

EXERGI-TORKNING AV BIOBRÄNSLEN

Kraftvärmeproduktion skapar ökat underlag för bränsleproduktion

INNEHÅLL

Bränslevärde

Pannverkningsgrad

Rökgaskondensering

Exergi-begreppet och torkning

Torkning före pannan med Exergi-bäddtork

Bränsleproduktion med Exergi-ångtork

Bränsleproduktion för internt eller externt bruk

Några exempel på anläggningar

Pellets eller briketter?

Inledning

Allt sedan jag startade att utveckla torkteknik för tex fuktiga bränslen från mitten av 70-talet, har det varit en utmaning att pedagogiskt förklara vinsterna med att generera energi, el liksom värme, från torkade bränslen.

Med dagens stigande priser på energi, miljömedvetande och ambitionen att spara våra resurser borde det vara enklare än tidigare att övertyga om torra bränslens fördelar.

Historiskt har jag mött två motstånd:

- vår traditionella beräkning av fuktiga bränslens värmevärden i Norden. Detta skiljer sig från det som tex den anglosaxiska världen använder.
- våra pannleverantörers utnyttjande av ovanstående och en utveckling/marknadsföring av förbränningsanordningar som "klarar vilken fukthalt som helst". Vad vi får betala för dessa pannor och med vilken prestanda och driftsproblem de skapar kan många av oss vittna om.

Bränslevärde

Naturen binder kemiskt bunden energi i våra biobränslen. Energin, som frigörs vid förbränning i form av rökgaser, är knuten till bränslets innehåll av kol, kväve, syre och väte och i viss mån svavel. Syret och vätet bildar vattenånga, ca 0,54 kg per kg torrs substans (TS). För oxidation av kol, kväve och svavel tillsätter vi syre i form av förbränningsluft.

En jämförelse med "fossila" biobränslen tex olja ses i tabellen nedan. Genom humifiering under lång tid försvinner syret medan kolhalten ökar. Detta innebär att mera syre, luft behövs för att förbränna oljan, stökiometriskt. Kontentan blir att för ved, torv, kol och olja finns teoretiskt lika mycket energi per m³ rökgas.

Jämförelse mellan förnyelsebart och fossilt biobränsle

Kemiskt innehåll, vikts%;	Ved	Olja
Kol	51,5	86
Väte	6	12
Syre	42,5	2
Flyktigt	60-80	Ca 100
Kalorimetriskt, kemisk bunden energi, MJ/kgTS	20,65	44,2
Netto-värmevärde (-ånga från H/O)	19,3	41,6
Teoretiskt luftbehov, m ³ (n)/kgTS	4,8	11,0
Rökgasenergi, MJ/m ³ (n)	4	4

Varför är då det vi kallar biobränslen svårare att utnyttja lika effektivt som olja.

Jo - våra biobränslen innehåller dessvärre också vatten i varierande omfattning beroende på ursprung, växtsätt mm. Fukthalter mellan 50% och 65% är vanligast. Detta innebär att 1 ton upp till ca 2 ton vatten per ton TS måste förångas i pannan och ventileras ut med rökgaserna. Varje ton vatten kräver ca 0,7 MWh (ca 12%) av bränslets kemiskt bundna energi.

För att underlätta förångningen i eldstaden tillför vi varm förbränningsluft i överskott. Luften och energin i förångad bränslefukt släpps ut genom skorstenen.

En annan skillnad mot oljan är att den lägre förbränningstemperaturen i eldstaden med biobränsle orsakad av vattenförångningen och luftöverskottet inte medger att kolvätena förflyktigas. Olja brinner som en gas i en industriell panna.

Pannverkningsgrad

Av tradition beräknar vi biobränslets värmevärde genom att reducera den kemiskt bundna energin med vad som krävs för att förånga bränslefukten i pannan. Detta lägre "effektiva" värmevärde och med kompensation för luftöverskottet blir basen för hur en pannas verkningsgrad beräknas. Vanligen finner vi mellan 80% och 90%.

I andra delar av världen beräknas verkningsgraden baserat på det kalorimetriska värmevärdet dvs vad som är kemiskt bundet i bränslet. All energi som är bunden till förångad bränslefukt, och överskott av luft, som släpps ut via skorstenen gör att verkningsgraden normalt blir mellan 60% och 70%.

I tabellen nedan redovisas "torra" och "våta" rökgasförluster från förbränning av bränsle med olika fukthalt.

