens träpellets med ca 340 SEK/MWh uppgår denna marknadspotential till ca 6,8 miljarder SEK per år.

Torrefiering kan ses som ett processteg där energidensiteten höjs och bränslekvaliteten förbättras för att även kunna blandas med fossilt kol och därmed öka potentiella avsättningen. Skogsindustrin har ett stort intresse för att kunna ta tillvara outnyttjad skogsbränsle som annars delvis går till förmultning varje år till stora förlorade värden. För industrin som är både potentiell producent och konsument finns samma värderingar om marknadsvärden som för energi- och processindustrin.

Den svenska energiindustrin, där kraftvärmeproducenter utgör störst andel, är idag till stora delar redan biobränslebaserad. Intresset ligger mer i användning och om bränslekvalitet (fukt- och askhalt, värmevärde, densitet, hållbarhet, risk för damning, antändning etc). Priset är dock en viktig faktor i jämförelse med andra konkurrerande biobränslen såsom träpulver, sågspån, träpellets, returträ, rivningsvirke, grot med mera.

Två av de områden där många frågor tagits upp gäller kompatibiliteten vid användningen tillsammans med andra bränslen och att minimera de problem som flera gånger lett till driftstörningar vid hantering och användning av träpellets. Befintliga anläggningar som använder sig utav träpellets har mottagningsstationer, lager, kvarnar och krossar, inmatningssystem samt brännare. För ett nytt bränsle gäller att så lite nyinvesteringar som möjligt behövs. Samtidigt får inte bränslematerialet förändras, vilket annars ställer kostsamma krav på flexibilitet i systemen.

Träpellets dammar, vilket har lett till explosioner och därmed ökad risk för hälsa och säkerhet, samt kan antända i lager om regnvatten eller fukt eller kondensvatten kommit in i lager och transportörer. Detta har i flera fall gett stora lagerbränder. Trots att träpellets har en låg fukthalt är det ingen garanti för att materialet inte suger åt sig vatten och sväller vilket försämrar bränslets kvalitet till en hög grad.

Ett bränsle som är mer hydrofob, har högre energidensitet, inte dammar och är lätt att hantera samt är hållbart över tid skulle vara mycket intressant för industrin. Samtidigt passar ett torrefierat material väl in på förgasningsteknik i stora system som hitintills varit utvecklade för pulvriserat kol. Det ger möjlighet till effektiv storskalig förgasningsteknik för t.ex. biodrivmedel- och kemikalieproduktion.

5.2 Aktuell status för tekniken

Idag finns en mängd företag som utvecklar tekniken mot kommersiell status varvid två företag har kommit riktigt långt, Topell Energy och Stramproy Green, båda från Holland. Det finns en mängd teknologier som många gånger kommer från vanliga torktekniker och därför är utbudet mycket stort.

Kritiska problemområden är uppskalning och processtyrning för att förhindra att temperaturen skenar. De nya kommersiella anläggningarna har än så länge inte rapporterat några längre drifttider. Det är dock troligt att situationen snabbt kommer att förbättras då utvecklingen har accelererat tack vare den erfarenhet som finns inom liknande teknologier, såsom konventionella torkapparater.

I USA finns ytterligare en mängd pilotanläggningar och projekt syftande till uppförande av kommersiella anläggningar. I Sverige finns ett utvecklingsspår med Umeå Universitet som har en pilotreaktor och företaget Bioendev med en demonstrationsanläggning planerad för Örnsköldsvik.

Det publiceras ständigt nya press releaser från företag som har pilotprojekt på gång eller säger sig vara kommersiellt mogna. Det är svårt att få en exakt bild av utvecklingsläget då det är stor aktivitet på området men det bedöms att det finns det idag närmare 60 stycken utvecklare av torrefieringsteknik. Det gäller därmed att separera "torre-fact" från "torre-fiction"!

Utöver det finns alternativa tekniker vilka också kan ge ett "biokol" som ångexplosion och pyrolys. Med pyrolys produceras dock ett material mer likt koks, träkol. Av dessa närmare 60 st utvecklingsprojekt på gång finns åtta distinkt skilda teknologier men med bara ett fåtal företag som gått före och demonstrerat teknik i en större demonstrationsskala >5 ton/timme.

