

RE: SOURCE

Slutrapport för projekt

Agglomerering av fines från förbehandlad uttjänt elektronik

Projektperiod: Juni 2017 till december 2017
Projektnummer: 44199-1

Med stöd från:



STRATEGISKA
INNOVATIONS-
PROGRAM

Agglomerering av fines från förbehandlad uttjänt elektronik

Agglomeration of Fines from Pretreated WEEE

Titel på projektet – svenska AGGLOMERERING AV FINES FRÅN FÖRBEHANDLAD UTTJÄNT ELEKTRONIK
Titel på projektet – engelska AGGLOMERATION OF FINES FROM PRETREATED WEEE
Universitet/högskola/företag Swerea MEFOS AB
Adress Box 812, 971 25 Luleå
Namn på projektledare Ulf Sjöström
Namn på ev övriga projektdeltagare Sverker Sjölin, Kristoffer Lund, Marianne Gyllenhammar, Elsayed Mousa, Mania Kazemi.
Nyckelord: 5-7 st Elektroniskt avfall, stoft, agglomerering, brikettering, granulering, metallåtervinning, energiutvinning.

Med stöd från:



STRATEGISKA
INNOVATIONS-
PROGRAM

Förord

Detta förprojekt initierades av Stena Technoworld mot bakgrund av de finpartikulära restmaterial som bildas vid upparbetning och metallåtervinning av uttjänt elektriskt och elektroniskt skrot, så kallat WEEE. Ett projektkonsortium bildades och ansökte inom RE:Source februari 2017. Syftet var att utreda och undersöka om olika tekniker fungerar för att agglomerera de finpartikulära materialen med eller utan bindemedel. Med agglomerat i form av briketter eller granuler underlättas den praktiska hanteringen och skapar förutsättningar för vidare metall- och eller energiåtervinningen av de material som idag deponeras.

I konsortiet har Stena Technoworld varit problemägare, norska Borregaard utvecklare och leverantör av bindemedel och Swerea MEFOS genomfört de flesta undersökningar i förprojektet.

Statens energimyndighet tillstyrkte ansökan och förprojektet har genomförts enligt plan. Denna rapport beskriver resultaten av förprojektet som har genomförts under 2017.

Innehållsförteckning

Sammanfattning	3
Summary	4
Inledning och bakgrund	6
Mål	7
Genomförande	7
Resultat och diskussion.....	9
Omvärldsanalys (AP2).....	9
Material och analyser (AP3)	10
Finpartikulärt WEEE-material	10
Bindemedel från Borregaard.....	12
Agglomerering i laboratorieskala (AP4).....	14
Agglomerering i pilotskala (AP5).....	17
Brikettering via roller-press	17
Brikettering via vibro-press	20
Granulering	22
Lagringsbeständighet av agglomerat	24
Sammanfattning resultat AP5 Agglomerering i pilotskala	25
Hållbarhetsanalys (AP6)	26
Slutsatser, nyttiggörande och nästa steg	28
Slutsatser	28
Nyttiggörande och nästa steg	29
Publikationslista.....	30
Projektkommunikation.....	30
Referenser	31
Bilagor	33

Sammanfattning

Den årliga mängden elektroniskt skrot (eng. WEEE) som genereras globalt uppgick 2014 till 40 miljoner ton och kommer att med all sannolikhet att öka. I Sverige finns det system för insamling av elektronik via kommunerna och en organisation för insamling, El-kretsen. Flera företag har processer för upparbetning och metallåtervinning från WEEE men processerna behöver ständigt anpassas emot inflödet av nya elektroniska produkter samt ökad kapacitet i anläggningarna. Enligt El-kretsens verksamhetsrapport från 2016 behandlas i Sverige nästan 70 000 ton per år av diverse elektronik. Stena Technoworld har sedan juni 2017 en ny anläggning i Halmstad för upparbetning och metallåtervinning av stål, koppar, guld, aluminium med mera.

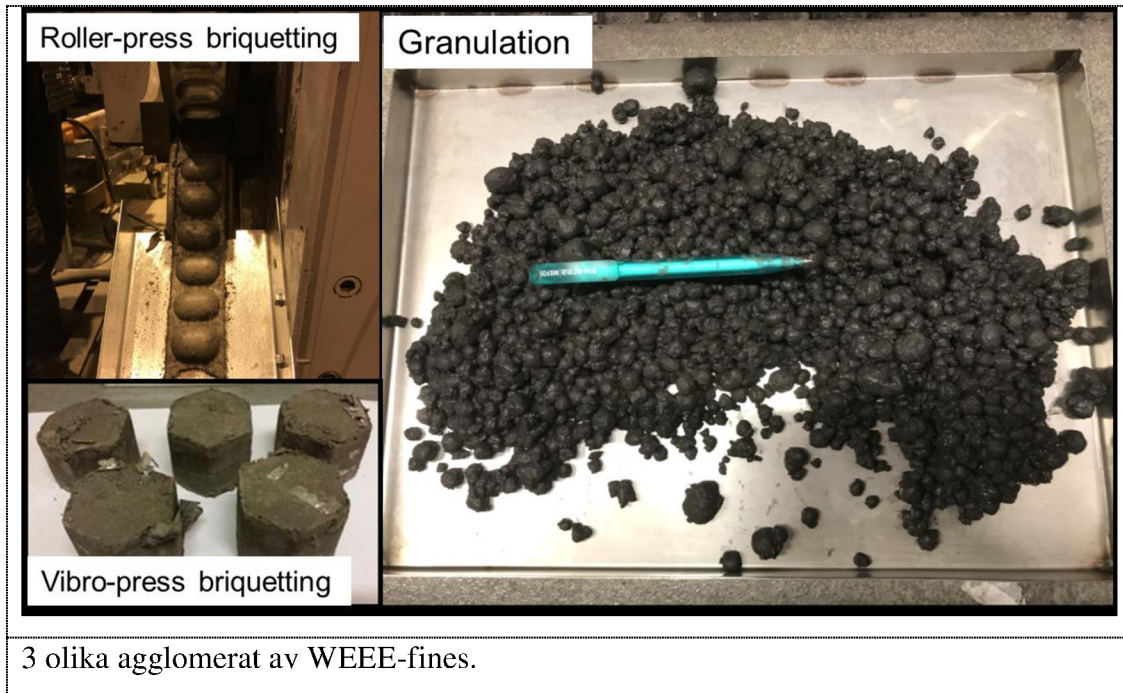
Vid alla upparbetningsprocesser är krossning och sönderdelning av komplext sammansatt elektronik en grundförutsättning för den efterföljande återvinningen. I processen bildas då ett svårhanterligt material bestående av luftburet damm och millimeterstora partiklar, så kallad fines. El-kretsen uppskattar denna mängd i Sverige till 9% av den insamlade mängden. Fines klassas idag som "icke återvinningsbara material" och läggs på deponi. Materialet har en komplex sammansättning med plast, glas, trä och oxidiska material men innehåller också fortfarande signifikanta mängder av metaller. Det återstående metallinnehållet och restprodukternas innehåll av plast, trä med mera innebär att det finns en potential för material- och energiutvinning genom exempelvis metallurgiska processer. Potentialen uppskattades vid ansökan till 6 700 ton minskade deponimängder, 50 ton återvunnen koppar, och en återvunnen energimängd på 28 MWh. En viktig förutsättning för detta är dock att materialet är i en lämplig form för existerande matningssystem och transportlösningar vilket idag inte är fallet.

Med en bra fungerande agglomereringsmetod skapas förutsättningar för en ökad resurseffektivitet vid industriell materialåtervinning av uttjänt elektronik. En projektgrupp bestående av Stena Technoworld, Borregaard och Swerea MEFOS har undersökt om det går att agglomerera WEEE-fines till större agglomerat från centimeterstora kulor upp till briketter med en volym motsvarande en kaffekopp. Stena har tagit ut och karakteriserat tre material med olika storlekar från sin nystartade anläggning, Borregaard har utvecklat nya bindemedel baserade på skogsprodukter och Swerea Mefos har agglomererat WEEE-fines med eller utan bindemedel.

Figuren nedan visar exempel på agglomerat från granulering och två olika briketteringstekniker, Rollerpress och Vibropress. En sammanfattande slutsats är att WEEE-fines med en liten partikelstorlek går att agglomerera. Bindemedel öka den mekaniska styrkan hos agglomeraten. En WEEE-fraktion, den grövsta med en partikelstorlek omkring 5 mm, kan inte agglomereras med de undersökta metoderna.

En sannolik effekt av resultaten är att de finpartikulära materialen i delar eller i sin helhet agglomereras vid upparbetningsanläggningen för att sedan användas i syfte att utvinna metaller. Ytterligare utveckling krävs dock för det grövsta materialet. Ett nödvändigt nästa steg är att optimera bindemedel och processparametrar för

respektive agglomereringsteknik och därefter göra ett teknikval. Större mängder av agglomerat behöver också tas fram och dess tillämpning som sekundär metallråvara behöver bekräftas med försök i pilot- eller driftskala. Konstellationen i ett fortsatt innovationsprojekt behöver därför utökas till att också omfatta slutanvändare av agglomeraten.



Summary

The waste streams from Electrical and Electronic Equipment, WEEE, was 2014 globally 40 million tonnes and is expected to increase in future. In Sweden there are good systems for collections of WEEE and the upgrade of WEEE takes place among different metal recycling companies. There is a need for better processes and higher capacity for upgrading and recycling. This is because of an increased consumption and electronic product development which tends to be more and more complex. 70 000 tonnes of WEEE was upgraded in Sweden 2016 according to the organisation El-kretsen. Stena Technoworld started a new plant in June 2017 to meet the expected increase of material. In this plant WEEE is upgraded and metal products like steel, copper, gold, aluminium are recycled.

All upgrading processes start with crushing into particles which is necessary for the following separation. Small particles and dusts, called fines, are also generated from the crushing and separations stages. The material is collected due to working and environmental reasons. El-kretsen estimates that 9% of the WEEE is lost into fines and put to disposal. The material has a complex content of plastics, glass, wooden fibers, and oxidics components but does also contain significant amounts of metals. The remaining metals and the organic content make the fines interesting for further recovery of metals and energy through a metallurgical process. At the time of submitting the proposal the potential was estimated to 6 700 tonnes of decreased

disposal, 50 tonnes of recycled copper and 28 MWh in energy. An important precondition for recycling is the possibility to handle the material in feeding systems. The fines have to be converted from dust to agglomerates which allow transport and handling according to existing industrial standards.

The possibilities for an increased recycling are improved if there is a good method for agglomeration of WEEE-fines. A project group with three partners, Stena Technoworld, Borregaard and Swerea MEFOS have conducted research applied on agglomeration of WEEE-fines. It has been investigated if it is possible to agglomerate fines from millimetre sized particles up to centimetre sized pellets and briquettes with a size corresponding to a coffee cup. Stena has characterized three different fines from their new plant. Borregaard has developed new binders based on forrest products and Swerea MEFOS has conducted agglomeration investigations with and without binders.

The figure above shows agglomerates from three different agglomeration techniques, wet granulation, roller-press briquetting and vibro-press briquetting. A conclusion is that it is possible to agglomerate WEEE-fines which have a maximum particle size in the order of 2 mm. Binders increase in general the strength of the agglomerates. Course fines which has a particle size of 5 mm, has not been possible to agglomerate with the investigated methods.

The fines generated at the plants should be agglomerated for the purpose of metal extraction rather than energy recovery. More research and development is needed to be able to agglomerate all of the different generated fines. It is necessary of optimize the addition of binders as well as to select agglomeration technique. Further work must also include the metal extraction stage. For this, it is necessary to produce larger amounts of agglomerates and verify the application in pilot or production scale. The organisation of a new project must therefore be expended and include one or several end-users of the agglomerates.

Inledning och bakgrund

Mängden av uttjänt elektronik (eng. Waste Electrical Electronic Equipment WEEE) kommer att öka och i takt med den tekniska utvecklingen blir produkterna mer och mer komplicerade till design och materialsammansättning. Det finns idag system för insamling av elektronik via kommunerna och samlingsorganisationen El-kretsen. Flera företag har processer för uppberetning och metallåtervinning men processerna behöver ständigt anpassas för nya produkter samt ökad kapacitet i anläggningarna. Enligt El-kretsens verksamhetsrapport från 2016 behandlas i Sverige nästan 70 000 ton per år av diverse elektronik [Ref. 1]. Stena Technoworld har sedan juni 2017 en ny anläggning i Halmstad för uppberetning och metallseparation från den uttjänta elektroniken. Nedbrytning och krossning av det insamlade godset är en grundförutsättning för separationen av metall men i processen bildas också ett finpartikulärt material, så kallad fines som idag läggs på deponi. Materialet har en komplex sammansättning med plast, oxidiska material men innehåller också fortfarande mindre mängder metaller.

En utmaning för en uppberetningsanläggning är att hitta en bra balans mellan finfördelningen och mängden bildad fines. Balansen måste optimeras för varje anläggning för att totalt sett erhålla ett högt utbyte av säljbara metallprodukter och små metallförluster till fines.

Dagens situation och framtidens utmaningar ökar drivkraften för metod- och processutveckling på förbehandling av fines från WEEE. Utmaningarna finns inom flera dimensioner: sammansättning, partikelstorlek, kravspecifikationer från potentiella användare, ny lagstiftning, WEEE-direktiv med mera. Det finns idag inga kända metoder för förbehandling av fines och generellt krävs det en metod som är adaptiv, flexibel och robust. Med agglomerering av det finpartikulära material skapas grundförutsättningar till återvinning av ett avfall som idag läggs på deponi. Med agglomererade produkter öppnas möjligheterna till metall- och energiutvinning vid svenska metall- och energiföretag samt kommunala energianläggningar. Med agglomerering kan materialet flyttas 1-2 steg uppåt i avfallshierarkin.

