

INVENT/Pre-treatment Openbaar Eindrapport

M.C. Carbo (**ECN**)
M. Bouwmeester (**Essent**)

July 2016
ECN-E--16-038





INVENT/Pre-treatment Eindrapport

Openbaar

- Project nummer: TKIBE01011
- Project titel: INVENT/Pre-treatment
- Penvoerder: Essent
- Project periode: 18-04-2013 – 31-12-2015
- Publicatiedatum: 30-06-2016

Deelnemer	Type organisatie	Rol in project	Afgevaardigde
Penvoerder Essent (nu RWE)	Groot Bedrijf	Penvoerder, uitvoering industriële meestookproef met getorreficeerde biomassa pellets	Mark Bouwmeester
P1. NUON	Groot Bedrijf	Ondersteuning tijdens industriële meestookproef met getorreficeerde biomassa pellets	Roel Hinz
P2. GdF SUEZ (nu ENGIE)	Groot Bedrijf	Ondersteuning tijdens industriële meestookproef met getorreficeerde biomassa pellets	Wouter Beerten
P3. Topell Nederland (nu Blackwood Technology)	MKB	Verdere ontwikkeling en optimalisatie van eigen torrefactie technologie, productie van getorreficeerde biomassa pellets voor industriële meestookproef	Maarten Herrebrugh
P4. Biolake	MKB	Verdere ontwikkeling en optimalisatie van eigen torrefactie technologie	Tom de Wit
P5. Torr-Coal	MKB	Verdere ontwikkeling en optimalisatie van eigen torrefactie technologie	Jo Sluijsmans
P6. ECN	Kennis instelling	Torrefactie en pelleteren van referentie biomassa stromen, lab-schaal product karakterisering en eind gebruik evaluatie	Michiel Carbo, Jaap Kiel, Pedro Abelha
P7. TU Delft	Kennis instelling	Circulerend Fluïde Bed (CFB) vergassingsexperimenten met getorreficeerde biomassa pellets	Wiebren de Jong
P8. Universiteit Twente	Kennis instelling	Pyrolyse experimenten met getorreficeerde biomassa pellets	Gert Brem, Eddy Bramer

Het project is uitgevoerd met subsidie van het Ministerie van Economische Zaken, Subsidieregeling energie en innovatie (SEI), Topsector Energie uitgevoerd door Rijksdienst voor Ondernemend Nederland.

Dit rapport is beschikbaar via de website van ECN: <https://www.ecn.nl/publicaties/ECN-E--16-038>
 Voor vragen kunt u contact op nemen met Michiel Carbo carbo@ecn.nl of Mark Bouwmeester mark.bouwmeester@essent.nl.

Inhoudsopgave

Samenvatting.....	3
Doelstelling	7
Bijdrage project aan doelstelling subsidie regeling	8
Spin-off binnen en buiten sector.....	9
Publicatieoverzicht.....	11
Belangrijkste projectresultaten: Workshop presentaties	13
TKI-BBE project INVENT/Pretreatment – introduction	13
Implementing redesign and production of torrefied pellets.....	23
Handling and storage of torrefied pellets	29
Torrefaction co-firing test Amer 9	38
Activiteiten Torr-Coal Groep t.b.v. TKI-BBE Invent 1 Project	47
Pyrolysis of torrefied material: Experiences and implications for practice	53
Pilot-scale gasification of torrefied biomass: overview of the main results.....	61

Samenvatting

Een brede groep belanghebbende partijen, bestaande uit o.a. overheden, bedrijfsleven, milieuorganisaties, brancheverenigingen en vakbonden, heeft zich in september 2013 gecommitteerd aan het Energieakkoord voor duurzame groei¹. De basis van dit akkoord wordt gevormd door verregaande afspraken over energiebesparing, schone technologie en klimaatbeleid met een breed maatschappelijk draagvlak. De uitvoering van deze gemaakte afspraken moet leiden tot een betaalbare en schone energievoorziening, werkgelegenheid en kansen voor Nederland in de schone technologiemarkten. In het Energieakkoord is vastgelegd dat jaarlijks maximaal 25 PJ aan elektriciteit zal worden opgewekt door middel van inzet van duurzame biomassa in elektriciteitscentrales ter vervanging van kolen.

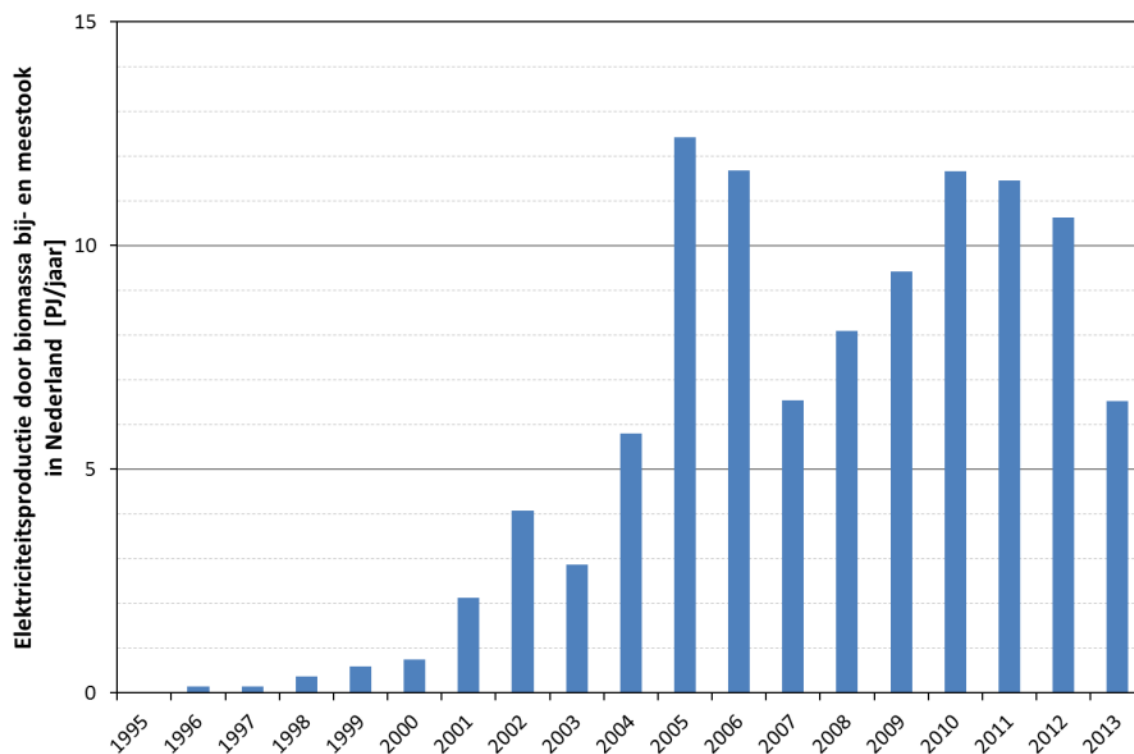
In het Energieakkoord was tevens voorzien dat de kolengestookte elektriciteitscentrales die in de jaren '80 zijn gebouwd in 2016 en 2017 zouden worden gesloten, dit bleek echter niet uitvoerbaar vanuit mededinging perspectief. In een later stadium is daarop het Activiteitenbesluit Milieubeheer aangepast waarbij eisen ten aanzien van minimaal netto rendementen voor kolengestookte elektriciteitscentrales zijn vastgelegd, te weten 38% en 40% met ingang van respectievelijk 1 januari 2016 en 1 juli 2017. Voorafgaand aan de ondertekening van het Energieakkoord was de Willem-Alexander Centrale in Buggenum in het voorjaar van 2013 al gesloten. De centrales in Geertruidenberg (Amer-8), Borssele en Nijmegen slootten eind 2015, en de Maasvlakte 1 & 2 zullen halverwege 2017 worden gesloten. Hierdoor zal een vijftal kolengestookte centrales operationeel blijven: de bestaande Hemweg centrale in Amsterdam en de Amer-9 centrale in Geertruidenberg, en de recent gebouwde Eemshavencentrale in Delfzijl, Maasvlakte 3 centrale en centrale Rotterdam -eveneens op de Maasvlakte. Deze laatste drie centrales betreft z.g. ultra superkritische centrales die kolen met een rendement van circa 46% omzetten in elektriciteit. Nederland beschikt hiermee over een van het modernste en meest efficiënte park van kolengestookte elektriciteitscentrales ter wereld.

De toename van het netto omzettingsrendement van 38% naar 46% lijkt wellicht beperkt, maar deze sprong staat gelijk aan een daling van de brandstofgebruik van 17,5 procent en dus een even grote reductie van de specifieke CO₂ emissie per MWh elektriciteit bij deze nieuwste generatie kolengestookte centrales. Dergelijke rendementen zijn veel hoger dan die in naburige landen zoals Duitsland, waar veel bruinkool gestookte elektriciteitscentrales zijn opgesteld (maximaal 43% rendement, veelal lager), en Engeland en België waar de meeste kolengestookte elektriciteitscentrales nog uit de jaren 70 dateren (maximaal 38% rendement, veelal lager). De vraag is of bij sluiting van alle Nederlandse kolengestookte elektriciteitscentrales –recent onderwerp van een maatschappelijke discussie– een deel van die elektriciteitsproductie door marktwerking niet zal worden opgevangen door buitenlandse centrales met lagere rendementen en veel hogere specifieke CO₂ emissies. In recente rapportages over dit onderwerp wordt bij sluiting van alle kolengestookte elektriciteitscentrales veelal aangenomen dat een aanzienlijk deel van de binnenlandse elektriciteitsproductie zal worden overgenomen door aardgasgestookte centrales; een zekerheid is dat echter allerminst.

Nederland heeft het afgelopen decennium een voortrekkersrol gespeeld op het vlak van de inzet van duurzame biomassa voor de grootschalige productie van groene elektriciteit, zoals weergegeven in Figuur 1. De biomassa voor grootschalige toepassingen bestaat uit houtachtige biomassa die is verdicht tot pellets. Als grondstof voor deze pellets worden met name residustromen uit de houtindustrie toegepast, zoals zaagsel en schaafsel. De belangrijkste reden hiervoor is dat het gebruik van rondhout voor energie toepassingen niet kan concurreren met de productie van constructie hout en pulp/papier, kwa prijsstelling en duurzaamheid. De stimulering van biomassa bij- en meestook door de Milieukwaliteit van de Elektriciteitsproductie (MEP) heeft een belangrijke bijdrage aan de verduurzaming van de energievoorziening geleverd. De opname van bij- en meestook van duurzame biomassa binnen de regeling Stimulering Duurzame Energieproductie (SDE+) in 2015, heeft een einde gemaakt aan een aantal jaren van onzekerheid tussen aflopende MEP regelingen van individuele centrales en de SDE+. De SDE+ voorziet in de dekking van de kosten die gemoeid zijn met de onrendabele top van duurzame energieproductie; deze onrendabele top wordt gevormd door additionele kosten van duurzame energieproductie bovenop de marktprijs van conventionele

¹ <http://www.energieakkoordser.nl/>

energieproductie. Biomassa bij- en meestook in kolengestookte elektriciteitscentrales is met het oog op de onrendabele top, oftewel de netto subsidie per kWh, een van de goedkoopste, grootschalige routes voor de productie van groene elektriciteit, waarbij alleen windenergie op zee in het geval van biomassa bij- en meestook in nieuwe centrales een fractie goedkoper uitvalt.²



Figuur 1 Nederlandse elektriciteitsproductie door biomassa bij- en meestook in PJ per jaar³

De aanhoudende onzekerheid met betrekking tot de stimulering van duurzame biomassa voor grootschalige elektriciteitsproductie, in combinatie met de overlap tussen in bedrijf name van nieuwe en sluiting van oude kolengestookte elektriciteitscentrales, heeft in 2015 geleid tot een toename van steenkool gebruik voor elektriciteitsproductie⁴. De verwachting voor 2016 is echter dat door de sluiting van de drie oudere centrales met een relatief laag rendement in het vierde kwartaal van 2015, het brandstofgebruik behoorlijk zal afnemen doordat de nieuwe centrales een sterk verbeterd rendement hebben, zoals hierboven geschetst voor de representatieve netto rendementen. Daarnaast is inmiddels SDE+ subsidie gealloceerd voor bij- en meestook van duurzame biomassa ter vervanging meer dan 50% van de brandstof in de AMER-9 elektriciteitscentrale⁵.

De ervaring leert dat het mogelijk is om hoge meestookpercentages van duurzame biomassa ter vervanging van kolen in elektriciteitscentrales te realiseren, en dat dit een specifieke CO₂ emissie per MWh oplevert die bij dergelijke percentages lager kan zijn dan bijvoorbeeld voor een aardgasgestookte elektriciteitscentrale. Verder behoort ook de volledige vervanging van kolen door duurzame biomassa voor de productie van groene elektriciteit tot de mogelijkheden; een voorbeeld hiervan is de Engelse Drax centrale waar 3 van de 6 eenheden met een individuele capaciteit van 660 MW_e worden bedreven op 100% biomassa. Het ombouwen van een kolengestookte centrale naar hoge percentages meestoken van houtpellets vergt een specifieke infrastructuur; deze houtpellets kunnen namelijk niet op dezelfde manier als kolen worden overgeslagen, opgeslagen en

² "Alternatieven voor biomassameestook in kolencentrales," CE Delft, 2016

³ Data afkomstig van CBS: <http://statline.cbs.nl/Statweb/>

⁴ <https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2016/26/elektriciteitsproductie-uit-steenkool-opnieuw-hoger>

⁵ <http://www.rwe.com/web/cms/nl/3073122/rwe-generation-se/locaties/nederland/amercentrale/20160613-rwe-vervangt-50-kolen-door-biomassa-in-amercentrale/>

geconverteerd. Houtpellets dienen afgeschermd te worden van vocht om opzwellen en biologische degradatie te voorkomen. Daarom worden pellets opgeslagen in afgesloten silo's en getransporteerd middels overdekte transportbanden. Kolen worden normaal gesproken buiten worden opgeslagen en middels open transportbanden verplaatst. Daarnaast is de maalbaarheid van de houtpellets minder goed dan van kolen waardoor aanpassingen aan de bestaande kolenmolens nodig zijn, en het tegelijkertijd malen van kolen en houtpellets in de praktijk lastig uitvoerbaar blijkt.

Een belangrijk alternatief voor het gebruik van kolen en/of houtpellets zijn getorreficeerde houtpellets. Torrefactie omvat het roosteren van biomassastromen tussen temperaturen van 250 en 320°C in afwezigheid van zuurstof. Door deze warmtebehandeling verliest de hemicellulose in de biomassa zijn sterkte en wordt de biomassa makkelijker maalbaar en samen te persen tot pellets of briquettes. Het getorreficeerde product kan met een energetisch rendement van typisch 90% worden vervaardigd, waarbij ongeveer 70% van de ingaande massa op droge basis in het product blijft. De resterende 10% van de energie (die 30% van de massa vertegenwoordigt) komt tijdens het proces vrij in de gasfase, en wordt na verbranding nuttig ingezet om de ruwe biomassa te drogen en voor te verwarmen tot de gewenste torrefactie temperatuur. Het drogen van de biomassa vergt hierbij veruit de meeste energie, vergelijkbaar met de productie van 'gewone' houtpellets.

Getorreficeerde houtpellets vormen een veelbelovend alternatief voor de vervanging van kolen in elektriciteitscentrales, omdat de producteigenschappen een veel sterkere gelijkenis vertonen met kolen in tegenstelling tot gewone, niet-getorreficeerde, houtpellets. Getorreficeerde houtpellets vertonen een sterk verbeterde weersbestendigheid en kunnen gedurende korte periodes van een aantal weken buiten worden opgeslagen. Verder kunnen getorreficeerde houtpellets middels dezelfde infrastructuur worden overgeslagen, getransporteerd en geconverteerd als kolen, wat investeringen in de logistieke keten en bij de eindgebruiker tot een minimum beperkt in vergelijking met conventionele houtpellets. Door de vergelijkbare eigenschappen van getorreficeerde pellets met kolen, kunnen hoge biomassa bij- en meestook fracties, of zelfs volledige vervanging van kolen, eenvoudiger worden gerealiseerd. Getorreficeerde houtpellets kennen ook een hoge energiedichtheid per volume van ongeveer 16 à 17 GJ/m³, terwijl deze voor houtpellets maximaal 11 GJ/m³ bedraagt. Dit betekent dat bij transport over langere afstanden ongeveer 50% meer energie in hetzelfde volume kan worden vervoerd, wat doelmatiger en goedkoper is. Ter referentie: voor kolen bedraagt de energiedichtheid per volume minimaal 18 GJ/m³.

Een ander belangrijk voordeel is dat door middel van torrefactie relatief heterogene stromen zoals snoei- en dunningshout kunnen worden opgewerkt naar kwalitatief homogene hoogwaardige energiedragers. Dit laatste is economisch interessant doordat een goedkopere grondstof kan worden gebruikt, maar het vergroot tevens de biomassa beschikbaarheid en verduurzaming, doordat een relatief laagwaardige stroom kan worden ontsloten voor hoogwaardigere toepassingen dan tot op heden mogelijk was. Hierbij dient te worden opgemerkt dat biomassa bij- en meestook in elektriciteitscentrales ter vervanging van kolen wordt beschouwd als een transitieoptie naar toekomstige hoogwaardige toepassingen zoals de productie van duurzame transportbrandstoffen en chemicaliën. Biomassa bij- en meestook in elektriciteitscentrales ter vervanging van kolen vormt daarbij een belangrijke rol in de realisatie van logistieke ketens en de verdere marktvorming.