Rökgasförluster från förbränning av fuktiga biobränslen

Fukthalt, %	50	60
Kg vatten/kgTS	1	1,5
Effektivt värmevärde, MJ/kgTS	16,8	15,5
"Våt rökgasförlust" MJ/kgTS (150° C)	2,8	4,2
Luftöverskott, %	50	80
"Torr rökgasförlust", MJ/kgTS (150° C)	1,4	1,7
Total rökgasförlust, MJ/kgTS (150° C)	4,2	5,9
Rökgasflöde, m ³ (n)/kgTS	9	11

För torrt bränsle är teoretiskt rökgasflöde ca 5,4 m³(n)/kgTS.

Det är alltså stora förluster som släpps ut med bränslefukten.

Andra nackdelar med att förbränna fuktiga bränslen är:

- lägre förbränningstemperatur – större värmeytor
- långt större rökgasflöde – större rökgaskanaler
- större panninvestering
- högre kolhalt (oförbränt) i askan

Rökgaskondensering

Under senare år har rökgaskondensering installerats i flera anläggningar som ett sätt att återvinna en del av den "våta" rökgasförlusten men också som ett sätt att delvis rena rökgaserna.

På grund av den stora andelen icke-kondenserbara gaser blir dock återvinningen begränsad och ger endast ljummet vatten. Dessutom leder kondenseringen till ett vatten som skall hanteras, renas till kostnader i både utrustning och kvittblivning av slam mm.

Att nyttja rökgasvärme i form av vattenånga som genereras i eldstaden vid ca 1500° C för att göra varmvatten med 60-80° C är dessutom en fruktansvärd

Exergiförlust.

Exergi-begreppet och torkning

Exergibegreppet är ett sätt att värdera energin, tex i form av ånga, beroende på vilket effektivt arbete man kan utvinna genom att utnyttja omgivningens temperatur. Tex hur mycket elenergi kan man utvinna i en turbin genom expansion till en kyld kondensator. Förluster i turbinen/generatoren, som inte utnyttjas, liksom avloppsförlusten i kondensorn kallar vi för Anergi.

Professor Baehr definierade en gång detta och sammanfattade:

"Energi = Exergi + Anergi."

- *"Exergi är den energi som i samverkan med omgivningen låter sig omvandlas till varje annan energiform. Vid irreversibla processer omvandlas alltid en del av Exergin till Anergi"*
- *"Anergi är den energi som inte låter sig omvandlas till Exergi"*
- *"Endast vid reversibla processer förblir Exergin konstant"*

I termodynamisk mening är torkning en reversibel process.

I ett slutet utrymme kan torkning/kondensation ske under upptagning och avgivning av samma värmemängd och vid samma temperatur.

För en vanlig KVV-anläggning kan Energi- och Exergiutnyttjandet, se ut som i tabellen nedan:

I pannan eldas **fuktigt** bränsle med värmeinnehållet 6 MWh/tonTS bunden energi (kalorimetriskt), ca 4,5 MWh/tonTS (effektivt värmevärde)

	Energi	Temp. ° C	Exergi faktor	Exergi- prod.
Tillfört genom förbränning	6	ca1500	1,0 (bas)	6
Rökgasförluster, 25%	1,5	ca150	0,10	0,15
Admissionsånga	4,5	ca500	0,30	1,35
Turbin, ca 1 MWh, elproduktion	0,85	-	1,0	0,85
Omvandlingsförluster i turbin, ca 15%	0,15	-	0	0
Fjärrvärme, ca 3,5 MWh	2,8	ca100	0,07	0,20
Kulvertförluster, ca 20%	0,7	0	0	0
Uppvärmning av byggnader	2,8	0	0	0

