

Siktning av avfall

Andreas Johansson (SP),

Anders Johnsson (Borås Energi och miljö)

Hitomi Yoshiguchi (Stena Metall)

Britt-Marie Steenari (Chalmers)

Sara Boström (Renova)

Julia Fredäng (Dalkia)

Mattias Bisailon (Profu)

Hans Andersson (Metso)

Siktning av avfall

Sifting of waste

Andreas Johansson
Anders Johnsson
Hitomi Yoshiguchi,
Britt-Marie Steenari
Sara Boström
Julia Fredäng
Mattias Bisailon
Hans Andersson

Projektnummer WR-06

WASTE REFINERY
SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut
Box 857, 501 15 Borås
www.wasterefinery.se
wasterefinery@sp.se
ISSN 1654-4706

Sammanfattning

Avfall som bränsle kännetecknas av ett högt innehåll av inerta beståndsdelar (aska) som kan vara problematiska i en förbränningsprocess och leda till driftrelaterade problem såsom, beläggningar, agglomereringar samt till höga drift- och underhållskostnader, till exempel höga flöden av additiv, hög sotningsfrekvens och höga askflöden. En metod för att minska andelen av oönskade askkomponenter i förbränningsprocessen kan vara att sikta avfallet innan det når en förbränningsanläggning. Tidigare försök har nämligen visat att en betydande del av det inerta materialet och de oönskade komponenterna återfinns bland de finaste partiklarna. Inga tidigare siktningförsök har undersökt kopplingen till effekterna från det siktade avfallet till förbränningsprocessen.

Av denna anledning undersöktes förutsättningar för att använda siktning som förbehandlingsmetod. Undersökningen utfördes hos Borås Energi och miljö med syftet att karaktärisera siktresten och eventuella positiva effekter på förbränningsanläggningen. Arbetet omfattar även en studie kring möjliga avsättningsområden för siktresten. Målen är:

- att undersöka och visa de ekonomiska förutsättningar för siktning av förbehandlat avfallsbränsle
- att undersöka och visa effekter på avfallspannorna i termer av rökgastemperaturer, sotningsintervall, askflöden och emissioner att undersöka och visa den kemiska sammansättning på finfraktionen
- att undersöka och visa hur finfraktionen kan avyttras

Effektmålen är att öka pannstillgängligheten samt att minimera drift och underhållskostnader. Målgruppen för studien är främst anläggningsägare samt tillverkare av pannor och siktar.

Projektens utpekade mål har uppfyllts och visar på att det finns en ekonomisk potential i att sikta inkommande avfall, främst beroende på ökade sotningsintervall samt minskad kalkförbrukning och askflöden. Begränsande parameter är avsättningen av finfraktionen som på ett eller annat sätt måste efterbehandlas. Flera alternativ för efterbehandling finns dock.

Nyckelord: *Siktning, förbehandling, avfallsförbränningen, beläggingsbildning*

Summary

Waste as a fuel is characterized by high levels of inert components (ash) that may cause problems in a combustion process that result in high costs for operation and maintenance (e.g. large ash flows, high need for additives). A potential method for reduction of these costs is to separate inert components through sifting prior the combustion process. Previously it has been found that a major share of the unwanted components is found in the fine grains. However, the practical relevance of sifting has not been verified against boiler performance. Therefore, the prospects for sifting as a pre-treatment method was investigated at Borås Energi och miljö with the aim to characterize the composition in the fine-grained residues and to determine the effects from sifting on the boiler performance. The project includes also a short report on possible markets for the fine-grained residues.

The effect target is to increase the boiler availability and to reduce the cost for operation and maintenance. The target groups for the work are owners of Energy-from-Waste plants as well as constructors of plants and sieves. The work shows that sifting can be beneficial from an economical point of view if a suitable market for the fine-grained residues is found. Several theoretical markets exist but the governing parameter is the actual costs for the post-treatment.

Key words: *Sifting, pre-treatment, Waste combustion, deposits*

Innehållsförteckning

1	INLEDNING	1
1.1	PROBLEMDISKUSSION	1
1.2	PROBLEMFÖRMULERING OCH MÅL	1
1.3	AVGRÄNSNINGAR	2
2	BAKGRUND	3
3	MATERIAL OCH METODER	4
3.1	SOBACKEN	4
3.2	RYAVERKET	6
3.3	AVSÄTTNINGSMÖJLIGHETER FÖR SIKTRESTEN	7
4	RESULTATREDOVISNING	8
4.1	SIKTNING OCH PROVTAGNING AV SIKTRESTEN	8
4.2	EFFEKTER PÅ PANNPRESTANDA VID SIKTNING AV AVFALL	9
4.3	AVSÄTTNINGSMÖJLIGHETER FÖR SIKTRESTEN	12
4.4	EKONOMISK ANALYS	14
5	SLUTSATSER	16
6	REKOMMENDATIONER OCH ANVÄNDNING	17
7	LITTERATURREFERENSER	18

Bilagor

A	BILAGA 1 - KEMISK SAMMANSÄTTNING: SIKTREST, NORMALBRÄNSLE OCH ASKOR
B	BILAGA 2 - TEKNISK DATA FÖR STJÄRNSIKT 3-MB

1 Inledning

1.1 Problemdiskussion

Genom att sikta bort den finfraktion som finns i inkommande avfall, eller som uppstår när avfallsbränsle krossas, så kan flera oönskade och mycket kostsamma effekter såsom höga askflöden, slitage, beläggingsbildning och korrosion reduceras. Finfraktionen har i tidigare siktningsförsök visat sig innehålla höga halter av oorganiska beståndsdelar som förorsakar problem i förbränningsanläggningar. Vid avfallsanläggningen Sobacken i Borås har betydande mängder finkornigt inert material konstaterats visuellt och Borås Energi och miljö har följaktligen velat undersöka möjligheterna för att använda siktningsföretag för att ytterligare förbättra bränslekvaliteten.