Het doel van dit project was om Nederlandse industriële torrefactie initiatieven te stimuleren en continueren, daarmee marktintroductie van torrefactie technologieën en producten te bevorderen, en om het biomassapotentieel uit te breiden door aanvullende stromen te ontsluiten door middel van torrefactie. De eerste biomassa torrefactie experimenten met het doel duurzame vaste energiedragers te produceren zijn in de loop van 2003 uitgevoerd bij ECN. In navolging van deze experimenten hebben verschillende Nederlandse bedrijven technologieën ontwikkeld en zijn een aantal demonstratie en pilot productiefabrieken gerealiseerd, waaronder die van Blackwood Technology (voorheen Topell), Torr-Coal en Biolake, die in dit project nauw samenwerkten door expertise m.b.t. kritieke succesfactoren in torrefactie productieprocessen te delen, en producteigenschappen te verbeteren door optimalisatie van torrefactie recepturen.

De voornaamste eindgebruikoptie voor getorreficeerde pellets in dit project was de vervanging van kolen in elektriciteitscentrales, hiertoe hebben Blackwood Technology, de energiebedrijven RWE, NUON en ENGIE, en ECN in 2013 een uitgebreide meestookproef van twee maanden uitgevoerd op de RWE Amer-9 centrale in Geertruidenberg, met 2300 ton getorreficeerde snoei- en dunningshout

pellets die zijn geproduceerd in de torrefactie fabriek van Blackwood Technology in Duiven. Tijdens de meestookproef zijn getorreficeerde houtpellets gemengd met kolen en in één bestaande kolenmolen gemalen in een massaverhouding 25/75. Het gelijk voeden van getorreficeerde houtpellets en kolen leverde was succesvol en leverde geen noemenswaardige afwijkingen op in de reguliere bedrijfsvoering. Vergelijkbare bevindingen zijn op de Willem-Alexander Centrale in Buggenum door NUON opgedaan tijdens een eerdere 24-uurs proef, waarbij getorreficeerde houtpellets en kolen tot een massaverhouding van ongeveer 80/20 zijn gevoed⁶. Tijdens beide testen zijn nagenoeg geen wijzigingen aangebracht aan de bestaande infrastructuur voor kolen overslag, opslag en conversie.

Naast de grootschalige test zijn diverse lab- en pilotschaal testen uitgevoerd door ECN, TU Delft en de Universiteit Twente, die hebben aangetoond dat getorreficeerde houtpellets belangrijke voordelen kennen ten opzichte van houtpellets. Uit kleinschalige logistieke testen blijkt dat het torreficeren van biomassa niet resulteert in verhoogde explosiviteitsrisico's in vergelijking met het onbehandelde uitgangsmateriaal of conventionele houtpellets. Verder is uit zelfontbrandingsexperimenten gebleken dat getorreficeerde biomassa pellets niet kunnen worden geclassificeerd als voor zelfontbranding vatbare stoffen zoals bedoelt in klasse 4.2 van de ADR, het Europese verdrag betreffende het internationaal vervoer van gevaarlijke goederen over de weg. Deze bevindingen tonen aan dat overslag, transport en opslag van getorreficeerde biomassa pellets op veilige wijze kan plaatsvinden.

De toepasbaarheid van getorreficeerde pellets voor vergassing en pyrolyse zijn op pilot-schaal onderzocht door respectievelijk de TU Delft en Universiteit Twente, met als doel om duurzame biomassa-gebaseerde transportbrandstoffen en chemicaliën te produceren. Tijdens vergassing worden brandstoffen omgezet in productgas of synthese gas die na reiniging in katalytische processen kunnen worden omgezet in brandstoffen en chemicaliën. Typisch wordt zuurstof of lucht gebruikt als oxidant, en soms wordt stoom toegevoegd om de gassamenstelling en conversie te beïnvloeden. Testen in een circulerende wervelbed vergasser hebben aangetoond dat getorreficeerde biomassa pellets van verschillende origine een prestatieverbetering opleverde tijdens de vergassing in vergelijking met de corresponderende pellets van het onbehandelde uitgangsmateriaal. De kwaliteit en opbrengst van het productgas was hoger, het gas had een hogere koolstofmonoxide en waterstof concentratie (de bouwstenen tijdens verder katalytische processen), terwijl de koolstofdioxide en teerconcentraties aanmerkelijk lager waren. Daarnaast verbeterde het koud-gas rendement van de vergasser aanzienlijk. Tijdens pyrolyse worden brandstoffen onder afwezigheid van zuurstof door externe verhitting direct omgezet drie verschillende producten te weten pyrolyseolie, gas en char. De pyrolyseolie kan vervolgens katalytisch worden opgewerkt of als energiedrager worden toegepast. Pyrolyse van getorreficeerde biomassa pellets levert een verbetering van de oliekwaliteit en het rendement op.

Op dit moment bedraagt de totale jaarlijkse productie capaciteit ruim een half miljoen ton getorreficeerde pellets, waarbij er een aantal fabrieken zijn met een capaciteit rond de 100,000 ton per jaar. Dit is wellicht nog een te lage productiecapaciteit om te spreken van een volwassen markt, maar de ontwikkeling en marktintroductie is volop in beweging. De torrefactie technologieontwikkelaars die deel uitmaakten van dit project werken aan veelbelovende initiatieven om commerciële torrefactie fabrieken te realiseren. Deze realisatie van dergelijke fabrieken richt zich veelal op landen buiten Europa, en dan met name waar voldoende duurzame en betaalbare biomassa beschikbaar is. Deze laatste twee aspecten zijn een vereiste om een duurzame waardeketen van deze getorreficeerde pellets naar de Europese markt te realiseren.

⁶ http://www.ieabcc.nl/workshops/task32_2014_graz_torrefaction/Padban_PPP.pdf

Doelstelling

Het doel van het Topconsortium voor Kennis- en Innovatie Biobased Economy (TKI-BBE) project INVENT/Pre-treatment was het verder stimuleren en continueren van de Nederlandse torrefactie initiatieven van Blackwood Technology, Torr-Coal en Biolake, daarmee marktintroductie van torrefactie technologieën en getorreficeerde producten te bevorderen, en om het biomassapotentieel uit te breiden door aanvullende stromen te ontsluiten door middel van torrefactie. Aanvankelijk waren INVENT en Pre-treatment twee separate voorstellen die beiden september 2012 zijn ingediend; op verzoek van de directie TKI-BBE zijn deze initiatieven op het gebied van Biomassa Voorbewerking samengevoegd. Doordat het totale budget sterk gereduceerd was zijn een aantal onderdelen uit beide projectvoorstellen ondergebracht in andere projectvoorstellen.

Op het moment van schrijven van beide voorstellen bestond er onder de torrefactie technologie ontwikkelaars en de beoogde industriële eindgebruikers de behoefte om de productkwaliteit verder te optimaliseren, de biomassa grondstoffen voor torrefactie verder te diversifiëren, en alternatieve eindgebruik opties naast grootschalige bij- en meestook te verkennen. Na het samenvoegen van beide voorstellen is er voor gekozen om alleen het optimaliseren van de productkwaliteit en alternatieve eindgebruik opties in dit project te onderzoeken, terwijl het gebruik van alternatieve grondstoffen voor torrefactie onderdeel uitmaakt van het TKI-BBE project INVENT2.

Het project richtte zich met name op het produceren, optimaliseren en gebruik van getorreficeerde pellets, terwijl voor sommige toepassingen ook de kwaliteit van getorreficeerde chips en getorreficeerde gemalen chips (poeder) is beschouwd. De optimalisatie van de productkwaliteit is bewerkstelligd door: optimalisatie van de individuele productieprocessen, de keuze voor de geschikte voorbewerking (verkleinen, drogen), het ontwikkelen van optimale torrefactie recepturen, verbeterde conditionering na torrefactie, en optimalisatie van de pelleter condities. Tijdens dit traject zijn de eisen m.b.t. de productkwaliteit van industriële eindgebruikers geïnventariseerd, die samen met logistieke eisen de basis voor de product optimalisatie vormden.

De productkwaliteit is geoptimaliseerd voor vervanging van kolen tijdens grootschalige conversie in kolengestookte elektriciteitscentrales. Hiertoe waren aanvankelijke testen gepland in drie verschillende elektriciteitscentrales, te weten de AMER centrale in Geertruidenberg (RWE), de Gelderland centrale in Nijmegen (ENGIE) en de Willem Alexander Centrale in Buggenum (NUON). In 2013 werd echter duidelijk dat de centrales in Nijmegen en Buggenum zouden gaan sluiten, daartoe is besloten om eind 2013 een grootschalige test met 2300 ton getorreficeerde pellets van Blackwood Technology op de RWE AMER-9 centrale in Geertruidenberg. ENGIE, NUON, ECN hebben eveneens actief deelgenomen aan de voorbereiding en uitvoering van deze succesvolle test. De optimalisatieslag voor toepassing van getorreficeerde biomassa pellets in kolengestookte elektriciteitscentrales is tevens relevant voor toepassing in stofwolk vergassers (entrained flow) voor de productie van elektriciteit, transportbrandstoffen of chemicaliën. Verder is ook het gedrag van getorreficeerde biomassa onderzocht als drop-in brandstof voor raffinaderijen middel pyrolyse (Universiteit Twente), en voor kleinschaligere toepassingen zoals circulerend wervelbed vergassing (TU Delft).

Bijdrage project aan doelstelling subsidie regeling

De doelstelling van het TKI-BBE richt zich op de regie van biobased innovatie over de gehele biomassa-waardeketen, van veld tot eindproduct, inclusief de recycling van industriële en huishoudelijke stromen. Het TKI-BBE is georganiseerd rond zes programmalijnen: hoogwaardige energiedragers, hoge percentages mee- en bijstook, bioraffinage, chemische en biotechnologische conversietechnologie, aquatische biomassa (inclusief Biosolar) en Economie, Beleid en Duurzaamheid (EBD). Het TKI heeft een netwerk van circa honderd bedrijven, onderzoeksinstituten en niet-gouvernementele organisaties om zich heen.

Het TKI-BBE project INVENT/Pre-treatment past in twee programmalijnen, te weten hoogwaardige energiedragers en hoge percentages mee- en bijstook, al was het projectbudget gealloceerd in de eerste programmalijn. De programmalijn hoogwaardige energiedragers richt zich op verbouwing van biomassa, om deze geschikt te maken voor verdere raffinage en/of de productie van elektriciteit, warmte en/of groen gas. Het doel van de programmalijn hoge percentages mee- en bijstook is om innovatieve technologie en logistiek/infrastructuur te ontwikkelen voor het meestoken van biomassa op de schaal die noodzakelijk is om de nationale emissie- en duurzame energiedoelstellingen te bereiken.

Doel van de tender waarin het TKI-BBE project INVENT/Pre-treatment is ingediend was de ondersteuning van onderzoeks- en ontwikkelingsprojecten en demonstratieprojecten die leiden tot een verlaging van de kostprijs voor de productie van elektriciteit en warmte uit biomassa met een praktijktoepassing vóór 2023. Daarbij moest de nadruk liggen op validatie of een eerste praktijktoepassing van nieuwe technologie, en werd een substantiële financiële en inhoudelijke bijdrage van bedrijven verwacht.

Binnen het TKI-BBE project INVENT/Pre-treatment heeft een succesvolle validatie plaatsgevonden van het toepassen van hoogwaardige energiedragers -in de vorm van getorreficeerde snoei- en dunningshout pellets- tijdens meestook in een kolengestookte elektriciteitscentrale. Tijdens een periode van twee maanden zijn ongeveer 2300 ton getorreficeerde pellets probleemloos ingezet ter vervanging van kolen in de AMER-9 centrale in Geertuidenberg om duurzame elektriciteit te genereren. Torrefactie staat momenteel aan de vooravond van commerciële marktintroductie en daarom kan er momenteel nog niet van een volwassen markt worden gesproken waar op grote schaal getorreficeerd materiaal beschikbaar is en verhandeld wordt. De totale jaarlijkse productie capaciteit bedraagt ruim een half miljoen ton getorreficeerde pellets, waarbij er een aantal fabrieken zijn met een capaciteit rond de 100,000 ton per jaar.

Een recente studie toont echter aan dat de te verwachten productiekosten van getorreficeerde pellets in dezelfde ordegrrootte zullen liggen als huidige marktprijzen voor houtpellets, rond de 30 €/MWh ⁷. De sterk verbeterde volumetrische energie-inhoud van getorreficeerde pellets ten opzichte van houtpellets zorgt ervoor dat ongeveer 50% meer energie in hetzelfde volume kan worden getransporteerd, wat de transport- en overslagkosten danig verlaagd. Verder heeft de grootschalige test aangetoond dat er nagenoeg geen aanpassingen nodig zijn om meestoken op kolengestookte elektriciteitscentrales te faciliteren, in tegenstelling tot houtpellets. Als getorreficeerde pellets dezelfde prijs per energiehoeveelheid zouden hebben als conventionele houtpellets, dan ligt het voor de hand dat de besparing op SDE+ subsidie op termijn minimaal het verschil zou bedragen tussen bij- en meestook in nieuwe en bestaande installaties, te weten 0.7 €/kWh. De prijs van getorreficeerde pellets kan nog verder worden verlaagd, doordat door middel van torrefactie ook laagwaardigere, goedkopere houtstromen kunnen worden verwerkt tot kwalitatief hoogwaardige pellets.

⁷ https://sector-project.eu/fileadmin/downloads/deliverables/SECTOR_D3.2_VTT_final.pdf

Spin-off binnen en buiten sector

RWE/NUON/ENGIE

De grootschalige meestookproef met getorreficeerde pellets van Blackwood Technology toont aan dat het middels kwalitatief goede getorreficeerde pellets mogelijk is een aanzienlijk deel van kolen als brandstof te vervangen. Mits er voldoende stimuleringsmaatregelen zijn voor biomassa bij- en meestook, en als getorreficeerde pellet prijzen aantrekkelijk zijn overweegt RWE circa 15% getorreficeerde pellets mee te stoken op de AMER-9 centrale.

De grootschalige test vormt tevens een belangrijke mijlpaal voor het opwaarderen van laagwaardige biomassastromen in hoogwaardige energiedragers, die in eerste instantie voor meestook in elektriciteitscentrales zullen worden ingezet, en later als grondstof voor de productie van duurzame transportbrandstoffen en chemicaliën.

Blackwood Technology

Blackwood Technology B.V. ("Blackwood") heeft aangekondigd dat het de bewezen biomassa torrefactie technologie heeft verworven van Topell Energy B.V. ("Topell"). Deze transactie omvat al het intellectuele eigendom dat is gerelateerd aan Topell's torrefactie technologie en processen m.b.t. de productie van hoogwaardige vaste biomassa energiedragers vervaardigd uit houtachtige biomassa en agrarische residuen. De producten zijn bekend als getorreficeerde biomassa, black pellets, refined pellets en biocoal. Blackwood heeft tevens de staf van Topell overgenomen, die verantwoordelijk zijn voor verdere expansie en commercialisatie van de torrefactie technologie.

Biolake

Tijdens de torrefactie van agrarische residuen blijft de as samenstelling en hoeveelheid nagenoeg gelijk, verder onderzoek bij Biolake zal zich richten op verwijdering van componenten als kalium en chloor die problemen veroorzaken tijdens thermische conversieprocessen. Daarnaast zullen voedings- en controlesystemen van kleinschalige pellet kachels aangepast worden zodat deze geschikt worden voor getorreficeerde biomassa.

Torr-Coal

Het torreficeren van lokaal beschikbare houtachtige biomassa en agrarische residuen voor grootschalige meestook in kolengestookte elektriciteitscentrales zal in West Europa waarschijnlijk niet economisch haalbaar zijn vanwege de relatief hoge biomassakosten in vergelijking met fossiele brandstoffen. Het torreficeren van dergelijke stromen ligt meer voor de hand op locaties waar duurzame biomassa in ruime mate en goedkoper beschikbaar is. Het gebruik van lokaal beschikbare grondstoffen voor torrefactie in West Europa is alleen mogelijk voor goedkope grondstoffen, een van de mogelijkheden daarvoor vormt Solid Recovered Fuel (SRF), een fractie uit afval. Verkennende testen hebben aangetoond dat torrefactie van SRF haalbaar is op industriële schaal. Dit zal enige aanpassingen aan de torrefactie installatie vergen om getorreficeerd SRF te produceren van hoge kwaliteit; deze aanpassingen zullen in 2016 en 2017 worden gerealiseerd. Verder zullen alternatieve verdichtingstechnieken voor getorreficeerd materiaal worden onderzocht die in een verdere verlaging van de operationele kosten resulteren.

ECN

ECN heeft verschillende modificaties aan de pilot torrefactie plant in Petten doorgevoerd om het gebruik van alternatieve grondstoffen, zoals agrarische residuen mogelijk te maken. Een eerste succesvolle test is uitgevoerd in het kader van het EU FP7 project LogistEC, waarbij triticale residuen (een kruising van tarwe en rogge) zijn getorreficeerd. De ervaring die tijdens deze test is opgedaan zal verder worden uitgebouwd in het TKI-BBE project INVENT2. Het TKI-BBE project INVENT/Pre-treatment heeft veel bruikbare inzichten opgeleverd in de karakterisatie van getorreficeerde pellets gedurende iedere fase van de waardeketen: logistiek, opslag, malen, pneumatisch transport en conversie van getorreficeerde pellets. Deze kennis zal worden ingezet in huidige en toekomstige andere projecten, en breed worden uitgedragen onder belanghebbenden.