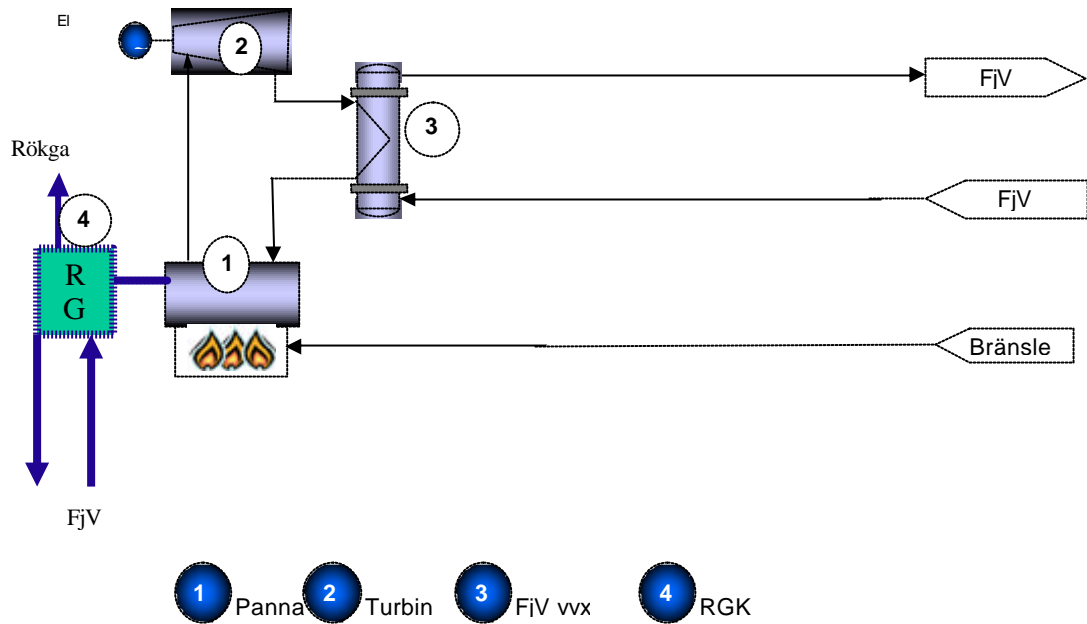
Den största förlusten, av såväl energi som exergi är alltså genom att släppa ut de fuktiga rökgaserna till ingen eller ringa nytta.

Genom att utnyttja (lågvärdigt) värme för att torka bränslet kan mera elenergi och nyttig värme produceras. Att torka i pannan är slöseri med Exergi!

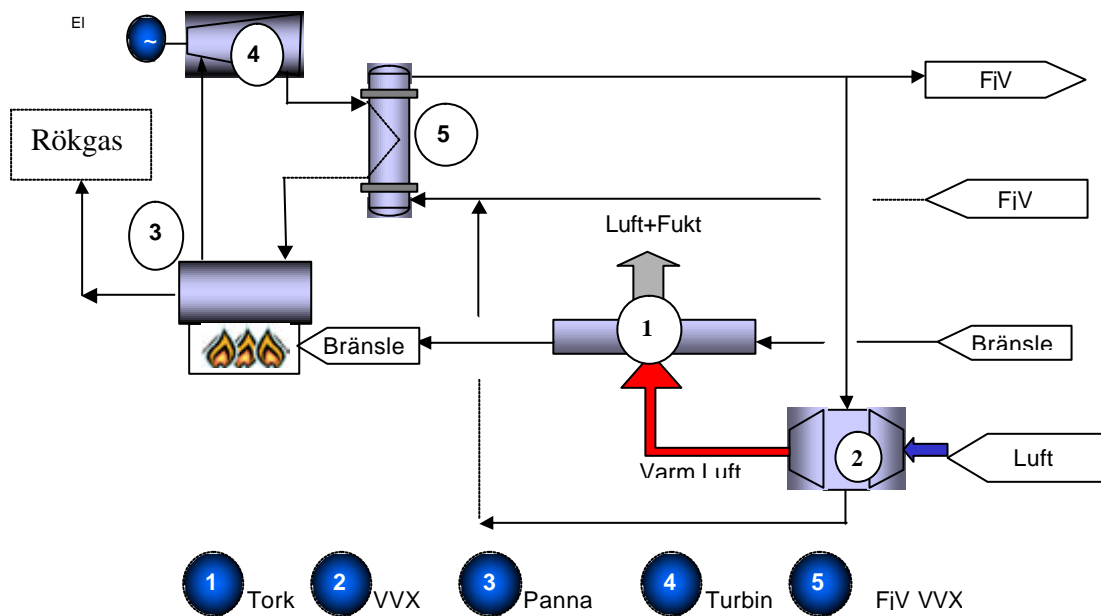
En liknande analys som ovan, men med torkat bränsle, visar att man kan öka elandelen med 15-20% och värmeandelen med 20-25% genom att förtorka bränslet.