Mål

Förprojektets slutmål är att klarlägga om olika metoder för agglomering kan kombineras med olika bindemedel för att agglomerera fraktioner av finpartikulärt material inklusive damm som uppkommer vid industriell materialåtervinning. Metoden anses fungera då agglomerat med god mekanisk och nötande hållfasthet har verifierats i pilotskala. Förprojektet har följande delmål:

1. Utvärdera hur briketteringstrycket påverkar produktens (granulat/briketter) hållfasthet.
2. Utvärdera hur det ingående materialets egenskaper påverkar produktens hållfasthet och energivärde.
3. Erhålla kunskap om det operativa fönstret för respektive agglomereringsmetod när det gäller bindemedel, bindemedelsmängd, fukt och maskinparametrar .
4. Producera produkter som möjliggör vidare förädling hos aktörer längre fram i värdekedjan.
5. Baserat på materialegenskaper samt innehåll, utvärdera möjligheter för vidare förädling genom materialåtervinning alternativt energiåtervinning.

Genomförande

Förprojektet har genomförts i samarbete mellan de tre parterna Swerea MEFOS, Stena Technoworld och Borregaard. Förprojektet var organiserat med 6 arbetspaket (AP).

AP1 Projektledning:

Swerea MEFOS har varit ansvarig för projektledningen som omfattar styrning, möten, kommunikation och slutrapportering. Projektavtal har upprättats och två fysiska projektmöten har genomförts:

- 2017-10-11 Luleå.
- 2017-12-06 Halmstad.

AP2 Omvärldsanalys:

Swerea MEFOS har varit ansvarig för AP2 och har deltagit i en workshop anordnat av EIT RawMaterials, Innovation & Research in the E-waste Recycling Chain, 13-14 september i Aachen.

AP3 Material och analyser:

Alla parter har bidragit i AP3. Stena Technoworld har från sin nya uppberbningsprocess valt ut och tagit fram tre fraktioner av fines med olika karaktär för vidare undersökningar i projektet (F1, F2 och F3). I ett tidigt skede i projektet undersöktes också två andra varianter av fraktion F3. Materialen har karaktäriserat och analyserats. Borregaard har tagit fram fyra olika bindemedel av typen lignosulfonat och andra bindemedel har anskaffats av Swerea MEFOS.

Agglomeratens egenskaper har bestämts av Swerea MEFOS.

AP4 Agglomerering i laboratorieskala:

Swerea MEFOS har varit ansvarig för AP4. Totalt har 35 stycken laboratorieförsök genomförts med en briketteringsteknik som kallas piston-press, se Bilaga 1. Olika kombinationer av material, bindemedel, bindemedelsmängd, presstryck har undersökts och briketternas densitet och styrka har utvärderats.

AP5 Agglomerering i pilotskala: Swerea MEFOS har varit ansvarig för AP5. 6 försök har utförts med granuleringsteknik, 13 försök med brikettering via roller-press och 11 försök med brikettering via vibro-press teknik, se Bilaga 1.

AP6 Hållbarhetsanalys: Alla parter har bidragit i AP6 i samband med det avslutande projektmötet. En full analys har inte kunnat göras med aktuella mängder av koppar, bly, kobolt etc. då de genererade mängderna av fines inte ännu är stabila i den nya anläggningen. Hållbarhetsanalysen är fortfarande baserad på de uppskattade mängderna som användes vid ansökan februari 2017.

Resultat och diskussion

Omvärldsanalys (AP2)

I omvärldsanalysen har en bredare litteratursökning om återvinning av WEEE genomförts [Ref. 2-19]. Swerea MEFOS har också deltagit i en workshop anordnat av EIT RawMaterials, Innovation & Research in the E-waste Recycling Chain, 13-14 september i Aachen. Under denna workshop presenterades olika föredrag från insamling av WEEE till metallurgiska processer för utvinning av metaller från WEEE.

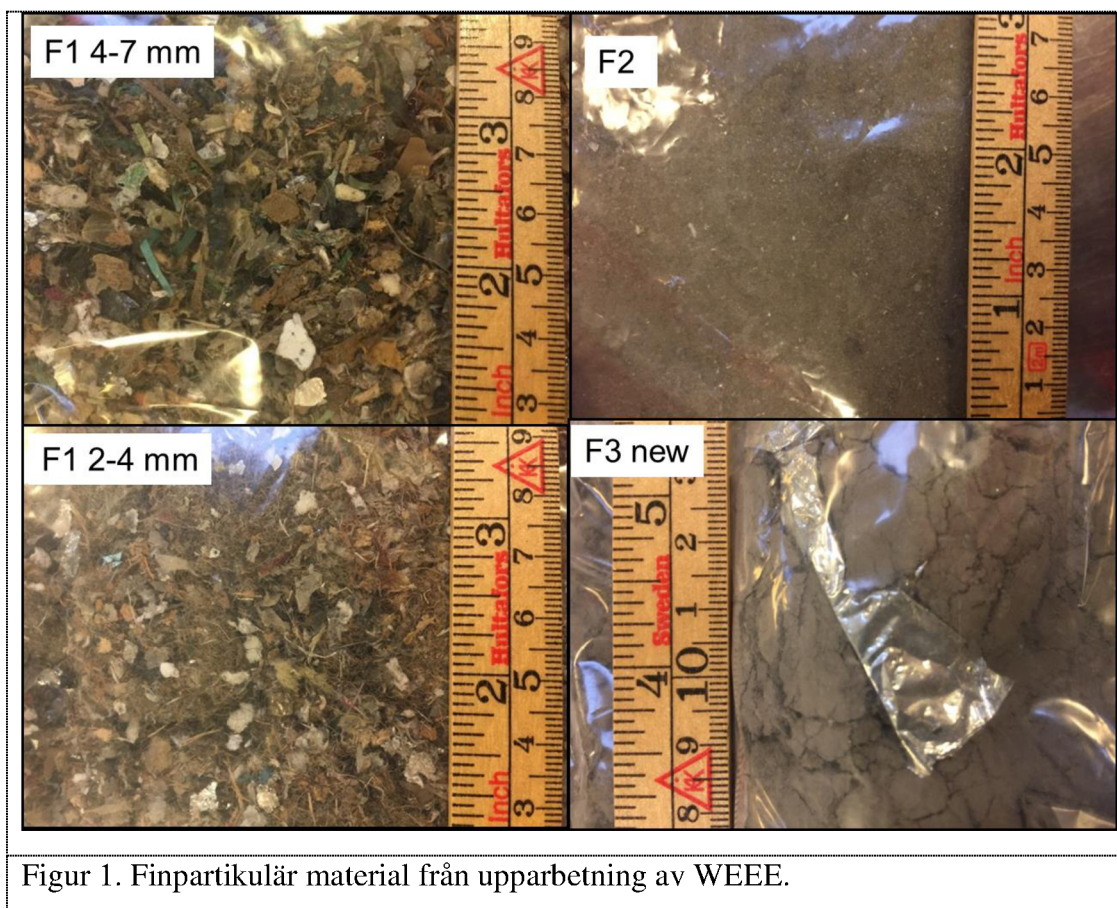
Sammanfattning av resultat AP2 Omvärldsanalys:

- Inga publikationer har hittats som enbart har fokuserat på agglomerering som fenomen.
- Waste Electrical and Electronic Equipment Handbook anger fyra metoder för förbehandling eller agglomerering. De är dock alla metoder anpassade för WEEE material som till största delen består av polymerer. För polymerer kan man åstadkomma en agglomerering genom värmning eller partiell smältning. De fyra metoderna är:
 - Mixing and pelletizing
 - Pot-type agglomerator
 - Disc compactor
 - Extrusion (Erema system)
- Enligt Umicore är agglomerering av WEEE-fines ett effektivt sätt att undvika förluster vid metallurgiska processer. De anger dock inte hur agglomereringen sker eller vilka egenskaper som krävs för de metallurgiska processerna.
- Några av de forskargrupper, företag eller organisationer som är aktiva inom återvinning av WEEE är:
 - Chalmers och Luleå Tekniska Universitet
 - RWTH Aachen University
 - Boliden
 - Technalia (Spanien)
 - Umicore (Belgien)
 - European Electronics Recycling Association (EERA)

Material och analyser (AP3)

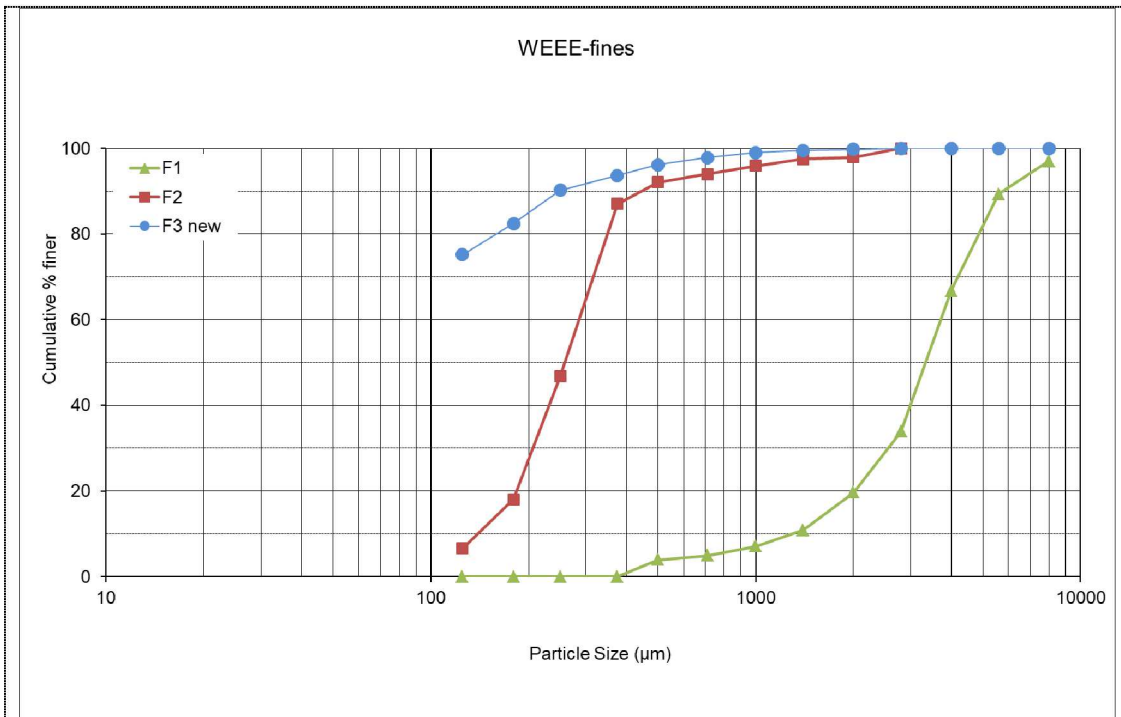
Finpartikulärt WEEE-material

Material har levererats från Stena Technoworld i två omgångar. I första omgången levererades små poster av material benämnda F3 och F3X. Figur 1 visar de tre restmaterialen som levererade till Swerea MEFOS och använts vid de större pilotförsöken. Totalt levererades 90-180 kg per material.



Figur 1. Finpartikulär material från upparbetning av WEEE.

Fraktion F1 och F2 är relativt grova material och bildas i processen i ett steg där material separeras med luftströmmar. Olika storleksfördelningar och mängd material kan därför styras mellan F1 och F2. Fraktion 3 (F3, F3X och F3 new) är från ett processfilter och består av partiklar mindre än 1 mm, se storleksfördelning av F1, F2 och F3 i Figur 2.



Figur 2. Partikelstorleksfördelning av fraktionerna F1, F2 och F3.

Materialens densitet och fukthalt har bestämts, se Tabell 1 nedan.

Tabell 1. Densitet och fukthalt.

Material	Bulk densitet (kg/dm ³)	Material densitet (gr/cm ³)	Fukthalt (%)	Anmärkning
F3	~0.5	2.27	2.02	
F3X	~0.5	2.15	1.67	
F1	0.16	1.58	2.76	
F2	0.74	2.16	1.53	
F3 new	0.34	2.06	12.83	
F3 new	ND	2.16	ND	Torkat

Askhalten och det effektiva värmevärdet har bestämts av Stena, se Tabell 2 nedan.

Tabell 2. Askhalt och värmevärden.

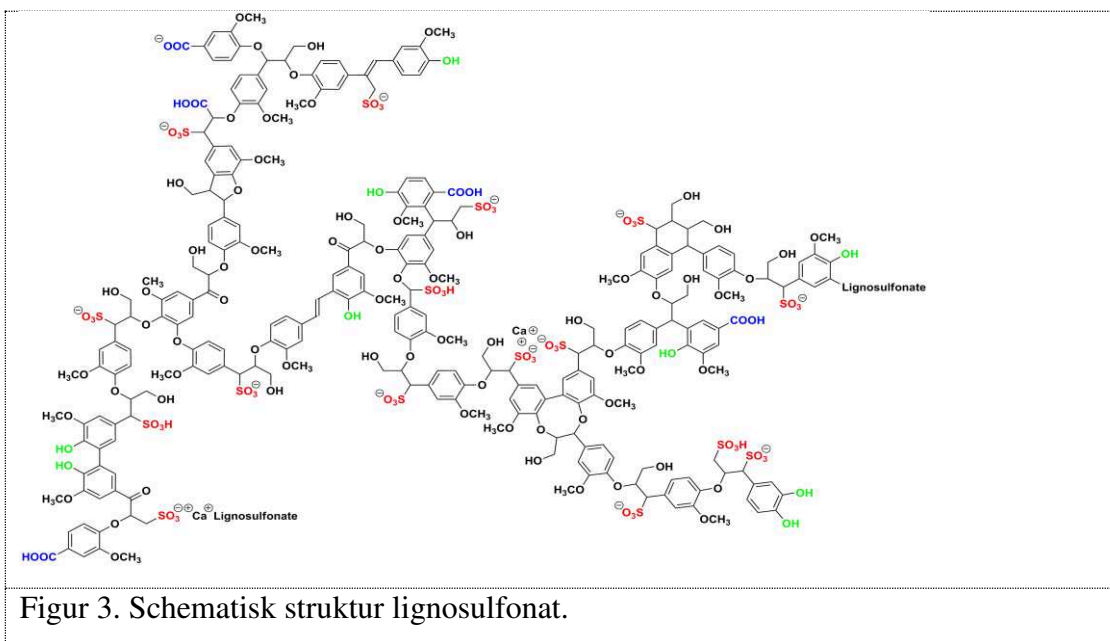
Material	Askhalt (%)	Effektivt värmevärde (MJ/kg)	Fukthalt (%)
F1	29	21.4	1.6
F2	71	9.0	0.7
F3	71	7.9	1.6

Den sammantagna bedömningen är att F2 och F3 inte lämpar sig för energiutvinning då askhalten är höga och värmevärdena låga. F1 har ett bra värmevärde men fortfarande betydande askhalt.