1.2 Problemformulering och mål

Detta projekt syftar till att utreda möjligheten att minska mängd aska och oorganiska komponenter i avfallsförbränningsförloppet genom en ökad förbehandling av bränslet genom siktningsföretag. Samtidigt undersöks ekonomiska alternativ för att ta hand om siktresten.

Projektets mål är att undersöka och visa:

- mängden finfraktion som bildas och som kan siktas bort
- den kemiska sammansättning på finfraktionen och hur denna kan avyttras
- effekter på avfallspannorna i termer av rökgastemperaturer, sotningsintervall, askflöden och emissioner
- ekonomiska förutsättningar för siktningsföretag av förbehandlat avfallsbränsle (utförs i samarbete med Waste Refinery projektet WR02)

Effektmålen är att öka pannstillgängligheten samt att minimera drift och underhållskostnader

Projektet genomfördes på Borås Energi och miljö's anläggningar: Sobacken (siktningsföretag) och Ryaverket (förbränning).

Siktningsföretaget pågick under fyra veckor och en noggrann genomgång av panndrift genomfördes före, under och efter det att det siktade avfallet förbrändes. Förbränningsförsöken pågick under en vecka Detta för att utreda vilken effekt siktningsföretaget får på driften av förbränningsanläggningen. Ackumulerad provtagning och kemisk analys utfördes på de siktade finfraktionerna och möjlig avsättning för den utsorterade avfallsfraktionen studerades.

Arbetet inleddes med ett projektmöte där projektet specificerades utifrån styrgruppens erfarenheter och synpunkter.

1.3 Avgränsningar

Arbetet inkluderar en kort sammanställning av de ekonomiska förutsättningarna för en utökad förbehandling genom siktning. En utförligare bedömning för den ekonomiska potentialen görs i Waste Refinery projektet WR 02. Arbetet fastställer inte kostnaderna för olika avsättningsmöjligheter för siktresten utan pekar endast ut hur stora kostnader som kan bäras av de besparingar/intäkter som följer av siktningsen.

2 Bakgrund

Avfall som bränsle i en förbränningsanläggning skiljer sig från andra bränslen främst med avseende på den höga halten av aska och metaller. Ämnen som alkali, klor, svavel, kalcium, zink och andra metaller och tungmetaller orsakar (korrosiva) beläggningar på värmeöverförande ytor, sintringar i bottenbädd (främst i FB-pannor) samt ökar askflöde, slitage och emissioner av tungmetaller. Riskerna för oönskade emissioner, driftstopp och försmutsningar tvingar fram motverkande åtgärder såsom sotning, additivtillsatser och avancerad reningsutrustning, vilket i sin tur är förknippade med höga investerings- och driftskostnader.

Flera tekniker finns för att minska andelen aska och metaller i förbränningsprocessen. Avskiljning kan till exempel ske med hjälp av magneter, virvelströmsseparatorer, flottörer och olika siktningstekniker. När det gäller det senare så har det gjorts en del studier på massbalanser och på siktrestens innehåll. Bland dessa så kan Värmeforskprojekt 820 ” Förbränning av returträflis – Etapp 2” nämnas [1]. Där siktades en dammfraktion bort som visade sig innehålla upp till 40 % av de beläggingsbildande komponenterna. Renova har också provat olika siktningstekniker för att avskilja främst svavel och MSAB levererar idag siktat byggavfall till Borås Energi och miljö. Arbetena visar på olika mängder avskiljningsgrad, mängder siktrest samt sammansättning på siktresten. En gemensam utmaning är att sikta ut en fraktion som innehåller mindre än 5- 10 viktsprocent organiskt kol¹ (TOC), vilket i så fall möjliggör avsättning av siktresten till deponi eller som konstruktionsmaterial.

Vid bränsleberedningsanläggningen på Sobacken i Borås har det konstaterats betydande halter av inert material i det bränsle som skickas till förbränning och det har därför även varit önskvärt att undersöka möjligheterna att reducera dessa halter. Försök i fullskala utfördes följaktligen i detta projekt för att kartlägga potentialen hos en teknik kallad stjärnsikt, samt för att undersöka om siktningen medförde några positiva (mätbara) effekter vid den efterföljande förbränningen. Flera andra sikttekniker diskuterades också, såsom skaksikt, trumsikt, vibrasikt, etc. Av dessa framstod stjärnsikt och trumsikt som mest lämpliga för avfall. Borås Energi och miljö har sedan tidigare goda erfarenheter av stjärnsiktstekniken vilket i slutändan avgjorde valet av teknik. Stjärnsiktningen användes då för att sikta bort barr från inkommande biobränsle.