TU Delft

De testcampagne van getorreficeerde biomassa pellets en de corresponderende gepelleteerde biomassastromen in de circulerend wervelbed vergasser heeft veel interessante resultaten opgeleverd. Om het conversiegedrag van sommige getorreficeerde pellets te verklaren is aanvullend onderzoek nodig met betrekking tot de chemische (structurele koolhydraten, lignine samenstelling) en fysieke (oppervlakte, porositeit) eigenschappen van deze brandstof. Verder bestaat er de behoefte om meer conversiedata te genereren met vergassing van getorreficeerde biomassa pellets, daar er vrijwel geen informatie over bestaat in literatuur. Deze experimenten zouden tevens leiden tot verdere optimalisatie van de bedrijfscondities tijdens de vergassing van getorreficeerde biomassa. Tenslotte is het interessant om ook lokaal beschikbare getorreficeerde biomassa te testen ten aanzien van conversiegedrag tijdens vergassing, en dan met name agrarische residustromen.

Universiteit Twente

De Universiteit Twente beoogt de waardeketen waarbij torrefactie als voorbehandelingstap plaatsvindt bij de productie van bio-olie via pyrolyse verder te optimaliseren, om de olie opbrengst en kwaliteit verder te verhogen. De olie kan dan mogelijk worden gebruikt als brandstof in gas turbines. Daarnaast is het wellicht mogelijk om de char die tijdens het pyrolyse proces ontstaat als bodemverbeteraar toe te passen, omdat pyrolyse van getorreficeerd materiaal in een iets lagere olieopbrengst en hogere char opbrengst kent. Normaal wordt deze char gebruikt om door middel van verbranding het pyrolyse proces van warmte te voorzien, maar enig surplus kan voor andere doeleinden worden toegepast.

Publicatieoverzicht

De belangrijkste projectresultaten van het TKI-BBE INVENT-Pre-treatment project zijn gedissemineerd in een publieke toegankelijke workshop, die op 3 december 2015 heeft plaatsgevonden bij de AMER centrale in Geertruidenberg. De presentaties tijdens deze workshop zijn afwisselend in het Nederlands en het Engels gegeven, en zijn opgenomen in het volgende hoofdstuk van deze eindrapportage. Het programma van de workshop kende de volgende onderwerpen:

- “TKI-BBE project INVENT/Pretreatment – introduction” door Jaap Kiel (ECN/TU Delft)
- “Implementing redesign and production of torrefied pellets” door Maarten Herrebrugh (Blackwood Technology)
- “Handling and storage of torrefied pellets” door Pedro Abelha en Michiel Carbo (ECN)
- “Torrefaction co-firing test Amer 9” door Wim Willeboer en Emiel van Dorp (RWE)
- “Activiteiten Torr-Coal Groep t.b.v. TKI-BBE Invent 1 Project” door Jo Sluijsmans (Torr-Coal Group)
- “Pyrolysis of torrefied material: Experiences and implications for practice” door Alexander Louwes, Eddy Bramer en Gerrit Brem (Universiteit Twente)
- “Pilot-scale gasification of torrefied biomass: overview of the main results” door Wiebren de Jong, Manuela di Marcello en George Tsalidis (TU Delft)

De projectresultaten van het INVENT/Pre-treatment project zijn gepresenteerd op de onderstaande internationale wetenschappelijke conferenties en workshops. Wanneer publicaties niet online beschikbaar zijn, is het e-mailadres van de betreffende auteur vermeld die het paper en/of presentatie ter beschikking kan stellen.

- “Impact of torrefaction on biomass co-firing business case”, Maarten Herrebrugh (Blackwood Technology), 5th Biomass Pellets Trade & Power Conference, September 2014, Seoul. Presentatie op aanvraag via: info@blackwood-technology.com
- “Status of implementing torrefaction technology and experiences made with co-firing in coal power plants”, Maarten Herrebrugh (Blackwood Technology), 13th Pellets Industry Forum, October 2014, Berlin. Presentatie op aanvraag via: info@blackwood-technology.com
- “Determining and implementing the critical success factors of the process to achieve the safe, efficient and sustainable co-firing of biomass”, Emiel van Dorp, Wim Willeboer (RWE), World Biomass Power Markets, February 2015, Amsterdam.
- “Handling and storage of torrefied biomass pellets”, Michiel Carbo, Pedro Abelha, Mariusz Cieplik, Pieter Kroon, Carlos Mourão, Jaap Kiel (ECN), World Biomass Power Markets, February 2015, Amsterdam. <https://www.ecn.nl/publicaties/ECN-L--16-035>
- “Biomass torrefaction on pilot scale”, Pavlina Nanou, Michiel Carbo, Jaap Kiel (ECN), 23rd European Biomass Conference and Exhibition, June 2015, Vienna. <https://www.ecn.nl/publicaties/ECN-M--15-034> and <https://www.ecn.nl/publicaties/ECN-L--15-062>
- “The influence of torrefaction pre-treatment on flash pyrolysis kinetics: measurements using a novel cyclonic TGA device”, Alex Louwes, Eddy Bramer, Gert Brem (Universiteit Twente), 23rd European Biomass Conference and Exhibition, June 2015, Vienna. <http://www.etaflorence.it/proceedings/?detail=11547>
- “Handling, storage and large-scale co-firing of torrefied biomass pellets”, Michiel Carbo, Pedro Abelha, Mariusz Cieplik, Pieter Kroon, Carlos Mourão, Jaap Kiel (ECN), 5th IEA CCC Workshop on Cofiring Biomass with Coal, September 2015, Drax. <https://www.ecn.nl/publicaties/ECN-L--16-038>
- “Influence of dry torrefaction on tar formation and main gas composition during O₂/steam-blown circulating fluidized bed gasification of woody biomass”, George Tsalidis, Manuela di Marcello, Giacomo Spinelli, Wiebren de Jong, Jaap Kiel (TU Delft), International Conference on Thermochemical Conversion Science (TC Biomass), November 2015, Chicago.

http://www.gastechnology.org/tcbiomass/tcb2015/Tsalidis_George-Presentation-tcbiomass2015.pdf

- “Torrefied pellets for small/medium scale use: What do we know?”, Michiel Carbo (ECN), IBTC and IEA Bioenergy Task 40 Workshop on technical & handling requirements for torrefied biomass in small to medium applications, January 2016, Rotterdam. <https://www.ecn.nl/publicaties/ECN-L--16-035>
- “Biomass Torrefaction and co-firing: Experience and future perspectives from the Netherlands”, Edze Diemer, Michiel Carbo (ECN), Wim Willeboer (RWE), Jan Brouwers (Torr-Coal), May 2016, Tokyo. <http://www.rvo.nl/actueel/nieuws/nederlandse-biomassa-torrefactie-op-de-kaart-japan>
- “Flash pyrolysis conversion times and kinetics of torrefied biomass”, Alex Louwes, Eddy Bramer, Gert Brem (Universiteit Twente), 21st International Symposium on Analytical and Applied Pyrolysis, May 2016, Nancy. Presentatie op aanvraag via: A.C.Louwes@utwente.nl
- “Torrefied material: an attractive feed for flash pyrolysis?”, Alex Louwes, Eddy Bramer, Gert Brem (Universiteit Twente), 24th European Biomass Conference and Exhibition, June 2016, Amsterdam. <http://www.etaflorence.it/proceedings/>
- “Results from the Dutch TKI Pre-treatment Project: Industrial-scale co-firing trial with torrefied wood pellets”, Michiel Carbo, Jaap Kiel (ECN), Mark Bouwmeester, Wim Willeboer (RWE), 24th European Biomass Conference and Exhibition, June 2016, Amsterdam. <http://www.etaflorence.it/proceedings/>

De volgende wetenschappelijke publicaties in peer-review tijdschriften en boeken zijn verschenen:

- “Fuel pre-processing, pre-treatment and storage for co-firing of biomass and coal”, Michiel Carbo, Pedro Abelha, Mariusz Cieplik, Carlos Mourão, Jaap Kiel (ECN), in: “Fuel Flexible Energy Generation: Solid, Liquid and Gaseous Fuels,” ed. John Oakey, 2016, Woodhead Publishing (Elsevier), Cambridge (UK). <http://dx.doi.org/10.1016/B978-1-78242-378-2.00005-5>
- “Detailed mapping of the mass and energy balance of a continuous biomass torrefaction plant”, Pavlina Nanou, Michiel Carbo, Jaap Kiel (ECN), Biomass and Bioenergy, Volume 89, June 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biombioe.2016.02.012>
- Momenteel werken de TU Delft en de Universiteit Twente nog aan wetenschappelijke publicaties met betrekking tot dit project, zodra deze beschikbaar zijn zal deze sectie worden geüpdatet.

Naast bovenstaande presentaties en publicaties is naar aanleiding van de succesvolle meestookproef op de AMER-9 elektriciteitscentrale eveneens een persbericht verschenen dat door verschillende biomassa en energie gerelateerde media is overgenomen:

- https://www.essent.nl/content/overessent/actueel/archief/2014/succesvolle_proef_met_in_novatieve_duurzame_energiebron_in_amercentrale.html
- <https://www.ecn.nl/news/item/successful-test-with-innovative-renewable-energy-source-at-amer-power-plant/>
- <http://www.blackwood-technology.com/blackwood/wp-content/uploads/Topell-Energy-20140402-Successful-Test-Cofiring-at-Amer-power-plant.pdf>

Tenslotte heeft Blackwood Technology een bedrijfsfilm opgenomen naar aanleiding van de succesvolle productie van getorreficeerde snoei- en dunningshoutpellets, en de meestookproef van deze pellets op de Amer-9 elektriciteitscentrale.

Belangrijkste projectresultaten: Workshop presentaties

TKI-BBE project INVENT/Pretreatment – introduction

Jaap Kiel (ECN/TU Delft)



TKI-BBE project INVENT/Pretreatment – introduction

Presentatie resultaten van praktijk en onderzoek
Mini workshop TKIBE001011 INVENT pretreatment

Jaap Kiel

RWE, Geertruidenberg
3 december 2015

www.ecn.nl



Contents

- (Short) introduction torrefaction
- Torrefaction development status in 2012-2013
- Research questions underlying the INVENT/Pretreatment project
- TKI-BBE project INVENT/Pretreatment

Biomass – a difficult energy source

- Biomass is a difficult energy source in view of:
 - Logistics (handling, transport and feeding)
 - End-use (combustion, gasification, chemical processing)
- Difficult properties are:
 - Low energy density ($LHV_{ar} = 10-17 \text{ MJ/kg}$)
 - Hydrophilic
 - Vulnerable to biodegradation
 - Tenacious and fibrous (grinding difficult)
 - Poor “flowability”
 - Heterogeneous



Bioenergy – major challenge

- Biomass upgrading enables decoupling of biomass production and use in:
 - Place
 - Time
 - Scale
- By converting biomass into high-quality bioenergy carriers (solid, liquid or gas), that:
 - Better fit in (existing) logistic infrastructures
 - Allow efficient, reliable and cost effective conversion into electricity and heat, transport fuels and chemicals

Solve biomass related problems at the source

Torrefaction for upgrading biomass

- Process parameters
 - Temperature: 240-320 °C
 - Absence of oxygen



Tenacious and fibrous
LHV = 9 - 12 MJ/kg
Hydrophilic
Biodegradable
Heterogeneous

Torrefaction



Friable and less fibrous
LHV = 18 - 24 MJ/kg
Hydrophobic
Preserved
Homogeneous

Pelletisation



Bulk density = 650-800 kg/m³
Bulk energy density = 12 - 19 GJ/m³

5

Torrefied biomass properties in perspective

	Wood chips	Wood pellets	Torrefied wood pellets	Charcoal	Coal
Moisture content (wt%)	30 – 55	7 – 10	1 – 5	1 – 5	10 – 15
Calorific value (LHV, MJ/kg)	7 – 12	15 – 17	18 – 24	30 – 32	23 – 28
Volatile matter (wt% db)	75 – 85	75 – 85	55 – 80	10 – 12	15 – 30
Fixed carbon (wt% db)	16 – 25	16 – 25	20 – 40	85 – 87	50 – 55
Bulk density (kg/l)	0.20 – 0.30	0.55 – 0.65	0.65 – 0.80	0.18 – 0.24	0.80 – 0.85
Vol. energy density (GJ/m ³)	1.4 – 3.6	8 – 11	12 – 19	5.4 – 7.7	18 – 24
Hygroscopic properties	Hydrophilic	Hydrophilic	(Moderately) Hydrophobic	Hydrophobic	Hydrophobic
Biological degradation	Fast	Moderate	Slow	None	None
Milling requirements	Special	Special	Standard	Standard	Standard
Product consistency	Limited	High	High	High	High
Transport cost	High	Medium	Low	Medium	Low

Abbreviations:
db = dry basis
LHV = Lower Heating Value

sources: ECN (table, fig. 1, 3), Pixelio (fig. 2, 5), ofi (fig. 4)



5

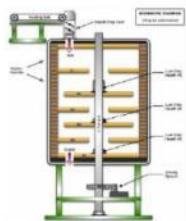


Claimed added value of torrefaction

- Torrefaction (+ densification) enables energy-efficient (>90%) upgrading of biomass into *commodity solid biofuels* with favourable properties in view of logistics and end-use
- Favourable properties include high energy density, better water resistance, slower biodegradation, good grindability, good “flowability”, homogenised material properties
- Therefore, cost savings in handling and transport, advanced trading schemes (futures) possible, capex savings at end-user (e.g. outside storage, direct co-milling and co-feeding), higher co-firing percentages and enabling technology for gasification-based biofuels and biochemicals production
- Applicable to a wide range of lignocellulosic biomass feedstock, even mixed waste streams



Torrefaction technology – reactor concepts



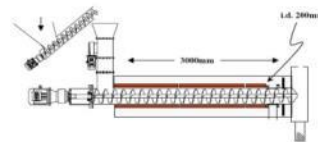
Multiple hearth furnace



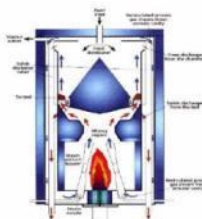
Rotary drum reactor



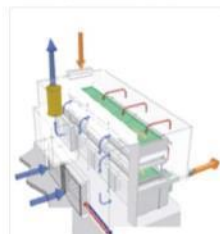
Moving bed reactor



Screw conveyor reactor



Torbed reactor



Oscillating belt reactor



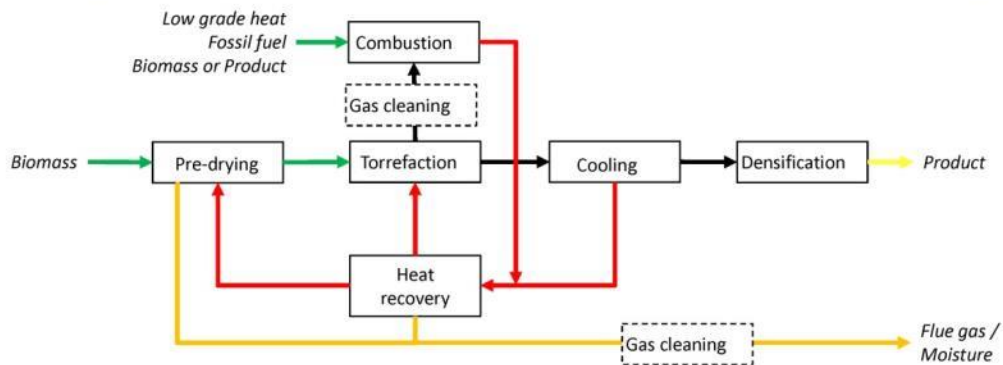
TurboDryer



Microwave reactor



Torrefaction technology – process design



- Many heat integration options:
 - Torrefaction and pre-drying
 - Use of low-grade heat from other industrial processes
 - Torrefaction: indirect heating or direct heating by recycling flue gas or torrefaction gas

9



Torrefaction development status 2013 (1)

- Many technology developers (>50) due to strong market pull
- Often application of reactor technology proven for other applications (drying, pyrolysis, combustion)
- Good process control is essential for good performance and product quality control (temperature, residence time, mixing, condensables in torrefaction gas)
- High energy efficiency is crucial in view of overall cost and sustainability; overall energy efficiency is strongly dependent on heat integration design
- In general: torrefaction technology in demonstration phase with >10 demo-units and first commercial units in operation and under construction



Torrefaction development status 2013 (2)

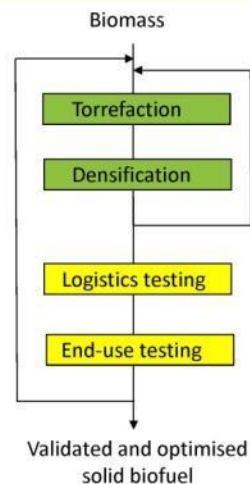
- Focus in demo/industrial plants on clean wood chips as a feedstock; need for broadening the feedstock base
- Remaining questions concerning safety; in particular temperature excursions in the torrefaction process itself and in product storage (self-heating), and explosion risks
- Need for (large-scale) product quality assessment, optimisation and standardisation
 - Address torrefaction *and* densification
 - Meet logistics and end-user requirements
- Focus on co-firing in pulverised-coal boilers; desire to assess the prospects of torrefaction for other applications / value chains (e.g., entrained-flow gasification, small-scale combustion and gasification and drop-in fuel in refineries via pyrolysis)

