

Kjetil N. Jørgensen & Steffen M. Kristiansen

Bioenergi

Med teknologi-, ressurs-, miljø og økonomiaspekter

Bacheloroppgave i Fornybar Energi

Veileder: Shiplu Sarker

Mai 2020

Kjetil N. Jørgensen & Steffen M. Kristiansen

Bioenergi

Med teknologi-, ressurs-, miljø og økonomiaspekter

Bacheloroppgave i Fornybar Energi
Veileder: Shiplu Sarker
Mai 2020

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Fakultet for ingeniørvitenskap
Institutt for vareproduksjon og byggingsteknikk



Kunnskap for en bedre verden

Oppgavens tittel:	Dato: 20.05.2020		
Bioenergi	Antall sider: [56]		
	Masteroppgave:	Bacheloroppgave	x
Navn:			
Kjetil N. Jørgensen og Steffen M. Kristiansen			
Veileder:			
Shiplu Sarker			
Eventuelle eksterne faglige kontakter/ veiledere:			
Adm. Dir. Hans Moss ved Solør Bioenergi As. Daglig leder Einar Stuve og leder for drift og råstoff Tord K. Rindal ved Oplandske Bioenergi.			

Sammendrag:

Denne oppgaven tar for seg fire ulike aspekter ved bioenergi. teknologi, ressurser, økonomi og miljø er de fire segmentene som skal ses nærmere på i sammenheng med problemstillingen sitert under innledningen.

Gjennomgående skal bioenergi sin rolle i dagens energisystemer, med de ulike teknologiene og ressursene drøftes. Dette opp mot bioenergis potensielle viktighet for fremtidens energisystemer. Hvert kapittel tar for seg ulike deler av bioenergispekteret og hvert kapittel vil bli teoretisert opp mot de fire faktorene.

Først beskrives hvordan bioenergi utnytter teknologi effektivt, og hvordan energien utvinnes ved hjelp av teknologi. Deretter følger et kapittel som beskriver biomassens funksjon, variasjon og egenskaper. Til slutt drøftes bioenergi ut ifra både et økonomi- og miljøperspektiv, da disse faktorene er essensielle satt i et større politisk- og samfunnsperspektiv.

Dialog og bistand fra Solør Bioenergi AS og Oplandske Bioenergi AS har satt preg på arbeidet underveis, og har fått egne fremstillinger av deres forretning samt foretak i eget kapittel. Oppgaven viser til en innføring i to reelle operasjoner fra disse bedriftene, der deres drift og forvaltning kommer frem. Til slutt vil bioenergi konkluderes helhetlig mot dagens bruk og mot en projisert fremtid av næringen.

Stikkord:

Bioenergi
Biomasse
Bærekraft
Miljø og økonomi

(sign.)

Abstract

In this bachelor thesis Bioenergy will be the focus, broken down into four aspects: technology, resources, environmental impacts and economic. The purpose will be to detect whether Bioenergy will remain relevant for future energy systems first and foremost. But also, to map the role it has today, and the part that it has played throughout history. It is a theoretical thesis with a lot of literature references. Each chapter will invite you into the most vital parts of the aspect in focus.

Forord

Denne teksten er et siste og avsluttende arbeidet som konkluderer et treårs løp på bachelorprogrammet Ingeniør innen fornybar energi ved NTNU i Gjøvik.

Oppgaven ble bestemt ut ifra åtte valgmuligheter presentert av enmeansvarlig Alemayehu Gebremedhin.

Ressurs, teknologi, økonomi og miljøaspekter ved bioenergi. Oppdragsgiver: NTNU.

Denne bacheloroppgaven gir et bredt helhetlig bilde av alt tilknyttet bioenergi. Med innspill fra to reelle bedrifter plassert i geografisk nærrområde til skolen.

Valget på oppgaven falt veldig naturlig da bioenergi har hatt en enorm betydning historisk for den moderne definisjonen av begrepet energi og fornybar energi. En Pionér innen energiskapning

Vi ønsker med dette å rette takknemlighet til alle våre støttespillere underveis i prosessen. Med god hjelp, ekspertise og støtte fra veileder og Førsteamanuensis Shiplu Sarker. Vil også rette en takk til Administrerende direktør ved Solør Bioenergi AS, Biomasse og fjernvarme Norge, Hans Moss for hvert minutt avsett til oss og vår oppgave. Samt daglig leder Einar Stuve og leder for drift og råstoff Tord K. Rindal ved Oplanske Bioenergi As for samme innsats.

Selv om Covid- 19 har rystet en hel verden og satt Norge på pause så langt denne våren, har vi gjennomført oppgaven etter beste evne med rådgivning og ressurser gjennom internett. Til slutt vil vi takke NTNU for tre fantastiske og lærerike år ved deres skole i Gjøvik.

Innholdsfortegnelse

1. Innledning.....	1
1.1 Bakgrunn	1
1.2 Problemstilling	1
1.3 Begrepsforklaring.....	2
2. Teknologi innen bioenergi.....	6
2.1 Termokjemiskkonverteringsteknikker.....	6
2.1.1 Forbrenning	6
2.1.2 Gassifisering.....	15
2.1.3 Pyrolyse	20
3. Ressursen biomasse	22
3.1 Definisjon	22
3.1.1 Fotosyntesen.....	23
3.2 Brenselsegenskaper	23
3.2.1 Fysiske egenskaper.....	23
3.2.2 Fuktighet.....	23
3.2.3 Fastmasseandel	24
3.2.4 Densitet.....	25
3.3 Brennverdi.....	26
3.3.1 Øvre brennverdi.....	27
3.3.2 Nedre brennverdi	27
3.3.3 Effektiv brennverdi.....	28
3.4 Sortimenten av skurtømmer	28
3.4.1 Bark	29
3.4.2 Rotreducererflis	29
3.4.3 Rå reduserer-/hoggerflis.....	30
3.4.4 Tørr hoggerflis.....	30
3.4.5 Sagflis.....	31
3.4.6 Kutterflis.....	31
3.4.7 Avkapp	32
3.4.8 Gjenvinningsvirke	32
3.5 Øvrige biobrensler.....	33
3.5.1 Biokull, trekull og aktivt kull	33
3.5.2 Ved, pellets og briketter	34

3.5.3 Torv	34
3.6 tre eksempler på bruk av biomasse.....	34
3.6.1 Vedfyring i private hjem.	35
3.6.2 Biodrivstoff	35
3.6.3 Biokull til urbantrær	37
4. Økonomiaspekter ved bioenergi.....	38
4.1 Varmeenergi av ved.....	38
4.1.1 Eksempelutregning bjørkeved	38
4.2 Biodiesel av gassifisering	39
4.3 Biokull av pyrolyse	40
5. Miljø, bærekraft og fornybar energi tilknyttet bioenergi.....	40
5.1. Karbonnøytralitet.....	40
5.3. Avskoging	41
5.4. Forurensning.....	41
5.5. Vann	41
5.6. Biomasse mer miljøvennlig.....	41
5.8. Miljøvinninger av biodiesel.....	42
5.8. Miljøvinninger av biokull.....	42
6. Bioenergi i Norge og Innlandet	45
6.1. Solør bioenergi	45
6.1.1 Visjon:	45
6.1.2 Forretningside:.....	45
6.1.3 Energigjenvinning i Solør gjennom jernbanesviller	46
6.2 Oplandske Bioenergi AS	47
Eiere og organisasjon	47
6.2.1. Biokull av pyrolyse.....	47
7. Konklusjon	50
Referanser:.....	51
Vedlegg:	55

Figurliste

Figur 1: Forenklet forbrenningsskjema	6
Figur 2: Dampkraft system modell.....	8
Figur 3: varmekraftstasjon med gassturbin kombinert med dampturbin.....	9
Figur 4: Fjernvarme fordeling 2018	10
Figur 5: Fjernvarme i skjematikk i praksis.....	11
Figur 6: Skjematisk fjernvarmenett.....	12
Figur 7: gassturbin med bevaring av varme	13
Figur 8: kjele med dampturbin	13
Figur 9 effektivitet av CHP	13
Figur 10 Avansert energi system modell.....	15
Figur 11: De forskjellige gassifisering- teknologiene inndelt	16
Figur 12: Updraft fixed bed gasifier.....	17
Figur 13: HTW bubbling fluidized- bed gasifier.	18
Figur 14: Top- fed downflow entrained- flow gasifier.....	19
Figur 15: Forenklet pyrolyseskjema.....	21
Figur 19: Vedstabel.....	34
Figur 20: Forbruk av flytende biobrensler og biogass til transport i Norge	36
Figur 21: Produksjon og import av biodrivstoff i Norge.....	36
Figur 22: Forbruk av flytende biogass og biobrensler til transport i EU28.....	37
Figur 23: Urbane trær i Stockholm.....	38
Figur 24: Solør operasjonskart	45
Figur 25: Jernbanespor installert med tresviller	46
Figur 26: De 23 flisfyringsanleggene til Oplandske	47
Figur 27: Biokull markeder	49

Tabeller

Tabell 1: Fjernvarmevalansen 2009- 2018	12
Tabell 2: Karakteristikker ved de forskjellige gassifiseringsreaktorene	16
Tabell 3: Temperaturer ved pyrolyse	21
Tabell 4: Brennverdi for ulike treslag	26
Tabell 5: Egenskaper Bark	29
Tabell 6: Egenskaper rotreducererflis.....	30
Tabell 7: Egenskaper for rå reduserer- og hoggerflis.....	30
Tabell 8: Egenskaper for tørr hoggerflis	31
Tabell 9: Egenskaper sagflis.....	31
Tabell 10: Egenskaper kutterflis.....	31
Tabell 11: Egenskaper gjenvinningsvirke	32
Tabell 12: Mengde ved forbrent i husholdninger fordelt på åpen peis, lukket ovn, gammel teknologi, lukket ovn, ny teknologi og mengde ved forbrent i fritidsboliger	35
Tabell 13: GWh konsumert i Norge gjennom elektrisitet og vedfyring.....	35
Tabell 14: Strømpris fjerde kvartal 2019.....	39
Tabell 15: Regnskap Oplandske.....	47

1. Innledning

1.1 Bakgrunn

Bioenergi i Norge benyttes primært til tre formål:

- Romoppvarming og tappevann i boliger og næringsbygg,
- Damp og prosessvarme til industrielle formål, og
- Kraftproduksjon [1] (Øyvind Skreiberg, 2011)

I forhold til den utbredte vannkraften i Norge er bioenergi en nisje, da 93,4% av landets produksjonskapasitet kommer fra vannkraft [2] (*Kraftproduksjon*, 2019). Likevel begrenser ikke dette bioenergiens rike historie, dagens anvendelser eller dens verdifulle fremtid. Produksjon av bioenergi i Norge økte fra 12 TWh i 1998 til 15TWh i 2009. Av forbruket i 2009 var fordelingen ifølge Energi21 slik:

- 6 TWh Vedfyring
- 2 TWh avfall i fjernvarmeanlegg (bioenergiandelen innen avfall ligger på 50%)
- 0,8 TWh flis i fjernvarmeanlegg
- 5 TWh sagflis, bark og avlut i skogindustriens egen varmeproduksjon
- 1 TWh Pellets, flis og ved i mindre anlegg [1] (Øyvind Skreiberg, 2011)

Om disse tallene settes i perspektiv med våre nordiske naboland Sverige og Finland, er Norge fremdeles veldig beskjeden i sin bruk av bioenergi. Sverige og Finland høyner våre tall mer enn fjorten ganger, når henholdsvis 36% og 33% av deres respektive nasjonale energiproduksjon kommer fra bioenergi. [3] (norbio, 2020) I Norge har Innlandet fylke høyest bruk av bioenergi i forhold til innbyggertall der 20% av det stasjonære energiforbruket dekkes av bioenergi, mens det på landsbasis er 7%. [4] (Sandtrøen. M & Holen. CO, Årstall, avsnitt 1)

1.2 Problemstilling

Denne oppgaven skal belyse teknologi og ressurser tilknyttet bioenergi. Det skal forskes på hvordan disse aspektene vil eller kan påvirke fremtidens energisystemer, sammen med miljø- og økonomihensyn tilknyttet bærekraft. Disse fire sammen vil uttrykke et godt helhetlig bilde av bioenergi. I tillegg skal det forskes på, om/ eller hvordan disse vil eller kan påvirke fremtidens energisystemer.

Teknologibegrepet omhandler både termokjemisk- og biokjemiskkonvertering. Ressurs beskriver mangfoldet og bruken av biomassene tilgjengelig i naturen. Økonomiaspekter tilknyttet tre anvendelser er beskrevet under kapittel fire. Om bioenergi er en fornybar energikilde, drøftes i kapittel fem: «Miljø, bærekraft og fornybar energi tilknyttet bioenergi.» Det følger også en innføring i to norske forretninger som bruker bioenergi i kapittel seks.

Innhentet data fra litteratur i form av bøker, tidsskrifter, artikler, samarbeidspartnere og veileder gir en god oversikt over bioenergis applikasjoner og integrasjonsmulighetene for fremtiden. Problemstilling er formulert til:

«Hvordan kan teknologi og ressurser ved bioenergi spille en større rolle i fremtidige energisystem og hvilken rolle spiller bioenergi i dag?»

Videre har en beslutning falt på at de termokjemiske teknologiene skal prioriteres fremfor de biokjemiske. Da lik vektning ikke ville vært rettfærdig ovenfor innholdet begge begrepene representerer.

1.3 Begrepsforklaring

Metanisering: er en rekke prosesser der mikroorganismer bryter ned biologisk materiale i fravær av oksygen.

Fermentering: også benyttet begrep er gjæring. Katabolsk reaksjon der sukker omdannes til alkohol, syrer og karbondioksid ved hjelp av mikroorganismer.

Karbonsekvistrering: Karbonsekvistrering defineres til opptak og lagring av carbon som ellers vill blitt utsendt til atmosfæren

Amorfe: Amorfe materialer er materialer som ikke har regelmessig atomær oppbygging. Slike materialer har egenskaper forskjellig fra tilsvarende materialer som er krystallinske. Glass utgjør en undergruppe av amorfe materialer.

Grønt skifte: Grønt skifte, eller grønn omstilling, betyr generelt en forandring i mer miljøvennlig retning.

CHP: combined heat and power: kombinasjonen av varme og elektrisk produksjon.

Treforedling: Produksjon av tremasse, cellulose, papir, kartong, fiberplater og lignende av trevirke.

Pelletering: Er den industrielle prosessen som produserer pellets.

Bindemiddel: Fellesbetegnelse på stoffer tilsatt andre komponenter for å binde de sammen.

Biobrensel: Med biobrensel menes brensel som består av biomasse, dvs. materiale med biologisk utspring, og som ikke, eller kun i liten grad, er blitt videreforedlet.

Tørkeveiemetoden: Denne metoden brukes vanligvis til å måle fuktighet, flyktig faste stoffer og aske. En tørkeovn og en muffleovn brukes.

Adiabatisk: En termodynamisk prosess hvor det er null varmeveksling mellom system og omgivelsene.

Isobar: En termodynamisk prosess hvor tilstandsendringen skjer ved konstant trykk.

Anaerob: Ingen tilgang på oksygen

Spillvarme: Varmeenergi som ikke blir utnyttet i produksjonsprosessen.

Brayton- syklus: En termodynamisk syklus som beskriver hvordan en motor fungerer under konstant trykk.

Rankine- syklus: En idealisert termodynamisk syklus for varmekraftmaskin.

Varmekraftmaskin: omdanner varme til arbeid ved å bruke temperaturforskjeller mellom varmekilde og varmesluk.

Syntesegass: En gassblanding som brukes til å fremstille en rekke viktige produkter i kjemisk industri.

Fischer-Tropsch: En kjemisk reaksjon som gjør karbonmonoksid og hydrogen til flytende hydrokarboner, gjennom denne prosessen kan man lage diesel.

Biodrivstoff: Biodrivstoff er framstilt av biomasse.

Lignocellulose: Tørrstoff fra planter, det mest tilgjengelige råmaterialet på jorden som kan brukes til produksjon av biodrivstoff.

Inert atmosfære: Oppholdssikker luft der vanlige materialer ikke vil antenne eller brenne

Dekarbonylering: En biokjemisk prosess som består av at karbondioksid, CO₂ avspaltes fra en alfa ketosyre samtidig som oksidasjon oppstår.

Cracking: En Petrokjemisk prosess som omformer større molekyler til mindre molekyler.

Repolymesering: en prosess hvor monomere molekyler reager og sammen danner tre-dimensjonale nettverk eller polymere kjeder.

Aromatiske forbindelser: Aromatiske forbindelser er en fellesbetegnelse for en stor gruppe kjemiske forbindelser.

Saltstress: Saltstress er både tørkestress og osmotisk stress som påvirker vann- og ionebalanse.

Kation: er et positivt ladet ion.

Lakton: En intramolekylær ester som dannes mellom hydroksylgruppe og syregruppe i molekylet ved fjerning av vann.

Fenol: Fenol er en organisk forbindelse som i helt ren tilstand er giftig, hvitt krystallinsk stoff.

Karboksyli: atomgruppe som forekommer i alle organiske syrer.
Kjemisk formel –COOH.

Cellulose: Et fiberråstoff som er fremstilles fra trevirke eller planter gjennom en kjemisk prosess.

Hemicellulose: en gruppe polysakkarider som ved siden av cellulose forekommer i plantecellers vegger.

Lignin: et felles navn på en del kompliserte kjeder av aromatiske alkoholer.

Jorderosjon: En naturlig prosess hvor jord blir vasket bort av vann, andre naturkrefter eller bearbeiding.

Slagging: Engelsk begrep for når kullpartikler fester seg til deler av en reaktor.

Kraft til varme rate: raten mellom elektriskkraft delt på antall brukbar energi ofte uttrykt i Btu/KWh

Fortorving:

System: Et system defineres til å være alt som har innvirkning på den aktuelle prosessen, mens omgivelsene er alt eksternt for systemet. Dette av termodynamikk

Vfast = Fast volum, nettovolum av virke uten hulrom [m³]

Vløs = Løst volum, totalvolum av virkestabler eller hauger inkl.

hulrom [m³ løst]

V0 = Tørrvolum, dvs. volum ved absolutt tørr tilstand [m³]

Vu = Volum ved gjeldende fuktighet (u) [m³]

Vrå = Råvolum, dvs. volum ved trefuktighet større eller lik fibermetningspunktet [m³]

mrå = Råvekt, dvs. vekten i rå tilstand [kg]

mu = Vekt ved gjeldende fuktighet (u) [kg]

m0 = Tørrvekt, dvs. vekten i absolutt tørr tilstand [kg]

FM = Fastmasseandel - forholdet mellom fastvolum og løsvolum [%]

ρm = Basisdensitet, også kalt "tørr-rådensitet" [kg/m³]

ρr = Rådensitet, rå vekt i forhold til rått volum [kg/m³]

ρ0 = Tørrdensitet, tørr vekt i forhold til tørt volum [kg/m³]

ρu = Densitet ved gjeldende fuktighet (u) [kg/m³]

ρbulk = Bulkdensitet, vekt i forhold til løst volum [kg/m³ løst]

ρråbulk = Råbulk densitet, råvekt i forhold til løst volum [kg/m³ løst]

Hø = Øvre brennverdi, [kWh/kg]

H_n = Nedre brennverdi, [kWh/kg]

H_e = Effektiv brennverdi, [kWh/kg]

r = Fordampningsvarme, [kWh/kg] (0,69 kWh/kg ved 100 °C)

F₀ = Fuktighetsinnhold regnet av trestykkets tørrvekt [%]

F_r = Fuktighetsinnhold regnet av trestykkets totalvekt [%]

η = Virkningsgrad

2. Teknologi innen bioenergi

2.1 Termokjemiskkonverteringsteknikker

Under termokjemiske teknikker for energiutvinning av biomasse har vi tre hovedtyper som består av forbrenning, gassifisering og pyrolyse. Disse tre teknikkene utdypes i punkt 2.1.1.-2.1.3.