¹ Tolkning av lagstiftningen avgör om det är 5 eller 10%.

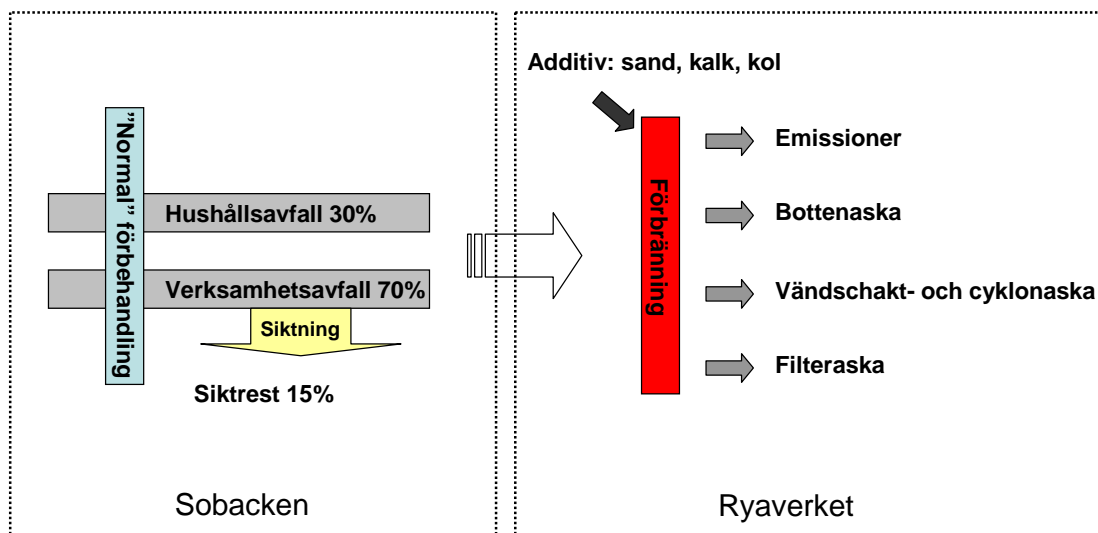
3 Material och metoder

3.1 Sobacken

Projektet genomfördes på Borås Energi och miljöns anläggningar: Sobacken och Ryaverket. Siktningen, provtagningen av siktresten samt tillhörande massbalanser och energibalanser utfördes på Sobacken medan förbränningsförsöken och dithörande askprovtagning, bränsleprovtagning samt analys av driftsdata utfördes vid avfallspannorna på Ryaverket. Siktningen omfattade enbart verksamhetsavfall som hade krossats i befintlig beredningsanläggning, dvs. förkross och hammarkvarn, till en styckestorlek på < 100 mm. En principskiss över siktningen och fasta flöden visas i Figur 1.

Siktningen utfördes med hjälp av en så kallad stjärnsikt som för projektets ändamål var bestyckad med ett extra siktningsdäck för att få ner partikelstorleken på siktresten till under 10 mm. Detta medförde att stjärnsikten sorterade det inkommande avfallet i totalt fyra fraktioner: en mindre än 10 mm, en mellan 10 - 30 mm, en mellan 30 – 60 mm samt en över 60 mm. Vid permanent användning av stjärnsikt kan sikten dock bestyckas så att det extra däckat kan undvikas. Uppställningen av stjärnsikten visas i Figur 2. Stjärnsikten som var av märket Backers (3-mb) levererades av TESAB Återvinning AB, se bilaga B samt www.tesab.com/atervinning för mer info.

Totalt siktades ca 2000 ton avfall vilket svarar mot en veckas bränsleförbrukning i avfallsförbränningsanläggningen och provtagningen av siktresten (< 10 mm) genomfördes under fyra veckor (10h/dag, 5 dagar/vecka) med en provtagning per vecka. Under respektive vecka ackumulerades en provmängd genom att en frontlastare 4-5 gånger per dag – beroende på hur länge sikten kördes (strategin för den ackumulerande provtagningen är således tidsbaserad) – tog ett delprov på ca 100 kg ur den hög som bildas under det



Figur 1. Principskiss: Förbehandling och förbränning av avfall vid Sobacken och Ryaverket i Borås.

Figure 1. Outline diagram: Pretreatment and combustion of waste at Sobacken and Ryaverket in Borås.



a



b



c

Figure 2. (a) Uppställning av stjärnsikt och det extra siktningsdäcket. (b) Stjärnsikten sedd från frontlastarens vy (Figur 1a). (c) Vy över ett av siktdäcken.

Figure 2. (a) The arrangement of the star screen and the additional sifting deck (b) The star screen seen from the view of the front loader in Figure 1a. (c) Overview of one of the sifting deck.

avslutade siktdäcket. Uttagen med frontlastaren togs på olika positioner längs med högen för att minimera risken för systematiska fel. Uttagen tippades sedan på en i förväg utbredd plast (4 m x 3 m) och i slutet av respektive vecka gjordes en manual omblandning och neddelning av den uttagna provmängden. Neddelningen genomfördes så att siktresten blandades och fördelades ut över tolv utmarkerade rutor på plasten. Därefter halverades mängden genom att varannan ruta plockades bort. Sedan upprepades blandningen, utjämnningen och halveringen av materialet ytterligare två gånger innan slutligen ca 30 kg

samlades in och lämnades in till SPs kemilab. Provtagningsmetodiken var baserad på rekommendationerna i Nordtest [2] respektive Värmeforskrapport 1036 [3].