Hur kan man då torka bränslen ekonomiskt, driftsäkert och bättre utnyttja Exergin i en biobränsledd anläggning, speciellt med avsikten att maximera elproduktionen?

Vi har funnit, och utvecklat två metoder som kan utnyttjas var för sig eller i kombination för att torka biobränslen i syfte att öka Exergiutnyttjandet. Vi kallar dem för Exergi-bäddtork och Exergi-ångtork.



Rökgaskondensering innebär att en stor del av värdefullt bränslevärde släpps ut med rökgaserna i form av förångat vatten från inkommande fuktigt bränsle



Med förtorkning av bränslet höjs värmevärdet med motsvarande energi som åtgår att förånga bränslefukten i pannan. Detta innebär större produktion av admissionsånga och därmed större elproduktion från samma mängd bränsle.

Den lägre fukthalten hos det förtorkade bränslet innebär högre värmevärde. Mindre bränslevolymer krävs eller alternativt kan billigare bränsle med högre fukthalt inhandlas.

Exergi-bäddtorken, som visas i figuren, är en mycket enkel och robust tork för grovt material.

Värmet överföres indirekt i en växlare för att värma torr uteluft. Den varma luften trycks med fläktar genom en bränslebädd, som transporteras långsamt med stångmatare. Luften lämnar bädden mättad med fukt vid ca 25-35° C.

Vad vi åstadkommer är att:

- flytta "våta" rökgasförlusten från skorstenstemperaturen, kanske 150° C ned till ca 30° C.
- pannans alla prestanda förbättras genom att bränslets fukthalt minskat
- större andel av bränslets värmevärde används för produktion av prima energi från pannan, dvs. admissionsånga och därmed elproduktion

En förenklad energianalys där bäddtorken används före pannan visas i tabellen nedan.

Bränslets fukthalt, % från	60 till	35	50 till	35
Pannans rökgasförlust, MJ/kgTS	5,9	2,5	4,2	2,5
Utgående torkluft, 30° C, MJ/kgTS		3,4		1,7
Ökning av bränslevärdet, MJ/kgTS		3,4		1,7
Besparing av bränsle vid samma panneffekt, %		Ca18		Ca 10

Reduktionen av rökgasförlusten motsvarar alltså ungefär den ökning vi får av bränslevärdet genom att förtorka bränslet. Energikostnaden för torkningen består därför i huvudsak av elenergin till luftfläktarna.

Om värme finns tillgängligt för torkning till lägre kostnad än bränslekostnaden blir besparingen större i pengar, speciellt om man producerar elenergi. Varje fall får studeras var för sig avseende lönsamheten.

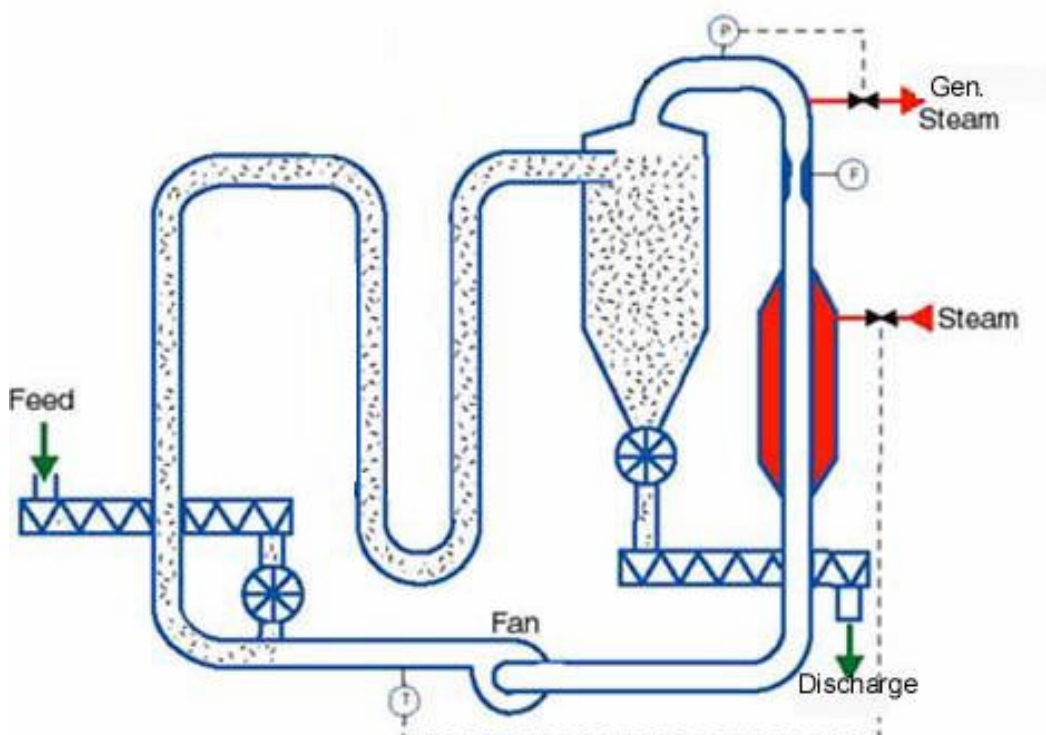
Bränslet kan förtorkas i bäddtorken direkt före pannan där stångmataren samtidigt tjänar som bränsleficka med 1-3 timmars uppehållstid.