Biokjemisk konvertering involverer bakterier, mikroorganismer og enzymer for å bryte ned biomasse og danne gasser eller flytende drivstoffer. De mest benyttede metodene for biokjemisk konvertering er metanisering og fermentering. I denne oppgaven skal hovedfokuset ligge på de termokjemiske konverteringsteknikkene, da de er mest utbredt og relevant for valgte systemer gjennomgående. [5] (Chen & Wang, 2016)

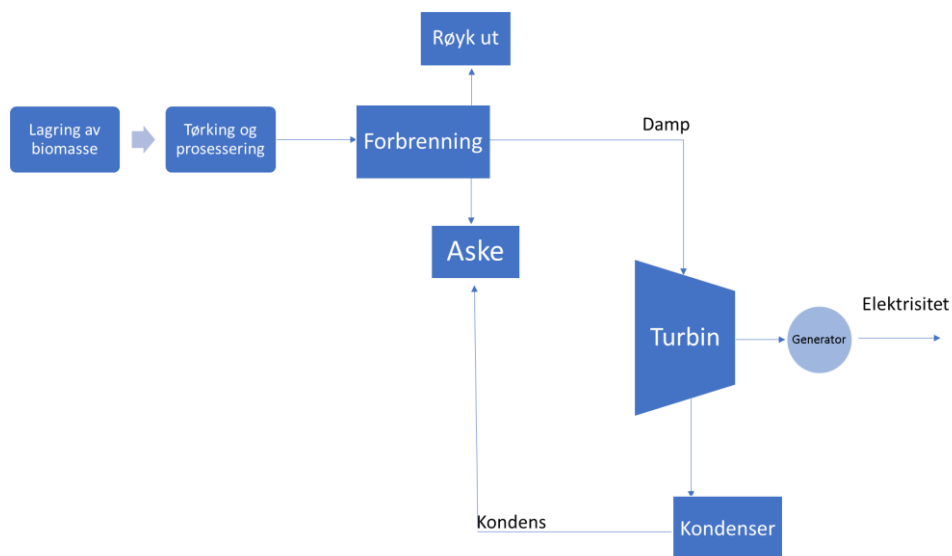
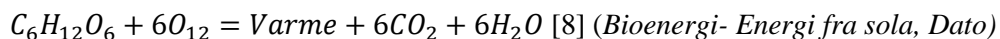
2.1.1 Forbrenning

Forbrenningsprosessen er eksoterm, det vil si en faseforandring som frigir varme. Reaksjonen foregår mellom et stoff (biomasse) og oksyngengass. Disse to komponentene blandes sammen i et system som innehar høy temperatur. Dette resulterer i karbondioksid, vanndamp og varme. Der varmen er resultatet benyttet for både næringsliv og hjemmebruk. [6] (Haraldsen & Pedersen, 2018, avsnitt 1 & 2)

Forbrenning av biomasse har en rik historie, og blir ansett som den første energikilden for varme, lys og matlaging. Tidligere ble forbrenning også benyttet for å holde farer og rovdyr på avstand. [7] (Scott, AC, 2018)

I dagens samfunn brukes fortsatt forbrenning av trevirke i mange hjem for å fremstille varme, inkludert energisentraler med ovner som fyrer på stor skala for å selge nær- og fjernvarme til bedrifter og noen husstander.

Formel 1: Reaksjonslikning ved forbrenning



Figur 1: Forenklet forbrenningsskjema

Varmeverk og kraftproduksjon

Varmekraftverk bruker prinsipper hvor termisk energi omdannes til elektrisk energi ved hjelp av en turbin. Det brukes enten en dampturbin eller en gassturbin. Varmeverk er systemer som baserer seg på varmeleveranse gjennom vann eller damp i fjern- og nærvarme systemer. Brensel forbrennes i brennkammeret og skaper varme. Brenselet kan være fossile brensler som olje, kull og gass, men varmekraftverk kan også basere seg på geotermisk energi, solenergi og bioenergi. I tilfeller hvor biomasse blir brukt som brensel kaller vi systemene for biokraftverk eller biovarmekraftverk. [9] (Rosvold. KA & Hofstad. K, 2019, avsnitt 1) [10] (Rosvold, KA, 2014).

Varmekraftverk og kraftvarmeverk

Forskjellen mellom varmekraftverk og kraftvarmeverk er at varmekraftverk bare produserer elektrisk energi som medfører en stor mengde spillvarme. Et kraftvarmeanlegg, også kjent som kogenanlegg eller CHP-anlegg, er anlegg som produserer og leverer både elektrisk og termisk energi [11] (Norsk fjernvarme). I et varmekraftverk så vil dampvarmen fra turbinen bli avkjølt gjennom kondensering og dette er tapt energi. I CHP-anlegg derimot, bruker anleggene denne kjølevarmen til å varme opp vann som de distribuerer ut i et nær- eller fjernvarmeanlegg. Dette gjør at CHP-anlegg oppnår en mye høyere utnyttelse av ressursene.

Tidligere brukte kraftverkene olje som brensel. Senere ble det brukt mye kull, mens dagens systemer bruker mer naturgass og biogass. Før ble det brukt damp i distribusjonssystemet, men senere har man sett at det er bedre å bruke avgassen som kommer fra selve forbrenningen til å direkte drive gassturbinen. Disse turbinene har en virkningsgrad som ligger på 35%. [12] (Rosvold. KA & Hofstad. K, 2019, avsnitt 1 & 4)

Formel 2: Virkningsgrad kraftverk

$$\text{virkningsgrad} = \eta = \frac{P_{ut}}{P_{inn}}$$

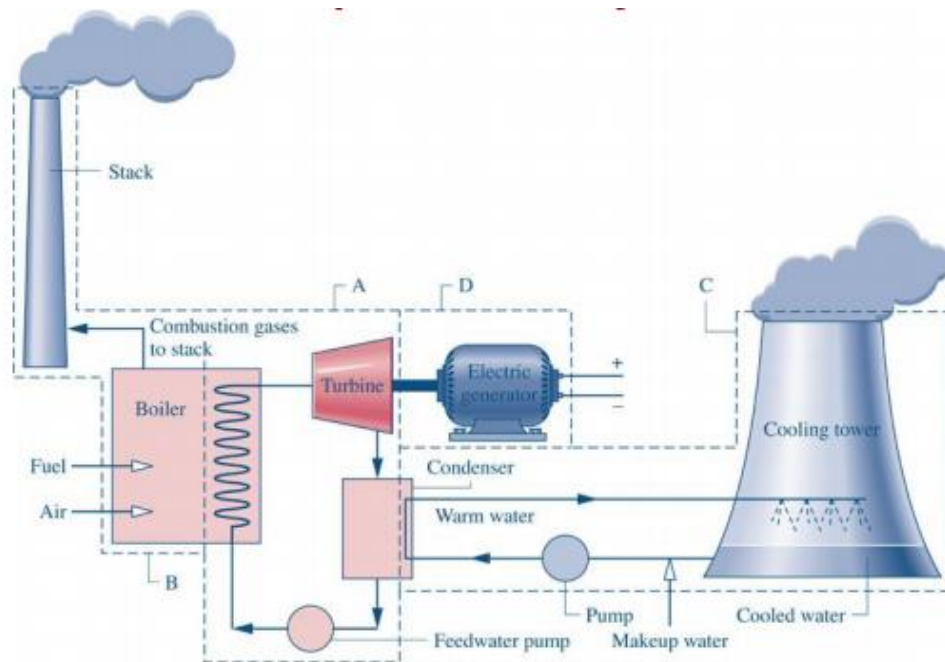
Der η er virkningsgraden

P_{ut} er effekten ut

P_{inn} er effekten inn.

Dampturbin

Kraftstasjoner med dampturbiner blir som regel bygget i store enheter for at det skal være økonomiske. Størrelse på 500 – 1000 MW på en maskin er normalt, dampen som passerer turbinen blir som oftest nedkjølt i en kondensator. Som tidligere nevnt finnes det også CHP-anlegg som bruker denne varmen for å dekke varmebehovet (industri eller fjernvarme). [13] (Rosvold. KA & Hofstad. K, 2019, avsnitt 2)



Figur 2: Dampkraft system modell

Kilde fig 2: T. Gundersen, verdens elektriske produksjon, hentet 8.mai 2020 fra <https://docplayer.me/41501965-Verdens-elektrisitetsproduksjon.html>

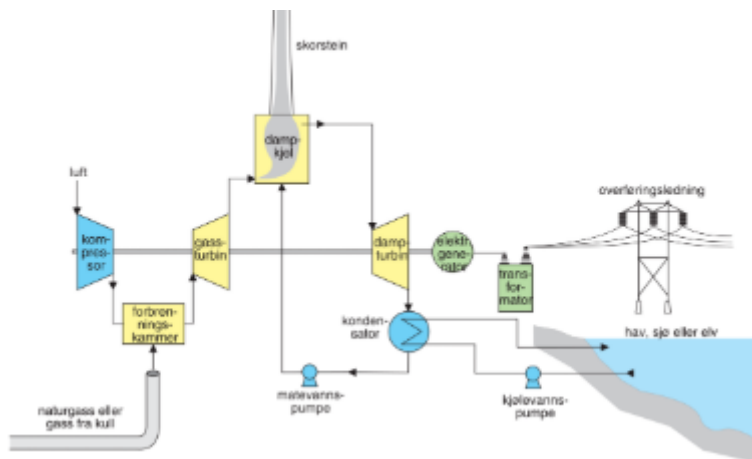
Gassturbin

Forbrenning av gass gir som regel et lavere utslipp av karbondioksid i forhold til energimengde, sammenlignet med andre fossile brenslere som for eksempel kull og olje. I det siste er det gasskraftverk og kombikraftverk som dominerer markedene. I flere land blir gasskraft regnet som en ren energiform, her er det forskjellige krav til den omfattende rensingen av avgassene. Fordel med gassturbinanlegg er at anleggene har egenskaper hvor de kan ha rask oppstart og brukes da ofte som reserveanlegg og til å forsyne kortvarige belastningsstopper.

Dagens kraftverk blir som regel bygget med en kombinasjon av damp og gassturbiner. Denne kombinasjonen gir en langt høyere virkningsgrad, som vanligvis ligger mellom 50-60%. [14] (Rosvold. KA & Hofstad. K, 2019, avsnitt 3)

Kombikraftverk av damp og gass

Kombikraftverk er i praksis et gasskraftverk som har både en gassturbin og en dampturbin. I kombinasjon med en dampkjel gir dette kraftverket mulighet til å lage elektrisk energi i to trinn. Først gjennom en Brayton-syklus og så er det nok restvarmeenergi til trinn to, Rankine-syklus. [12] (Hofstad. K, 2019).



Figur 3: varmekraftstasjon med gassturbin kombinert med dampturbin

Kilde fig 3: Rosvold, Knut A; Mæhlum, Lars: gasskraftverk i Store norske leksikon på snl.no. Hentet 8. mai 2020 fra <https://snl.no/gasskraftverk>

Rankine-syklus [14] (Rosvold, KA, 2013) er en termodynamisk syklus hvor en varmekraftmaskin bruker varme for å gjøre mekanisk arbeid. Funksjonen er slik at varme fra utenfor systemet brukes til å omdanne vann til damp under høyt trykk. Dampen driver en dampturbin eller motor.

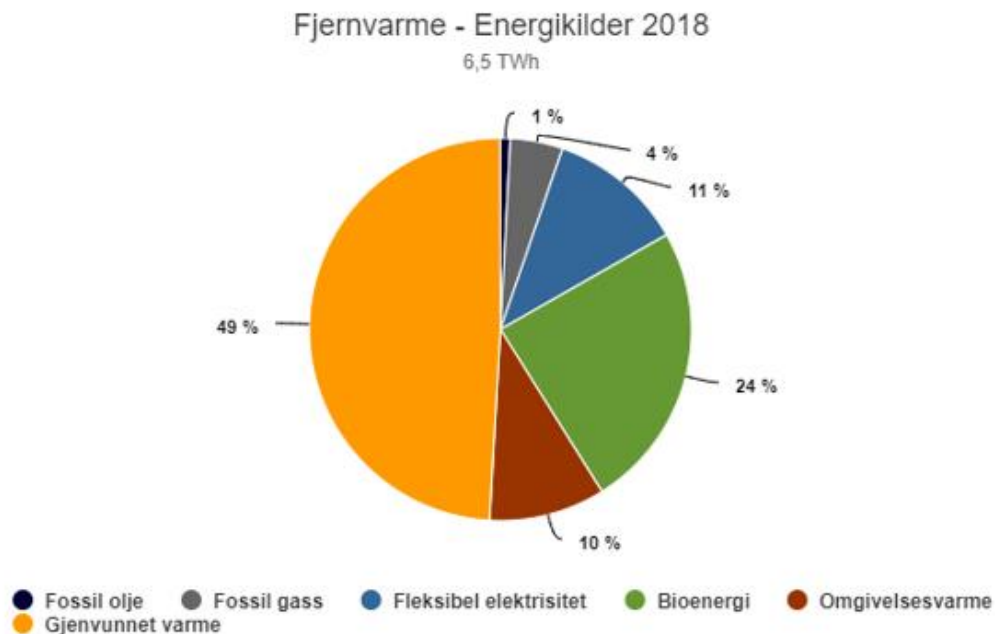
I første trinn av kombikraftverket blir brensel i en blandingsform av gass og komprimert luft forbrent. Avgassen fra brenselet får en temperatur på 900-1400 °C [10] (Hofstad, K, 2019). som ekspanderer gjennom gassturbinen. Etter å ha drevet gassturbinen er trykket i avgassen redusert, men siden det er en adiabatisk prosess så vil temperaturen forholde seg relativt høy, 400 til 650 °C. [11] (Hofstad, K, 2019). Denne restvarmen vil gå gjennom dampkjelen og bli til damp. Dampen blir så brukt i trinn to, hvor dampen driver en dampturbin. Dampen blir kondensert og sendt tilbake til kjelen for så å bli brukt på ny.

Denne type kraftproduksjon med to trinn gir en høyere virkningsgrads kontra ett trinn. Det er snakk om en økning fra 35% til 55-60%. [11] (Hofstad, K, 2019). Det er mulig å øke virkningsgraden enda mer ved å kombinere den elektriske produksjonen med varmeproduksjon og bruke restvarmen i enda et trinn, som for eksempel fjernvarme.

Fjern- og nærvarme fra varmeverk

Varmeverk er storskalasystem som kun leverer varme, som regel i form av damp eller vannbåren varme. [15] (Rosvold, KA, 2019) Varmen blir som regel distribuert til industrianlegg, kommunale bygg og boligfelt. Varmen kan bli produsert på flere måter og fra flere energikilder. Norsk fjernvarme har laget en portal kalt fjernkontrollen.no [16] (Norsk fjernvarme). Dette gir lokale anlegg over hele landet en mulighet til å lage og se en oversikt

med energimiks per selskap og per sted. Energimiksen vil variere fra anlegg til anlegg. Under kan du se en fordeling av energikilder brukt i fjernvarme i 2018



Figur 4: Fjernvarme fordeling 2018

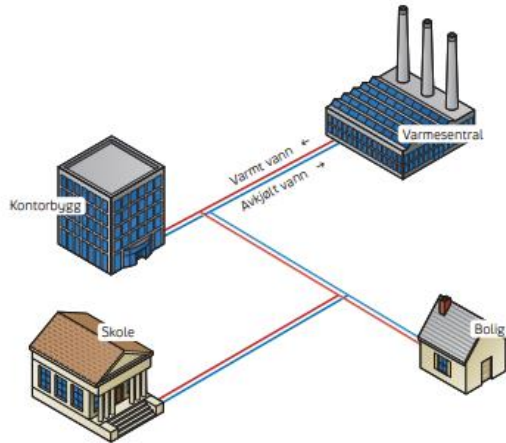
Kilde fig 4. [16] (Energikilder)

Den største delen av kakediagrammet består gjenvunnet varme. Det er spillvarme som kommer fra industri og avfallsforbrenning som ellers ville forsvunnet. Dette kalles for sirkulær energi. Det vil si bruk av energi som egentlig ville forsvunnet.

Etter gjenvunnet varme kommer bioenergi, som kan være alt fra faste biobrensler som flis, til bio-olje laget ved hjelp av pyrolyse. Bruk av bioolje har et økende forbruk. Dette kan forklares ved at flere og flere anlegg begynner å dekke spisslasten med fornybar biomasse istedenfor fossile brensler. Det er vanlig at biprodukter fra skogproduksjonen blir sendt hit, det kan være for eksempel flis, retur-tre og pellets. [16] (Norsk fjernvarme).

En stor ressurs for fjernvarme er omgivelsesvarme, det er varme som hentes fra kloakkvann, fjordvann eller industri. Varmen blir hentet med varmepumper eller solfangere. Norsk Fjernvarme og solenergiforeningen holder nå å kartlegge potensialet for solfangerfjernvarmeanlegg. [16] (Norsk fjernvarme).

Fossile brensler som olje og gass blir fortsatt brukt i en viss grad til å dekke spisslast i vintermånedene. Som tidligere nevnt prøver flere energiselskaper å fase ut spisslasten med grønne energikilder, for å jobbe mot CO₂ nøytrale og fornybare energikilder som grunnlast og spisslast. [16] (Norsk fjernvarme).

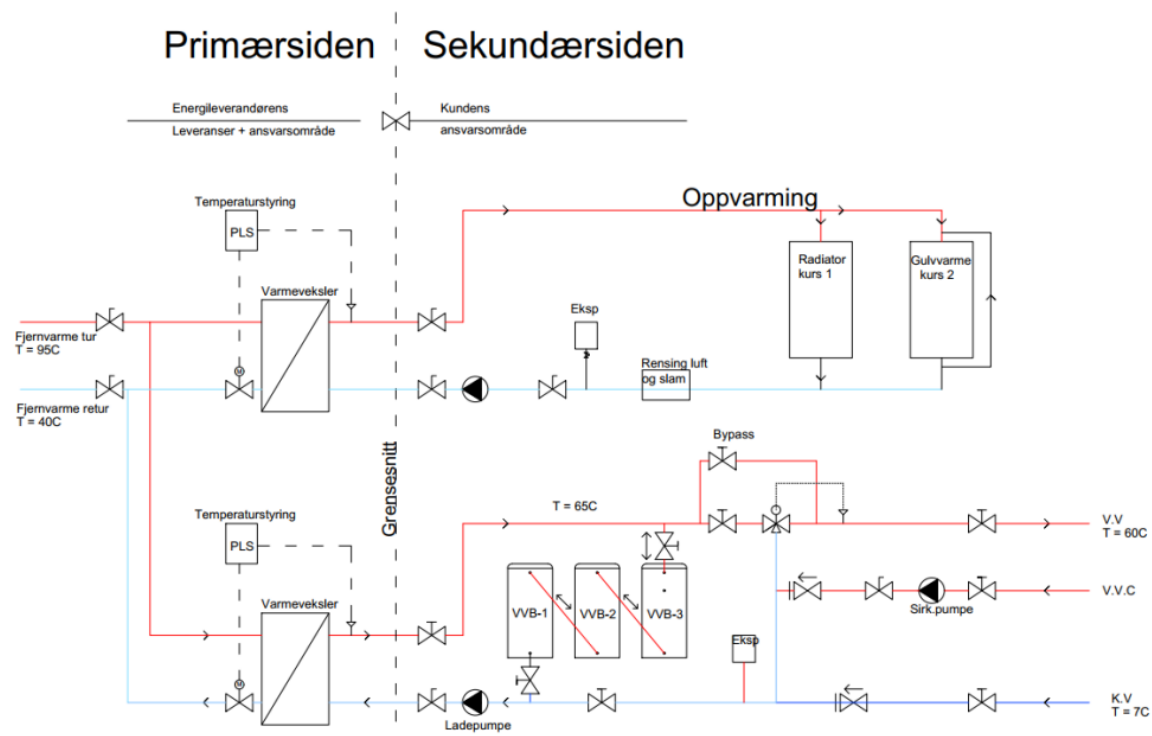


Figur 5: Fjernvarme i skjematikk i praksis

Kilde fig 5: https://www.statkraftvarme.no/globalassets/old-contains-the-old-folder-structure/documents/faktaark_tcm84-14828.pdf

Prosessen begynner med at avfall, brennbart materiale, biomasse eller omgivelsesvarme blir samlet og ideelt sett, blir til en homogen blanding. Deretter havner materialet på et transportbånd som først knuser og deler opp, så kommer et tørkeband som senker fuktighetsgraden ned til ønsket nivå, dette er avhengig av type brensel. Brenselet beveger seg nedover kammeret og blir brent på høy temperatur til det til slutt er aske i bunn. Varmen som stiger oppover brukes til å varme opp vann som blir distribuert ut i fjernvarmenettet. Det går to parallelle rør ut fra varmesentralen, et for tur og et for retur av vannet. [17](fortum) [18](Norsk fjernvarme)

Prosessen starter med at vann fra det kommunale nettet blir renset i et vannbehandlingsanlegg, dette blir gjort for å hindre rustdannelse i rør og turbin. Når vannet er blitt renset blir det lagret i tanker og brukt i fjernvarmenettet. I varmesentralen er det en gass til vann-varmeveksler som bruker den varme gassen fra forbrenningen til å varme vann. Det er viktig at temperaturen i røykgassen senkes til en temperatur som videre ikke ødelegger materialer og komponenter. Vannet som går ut i nettet i tur-rørene har en temperatur som ligger mellom 70 og 120 °C. Det er gunstig og ha en lav temperatur på vannet, slik at varmetapet blir lavest mulig i forhold til varmeproduksjonen. Det er vanlig å ha et varmetap i fjernvarmenettet på 5-10%. [19] (Norsk fjernvarme, år) Vannet vil bli distribuert ut til kunder, der vil det stå en varmeveksler som kan bruke fjernvarmen til det meste. Under kan du se en figur av en typisk fjernvarmebruker, hvor varmen blir brukt til oppvarming og varmtvann.