Kemiska analyser har också bestämts av Stena, se separat Bilaga (dessa resultat är konfidentiell information).

Bindemedel från Borregaard

Lignosulfonater erhålls från sulfittkok av biomassa från lignocellulosa, vanligtvis barrträd eller lövträd. Lignin sulfoneras och blir därmed vattenlöslig. På detta sätt separeras det från cellulosan i råmaterialet. De slutliga egenskaperna av den producerade lignosulfonaten beror på val av råmaterial, typ av motjon i sulfittkoker (natrium, kalcium eller ammonium) samt eventuella processteg efter separeringen från cellulosan. En övergripande och schematisk struktur på lignosulfonat kan ses i Figur 3.



Lignosulfonater används idag i många olika applikationer. Några av dessa är som dispergeringsmedel för betong, färgämnen och pesticider, jordförbättringsmedel samt som komplexbildare.

En av de större applikationerna för lignosulfonat är dess användning som bindemedel. Lignosulfonat är framgångsrikt använt som bindemedel för att producera starka och hållbara granuler, pellets och briketter i många applikationer. På marknaden idag finns agglomerat av bland annat djurfoder, metaller, malm och gödningsmedel som är bundet med lignosulfonat. I tillägg så används lignosulfonat för att binda damm på grusvägar, stabilisera väggkroppar med dålig grund och för att öka styrkan på keramik innan den bränns.

I projektet har Borregaard utvecklat och levererat fyra olika kalciumlignosulfonater. Tabell 3 ger en översikt av egenskaperna för dessa.

Tabell 3. Densitet och fukthalt i lignosulfonater.

Bindemedel	Material densitet (gr/cm ³)	Fukthalt (%)	Anm.
DP 3168	1.31	4.5	Pulver
DP 3169	ND	48	Flytande (flytande variant av DP 3168)
DP 3170	1.40	3.7	Pulver
DP 3171	ND	48	Flytande

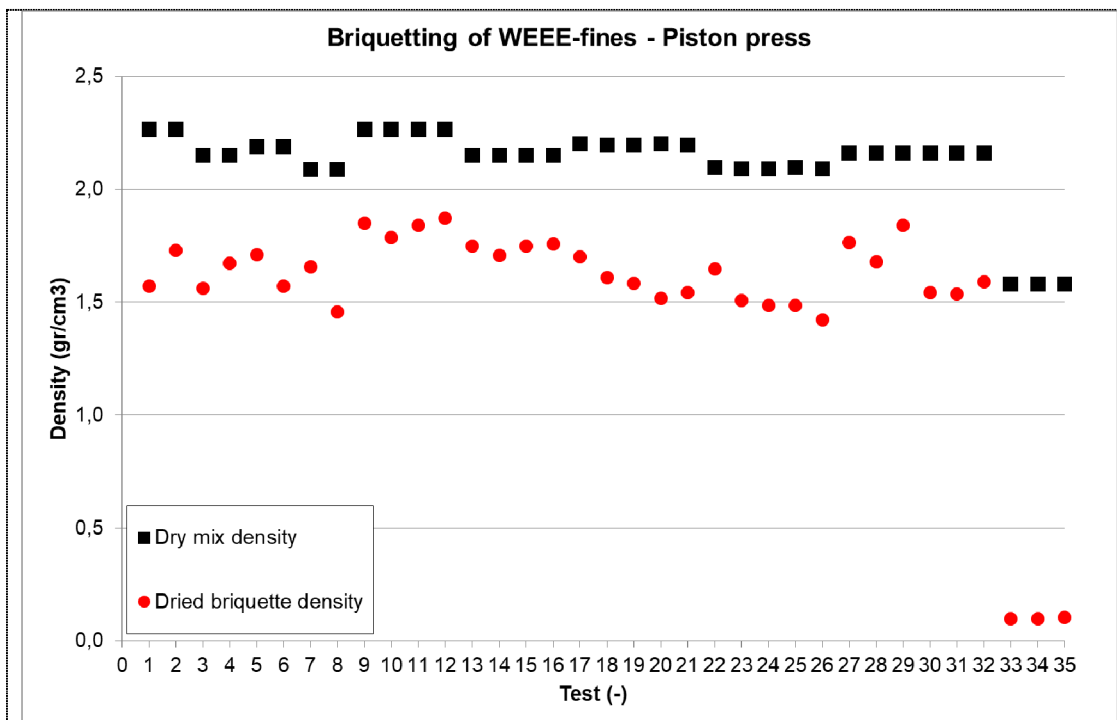
Skillnaderna mellan dessa är graden av rening vilket resulterar i olika molekylvikter och sockerhalter. DP 3168 och 3169 innehåller mindre socker än DP 3170 och 3171. Med bindemedel i form av pulver eller i flytande form erhålls en flexibilitet beroende på agglomereringsprocess. Det kalorimetriska och effektiva värmevärdet för de använda lignosulfonaterna har uppskattats till 17 respektive 16 MJ/kg.

Sammanfattning resultat AP3 Material och analyser:

- Värmevärdet för fraktion F2 och F3 är lågt. Agglomerat med lignosulfonater kommer att öka värmevärdet men då tillsatsmängderna av bindemedel är på en låg nivå blir ökningen av värmevärdet marginell. Agglomerat av fraktionerna F2 och F3 lämpar sig inte för ren energiutvinning på grund av det låga värmevärdet och den höga askhalten. Återvinning av metaller i en metallurgisk process skulle kunna vara aktuellt (delmål 2).
- Energivärdet för fraktion F1 är förhållandevis högt och agglomerat baserade på lignosulfonater skulle kunna vara aktuellt för energiutvinning. Metallhalterna är dock höga vilket gör F1 i första hand intressant för metallåtervinning (delmål 2).

Agglomerering i laboratorieskala (AP4)

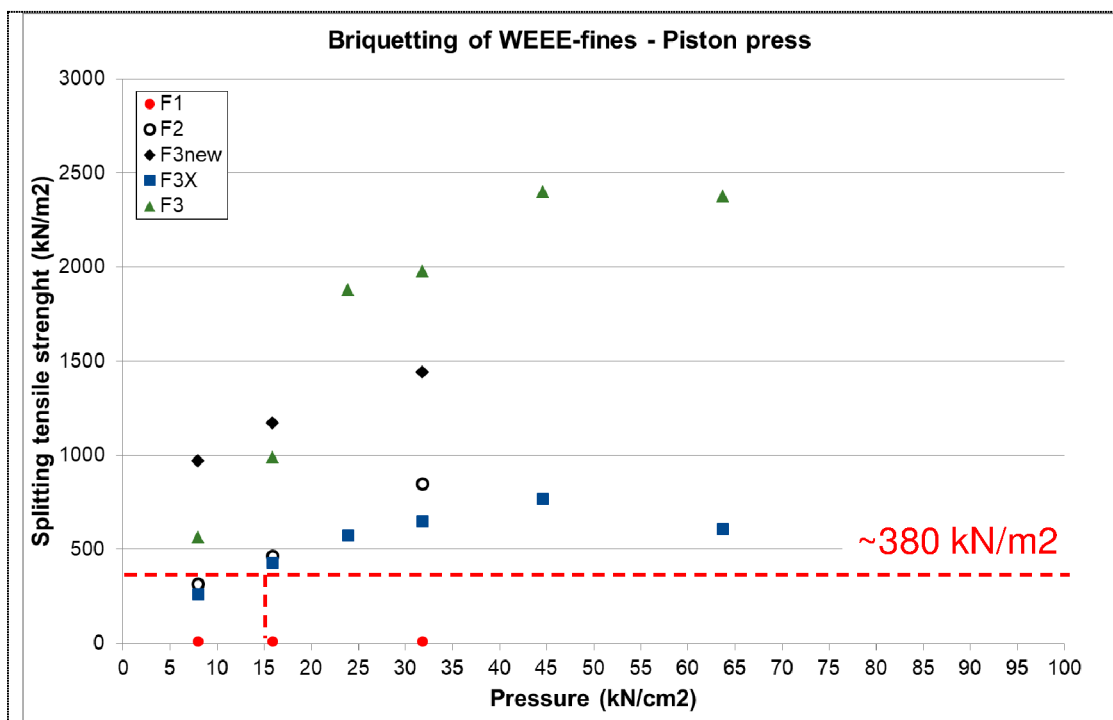
35 försök har genomförts i en press av märket Herzog TP 20P. I denna utrustning pressas material i ett cylinderformat verktyg med en maximal presskraft på 200 kN. Två olika stora briketter kan tillverkas, 20 respektive 40 mm i diameter. Presskraften, storleken på briketter samt olika bindemedel har undersökts. Samtliga försök och processparametrar finns i Bilaga 1. Figur 4 visar densiteten för samtliga genomförda försök. Brikettdensiteten är en viktig parameter då den visar om materialet kan kompakteras under tryck eller ej.



Figur 4. Materialdensitet och brikettdensitet.

Fukt tillförs med bindemedlet och har varit upp till 5-6 % i de genomförda försöken. Resultaten ovan visar att briketter kan bildas i samtliga fall utom för test 33-35, vilket är för fraktion F1. I dessa fall är den erhållna densiteten mycket låg. Förhållandet mellan brikettdensiteten och materialdensiteten är i dessa fall under 0.1 vilket innebär att briketterna består till över 90% av luft. I de övriga fallen är kvoten 0.7-0.8 eller en porositet på 20-30%. Detta är normala värden för briketter.

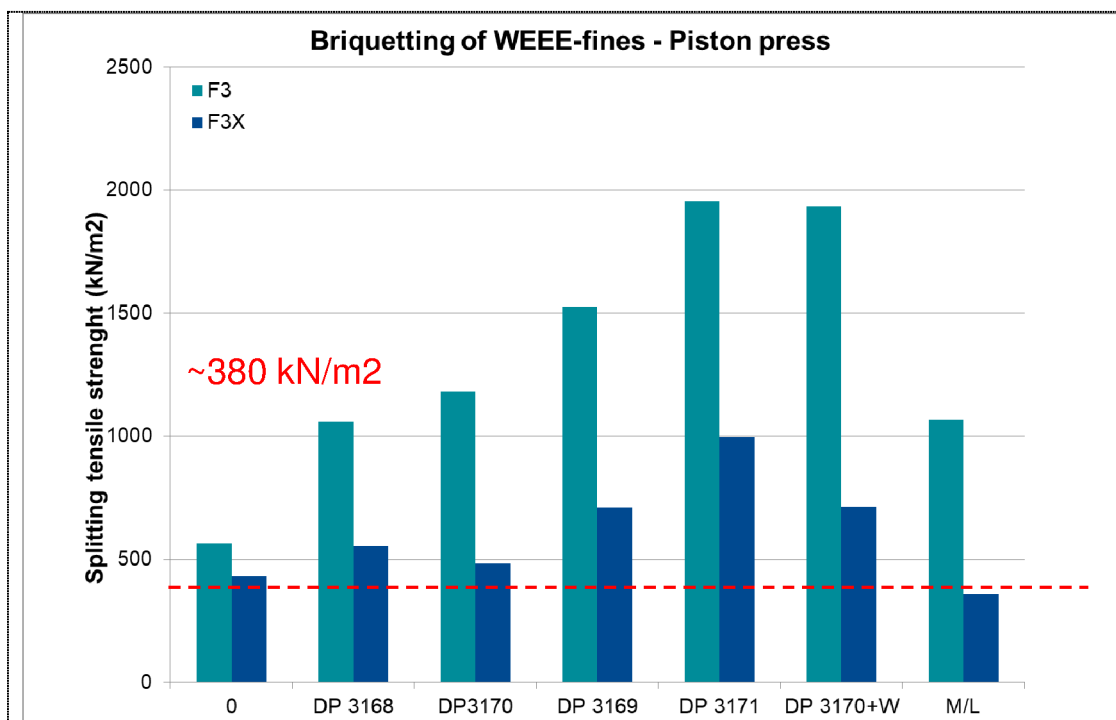
Briketternas densitet och hållfasthet har undersökts för olika presstryck utan bindemedel och inverkan av bindemedel. Figur 5 visar den så kallade ”splitting strenght” som funktion av specifikt presstryck. Metoden för att mäta ”splitting strenght” är beskriven i Bilaga 2.



Figur 5. Hållfasthet som funktion av presstryck (utan bindemedel).

Generellt sett ökar hållfastheten med ökat presstryck upp till omkring 30 kN/cm². De grova materialen (F2 och F3X) har lägre hållfasthet. I figuren ovan är en kritisk hållfasthet på 380kN/m² inlagd. Detta motsvarar ungefär en absolut hållfasthet på 50 kg för en brikett med en diameter på 40 mm. Ingen gräns finns fastlagd för dessa typer av material men 50 kg är ett vanligt gränsvärde men inte ett absolut krav för briketterns hållfasthet [Ref. 20]. Med 50 kg som gränsvärde bedöms briketterna klara en industriell hantering. Materialet F1 faller långt under detta gränsvärde. För materialen F2 och F3X är hållfastheten precis på gränsen då presstrycket är 8 kN/cm². Minsta presstrycket har därför identifierats till 15 kN/cm².

Figur 6 visar inverkan av bindemedel vid ett konstant presstryck på 16 kN/cm².



Figur 6. Inverkan av bindemedel på briketteras hållfasthet.

Tillsatsen av bindemedel ger generellt en ökning av hållfastheten och alla resultat ligger på eller över gränsvärdet. För material F3 ger bindemedel en tydlig ökning av hållfastheten med en faktor på 2-3. För det grövre materialet F3X är ökningen mindre eller obetydlig. Bästa effekten erhålls med bindemedel DP 3171 med vilken hållfastheten fördubblas. Bindemedlet molass / kalk (M/L i figuren) är använt som referens till lignosulfonaterna och ger en fördubbling av hållfastheten för material F3. För F3X ger molass / kalk ingen ökning av hållfastheten.

Sammanfattning resultat AP4 Agglomerering i laboratorieskala:

- Samtliga material utom F1 kan briketteras utan bindemedel.
- Ett minsta presstryck på 15 kN/cm^2 krävs för att få ett tillräcklig god mekanisk hållfasthet (delmål 1 uppfyllt).
- De grövre materialen ger lägre hållfasthet (delmål 2 uppfyllt).
- Bindemedel av lignosulfonat ökar hållfastheten.