Flis från GROT, träavfall, bark mm. kan torkas utan speciell förbehandling annan än den pannan behöver.

Torken lämpar sig för att reducera fukthalten till mellan 25 och 35% men inte för produktion av torkad produkt för tex. pelletering/brikettering eller pulvereldning.

Vid design av en ny panna kan "allt göras mindre" för samma panneffekt!

Exergi-ångtork är något av bäddtorkens motsats. I ett slutet indirekt uppvärmt system med överhettad ånga utnyttjas prima värme för att torka krossad eller malen råvara till låga fukthalter under mycket kort tid, 10-20 sekunder. Vattnet i produkten (bränslet) förångas vid systemtrycket som kan vara 0,5– 4 bar övertryck beroende på applikationen.



I termodynamisk mening är detta system väldigt nära den ideala reversibla processen som bibehåller Exerginivån.

Bränsleproduktion med Exergi-ångtork

Slutprodukten har jämn och hög torrhalt och lämpar sig för pelletering, brikettering, pulvereldning osv. Det finns applikationer där träpartiklar, ca 3 mm stora, torkas till fukthalt <0,5%.

I stort sett all energi som tillförs, värme och elenergi, kan återvinnas som ånga, tex. som fjärrvärme och/eller elproduktion. Endast värme genom isoleringen går förlorad och i bland värmets i den torra produkten.

Ett exempel på värmebalans visas i tabellen nedan.

Tillförd och återvunnen energi från torkning av 10 ton TS/timma med 50% fukthalt till 10% fukthalt.

Tillfört	Temp. ° C	Ton/timma	Värmefflöde, kW
Fuktigt bränsle	10	20	158
Värmande ånga	200	12,5	6 763
Elenergi, från cirk.fläkt			600
Utgående/återvunnen energi			
Torkat bränsle	110	11,1	(574)
Genererad ånga, fjärrvärme	150	8,9	6 056
Kondensat, 70 °C	70	8,9	741
Värmeförluster			150

Som tex. fjärrvärme kan ca 90% återvinnas.

För en generell användning av energin, omvandlas den genererade ångan till ren ånga i en omformare. Den rena ångan kan tex. expanderas i en kondensatorbin för ytterligare elproduktion. Varma kondensat och läckageånga används för att förtorka biobränslet i en bäddtork.

Tabell för återvinning med ångomformare

Torkat bränsle	110	11,1	(574)
Ren ånga	145	9,8	7 450
Rent kondensat till pannan	200	2,7	461
Återvunnet för förtorkning	140-70	8,9	1 362
Kondensat, 30 °C	30	8,9	311
Värmeförluster			150

Genom att använda "spillvärme" för att förtorka kan ca 95% av tillförd torkenergi återvinnas.