11

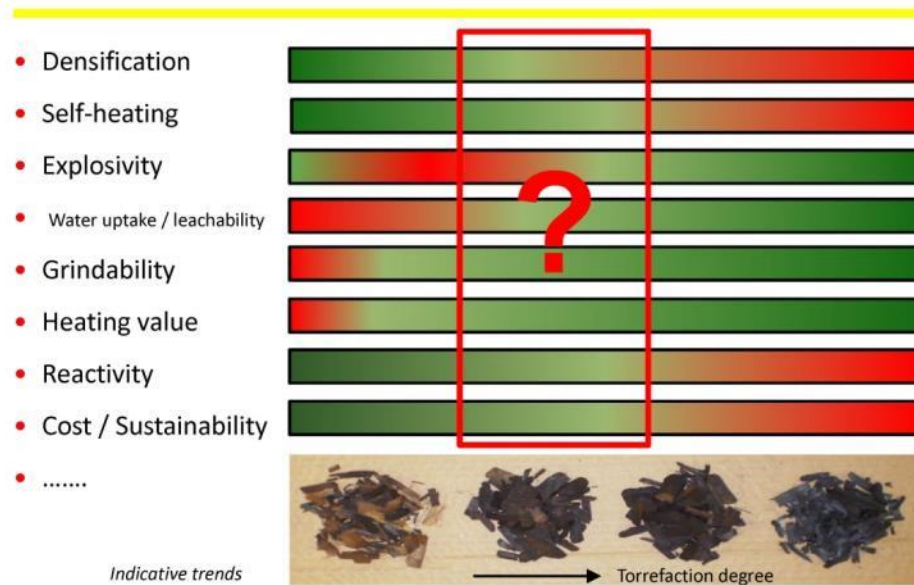


Product quality optimisation

- Pilot, demo and first commercial plants produce tonne-scale batches allowing representative logistics and end-use performance testing by industry
- Product quality optimisation requires a systematic, iterative approach (2 iterative loops)



Impact of torrefaction degree



TKI-BBE project INVENT/Pretreatment

- Project start: 18 April 2013
- Project end: 31 December 2015

Topell Energy



BIOLAKE

Universiteit Twente
de ondernemende universiteit

ECN

TU Delft
Delft University of Technology

GDF SUEZ

RWE
The energy to lead

NLON
Part of
VATTENFALL

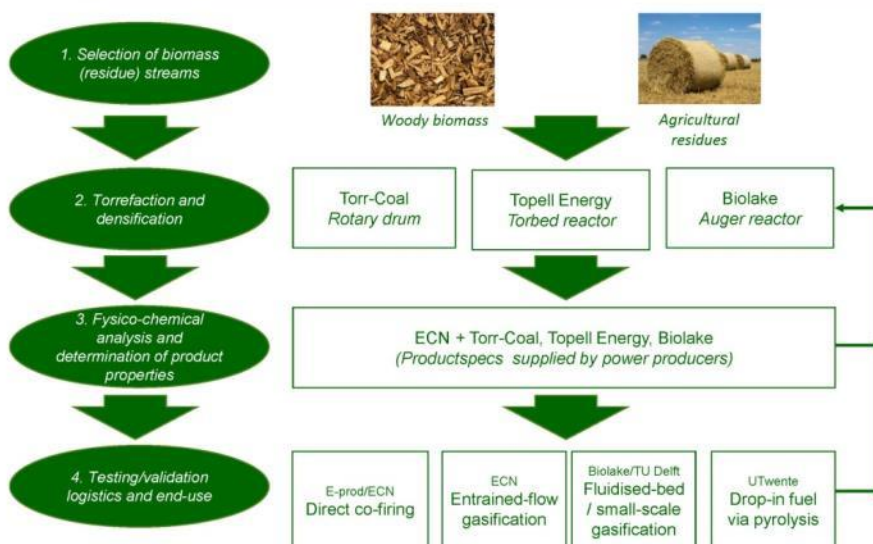
TKI-BBE project INVENT/Pretreatment

- Merger of two proposals
 - Voorbewerking (Pretreatment)
 - Industriële en decentrale VERduurzaming door iNnovatieve biomassa Torrefactie (INVENT)
- Aim

Bevordering van de continuïteit van industriële torrefactie-initiatieven en succesvolle (verdere) marktintroductie van torrefactietechnologie en –producten. In het bijzonder betreft dit de industriële torrefactie-initiatieven van Topell, Torr-Coal en Biolake.
- Specific aims
 - In kaart brengen van veiligheidsrisico's gerelateerd aan het exotherme karakter van torrefactie en de pyrofore eigenschappen van het product en nagaan hoe deze risico's bij de productie en in de logistiek kunnen worden ondervangen
 - Optimalisatie en standaardisatie van de productkwaliteit voor de momenteel toegepaste biomassa inputstromen, gericht op de eindgebruik opties "meestook in poederkoolcentrales", "productie van vloeibare biobrandstoffen en biochemicalïen" en "kleinschalige, decentrale productie van warmte (en elektriciteit)"

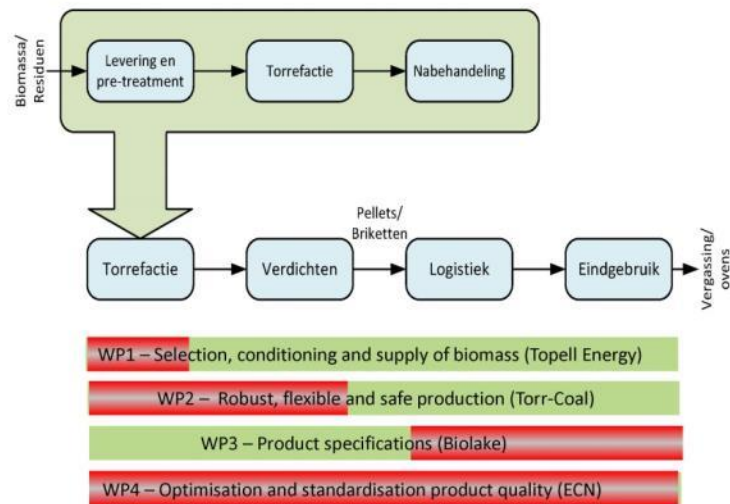
15

Project scope



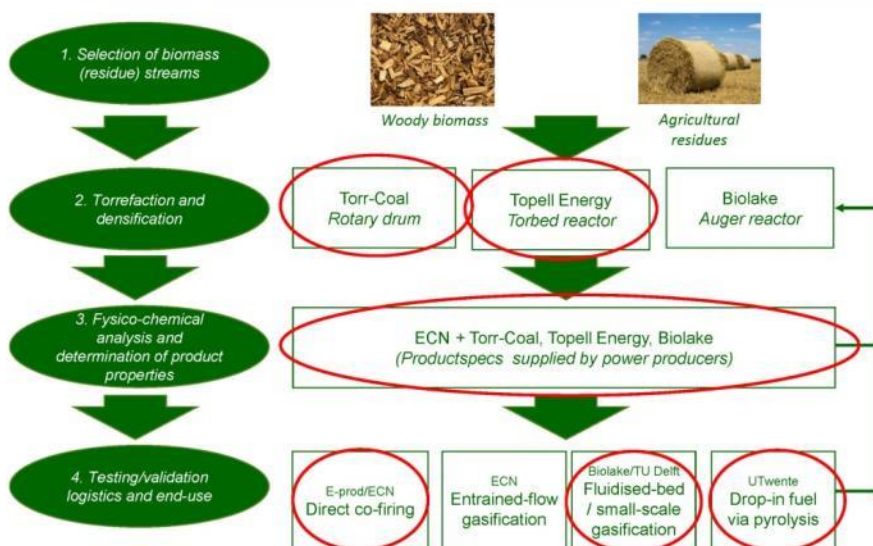
16

Approach



17

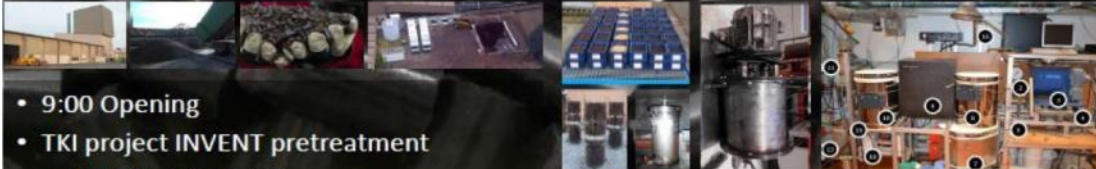
Project scope



18

Mini Workshop TKIBE001011 INVENT Pretreatment

Presentatie resultaten van praktijk en onderzoek – Geertruidenberg – 2015.12.03



- 9:00 Opening
- TKI project INVENT pretreatment
 - Aanleiding TKI project
 - Status pretreatment voor TKI project
 - Resultaten uit TKI project
- Grootschalige meestook proef
 - Grootschalig produceren van torrefied pellets
 - Topell (Maarten Herrebrugh)
 - Opslag van torrefied pellets
 - ECN (Michiel Carbo)
 - Meestoken, grootschalig, van torrefied pellets
 - Essent (Wim Willeboer)
- Torrefactieproces & verdichtingstechniek
 - TorrCoal (Jo Sluijsmans)
- Universitair onderzoek
 - Pyrolyse van getorreficeerde biomassa
 - UT (Alexander Louwes)
 - Results obtained with our pilot scale reactor
 - TUD (Manuela di Marcello)
- Way forward (discussion)
 - Wat staat er (technisch) nog open? Knelpunten
 - Wat is er policy wise nodig voor doorbraak?
 - Strategie betreffende presentaties international events
- 12:00 Sluiting



Thank you for your attention!

Publications: www.ecn.nl/publications
Fuel composition database: www.phyllis.nl

For more information, please contact:

Jaap Kiel
Programme Development Manager
Biomass



T +31 88 515 45 90
F +31 88 515 84 88
kiel@ecn.nl

P.O. Box 1, 1755 ZG PETTEN
The Netherlands
www.ecn.nl



Implementing redesign and production of torrefied pellets

Maarten Herrebrugh (Blackwood Technology)



Implementing redesign and production of torrefied pellets

Workshop TKI INVENT Pretreatment
Geertruidenberg, 3 December 2015



Project background



Status end of 2012

- Topell Energy had built the first industrial scale torrefaction plant in the world (2010)
- In 2011-12 the first torrefied pellets were produced, but Topell was unable to get the plant really up and running. No "proof-of-technology" had been achieved
- Dutch utilities had been testing torrefied pellets as a replacement for coal in their power plants. Those tests were small scale and dust issues caused problems in the logistics handling
- Topell Energy together with ECN and three utilities, GDF SUEZ, RWE Essent and Vattenfall Nuon, have partnered for this TKI BBE project





Project goals

- Proof Topell Energy's torrefaction technology at industrial scale
- Proof that torrefied biofuel can be a replacement for fossil coal in power plants and that torrefied pellets have advantages over regular wood pellets



Topell Energy's contribution to the project

- Implement a redesign into Topell Energy's commercial scale demo plant in Duiven (Q1-2 2013)
- Commissioning and testing the redesign (Q3 2013)
- Production of 2,500 tons of torrefied pellets for co-firing test at the Amer 9 power plant in Geertruidenberg (Q4 2013)



At the start of the project the main issues with the production of torrefied pellets in Duiven were ...

- Topell Energy constructed Duiven Plant in 2010 and started-up the plant in 2011-2012. Although production runs were made, the plant could not be operated in stable mode and not at its design output
- Main causes that were identified:
 - Wrong design assumptions which concerned torrefaction temperatures
 - Strong coupling of hydrodynamic- and heat balance of torrefaction reactors
 - Instable combustion behavior causing fouling and temperature swings
- The pelletizing system was not able to produce good quality pellets. The main problem was low durability and high fines content, which resulted in dust issues during logistics handling



In the redesign the following items were implemented

- The old wood-combustion unit was removed from the system and replaced by a gas fired combustion unit especially designed to combust in dual fuel mode (natural gas and torrgas/dust)
- Heat exchange network was modified to have new control variables to decouple heat balance and hydrodynamic regimes of reactors
- Reactor temperatures were chosen in the typical torrefaction operating window of 250 to 300 C
 - *Additional heat exchange capacity was introduced to achieve this*
 - *Reactors were modified to allow more flexibility in operation towards temperature and capacity*
- The pelletizing island was modified
- The original control set-up of the plant was completely reconfigured



Impressions of redesign implementation Q2 2013



Project outcomes

- Re-start of the plant took a few weeks before plant was running at 5 ton/hr production
- All modifications together resulted in a plant that can be operated stable and with very accurate temperature control of the reactor system
- After 2 months the combination torrefaction + pelletization was under control and resulted in a homogenous product that meets the required quality standards
- A volume of 2,500 ton was produced for co-firing trials at the Amer 9 power station. The station could run the used burners at 25% co-firing rate without any issues in logistics and combustion
- The period of operation (TKI window) delivered many insights in how to further improve the technology. The project delivered very relevant information to offer the technology on a commercial basis up to 10 ton/hr single-line production

Succesfull large scale co-firing test proves benefits of Topell Energy's torrefied pellets

Background on co-firing test	Test results
• Successful large scale co-firing test in Q4 2013 • Partners included ECN and utility companies RWE/Essent, Vattenfall/Nuon and GDF SUEZ • Total of 2,300 tons were co-fired at a 5% - 25% co-firing rate⁽¹⁾ at the Amer power plant of RWE/Essent in the Netherlands 	▶ Confirmation of superior characteristics of torrefied pellets ▶ No adverse effect on milling and combustion detected ▶ Low dust formation ▶ Torrefied biomass can replace coal in power plants 

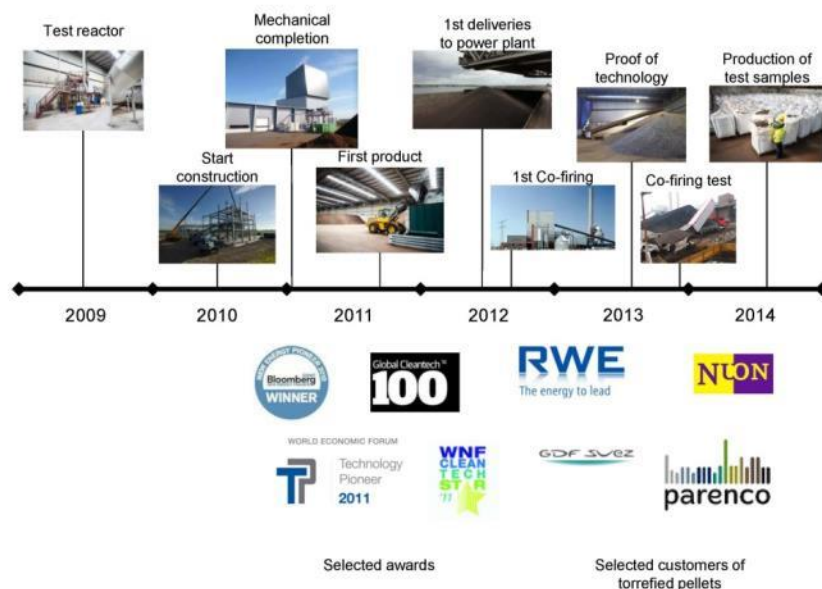
(1) Torrefied pellets were co-milled at one coal mill replacing 5-25% fossil coal

Public announcements and presentations

- The TKI BBE consortium made a press release announcing the successful co-firing of torrefied biofuel at the Amer 9 power plant
- Topell Energy has made a corporate movie about the production in Duiven and the co-firing at the Amer 9 power plant
- Results of the project have been presented at two biomass conferences in 2014 (Seoul and Berlin)



From lab scale pilot installation to large scale co-firing of torrefied pellets in 5 years



Blackwood Technology has acquired torrefaction technology from Topell Energy



26 November 2015

Blackwood has acquired leading biomass torrefaction technology from Topell

Blackwood Technology B.V. ("Blackwood") announces that it has acquired the leading technology for the torrefaction of biomass from Topell Energy B.V. ("Topell").

This transaction involves all intellectual property pertaining to Topell's proprietary technology and processes on the production of high-value solid biofuel from woody biomass and agro residues. The latter is commonly referred to as torrefied biomass, black pellets, refined pellets or biocoal.

Blackwood is incorporated by former key staff members of Topell, who will expand and commercialize this proven technology further.

The newly acquired technology was developed by Topell and has been proven on an industrial scale. This proof included a large co-firing test in 2013, during which torrefied pellets produced with Topell's technology were co-fired at the coal-fired Amer power station in the Netherlands for a period of three months.