Agglomerering i pilotskala (AP5)

Brikettering via roller-press

Principen för brikettering via roller-press visas i Bilaga 3. Briketter pressas mellan två briketthjul och formas till olika briketter beroende på geometrin i hjulen. Briketthjul med en volym på $13,5 \text{ cm}^3$ har använts vid försöken. Till skillnad från piston-press är det specifika presstrycket uttryckt som kraft per längdenhet (piston-press: kraft per area). En uppskattning på det maximala presstrycket för roller-press kan dock göras för en area definierad av briketthjulen bredd (50 mm) och brikettens bredd (31mm):

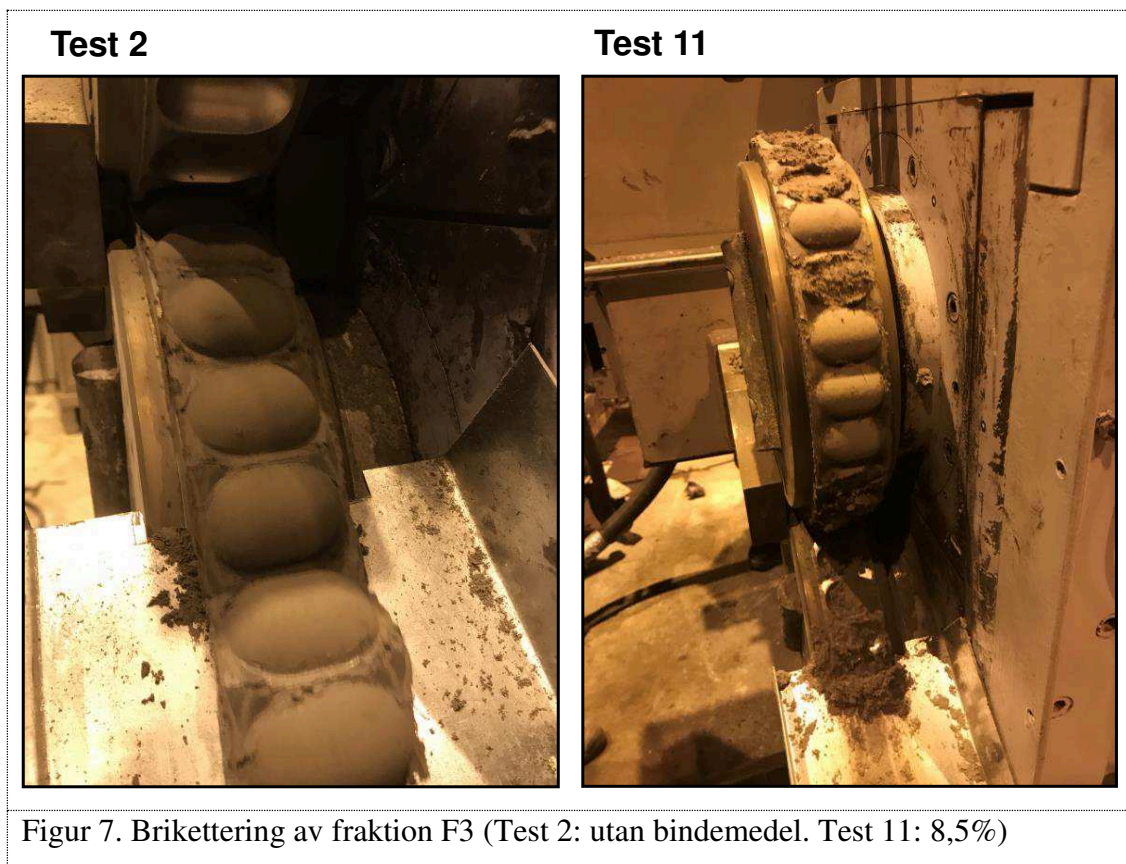
- Maximal kraft/area= $350\ 000 / (50*0,1*31*0,1)=22 \text{ kN/cm}^2$

Det reella trycket är sannolikt mycket högre då kontaktlinjens bredd är mindre än brikettens bredd. En bredd på 5 mm ger ett maximalt presstryck på 140 kN/cm^2 . Det uppskattade trycket indikerar att de genomförda försöken i AP4 svarar bra emot försök med roller-press teknologin.

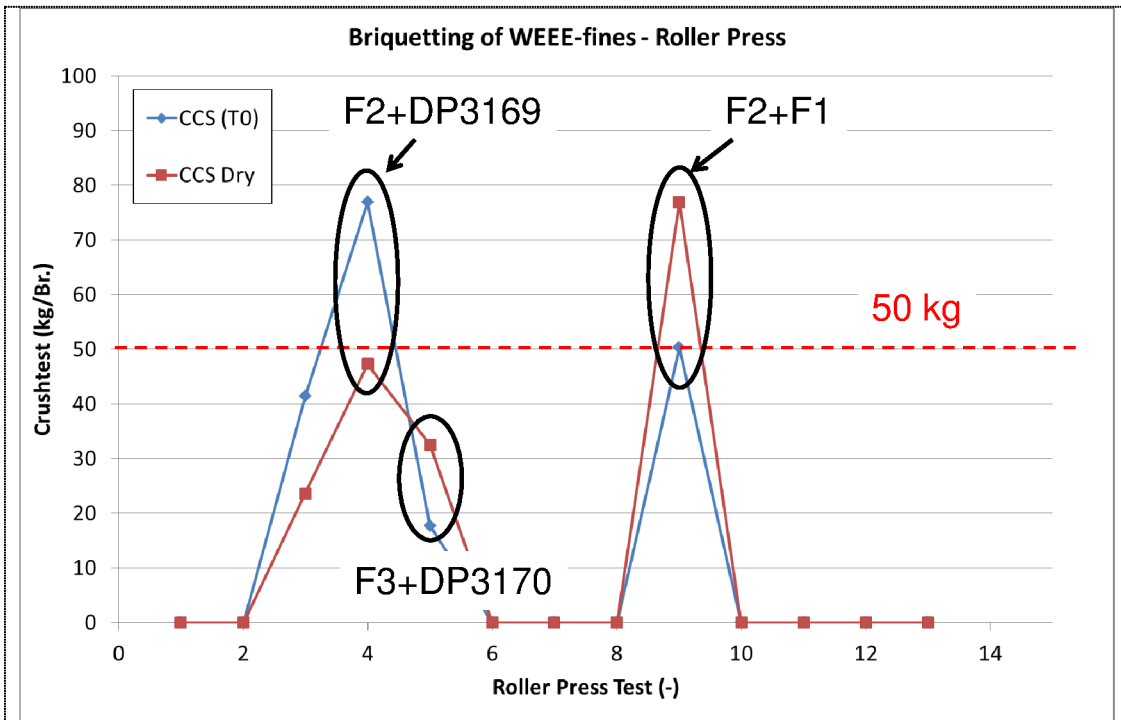
Pilotförsöken har genomförts i två omgångar, test 1-9 och test 10-13 med högre bindemedelstillsatser, se Bilaga 1. Allt tillgängligt material av fraktion F2 och F3 har använts. Samtliga tester har genomförts i en briketteringsmaskin av typen B220 med satser om cirka 20-25 kg och med brikettmaskinens lägsta rotationshastighet, 4,5 varv per minut. Produktionstakten har varit mellan 80 och 180 kg per timme. Försöken har utvärderats genom att först konstatera om briketter kan formas eller ej, och sedan bestämma briketternas hållfasthet.

Resultat återfinns i bilaga 4. Det kan konstateras att fina briketter kan formas för fraktionerna F2 och F3, bindemedel kan förbättra hållfastheten men även orsaka operativa problem (kladdning på briketthjul) om tillsatsen är för stor. Briketter av F1 kan inte tillverkas. Materialet som matas ut av fraktion F1 håller inte överhuvudtaget ihop.

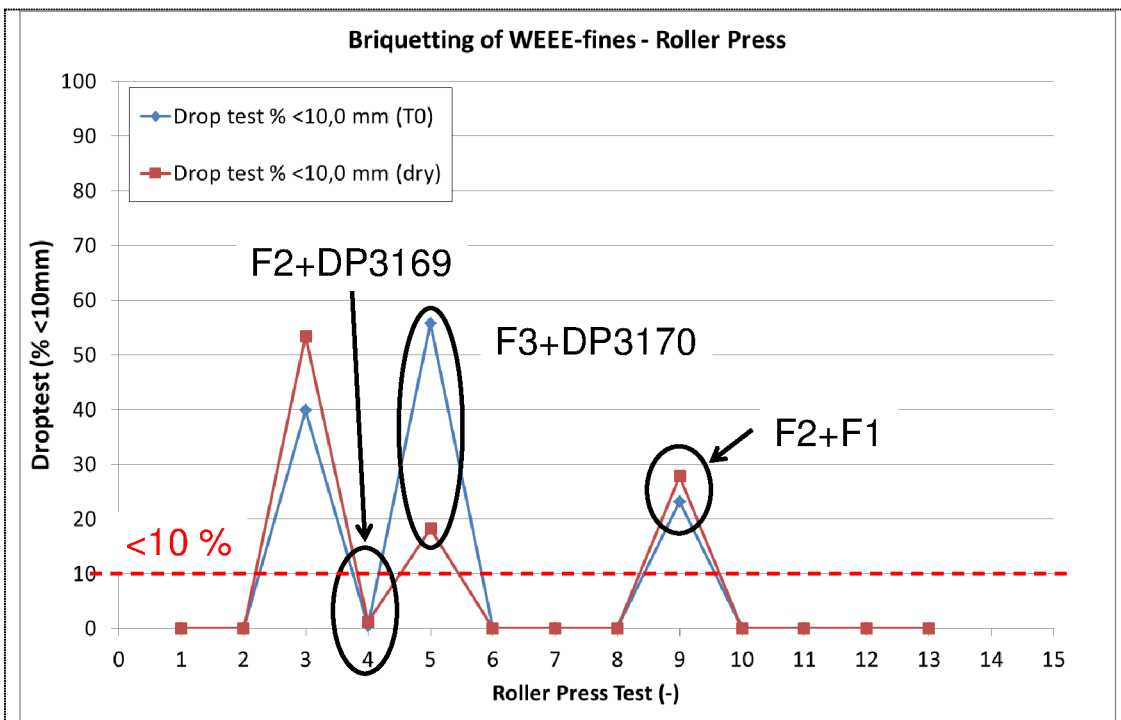
Figur 7 illustrerar två olika resultat från två olika försök med fraktion F3. Försök ”Test 2” resulterade i fint formade briketter men med en låg hållfasthet (inget bindemedel). Försök ”Test 11” genomfördes med mycket bindemedel, 8,5%. I detta fall erhöles en kladdande blandning som fastnade på briketthjulen.



För de fall där briketter lyckats produceras har hållfastheten undersökts direkt efter tillverkning (T0 i figurer) och torkat tillstånd (dry). Figur 8 och 9 visar briketternas hållfasthet undersökt som "cold compression strength, CCS" och ett droptest. "Cold compression strength, CCS" är definierat i Bilaga 2. Droptest är ett vanligt förekommande test som simulerar briketternas förmåga att motstå sönderfall i samband med materialhantering. Vid ett droptest släpps 5 briketter 2 gånger från 2 m och andelen material mindre än 10 mm bestäms. En andel på 10% har valts som ett referensvärde för att skatta resultaten.



Figur 8. Hållfasthet ”Cold Compression Strength”.



Figur 9. Hållfasthet ”Droptest”.

De markerade resultaten i figurerna ovan är de bästa resultaten som erhållits för respektive material. Fraktion F2 kan definitivt briketteras till starka briketter utan bindemedel (försök 3). Med bindemedel DP3169 erhålls en styrka över 50 kg och en låg andel material mindre än 10 mm vid ett droptest (försök 4). Därmed har brikettering med roller-press av fraktion F2 har verifierats.

Fraktion F3 kan också briketteras men i detta fall är hållfastheten mycket låg. Bindemedel förbättrar styrkan (Försök 5) men når inte över 50 kg eller mindre än 10% vid ett droptest.

Fraktion F1 kan endast briketteras genom att blandas in i andra fraktioner. Försök 9 med en inblandning med 20% i F2 gav goda resultat i hållfasthet, >50 kg.

Brikettering via vibro-press

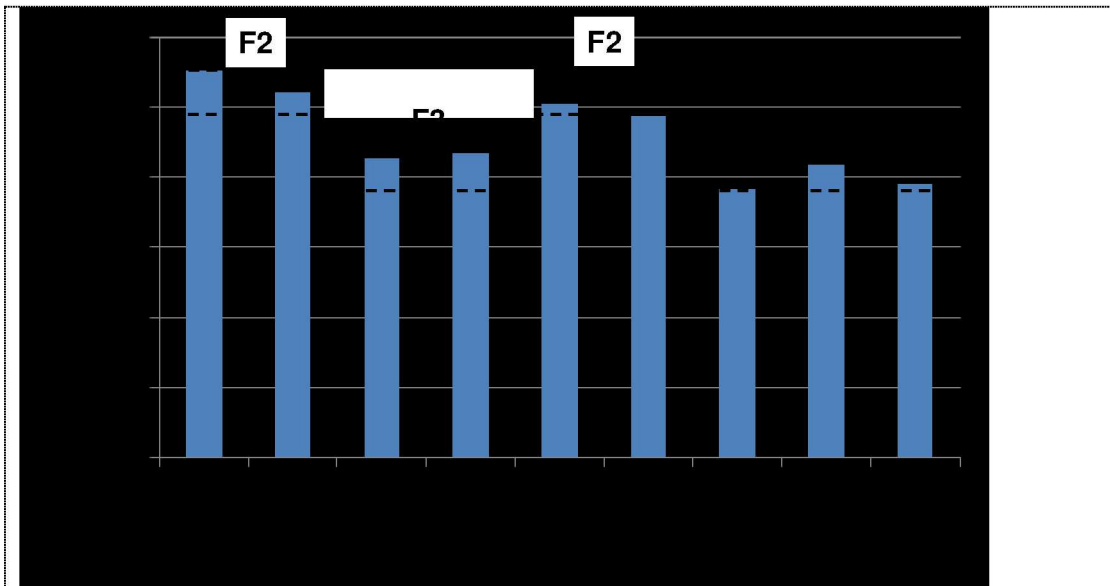
Briketteringsutrustningen beskrivs i Bilaga 5. Tillverkningen sker genom att fylla materialblandningen i de 16 formarna och sedan vibrera ihop materialet. Formarnas geometri är hexagonalt prisma med kant på cirka 35 mm (avstånd kant till kant: 60 mm). Ytterligare material kan sedan fyllas på och vibreras ytterligare. När materialet inte packas ihop mera pressas de ihop med den övre pressen samt ytterligare vibrering 10-15 sekunder. Efter avslutad kompaktering höjs pressen och formen så att briketterna frigörs från formen, se Figur 10.