Bränsleproduktion för internt eller externt bruk

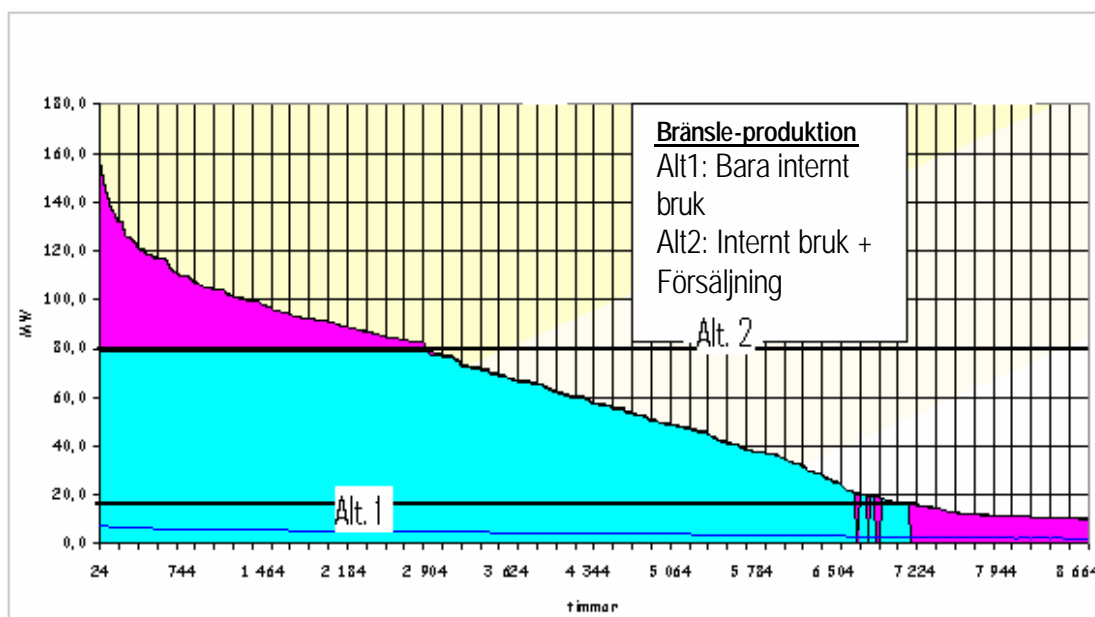
Eftersom så stor del av torkenergin kan återvinnas, speciellt i kopplingen till el- och/eller värmeproduktion, kan detta utnyttjas som underlag för att producera förädlade bränslen, såsom pulver, pellets eller briketter. Det producerade bränslet kan lagras och användas internt eller transporteras och säljas för externt bruk.

Några exempel har studerats och utreds nu, där varaktighetsdiagrammet för produktion av el och fjärrvärme utgör grund (värmesänka), för att producera tillräckligt med bränsle för hela driftsäsongen.

I diagrammet nedan visas två exempel på hur varaktighetsdiagrammet kan utnyttjas för bränsleproduktion.

I alternativ 1 produceras endast för internt bruk och torkkapaciteten läggs ut för att 100% av fjärrvärmebehovet skall täckas med återvunnen torkenergi. Detta sker vid ca 15% av full last på pannan, dvs torken kan vara i drift nästan hela året, vilket är det optimala.

I alternativ 2 produceras också för avsalu och torkkapaciteten. Detta innebär att återvunnen torkenergi överstiger fjärrvärmebehovet. Genom att utnyttja kombinationen med att förtorka bränslet i bäddtork skapas ytterligare en värmesänka som utnyttjas när fjärrvärmebehovet är lågt. Ångan från Exergi-ångtorken utnyttjas då i bäddtorken för att förtorka biobränslet.



Vad betyder detta för ekonomin jämfört med att torka som man gör idag, dvs i öppna rökgas- eller varmlufttorkar, med ingen eller ringa värmeåtervinning. Kostnaden för värmeenergin till konventionella torkar varierar starkt mellan torktyp, kostnad för energikällan etc. Om man förutsätter att torkenergin kommer från bibränslet varierar siffran mellan 100 och 150 SEK/ton torkat bränsle.

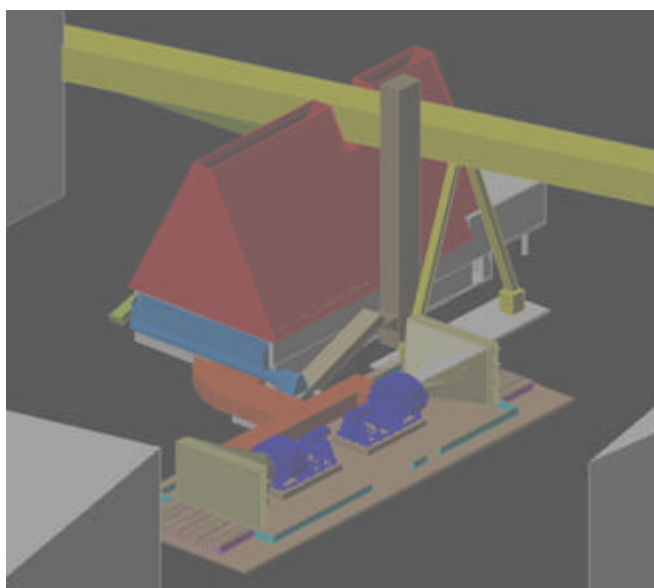
Med återvinning på det sätt som beskrivs här ovan dvs att minst 90% återvinnes som fjärrvärme hamnar motsvarande siffra på ca 10 SEK/ton torkad produkt.