Figur 6: Skjematisk fjernvarmenett

Kilde fig6. <https://www.tafjord.no/media/1780/tekniske-retningslinjer-for-tilknytning-til-tafjord-kraftvarmes-fjernvarmenett.pdf>

Tabell 1: Fjernvarmevalansen 2009- 2018

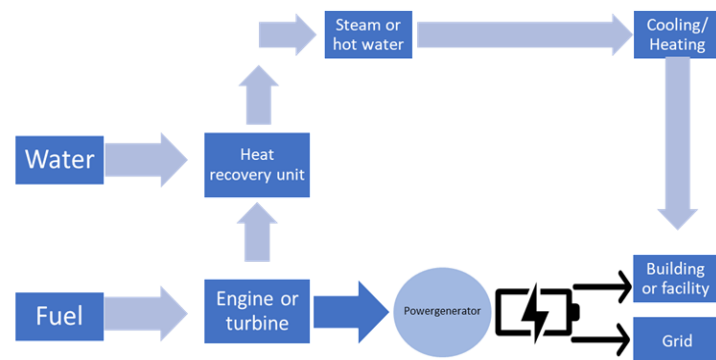
Fjernvarmebalanse. GWh ¹										
	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Bruttoproduksjon av varmt vann og damp	3 746	5 059	4 510	5 114	5 674	5 455	5 889	6 304	6 576	6 833
→ Levert til produksjon av elektrisitet	102	226	273	392	392	435	445	394	428	359
Nettoproduksjon av fjernvarme	3 644	4 833	4 238	4 722	5 283	5 020	5 444	5 910	6 149	6 474
→ Tap i fordelingsnett	351	533	508	500	582	559	613	664	671	727
Levert til forbruker ²	3 293	4 300	3 730	4 222	4 701	4 462	4 831	5 245	5 478	5 747
→ Husholdninger	692	1 023	754	913	1 054	967	1 007	1 184	1 239	1 249
→ Industri m.m	369	473	405	482	581	616	847	870	939	941
→ Tjenesteyting	2 232	2 804	2 571	2 828	3 065	2 878	2 977	3 192	3 300	3 557
→ Undervisning	270	344	281	331	338	334	307	359
→ Varehandel	150	200	160	196	214	204	205	328
→ Hotell og restaurant	79	110	103	111	115	108	120	151
→ Annen tjenesteyting	1 733	2 151	2 028	2 189	2 399	2 233	2 345	2 354
Memo: Avkjølt mot luft	532	477	797	674	738	1 004	828	907	981	870

¹ Inkluderer ikke Svalbard.
² Innholder også fjernvarme levert til bedrifter i eget foretak.

Kombinert Varme og kraftproduksjon

CHP (Combined heat and power), kogenanlegg eller kraftvarme er systemer som produserer elektrisk kraft og varme av samme energikilde. Under produksjonen vil fokuset i et kraftvarmeanlegg bevare og utnytte varmen som kommer av den elektriske produksjonen. Bruk av CHP kommer til å øke i fremtiden, på grunn av kosteffektivitet, enkel installasjon og veldig få geografiske begrensninger. CHP har mulighet til å bruke mange forskjellige typer brensel, både fossile og fornybare energikilder. CHP er mest effektiv for steder som både har elektrisk og varmebehov. Eksempler på dette er industri, sykehus, vaskeri, mat prosessering, hotell, skoler og universitet. CHP systemer blir ofte kategorisert ut ifra hvilken turbin selskapet har installert. Det er fem kraftmaskiner som blir brukt: stempelmotor, gassturbiner, microturbiner, brenselceller og kjele/dampsturbiner. [19] (U.S Department of Energy, 2016).

Figur 7 illustrerer gass eller flytende drivstoff som blir forbrent og driver en gassturbin. Gassturbinen er koblet til en generator som produserer elektrisk kraft til El-nettet eller eget bruk. Varmen som produseres blir fanget opp og brukt til termisk energi. [19] (U.S Department of Energy, 2016).



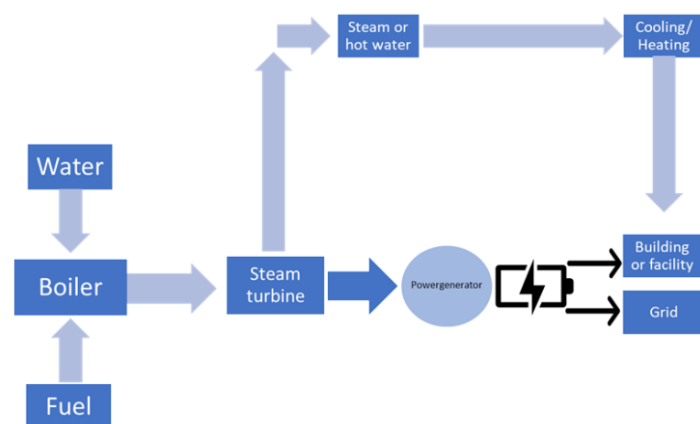
Figur 7: gassturbin med bevaring av varme

Figur 8 illustrerer brensel forbrent i en kjele hvor høytrykksdamp blir produsert. Dampen som blir sendt videre til en dampsturbin, på samme måte som i figur 7, er koblet til en generator. Damp forlater turbinen med et lavere trykk og denne dampen blir brukt til varme. Dampsturbiner blir ofte brukt når brenselet er i fast form, som for eksempel biomasse og kull.

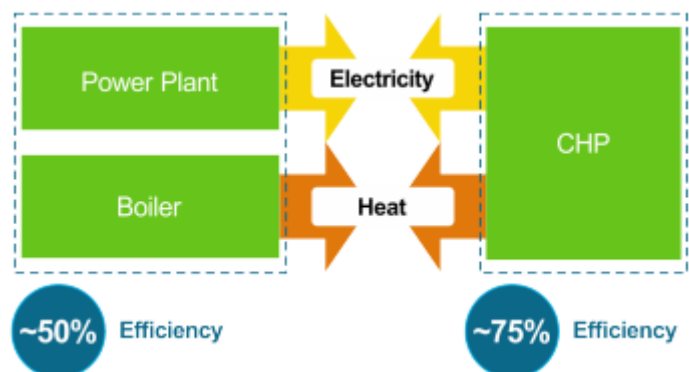
Dampsturbiner brukt i CHP applikasjoner har relativt lav kraft til varme rate. Derfor blir det installert gassturbiner på steder med god tilgang til gassressurser.

Når varme og elektrisk energi er produsert separat vil virkningsgraden være mellom 45-55% av energien til brenselet. Med CHP derimot, klarer man å utnytte opptil 65-85% av energien. [19] (U.S Department of Energy, 2016).

Store deler av den elektriske kraftproduksjonen i Europa baserer seg på forbrenning. Derfor vil man i fremtiden se en økning i utnyttelsen av spillvarme.



Figur 8: kjele med dampsturbin



Figur 9 effektivitet av CHP

I 2016 var produsert elektrisitet fordelt på disse ressursene i Europa

29 % fra fornybar energi (sammenlignet med 14 % *)

26% fra kjernefysisk energi (Sammenlignet med 30% *)

21% fra kull og brunkull (Sammenlignet med 21% *)

20% fra avledet og naturgass (Sammenlignet med 21% *)

2% fra olje (sammenlignet med 4 %*)

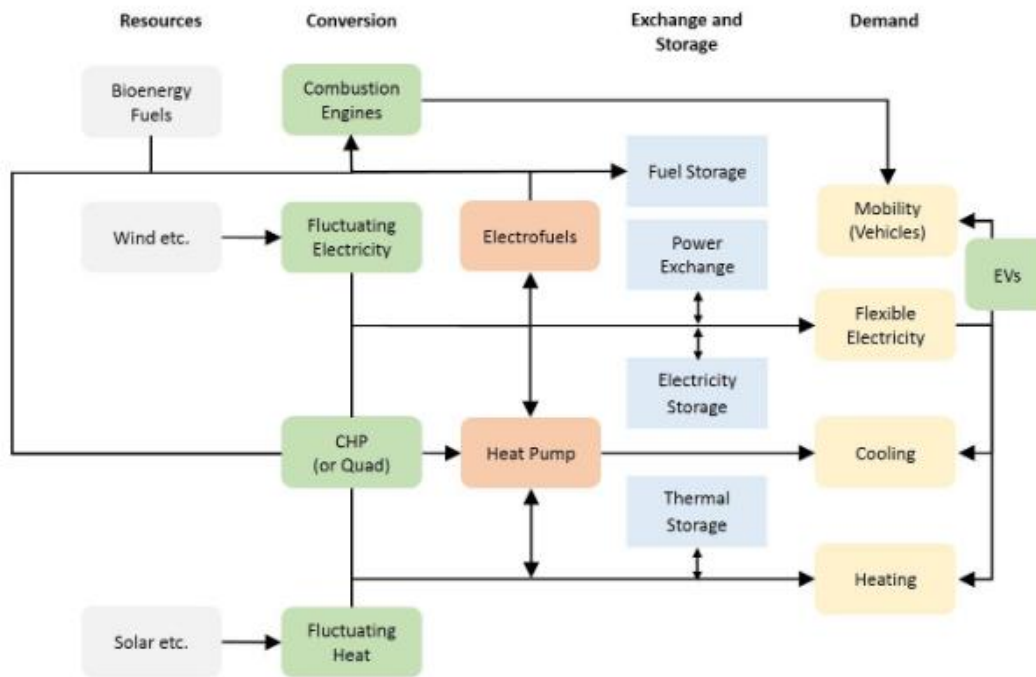
2% fra andre ressurser (Uforandret)

* Sammenligninger fra tidligere år 2005

[20] (European Environment Agency, 2016)

Denne allerede på plass infrastrukturen nedover i Europa for forbrenningsreaktorer, vil gjøre overgangen til fornybare CHP anlegg enklere. Da teknologien og deler av infrastrukturen allerede er på plass.

Bioenergiressurser og forbrenningsteknologier kommer til å spille en stor rolle i fremtidens smarte energisystemer. CHP opererer med både varme og elektrisitet, og dette gjør det mulig å innlemme og balansere energisystemer sammen, som for eksempel når det er overskudd i den elektriske produksjonen fra vannkraft. Da kan vannkraftanleggene bruke elektrisk energi gjennom store varmpumper og gi varme energi til CHP-anleggene. Denne varmen kan brukes eller lagres i termiske energitanker til fremtidige behov. På denne måten er den elektriske sektoren direkte koblet til varmesektoren. Dette vil gi de fremtidige energisystemene en bedre balanse i kraftproduksjonen.



Figur 10 Avansert energi system modell

Kilde fig 10. <https://www.energyplan.eu/smartenergysystems/>

CHP har som tidligere nevnt mulighet til å bruke en rekke forskjellige typer brensel. Biogass oppstår under termisk gassifisering, og både biogassen og spillvarmen kan brukes videre i CHP-anlegg. På samme måte vil klassisk biogassproduksjon fra gjødsel, matavfall og andre biprodukter fra jordbruk gi energi til gassturbinene i CHP-anlegg.

I fremtiden vil private husholdninger kunne ha en mikro CHP-enhet, som fungerer som en personlig kraftstasjon. Denne enheten vil bruke brenselceller og konverterer hydrogen eller naturgass til elektrisitet og varme i huset. Om strømprisen er lav, har man mulighet til å kjøpe elektrisitet og lagre energien i CHP-enheten. Mikro CHP gir også mulighet å selge tilbake energien til el-nettet, noe som gjør husstander til prosumer av elektrisk kraft. Å være en prosumer betyr at man produserer og forbruker av en vare.

2.1.2 Gassifisering

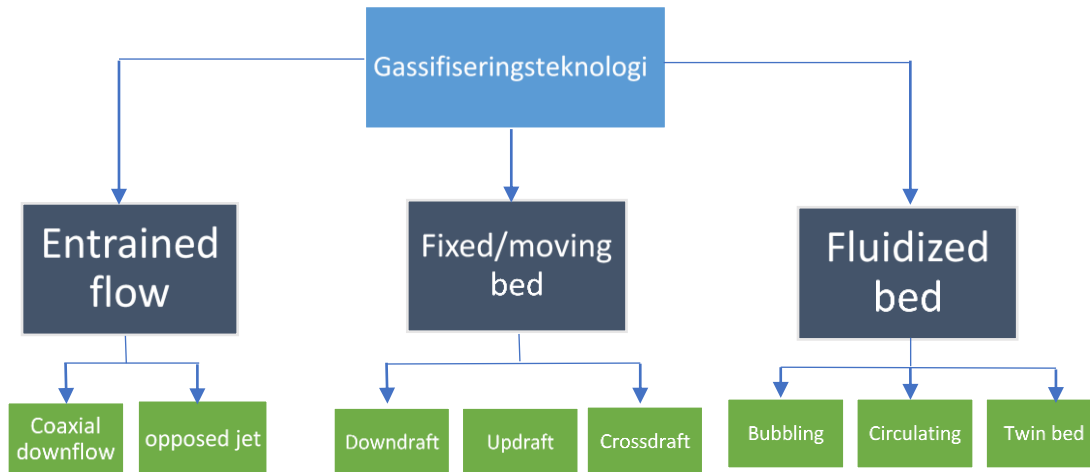
Gassifisering er den termokjemiske produksjonen av gassformige drivstoffer (syntesegass) eller bioolje fra karboninnholdige stoffer som kull, olje, gass, industrielt avfall og biomasse. Vanlig forbrenning av samme utvalg materiale frigir termisk energi, kontra gassifisering som produserer syntesegass.

Ved å fjerne forurensende forbindelser som formerer seg underveis i de kjemiske omdanningsprosessene, kan karbondioksid skilles fra syntesegassen og lagres ved karbonsekvestrering. Syntesegassen fremkalt ved gassifisering vil være et mye mer miljøvennlig alternativ om de farlige klimagassene blir håndtert riktig, i kontrast til de kommersielle energikildene som olje, gass og kull. [21] (Mulvaney, D & Robbins, P, 2011, s. 191)

Proessen skjer ved å varme opp et system til rundt 800-1000°C og tilsette en type av en rekke ulike og tilgjengelige biomasseprodukter. Kombinert med begrenset tilførsel av

oksygen, vil prosessen omdanne biomassen til syntesegass, som er en blanding av stoffene metan, hydrogen og karbonmonoksid, karbondioksid og nitrogen. Syntesegassen kan nå benyttes til forskjellige drivstoff eller varme- og kraftformål. [22] (Stensrud, 2019, avsnitt 3.2)

Gassifiseringprosessen kan deles inn i tre prinsipper (i) fixed/moving bed, (ii) fluidized bed og (iii) entrained-flow bed.



Figur 11: De forskjellige gassifisering- teknologiene inndelt

[50] (BASU, 2018)

Klassifiseringsgrunnlaget for en gassifiseringsreaktor faller hovedsakelig på to faktorer. Biomassen som skal gassifiseres, og utbyttet som er ønsket etter prosessen.

En partikulær gassifiseringsreaktor er ikke nødvendigvis passende for et fullt rangerende spekter av biomasser. Hver type støtter et passende bruksområde. Fixed/ moving bed -typen benyttes som mindre enheter (< 10 MW). Fluidized bed-typen passer mer til (5- 100MW) produksjon. Entrained Flow reaktor er den reaktoren som blir benyttet for større energibehov og ved anlegg med større kapasitet (< 50 MW). Under følger en tabell som viser overlappingene og egenskapene til de tre hovedprinsippene nevnt hittil. [23] (BASU, 2018)

Tabell 2: Karakteristikk ved de forskjellige gassifiseringsreaktorene

Parameter	Fixed/ Moving bed	Fluidized bed	Entrained bed
Størrelse på biomasse inn	<51 mm	<6mm	<0,15mm
Toleranse for fine biomasser	Begrenset	Bra	Utmerket
Toleranse for grove biomasser	Veldig bra	Bra	Dårlig
Gass temperatur ut	450- 650°C	800- 1000°C	>1260°C

Biomasse toleranse	Lavt rangerende kull	Lavt rangerende kull og utmerket for biomasse	All kull, egner seg ikke for biomasse
Oksidantbehov	Lav	Moderat	Høy
Temperatur reaksjonssone	1090°C	800-1000°C	1990°C
Krav om damptilførsel	Høy	Moderat	Lav
Asken produsert	Tørr	Tørr	Slagging
Kald gaseffekt	80%	89%	80%
Applikasjoner	Små partikler	Medium partikler	Store partikler
Trøblete faktorer	Tjære produksjon og utnyttelse av fine biomasser	Karbon konververing	Rå- gass kjøling

[23] (BASU, 2018)

Fixed bed:

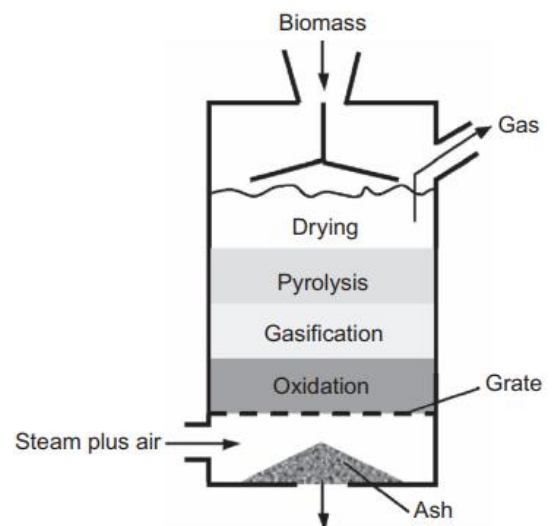
Fixed og/eller moving bed reaktor har fått navnet sitt ut ifra hvordan den fungerer. Biomassen tilsatt støttes opp av en rist, og beveger seg nedover i reaktoren før de ferdige produktene separeres ved enden. Denne typen reaktorer kan bygges veldig billig og ved fysisk små størrelser. Av samme grunn finnes det mange slike reaktorer av liten skala rundt om i verden.

Disse deles igjen opp i: Updraft, downdraft og crossdraft. Manglende navnsetting på norsk flere plasser gjennom delkapittel 2.1.2. [23] (BASU, 2018)

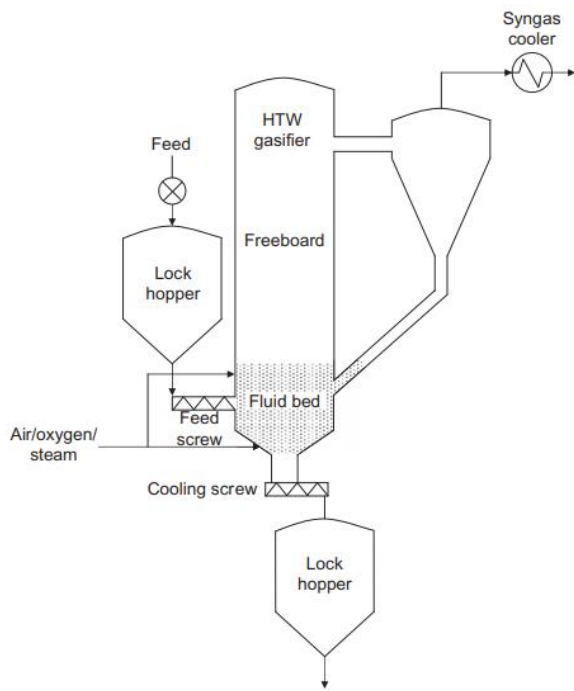
Fluidized bed:

Fluidisert sjikt-forbrennings reaktor på norsk, er kjent for dens utmerket miksing av tilsatt biomasse og uniforme temperatur. En fluidisert sjikt reaktor bygges opp av kornformede faste stoffer fra bunnen, kalt sjiktmaterialer. Under prosessen holdes sjiktmaterialene i en semi- suspendert tilstand, også kalt fluidisert tilstand. Biomassen som er tilsatt blir altså fluidisert ved at det passerer oksygen, damp eller luft ved tilpasset hastigheter.

Fluidisering av biomasse deles opp i tre prinsipper: bubbling, circulating or twin bed. [23] (BASU, 2018)



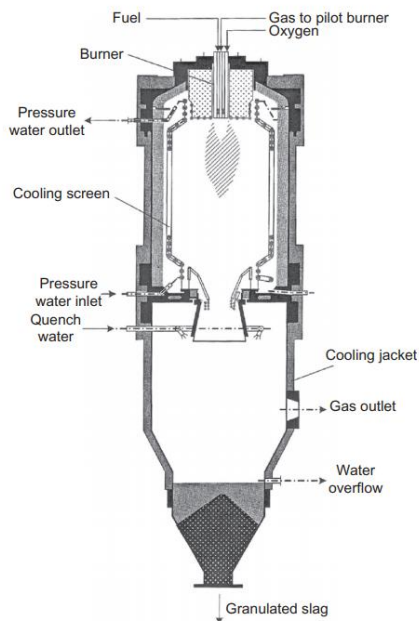
Figur 12: Updraft fixed bed gasifier



Figur 13: HTW bubbling fluidized- bed gasifier.