Figur 10. Brikettering med vibro-press.

Vibro-press är en etablerad metod för tillverkning av masugnsbriketter. För dessa används 10-12% cement som bindemedel. Vatten måste också tillsättas för att få en formbar massa. I förprojektet har 11 försök genomförts med cement och de lignosulfonater som levererats i flytande form, DP3169 och DP3171, se Bilaga 1. Den totala fukthalten vid brikettering har varierat stort, från 20 till 40% för försök 1 till och med 6 samt 10 till 20% för de resterande försöken. Försöken har utvärderats

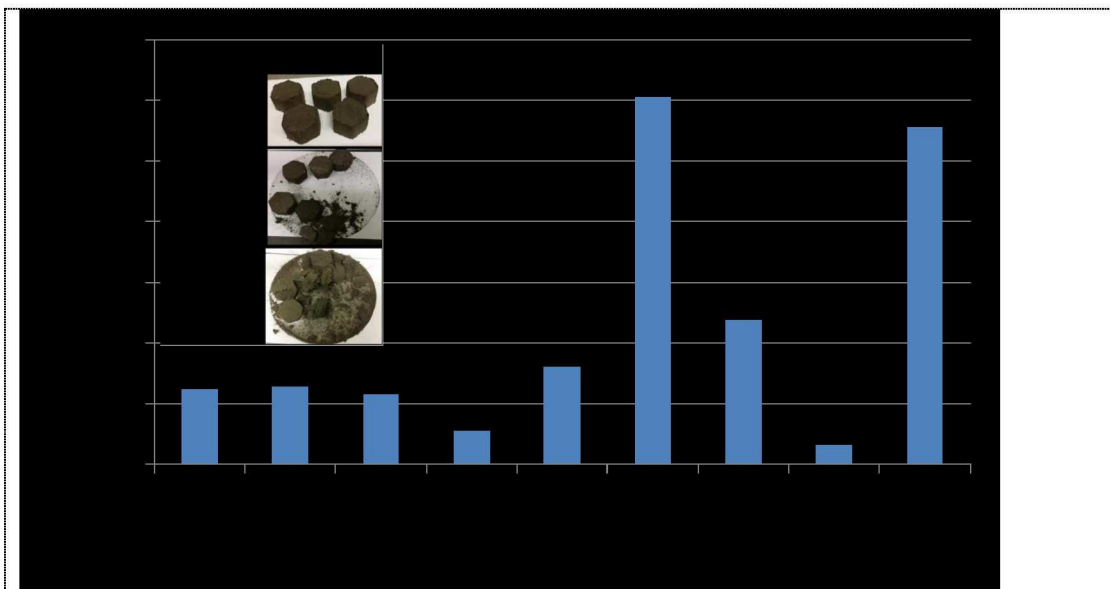
genom densitetsmätningar och bestämning av briketternas hållfasthet via droptest. Samtliga resultat återfinns i bilaga 6. Figur 11 visar hur råmaterialet inverkar på torkade briketterns densitet.



Figur 11. Brikettdensitet

Jämfört med råmaterialets bulkdensitet har F3 kompakterats mera i relativa mått (2,4 ggr: från 0,34 till $\sim 0,8 \text{ g/cm}^3$) än F2 (1,5 ggr: från 0,74 till $\sim 1,1 \text{ g/cm}^3$).

Figur 12 ger resultaten från droptest.



Figur 12. Droptest av briketter via vibro-press

Spridningen i resultat är stor. Små variationer i mängden bindemedel verkar inte direkt korrelera till droptestets resultat. Det bästa resultatet för fraktion F2 är test 3. Test 7 med 10% DP3171 ger ingen ökad hållfasthet jämfört med Test 3 (5% DP3171). En möjlig förklaring kan vara skillnader i mängden fukt, test 3 har en högre fukthalt jämfört med test 7 (28 respektive 12%). Bästa resultatet för fraktion F3 har erhållits med 10% DP3171 (test 9b) men även test 5 (5% DP3171) och 6 (10% cement) har bra värden i droptest. Därmed har brikettering med vibro-press av fraktion F3 har verifierats.

Granulering

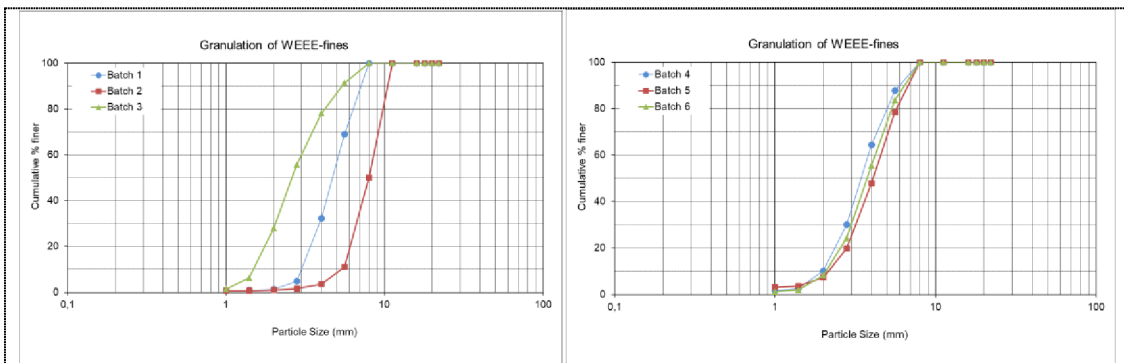
Granulering är en metod för agglomerering för finkorniga material där agglomerat formas under mekanisk omröring och med interaktion med ett flytande media [Ref. 21]. Kapillära krafter och vätning med vatten är avgörande för att kunna bilda agglomerat. Vid granulering tillväxer runda granuler fritt under inverkan av kärlets rotation. Parallellt med tillväxten sker också en sönderdelning av svaga granuler med en omrörare. De bildade granulerna kommer således att ha en naturlig storleksfördelning beroende på tid, fukt, bindemedel och mekanisk omrörningsintensitet. Figur 13 visar mixern och ett exempel på bildade granuler.



Figur 13. Bildade granuler i Eirich-mixer RV02E (fraktion F3, test 1).

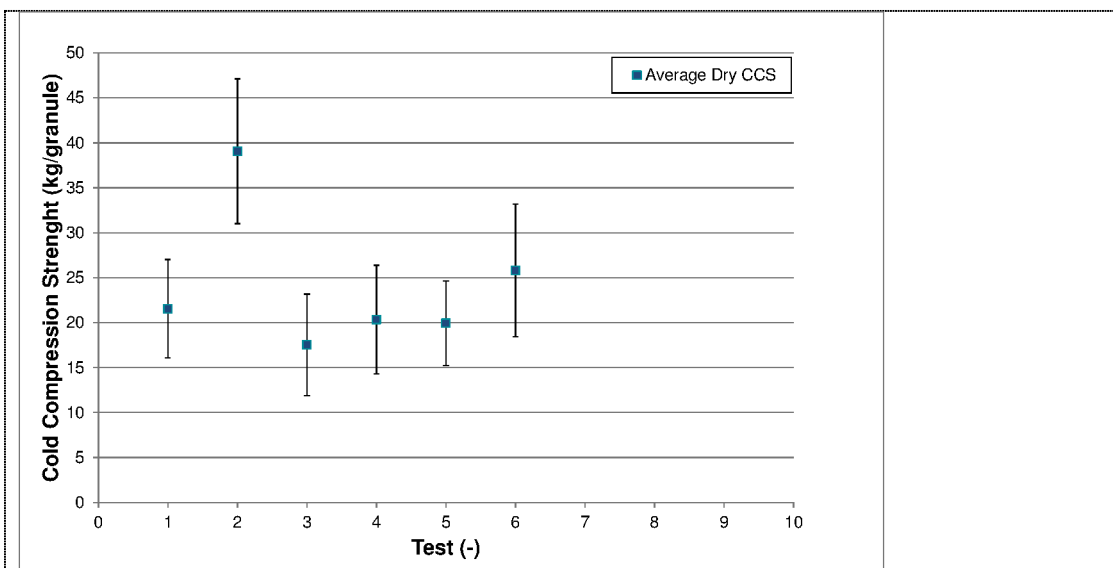
Granuler bildas då fukthalten är just under mättnadsgränsen. Vid avslutad granulering har fukthalterna varit 30-35%. Den totala granuleringstiden har maximalt varit 10 minuter.

6 försök med fraktion F3 har genomförts och de bildade granulernas storlek, densitet och hållfasthet har utvärderats efter torkning. Inga försök gjorde med F1 och F2 då partikelstorleken bedömdes vara för stor. Samtliga försök och resultat återfinns i Bilaga 1 och 7. Figur 14 visar de bildade granulernas partikelstorleksfördelningen för alla försök.



Figur 14. Partikelstorleksfördelning

Resultatet ovan visar att granulernas storlek kan till viss del styras med fukthalt och granuleringstid. Med rätt fukthalt vid starten för granulering sker tillväxten fort. En reproducerbar storleksfördelning har erhållits för de tre sista försöken. Hållfastheten har bestämts som ”cold compression strength”, se Figur 15.



Figur 15. Hållfasthet av granuler (>5,6 mm)

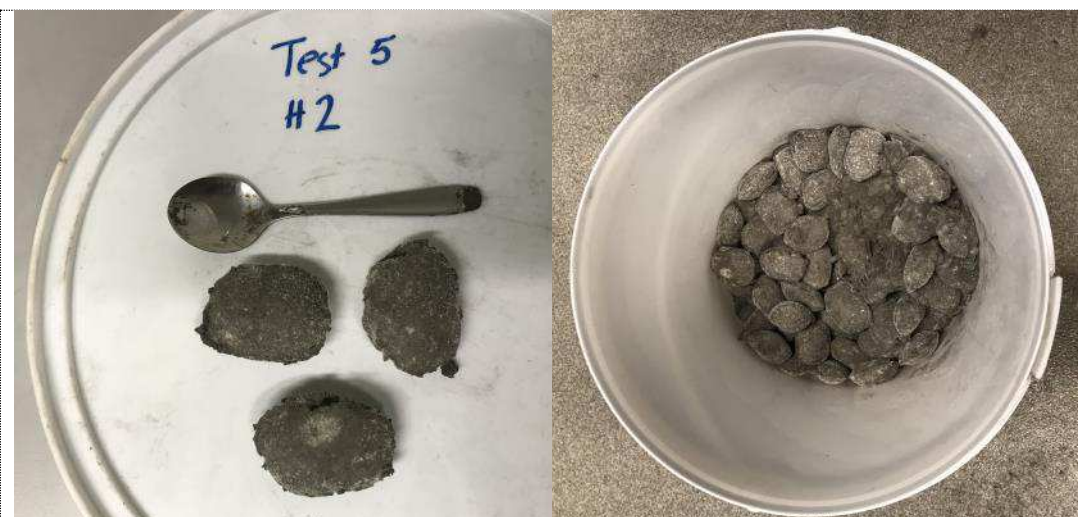
Testerna gjordes på granuler med en storlek från 5,6 mm och större för respektive test. Resultaten visar tydligt en inverkan av storleken. Test 2 med de största granulerna gav också den största hållfastheten. Inverkan av bindemedel verkar dock inte inverka på hållfastheten.

Lagringsbeständighet av agglomerat

Lagringsbeständigheten har undersökts genom att lagra fuktiga briketter i hink under en period av 6-8 veckor. Briketter med lignosulfonater som bindemedel och ett stort intervall i fukt valdes ut, se Tabell 4. I ett fall har mögel bildats på briketterna, se Figur 16. Resultaten visar att mögel kan bildas om organiska bindemedel används, men om detta är ett reellt problem eller ej behöver undersökas ytterligare.

Tabell 4. Testning av lagringsbeständighet

Test (Nr. / teknik)	Material	Bindemedel (typ / %)	Fukthalt (%)	Anm.
5 / Roller-press	F3 new	DP-3170 / 5	12,4	Mögel bildat
3 / Vibro-press	F2	DP3171 / 5	27,7	-
-5 / Vibro-press	F3 new	DP3171 / 5	40,7	-
7 / Vibro-press	F2	DP3171 / 10	10,0	-
8 / Vibro-press	F2	DP3169 / 10	10,0	-
9b / Vibro-press	F3 new	DP3171 / 10	18,5	-
10 / Vibro-press	F3 new	DP3169 / 10	18,5	-



Figur 16. Tillväxt av mögel på briketter efter 6 veckor.

Sammanfattning resultat AP5 Agglomerering i pilotskala

De uppnådda resultaten i pilotskala kan sammanfattas till:

Roller-press:

- Fraktion F1 kan inte briketteras med roller-press. Starka briketter kan dock tillverkas genom inblandning av fraktion F1 i F2.
- Fraktion F2 kan briketteras med roller-press utan bindemedel. 4% av bindemedel DP3169 höjer hållfastheten till över 50 kg och bildar endast 1% material <10mm vid ett droptest.
- Fraktion F3 kan briketteras med roller-press utan bindemedel men hållfastheten blir mycket låg. 4% av bindemedel DP3170 höjer hållfastheten till 20-30 kg och bildar 18% material mindre 10mm vid ett droptest.
- Tillsatser av lignosulfonater större än 7% resulterar i kladdning.

Vibro-press:

- Fraktion F1 kan inte briketteras med vibro-press.
- Fraktion F2 kan briketteras med vibro-press. Goda resultat (~12% <10 mm) har erhållits med 5% DP3171 och 10% cement som bindemedel.
- Fraktion F3 kan briketteras med vibro-press. Goda resultat (<10% <10 mm) har erhållits med 10% DP3171 eller cement som bindemedel.