Några exempel på anläggningar

(Hänvisning till bilderna nedan och hemsida.)

ENA-Energi

Exergi-bäddtork för förtorkning av bibränsle till kraftvärmeverket i Enköping. I stället för att kyla bort fjärrvärme under varma årstiden för att producera elenergi, används värmets för att torka och därmed spara bränslekostnader. Beräknad idriftsättning början 2008.



ENA Energi bäddtork:

Kapacitet ca 7 ton avdunstat vatten/
timma.

Fjärrvärme: 75-40° C

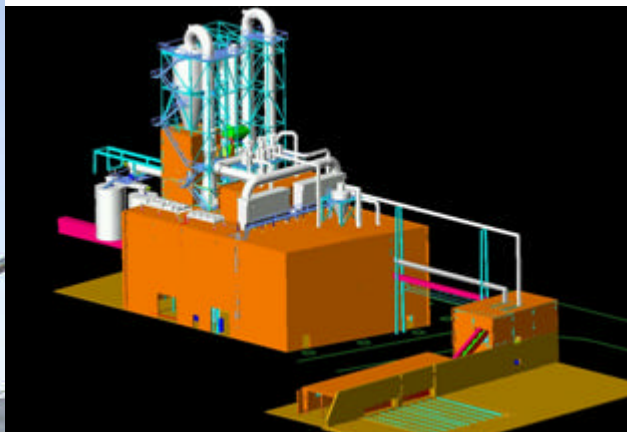
Tillfört värme: 6,3 MW

Om anläggningen utnyttjas under
hela driftsäsongen kan ca 6%
bränsle sparas och ca 2,7 MW
mera elenergi produceras. Detta
ger en besparing/intäkt från torken
på ca 11-12 MSEK/år.

Driftskostnaderna uppgår till ca 1
MSEK/år. Tillsamman blir
återbetalningstiden ca 1,5-2 år.

ENA Energi motiverade sin investering med att ca 40 GWh "viftas" bort under ett normalår för att kunna producera elenergi under varma delen av året.

Med antagen bränslekostnad SEK 170/ MWh kan varje ton avdunstat vatten värderas till SEK 150, inklusive pannverkningsgraden. För ENA Energi blir besparingen 6 MSEK på årsbasis eller ca tre års återbetalning.