En massbalans över hur avskiljningsgraden för stjärnsikten utfördes också tillsammans med en energibalans över siktens bränsleförbrukning. Frontlastarna insats när det gäller transport av avfall till och från sikten har ej medräknats då en permanent installation inte skulle medföra några extra transporter med frontlastare.

För att efterlikna den vanliga bränsleblandningen, dvs 30 % hushållsavfall och 70 % verksamhetsavfall, blandades det siktade avfallet med hushållsavfall innan det transporterades till Ryaverket för förbränningsförsöken.

3.1.1 Övrigt

Förutom siktningsförsöken på Sobacken genomfördes även ytterligare siktningsförsök på labb för att undersöka eventuella förändringar i kemisk sammansättning. Vid dessa försök användes torkade delmängder av den siktrest som hade lämnats in för analys. De fraktioner som siktades fram var > 2,8 mm, 2,8 mm <> 2,0 mm, samt < 2,0 mm.

3.2 Ryaverket

Förbränningsförsöken på Ryaverket genomfördes under vecka 50 och 51 (december 2007). Under denna period provtogs samtliga askor (botten-, vändschakts-, cyklon- och filteraska) samt bränsle från bränsleinmatningen. För referensändamål upprepades askprovtagningen under vecka 3 (2008). Bränsleprovet städades dock av misstag bort i samband med att det skulle lämnas in för analys och blev således aldrig analyserat. Ett framräknat värde har istället används för att beskriva det siktade bränslet som är baserat på siktrestens sammansättning samt på medelvärdet av två bränsleprov som utfördes under oktober och november (2007) på Ryaverket. Medelvärdet av dessa två bränsleprover används som referens till siktresten och återges nedan som ”normalbränsle”.

Anläggningens driftsdata användes också för att karaktärisera märkbara effekter från det siktade avfallet på förbränningsprocessen. Fokus låg på effekter med stark koppling till anläggningens ekonomiska resultat, såsom askflöden, sotningsfrekvenser och additivförbrukning. Kostnaderna för de senare ligger främst på additivet kalk som tillsätts för att reducera emissionerna av HCl och SO₂. Tillsatsen styrs av halterna i rökgaserna och kalkförbrukningen ger därför ett ofiltrerat mått på halten HCl och SO₂ som även är viktigt för förståelsen av vilka reaktioner som sker. Samma sak gäller för sotningsintervallen som styrs av rökgastemperaturen. En hög rökgastemperatur innebär en försämrad värmeöverföring till vattensidan, vilket i sin tur beror på en ökad försmutsning av värmeöverförande ytor (dvs ökade beläggningar). Ett minskat behov av sotning alternativt ett ökat tidsintervall mellan sotningar innebär således en lägre beläggingsbildning.

Vidare så har flödet av bottenaskan beräknats utifrån sandflödet och ett tidigare uppmätt förhållande mellan bottenaska och total aska [4]. Detta eftersom bottenaskflödet inte loggas samt att förseningar i uppstarten av mätkampanjen medförde att bottenaskcontainrarna inte var tömda innan mätkampanjen startade. Vanligtvis beräknas flödet av bottenaskan genom utvägning av containrarna samt intervallet på containerbytena.

3.3 Avsättningsmöjligheter för siktresten

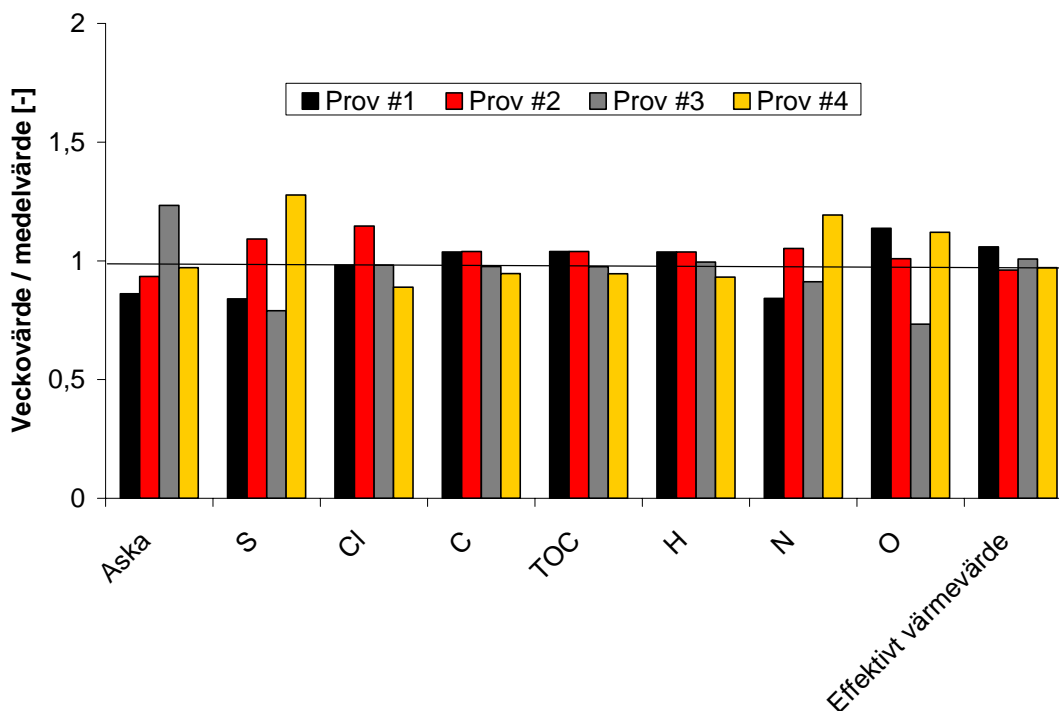
Flera alternativa avsättningsområden för siktresten har också undersökts under projektets gång. Huvudspåren har varit:

1. Konstruktionsmaterial/deponi
2. Avsättning till Mindre Känsliga Markområden (MKM)
3. Efterbehandling: Förorenade massor
4. Efterbehandling: Förbränning
5. Stabilisator för bioslam
6. Råvara för etanolproduktion

Försök har utförts på de tre senare alternativen. Efterbehandling via förbränning och stabilisator för bioslam har testats i fullskala medan möjligheten att producera etanol av siktresten undersöktes i labbmiljö.

4 Resultatredovisning

4.1 Siktning och provtagning av siktresten

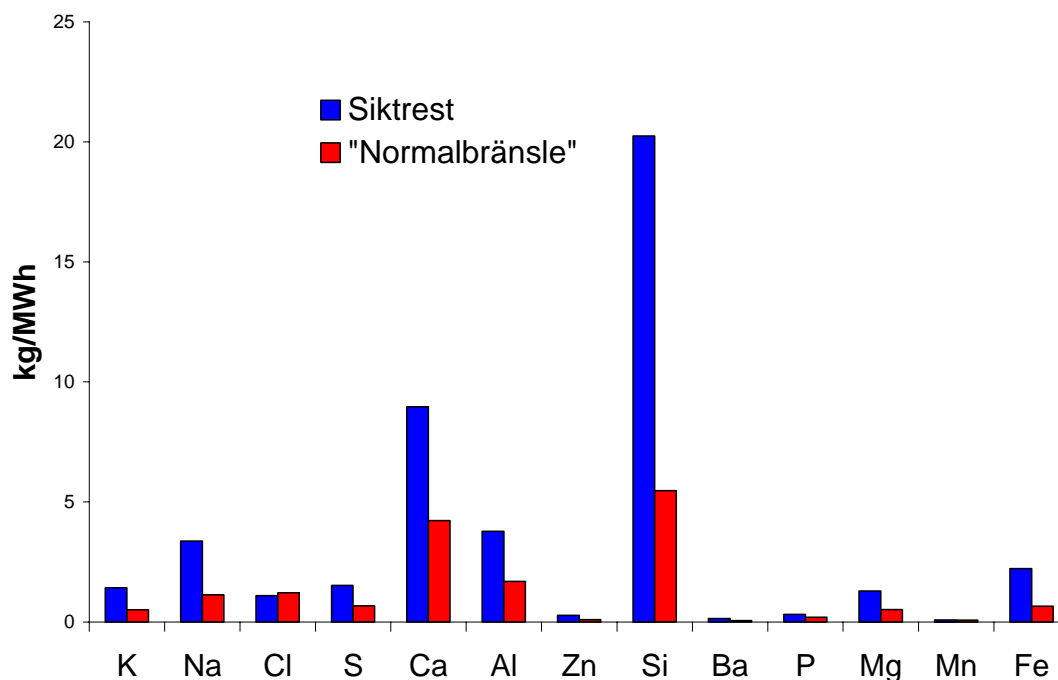


Figur 3. Inbördes variation i kemisk sammansättning för de fyra proven av siktresten. Värdena är normaliserade mot medelvärdet av respektive parameter.

Figure 3. Relative variation between the four samples of the fine-grained residue. The values are normalized towards the average value of each parameter.

Under siktningskampanjen siktades det totalt bort 257 ton siktrest, vilket motsvarar 15 vikts-% av det avfall som siktades. Då endast verksamhetsavfall siktades och då denna fraktion på årsbasis och under mätkampanjen utgör ca 70 % av allt avfall, så motsvarar siktresten 10 % av det blandade avfallet som förbränns. För Borås Energi och miljö innebär det att den årliga mängden siktrest vid en framtida applikation skulle uppgå till ca 10 000 ton.