Granulering:

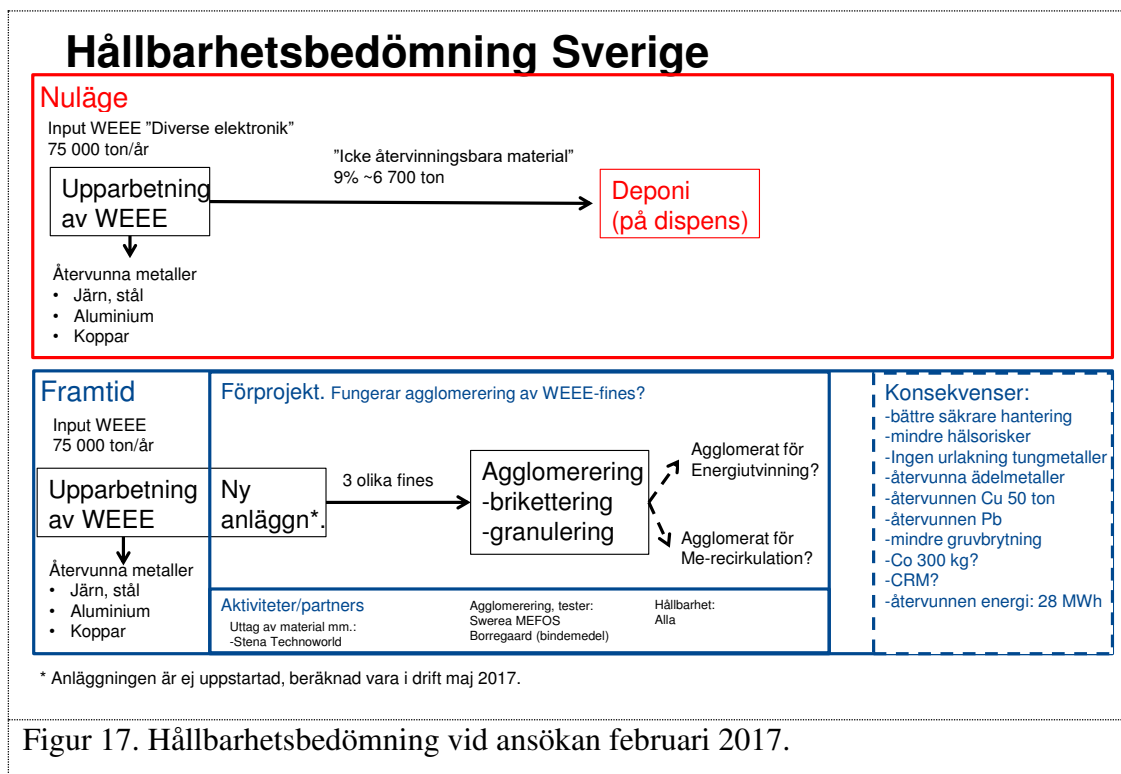
- Fraktion F3 kan agglomereras med våt granulering med eller utan bindemedel. De erhållna styrkan är god, 20-30 kg.

Verifiering av metoder och delmål:

- Roller-press har verifierats som metod för fraktion F2 och F3.
- Vibro-press har verifierats som metod för fraktion F2 och F3.
- Granulering har verifierats som metod för fraktion och F3.
- Delmål 2 uppfyllt (produkternas hållfasthet).
- Delmål 3 uppfyllt (operativa fönstret för agglomerering).
- Delmål 4 uppfyllt (producera demonstrationsmaterial).

Hållbarhetsanalys (AP6)

I samband med ansökan gjordes en hållbarhetsbedömning, se Figur 17.



Figur 17. Hållbarhetsbedömning vid ansökan februari 2017.

Med analyser av metall och energiinnehållet har en hållbarhetsanalys genomförts, se Bilaga 8. Analysen grundar sig på samma mängder av fines som vid ansökningstillfället samt att agglomererade produkter recirkuleras med syfte för återvinning av metaller. De fallande mängderna fines har dock inte kunnat bekräftas under den korta tid som anläggningen varit i drift. Materialens potential för enbart energiutvinning har bedömts som osannolik. Recirkulation till en process som kallas zinkfuming har antagits. Tabell 5 ger en jämförelse mellan hållbarhetsbedömningen från februari 2017 och hållbarhetsanalysen december 2017.

Tabell 5. Hållbarhetsanalys

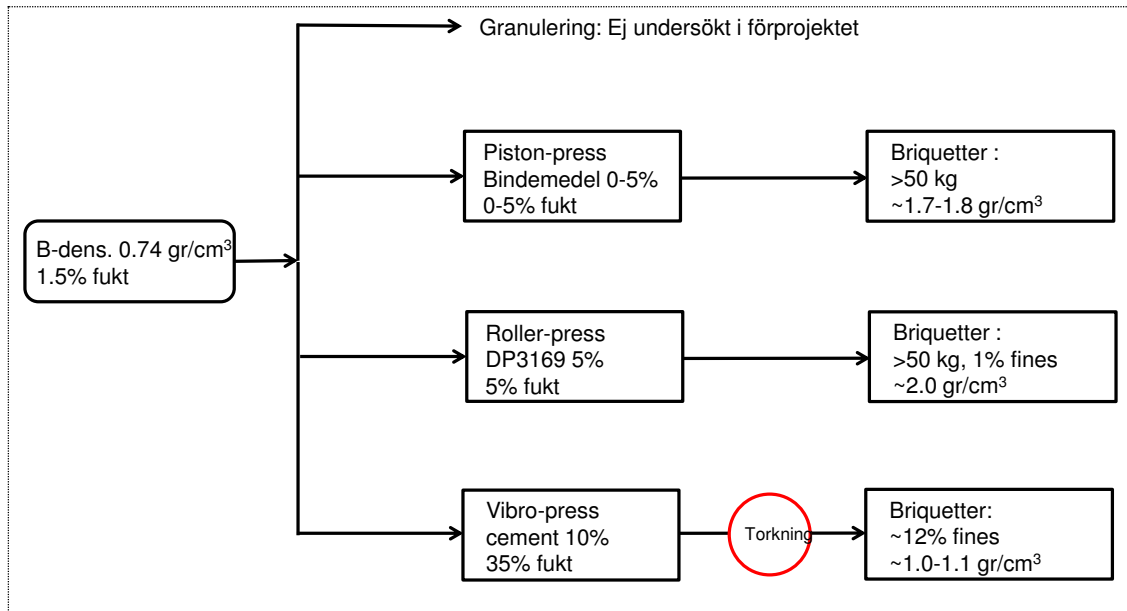
Konsekvens	Bedömning februari 2017	Analys december 2017	Kommentar
bättre säkrare hantering	Ja	Ja	Vid anläggning
mindre hälsorisker	Ja	Ja	Vid anläggning
Ingen urlakning tungmetaller	Ja	Ja	Ingen deponi
återvunna ädelmetaller	Ja	Ja	Återvinning via Zn-fuming process
återvunnen Cu	50 ton	110 ton	Återvinning via Zn-fuming process
återvunnen Zn, Pb	Ja	Pb 16 ton, Zn 27 ton	Återvinning via Zn-fuming process
mindre gruvbrytning	Ja	Ja, Cu, Pb, Zn, Au, Ag	
återvunnen Co	300 kg	Nej	Kan ej återvinning via Zn-fuming process
Critical Raw Materials	?	Nej	Kan ej återvinning via Zn-fuming process
återvunnen energi	28 MWh	23 MWh	Kan eventuellt utvinnas via Zn-fuming process

Det ska poängteras att värdena ovan bygger på enstaka analyser och att produktionsdata för Stena Technoworlds nya anläggning inte har verifierats. Det har också antagits att utbytet vid återvinning via zink-fuming processen är 100%. Detta måste givetvis verifieras via försök.

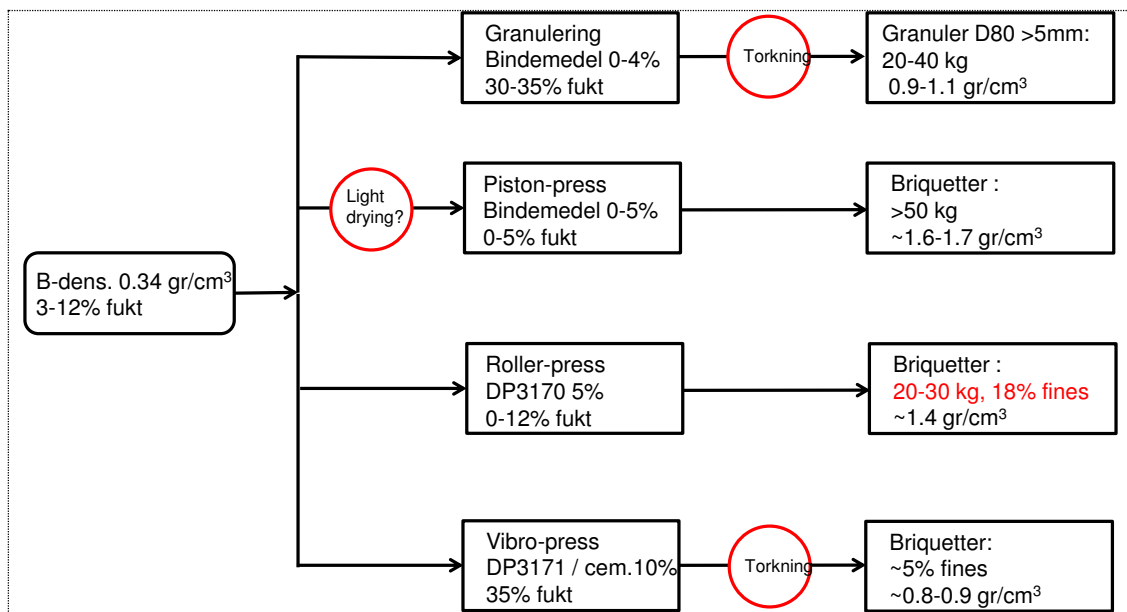
Slutsatser, nyttiggörande och nästa steg

Slutsatser

Figur 18 och 19 beskriver schematiska möjliga processvägar för agglomerering av fraktionerna F2 och F3.



Figur 18. Möjliga agglomereringsalternativ för fraktion F2.



Figur 19. Möjliga agglomereringsalternativ för fraktion F3.

Baserat på det utförda arbetet och erhållna resultat kan följande slutsatser dras:

- Ett minsta presstryck på 15 kN/cm² krävs för att få ett tillräcklig god mekanisk hållfasthet vid brikettering med laboratorie utrustning.
- De grövre materialen F1 och F2 ger lägre hållfasthet än F3.
- Agglomerat av fraktionerna F2 och F3 utan eller med bindemedel lämpar sig inte för ren energiutvinning på grund av det låga värmevärdet och den höga askhalten.
- Metallhalten av koppar i fraktion F1 är hög och lämpar sig därför emot metallåtervinning.
- Material bestående av enbart fraktion F1 kan inte agglomereras med metoderna piston-press, ruller-press eller vibro-press. En blandning bestående av 20% F1 och resterande F2 kan agglomereras via ruller-press utan bindemedel.
- Fraktion F2 kan briketteras utan bindemedel med ruller-press. 4% av bindemedel DP3169 höjer hållfastheten till över 50 kg. Tillsatser av lignosulfonater större än 7% resulterar i kladdning.
- Fraktion F2 kan briketteras med vibro-press med 10 % cement, torkning av briketterna krävs.
- Fraktion F3 kan agglomereras via granulering med eller utan bindemedel men måste torkas. Granuler med en storlek på 5-10 mm och en god hållfasthet kan produceras.
- Fraktion F3 kan briketteras med ruller-press men kräver bindemedel för att erhålla en acceptabel hållfasthet.
- Fraktion F3 kan briketteras med vibro-press med 10 % cement eller DP3171, torkning av briketterna krävs.

Nyttiggörande och nästa steg

Hållbarhetsanalysen ovan visar på en signifikant samhällelig och teknisk nytta i det fall då restmaterial agglomereras och metaller återvinns via metallurgiska processer.

Agglomerat av olika typer har tagits fram och distribuerats till Stena Technoworld för att underlätta en diskussion med potentiella slutanvändare. Utfallet av diskussioner liksom den ekonomiska aspekten kommer att avgöra ett nästa steg och kommande aktiviteter.

En möjlig och sannolik effekt av resultaten är att de finpartikulära materialen i delar eller i sin helhet agglomereras vid uppberedningsanläggningen för att sedan användas i syfte att utvinna metaller. Ytterligare utveckling krävs dock för det grövsta materialet, fraktion F1. I uppberedningsprocessen bildas fler fraktioner än de som

undersökts i förprojektet. Kompletterande undersökningar bör genomföras på dessa material.

Agglomerering kommer att kräva investeringar i ny teknik. Förprojektet har undersökt flera metoder men för en produktionsanläggning är det inte realistiskt att investera i flera tekniker. Ett nödvändigt nästa steg är att optimera bindemedel och processparametrar för respektive agglomereringsteknik och därefter göra ett teknikval. Större mängder av agglomerat behöver också tas fram och dess tillämpning som sekundär metallråvara behöver bekräftas med försök i pilot- eller driftskala. Konstellationen i ett fortsatt innovationsprojekt behöver därför utökas till att också omfatta slutanvändare av agglomeraten, tex Boliden. En breddning av konstellationen skulle också kunna vara aktuell för att applicera och undersöka förprojektets resultat på andra typer av material.

I skrivandets stund ligger beslut och initiativ för fortsatt arbetet i händerna på problemägaren, Stena Technoworld samt utfallet av diskussioner mellan Stena och potentiella slutanvändare.

Publikationslista

Inga publikationer har genomförts under tiden för förprojektet.

Projektkommunikation

Förprojektets uppstart har presenterats som en nyhet på Swereas hemsida [Ref. 22]. I övrigt har kommunikationen hittills endast varit intern hos de deltagande företagen. Slutrapporten kommer att finnas i Re:Source projektdatabas.