Entrained flow gasifiers:

Dette er den reaktoren som har fått mest suksess, og som blir mest anvendt for storskala gassifisering av kull, petroleumskoks og raffinerirester. På norsk kalles dette for medrivningsreaktor, og egner seg for de fleste typer kull, men ikke kullvarianter med lite karbon, som lignitt og biomasse grunnet deres høye fuktighetsnivå. Kull med veldig høy akseforming er også mindre passende fordi kald gass- virkningsgraden avtar ved høyere askeinnhold. [23] (BASU, 2018)



Figur 14: Top-fed downflow entrained-flow gasifier

SINTEF energi er et norsk uavhengig forskningsinstitutt. Sammen med NorBioLabs, Norsk bioraffineringslaboratorium, en samling av nasjonal forskningsstruktur for bioenergi og bioraffinering. De inngikk i 2014 et samarbeid om å installere en gassifiseringsreaktor. Finansieringen ble gjennomført både med interne midler og støtte fra Norskes forskningsråd gjennom NorBioLabs. [24] (NorBioLab, 2020) [25] (Sintef energi, 2020) [26] (Seljeskog, 2019)

Gassifiseringsreaktoren installert ved SINTEF energi i Trondheim er av typen medrivningsreaktor (Entrained-flow reactor). Den er særegent konstruert slik at den enkelt kan omformes til enten en sylinderreaktor eller en damp-fluidisert reaktor, om det skulle være behov for det. Andelen O_2/N_2 inn i prosessen kan varieres separat slik at reaktoren også kan operere i en oksygenriket modus. Reaktoren er bygget for temperaturer opp til $1500^\circ C$ og sertifisert til 10 bar. Den er også bygget med relevans for industriformål, samtidig som den skal dekke forskningsbehovet knyttet til noen grunnleggende utfordringer forbundet med gassifisering. [26] (Seljeskog, 2019)

Våren 2019 eksperimenterte SINTEF og NorBioLab med rent trevirke, og kunne legge bak seg mange vellykkede kampanjer. Per dags dato holder de fortsatt med sin forskning, og de prøver fremdeles ut mange potensielle brensler til sin reaktor. De har veldig fokus på bredden

av brenslene de prøver, med tanke på karbon- og askeinnhold. Ettersom denne reaktoren varmes opp elektrisk, studerer de resultatene for å kartlegge hvilke brenslere som egner seg til skalering og bruk i mye større teoretiske anlegg. Det SINTEF og NorBioLab ønsker svar på, er i hvilken grad en 15kW's laboratoriumsreaktor kan skaleres opp 10- 100 ganger. Resultatene de kommer fram til vil kunne gi viktige tallverdier for simuleringsarbeid hvor denne type prosess studeres. [26] (Seljeskog, 2019)

Hovedproduktet fra reaktoren er syntesegass, og biprodukter vil være varianter av tjære- og sotkomponenter. Sammensetningen og mengde syntesegass som blir produsert er avhengig av biomassens komposisjon, reaktorkonfigurasjon og driftsbetingelser. Produsert syntesegass foredles normalt videre via forskjellige katalytiske prosesser for produksjon av etanol, metanol, samt Fischer Tropsch relaterte produkter. [26] (Seljeskog, 2019)

Resultater fra denne reaktoren og flere varianter gassifiseringsreaktorer er et veldig viktig bidrag inn mot det grønne skiftet, som er en klima- og miljøvennlig omstilling, hvor deler av dagens fossile energiforbruk skal dekket gjennom økt bruk av biomasse. [26] (Seljeskog, 2019).

2.1.3 Pyrolyse

Pyrolyse, også kjent som tørrdestillasjon er en termisk nedbrytningsprosess. [27] (Kollberg, 2017). Sammenlignet med gassifisering, varmer også pyrolyse opp biomasse under høye temperaturer, foruten oksygentilførsel. [28] (Sirevåg, 2019). Pyrolyseprosessen brukes til å utvinne en eller flere av tre produkter: syntesegass, bioolje og biokull som alle kommer fra termokjemisk dekomposisjon av lignocellulose (tørr plantemasse), enten helt uten eller med veldig begrenset oksygentilførsel. Begrensningen av oksygen fører til en inert atmosfære eller en kjemisk inaktiv atmosfære. Noe som trigger spesifikke reaksjoner mellom ønskede reaktanter. [27] (Kollberg, 2017). Bioolje kommer fra de brennbare gassene som blir kondensert, biokull er det solide materiale som oppstår under prosessen og syntesegass er de permanente gassene som gjenstår når prosessen er ferdig. Teori og bruksområder av disse produktene kan leses mer om i 3.5, 3.6

En pyrolysereaktor har trinnvise prosesser som listet nedenfor:

- Fukt fordampning, forbehandling

I første prosess av pyrolysen kommer forbehandling hvor fuktigheten i råstoffet senkes til en gitt og ønskelig prosentandel, form og størrelse på biomassen blir nedreduert. Dette er nødvendig for å starte karboniseringsprosessen. Fuktighetsnivå under 10% og størrelser på mindre enn 2 millimeter er ideelt. [29] (bioenergyKDFChannel, 2012) Avhengig av type råstoff og originalt fuktighetsinnhold, kan dette ta alt fra noen få sekunder til ett dusin. Denne tidseffektiviteten skyldes den høye temperaturen i toppen av reaktoren.

- Avgassing

Her forekommer avgassing av massen i temperaturnivåer fra 370 – 400 °C. Disse temperaturnivåene er ideelle for fjerning av flyktige stoffer. Kjemiske gasser som nitrogen, karbonmonoksid, karbondioksid og hydrogen. Gassene deltar i forskjellige pyrolytiske og

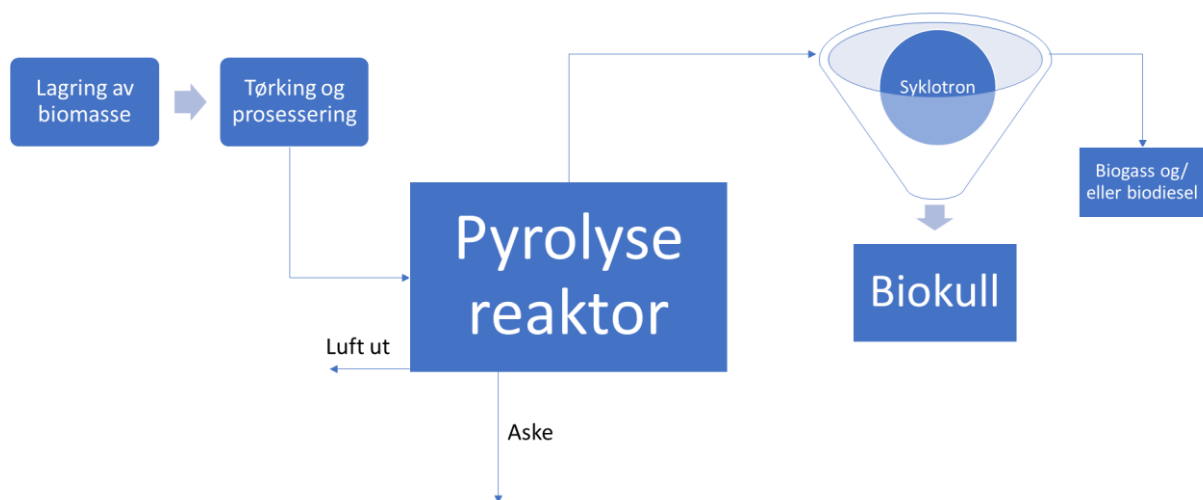
gassformige reaksjoner De er brennbare og omtrent 40% av energiutbyttet til ressursene blir hentet her.

- Karboniseringsprosess

Her kommer tørket og degassifisert biomasse og blir behandlet med høy temperatur og dette fører til en rask konsentrasjon av karbon og nedbrytning av fiberstrukturene. avhengig av temperatur og tid brukt i karboniseringsprosessen kan det klare materiale ha en kalorofik verdi på 21 til 29 Mega joule per kilogram.

- Nedkjøling

Her i siste etappe blir det ferdige produktet nedkjølt til omgivelsestemperatur ved hjelp av en cross flow water cooler.



Figur 15: Forenklet pyrolyseskjema

Når pyrolysen inntreffer og prosessen starter vil en rekke komplekse reaksjoner oppstå. De molekylære bindingene i biomassen brytes ned og får strukturer som er mer anvendelig i sluttproduktet, som kan brukes til forskjellige formål som drivstoff til motorer, energiproduksjon, oppvarming eller som komponent i en rekke kjemiske stoffer. Noen av reaksjonene under prosessen er navngitt ved dehydrering og dekarbosylering, da dannes CO₂ og H₂O. Andre begreper de to reaksjonen er henholdsvis cracking og repolymesering. Under disse prosessene blir den nylig omformede molekylære bindingen mer og mer kompleks avhengig av tid og temperatur. [27] (Kollberg, 2017).

Tabell 3: Temperaturer ved pyrolyse

Type	Betingelser	Kull	Væske	Gass
Langsom pyrolyse (Karbonisering)	Lav temperatur; ca. 350- 500°C, oppholdstid på flere minutter til få timer	45	35	20
Intermediær pyrolyse	Moderat temperatur; ca. 500- 600°C, oppholdstid: 10- 20 sekunder	20	50	30
Rask pyrolyse	Moderat temperatur; 500- 700°C, kort oppholdstid: 1-2 sekunder	10	75	15

Gassifisering	Høy temperatur; over 800°C, lang oppholdstid	10	5	85
---------------	--	----	---	----

I tabell 5 ser man at kull-, væske-, og gassutbytte avhenger av oppholdstid i reaktor og temperaturnivå. Lavere temperaturer gir høyere utbytte av kull, i kontrast til relativ høy temperatur som fører til cracking og gassifisering. [27] (Kollberg, 2017).

Torrefisering

Torrefisering er en mild pyrolyseprosess anvendt som en forbehandling av biomassen. Denne behandlingen gir økt energitetthet, øker brennverdien og resulterer i mindre partikkelstørrelser, samt at massen blir mer hydrofobisk, som vil si et stoff mer rustet for vannavstøting.

Det kan være utfordrende å bryte ned lignocellulose og tørr biomasse. Dette kommer av den kompakte fiberstrukturen i cellulose, hemicellulose og lignin, som gjør det vanskelig for enzymer å arbeide seg inn i stoffet. For å gjøre biomassen mer mottagelig for dekomposisjon benyttes en forbehandling av massene, dette kan være mekanisk, kjemisk eller fysisk. Et eksempel på en slik forbehandling er dampekspløsjon eller termisk hydrolyse, hvor massen blir eksponert for høyt trykk og temperaturer mellom 180 - 230°C. [27] (Kollberg, 2017).

Effekten av denne forbehandlingen gjør at fiberstrukturene rives fra hverandre. Deretter vil enzymer kunne trenge seg inn og bryte ned karbohydratene, som igjen blir brutt ned til forskjellige fermenterbare sukkerarter.

3. Ressursen biomasse

3.1 Definisjon

Biomasse er organisk materiale fra levende eller nylig levende organismer. [30] (Hva er bioenergi, 2019) Denne biologiske massen inneholder lagret energi som den høster fra solen. Planter og trær absorberer solenergi i en prosess viden kjent som fotosyntesen. Når biomassen gjennomgår forbrenning, eller noen av de andre prosessene tidligere diskutert frigis den kjemiske energien i trevirket. Dette resulterer i bioenergi.

Før planter og annen biomasse ender opp som sluttprodukter som varme, strøm eller bioetanol. Er det viktig å benytte ressursene på best mulig måte. Dette praktiseres ved å benytte biomassen mest mulig i flere ledd, verdiskapning som dette er med på å gjøre bioenergi enda mer bærekraftig og til en grønnere energikilde. Eksempelvis er det vanlig å bruke treverk som materiale i møbler før dette gjenvinnes for bruk som biobrensel.

Biomasse er klassifisert fornybart, dette medfører riktighet siden biomassen resulterer i like mye CO₂ utslipp ved forbrenning som ved naturlig råte. Dette regnskapet blir utredet senere under miljøaspekter.

I all realitet vil ingenting være 100% fornybart om alle ledd i energiutvinningen blir tatt i betraktning. Tilegning av ønsket biomasse, transport og små detaljer ved energiskaping vil

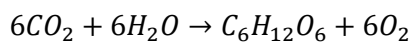
aldri være helt CO₂- nøytralt. Men det å prioritere biomasse og bioenergi fremfor andre ikke-fornybare energikilder er helt klart gunstig og en vinning for miljøet.

3.1.1 Fotosyntesen

Fotosyntesen er en kjemisk prosess som finner sted hos alle grønne planter på jorden. Der energien ifra sola brukes til å omdanne karbondioksid og vann om til sukker og oksygen.

Planter henter vann via røttene og CO₂ ifra luften via små åpninger på bladene. Oksygen blir deres avfallsstoff som de kvitter seg med mens sukkeret som dannes blir en del av plantene som videre blir brukt til å danne cellulose og andre karbohydrater som plantene består av. [31] (*Hva er egentlig fotosyntesen*, 2019)

Formel 3: Reaksjonslikning fotosyntesen



3.2 Brenselsegenskaper

Brenselsegenskapene til biobrensel varierer med de forskjellige tresortene som blir brukt og hvilken tilstand de anvendes i. Det følger nå en utdypende forklaring med faktorene som bestemmer energiutfallet til de forskjellige biobrenslene.

ressursene omtalt her er trebrenslar, dvs. biobrenslar, med utspring i skogen. Disse består av tre og bark.

[32] (Svanæs. JS, 2002). referanse benyttet gjennomgående fra brenselsegenskaper 3.2 til sortiment 3.4.8.

3.2.1 Fysiske egenskaper

Når treteknisk skriver om fysiske egenskaper, dekker de fuktighet, fastmasseandel og densitet. Disse tre sammen resulterer i hvilken brennverdi brenselet vil ha. Også brennverdi kategoriseres forskjellig med øvre- nedre- og effektiv brennverdi.

Egenskapene til treverket vil ha innvirkning på behandling, transport og type energiutvinning benyttet.

- Fuktighet
- Fastmasseandel
- Densitet

3.2.2 Fuktighet

Vann og fuktighet er en realitet i alt trevirke siden det er biologiske produkter, så lenge vannet ikke blir fjernet ved kunstig tørking.

kondensering av vann og opptak av vann i treverk avhenger av temperatur og relativ fuktighet. Vanninnholdet vil altså variere med hvilken behandling, hvor i behandlingsløpet og lagringen av treverket.

Innholdet av fuktighet vil nedsette netto energimengde vi kan tvinge ut av brenselet fordi en

del av energiinnholdet går med til å fordampe vannet.

Fuktighet i et materiale angis som:

Formel 4: Vekten av vann i forhold til totalvekt.

Kilde (Norsk treteknisk, 2002)

$$F_r = \frac{m_{r\ddot{a}} - m_0}{m_{r\ddot{a}}}$$

Formel 5: Vekten av vann i forhold til tørrvekt

Kilde (Norsk treteknisk, 2002)

$$F_0 = \frac{m_{r\ddot{a}} - m_0}{m_0}$$

$m_{r\ddot{a}}$: Råvekt, vekten i rå tilstand (kg)

m_0 : Tørrvekt, vekten i absolutt tørr tilstand (kg)

Størrelsene er angitt i andeler. For prosentandel må resultatet multipliseres med 100

Det finnes to måter å oppgi fuktighet på, ut ifra formlene ovenfor. F_r er hensiktsmessig å bruke i energiberegninger i diverse energianlegg. F_0 benyttes derimot i sag- og skogsbrukindustrien for å oppgi andel vannmengde i det aktuelle treverket.

Sammenhengen mellom de to beskrives matematisk slik når de fortsatt er angitt i andeler:

Formel 6: Sammenhengen mellom F_0 og F_r

Kilde (Norsk treteknisk, 2002)

$$F_0 = \frac{F_r}{1 - F_r} \text{ og } F_r = \frac{F_0}{1 + F_0}$$

Fuktigheten for de forskjellige treverkene måles med størst nøyaktighet ved hjelp av tørkeveiemetoden. I praksis fungerer den slik at man veier en prøve ved den originale fuktigheten. Så plasseres prøven inn i et tørkeskap med en temperatur på 103 ± 2 °C, der den får ligge til vekten finner en stabil verdi. Dette tar erfaringsmessig mellom 12 og 48 timer for prøver opp til 150 g. Deretter måles prøven på ny, og differansen vil representere vannmengden kondensert fra utgangspunktet.

3.2.3 Fastmasseandel

Massen til trevirket oppgis kun i én verdi, Denne verdien kalles fastmasseandel. oppgis ved hjelp av netto- og løsvolum. Nettovolum av massen foruten luftvolum, løsvolum er biomassen stablet i en vedstabel eller haug inklusiv luftrommet mellom kubbene.

Formel 7: Fastmasseandel

Kilde (Norsk treteknisk, 2002)

$$F_M = \frac{V_{fast}}{V_{l\ddot{o}s}}$$

F_M : Fastmasseandel- forholdet mellom fastvolum og løsvolum (%)

V_{fast} : Fast volum, nettovolum av trevirket uten hulrom (m^3)

$V_{l\ddot{o}s}$: Løst volum, totalvolum av virkestabler eller hauger inklusivt hulrom (m^3)

En sikker måte å konkludere fastmasseandel på vil være å legge en prøve med kjent løsvolum i vann. Vannet som fester seg i trevirke vil da representere fastvolumet. Og siden alt treverk tar til seg fuktighet, vil feilmarginen øke etter hvor tørr en prøve er.

3.2.4 Densitet

Begrepet densitet eller tetthet måler hvor lett eller tungt et stoff er ved å dele massen på volumet. Trevirket endrer volum etter andeler fukt under fibermetningspunktet. Densiteten er derfor i stor grad også avhengig av fuktighetsinnholdet. Derfor må det oppgis hvilken fuktighet det opereres med.

Rådensitet er forholdet mellom råvekt og rått volum:

*Formel 8: Rådensitet
(Norsk treteknisk, 2002)*

$$\rho_r = \frac{m_{r\ddot{a}}}{V_{r\ddot{a}}} [Kg/m^3]$$

Rådensitet er tettheten til et trevirke rått. Det er ikke en konstant verdi, da vekten vil variere med trefuktigheten. Mens volumet holdes konstant over fibermetningspunktet. Så når rådensitet skal diskuteres, må trefuktigheten også angis.

Tørrdensitet er forholdet mellom tørrvekt og tørrvolum:

*Formel 9: Tørrdensitet
(Norsk treteknisk, 2002)*

$$\rho_0 = \frac{m_0}{V_0} [Kg/m^3]$$

Basisdensitet er forholdet mellom tørrvekt og råttvolum. Densiteten trevirket har helt blottet for fuktighet.

*Formel 10: Basisdensitet
(Norsk treteknisk, 2002)*

$$\rho_m = \frac{m_0}{V_{r\ddot{a}}} [Kg/m^3]$$

Basisdensiteten blir brukt til omregning mellom vekt og volum. Densitet ved gjeldende trefuktighet

Noen ganger blir densiteten ved en bestemt fuktighet benyttet. Der både volum og vekt blir målt med bestemte verdier for fuktighet. Da blir tettheten beskrevet ut ifra følgende formel

*Formel 11: Densitet ved bestemt fuktighet
(Norsk treteknisk, 2002)*

$$\rho_u = \frac{m_u}{V_u} [Kg/m^3]$$

Når densiteten ved en spesifikk fuktighet omtales må fuktigheten angis, ofte ved å benytte for eksempel ρ_{15} for densitet ved 15% fuktighet.

Bulkdensitet er forholdet mellom rå- vekt og løsvolum. Dette er densiteten tatt ved rått trevirke.

Formel 12: Bulkdensitet
(Norsk treteknisk, 2002)

$$\rho_{bulk} = \frac{m}{v_{l\ddot{o}s}} \left[\frac{Kg}{m^3} \text{ l\ddot{o}s} \right]$$

$\rho_{r\ddot{a}bulk}$ densitet benyttes veldig ofte til energiberegninger. Det er fordi denne angir forholdet mellom rå vekt og rått løsvolum. Angis ved hjelp av fastmasseandel (FM), basisdensitet ρ_m og fuktighet (Fr) Fastmasseandel og fuktighet settes inn som andeler i formel nedenfor.

Formel 13: Råbulkdensitet
(Norsk treteknisk, 2002)

$$\rho_{r\ddot{a}bulk} = \frac{FM \times \rho_m}{1 - Fr} \left[\frac{Kg}{m^3} \text{ l\ddot{o}s} \right]$$

Densitet har forskjellige verdier ikke kun mellom de ulike treslagene, men også innen samme treslag og samme faktiske tre. Densitet er generell, vil minke fra roten og opp mot tretoppen, den øker med avstand fra marginen. Densiteten varierer også med alder, proveniens, andel sommerved og voksested.

3.3 Brennverdi

Brennverdi er et uttrykk for frigitt energimengde under fullstendig forbrenning av biomasse. Denne verdien kan bli oppgitt med forskjellige kjente måleenheter som KWh, MJ og kcal. Der KWh blir mest brukt siden energien da enkelt kan sammenlignes med elektrisitet.

Brennverdi deles inn i tre forskjellige, øvre, nedre og effektiv brennverdi, som kan uttrykkes enten pr. vekt eller volumenhet.