Totalt togs fyra prover för analys av sammansättningen på siktresten och resultaten visas i sin helhet i Bilaga A. I Figur 3 visas den inbördes variationen mellan de fyra proven. Värdena i Figuren är normaliserade mot medelvärdet av respektive komponent. En viss variation finns mellan de olika provtagningarna men den bedöms som förhållandevis liten och medelvärdet anses därför ge en representativ bild av siktresten. Siktresten har även jämförts med normalbränslat. I denna jämförelse så innehåller siktresten på energibasis ca 2 ggr mer aska och 20% mindre kol. Halterna av beläggingsbildande ämnen som alkali,



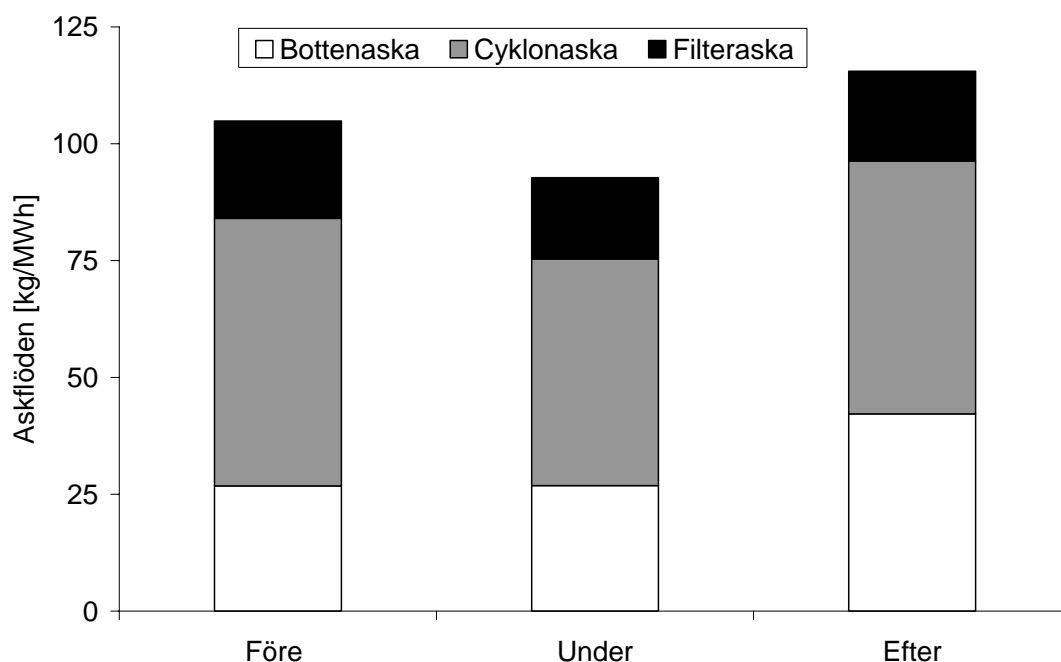
Figur 4. Jämförelse av oorganiska nyckelkomponenter i siktresten och ”normalbränslet”. Halterna är givna per MWh (energibasis).

Figure 4. Comparison between critical inorganic components for the case of fine-grained residues and for the case of “normal waste fuel”. The levels are given as per MWh.

svavel och zink är också två till tre gånger högre i siktresten, medan klorhalten är något lägre. De senare jämförelserna visas även i Figur 4. Ett av projektets utmaningar var att få fram en siktrest som hade en TOC-halt lägre än 10 % (TS). Då TOC-halten i samtliga fyra delproven av siktresten visade på TOC-halter över 35 % (se Bilaga 1) kan det ganska enkelt konstateras att delmålet inte uppfylldes. Inte heller vid försöken med ytterligare siktning på labb (fraktionerna: > 2,8 mm, 2,8 mm < > 2 mm samt < 2 mm) minskade TOC-halterna nämnvärt. TOC-halterna uppgick då till 37 %, 35 % respektive 31 %. Det kan således konstateras att verksamhetsavfallet som siktades under projektet inte är av den karaktären att det går att sikta fram en inert fraktion (< 10 % TOC) oavsett vilken hålstorlek som väljs på sikten.

4.2 Effekter på pannprestanda vid siktning av avfall

Vid förbränningsförsöken på Ryaverket med det siktade avfallet konstaterades att flödena av botten-, cyklon- och filteraska minskar med ungefär 10 - 15 %. Detta visas i Figur 5 som visar medelvärdet för cyklon- och filteraskflödena under mätkampanjen samt för veckan före respektive efter mätkampanjen. Resultaten är inte helt entydiga eftersom askflödena före och efter försöken skiljer sig åt en del. Dessutom så slår en noterbart hög sandförbrukning under den efterföljande veckan kraftigt igenom på bottenaskflödet (sand utgör normalt ca 70-80 % av bottenaskan). Det senare gör att slutsatser kring bottenaskflödena endast blir spekulativa. Det bör även framhållas att inget tyder på att den ökade sandförbrukningen var en följd av förbränningsförsöken veckan innan.



Figur 5. Medelvärden för cyklon- och filteraskflödena före, under samt efter mätkampanjen. Värdena är angivna per MWh