Referenser

1. Årsrapport om insamling 2016. El-kretsen.
2. Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE) Handbook, A volume in Woodhead Publishing Series in Electronic and Optical Materials, Edited by: V. Goodship and A. Stevels, 2012.
3. Assessment of Precious Metal Flows During Preprocessing of Waste Electrical and Electronic Equipment, Perrine Chancerel et al., Journal of Industrial Ecology, 2009.
4. Recycling of Electronic Scrap at Umicore's Integrated Metals Smelter and Refinery, Christian Hagelüken, World of Metallurgy, 2006.
5. Improving metal returns and eco-efficiency in electronics recycling, Christian Hagelüken, 2006.
6. Applied WEEE pre-treatment methods: Opportunities to maximizing the recovery of critical metals, Batinic B et al., 15th International Conference on Environmental Science and Technology, 2017.
7. WEEE Mechanical Treatments: Recovery Effectiveness of Critical Materials, Marra A. Et al., Proceedings of the 14th International Conference on Environmental Science and Technology, 2015.
8. Characterization and Production of Fuel Briquettes Made from Biomass and Plastic Wastes, Maria Angeles Garrido et al., Energies, 2017.
9. Treatment of waste printed wire boards in electronic waste for safe disposal, Xiaojun Niu, Yadong Li, Journal of Hazardous Materials, 2007.
10. WEEE recycling – metal recycling from complex beneficiation fines, A. Trentmann, B. Friedrich, RWTH Aachen University, EMC; 2017.
11. Recycling of electronic displays: Analysis of pre-processing and potential ecodesign improvements, Fulvio Ardente, Fabrice Mathieux, Marco Recchioni, Resources, Conservation and Recycling, 2014.
12. Prerequisites for a high-level framework to design sustainable plants in the e-waste supply chain, Ilaria Barletta et al., Procedia CIRP 29, 2015.
13. Liberation of Printed Circuit Assembly (PCA) and dust generation in relation to mobile phone design in a size reduction process, J. Bachér, T. Kaartinen, Waste Management, 2017.
14. Metal Extraction Processes for Electronic Waste and Existing Industrial Routes: A Review and Australian Perspective, Abdul Khaliq et al., Resources, 2014.

15. Metal recovery from high-grade WEEE: A life cycle assessment, Marianne Bigum, Line Brogaard, Thomas H. Christensen, *Journal of Hazardous Materials*, 2012.
16. High recovery recycling route of WEEE: The potential of pyrolysis, Diaz, F; Florez S., Friedrich, B., *Proceedings of EMC 2015*.
17. Mass Flow Analysis and Metal Losses by the Degradation Process of Organic-Containing WEEE Scraps, Fabian Diaz, Sebastian Florez, and Bernd Friedrich, *Chem. Ing. Tech.*, 2015.
18. Recycling of non-metallic fractions from waste printed circuit boards: A review, Jiuyong Guo, Jie Guo, Zhenming Xu, *Journal of Hazardous Materials*, 2009.
19. Recycling-oriented characterization of small waste electrical and electronic equipment, Perrine Chancerel, , Susanne Rotter, *Waste Management*, 2009.
20. Carbomax – Designing Raw Materials. Martin Bjurström. Presentation vid Agglomeration Seminar NyCoSi, November 2016 Trondheim.
21. Mixing and Agglomeration in Eirich Mixers. Marcus Muller. Presentation vid Agglomeration Seminar NyCoSi, November 2016 Trondheim.
22. <https://www.swerea.se/nyheter/8-forskningsprojekt-ska-forbatta-atervinning-och-resurshantering>

Bilagor

Bilaga 1. Genomförda försök.

Bilaga 1. Tabell 1. Genomförda laboratorieförsök med piston-press.

Test No. (-)	Material	Binder	Binder dosage (%)	P (kN/cm ²)	Br. Diameter (mm)	Moisture (%)
1	F3	0	0,0	8	40	ND
2	F3	0	0,0	16	40	ND
3	F3X	0	0,0	8	40	ND
4	F3X	0	0,0	16	40	ND
5	F3	DP 3168	5,0	16	40	ND
6	F3	DP 3168	5,0	16	40	3,5
7	F3X	DP 3168	5,0	16	40	0,1
8	F3X	DP 3168	5,0	16	40	3,4
9	F3	0	0,0	64	20	2,0
10	F3	0	0,0	24	20	1,9
11	F3	0	0,0	32	20	1,8
12	F3	0	0,0	45	20	1,8
13	F3X	0	0,0	64	20	1,5
14	F3X	0	0,0	24	20	1,6
15	F3X	0	0,0	32	20	1,6
16	F3X	0	0,0	45	20	1,6
17	F3	DP3170	5,0	16	40	2,0
18	F3	DP 3169	5,0	16	40	5,1
19	F3	DP 3171	5,0	16	40	5,3
20	F3	DP 3170+5% vatten	5,0	16	40	5,7
21	F3	Molass / kalk	5,0	16	40	5,1
22	F3X	DP 3170	5,0	16	40	1,8
23	F3X	DP 3169	5,0	16	40	5,3
24	F3X	DP 3171	5,0	16	40	2,9
25	F3X	DP 3170+5% vatten	5,0	16	40	5,8
26	F3X	Molass / kalk	5,0	16	40	5,3
27	F2	0	0,0	16	40	1,5
28	F2	0	0,0	8	40	1,4
29	F2	0	0,0	32	20	1,4
30	F3 new	0	0,0	16	40	6,9
31	F3 new	0	0,0	8	40	6,5
32	F3 new	0	0,0	32	20	6,3
33	F1	0	0,0	16	40	ND
34	F1	0	0,0	8	40	ND
35	F1	0	0,0	32	20	ND

Bilaga 1. Tabell 2. Genomförda pilotförsök med roller-press.

Test No. (-)	Material (-)	Binder (-)	Binder dosage (%)	P (bar)	Moisture (%)
1	F3 new	0	0,0%	130	12,8
2	F3 new	0	0,0%	180	12,8
3	F2	0	0,0%	180	1,5
4	F2	DP 3169	4,7%	180	12,8
5	F3 new	DP 3170	5,0%	180	12,8
6	F3 new	DP 3171	6,6%	180	15,4
7	F3 new	DP 3171	6,6%	180	15,4
8	F1	0	0,0%	180	2,8
9	F1 20% F2 80%	0	0,0%	180	1,8
10	F2	DP 3170	8,7%	180	5,5
11	F3 new	DP 3170	7,5%	180	12,2
12	F3 new	DP 3168	8,5%	180	12,2
13	F3 new	Bostik	5,4%	180	18,1

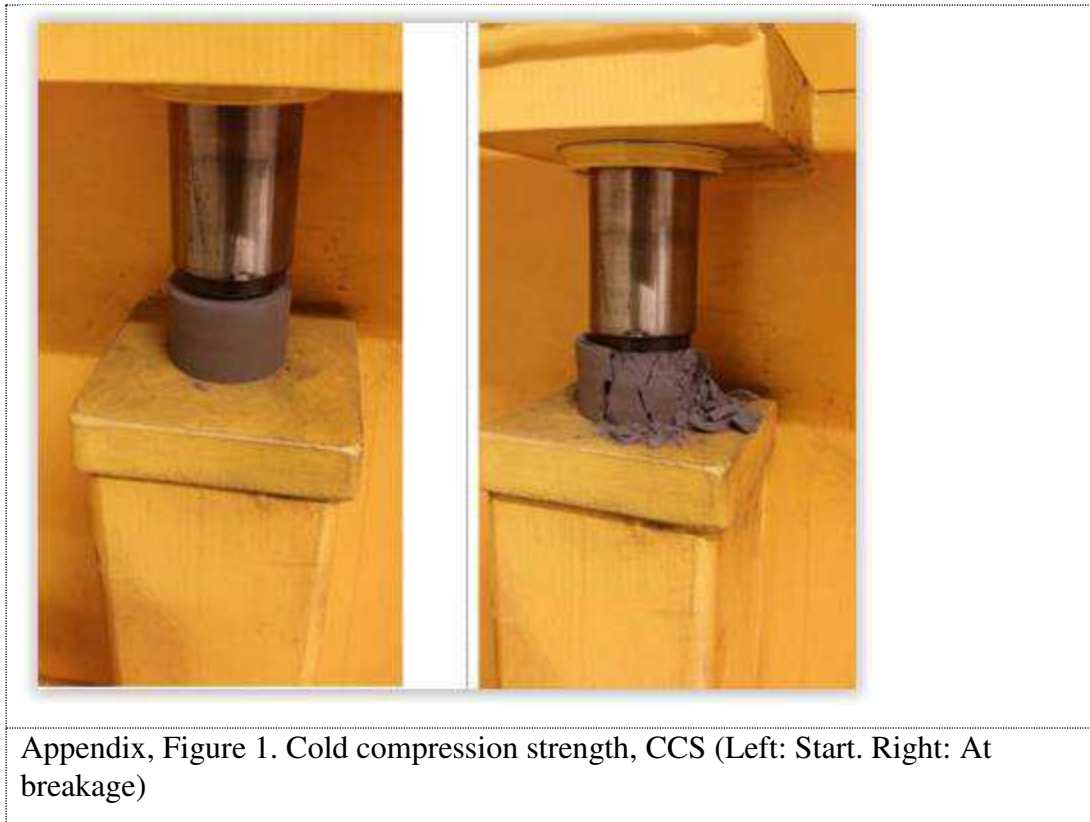
Bilaga 1. Tabell 3. Genomförda pilotförsök med vibro-press.

Test No. (-)	Material (-)	Binder (-)	Binder dosage (%)
1	F1	DP 3171	5,0%
2	F1	Cement	10,0%
3	F2	DP 3171	5,0%
4	F2	Cement	10,0%
5	F3 new	DP 3171	5,0%
6	F3 new	Cement	10,0%
7	F2	DP 3171	10,0%
8	F2	DP 3169	10,0%
9a	F3 new	DP 3171	11,0%
9b	F3 new	DP 3171	10,0%
10	F3 new	DP 3169	10,0%

Bilaga 1. Tabell 4. Genomförda pilotförsök med granulering.

Test No. (-)	Material (-)	Binder (-)	Binder dosage (%)	Moisture (%)
1	F3 new	DP3170	4,0	32,4%
2	F3 new	DP3170	4,0	30,8%
3	F3 new	-	-	32,5%
4	F3 new	DP3168	4,0	31,4%
5	F3 new	DP3169	4,0	30,2%
6	F3 new	DP3171	4,0	33,0%

Bilaga 2. Mätning av briketters hållfasthet.



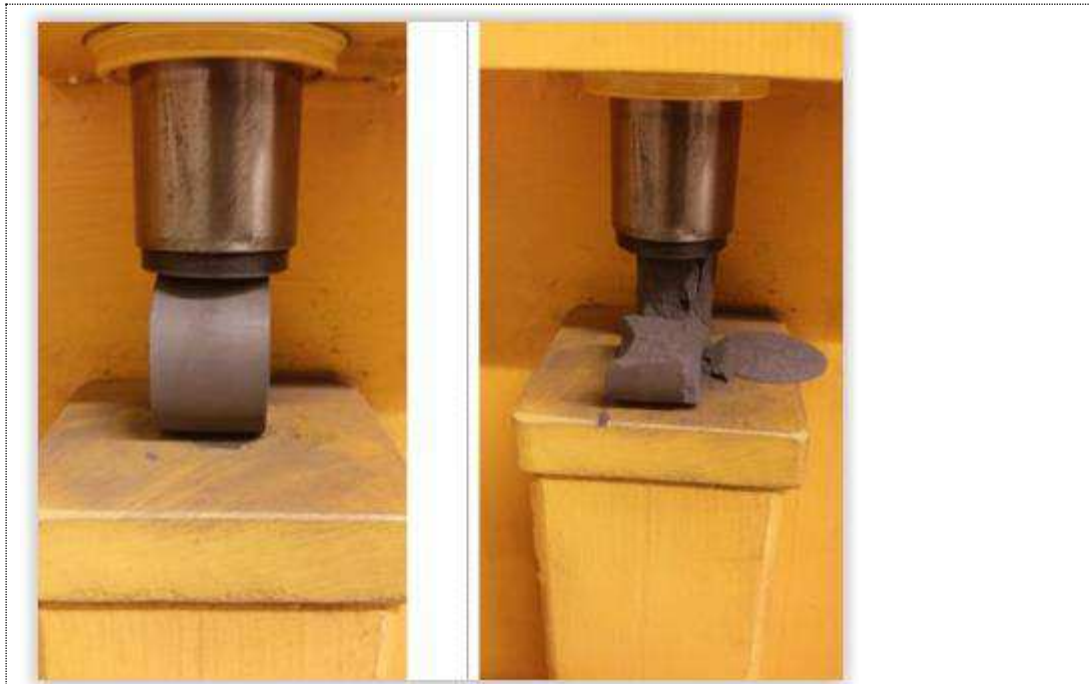
The pressure (bar) in the cylinder is used for the force calculation. Five briquettes were used for each test and an average value was calculated expressed as force when breakage (kg). For cylindrical shaped briquettes the specific force per area could be calculated (kg/cm²) according to Equation 2 and splitting tensile strength according to Equation 3

[Ref. Evaluation of the splitting tension test for concrete from a fracture mechanical point of view, Proceeding of FraMCoS-7, May 23-28 2010.]

$$F = P_{At_breakage} \frac{100000 \cdot 0.00145}{9.81} \text{ (kg)} \quad \text{Eqv. 1}$$