Industriella erfarenheter vid skalning och validering av data behövs på områden som hantering, lagring (grad av hydrofobicitet), kvarnegenskaper, explosionsrisk, damning och luktproblem samt produktens förbränningsegenskaper (utbränning, reaktivitet).

Exotermicitet och självantändning är relevanta områden att forska vidare på; det finns vissa belägg för att bränder kan ha självstartat genom att torrefierat material som lagras över 60°C uppvisar risk för självantändning.

Låga torrefieringstemperaturer (260-300°C) leder till bäst resultat genom bevarande av lignin som en bindningskomponent. Olika additiv undersöks för närvarande och t.ex. glycerol nämns som ett exempel. Men effekten på produktens egenskaper är inte kända. Förbränningskaraktistiken kännetecknas av snabb devolatilisering, med en något längre utbränning.

5.3 Torkning kontra torrefiering

En produktionsanläggning som avser att torka ett material behöver storskalighet för att erhålla lägre specifika investeringskostnader och därmed ökad konkurrenskraft. På samma sätt gäller detta torrefiering där uppskalning är nyckeln till framgång. Frågan är om den extra kostnaden med torrefiering betalar sig med lägre produktionskostnad vid slutkund.

Med dagens biobränslepriser och volymer och kapaciteter på marknaden bedöms en fullstor kommersiell anläggning vara >100 000 ton/år, vilket motsvarar omkring 600 GWh. Ett flertal pelletsanläggningar har byggt på senare år i storleken om över 500 000 ton/år. Det är sannolikt att framtida anläggningar behöver vara fortsatt stora för att möta kommande behov och konkurrens. Således lämpar sig enbart platser med mycket goda logistikmöjligheter och närhet till råvaran, samt helst lågvärdig värme till torkprocessen.

Vid torrefiering minskas massan mer än energiinnehållet, typiskt återfinns 90 % av energin och 70 % av massan i produkten. En lågvärdesgas bestående av lättflyktiga ämnen och vatten avgår också vilken innehåller en del tjärämnen vilka kan vara svåra att förbränna eller ta hand om. Processen kan dock drivas mer eller mindre långt från lättare torrefiering som ger en produkt som mer liknar vanlig vit pellets till hårdare torrefiering som gränsar mot karbonisering och ger en brun till svart produkt.

Med en analys för en anläggning som gör träpellets kontra torrefiering ges ett resultat enligt Topell att energidensiteten kan höjas från 17,5 MJ/kg med träpellets till 21,7 MJ/kg och än mer på energidensiteten: från 10,7 till 17,4 GJ/m³. Beräknat med en anläggning som producerar 100 000 ton TOP eller ca 600 GWh/år som bas får man en investeringskostnad som är dyrare med torrefiering och även produktionskostnaden är högre.

Om transportkostnaden med 100 km på lastbil och över Atlanten på båt och ytterligare 100 km på lastbil räknas in blir slutkostnaden nästan 20 % lägre med torrefiering. I ett europeiskt perspektiv synes torrefiering vara ett mer konkurrenskraftigt alternativ för en storskalig anläggning och riktad mot långväga transporter och export. För svenska förhållanden är inhemska transporter sannolikt billigast med tåg eller lastbil för kortare avstånd.

5.4 Rekommendationer för framtida forskning

Det sker en stark utveckling inom torrefiering i Europa och i Sverige för att få bättre kvalitet på bränsleprodukterna med högre energidensitet än träpellets och lägre bränslepriser relativt med större anläggningar. För svenskt vidkommande ter det sig mindre intressant att exempelvis forska på samförbränning i kraftvärmeverken med kol utan den stora marknaden är med sorterade och osorterade trädbränslen samt produkter som pellets som huvudsakliga sambränslen. Här ges ett antal områden som rekommenderas tas upp i en följdstudie eller i andra forskningsprojekt:

1. Långvariga, större bränsleförsök

Det behövs större försök med samförbränning med olika biobränslen för att undersöka effekter på pannan med eventuell sintring, påslag och bäddagglomerering. Även pulvertekniska jämförelser med pulvriserat trä och torrefierat trä inklusive förbränningsegenskaper (utbränning, reaktivitet).

2. Ekonomisk optimeringsstudie

Analysen av produktionsekonomin har visat att det kan vara svårt att få en konkurrenskraftig kostnad mot träpellets om inte långväga transporter räknas in. För svenskt vidkommande skulle en optimeringsstudie med skalor och tekniker vara intressant för att undersöka vilken storlek som minst behövs för lönsamhet och vilken teknik som är mest kostnadseffektiv.