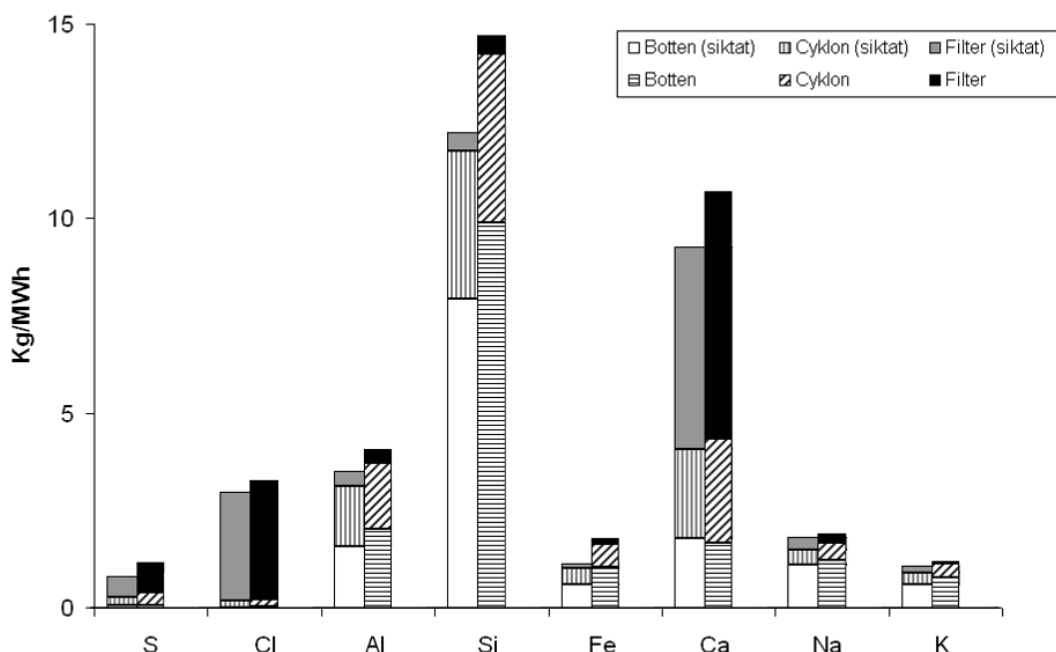
Figure 5. Average values of the flows of cyclone- and the filter ash respectively. Values before, during and after the measurement campaign are shown on energy basis.

Flödena av cyklon- och filteraska är däremot mer tillförlitliga och kanske också mer intressanta i sammanhanget då de har en dyrare efterhantering än bottenaskan. Det minskade flödet för dessa askor motsvarar på årsbasis ca 500 – 700 kSEK i besparingar.

Figur 6 visar askflödena per kritisk (oorganisk) parameter där flöden under mätkampanjen jämförs med medelvärdet av respektive flöde före- och efter mätkampanjen. Askhalterna för botten, cyklon- och filteraskan visas under, och efter, förbränningskampanjen. Värt att notera är de höga halterna av kisel och kalcium som följer av additiven sand och kalk, samt att klor och svavel nästan uteslutande finns i cyklon- och filteraskan. Orsaken till avsaknaden av klor och svavel i bottenaskan är att dessa förångas och bildar främst HCl och SO₂ som sedan kräver kalktillsats för att undvika höga emissioner.

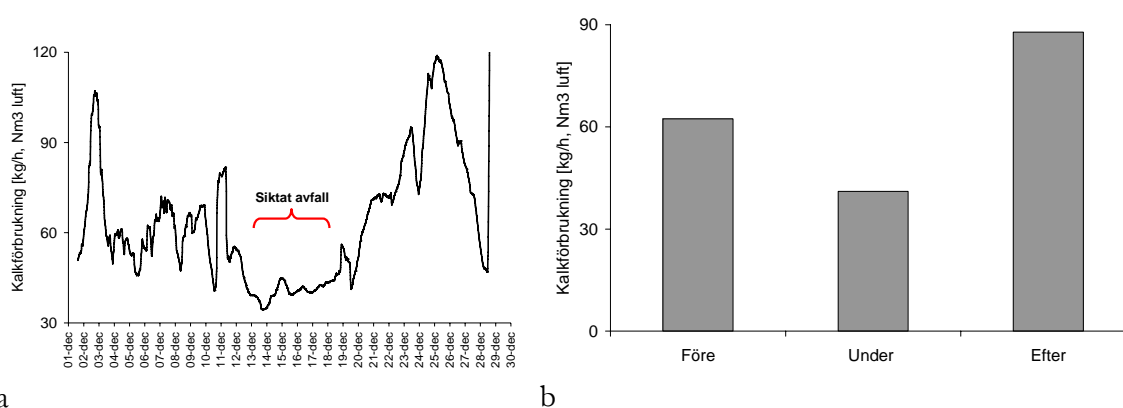
Kalkförbrukning under december månad 2007 visas i Figur 7. I Figur 7a visas en tidsserie medan medelvärdena före, under och efter mätkampanjen visas i Figur 7b. Kalkförbrukning är till synes ganska kraftigt varierande över tiden men det sker en tydlig minskning under försöken med siktat avfall. Förklaringen till detta ligger huvudsakligen i den, genom siktning, sänkta halten av svavel i bränslet. Svavelhalten i siktresten var ca 3 gånger högre än motsvarande halt i normalbränslet och siktning innebär därför en sänkning av andelen svavel i det inkommande bränslet på ca 30 %. Medelvärdena av kalkförbrukningen visar på en sänkt förbrukning på 25- 50%, vilket på årsbasis kan innebära besparingar på 700 - 1400 kSEK.