Handling and storage of torrefied pellets

Pedro Abelha en Michiel Carbo (ECN)



TKI-BBE project INVENT/Pretreatment

Workshop – Project results presentation
RWE – Amercentrale, Geertruidenberg
3rd December 2015

www.ecn.nl



On going research topics

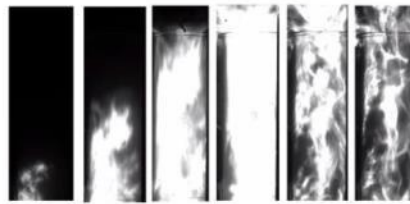
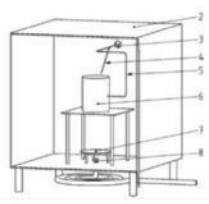
- ECN in-house characterization
- **Logistics, storage and safety**
- Grindability, pneumatic feeding and conversion





On going research topics – safety handling

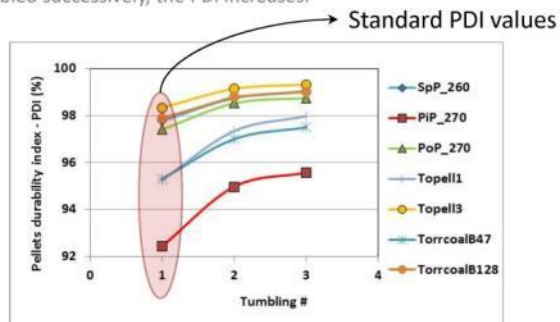
- Minimum ignition energy; Minimum explosible concentration
- Flame front velocity
- Self-ignition temperature; Minimum ignition temperature
- Impacts of outdoor storage on pellets



Tumbling tests – Pellets durability

Tumbling tests:

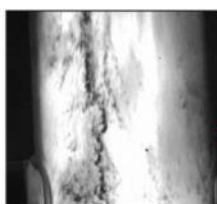
- pellet durability tests accordingly with the EN 15210 European Standard, which considers particles below 3.15 mm as fines. Then, the fines can be sieved for further characterization.
- The mass percentage of remaining pellets, after tumbling for 10 min at 50 rot/min, gives the pellet durability index (PDI).
- If the remaining pellets are tumbled successively, the PDI increases.



Explosivity tests – Minimum Ignition Energy (MIE), and more: MEC, FFV

MIE determined according with European Standard EN 13821:2002

- Real powder sample, or dust fraction < 63 μm when particle size is unknown.
- Size distribution and particle shape should be presented.
- Dried samples at 75 $^{\circ}\text{C}$.
- Minimum of 5 concentrations tested.
- Decreasing energy level until no ignition (1-1000 mJ).
- Use different delay times between dispersion and spark discharge (Induction ON/OFF).



Successful ignition!!!

No ignition if the sample fails to ignite after 10 attempts!!!

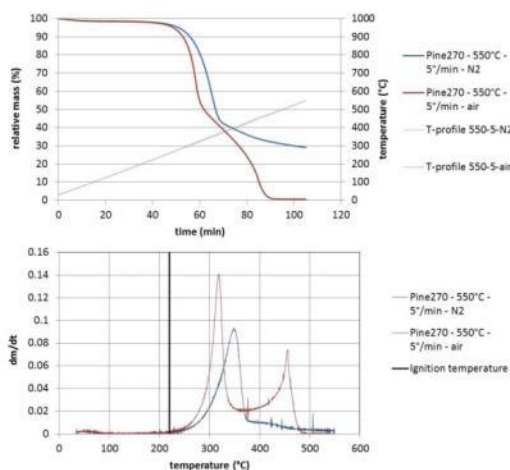


Ignition temperature - TGA



Ignition temperature determined using Thermogravimetric analysis (TGA)

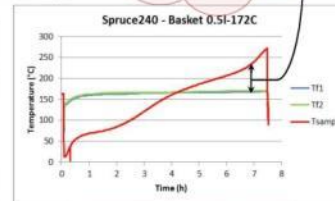
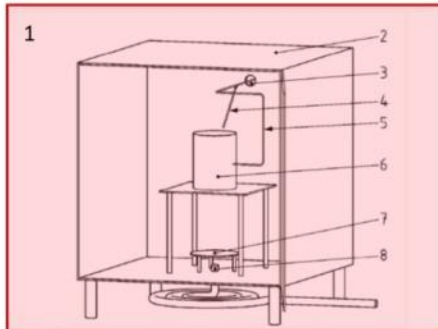
- The material is a powder sample ($d_p < 63 \mu\text{m}$).
- Temperature program from 30 to 550 $^{\circ}\text{C}$, constant heating rate of 5 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$.
- Mass loss measured and compared in both inert (N_2) and oxidizing (air) atmosphere conditions.
- The moment when both curves start to deviate from each other denotes the triggering of the oxidizing reactions and the temperature value is recorded and defined as the ignition temperature.



Self-heating temperature

Following norm EN 15188:2007(E) "basket method":

- | | |
|---|--|
| 1 heating oven | 5 thermocouple for measuring sample temperature |
| 2 inner chamber (volume ≈ 50 l) | 6 wire gauze cylinder with dust sample |
| 3 air outlet, diameter ≈ 10 mm | 7 deflector |
| 4 thermocouple for measuring oven temperature | 8 air inlet (preheated air, adjustable flow rate), diameter ≈ 8 mm |



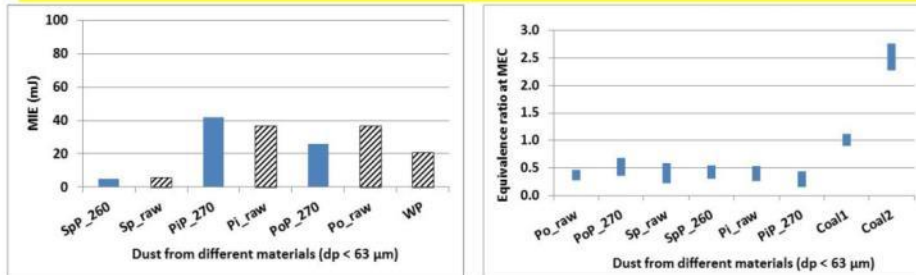
By testing at several constant oven temperatures, the self-heating temperature is reached when the sample temperature surpasses 60 °C over the oven temperature, within 24h!

Outdoor storage tests

Exposition during 84 days (22nd January to 16th April 2015):



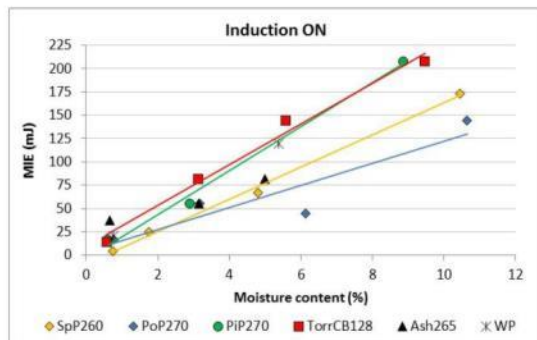
Results – Explosion sensitivity (MIE & MEC)



- Dusts from torrefied biomass pellets have MIE values in the same range as its raw biomass materials dust. Depending on the material the MIE can be lower than for WP dust;
- Dusts from torrefied biomass pellets have similar MEC as their raw material dusts;

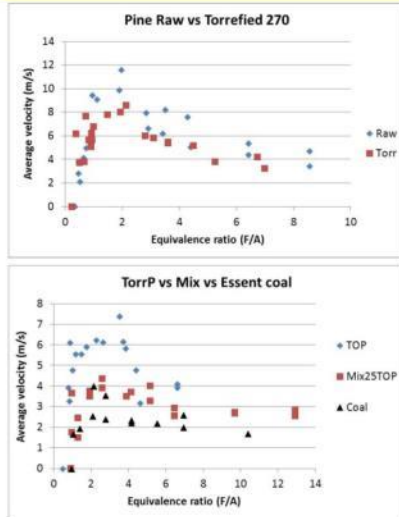
Results –moisture influence on MIE

MIE vs Moisture:

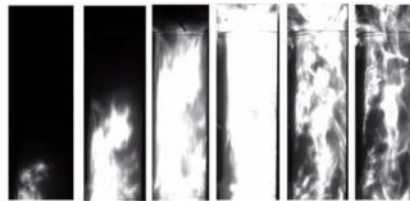


- Even with 10% of moisture content, the samples are still ignitable but the MIE increases by a factor of 8-40.
- At moist > 10% → all samples presented a 100 < MIE < 300 mJ.
- For white wood pellets dust (10%moist) it was not possible to determine MIE due to a build up layer of material around the electrodes preventing spark to occur.

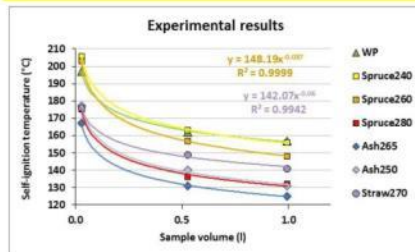
Results – Explosion severity flame front velocity (FFV)



- MEC values should be corrected based on the observations of the particles real dispersion;
- Torrefied materials explodes with flame velocities equal or lower than raw materials;
- A 25%(wt) mixture of torrefied material with coal seems to slightly increase the velocity of the flame front of the coal material;
- In this case, the maximum flame velocity of the mixture decreased by a factor of 2 when compared to the torrefied material.

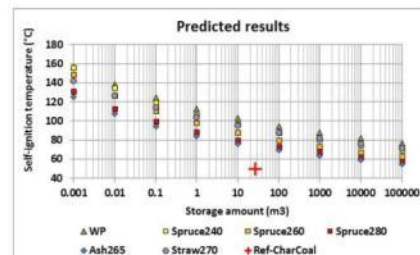


Results – Self ignition temperature



- Self-ignition temperatures are dependent on the pellets nature (type of biomass)
- Torrefied pellets showed self-ignition temperatures $\leq$ white wood pellets (WP)
- Higher torrefaction temperatures promoted lower self-ignition temperatures

- Accordingly to the "Recommendations on the transport of Dangerous Goods" of the UN (ST/SG/AC.10/11/Rev.5, 2009): substances with a $T_{SI} > 50^\circ\text{C}$ for 27 m^3 should not be classified in division 4.2
- For volumes of 27 m^3 the predicted $T_{SI} > 50^\circ\text{C}$ for all the samples tested!!!



Results – outdoor tests

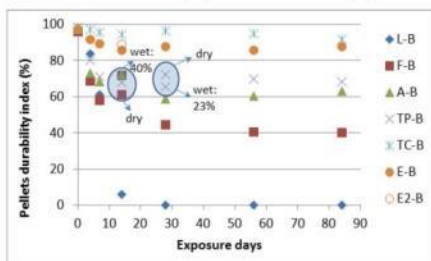
Uncovered storage (B)

- The decrease in the bulk density is related to time degradation of the pellets by swelling and due to the formation of cracks and fragments that were verified. This is caused mainly by the absorption of rainwater and constant drying/wetting cycles.
- It seems that during drying, the pellets can recover part of the original shape by moderate shrinking of the opened cracks. **Not the case of white wood pellets.**



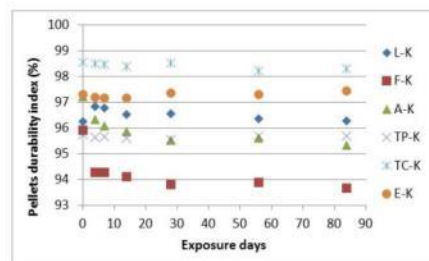
Results – outdoor tests

PDI: Uncovered (B) vs Covered (K)



Uncovered storage (B)

- In the first 15 days the decrease was faster (WP reached 6% - pellets completely destroyed).
- The PDI stabilized after 1 month. TC and E ended with roughly 90%.
- The PDI values depend on the moisture at the moment of the test. If the moist. > 30%, then the durability value is higher due to the "cake effect" during tumbling. If the moist. < 30%, drier samples => higher PDI values.



Covered storage (K)

- The pellet samples stored covered showed minor influences on the PDI.
- The F and A pellets presented slightly decreasing durability



Conclusions

- The explosivity sensitivity of biomass dusts are only slightly improved by moderate torrefaction processes and is strongly dependent on:
 - Materials nature: spruce like samples showed the lower MIE values (< 10 mJ).
 - Moisture: at moist $\approx 10\%$ $\rightarrow$ all samples presented a MIE between 100-300 mJ.
 - Particle diameter: MIE is higher than 1000 mJ for biomass particle sizes $63 < dp < 125$ μm . Therefore, the presence of a significant tail of lower size particles (< 63 μm) will define the MIE.
- Measuring flame front velocity (FFV) gave a good idea in comparing different dust material explosion severity.
 - Dusts from torrefied biomass pellets presented lower FFV compared to “white wood” dust, specially when comparing higher dp, moisture contents and temperatures (the “standard conditions” do not represent real case scenarios).



Conclusions

- The ignition temperature of the torrefied wood dusts is higher than for the raw wood dusts and increases with the torrefaction degree (the dust becomes less reactive).
- The self-heating temperature seems to be decreased with the torrefaction process. However, depending on the wood species and torrefaction degrees it is possible to produce good quality torrefied pellets to be safely transported.



Conclusions

- White wood pellets cannot be stored outside.
- Direct impact of rainwater decreased the quality of the torrefied pellets, depending the extend on their original hydrophobicity, density and strength.
 - The first layer of pellets is the most affected (20 cm). It is estimated a depth of at least 0.5 m inside the pile before the torrefied pellets are completely safe from rainfall.
 - The best torrefied pellets could maintain a moisture content lower than 15% at the end (84 days);
 - The better torrefied materials shown a density just below 600 kg/m³ and a PDI of 90%, or higher, at the end (84 days).
- Torrefied wood pellet materials with high PDI, density and hydrophobicity shown to be suitable materials to be stored in outdoor conditions.



Thank you for your attention

A decorative graphic at the bottom of the slide featuring overlapping geometric shapes in yellow, green, and grey, with a bright sunburst effect in the center.

www.ecn.nl

Torrefaction co-firing test Amer 9

Wim Willeboer en Emiel van Dorp (RWE)

Torrefaction co-firing test Amer 9
Test results TKI project Q4 2013

Wim Willeboer
Emiel van Dorp
RWE Generation SE



RWE
The energy to lead

GDF SUEZ

NUON
Part of
VATTENFALL

ECN

Topell Energy

RWE Generation 18/03/2014 PAGE 1

Contents

- > Summary
- > Test setup
- > Tested fuel mix
- > Test results
 - Logistics
 - Milling
 - Combustion & by-products

Appendix – Earlier test results Nuon and GDF SUEZ

Summary of the co-firing test 2013

- > Between 01/11/2013 and 30/12/2013, 2,300 tons of Topell pellets have been co-fired at Amer unit 9.
- > Initially, no dust formation problems occurred at the Amer site. Later, dust levels increased during unloading containers. This problem was solved by Topell.
- > Co-milling tests took place in various percentages (5-10-25% on one of the six mills). At all co-milling levels, no significant effect on the milling process was detected.
- > Co-firing in the boiler was around 1-2-4%.
- > Only during the 25% co-milling test (overall co-firing 4%), light burner slagging was detected. Also a slight trend to a higher level of carbon in fly ash was noticed. However, the test period was too short to draw definite conclusions from this.
- > The whole process in the power plant proved to be stable in all test steps (however, the 25% co-milling period was short).



RWE Generation 18/03/2014 PAGE 3

Test results: pellet production

- > Pellets for the TKI co-firing test were produced at Topell Energy's commercial scale demonstration plant in Duiven.
- > Pellets have been produced in three production runs between 15/10/2013 and 22/12/2013 at production levels of 4-6 tons/hr.
- > Two different feedstocks have been used: 100% poplar chips and forest residues containing a mixture of different species, including bark and leaves. Most of the pellets were produced from forest residues.
- > In the last production run small quantities of binder (starch) have been used in the pellet production. All other pellets were produced without binder.



RWE Generation 18/03/2014 PAGE 4

Test setup

- > During the test, the secondary fuel was blended with coal via a dedicated biomass blending facility:



- > Secondary fuel (Topell pellets) was unloaded via trucks.
- > One or two times, pellets were stored outside for a couple of days.
- > The mixture of coal and secondary fuel was bunkered to Amer unit 9 into bunker 40 (feeding mill 40, which is one of six mills) from October 22 to December 30, 2013.

Tested fuel mix

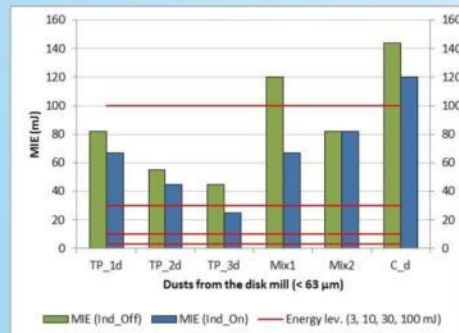
- > During the test, the Topell pellets have been processed at several co-milling percentages with coal.

Test	Topell pellets on mill 40	Topell pellets in furnace	Coal	White wood pellets	Wood gas	Bentonite	Coal HGI	Coal volatiles	Coal moisture
base	0%	0%	76%	18 %	5 %	1%	49-52	31-33%	8-12%
A	4-6%	1%	75%	18 %	5 %	1%	43-49	32-36%	8-14%
B*	9-11%	2%	74%	18 %	5 %	1%	43-52	31-36%	8-13%
C*	23-25%	4%	72%	18 %	5 %	1%	52	31%	8%

- > Topell pellets contained 68-70% volatiles and 7.5-9% moisture.
- > An earlier conducted risk assessment showed no additional risks and measurements for lower co-milling percentages ($\leq 10\%$).
- > Additional explosion data have been determined by lab testing.