Tabell 4: Brennverdi for ulike treslag

Trevirke	Basisdensitet kg/fm ³	Nedre brennverdi kWh/fm ³	Effektiv brennverdi 20% fuktighet (tørt virke) kWh/fm ³	Effektiv brennverdi 50% fuktighet (ferskt virke) kWh/fm ³
Bøk	570	3032	2930	2640
Eik	550	2926	2830	2540
Ask	550	2926	2830	2540
Lønn	530	2820	2730	2450
Rogn	520	2766	2670	2400
Bjørk	500	2660	2570	2310
Furu	440	2341	2260	2030
Svartor	440	2341	2260	2030
Selje	430	2288	2210	1990

Osp	380	2022	1950	1760
Gran	380	2022	1950	1760
Gråor	360	1910	1850	1660

(Norsk Treteknisk Institutt, 2002)

Tabell 5 viser til forskjellige brennverdier for vanlige norske tresorter. Der kWh/m³ er energien per faste kubikkmeter.

3.3.1 Øvre brennverdi

Når absolutt tørt trevirke forbrennes dannes det vanndamp, dette kommer fra teets kjemiske innhold av oksygen og hydrogen. Brennverdien av absolutt tørt brensel foruten det fradraget av fordampningsvarmen, kalles øvre brennverdi (H_{ϕ}).

Bombekalorimeter benyttes ofte når øvre brennverdi skal måles. Men dersom den kjemiske sammensetningen også kalt elementærsammensetningen er kjent for brenselet, altså innhold av karbon, hydrogen, nitrogen, svovel, oksygen og aske kan den øvre brennverdien i kWh/Kg regnes frem til med ganske god nøyaktighet. Om man benytter den empiriske formelen under.

Formel 14: Øvre brennverdi
(Norsk treteknisk, 2002)

$$H_{\phi} = 9,697 \times X_C + 32,731 \times X_H + 2,792 \times X_S - 0,419 \times X_N - 2,872 \times X_O - 0,586 \times X_{ASKE} \text{ [kWh/kg]}$$

Hvor de forskjellige X begrepene er massfraksjon (vekt%) av:

- X_C : karbon (C)
- X_H : hydrogen (H)
- X_N : nitrogen (N)
- X_S : svovel (S)
- X_O : oksygen (O)
- X_{ASKE} : aske

3.3.2 Nedre brennverdi

For å finne frem til nedre brennverdi (H_n) må øvre brennverdi (H_{ϕ}) allerede være kjent, da nedre brennverdi er øvre brennverdi med fradrag for fordampningsvarmen til vanndampen som kondenserer under forbrenning. Nedre brennverdi tar bare bundet vann i trevirket til betraktning Sammenhengen mellom H_{ϕ} og H_n er beskrevet i formelen under:

Formel 15: Nedre brennverdi
(Norsk treteknisk, 2002)

$$H_n = H_{\phi} - r \times 0,52$$

Der 0,52 er mengde vann kjemisk bundet i trevirket (kan variere mellom 0,45- og 0,52)

Nedre brennverdi (H_n) av noen vanlige norske treslag finnes vedlagt i tabell 1 og 2 under vedlegg. Kan være greit å merke at for bartre benyttes en nedre brennverdi på 5,11 kWh/kg for bark og 5,32 kWh/kg for ved.

3.3.3 Effektiv brennverdi

Om nedre brennverdi (H_n) blir redusert med fordampningsvarmen til det vannet som brenselet inneholder, vil vi ende opp med effektiv brennverdi (H_e). Denne verdien blir brukt når man vil vite hvor mye energi du i virkeligheten får ut av et brensel.

Formel for effektiv brennverdi for tørt og rått virke er:

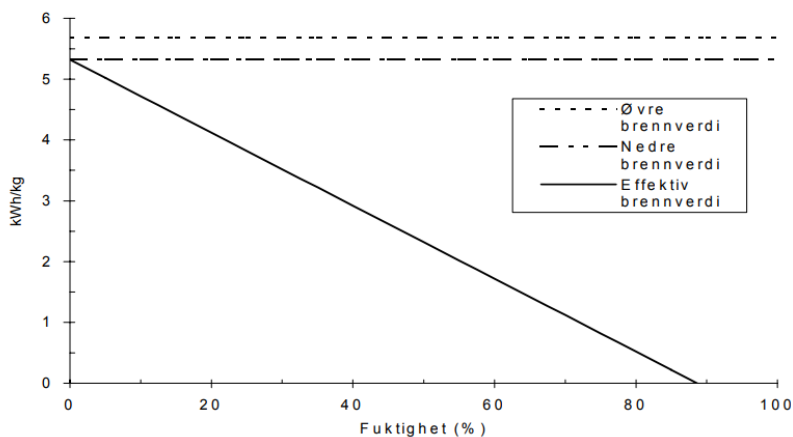
Formel 16: Effektiv brennverdi, tørt virke
(Norsk treteknisk, 2002)

$$H_e = H_n - (H_n + r) \times F_r [\text{kWh/kg}]$$

Formel 17: Effektiv brennverdi, rått virke
(Norsk treteknisk, 2002)

$$H_e = H_n - r \left(\frac{F_r}{1 - F_r} \right) [\text{kWh/kg}]$$

Sammenhengen mellom H_\emptyset , H_n , H_e og fuktighet er illustrert i figuren under.



Figur 16: Sammenhengen mellom fuktighet og øvre- nedre- og effektiv brennverdi. Brennverdi for bartreved angitt per kg råvekt.

(Norsk treteknisk, 2002)

3.4 Sortimenten av skurtømmer

Skurlast utgjør ca. 50% av alt sagtømmer, og er det produktet mest ønskelig. Resterende omtalt videre er biprodukter av skurtømmer, som er delt inn i: Skurtømmer

- Bark
- Kutterflis/ kutterspon (fra høvleri)
- Rå reduserer-/ hoggerflis
- Rotredusererflis
- Tørr hoggerflis
- Kapp
- Sagflis (rå og tørr)

I de vedlagte tabellene gjennomgående i delkapittelet sortimenter hentet ifra norsk tretekniske ligger egenskaper for alle de forskjellige sortimentene listet ovenfor.

Furu og gran er de tresortene benyttet når verdier for de forskjellige sortimentene blir oppgitt. Disse er også merket i tabellene med (fu) og (gr) henholdsvis. Verdiene oppgis som middelverdi, eller erfaringsmessige verdier. Erfaringsmessige er satt i parentes.

3.4.1 Bark

Bark er det ytterste laget på alt treverk og vedplanter. Dette laget blir fjernet i danningen av sagtømmer, i remser, større eller mindre barkpartikler. Dette varierer med treslaget og tid på året. Deretter blir den revet opp til mindre biter slik at den lettere kan håndteres.

I et sagbruk vil andelen produsert bark ligge på mellom 8 og 10% av tømmervolumet. Treindustrien er flittige til å gjenbruke denne barken til egen varmeproduksjon, men mindre deler går jordbruk. Der det brukes som toppbark.

Tabell 5: Egenskaper Bark

	Fuktighet (F _r) [%]	Fastmasse (FM) [%]	Basisdensitet (ρ _m) [kg/m ³]	Nedre br. Verdi (H _n) [kWh/kg]	Aske [%]
Bartre Bark Fersk	57(50-60)	35(31-37)	300-400	5,20- 5,51	
Bartre bark Lagret	53(50-60)	48(45-52)			
Bartre bark komprimert	55(50-60)	70(55-75)			
Bark furu			300(275-325)	5,11-5,76	2,9
Bark gran			350(300-425)	4,95-5,51	2,9
Bark + never Bjørk	50(35-65)		500(475-525)	5,71-6,20	2,8

(Norsk Treteknisk Institutt, 2002)

Tabellen ovenfor tar for seg bartre i tre forskjellige tilstander, furu, gran og bjørkenever som betegner ytterste delen av barken på bjørketrær. Fuktigheten på bartrær varierer veldig av sesong. I gjennomgående tester har fuktigheten variert fra rundt 50% i mai til over 60% i oktober. Men mye vann i sommermånedene kan resultere i fuktighet oppe i 65% senere på året. Det kommer også tydelig frem at lagret bark har mindre fukt enn fersk bark, grunnet naturlig kondensering. Bjørkebark ser man varierer veldig i fuktighet, grunnet barkens natur og forskjeller mellom inner- og ytterbark. Bjørkens ytterbark har vanligvis en fuktighet på 15-20% mens innerbarkens fuktighet ligger på omkring 50%

3.4.2 Rotredusererflis

Rotredusererflis oppstår når all roten ved tømmerstokkene dreies og rives av før prosessering av tømmer. Til prosessen brukes det forskjellige rotreduserere, avhengig av type stokk skilles rot enten før eller etter de har blitt klarert for bark. Selv om denne type flis i enkelte tilfeller oppfyller kravene som celluloseflis må stå inne for når det kommer til flisgeometri. Har strengere krav i senere tid gjort at rotredusererflis nesten utelukkende blir brukt som brensel.

Produsert rotredusererflis består mellom 1- og 2% av stokkvolumet uten bark i et sagbruk, avhengig om stokken rotreduseres før den bakes eller etter.

Tabell 6: Egenskaper rotredusererflis

Fuktighet (F _r) [%]	Fastmasse (FM) [%]	Basisdensitet (ρ _m) [kg/m ³]	Nedre br. Verdi (H _n) [kWh/kg]	Aske [%]
55(50-60)	34	455(400-510)fu 425(400-450)gr	5,30- 5,45 fu 5,15- 5,29 gr	0,5- 0,7

(Norsk Treteknisk Institutt, 2002)

Rotenden på stammen antas å ha høyere basisdensitet og brennverdi på flisen enn flisen som kommet fra høyere hold oppe i treet.

3.4.3 Rå reduserer-/hoggerflis

Rå redusererflis også kalt hoggerflis, som i praksis er celluloseflis og industriflis. Disse flispartiklene har lengde på mellom 20- 29mm og en tykkelse på 2- 6mm. Bredden kan variere stort fra noen små millimeter til mellom 20- og 40mm. Denne flisen produseres ved at stokkens sider hugges til flis i store reduserermaskiner. Store deler av denne celluloseflisen blir solgt til masseindustrien, og blir kun i unntaket brukt som brensel. Produsert mengde rå industriflis er som regel mellom 34- 38% av stokkvolum uten bark i et sagbruk.

Tabell 7: Egenskaper for rå reduserer- og hoggerflis

	Fuktighet (F _r) [%]	Fastmasse (FM) [%]	Basisdensitet (ρ _m) [kg/m ³]	Nedre br. Verdi (H _n) [kWh/kg]	Aske [%]
Hogget	54 (51-59)	37 (35-41)	430 (375- 510) fu	5,19- 5,36 fu	0,4- 0,5
Redusert		34 (32-36)	400 (375- 450) gr	4,99- 5,36 gr	

(Norsk Treteknisk Institutt, 2002)

I tabell 8 er kun egenskapene til barte sitert. Reduserer-/ hoggerflis innehar mest fuktighet i månedene januar/ februar og tørrest i september/ oktober.

3.4.4 Tørr hoggerflis

Tørr hogger flis omtales ofte som den tørre celluloseflisen eller tørr flis. Dette er et bi-produkt av avkapp som fjernes med huggermaskiner. Andelen tørr hoggerflis ligger som regel mellom 4- 7% av trelastvolumet som skal sorteres i et tradisjonelt sagbruk. Historisk gikk størst mengde tørr hoggerflis til masseindustrien, men de nye celluloseflis kravene har gjort slik at en større andel av flisa går til sponplateindustrien. Samt en liten del til forbrenning.

Tabell 8: Egenskaper for tørr hoggerflis

Fuktighet (F _r) [%]	Fastmasse (FM) [%]	Basisdensitet (ρ _m) [kg/m ³]	Nedre br. Verdi (H _n) [kWh/kg]	Aske [%]
23 (15-21)	35(35-41) Hogget	430 (375- 510) fu 400 (375- 450) gr	5,19- 5,36 fu 4,99- 5, 28 gr	0,4- 0,5

(Norsk Treteknisk Institutt, 2002)

Fastmasseandel for denne flisa ligger erfaringsmessig på ca. 2% under Fastmasseandel for rå redusererflis.

3.4.5 Sagflis

Sagflis dannes ved sagingen av tømmer. Dette produktet benyttes som tørr hoggerflis for det meste til sponplateproduksjon, men en del går likevel til energiproduksjon og strø til dyrevirksomhet. Denne sagflisen utgjør mellom 7- og 10% av den totale tømmermengden uten bark. I motsetning til den tørre sagflisen, som oppstår ved kapping av tørr skurlast. Utgjør denne kun brøkdeler av en prosent. En tørrere sort, opp mot 1% dannes i høvleri i forbindelse med plankkløyving.

Tabell 9: Egenskaper sagflis

	Fuktighet (F _r) [%]	Fastmasse (FM) [%]	Basisdensitet (ρ _m) [kg/m ³]	Nedre br. Verdi (H _n) [kWh/kg]	Aske [%]
Rå	57 (35-64)	33 (31-34)	430 (375- 510) fu	5,19- 5,36 fu	0,3- 0,6
Tørr	12 (10-40)	33 (32-38)	400 (375- 450) gr	4,99- 5,28 gr	

(Norsk Treteknisk Institutt, 2002)

Målingene ovenfor gjelder for blandet sagflis som stammer fra bartre. Målingene angir en midlere fuktighet (fr) for rå sagflis, 53,4% for furu og 50,4% for gran.

3.4.6 Kutterflis

Kutterflisen kommer fra høvling av saget tømmer. Sagbruk høvler ofte store deler av sin skurlastproduksjon og produserer dermed kutterflis på lik linje med høvlerier som kun har denne ene funksjonen. Kutterflis blir også benyttet masse i sponplateindustrien, men noe går også til strø og brensel. På et høvleri vil kutterflisen utgjøre 15% av råstoffbruket. Og om skurlastproduksjonen skulle høvle hele sitt virke, ville kutterflisen vært ca. 7% av den totale tømmermengden under barken.

Tabell 10: Egenskaper kutterflis

Fuktighet (F _r) [%]	Fastmasse (FM) [%]	Basisdensitet (ρ _m) [kg/m ³]	Nedre br. Verdi (H _n) [kWh/kg]	Aske [%]
15 (10-40)	20 (18-25)	430 (375- 510) fu 400 (375- 450) gr	5,19- 5,36 fu 4,99- 5, 28 gr	0,4- 0,5

(Norsk Treteknisk Institutt, 2002) Basisdensiteten til kutterspon tilsvarer den av sagflis, men vil også variere med fordelingen mellom gran og furu i sponet.

3.4.7 Avkapp

Avkapp er produktene man får etter justerkapping og endekapp av stammer. Om lag halvparten avkapp blir omdannet til celluloseflis mens det resterende blir benyttet til energiproduksjon gjennom forbrenning. Avkapp utgjør 3- 4% av tømmermengden under barken.

Egenskaper for oppfliset avkapp vil gå under tabell 8 og 9 tørr- og rå huggerflis.

3.4.8 Gjenvinningsvirke

Gjenvinningsvirke vil være den mest tilbøyelige biomassen da det er trevirke som tidligere har blitt anvendt til andre formål før det blir benyttet som brensel. Til dette sortimentet hører eksempelvis rivningsvirke, emballasje, formvirke og rester fra nybygg eller ombygging.

Året 1997 ble det gjort et estimat på bygg- og anleggsnæringen i Norge, og det ble konkludert at næringen kunne stå inne for 230 000 tonn trevirke i året. Dette tilsvarer omtrent 20% av det totale treavfallet som ble frembrakt dette året, inkludert biprodukter fra tre- og masseindustrien.

I følge «Nasjonal handlingsplan for bygg og anleggsavfall» bør 70% av det trevirket som skapes som avfall i byggenæringen innen 2005, energiutnyttes. Dette er etter europeiske målsettinger.

Ut ifra samme handlingsplan nå fra 2017- 2020, den fjerde utgaven. Ble dette sitatet hentet: Norsk byggenæring har allerede nådd gjeldende norske mål for gjenvinning; dvs. over 80 % material- og energigjenvinning, men vil arbeide mot å nå EUs materialgjenvinningsmål. [33] (Byggemiljø, *Handlingsplan 2017-2020*.)

Avfall som kommer fra bygg- og anleggsnæringen vil bestå av både rent og behandlet trevirke, hvor det som er rent kan benyttes direkte til energiproduksjon i biobrenselanlegg. Det treverket som allerede er behandlet (malt, limt, lakkert) skal kun brennes i godkjente forbrenningsanlegg, der det kan behandles først. Impregnert treverk skal sorteres ut og leveres til avfallsanlegg med opplysning om hva slags avfall det er.

Tabell 11: Egenskaper gjenvinningsvirke

Fuktighet (F _r) [%]	Fastmasse (FM) [%]	Basis bulk-densitet(ρ _m) [kg/m ³ løs]	Nedre br. Verdi (H _n) [kWh/kg]	Aske [%]
20 (20-50)	37 (35-41)	220*	Ca 4,9	1-20

(Norsk Treteknisk Institutt, 2002)

Tabell 12 viser til vanlige verdiger for gjenvinningsvirke, de høye variasjonene skyldes naturlig variasjon ved gjenvinningstreverk. Det gjøres også oppmerksom på at dette er basis bulk-densitet, og ikke basisdensitet.

Alle verdier er oppgitt for ferdig fliset gjenvinningsvirke. Fastmasseandelen antas derfor å være den samme som for hoggerflis. På grunn av forurensninger i form av sand m.m. kan askeinnholdet bli høyt sammenlignet med de andre sortimentene.

3.5 Øvrige biobrensler

3.5.1 Biokull, trekull og aktivt kull

Disse tre formene for karbon har veldig mye til felles når det kommer til komposisjon, produksjonsmetode og at alle stammer ifra organisk biomasse. Da alle tre fremstilles tilnærmet likt, men skilles ved bruksområder. Biokull, trekull og aktivt kull er alle karbonrike faste stoffer som fremstilles gjennom termisk oppvarming med begrenset oksygentilførsel (pyrolyse.) [34] (*Biochar vs. Charcoal vs. Activated Carbon: What They Are & How They Work*, 2018)



Figur 17: Biokull til jordbruk

Biokull

Biokull som er produsert med en temperatur på under 350°C kan ha forskjellige sammensetninger avhengig av hvilket opphavsmateriale som er benyttet. Om det er temperaturer over 350°C, er sluttproduktet mindre avhengig av biomassen benyttet i prosessen, og den høye temperaturen setter mer føringen for resultatet. Biokulls primære bruksområde er å lagre noe av karbonet fra biomassen i jordsmonnet. Det er også andre gevinster av biokull, dette diskuteres under miljøvinninger av biokull. [27] (Kollberg, 2017)



Figur 18: Trekull

Trekull

likt biokull på de aller fleste måter. Men har sin funksjon innen oppvarming, matlaging og kjent for sin rolle under grilling på kullgrill. [34] (*Biochar vs. Charcoal vs. Activated Carbon: What They Are & How They Work*, 2018)

Aktivt kull

Aktivt kull varierer litt mer når det kan stamme ifra andre karboninnholdige stoffer som kull og kulltjære, men igjen blir også aktivt kull fremstilt gjennom pyrolyse. Under fremstillingen blir også kullet «aktivert» under prosesser som sterkt øker produktets flate areal. Dette har sin hensikt når kullet skal fungere som et filter for å filtrere store summer molekyler som ikke er ønskelig.

Disse filtrene har derfor sin bruk som luftfilter eller overvannsfilter. [34] (*Biochar vs. Charcoal vs. Activated Carbon: What They Are & How They Work*, 2018)

Aktivt kull er et produkt relevant for pyrolyseprosessen og har et mulig marked for flere typer filter, dette er et av de virkelige spennende markedene for fremtidig bruk av biomasse.

3.5.2 Ved, pellets og briketter

Den vanligste formen for oppvarming ved hjelp av bioenergi, er fyring med ved.

Ved blir benyttet mest til privat bruk, oppvarming av bolig. [35] (Brænd, TJ & Hofstad, K, 2019)

Pellets og briketter er biomasse laget hovedsakelig av treflis. Pelletering blir gjennomført ved å samle opp biomasse, koke og komprimere det under høyt trykk foruten bindemidler. I forhold til ved anslås pellets å inneha et energiinnhold på tre ganger så mye [36] (VB, 2017)



Figur 16: Vedstabel

3.5.3 Torv

Torv er forskjellige plantematerialer som mose, gress og løv. Disse plantene omdannes under grunnvannsspeilet ved meget begrenset tilgang på luft og ved veldig lite mikrobiologisk virksomhet. Denne omdanningsprosessen er navngitt fortorving. Ved videre naturlig prosessering kan denne torven omdannes til brunkull. [37] (*torv*, 2019) [38] (*fortorving*, 2009)

Torv som brensel

Torv er forskjellige plantematerialer som mose, gress og løv. Disse plantene omdannes under grunnvannsspeilet ved meget begrenset tilgang på luft og ved veldig lite mikrobiologisk virksomhet. Denne omdanningsprosessen er navngitt fortorving. Ved videre naturlig prosessering kan denne torven omdannes til brunkull.