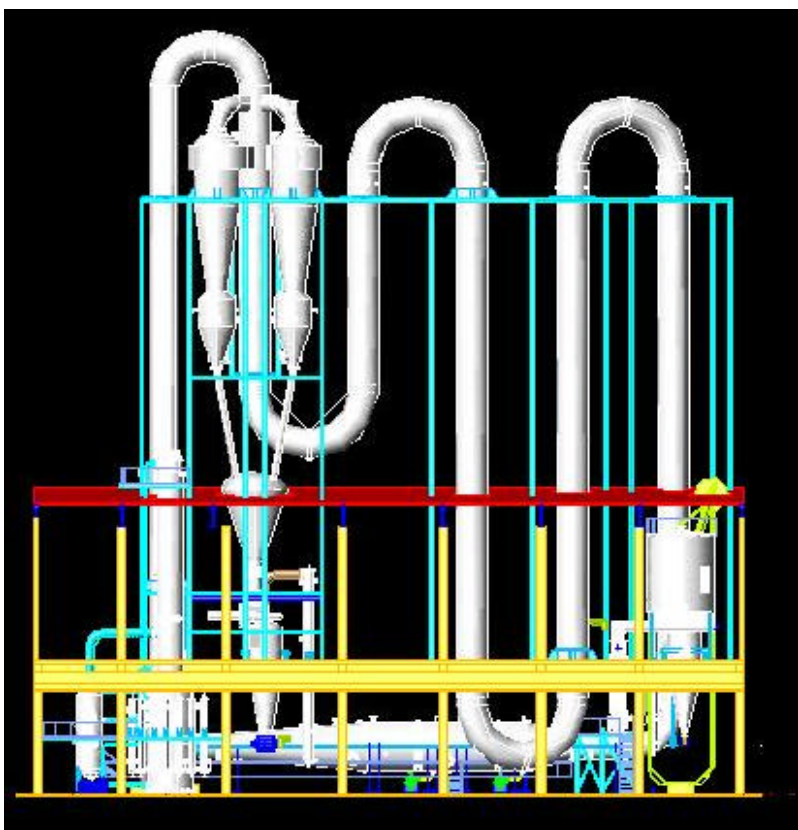


DONG Energy, Køge, Danmark

Produktion av pellets från barrved med inslag av lövved. Rundved flisas, males och torkas med Exergi-ångtork före pelletering. Designkapacitet är 50 t/h.

Biostor-Storuman, Skellefteå Kraft

Biokombinat för produktion av pellets mha Exergi-ångtork. Grot flisas och males före torkningen och pelleteras sedan. Energi för processen produceras i en pulvereldad ångpanna. El produceras i samband med torkningen i en kombinerad HT-turbin och Kondensturbin. Torkenergi återvinnes också i form av fjärrvärme.



BioStor, Skellefteå Kraft AB. Nästa generation Exergi-ångtork

- Råvaran är i huvudsak GROT
- Feed: 42 ton/timma, 50% fukthalt
- Produkt: 21 ton/timma, 10% fukthalt
- Pelletsproduktion: 80 000 ton/år
- Pulverpanna: 32 MW, 82 bar, 450° C
- Elproduktion: 50 GWh/år (mottryck- och kondensturbin på 8 MW)
- Fjärrvärme: 35 GWh/ år

Pellets eller briketter

Valet mellan brikettering och pelletering beror av tex egna erfarenheter från produktion, marknaden dvs. generell användbarhet som bränsle etc.

Tabellen nedan reflekterar information som inhämtats från leverantörer och producenter av såväl pellets som briketter. Råvarans ursprung och tex. renhet, malning och torkmetod varierar varför osäkerheten och spridningen i beräkningarna är relativt stor.

I fallet pelletering omfattar anläggningen i jämförelsen en silo för torrt material som matar en hammarkvarn för malning av produktflödet. Hammarkvarnen är inbyggd i explosionsäkrat rum och luften renas med slangfilter. Den malda produkten fördelas till matningskärl före varje press. Efter pressarna kyls och siktas produkten och luften renas med slangfilter.

Lagring av pellets ingår inte i jämförelsen.

Brikettanläggningen består också av en torrsilo men ingen hammarkvarn. Från silon doseras varje maskin som har sitt eget matningskärl. De pressade briketterna kyls efter pressning genom att "knuffas" på en räls eller tub till ett lager.

Tabellen nedan sammanfattar uppgifterna:

Denom.	Enhet	Pelletering	Brikettering
Kapacitet	Ton/ timma,maskin	2-4	0,5 – 1
Investering	MSEK för 10 ton/timma	30 – 40	15 – 20
Elförbrukning	kWh/ ton	110 – 140	50 – 70
Underhållskostnad och slitagedelar	SEK/ ton	50 – 70	15 - 20
Kapitalkostnad, 20% per år	SEK/ ton	75 – 100	40 – 50
Driftskostnad, el+underh.	SEK/ton	105 – 240	40 – 55
Total kostnad	SEK/ton	180 – 340	80 -105

Övrigt:

För driftspersonal, service och underhåll, har ingen kostnad angivits.

Som byggnad kräver briketteringsanläggningen ca 150 m² golvyta och 3-5 m takhöjd. Pelletering kräver ca samma golvyta men den övriga utrustningen fördelad över 2-3 plan, ca 20 m bygghöjd.

För vidare kontakter:

Claes Münter eller Prem Verma

EXERGY CONSULTING

- Experience & Know-how for Optimal Solutions -

Swedish Exergy Consulting AB

Theres Svenssons gata 10

SE-417 55 Göteborg

Tel. +46(0)31 51 39 90

Fax: +46(0)31 51 79 60

E-mail: info@exergy-consult.se

Website: www.exergy-consult.se

Org.nr: 556688-6452

Vatnr: SE556688645201