Minimum Ignition Energy (MIE)

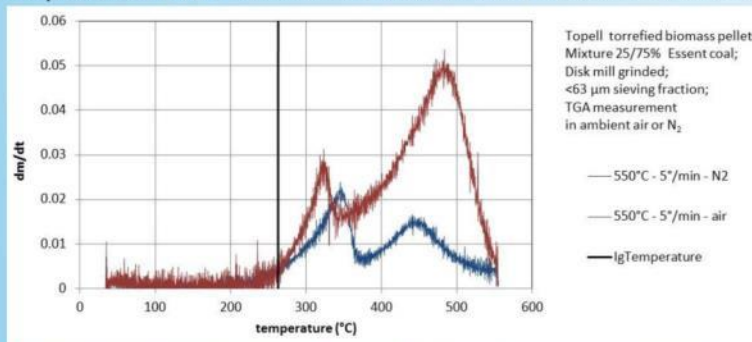
- > Via explosivity analysis, the minimum ignition energy (MIE) of two 25% Topell pellets/75% coal mixtures have been determined at 120 and 82 mJ without inductance, and 67 and 82 mJ with inductance.



- > The MIE of the reference coal was 144/120 mJ (Ind. Off/On).
- > The MIE of Topell pellets ranged from 45-82/25-67 mJ (Ind. Off/On).

Ignition Temperatures (TGA)

- > Via thermogravimetric analysis, the ignition temperature of a 25% Topell pellets/75% coal mixture has been determined at $263 \pm 5^\circ\text{C}$.



- > The ignition temperature of the reference coal was $293 \pm 5^\circ\text{C}$
 - In the milling process, no additional measures were required

*Ignition temperature of Topell pellets was $211-220 \pm 5^\circ\text{C}$

ECN lab testing results summary

> MIE and Ignition Temperature (IgT) for $dp < 63 \mu m$

Material Origin	Sample processing	Sample Code	IgT (° C)	* MIE (mJ) Induction Off/ON
Topell batch 1	Cutter mill	TP_1c	$214 \pm 5^\circ \text{ C}$	67 / 37
Topell batch 1	Disc mill	TP_1d	$216 \pm 5^\circ \text{ C}$	82 / 67
Topell batch 1	Dust after tumbling	TP_1t	$211 \pm 5^\circ \text{ C}$	117 / 60
Topell batch 2	Disc mill	TP_2d	$220 \pm 5^\circ \text{ C}$	55 / 45
Topell batch 3	Disc mill	TP_3d	$216 \pm 5^\circ \text{ C}$	45 / 25
Essent Coal	Disc mill	C_d	$293 \pm 5^\circ \text{ C}$	144 / 120
Mixture 1	75% C_d + 25% TP_2d	Mix1	$257 \pm 5^\circ \text{ C}$	120 / 67
Mixture 2	75% C_d + 25% TP_3d	Mix2	$263 \pm 5^\circ \text{ C}$	82 / 82
Topell Binder	Disc mill	TB_d	** NA	>1000 / 250

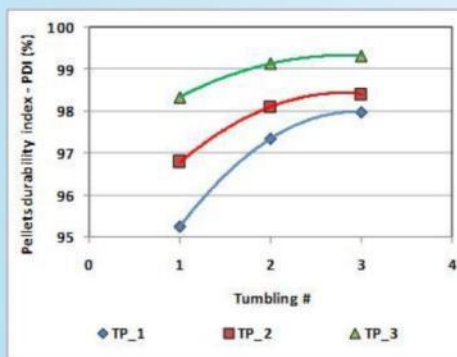
Notes:

* Samples dried at 85°C ;

** NA – Not Applicable (the sample did not present any deviation between oxidizing and inert atmosphere)

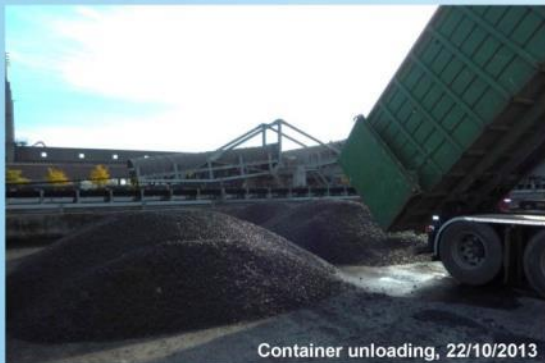
ECN results summary

- > The durability (PDI) Topell pellets was: 95.3, 96.8, 98.3% for samples 1, 2 and 3, respectively.
- > Between batch 1 and 2 Topell made some changes in the torrefaction and pelletization processes and optimized the moisture content; Topell used a binder in batch 3.
- > The PDI increased with the number of tumbler runs. After the weaker parts and sharp edges of the pellets break off, the fines will mainly be produced by attrition between the pellets, which generates less dust.



Test results: logistics

- > October 22, a logistics test was conducted to determine dust release during container/truck unloading.
- > Dust formation was low and did not cause higher filter cleaning frequency or whatsoever; this gave green light for testing.
- > Later, dust formation got worse. It was decided to postpone testing for a few days to solve dust problems at Topell.

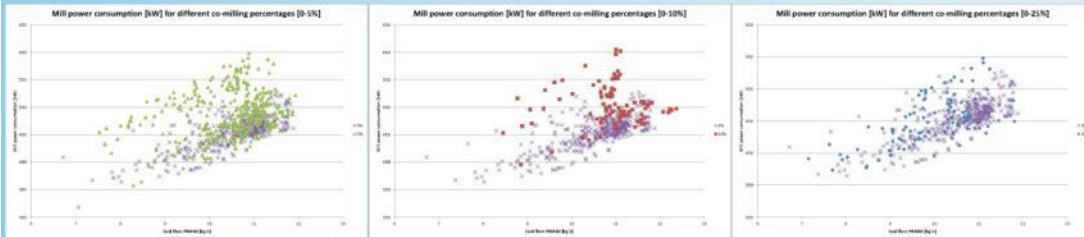


Test results: logistics

- > Unloading could take place via a dedicated hopper up to a co-milling percentage of ~10%.
- > For unloading at higher co-milling percentages, dedicated trucks were unloaded directly on the conveyor belt.
- > No signs of increased fouling of coal conveyor belts and gravimetric feeders have been reported during the tests.
- > Coal/Topell pellet mixture did not introduce additional problems during bunkering and feeding.

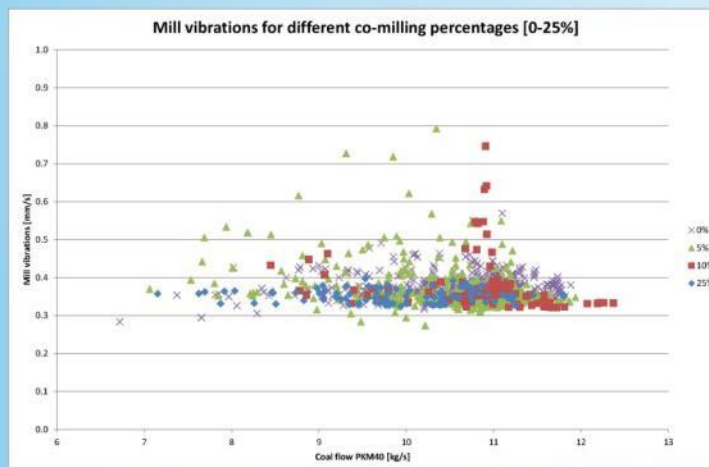
Test results: co-milling

- > During all co-milling tests, milling process proved to be stable.
- > At increasing co-milling percentage, no significant effect on power consumption could be found (effect of coal blend is dominant):



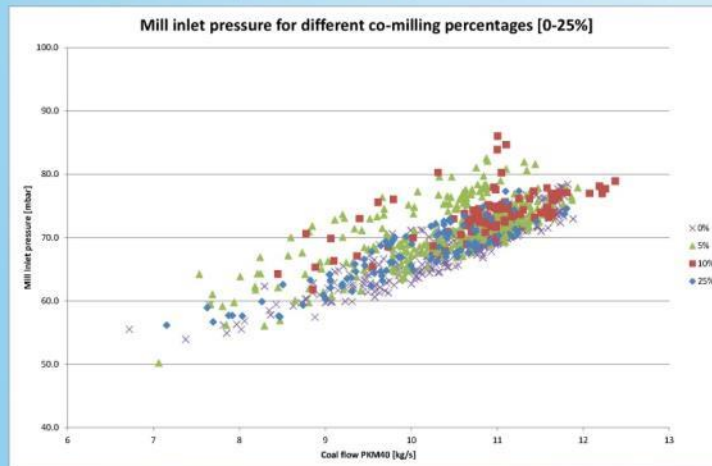
Test results: co-milling

- > Increasing the amount of Topell pellets did not have a significant effect on mill vibrations:



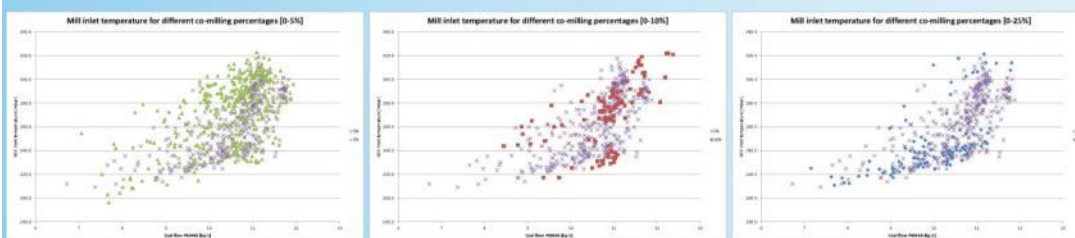
Test results: co-milling

- > Increasing the amount of Topell pellets did not significantly increase the mill pressure drop:



Test results: co-milling

- > Increasing the amount of Topell pellets did not have a significant effect on mill inlet temperature (coal moisture effect is dominant):



Test results: combustion & by-products

- > During the tests, no flame stability issues have been detected.
- > At the end of the 4% test (25% on layer 40), light slagging was found at one of the burners of layer 40. Flame position at layer 40 was close to the burner tip (probably due to higher volatile content of the fuel mix).
- > At 25% co-milling (4% overall co-firing), the average amount of carbon in fly-ash is slightly higher than during tests at a lower percentage:

Test	Min	Max	Average
0%	1.5%	3.0%	2.3%
5%	1.0%	6.2%	1.9%
10%	0.9%	2.7%	1.7%
25%	2.5%	3.1%	2.8%

- > From this data it is hard to draw conclusions on combustion effects

Possible next steps

If funding would be available, possible next steps are:

- > Develop and test hydrophobic characteristics during storage of torrefied pellets, resulting in the possibility to handle and consume them completely via coal logistics of power plants.
- > Increase co-milling & co-firing percentage. Can one burner run on 100% torrefied pellets?
- > Larger volume test to investigate combustion behaviour over longer period of time.
- > Tests with torrefied pellets from other feedstock material
- > Co-firing tests at other coal power plants (e.g. Hemweg).

Activiteiten Torr-Coal Groep t.b.v. TKI-BBE Invent 1 Project

Jo Sluijsmans (Torr-Coal Group)

TORR-COAL GROUP



Activiteiten Torr-Coal Groep t.b.v. TKI-BBE Invent 1 Project

- Torrefactie gemengde houtchips op industriële schaal (continue productie; drie ploegendienst).
- Verdichten van getorreficeerde houtchips (pellet productie op pilot schaal; briketteer proeven bij derden).
- Verwerkingsproeven bij derden van getorreficeerde houtchips in pellet en poedervorm.
- Levering van getorreficeerde houtchips in pellet en poedervorm t.b.v. bepaling explosie, pyrofore, hydrofobe en uitloog eigenschappen.
- Levering van getorreficeerde houtchips in pellet en poedervorm t.b.v. pyrolyse en vergassingsproeven.
- Torrefactie proeven met Solid Recovered Fuel (SRF) in een industriële installatie.
- Info en data aangereikt t.b.v. standaardisatie getorreficeerde houtchips (ISO-DIS 17225-8).

1

TORR-COAL GROUP



Torrefactie gemengde houtchips (loof / naald hout) op industriële schaal

- 15000 ton poeder (< 2 mm.; gemid. 0,25 mm.) periode 2011 – 2013
- 1000 ton pellets (diameter 6 mm.) periode 2014 – 2015

	poeder	pellets
Stortgewicht	250 – 350 kg/m³	600 – 700 kg/m³
Watergehalte (a.r.)	< 3 %	3 % - 8 %
As gehalte (a.r.)	2 % - 4 %	2 % - 4 %
Volatiles (d.a.f.)	50 % – 70 %	50 % – 70 %
N.C.V. (a.r.)	22 – 26 MJ/kg	20 – 24 MJ/kg
G.C.V. (d.a.f.)	24 – 28 MJ/kg	23 – 27 MJ/kg

2

TORR-COAL GROUP



Verdichten van getorreficeerde houtchips

Geteste technieken:

- Pelleteren met behulp van een, in eigen bezit hebbende, pilot test installatie (batch gewijze productie).
- Briketteren op proefinstallaties bij leveranciers van briketteerinstallaties (kleinschalige proeven).



3

TORR-COAL GROUP



Ervaringen met pelleteren van getorreficeerde houtchips.

Uitgevoerde testen t.b.v.

- Equipment keuze (pellet pers en matrijs; transportmiddelen; opslagmethode).
- Recept samenstelling t.b.v. pelleteren (binder soort en concentratie; watergehalte).
- Proces en machine instellingen pelleteer proces.

Opgedane ervaringen en behaalde resultaten

- Stabiele batchgewijze productie van pellets met een mechanical durability van ca. 98 %.
- Aandeel fines nog te hoog t.g.v. onvoldoende scheiding van fines / pellets en beschadiging pellets bij transport naar opslag silo. Mechanische aanpassing installatie noodzakelijk om verbetering te realiseren.
- Operationele kosten zijn nog te hoog (elektrisch energieverbruik ca. 100 kW/ton; slijtage / onderhoud pers en matrijs; het gebruik van 3 % binder). Proces en machine optimalisatie noodzakelijk om deze kosten te verlagen.

4

TORR-COAL GROUP



Briketteren van getorreficeerde houtchips.

- I.v.m. hoge operationele kosten bij het pelleteren, gezocht naar alternatieve verdichtingstechniek met lagere Opex. : briketteren
- Resultaat briketteer proeven, uitgevoerd bij leveranciers briketteer machines: Proeven lieten een sterk wisselend briket kwaliteit (stevigheid) zien. Verdere optimalisatie procescondities en beheersing noodzakelijk.
- Geen duidelijkheid over welke briketvorm en kwaliteit voor welke eindgebruiker geschikt is.



5

TORR-COAL GROUP



Verwerking getorreficeerde houtchips (poeder; pellets) bij eindgebruiker. (1)

Poeder:

transport met bulk silo wagen; opslag in dichte explosie beveiligde silo's

- 14000 ton in poederkool gestookte energiecentrale verwerkt. Branders met 100 % Torr-Coal poeder gevoed.
- 1000 ton in entrained flow vergasser verwerkt. Voeding vergasser: 75 % steenkool en 25 % Torr-Coal poeder.

Resultaat verwerking Torr-Coal poeder:

Bij beide verwerkingstechnieken van Torr-Coal poeder geen problemen waargenomen.

6

TORR-COAL GROUP



Verwerking getorreficeerde houtchips (poeder; pellets) bij eindgebruiker. (2)

Pellets:

transport over de weg met open containers; transport over water met dichte zeecontainers; opslag in open overdekte hal.

- 140 ton in 220 MW(e) poederkool gestookte energie centrale (14 % bijstook Torr-Coal pellets)
- 100 ton verwerkt in energiecentrale met een roosteroven (voeding 100 % Torr-Coal pellets)
- 12 ton verwerkt in 150 kW(th) biomassa verbrandingsketel (voeding 100 % Torr-Coal pellets)

7

TORR-COAL GROUP



Verwerking getorreficeerde houtchips (poeder; pellets) bij eindgebruiker. (3)

Resultaten verwerking Torr-Coal pellets:

Algemeen:

- Bij laden en lossen van de Torr-Coal pellets wordt overmatig stof waargenomen (wordt als hinderlijk ervaren)
- Torr-Coal pellets breken bij transport naar de molen / ketel / brander t.g.v. te zware mechanische belasting.
- Bij 14 % bijstook in poederkool gestookte energiecentrale geen verandering in samenstelling bodem en vlieggas gemeten. Rookgassen voor reiniging hebben een lager SO₂ gehalte. Geen verandering in NO_x en stofemissie waargenomen.
- Bij 100 % voeding naar roosteroven goede verbrandingseigenschappen en lage emissie waarden rookgassen waargenomen. Aanpassing rooster nodig om doorval van pellets te vermijden.
- Bij 100 % voeding naar biomassa ketel instelling voedingsschroef en verbrandingscondities noodzakelijk i.v.m. hogere stookwaarde Torr-Coal pellets.

8

TORR-COAL GROUP



Torrefactie proeven Solid Recovered Fuel (SRF)

Proeven met mengsel van SRF en houtchips (gew. verh. 1 : 1).