3. Produktstandardisering

Marknaden behöver en standardisering av produktkvalitén och specifikationer. För närvarande finns det stora variationer. På samma sätt som träpellets har standardiserats behövs ett ramverk för torrefierade pellets från trädbränslen som gör det lättare för inköpare att jämföra produkterna.

4. Produktegenskaper samt hantering och lagring

Industriella erfarenheter vid skalning och validering av data behövs på områden som hantering, lagring (grad av hydrofobicitet), kvarnegenskaper, explosionsrisk, damning och lukt och odöremissioner. Exotermicitet och självantändning är relevanta områden att forska vidare på; det finns vissa belägg för att bränder kan ha självstartat genom att torrefierat material som lagras över 60°C uppvisar risk för självantändning.

5. Restgasanvändning

Restgasen som avgår vid torrefiering innehåller organiska syror och primära tjärar, som måste reformeras eller krackas i en efterbrännkammare. Även om tjärorna som bildas under torrefiering krackas i efterbrännaren, kan tjärorna utgöra ett allvarligt problem när de kondenserar på produkten eller interna ytor i anläggningen. Med ökande torrefieringstemperatur ökas tjärbildningen exponentiellt och därför behövs denna fråga bör hanteras speciellt.

Till sist, skulle det även vara mycket intressant med produktionstester av "biokol" med SunCoals teknik från svenska skogsrester som grot och jämföra de egenskaperna med torrefierat trä från liknande samt göra en fallstudie på tekniken med en kostnadsanalys.

6 Förkortningar och akronymer

IPCC	International Panel on Climate Change
Grot	Grenar och toppar
GWh	Gigawattimme
kWh	Kilowattimme
LHV	Lower Heating Value
Nm ³	Normalkubikmeter
MW	Megawatt
MWh	Megawattimme
MSEK	Miljon SEK
SEK	Svenska kronor
TOP	Torrefierad pellets
TWh	Terawattimme
USD	US Dollar
VOC	Volatile Organic Compounds

7 Referenser

7.1 Internet

www.btg.nl

www.canadianbiomassmagazine.ca

www.ecn.nl

www.ieabcc.nl/

www.integrofuels.com

www.riverbasinenergy.com

www.topellenergy.com

www.skogsindustrierna.se

www.skogsstyrelsen.se

7.2 Publikationer

Arcate, J.A. Torrefied Wood, An Enhanced Wood Fuel, Paper 207. Bioenergy 2002, Boise, Idaho, September 22-26, 2002.

Bergman, P. C. A., Combined torrefaction and pelletisation, The TOP Process, Report ECN-C-05-073 July 2005.

Bergman, P. C. A., Prins, M. J., Et al, Torrefaction for entrained flow gasification of biomass, Petten, Energy Research Centre of the Netherlands (ECN), 2005.

Bergman, P. C. A., Boersma, A. R., Zwart, R.W.R., Kiel, J.H.A., Torrefaction for biomass co-firing in existing coal-fired power stations, "BIOCOAL" Report ECN-C-05-013, July 2005.

Bourgeois, J. P. and Doat, J., Torrefied wood from temperate and tropical species, advantages and prospects, Pp 5153-159 in Egneus, H. and Ellegard, A. (Ed.) Bioenergy 84, Vol III Biomass Conversion, Elsevier Applied Science Publishers 1984.

Dangtran. A Comparison of Fluid Bed and Multiple Hearth Biosolids Incineration. the 14th Annual Residuals & sludge Management Conference. Boston. 2000

Dhungana. Torrefaction of biomass, Master thesis. Dalhousie University. 2011

ETPC, Umeå University, www.chem.umu.se, poster, and personal communication, Prof. Anders Nordin. 2012

Gobel Rick, TSI Inc, Lynnwood, W.A., USA, Personal communication, www.tsi-inc.net, 2007.

Herland, E. LRFs energiscenario till år 2020. Från bioenergiportalen:
www.bioenergiportalen.se/attachments/42/453.pdf 2005

Kiel, J., Torrefaction for biomass upgrading into commodity fuels, IEA Bioenergy Task 32 Workshop "Fuel handling and preparation and system analysis for biomass combustion technologies", Berlin, 7 May 2007.