Brenntorv eller brunkull er en veldig sterk omdannelse av torv, mellom grad H7 og H10. Dette på en omdanningsskala for myr mellom 1 og 10. Årlig utvinnes brunkull i størrelsesorden 850 millioner tonn (tall for 2017). Brennverdi for brunkull anslås å være lik den av god bjørkeved. Verdens energiråd har anslått at brunkull gjør opp for rundt 20% av verdens samlede kullreserver. [39] (Fossen, H, 2020)

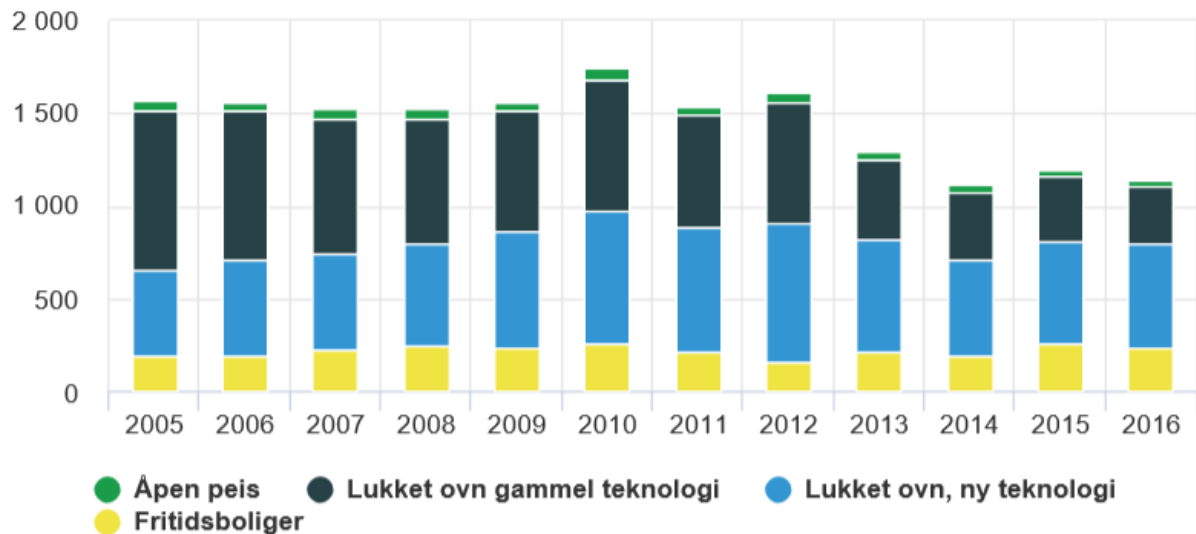
Torv som brensel er kjent helt fra sagatiden. Torv ble brukt til brensel i Norge til 1950-årene, da elektrisitetsutbyggingen kom for fullt, og oljefyring ble tatt i bruk. Under begge verdenskrigene var brenntorvproduksjonen viktig. De største brukerlandene av torv som energiressurs i dag er Russland, Finland, Hviterussland, Irland og USA. [37] (*torv*, 2019) [38] (*fortorving*, 2009)

3.6 tre eksempler på bruk av biomasse

Applikasjonene til biomasse er veldig mange. I dette delkapittelet skal forbrenning av biomasse privat, biodiesel av gassifisering og biokull av pyrolyse ses nærmere på. Systemet vil være definert til Norge for privat vedfyring, Norge med sammenligninger til Europa for biodiesel og Stockholm i Sverige for biokull av pyrolyse.

3.6.1 Vedfyring i private hjem.

Tabell 12: Mengde ved forbrent i husholdninger fordelt på åpen peis, lukket ovn, gammel teknologi, lukket ovn, ny teknologi og mengde ved forbrent i fritidsboliger



Kilde tabell 12: (SSB, 2018)

Figuren ovenfor illustrerer nedgangen av gammel peisteknologi i private hjem. Denne nedgangen i tonn konsumert biomasse skyldes bedre virkningsgrad i nyere ovner på markedet, 75- 80% kontra gamle på rundt 40%. Dette hever energimengden man får ut av veden man fyrer med. [40] (Varmefag, 2015) en økning i varmepumper er også være en faktor i nedgangen.

Tabell 13: GWh konsumert i Norge gjennom elektrisitet og vedfyring

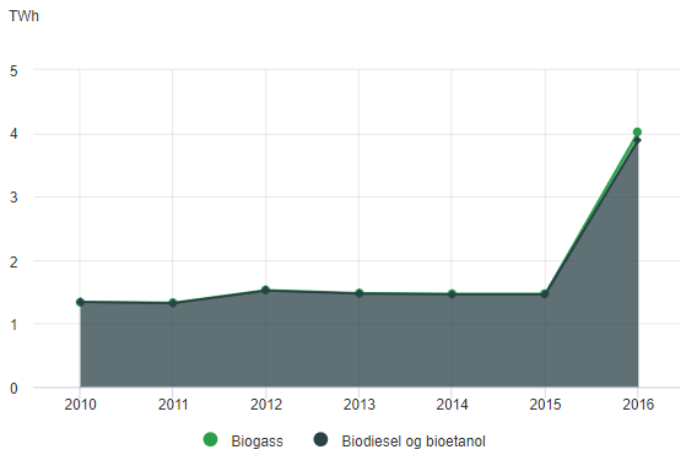
Elektrisitet (GWh)	Ved (GWh)
2018	2018
40 537*	5 637*

Kilde tabell 13. (SSB)

Vedfyring er etter elektrisitet den viktigste energikilden til oppvarming av husholdninger. Tabell 15 viser forbruket av elektrisitet og ved i husstander og fritidsboliger år 2018, i GWh. Ved blir som regel kun benyttet til oppvarming av rom i hus og hytter, mens elektrisitet dekker varme, belysning og drift av elektrisk utstyr. Så ved står likevel for en god andel oppvarming i hjemmet, når alt dette blir tatt til betraktning.

3.6.2 Biodrivstoff

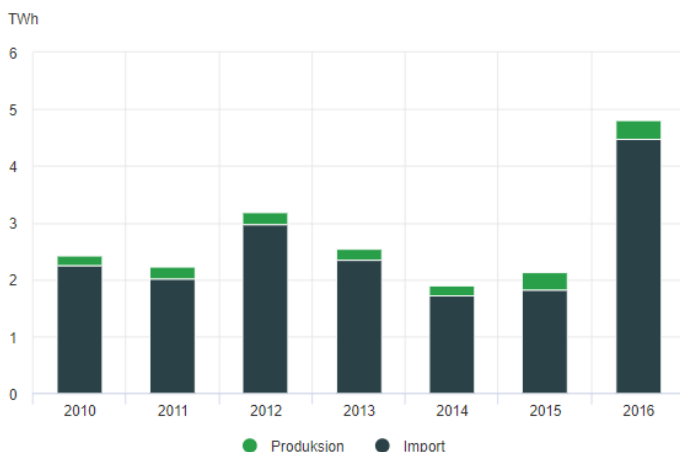
Forbruket av biodrivstoff som biodiesel og bioetanol hadde fra 2015 til 2016 mer enn fordoblet seg i Norge. Energistørrelsen lå på rundt 1,5TWh mellom 2010 og 2015, men gikk i 2016 opp til 3,9TWh. Dette tilsvarer en økning på 140%. I tillegg til biodiesel og bioetanol, brukes også litt biogass til transport. Dette er primært lokalbusser og renovasjonsbiler. Dette tilsvarte i 2016 0,125TWh. [41] (Nadiya Fedoryshyn, 2017).



Figur 17: Forbruk av flytende biobrensler og biogass til transport i Norge

Kilde fig 20. SSB

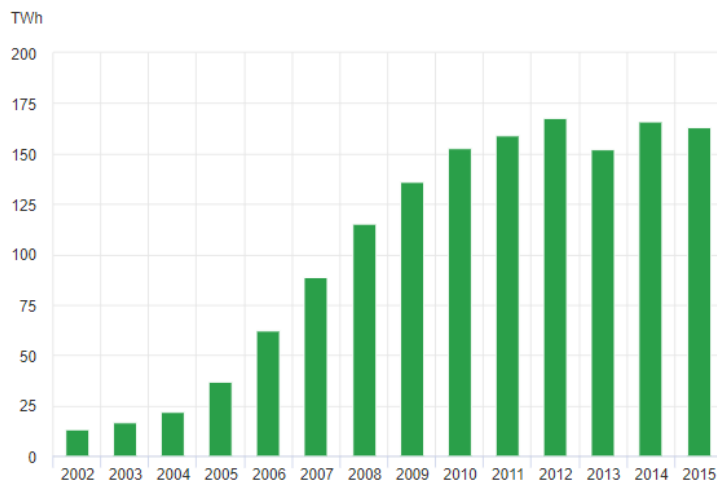
Her i Norge er det en veldig liten produksjon av biodrivstoff. På dette grunnlaget kan det fastslås at den største andelen biodrivstoff konsumert i Norge har sin opprinnelse fra import. I 2016 utgjorde produksjonen av lokal biogass 327GWh. Ved samme periode ble det kjøpt import for 4,5TWh biodiesel og bioetanol. Figur 20 illustrerer hoppet i anvendt biobrensler til transport i Norge ved år 2016, kontra tidligere år. [41] (Nadiya Fedoryshyn, 2017).



Figur 18: Produksjon og import av biodrivstoff i Norge

Kilde fig 21. SSB

Fra statistisk sentralbyrå har også bruken av biodrivstoff fra år 2002 til år 2015 i EU- 28 blitt kartlagt. Der EU- 28 er alle medlemslandene i den europeiske unionen bestående av: Belgia, Bulgaria, Danmark, Estland, Finland, Frankrike, Hellas, Irland, Italia, Kroatia, Kypros, Latvia, Litauen, Luxembourg, Malta, Nederland, Polen, Portugal, Romania, Slovakia, Slovenia, Spania, Storbritannia, Sverige, Tsjekkia, Tyskland, Ungarn, Østerrike. [41] (Nadiya Fedoryshyn, 2017).



Figur 19: Forbruk av flytende biogass og biobrensler til transport i EU28

Kilde fig 22. SSB

Ovenfor ved figur 22 er fordelingen av biobrensler året 2015 i EU-28. Fra året 2002 til 2012, var det en gradvis økning. Deretter gikk forbruket ned 6,8 prosent over 2013, og en nedgang på 1,4 prosent fra 2014 til 2015. Andelen flytende biobrensler brukt ble fordelt til 79% biodiesel, 20% bioetanol og resterende 1% biogass. Denne fordelingen skyldes dieselmotorens popularitet i Europa. [41] (Nadiya Fedoryshyn, 2017).

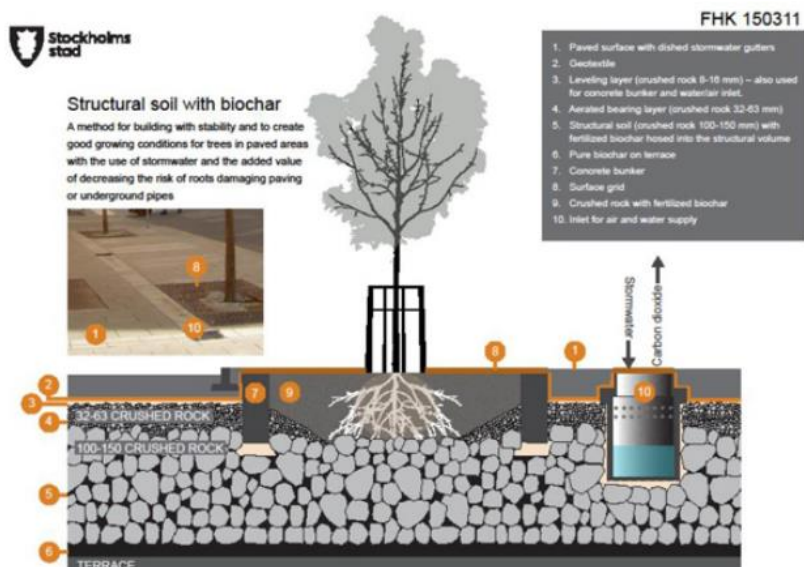
En økning av både produksjon og bruk av biodrivstoffer har mulige fordeler for både industriland og utviklingsland. Nye markeder for jordbruk kan komme, mindre avhengighet av fossile brensler, og en økning av lokale produkter og et sunnere miljø.

3.6.3 Biokull til urbantrær

Urbane trær har en rekke allerede velkjente hensikter og gevinster. De høster bedre mental helse for innbyggere, sparer energi og kjøler ned temperaturen på varme sommerdager. Men planting av natur i større byer kommer ikke foruten utfordringer. [42] (Bjorn Embrén, 2016)

Med disse utfordringene følger det ofte høy tre-dødelighet, og dyre vedlikeholdskostnader. I Sverige har det blitt foretatt en undersøkelse på urbane trær i deres hovedstad Stockholm. Dette over et tidsspenn på nesten ti år, der de har sett på jordstrukturen og foredlet prosessen med biokull.

Asfalterte veier bidrar til å gjøre levekårene for grønne vekster vanskelig, siden det limiterer tilgangen på vann og oksygen til røttene. Målet til Bjorn Embrén og hans team ansvarlig for gjennomføringen har vært å gjenskape et mer naturlig miljø for urbane trær. Naturens hydrologiske trasé og filtreringsmekanismer.



Figur 20: Urbane trær i Stockholm

Kilde fig 23. The Biochar journal

Som fremstilt på figuren ovenfor blir det benyttet en god del biokull. Det anbefales å bruke 2 250 liter biokull for hver urban tre plantet. Med å optimalisere blandingsforholdene med biokull for de beste resultatene, vil også det starte en positiv dominoeffekt med flere utgifter knyttet til vedlikehold, slik at det også kan kutte kostnader etter hvert. Blandingen bestående av knust stein og biokull resulterte også i en mye bedre porøsitet for formålet, med omtrent 40%. Dette gjør det lettere for stoffvekslinger, bedre permeabilitet og forbedre rotgjennomtrenging. Det ble også observert mindre støy i en rundkjøring lagt med biokull, grunnet det høyere porøsiteten som tok opp noe av lydbølgene. [42] (Bjorn Embrén, 2016)

4. Økonomiaspekter ved bioenergi

Økonomi inngår i det aller meste; økonomisk bærekraft må innfris om noe skal være relevant for diskusjon, produksjon eller markeder. Fortjeneste er også et begrep med tyngde for realiteten. Under økonomiaspekter skal tre forskjellige anvendelser av de tre teknologiene utredes.

4.1 Varmeenergi av ved

4.1.1 Eksempelutregning bjørkeved

En kubikkmeter med løs bjørkeved koster eksempelvis 1000kr. Effektiv brennverdi for denne typen ved er 20% fuktighet er oppgitt i tabell 6: $2570kWh/m^3$. Dette er kilowattimer per fastkubikkmeter. Tilnærmet 50% fastmasse (erfaringsbasert) [43] (Vågsøy kommune). slik at en fastkubikkmeter bjørkeved koster 2000kr.

I tillegg må en virkningsgrad for vedovn kartlegges. Settes i dette eksempelet til 80%

$$2570kWh/1fm^3 * 0,80(\%) = 2056kWh/1fm^3$$

2056kWh er kilowattimer/ 1 fastkubikkmeter med bjørkeved.

Prisen på 2000,- delt på effekten: $2000kr/2056kWh = 0,97kr/kWh$

Ganger vi det siste resultatet med 100, oppnår vi øre/kWh. $0,97kr/kWh * 100 = 97øre/kWh$

Dette er et eksempel på utregning av øre/kWh pris for en type ved i en bestemt størrelsesorden, med flere variabler satt. Resultatet vil variere med alle disse.

Sammenligninger mellom utregnet fyringspris og strømpris kan slås, da moderne panelovner innehar varmeelementer som konverterer den elektriske energien til varme med en virkningsgrad på 100%. [44] (Glenn Dimplex Nordic).

En panelovn på 1000W må stå på i 2056 timer for å oppnå samme varme som 1 fastkubikk med bjørkeved. $2056kWh/1000W = 2056 \text{ timer}$

Strømprisen er tredelt med: Nettleie, energiforbruk og forbruksavgift. Og er veldig variabel ved flere faktorer som årstid. Fra siste kvartal 2019 stilte statistisk sentralbyrå med disse strømprisene:

Tabell 14: Strømpris fjerde kvartal 2019

	4. kvartal 2019
	Øre/kWh
Husholdninger. Total pris for kraft, nettleie og avgifter	112,3
Kraftpris	46,8
Nettleie	28,9
Avgifter	36,6

Kilde tabell 12. SSB

Skal kraftpris alene sammenlignes med vedfyringsprisen. Faller den rett i underkant av halve prisen. Men har man ikke innlagt strøm, vil det være litt billigere å varme opp husholdningen selv.

Varmepumper kan imidlertid ha en virkningsgrad opp til 300% noe som senker oppvarmingsprisen med 3 ganger. Men der er investeringskostnaden til gjengjeld høy.

Dette gjør det klart at det er vanskelig å generalisere vedfyring med en bestemt pris. Den vil i realiteten variere med typen fyringsved brent, kvantitet kjøpt, fastmasse og pris. Men det gjør det klart at økonomisk sparing er ikke grunnlaget for å hverken ha vedovn eller å fyre i den. Det vil være andre faktorer som at det er visuelt tilfredsstillende å se levende flammer og kjenne den konsentrerte varmen mot kroppen. Det er også trygghet i å ha flere løsninger for oppvarming.

4.2 Biodiesel av gassifisering

SINTEF energi har teoretisert et gassifiserings- og Fischer Tropsch synteseanlegg på 450MW. Der drivstoffet inn i gassifiseringsreaktor er basert på rent trevirke. Da vil man kunne

produsere biodiesel for 24- 29 kr per liter, altså cirka dobbel pris av dagens fossile diesel. Videre har de tatt høyde for innblanding av slam de kan ta betalt for, noe som vil senke sluttprisene til mellom 18 og 20 kr. Om anlegget bygges inn i et eksisterende raffineri, slik at synteseproduktene kan tas inn som en delstrøm i raffineringprosessen, i tillegg til at 25% slam blandes inn. Kan literprisene gi avkastning på 19- 22 kr for syntesegassen og 19- 20 kr for slam. Da kan operasjonen regnes som lønnsom.

Beregningene SINTEF energi gjorde var med utgangspunkt i en avkastning på 10%, 25 års levetid på anlegget, en lånerente/ tid på 7 % per 10 år samt 7000- 8000 timer produksjonstid per år. [45] (Gonzalo D. A et al, 2017) [26] (Seljeskog, 2019).

4.3 Biokull av pyrolyse

Produksjonskostnadene for biokull bestemmes av ev en rekke faktorer, de tre viktigste faktorene er:

- 1.Hvilken biomasse blir brukt som råstoff?
- 2.Hvilken produksjonsteknologi blir brukt?
- 3.Hva er ønsket sluttprodukt

Midlertidig er det ingen som funnet en lønnsom måte å produsere biokull i Norge.

Opplandske bioenergi har planlagt å bygge et pyrolyseanlegg som skal ferdigstilles 2021, dette er det mer informasjon om i kapitel 6.2. en grunn til at biokull produksjon ikke er gunstig enda er fordi biokull ikke har pengeverdi i klimagevinsten den bringer. Dette fordi det er svakheter i de internasjonale systemene for klimakvoter.

For å vurdere om biokull er samfunnsøkonomisk lønnsomt må man se på hvor mye biokull kan bidra til å nå de definerte samfunnsmålene og dette på en kostnadseffektiv metode. Med tanke på 2-graders målet så har Norge forpliktet seg til store utslippskutt og Jordbrukssektoren er den fjerde største kilden til utslipp av klimagasser. Miljødirektoratet har ut

5. Miljø, bærekraft og fornybar energi tilknyttet bioenergi

«En bærekraftig utvikling er en utvikling som imøtekommer dagens behov uten å ødelegge mulighetene for at kommende generasjoner skal få tilfredsstillende sine behov». [46] (*Miljøvern*)

FNs verdenskommissjon for miljø og utviklings rapport Vår felles framtid (1987)

Miljøaspekter ved bioenergi er noe innviklet, og det følger med en masse faktorer inn i regnestykket. Bioenergi på lik linje med alle andre typer energiutvinning bærer med seg noen miljøkonsekvenser. Videre utover i dette segmentet, skal vi se på miljøet, bærekraft og om bioenergi er fornybar energi.

5.1. Karbonnøytralitet

Bioenergi er ulik de andre fornybare energikildene som sol, vind og vannkraft. Siden bruken av bioenergi resulterer i utslipp av klimagasser ved forbrenning og øvrig prosessering av biomasse. Dog grunnet biomassens natur og livsløp, kan man likevel regne bioenergi fornybart og som en karbon- nøytral energikilde. [47] (Energysage, 2019).

Ved forbrenning av biomasse, den mest anvendte metoden av bioenergi i dag. Uansett sluttprodukt, fører det med seg utslipp av karbondioksid. Dette er en uunngåelig naturlig

prosess vedrørende livsløpet til alt biologisk materiale. Forråtning av tre- og bioprodukter resulterer i samme klimagassutslipp. Det er plantelivet og skogens opprettholdelse som sikrer et klimanøytralt regnskap. Da alle trær og planter involvert i fotosyntesen tar til seg karbondioksid og lagrer det gjennom sin levetid. Dette gir de altså slipp på når de omsider dør eller brukt for energiskaping.