Totaal 30 ton poeder geproduceerd met de volgende product eigenschappen:

	SRF torr. poeder
Stortgewicht	250 – 350 kg/m³
Watergehalte (a.r.)	< 3 %
As gehalte (a.r.)	10 % - 20 %
Volatiles (d.a.f.)	50 % – 70 %
N.C.V. (a.r.)	26 – 30 MJ/kg
G.C.V. (d.a.f.)	30 – 34 MJ/kg
Chloor gehalte	< 1,0 %
Zwavelgehalte	< 0,4 %

9

TORR-COAL GROUP



Waargenomen problemen bij torrefactie proeven van SRF

- Beschadiging installatie door aanwezigheid inert, ferro en non-ferro
- Niet goed getorreficeerde plastics (nog elastisch) leidt tot verstoppingen
- Te hoog chloorgehalte in de torrefactie gassen. Dit leidt tot overschrijding van de emissie norm.

Noodzakelijke aanpassingen installatie om problemen bij torrefactie van SRF te voorkomen (planning 2016)

- Aanbrengen scheidingstechniek voor inert, ferro, non-ferro en niet goed getorreficeerde plastics.
- Rookgasreinigingsinstallatie voor verwijdering HCl en SO₂ aanbrengen.

10

TORR-COAL GROUP



Vragen ?

- J.W.H. Sluijsmans
Quality / Environment Management
Process / Product Development
tel: 0031-46-4775174
e-mail: j.sluijsmans@torrcoal.nl
- WWW.Torrcoal.com

11

Pyrolysis of torrefied material: Experiences and implications for practice

Alexander Louwes, Eddy Bramer en Gerrit Brem (Universiteit Twente)

UNIVERSITY OF TWENTE.



PYROLYSIS OF TORREFIED MATERIAL

EXPERIENCES AND IMPLICATIONS FOR PRACTICE

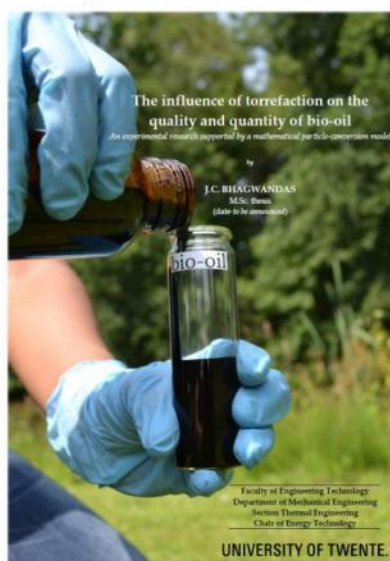


Alexander Louwes
Eddy Bramer
Gerrit Brem

December 3rd, 2015



WHY PYROLYSIS?



UNIVERSITY OF TWENTE.



Thermal Engineering - Energy Technology

3 Dec 2015

2

WHY PYROLYSIS?

- Simple process, mild conditions
- Energy densification
- Thermal cleaning, separation of minerals from ashes
- Applications:
 - Drop-in fuel for refineries (green chemicals)
 - Upgrading to advanced bio-fuels
 - Production of clean power and heat (turbine, engine, boiler)

WHY TORREFACTION PRE-TREATMENT FOR PYROLYSIS?

- Drivers: increased quantity and quality
 1. Easier grinding, smaller particles lead to higher oil yields
 2. Hemicellulose (acid precursor) removal leads to better oil quality
 3. Storage / bio-degradation

ASSESSMENT OF IMPACT OF TORREFACTION

- Experimental goals:
 - Investigate influence on decomposition rate
 - Improvement of the oil quality
- Variables:
 - Biomass type (softwood, hardwood, waste wood, straw)
 - Torrefaction degree/severity
 - Chips vs. pellets

UNIVERSITY OF TWENTE.

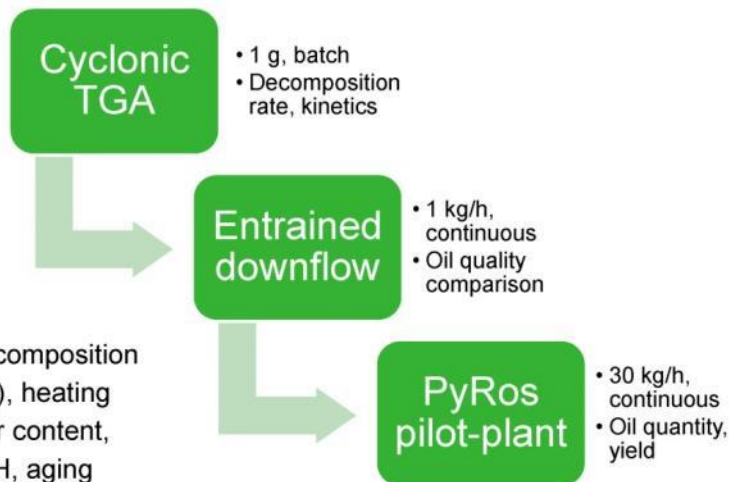
Thermal Engineering - Energy Technology

3 Dec 2015

5

ASSESSMENT OF IMPACT OF TORREFACTION

- Methods:



- Oil quality: composition (O₂-content), heating value, water content, viscosity, pH, aging

UNIVERSITY OF TWENTE.

Thermal Engineering - Energy Technology

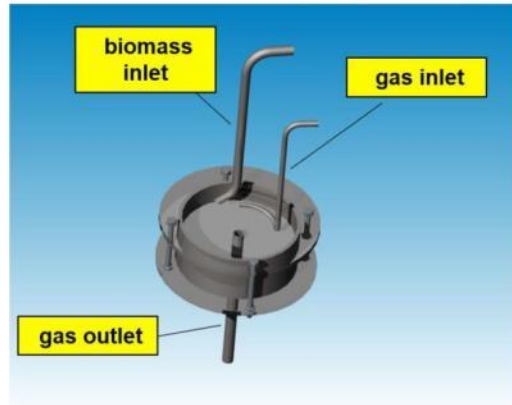
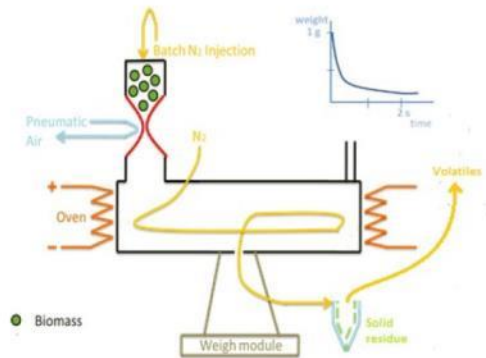
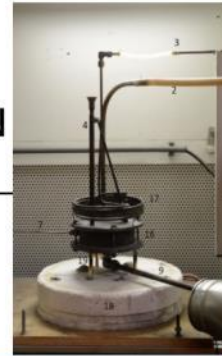
3 Dec 2015

6

ASSESSMENT OF IMPACT OF TORREFACTION

CYCLONIC TGA

- Cyclonic TGA: mimics flash pyrolysis conditions
- Measuring decomposition mass change over time



UNIVERSITY OF TWENTE.

Thermal Engineering - Energy Technology 3 Dec 2015 7

ASSESSMENT OF IMPACT OF TORREFACTION

CYCLONIC TGA

- Results cyclonic TGA:
 1. Lower reaction rate (up to 30%) of torrefied material
 - Volatile part removed during torrefaction
 - Confirmed by TG/DTG data
 - Typical reaction time = 1.5-2s (virgin) and 2-2.5s (torr)
 - Used to optimize residence times in pyrolysis reactors
 2. Differences in reaction rate dominated by hemicellulose content
 - Straw > hardwood > softwood
 3. Reaction rate pellets 10% lower than chips

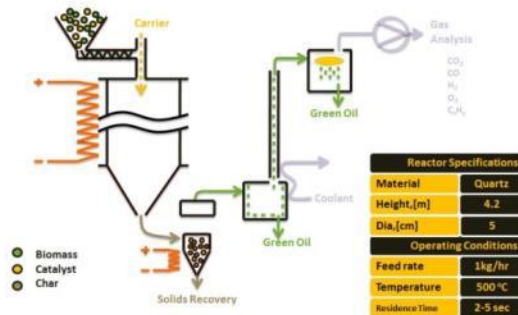
UNIVERSITY OF TWENTE.

Thermal Engineering - Energy Technology 3 Dec 2015 8

ASSESSMENT OF IMPACT OF TORREFACTION

ENTRAINED DOWNFLOW SETUP

- Entrained downflow setup: bio-oil production (continuous)
- Comparing oil qualities of virgin and torrefied biomass



UNIVERSITY OF TWENTE.

Thermal Engineering - Energy Technology

3 Dec 2015

9

ASSESSMENT OF IMPACT OF TORREFACTION

ENTRAINED DOWNFLOW SETUP

- Results downer:
 1. Increased heating value (up to 20%)
 - Less water in oil (up to 25%)
 2. Decreased oxygen content (up to 20%)
 3. Decreased oil yield (up to 40%)
- Hardwood, softwood, mixed waste wood performed similarly
- Wheat straw oil yield down 90%, not recommended

UNIVERSITY OF TWENTE.

Thermal Engineering - Energy Technology

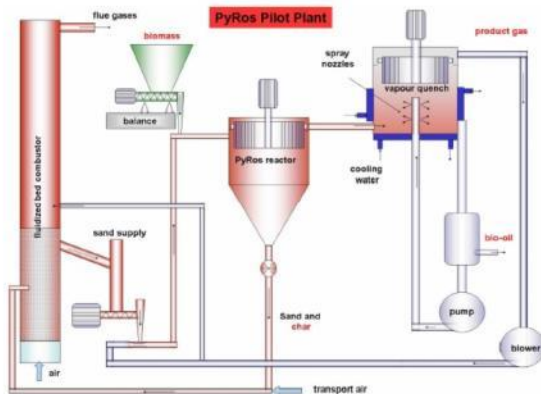
3 Dec 2015

10

ASSESSMENT OF IMPACT OF TORREFACTION

PYROS PILOT PLANT

- PyRos pilot plant, 30 kg/h
- Experiments with torrefied biomass



UNIVERSITY OF TWENTE.

Thermal Engineering - Energy Technology

3 Dec 2015

11

ASSESSMENT OF IMPACT OF TORREFACTION

PYROS PILOT PLANT

- Results PyRos:
 1. Oil quality improved
 - Heavy fraction contains low amount of O_2
 - Light fraction contains most of the water
 2. Higher oil yields than entrained downflow reactor
 - Due to more complete conversion
 - But still too low, room for improvement
 3. Biomass feeding very smoothly
 - More homogeneous material of the feed

UNIVERSITY OF TWENTE.

Thermal Engineering - Energy Technology

3 Dec 2015

12

CHAIN ANALYSIS



UNIVERSITY OF TWENTE.

Thermal Engineering - Energy Technology

3 Dec 2015

13

CHAIN ANALYSIS



- Assumption: torrefied wood (280°C, 45 mins)
- Grinding energy 85% down
- Yield oil 40% down
- Heating value oil 20% up
- Oxygen in oil 20% down → $\eta=57\%$ vs. $\eta=68\%$

Further assumptions	Values
HHV biomass (DAF)	20,6 MJ/kg
HHV torr biomass (DAF)	23,0 MJ/kg
H ₂ O biomass	6,3%
H ₂ O torr biomass	1,8%
Biomass oil yield	47%
Torr biomass oil yield	33%
Grinding biomass	850 kWh/t
Grinding torr biomass	100 kWh/t
Heat of reaction pyrolysis	0 MJ/kg
Heat of reaction torrefaction	0 MJ/kg

UNIVERSITY OF TWENTE.

Thermal Engineering - Energy Technology

3 Dec 2015

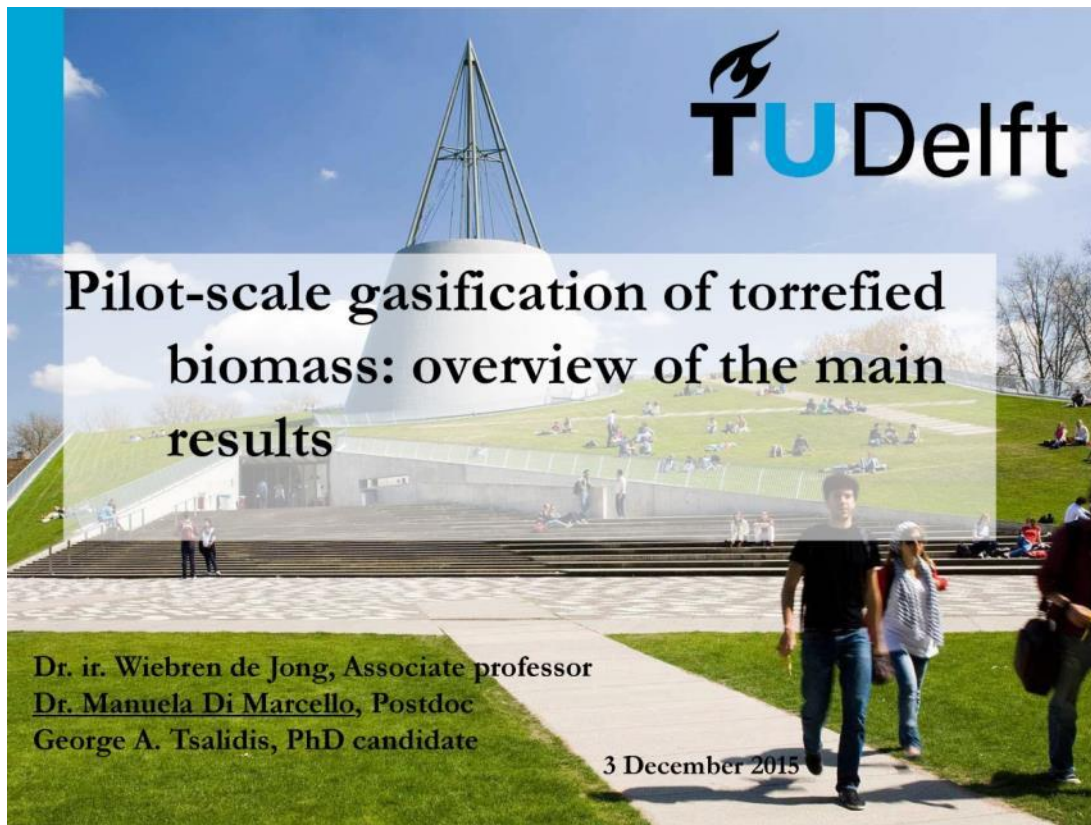
14

CONCLUSIONS & IMPLICATIONS FOR PRACTICE

- C-TGA/kinetics: longer reaction time needs optimization of pyrolysis process design
 - Depending on T, ~0.5-1s longer
 - Oil comparison: improved oil quality
 - Oil yield: should be improved (process optimization)
 - Chain analysis: improved energy efficiency
- Pyrolysis is a viable application of torrefied material
- Processes can be further optimized to improve performance
- Pyrolyzing torrefied material makes the biomass available for gas-fired boilers / power plants in addition to wood-fired boilers

Pilot-scale gasification of torrefied biomass: overview of the main results

Wiebren de Jong, Manuela di Marcello en George Tsalidis (TU Delft)



Introduction

Department of Process and Energy

4 Chairs:

- Energy Technology
- Engineering Thermodynamics
- Fluid Mechanics
- Intensified Reaction & Separation Systems

Chairman: Prof. Dr. Ir. Bendiks Jan Boersma



Energy Technology section

- 5 permanent staff members
- ≈ 20 PhD and postdocs

3 main research areas:

- Thermochemical conversion of biomass
- Fuel Cells systems
- Fluid mechanics of energy systems (DNS)

Scope of the project

Experimental assessment of the gasification behavior of torrefied biomass:

- ✓ Process stability;
- ✓ Gas composition;
- ✓ Tar yield and composition.

Why torrefaction?