Kleinschmidt, C. Overview of international developments in torrefaction. Retrieved October 6, 2011, from bioenergy trade:
<http://www.bioenergytrade.org/downloads/grazkleinschmidtpaper2011.pdf> 2011

Koppejan, Jaap, Sokhansanj, Shahab, Melin, Staffan, Madrali, Sebnem, "Status overview of torrefaction technologies" IEA Bioenergy Task 32 report, November 2012

Pettersson K., Olofsson, I. and Nordin, A., Biomass Refinement by Torrefaction

Prins, J. M., Ptasinski, K., Et al, Torrefaction of wood. Part 1, Weight loss kinetics, Journal of Analytical and Applied Pyrolysis Pp 28-34 77. (2006a)

Prins, J. M., Ptasinski, K., Et al. Torrefaction of wood Part 2. Analysis of products. J. Anal. Appl. Pyrolysis 77 , 35-40. (2006b)

Energimyndigheten. (2011). Energiläget i siffror 2011.

Skogsstyrelsen, Statistik, Skog och Skogsmark:
www.skogsstyrelsen.se/Myndigheten/Statistik/Amnesomraden/Skog-ochskogsmark/ 2011

Van der Stelt. Biomass upgrading by torrefaction for the production of bio fuels: A review. Biomass and bio energy, 35 , 3748-3762. 2011

Verhoeff et Al. ECN torrefaction technology heading for demonstration. 19th European Biomass Conference and Exhibition. Berlin: ECN. 2011

8 Bilaga: Grotspecifikation

Referens: Bränslehandboken, Värmeforsk.

Prov (grot)	Exempel	Median	Spann	
			Min	Max
Bränsleinhåll (vikt- %)				
Fukt	47,9	43,95	23,10	67,50
Aska (torrt)	2,7	2,65	1,33	4,7
Flyktiga ämnen (torrt askfritt)		75,6		

Värmevärde (MJ/kg)				
Hkal (torrt askfritt)	21,2	20,8	18,38	21,5
Hkal (leverans)	10,7	10,5	8,9	13,8
Heff (torrt askfritt)	19,9	19,5	18,8	20,1
Heff (leverans)	8,9	8,6	7,0	12,1

Elementaranalys (% torrt askfritt)				
C (kol)	53,1	51,0	42,8	54,1
H (väte)	6,0	6,1	5,0	6,6
O (syre)	40,6	40,0	37,7	42,4
S (svavel)	0,04	0,04	0,01	0,16
N (kväve)	0,31	0,4	0,05	1,1
Cl (klor)	0,02	0,02	0,01	0,05

Askanalys					
	mg/kg ts	mg/kg aska	mg/kg aska		
Al (aluminium)	540	20000	16968	5667	44255
As (arsenik)	0,08	3,0	3,6	3,0	14
Ba (barium)	73,1	2707	1723	1232	2707
Ca (kalcium)	5186	192063	181807	97021	272727
Cd (kadmium)	0,22	8,0	7,0	2,6	25
Co (kobolt)	0,16	6,0	5,8	4,4	14
Cr (krom)	2,7	101	140	98	415
Cu (koppar)	2,7	98	95	78	290
Fe (järn)	225	8339	11548	4333	26383
Hg (kviksilver)	0,03	1,2	0,6	0,2	1,7
K (kalium)	2059	76251	71981	45238	165000
Mg (magnesium)	566	20948	22667	12617	28121
Mn (mangan)	430	15934	9931	1738	25000
Mo (molybden)	0,10	3,7	5,3	3,7	6,8
Na (natrium)	231	8573	6790	926	139680
Ni (nickel)	0,70	26	61	26	185
P (fosfor)	463	17141	18000	6936	24450
Pb (bly)	1,5	56	63	37	900
Sb (antimon)			4,0	2,4	17
Si (kisel)	3053	113079	120833	24278	183784
Ti (titan)	29,4	1088	805	400	2833
Tl (tallium)			1,7	0,7	8,0
V (vanadin)	0,5	17	19	14	46
Zn (zink)	54,3	2011	2047	1405	4500

ELFORSK

SVENSKA ELFÖRETAGENS FORSKNINGS- OCH UTVECKLINGS - ELFORSK - AB

Elforsk AB, 101 53 Stockholm. Besöksadress: Olof Palmes Gata 31
Telefon: 08-677 25 30, Telefax: 08-677 25 35
www.elforsk.se