Om biomasse opprettholdes i verdens skoger samt ellers. Og ikke blir brukt som forbruksvare, men ansett slik det skal for bærekraft. Da vil karbonsyklusen forbli i balanse. I praksis vil pluss eller minusbidragene også variere med flere tilleggsfaktorer: hvordan biomassen blir innsamlet, forbrenningsprosessen, transport, hvor i livsløpet biomassen befinner seg og om bioenergien erstatter en annen energikilde.

Næringsdrivende kan forbrenne mer biologisk materie enn det i gjengjeld blir plantet på ny. Om dette blir en realitet, vil bioenergi på ingen måte være fornybart. Men heller enormt ødeleggende samt medførende fatale konsekvenser for alt liv på jorden. Det er et komplisert regnskap, med mange faktorer. Så forhåndsregler er viktige.

Biogass generering gjennom pyrolyse og/ eller gassifisering av dyregjødsel gjennom anaerob utråtning resulterer også i klimagassutslipp. Men denne prosessen resulterer ofte i netto negativ drivhuseffekt grunnet potensen til metan. Biogass er ofte laget av metan, som, om ikke benyttet som biogass har større negativ effekt på miljøet. [47] (Energysage, 2019).

5.3. Avskoging

Det finnes mange kraftverk som benytter seg i hovedsak av avfallstrevirke, matavfall eller dyremøkk som energikilde. Likevel bruker også en del skogtømmer som drivstoff for driften av kraftverkene sine. Om ikke klare retningslinjer for mengder skog tilgjengelig blir satt, vil avskoging være en trussel. [47] (Energysage, 2019).

5.4. Forurensning

Foruten karbondioksid kan forbrenning av biomasse i solid-, flytende- eller gassform også stå for annen type forurensning og utslipp. Dette inkluderer Karbonmonoksid, flyktige organiske forbindelser, og nitrogenoksider. I noen tilfeller kan forbrenning av biomasse føre til utslipp i større grad enn fossile brensler. I motsetning til CO₂ kan ikke disse typene forurensning tas opp i eksisterende og nye planter. Disse forbindelsene kan føre til en rekke miljøkonsekvenser og skade menneskenes helse, om ikke korrekt behersket. [47] (Energysage, 2019).

5.5. Vann

Planter er avhengig av vann for å vokse; Når næringslivet planter trær og andre avlinger for bruk i et kraftverk, blir det benyttet store mengder vann for irrigasjon. På en stor skala, forverrer dette tørkeforholdene, som går på bekostning av akvatiske vaner og mengden vann tilgjengelig for andre formål. [47] (Energysage, 2019).

5.6. Biomasse mer miljøvennlig

Bioenergi fremstilles på mange forskjellige måter, og vil derfor ha forskjellig produkt og miljøkonsekvenser. Noen bioenergi fremstillinger kan opprettholde bærekraft gjennom riktig skogforvaltning. Samt valg av riktig råvare som skal benyttes til brensel. Fremgangen i forskning på forskjellige teknikker, med politikken som føres kan sikre fremtiden til bioenergi. [47] (Energysage, 2019).

5.8. Miljøvinninger av biodiesel

Utslippet av CO₂ vil være betydelig lavere det av fossile brensler, og riktig regulert kan også biodrivstoff forbli klimanøytralt. Men det europeiske miljøbyrået påpekte imidlertid i sin rapport fra 2009. [48] (*Transport at an crossroads*, 2009) At større utslippsreduksjoner har ville blitt oppnådd om den samme biomassen brukt for å fremstille biodrivstoff, hadde blitt brukt til å fase ut kull i varme- og kraftsektoren.

Andre utfordringer ved biodrivstoff kan være konflikt med matproduksjonen. At den store produksjonen vil ha en negativ effekt på økosystemer og det biologiske mangfoldet, plutselig skal en type biologisk materie masseplantes fremfor det urørte. Akselerasjon i ødeleggelse av regnskogen kan forekomme om etterspørselen plutselig blir stor. Likevel er det ventet at noen av disse utfordringene vil minke når kommersiell produksjon av andre- og tredjegerasjons biodrivstoff øker. Dette er drivstoffer som fremstilles av stoffer ikke benyttet i matproduksjon.

For å motvirke disse negative konsekvensene av biodrivstoff har EU bestemt i sitt nye fornybardirektiv at forbruk overgående 7% førstegerasjons biodrivstoff (Fra avlinger og jordbruksarealer) skal klassifiseres som ikke fornybart energiforbruk fra 2017.

Den aller største andelen av dagens biodrivstoff er førstegerasjons biodrivstoff, dette innebærer at det er produsert med jordbruksvarer.

Andregenerasjons biodrivstoff, fremstilles av råvarer ikke egnet til matproduksjon. Denne generasjonen anses å være mer miljøvennlige med tanke på klimagassutslipp. Her kan råvarer være avfallsprodukter fra jord- og skogbruk.

Tredjegerasjons biodrivstoff omtaler biodrivstoff avledet fra alger. Også kjent ved «algodrivstoff,» denne produksjonen kan være gunstig for fremtiden. Siden den ikke konkurrerer om arealbruk med andre næringer som matproduksjonen. Om tredjegerasjons drivstoff kan utnyttes på en effektiv måte, ville dette vært et stort gjennombrudd. [36] (Nadiya Fedoryshyn, 2017).

5.8. Miljøvinninger av biokull

Globalt blir 55 milliarder tonn karbon bundet opp naturlig gjennom fotosyntesen. [27] (Kollberg, 2017). Produksjon av biokull gjennom pyrolyse kombinert med jordsmonnslagring av dette biproduktet er et klimatiltak som vil hjelpe enormt med å redusere CO₂ nivå utslippet. Om pyrolyse blir bredt utnyttet vil det i teorien kunne bidra til å redusere menneskeskapte klimautslipp med 1 800 millioner tonn CO₂ per år. Dette er en reduksjon på 12%. [27] (Kollberg, 2017)

Et eksempel er landbrukssektoren, om den norske landbrukssektoren begynner å utnytte biokullteknologi vil det være mulig å redusere klimagassutslippet med 40% før 2030. [27] (Kollberg, 2017) om 1 million m³ med jordbruksavfall og planterester sammen med 1 million m³ med skogavfall omdannes til biokull for og så pløye den ned i jorda kan man oppnå en langvarig binding på mer enn 2 Mt CO₂.

Egenskaper ved biokull

Karbonlagring av biokull i jordsmonnet har positive effekter på klima. Om biokull er gunstig for jordsmonnet er avhengig av biokullets kjemiske og fysiske oppbyggingen. I biokull er det aromatiske karbonforbindelser som gjør biokull egnet til karbonlagring i jord. Kulletts porer og overflatestruktur, helt ned til molekylært nivå er styrende faktorer når det kommer til egenskapene det innehar. Noen av disse egenskapene blir diskutert her:

Karbonets stabilitet medfører en effektiv sekvestrering av karbon mot nedbrytingen av mikroorganismer på en større skala. Ved høye pyrolysetemperaturer vil innholdet av karbon og aske øke, de amorfe karbonstrukturene blir omdannet til aromatiske ringstrukturer som er veldig stabile. Hydrogen til karbonforholdet vil avta ved høyere temperaturer. Nivåer mellom 250- 450°C vil gi størst økning av stabilt karbon innhold, opptil 90 prosent. [27] (Kollberg, 2017).

pH-verdier i biokull ligger på mellom svakt alkalisk til alkalisk. Ved høyere pyrolysetemperaturer vil pH-verdien øke. Det vil resultere i at det blir skilt ut mer av de alkaliske saltene i det organiske materialet. pH vil også være avhengig av egenskapene til biomassen. [27] (Kollberg, 2017).

Elektrisk ledeevne vil gi en indikasjon på saltinnholdet. Denne verdien forteller oss hvordan massen vil fungere som gjødseltilsetning. Om lederevnen er høy, vil dette være ugunstig for plantene grunnet saltstress. Ubalanse i tilføringen av næring vil medfølge mulige skader på planterøttene. Igjen vil denne elektriske ledeevnen være påvirket av pyrolysebetingelsene og biomassen forkullet. [27] (Kollberg, 2017).

Kationbyttekapasitet er hvor godt biokullet evner å tiltrekke seg næringskationer, og til hvilken grad det bremser utskyllingen av nødvendig næringsstoffer. Biomasse og pyrolysebetingelser vil påvirke mengde og type kation på kulletts overflate. De forskjellige gruppene kan deles opp i laktongrupper, fenolgrupper og karbonsylgrupper. Ved høyere pyrolysetemperaturer observeres mindre kationbyttekapasitet, siden slike kationgrupper spaltes og fjernes. Motsatt virker økt askeinnhold i samspill med økt kationbyttekapasitet. [27] (Kollberg, 2017).

Vannløselige ioner: Magnesium, kalium, kalsium, fosfat, sulfat og ammonium blir sett på som prekære næringsstoffer i planter. Natrium derimot er ikke spesielt gunstig i store mengder, grunnet høyt saltinnholdet. Pyrolyseprosessen bestemmer hvor stor mengde kaliumsalter som frigis fra det organiske materie. Derfor vil lave pyrolysetemperaturer være hensiktsmessig, siden lav temperatur redusere innhold av Nitrogen i ammonium og nitrat. [27] (Kollberg, 2017).

Det spesifikke overflatearealet er summen av indre og ytre overflateporer. Spesifikke overflatearealer vil kunne fortelle hvordan biokull reagerer med ioner og vann, samtidig som det gir svar på kulletts tetthet. Det er vanlig at tettheten ligger på mellom 30- 300m²/g. I industriell bruk av absorbenter kan volumet og det spesifikke overflatearealet øke ved hjelp av syrer og damp, da kan man oppnå tetthet på 2500m²/g. [27] (Kollberg, 2017).

Biokull gjør også jordsmonnet mer frodig, grunnet kulletts mange karakteristikk. Porøsiteten har en god evne til å binde vann i jorda, dette motvirker tørke. Den mørke fargen fanger også opp mer lys som jorden nyter godt av.

6. Bioenergi i Norge og Innlandet

6.1. Solør bioenergi

Når det kommer til fornybar energi basert på trevirke, er Solør en ledende markedsaktør. Deres kjernevirksomhet baserer seg på energigjenvinning av impregnert treverk, produksjon av prosessdamp og fjernvarme. De produserer også biobrensel i form av pellets og briketter som de selger videre i større kvantiteter.

6.1.1 Visjon:

«Vi skal være en ledende leverandør av bioenergi».

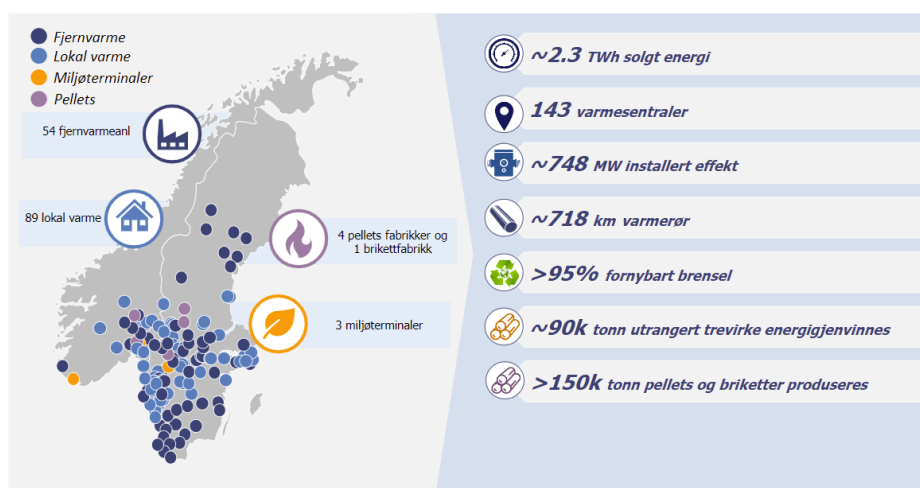
Solør Bioenergi er et ledende kompetansemiljø og en ledende leverandør av fornybar energi – basert på trevirke. [49] (*Om Solør Bioenergi, 2020*)

6.1.2 Forretningside:

Produksjon og distribusjon av prosessdamp, fjernvarme og strøm til industri og næringsbygg, energigjenvinning basert på impregnert trevirke og produksjon av biobrensel.

Solør Bioenergi kjennes som lokal, langsiktig, løsningsorientert, leveransesikker og lønnsom.

Virksomheten skal gi et betydelig positivt bidrag for miljø, kunder, samarbeidspartnere, nærmiljø, medarbeidere og eiere. [49] (*Om Solør Bioenergi, 2020*)



Figur 21: Solør operasjonskart

Solør Bioenergi AS

6.1.3 Energigjenvinning i Solør gjennom jernbanesviller

Jernbaner er blitt lagt over hele verden, og ble først benyttet for lokale transportoppgaver, men da det første damplokomotivet ble tatt i bruk for full praksis året 1813, ble det for alvor lagt jernbaner over hele Europa, Amerika og senere flere verdensdeler. [50] (Wisting. T, 2020).

Tradisjonelt sett har jernbaner blitt bygget med tresviller. Noe som i moderne tid fases ut til betong. Tresviller blir impregnert med kreosot. Dette klassifiserer disse svillene til farlig avfall når det skal fases og byttes ut, siden kreosot inneholder stoffer som er både miljø- og helsefarlig. [51] (Miljødirektoratet).



Figur 22: Jernbanespor installert med tresviller

Solør bioenergi har både anskaffet utstyr og tillatelse til å gjenvinne slike materialer. De forvalter uttjent trevirke i alle deler av gjenvinningsfasen, noe som gjør valget for mange jernbaneaktører grunnet enkelheten ved å betale for å bli kvitt både svillene og avskrive seg ansvaret overfor dem.

Solør tar imot jernbanesviller fra både statlig og private jernbaneselskap ut om i Europa. Videre fragmenteres svillene til mindre biter ved hjelp av maskiner. Gjennom knusing, fragmentering og separasjon skilles det trevirket som kan benyttes til energiskapning ut. Dette treavfallet blir da biobrensel som benyttes i ett av mange energisentraler i Solørs eierskap.[52] (Solør Bioenergi AS, 2020)

6.1.4 Pellets/ Briketter

Pellets og briketter er prosessert biomasse fremstilt ved å komprimere tørt trevirke for å konsentrere lett tilgjengelig energi som brennes i ovner for kjapp energi.

Pellets har sin opprinnelse fra skogbruken, og kan regnes som et bi- produkt av sag- og kutterspon.

Sag- og kutterspon tørkes ned til en 7- 8% fuktinnhold, utsettes for høyt trykk før det så komprimeres til små staver bestående av kun trefiber. Energiinnholdet er nå veldig høyt i forhold til vanlig ved (Estimert til 3 ganger). Pellets er på lik linje med vanlig biomasse et fornybart brensel som inngår i naturens kretsløp.

Fyring med pellets er bra for klimaet, siden det er konsentrert tørt trevirke. Det innebærer at når pellets forbrennes gir det utslipp for det CO₂ grunnlaget som massen har bundet opp. I stedet for at det bundne CO₂ slipper ut foruten nytte, kan man med pellets nyttiggjøre seg av energien. Samtidig som flere trær kan plantes og fossile brenslers fases ut. [53] (Solør Bioenergi AS, 2020)[54] (Solør Bioenergi AS, 2020)

6.2 Oplandske Bioenergi AS

Leverer bioenergi(termisk) i form av varmtvann eller damp. Et tradisjonelt kraftvarmeverk, som leverer fjernvarme og nærvarme til lokale bedrifter og foretak. Det som gjør disse spesielle, er at de har hovedkontor på Biri, som faller innenfor Innlandet fylke. Men også at de planlegger å starte Norges første kommersielle pyrolyseanlegg med vanlig drift. Det vil si: oppvarming i samme prosess som pyrolysen.

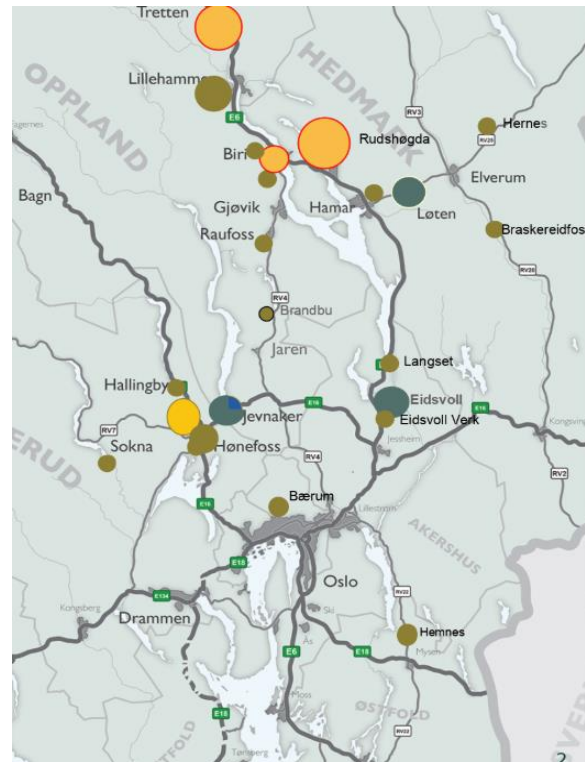
- Prosessenergi industri
- Fjernvarmekonsesjon
- Nærvarmeanlegg

Tabell 15: Regnskap Oplandske

ÅR	2017	2018	2019
Levert energi (GWH)	51,7	55,4	59,0
Omsetning (MNOK)	39,5	43,9	48,2
Driftsresultat (MNOK)	4,8	5,2	6,5
Årsresultat (MNOK)	1,5	2,0	2,7

Eiere og organisasjon

}	86 Landbrukseiere	
	6 Allmenninger	27, 90%
	3 Skogeierlag	
}	Glommen Mjøsen	36, 05%
	Eidsiva	36, 05%



Figur 23: De 23 flisfyringsanleggene til Oplandske

Disse til sammen utgjør 100% og Oplandske Bioenergi i sin helhet.

6.2.1. Biokull av pyrolyse

Biokull kan være en bidragsyter til å senke nitrogenmonoksid- og antropogene utslipp. Per i dag står landbruk for tilnærmet 60% av lystgass(N_2O) utslippene i verden, grunnet organisk og mineral- Nitrogengjødsel(N).

Biokull har flere spennende anvendelser, og et mulig fremtidig marked i Norge vil være land- og jordbruksmarkedet da det har vist seg å være markeder for det i andre land utover Europa og i Amerika.

Samtidig som det bidrar til å senke N_2O utslippene med 38%, viste det seg at også NO_3^- utlekkingen ble redusert med 13% ved å benytte biokull ute på jordene. Disse påstandene

kommer frem i en meta- analyse publisert 9. Oktober 2018. De poengterer også videre at analysen fremstiller en verdifull pekepinn for fremtiden til biokull innen avling, men at det må mer forskning, tid og prøving til for å kunne definere alle utslippsfordele ved bruk av biokull i jord og avling. Men at det så særdeles lovende ut. [55] (Borchardt. N, 2019).

Industrielt fremstilt nitrogengjødsel har de siste 100 årene økt veldig i intensitet og bruk over verdens landbruksjorder. Plantene som skal vokse frem og fremstille oss goder tar bare opp mellom 10- og 40% av næringsstoffene i den tilsatte gjødselen. Resterende 60- 90% lekker da videre ut i vann, konverterer til gassformer eller blir bunden opp til jorda. Dette bidrar til flere miljøproblemer, nitrogen på avveie. [56] (Eckell. TH & Sundet. H, 2018).

I nyere tid har det blitt foreslått å benytte biokull som et organisk karbon for å minske plantenæringens muligheter for utvasking og for en sunnere jord.

Oplandske Bioenergi har utredet mulighetene for å gjennomføre salg av biokull på det Norske markedet. Deres interesse for biokull er stor, og de venter sin pyrolysereaktor for å kunne gjøre pyrolyse kommersielt. Reaktoren de har bestilt er en Biomaccon C400- I fra det tyske markedet.

- Input 2128 tørrtonn/år
- Biokull 392 tonn/ år
- Effektiv restvarme 400 kW
- Biter < 70mm (ensarta)
- Fuktighet på mellom 15 og 25%

Spesifikasjoner fra presentasjon gitt av Oplandske

Med disse spesifikasjonene planlegger de å lage, selge og distribuere biokull til nå et helt urørt biokull marked, nemlig det norske.

Biokulls sine positive bidrag er kartlagt gjennom tidlig forskning på teknologien, ressursen og bruken. Markedene i Norge er ikke enda forstått med biokull og dens gevinster. Derfor blir jobben med å markedsføre produktet viktig, samt å finne hvilket marked det skal satses på.

Under presentasjonen anholdt ved anledning bacheloroppgave, ble mulige markeder tatt opp.



Figur 24: Biokull markeder

Kilde fig 27. Oplandske Bioenergi

Figur 27, ble presentert som de mulige markedene som kunne satses på. Der jordbruk, urban treplanting, filtrering og dyrefor var de mest aktuelle etter utredningen. Reduksjonsmiddel og karbonbinding anses som å være en ringvirkning ved all bruk, samtidig som det kan være et eget primærbruk. De økonomiske vinningene ved å starte pyrolyseanlegg for salg av biokull vil ved de nærmeste årene bli større ettersom spesielt jordbruk sektoren ser nytten av biokull, dette basert på en rapport laget av SINTEF. [27] (Kollberg, 2017).