Upgrade biomass into a solid commodity fuel with favorable properties



*Higher calorific value
More homogeneous product
Higher bulk density
Excellent grindability
Hydrophobicity
No biological activity*



Experimental conditions

We tested **torrefied** biomass:

- Spruce (softwood) pellets
- Ash (hardwood) pellets
 - ✓ *Produced from ECN with the same torrefaction reactor but two reaction temperature*
- Mixed wood pellets
 - ✓ *Produced with Torrcoal technology*
- Mixed wood pellets
 - ✓ *Produced with Topell technology*



... And their corresponding untreated material

→ **Total of 10 samples**

Proximate analysis (as received)

	Moisture	Volatiles	FC	Ash
Topell white	6,5	73,9	17,8	1,9
Topell black	7,1	67,4	23,4	2,0
Torrcoal white	6,0	71,1	20,2	0,9
Torrcoal black	4,1	60,6	32,9	2,3
ECN ash white	4,7	75,6	19,0	0,7
ECN ash 250	5,7	68,3	25,5	0,5
ECN ash 265	5,8	64,6	28,3	1,3
ECN spruce white	5,9	77,4	16,5	0,3
ECN spruce 260	5,4	70,5	23,7	0,4
ECN spruce 280	4,8	70,1	24,8	0,4

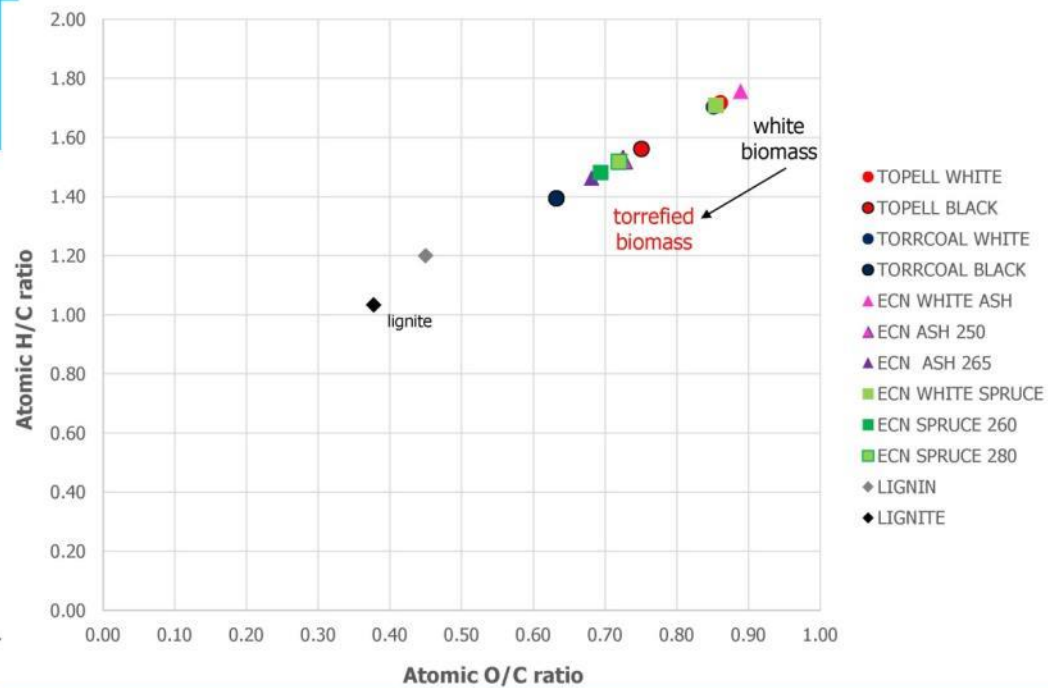
➔ From TG analysis

Elemental analysis (as received)

^a by difference
^b calculated

	C %	H %	N %	S %	O % ^a	ASH %	M %	HHV ^b MJ/kg	LHV ^b MJ/kg
Topell white	45,6	5,6	0,2	0,7	39,3	2,1	6,5	18,47	17,09
Topell black	47,6	5,4	0,3	0,7	35,8	3,2	7,1	19,26	17,91
Torrcoal white	46,6	5,8	0,2	0,8	39,7	1,1	5,9	19,01	17,60
Torrcoal black	53,5	5,2	0,5	0,7	33,9	2,2	4,1	21,32	20,09
ECN ash white	46,6	5,9	0,1	0,8	41,5	0,5	4,7	19,00	17,60
ECN ash 250	50,6	5,5	0,1	0,8	36,7	0,5	5,7	20,39	19,06
ECN ash 265	51,8	5,3	0,1	0,7	35,3	0,9	5,8	20,79	19,48
ECN spruce white	47,1	5,7	0,0	0,8	40,2	0,3	5,9	19,07	17,68
ECN spruce 260	52,0	5,5	0,0	0,7	36,1	0,3	5,4	20,98	19,64
ECN spruce 280	51,4	5,6	0,1	0,8	37,0	0,4	4,8	20,74	19,41

Van Krevelen diagram



← **Untreated pellets**

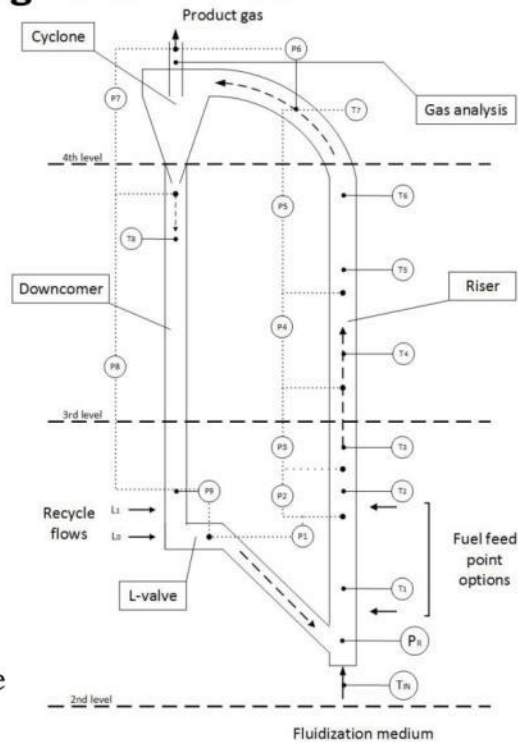
Torrefied pellets →



Steam/O₂ blown circulating fluidized bed gasification

Operating conditions:

- ✓ Different SBR
0,85 - 1,10
- ✓ Different ER
0,22 - 0,38
- ✓ $\approx$ Constant biomass feeding rate
12 kg/h
- ✓ $\approx$ Constant operating T, P and u_{fl}
T is 840° C
P is $\uparrow$ atmospheric (1,1-1,3 bar)
 u_{fl} is 3 - 4 m/s
- ✓ Steady state maintained for a min. of 60 min to a max of 180 min.
- ✓ Bed material : calcined magnesite



- ✓ During steady state the product gas is sampled for continuous on-line determination of its composition

μ GC and on-line TCD and paramagnetic detectors



Product gas sampling and conditioning area

- ✓ During steady state tar is sampled using two methods and analysed by HPLC-UV:

«Tar protocol»

SPA sampling



«Tar protocol» sampling station

Set of experiments

#	Biomass	target lambda	target SB ratio	
1	TOPELL WHITE	0,30	1,00	✓
2	TOPELL BLACK	0,30	1,00	✓
3	TOPELL BLACK	0,30	1,00	✓
4	TOPELL BLACK	0,30	1,00	✓
5	TOPELL BLACK	0,21	1,26	✓
6	TOPELL BLACK	0,36	0,85	✓
7	ECN Ash 250	0,30	1,00	✓
8	ECN Ash 250	0,20	1,20	✓
9	ECN Ash 250	0,36	0,85	✓
10	ECN Ash 250	0,38	1,06	✓
11	ECN Ash 265	0,30	1,00	✓
12	ECN Ash 265	0,36	0,88	✓
13	ECN Ash 265	0,36	0,85	✓
14	ECN Spruce 260	0,30	1,00	✓
15	ECN Spruce 260	0,36	0,85	✓
16	ECN Spruce 285	0,30	1,00	✓
17	ECN Spruce 285	0,36	0,85	✓
18	ECN white Ash	0,30	1,00	✓
19	ECN white Spruce	0,30	1,00	✓
20	Torrcoal black	0,36	0,85	✓
21	Torrcoal white	0,36	0,85	✓



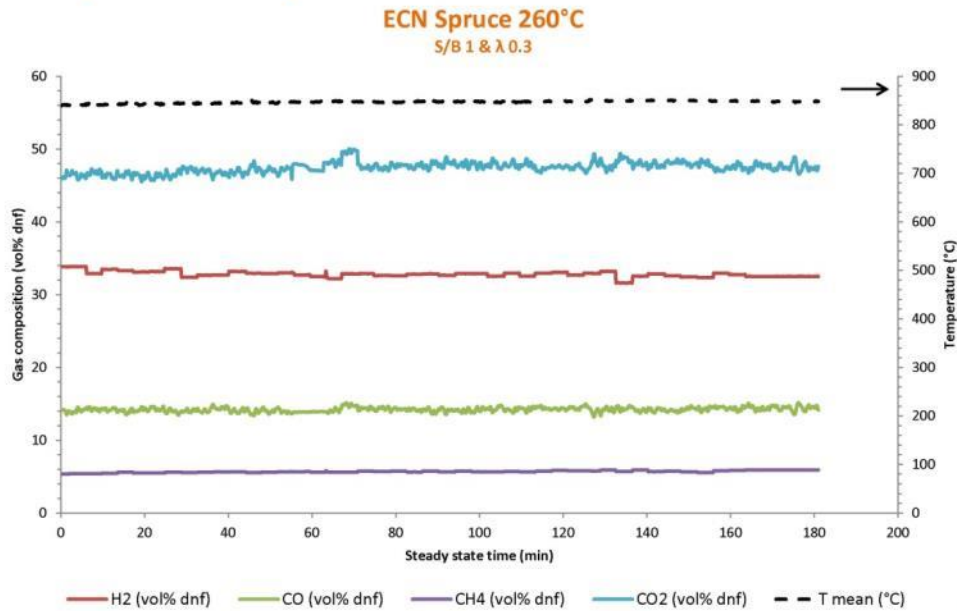
21
successful
gasification
experiments

ie the future 11

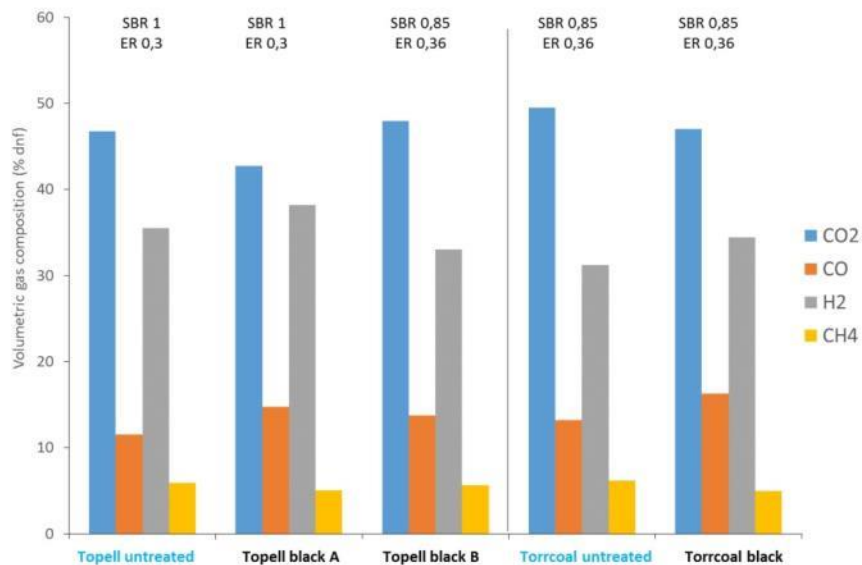
Overview of the main results

Example of the results obtained during the gasification of torrefied biomass

✓ *Stable operations in term of gas production and process temperature !*



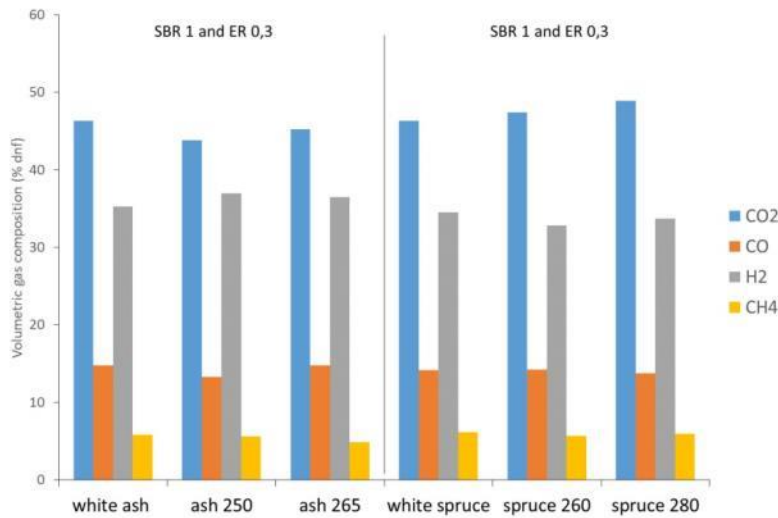
Results for commercial torrefied pellets vs. untreated wood pellets



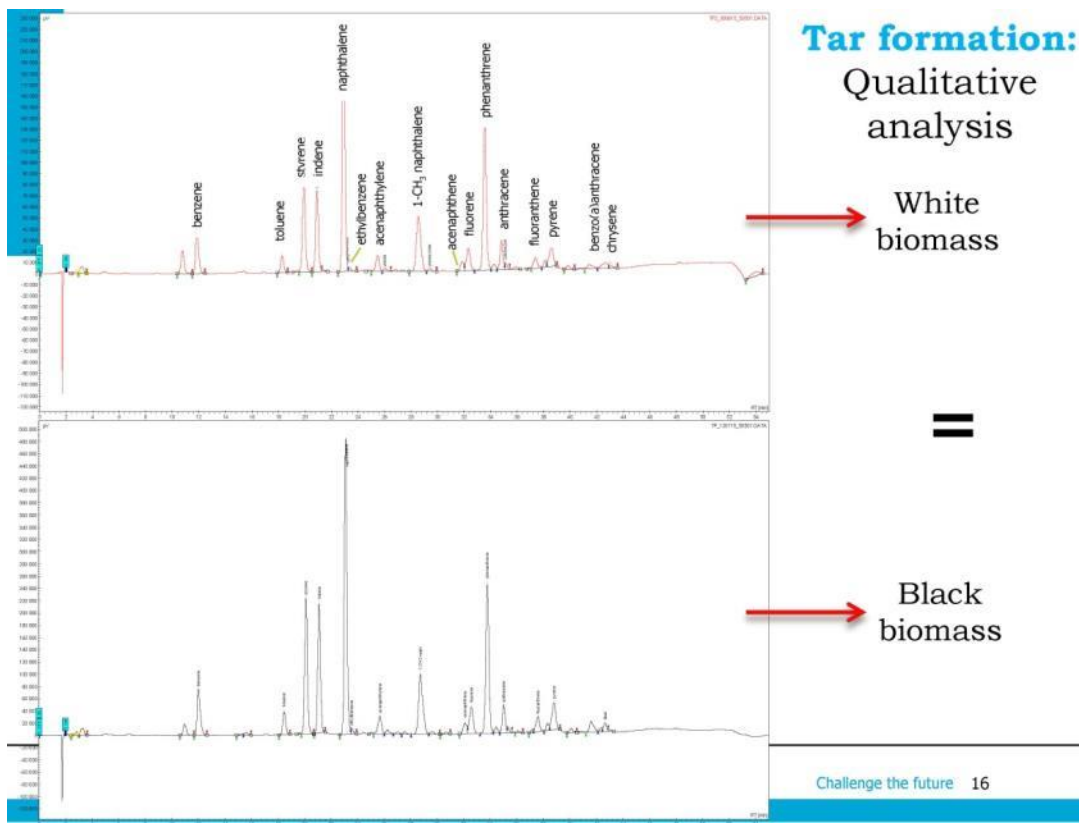
✓ Torrefied biomass → Increased H₂ and CO production for the same operating conditions

CO +26% (±3) and H₂ +9% (±2)

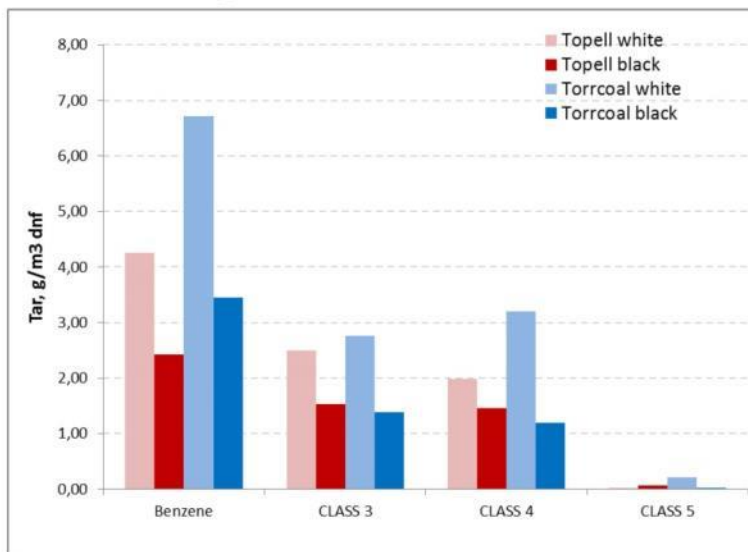
Results for torrefied pellets produced from pure streams (softwood vs. hardwood)



- ✓ Pure streams → little percent variation was observed!
- ✓ Hardwood and softwood shows different behaviours
 - Hardwood: H₂ +5% for ash 250, and +4% for ash 265.
 - Softwood: H₂ concentration in the gas decreases slightly with the torrefaction T, and is lower than in the untreated material



Tar yields for commercial torrefied pellets vs. untreated wood pellets



- ✓ Benzene, toluene and naphthalene are the largest contaminants in the samples.
- ✓ Torrefaction determined a significant decrease of the tar content of the product gas (Topell -37%, Torrocoal -53% incl. benzene)

Conclusions

- ✓ The experimental campaign consisted of 21 gasification experiments
- ✓ In all the experiments: stable operations in terms of T and gas composition
- ✓ Torrefaction seems to have a beneficial effect on the quality of the product gas
 - Increased hydrogen and CO concentration
 - Decreased tar formation
- ✓ Char gasification reactions play a more relevant role

And for the future...

- ✓ Chemical characterisation (structural carbohydrates and lignin content) of the biomasses
 - Understand the mechanism of tar formation
 - Clarify the variability observed in certain results (ex. softwood vs. hardwood)
- ✓ Exploitation of the results obtained for publication(s)

Thank you for your attention!



the gasification team

ECN

Westerduinweg 3
1755 LE Petten
The Netherlands

P.O. Box 1
1755 LG Petten
The Netherlands

T +31 88 515 4949
F +31 88 515 8338
info@ecn.nl
www.ecn.nl