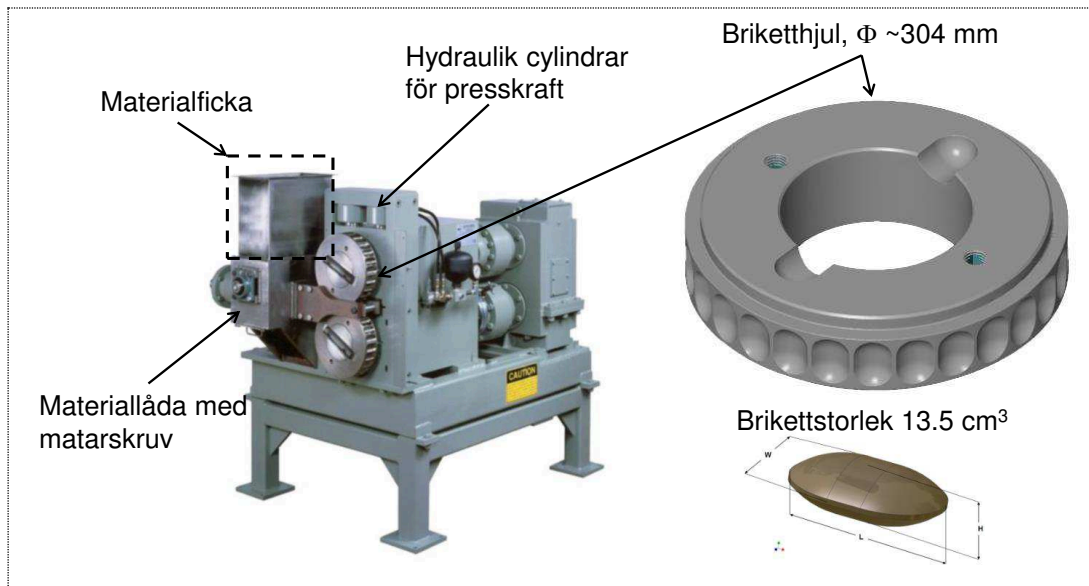
$$\text{Compression_strength} = \frac{F}{\pi \cdot D_{Briq}^2 \cdot 0.25} \text{ (kg/ cm}^2\text{)} \quad \text{Eqv. 2}$$

$$\text{Splitting_tensile_strength} = \frac{F \cdot 2}{\pi \cdot D_{Briq} \cdot H_{Briq}} \text{ (kg/ cm}^2\text{)} \quad \text{Eqv. 3}$$

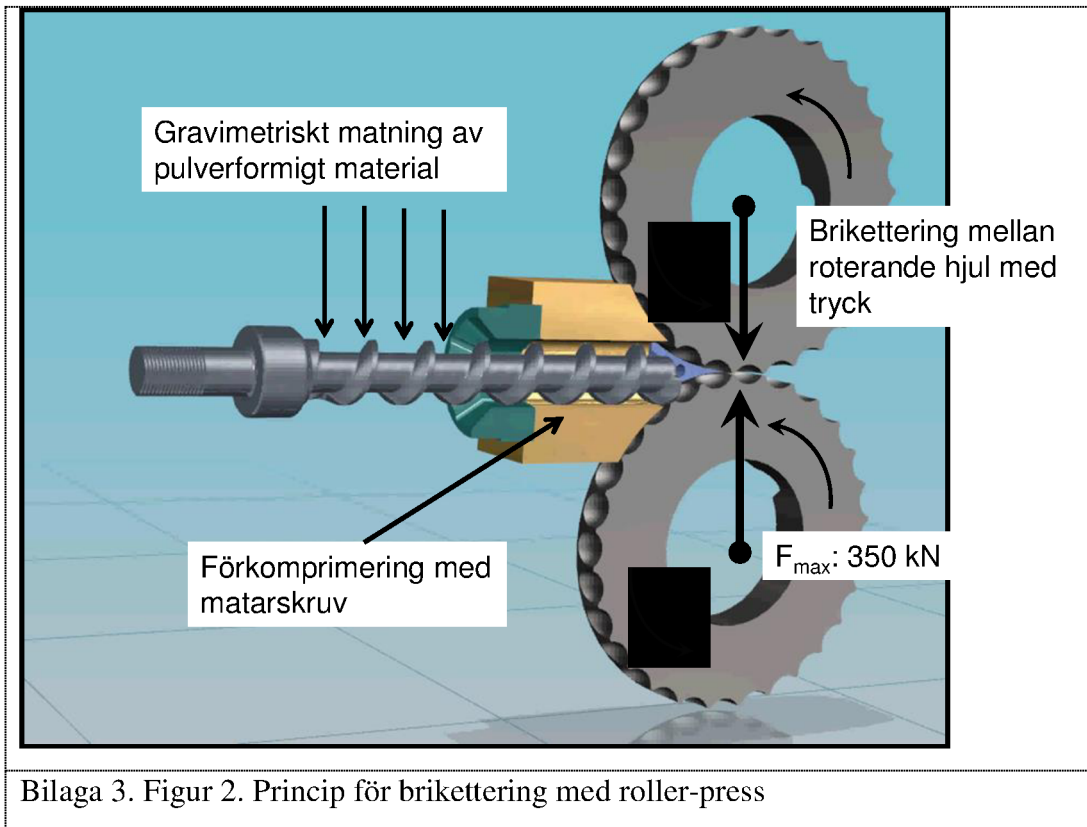


Appendix, Figure 2. Splitting strength (Left: Start. Right: At breakage)

Bilaga 3. Brikettering med roller-press



Bilaga 3. Figur 1. Briketteringsmaskin B220B, 100-1200 kg/h.



Bilaga 4. Resultatsammanställning roller-press

Test No.	Material	Briketter	Anm.	CCS (T0 och torkade)	Droptest (T0 och torkade)	Produktion
(-)	(-)	(-)	(-)	(kg)	(% -10mm)	(kg/h)
1	F3 new	Ja, fina	Ej hållbara	ND	ND	88
2	F3 new	Ja, fina	Ej hållbara	ND	ND	83
3	F2	Ja, fina	Hållbara	41 / 24	40 / 53	178
4	F2	Ja, fina	Hållbara	77 / 47	0,5 / 1,2	180
5	F3 new	Ja, fina	Dålig styrka	18 / 33	56 / 18	119
6	F3 new	Ja, fina	Dålig styrka	ND	ND	105
7	F3 new	Ja, fina	Bättre styrka	ND	ND	128
8	F1	Inga briketter	Ej hållbara	ND	ND	ND
9	F1 20% F2 80%	Ja	hållbara	50 / 77	23 / 28	170
10	F2	Ja, men kladdning	Kladdning	ND	ND	ND
11	F3 new	Ja, men kladdning	Kladdning	ND	ND	ND
12	F3 new	Ja, men kladdning	Kladdning	ND	ND	ND
13	F3 new	Ja	Dålig styrka	ND	ND	ND

Bilaga 5. Briketteringsmaskin TEKSAM VU600/6

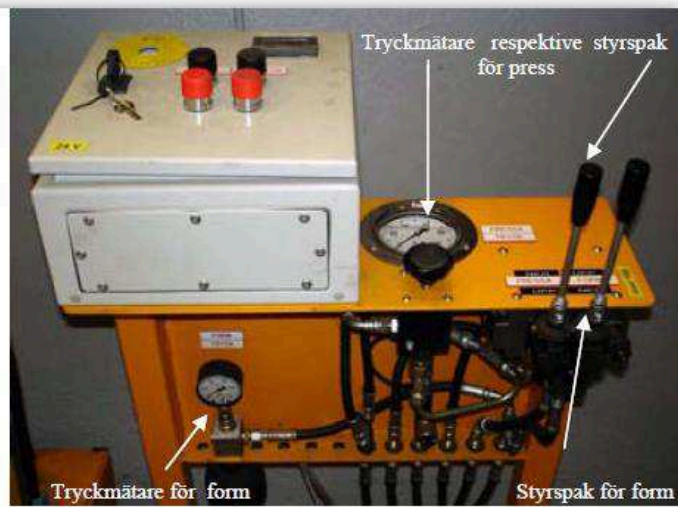
En bild av hela briketteringsutrustningen ses i Figur 1. Briketteringsutrustningen består av en hydraulstation till vänster, presstativ med vibratorenhet, brikettform och press i mitten och till höger i bilden finns manöversektionen. Hydraulstationen har två pumpar som drivs av en elmotor samt en 120 liters tank. Den ena pumpen driver vibratorm som är monterad under en platta i presstativet. På plattan finns också hydraulcylindrar som håller fast och lyfter formen vid avformning. Vibratorm ger vibrationer i lodrätt plan och både vibratorfrekvens och amplitud kan justeras. Den andra pumpen används till drift av formen och pressen. Press och brikettform manövreras i höjddled med hjälp av styrspakar se Figur 2 och Figur 3.



Figur 1. Utrustning för tillverkning av försöksbriketter - Teksam VU600/6



Figur 2. Brikettpress och form för 16 briketter



Figur 3. Manöverpanel

Presstryck för både form och press kan regleras och avläsas på separata tryckmätare, Figur 3 och Figur 4. Presskraften kan också ställas in med hjälp av ventilen på manöverpanelen. På boxen ovanpå manöverstativet, Figur 5, finns en säkerhetsstopp samt separata knappar för påslaging och avstängning av både vibratorm och motorn som driver hydraulpumparna. Ett digitalt instrument visar vibrators frekvens. I bilaga 1 finns ytterligare uppgifter om vibratorsystemet.

Bilaga 6. Resultatsammanställning vibro-press

Test No. (-)	Material (-)	Briketter (-)	Anm. (-)	Densitet (gr/cm ³)	Droptest (% <10mm)
1	F1	Ja	Ej hållbara	ND	ND
2	F1	Ja	Ej hållbara	ND	ND
3	F2	Ja	OK	1,10	12
4	F2	Ja	OK	1,05	12
5	F3 new	Ja	OK	0,85	12
6	F3 new	Ja	OK	0,85	5
7	F2	Ja	OK	1,00	16
8	F2	Ja	OK	1,00	60
9a	F3 new	Ja	OK	0,78	23
9b	F3 new	Ja	OK	0,80	2
10	F3 new	Ja	OK	0,79	55

Bilaga 7. Resultatsammanställning granulering

Test No.	Granulstorlek K80	Densitet (bulk / granul)	CCS
(-)	(mm)	(gr/cm ³)	(kg)
1	6,5	0,66 / 1,10	22
2	10,0	0,65 / 1,08	39
3	4,0	0,58 / 0,96	18
4	4,5	0,57 / 0,95	20
5	5,0	0,59 / 0,98	20
6	5,0	0,62 / 1,04	26

Bilaga 8. Hållbarhetsanalys

Steg 1 – Vilken befintlig lösning ersätts med din projektidé?

En metod för att återvinna uttjänt komplext elektronikskrot (exempelvis mobiltelefoner) har utvecklats av Stena. Från processen faller tre finkorniga stoft som det inte finns någon användning för idag utan de kommer att gå på deponi. Försök har gjorts för att föra stoftet direkt till kopparsmältverk, men det är inte hanterbart p.g.a. matningssystem och damning. Detta projekt syftar till att utveckla metoder för att agglomerera stoftet samt att genomföra en omvärldsanalys för att utreda möjligheten att bäst tillvarata de briketterade stoftet.

Steg 2 – Hur påverkas hållbarhetsaspekterna i olika delar av värdekedjan med din projektidé?

Värdekedjan definieras för en komplex elektronikpryl, exempelvis en smartphone.

		<u>Värdekedjan</u>			
		Utvinning av råmaterial	Tillverkning	Användning	Återvinning/resthantering
Hållbarhetsaspekter	Miljö- och klimatpåverkan	+	0	0	+
	Energi	+	0	0	-
	Material	+	0	0	-/+
	Arbetsmiljö och hälsa	+	0	0	+
	Mänskliga rättigheter	+	0	0	0
	Jämställdhet och mångfald	0	0	0	0
	Ekonomi	?	0	0	+
	Övrigt				

Steg 3 – Sammanställning

Projektet syftar till ökad återvinning av metall och kolinnehållande stoft som bildas i samband med återvinning av WEEE. Genom att brikettera stoften och utreda vilken väg som är bäst att återvinna dem, kommer först och främst materialeffektiviteten att öka genom minskade deponier.

Projektets största vinster finns inom återvinning och resthantering av komplexa elektronikartiklar, samt vid utvinning av råmaterial. Projektet kommer inte att ha någon direkt påverkan på tillverkning och användning av artiklarna förutom eventuell marknadsföringsfördel om tillverkarna kan hävda att deras artiklar är gjorda av större andel återvunnet material

Om stoften skulle gå till kopparsmältverk skulle det innebära en materialeffektivisering eftersom stoften har högre kopparhalt än malmkoncentraten som bryts idag. Dessutom finns metallerna redan i metallisk form vilket innebär minskad användning av fossilt kol och lägre svavelutsläpp då malmkoncentratet innehåller svavel. Ökad återvinning leder till minskad gruvbrytning vilket i sig har stora miljövinster i form av gruvspill, energianvändning, förfullning etc. Bly och tenn som finns i elektronikskrotet i form av lödningar kommer att bilda produkter genom att de återförs till sina respektive kretslopp.

Då komplex elektronik som mobiltelefoner innehåller olika s.k. konfliktmineraler som kobolt, volfram och guld finns dessa även representerade i stoftet från

återvinning av elektronikskrotet. Genom att brikettera stoftet skapas förutsättningar för att återföra dessa mineraler till sina respektive kretslopp istället för att de ska deponeras. Det finns idag ingen utvecklad metod för att återvinna exempelvis kobolt, men genom att energiåtervinna stoftet och koncentrera metallerna i bottenaskan skapas förutsättningar för att i framtiden återvinna dem.

Att brikettera stoftet kommer att kräva resurser i form av energi, bindemedel och vatten. I projektet kommer nya biobaserade bindemedel att testas. Energin som används vid brikettering är nästan uteslutande elenergi, och förutsatt att grön el används är det positivt då briketterna till stor del kan komma att ersätta fossilt kol i andra delar av livscykeln. Briketteringen kommer rimligen att utföras i samma lokaler som övrig återvinningsprocess. Brikettering är en relativt dammfri process vid låga temperaturer och all hantering och transport av briketterna är enklare och säkrare än den av stoft. Briketteringen kommer rimligen att leda till ökad lönsamhet och nya arbetstillfällen i återvinningsbranschen.

Projektet kommer att leda till kunskapsuppbyggnad gällande agglomerering av konsumentavfall i förhållande till industriavfall. Konsumentavfall tenderar att varieras i kvalitet över tiden medan industriavfall vanligtvis håller jämn kvalitet.

Dessutom kommer nya rena biobaserade bindemedel att testas. Arbetsfördelningen i projektet kommer att ta hänsyn till jämställdhet och mångfald efter respektive deltagande företags förutsättningar. Projektet strävar efter att kunna anlita praktikanter eller examensarbetare.

Steg 4 - Dokumentation/Arkivering

Denna hållbarhetsrapport genomfördes av
Ida Heintz och Ulf Sjöström

Separata bilagor

- Administrativ Bilaga för Energimyndigheten.
- Separat bilaga. Kemiska analyser (Konfidentiell information ej inkluderad i rapporten. EJ SPRIDNING)