Det å satse på biokull er et progressivt trekk for en grønnere fremtid, sunnere jord og mange flere positive utfall tidligere sitert.

7. Konklusjon

Hovedmålet med oppgaven var å kartlegge en veldig omfattende gren innen fornybar energi. Med bioenergis mange berøringer har det vært nødvendig å snevre inn på noen områder samtidig som oppgavens helhetlige natur har bestått. Med denne presentasjonen skal spørsmål som problemstillingen i oppgaven kunne besvares, med flere. For bioenergi vil være relevant for fremtiden. Med allerede utbygget kullkraftverk nedover i Europa vil disse med tiden kunne benytte biomateriale som drivstoff når videre fremgang innen feltet gir rom for fortjeneste lik den av fossile brensler. Gassifisering og pyrolyse vil videre være objekter for stor forskning og større fremskritt når det kommer til nyttige produkter og bi- produkter. Pyrolyse med biokull for jordbruket og karbonsekvistrering, gassifisering med biodrivstoff. Begge med integreringsmuligheter for fremtidige og allerede operative kraftverk.

Bioenergi stiller per nå med en økonomisk ulempe kontra fossile brensler, grønn biologisk energi fra naturen koster mer enn olje, alminnelig gass og kull. Dette rammer overgangen betydelig, og vil være et sterkt argument for å bevare ting slik de er videre. Klimavoter og større fortjeneste for ren energi må komme for at bioenergi skal kunne bestå i en relevant grad videre. Beslutninger fattet kun med hensyn på miljø ville falt i favør bioenergi. Med riktig forvaltning av ressurser og energiutvinning er dette klimanøytrale løsninger med muligheter for å gå i pluss på klimaregnskapet.

Ved å benytte verdiskapning i alle ledd når det kommer til alle energiutvinningsteknikkene. Kan bioenergi med fremskritt innen teknologi være en reell bidragsyter for fremtidens energisystemer. Disse endringene vil følge den politiske gang, og ingen endring kommer gratis. Gradvis overgang over en tid vil sørge for en allmenn forståelse av bidragene teknologiene stiller med og aksept for den moderne gamle energien.

Referanser:

- [1] Øyvind Skreiberg, Sintef (2011) *Småskala biomasse kraft- og varmeproduksjon anbefalinger for Norge*. Tilgjengelig fra: https://www.sintef.no/globalassets/project/krav/krav_brosjyre_small.pdf (Hentet: 01. Februar 2020)
- [2] EnergifaktaNorge, *Kraftproduksjon* (2019) Tilgjengelig fra: <https://energifaktanorge.no/norsk-energiforsyning/kraftforsyningen/> (Hentet: 01. Februar 2020).
- [3] Nobio (2020) *Sverige best på bioenergi i EU*. Tilgjengelig fra: <http://nobio.no/sverige-best-pa-bioenergi-i-eu/> (Hentet: 14. April).
- [4] Sandtrøen, M. Holen, CO (årstall) *Bioenergi*. Tilgjengelig fra: <https://www.fylkesmannen.no/innlandet/landbruk-og-mat/skogbruk/bioenergi> (hentet: 01. februar 2020)
- [5] Chen, HC & Wang, LW. 2016 *Technologies for Biochemical Conversion of Biomass*. Beijing, Kina: Elsevier Inc. (Hentet: 03. April 2020)
- [6] Haraldsen, H. Pedersen, B. *Forbrenning- kjemi*. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/forbrenning - kjemi> (Hentet: 24. Mats 2020)
- [7] Scott, AC. (2018) When Did Humans Discover Fire? The Answer Depends on What You Mean By 'Discover'. *Tilgjengelig fra:* <https://time.com/5295907/discover-fire/> (Hentet: 13. Februar 2020)
- [8] Energiveven. *Bioenergi- Energi fra sola*. Tilgjengelig fra: http://www.energiveven.no/billedbase/Bioenergi/bio2b.html?fbclid=IwAR3jaoWFIx1K4K3XNU5ouDs0n-m4VZkFV4SCh2XD_K-yYMazr1Dp5i46qA0 (Hentet: 25. Mars 2020)
- [9] Rosvold, KA. Hofstad, K. (2019) *Biokraftverk*. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/biokraftverk> (Hentet: 14. Mars 2020)
- [10] Rosvold, KA. (2014). Store Norske Leksikon. *Varmeverk*. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/varmeverk>. (hentet:14. Mars 2020)
- [11] Norsk fjernvarme (år) *CHP- Kraftvarme*. Tilgjengelig fra: <https://www.fjernvarme.no/fakta/chp-kraftvarme> (Hentet: 14. Mars 2020)
- [12] Rosvold, KA. Hofstad, K. (2019) *Varmekraftverk*. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/varmekraftverk> (Hentet: 16. Mars 2020)
- [13] Hofstad, K. (2019) *Kombikraftverk*. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/kombikraftverk> (Hentet: 17. Mars 2020)
- [14] Rosvold, KA. (2013) *Rankine- syklus*. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/Rankine-syklus> (Hentet: 17. Mars 2020)
- [15] Rosvold, KA. (2019) Fjernvarme. Tilgjengelig fra: <https://www.fjernkontrollen.no/> (Hentet: 22. Mars 2020)

- [16] Norsk fjernvarme. *Energikilder*. Tilgjengelig fra: <https://www.fjernvarme.no/fakta/energikilder> (Hentet: 22. Mars 2020)
- [17] fortum, fjernvarmeprosessen. Tilgjengelig fra: <https://www.fortum.no/bedrift-og-borettslag/fjernvarme/om-fjernvarme/slik-fungerer-fjernvarme> (Hentet: 23. Mars)
- [18] Norsk fjernvarme, fjernvarme. Tilgjengelig fra: <https://www.fjernvarme.no/fakta/fjernvarme> (Hentet: 23. Mars)
- [19] U.S department of Energy (2016). *Overview of CHP technologies*. Tilgjengelig fra: https://www.energy.gov/sites/prod/files/2017/12/f46/CHP%20Overview-120817_compliant_0.pdf. (hentet:)
- [20] European Environment Agency (2016) *Overview of electricity production and use in Europe*. Tilgjengelig fra: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/overview-of-the-electricity-production-2/assessment-4> (hentet: 23. April)
- [21] Mulvaney, D & Robbins, P. (2011) *Green energy*. California: Sage publications Inc.
- [22] Stensrud, G. (2019) *Bioenergi – En miljøvennlig energikilde?* Tilgjengelig fra: <https://xn--strm-ira.no/bioenergi> (Hentet: 14. Mars)
- [23] BASU, P. (2018) *Biomass gasification and pyrolysis: practical design and theory*. Academic press, 2010.
- [24] NorBioLab. (2020.) *About NorBioLab*. Tilgjengelig fra: <https://norbiolab.no/about-norbiolab> (Hentet: 18. Mats)
- [25] Sintef Energi. (2020). *Om oss*. Tilgjengelig fra: <https://www.sintef.no/sintef-energi/#Omos> (Hentet: 3. Mars)
- [26] Seljeskog, MS. (2019). Sintef. *Ny gassifiseringsreaktor er klar for bruk på SINTEF Energy Lab*. Tilgjengelig fra: <https://blogg.sintef.no/sintefenergy-nb/nordbiolabs-gassifiseringsreaktor-klar-for-bruk-sintef-energy-lab/> (Hentet: 9. Mai 2020)
- [27] Maria Kollberg Thomassen (2017). Sintef. *Utvikling og implementering av biokull som klimatiltak i Norge* Tilgjengelig fra: (Hentet: 14. Mars 2020)
- [28] Sirevåg, R. (2019) *anaerob*. Tilgjengelig ifra: <https://sml.snl.no/anaerob> (Hentet: 25. Mars)
- [29] BioenergiKDFChannel (2012), *Thermochemical conversion of Biomass to Biofuels via pyrolysis*. Tilgjengelig fra: <https://www.youtube.com/watch?v=IvZFfx7XhQE>. (Hentet: 15. April 2020)
- [30] UngEnergi.no. (2019). *Hva er bioenergi*. Tilgjengelig fra: <https://ungenergi.no/energikilder/bioenergi/hva-er-bioenergi> (Hentet: 13. Mai 2020).
- [31] Landbruk.no (2019) *Hva er egentlig fotosyntesen*. Tilgjengelig fra <https://www.landbruk.no/bioekonomi/hva-er-egentlig-fotosyntesen/> (Hentet:4. April. 2020)
- [32] Svanæs, J.S (2002) *BIONERGI fra treindustrien*. Tilgjengelig fra: Nr34 Oslo: Norsk treteknisk institutt.

- [33] NHPs sekretariat (2017). Byggemiljø, *Handlingsplan 2017-2020*. Tilgjengelig fra: https://www.byggemiljo.no/wp-content/uploads/2017/12/Nasjonal-handlingplan-for-bygg-og-anleggsavfall_NHP4-2017-2020.pdf. (Hentet: 22. April 2020)
- [34] CharGrow (2018). *Biochar vs. Charcoal vs. Activated Carbon: What They Are & How They Work*. Tilgjengelig fra: <https://char-grow.com/biochar-vs-charcoal-vs-activated-carbon>. (Hentet: 28. Mars 2020)
- [35] Brænd, TJ. Hofstad, K (2019). Store norske leksikon, *Bioenergi*. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/bioenergi> (Hentet: 14. Mars 2020)
- [36] VB. *Ved og pellets*. Tilgjengelig fra: <https://vb.no/varme/slik-velger-du-riktig-varmeloesning/energikilder/ved-og-pellets/>. (Hentet: 16. April 2020)
- [37] Åsgeir Rossebø Almås (2019). Store Norske Leksikon, *torv*. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/torv>. (Hentet: 20. April 2020)
- [38] Åsgeir Rossebø Almås (2009). Store Norske Leksikon. *Fortorving*. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/fortorving>. (Hentet: 20. April 2020)
- [39] Haakon Fossen (2020). Store Norske Leksikon. *Brunkull*. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/brunkull> (Hentet: 21. April 2020)
- [40] Håkon Rakeng (2015). Varmefag. *Hva skiller en rentbrennende ovn fra en gammel ovn*. Tilgjengelig fra: <https://www.varmefag.no/tips-og-raad/hva-skiller-en-rentbrennende-ovn-fra-en-gammel-ovn>. (Hentet: 23. April 2020)
- [41] Nadiya Fedoryshyn. (2017). SSB. *Bruk av biodrivstoff i transport*. Tilgjengelig fra: <https://www.ssb.no/natur-og-miljo/artikler-og-publikasjoner/bruk-av-biodrivstoff-i-transport>. (Hentet: 11. Mai 2020)
- [42] Bjorn Embrén (2016). The biochar journal. *Planting urban trees with biochar*. Tilgjengelig fra: <https://www.biochar-journal.org/en/ct/77> (Hentet: 12. Mars 2020)
- [43] Vågsøy kommune. *Fakta om ved*. Tilgjengelig fra: <https://vagsoy.kommune.no/Handlers/fh.ashx?Mid1=862&FillId=5700>. (Hentet: 25. April 2020)
- [44] Glen Dimplex Nordic. *Hvorfor velge panelovner?* Tilgjengelig fra: <https://www.glendimplex.no/produkter/kjoepshjelp/miljoe-og-energisparing/>. (Hentet: 30 April 2020)
- [45] Gonzalo D. A. et al., Decentralized Production of Fischer–Tropsch Biocrude via Coprocessing of Woody Biomass and Wet Organic Waste in Entrained Flow Gasification: Techno-Economic Analysis, *Energy Fuels*, 2017, 31 (6), pp 6089–6108
- [46] Ordtak. *Miljøvern*. Tilgjengelig fra: <https://www.ordtak.no/sitat.php?id=11334>. (Hentet: 16. Mai 2020)
- [47] Energysage (2019). *Environmental impacts of biomass*. Tilgjengelig fra: <https://www.energysage.com/about-clean-energy/biomass/environmental-impacts-biomass/>. (Hentet: 14. Mai 2020)

- [48] European Environment Agency (2009) *Transport at an crossroads*. EEA Report No 3/2009. TERM 2008: indicators tracking transport and environment in the European Union
- [49] Solør Bioenergi AS (2020) *Om Solør Bioenergi*, Tilgjengelig fra: <https://solorbioenergi.no/om-oss/> (Hentet: 28. Februar 2020)
- [50] Tor Wisting (2020), Store Norske Leksikon. *Jernbane*. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/jernbane>. (Hentet: 28. Februar 2020)
- [51] Miljødirektoratet. *Kreosot – spørsmål og svar*. Tilgjengelig fra: <https://www.miljodirektoratet.no/verktoy/sporsmal-og-svar/kreosot---sporsmal-og-svar/>. (Hentet: 28. Februar 2020)
- [52] Solør Bioenergi AS (2020) *Energigjenvinning*, Tilgjengelig fra: <https://solorbioenergi.no/biobrensel/energigjenvinning/> (Hentet: 29. Februar 2020)
- [53] Solør Bioenergi AS (2020) *Pellets*, Tilgjengelig fra: <https://solorbioenergi.no/biobrensel/pellets/> (Hentet: 29. Februar 2020)
- [54] Solør Bioenergi AS (2020) *Briketter*, Tilgjengelig fra: <https://solorbioenergi.no/biobrensel/briketter/> (Hentet: 29. Februar 2020)
- [55] Nils Borchardt (2019), ScienceDirect *Biochar, soil and land-use interactions that reduce nitrate leaching and N2O emissions: A meta-analysis*. Tilgjengelig fra: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969718339330>. (Hentet: 13. Mai 2020)
- [56] Tom H Eckell, Hege Sundet (2018), Økologisklandbruk . *Nitrogen – det tveegga sverdet*. Tilgjengelig fra: <https://okologisklandbruk.nlr.no/fagartikler/nitrogen-det-tveeggde-sverdet/>. (Hentet: 13. Mai 2020)

Vedlegg:

Nedre brennverdier uttrykt pr. fastvolum. [M³] for noen norske treslag.

Treslag	Basisdensitet [kg/m³]	H_n [kWh/m³]
Gråor	360	1 900
Gran	380	2 000
Osp	380	2 000
Selje	430	2 280
Svartor	440	2 350
Furu	440	2 350
Bjørk	500	2 650
Lønn	530	2 800
Ask	550	2 900
Eik	550	2 900
Bøk	570	3 000
Rogn	600	3 190

Nedre brennverdier for tredeler av gran, furu og bjørk.

Treslag	Tredeler	Nedre brennverdi [kWh/kg]	
		Min	Maks
Furu	Ved	5,19	5,36
	Bark	5,11	5,76
	Greiner	5,39	5,69
	Bar		5,85
	Hele treet	5,44	5,67
	Stubber	5,33	5,44
Gran	Ved	4,99	5,28
	Bark	4,95	5,51
	Greiner		5,49
	Bar	5,50	5,60
	Hele treet	5,33	5,44
	Stubber	5,26	5,29
Bjørk	Ved	4,84	5,31
	Innerbark	4,76	5,12
	Never (ytterbark)	7,88	8,14
	Greiner	7,88	9,70
	Hele treet	5,31	5,44

(Norsk treteknisk institutt, 2002)

Summary of the LCA of different thermochemical conversion technologies

Process	Feedstock	End product	Boundary	Functional unit	Environmental impact categories	Comment
Co firing	Rice straw	Power	Phase 1 and 2	1 MWh	Acidification, global warming potential (GWP), eutrophication, human toxicity	Significant reduction in impact categories @ 5% biomass co-firing condition
	Willow	Electricity	Phase 1 and 2	1 MWh	Net energy ratio and net global warming potential	Net energy ratio increased by 9% and net global warming potential decreased by 7 -10% at 10% co firing. GWP: 910 kg CO ₂ eq/MWh GWP: 894.3 g CO ₂ eq/ kWh @ 15% co-firing - 1002.9 g CO ₂ eq/ kWh @ 5% co-firing
	Wood residue	Electricity	Phase 1, 2 and 3	1 kWh	Global warming potential	
	Energy crop and wheat straw	Electricity	Phase 1, 2 and 3	1TJ	Global warming potential	GWP: 298 ton CO ₂ eq/TJ @ 10% Direct co-firing GWP: 300 ton CO ₂ eq/TJ @ 10% indirect co-firing Coal boiler efficiency and biomass treatment are important parameters.
Pyrolysis Fast pyrolysis	Corn stover	Bio gasoline	Phase 1 and 2	1 ha	Global warming potential	GWP: 7.65 ton CO ₂ eq/haCorn stover removal rate is the sensitive parameter that affects the bio-char and bio-oil yield.
	Short rotation poplar	Gasoline, diesel, and char	Phase 1 and 2	1 MJ	Cumulative energy demand, global warming, ozone layer depletion, photo chemical oxidant formation, land competition, acidification, eutrophication	GWP: -50.54 kg CO ₂ eq/MJ Biomass pretreatment, pyrolysis, and steam reforming are the main contributors in the environmental impact categories.
	Forest residue	Gasoline and diesel	Phase 1 and 2	1 km	Global warming potential and net energy value (NEV)	GWP: 98-117 g CO ₂ eq/km NEV: 0.92-1.09 MJ/km GWP and NEV are lower than the conventional gasoline and diesel
	Corn stover	Gasoline	Phase 1 and 2	1 MJ	Global warming potential	During upgrading of biofuel by hydroprocessing: GHG emissions reduction is maximized when hydrogen is produced from bio-oil reforming
	Logging residue, hybrid poplar, willow, and waste wood	Electricity	Phase 1 and 2	1 kWh	Global warming potential	Depending on the feedstock type, life cycle GHG savings of 77-99% estimated for power generation from pyrolysis oil to fossil fuel combustion
Ablative pyrolysis	Wood chip	Electricity	Phase 1 and 2	1 kWh	Global warming, ozone depletion, photochemical ozone creation potential, acidification, eutrophication	All impact categories are significantly decreased except eutrophication potential due to use of fertilizer during cultivation
Slow pyrolysis	Corn stover and switch grass	Bio-char	Phase 1 and 2	1 tonne of dry biomass	Global warming potential	GWP for corn stover: -864 kg CO ₂ eq/ tonne of dry biomass GWP for Switchgrass: +36 kg CO ₂ eq/ tonne of dry biomass
Flash pyrolysis	Wood waste	Biofuel and power	Phase 1 and 2		Global warming, ozone layer depletion, photo chemical smog, acidification, eutrophication, ecotoxicity, human toxicity	Emission from combustion of bio-oil has effect on GWP, acidification, human toxicity and eutrophication
Gasification	Forest residue	Heat and power	Phase 1 and 2	1 MJ	Global warming, ozone layer depletion, photo chemical oxidation, acidification, eutrophication, toxicity, abiotic depletion	GWP: 8.8 -10.5g CO ₂ eq/MJ Environmental impacts are significant for the biomass procurement and plant operation
	Poplar energy crop	Electricity	Phase 1, 2 and 3	1 MWh	Global warming, ozone layer depletion, smog, acidification, eutrophication, solid waste, energy consumption	Most negative environmental effects are caused by the use of chemicals and fertilizer
	Willow biomass	Heat and power	Phase 1&2	1 MWh	Fossil energy requirement, primary energy requirement, land use, global warming potential, acidification	Significant reduction in GHG emissions from willow biomass to the fossil fuel based systems
	Biomass	Hydrogen	Phase 1, 2 and 3	1 MJ	Global warming, smog, acidification, eutrophication, carcinogenesis, heavy metals, smog	Among LCA studies for two pathways of hydrogen production, biomass gasification-steam reforming-PSA route is the energy efficient one, and biomass-gasification-electricity-electrolysis has better environmental performance
Combustion	Birch wood	Heat	Phase 1 and 2	1 kWh	Global warming, photochemical oxidation, acidification, eutrophication,	GWP: 80 -110 g CO ₂ eq/ kWh Comparing the LCA analysis of new stove technology to old one, the former has the better environmental impact
	Rice husk	Electricity	Phase 1 and 2	1 MWh	Global warming, acidification, eutrophication, ecotoxicity	GWP: 217.33 kg CO ₂ eq/MWh
	Forest residue	Power	Phase 1, 2 and 3	1 kWh	Global warming	GWP: 11 - 14g CO ₂ eq/kWh Emission and energy consumption depends on the moisture content and the heating value of biomass
	Wood waste	Electricity	Phase 1 and 2	1 MJ	Global warming, respiratory effect, photo oxidant formation, acidification, eutrophication,	Inventory data collection is the major factor for LCA analysis

Madhumita Patel. (2016). ScienceDirect. *Techno-economic and life cycle assessment on lignocellulosic biomass thermochemical conversion technologies: A review*. Tilgjengelig fra:

https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032115010400?casa_token=974qVPHSxdEAAA:lcvvYWn109xqLILGcOr-L02OWRof69n6EIC74jUcjKsE0Px_NqAAvCgWkKmp_9DNA780hLp8iKw#s0090.