Generellt så innehöll det siktade avfallet ca 20 % mindre beläggingsbildande komponenter än normalbränslet, vilket också medförde en reducerad beläggingsbildning. Den senare kvantifierades i detta projekt genom sotningsbehovet (reducat behov = reducerad beläggingsbildning). Sotningsintervallen före-, under och efter mätveckan för sotningar i



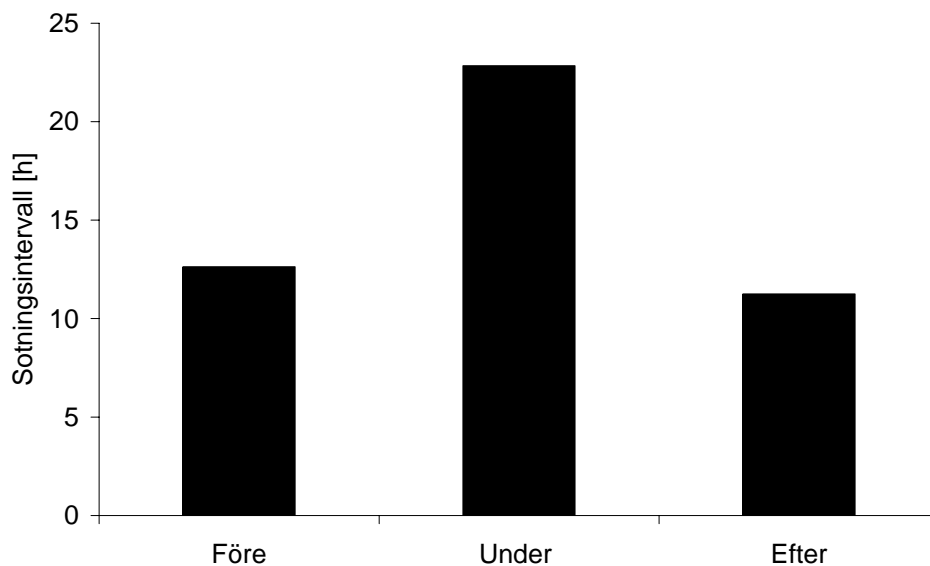
Figur 6. Askflödena per kritisk (oorganisk) komponent. Askflöden under mätkampanjen är jämfört med medelvärdet av flödena före och efter mätkampanjen.

Figure 6. Ash flows per critic (inorganic) component. Results from the measurement campaign are referred to the average value of the corresponding flows before and after the measurement campaign.



Figur 7. (a) Kalkförbrukningen per normalkubikmeter luft under december (2007) månad. Mätkampanjveckan är utmarkerad med röd klammer. (b) Medelvärden för kalkförbrukningen före, under och efter mätkampanjen.

Figure 7. The consumption of slaked lime (normalized by the total air flow) during december 2007. The measurement campaign is highlighted by the red brace. (b) Average consumption values before, during and after the measurement campaign.



Figur 8. Intervall för sotblåsning i konvektionsstråket före, under och efter mätkampanjen (medelvärden visas i diagrammet).

Figure 8. Time between occasions of soot-blowing in the convection duct. Average values before, during and after the measurement campaign are shown.

konvektionsstråket visas i Figur 8. Till synes så fördubblas nästan tiden mellan sotningarna under mätveckan. Förutom den minskade effektförlusten som färre sotblåsningar medför så för detta även med sig fördelar såsom mindre slitage och mindre risk för driftstopp. Här finns en stor besparingspotential som emellertid är mycket svår att uppskatta. Ett driftstopp i sig innebär ofta kostnader i miljonbelopp.

4.3 Avsättningsmöjligheter för siktresten

Eftersom TOC-halten kraftigt översteg 10 % blev det ursprungliga huvudalternativet för avsättning – konstruktionsmaterial/deponi – ej aktuellt. Tre alternativa avsättningsområden testades därför under projektets gång. Dessa var:

- Efterbehandling genom förbränning
- Stabilisator för bioslam
- Råvara för etanolproduktion

Dessutom har möjligheterna till att hantera siktresten likt förorenad jord och/eller mindre känslig markanvändning (MKM) kort undersökts.

Efterbehandling via förbränning genomfördes genom att blanda in siktresten med en låg inblandningsgrad (2-3 %) i bränslet. Driftsdata för dessa försök har inte analyserats i detalj men bortsett från en ökning i svavelhalt så sågs ingen tydlig trend under dessa försök. Förbränning av siktresten kan således anses vara ett fungerande alternativ men för att

motivera siktning krävs dock att siktresten förbränns i en hetvattenpanna eller åtminstone i kraftvärmeanläggningar med låga ångdata.

Initiala tester för att producera etanol från siktresten visade på en 25 % -ig konverteringsgrad av det kol som separerades ut i ett första försök. Det senare utgjorde i sin tur ca 20 % av kolet i siktresten och tros kunna förbättras ytterligare. Fler försök för att förbättra separationen diskuteras just nu och planeras utföras i en etapp 2 av Waste Refinery-projektet "Etanol ur avfall".

Försök utfördes även för att använda siktresten till att stabilisera blött bioslam som läggs på deponi. Detta testades under några veckor på Sobackens avfallsanläggning men siktresten och bioslammet skiktade sig och metoden bedöms som olämplig.

Siktrestens sammansättning har jämförts med gränsvärdena för känslig- och mindre känslig markanvändning [5]. En sammanställning visas i Tabell 1 där tillfällen då siktresten överstiger gränsen för MKM är markerade med rött, motsvarande fast då siktresten understiger gränsvärdena för KM är markerade i grönt. Generellt sett är halterna av tungmetaller i siktresten i nivå med gränsvärdena. Barium, koppar, krom och zink ligger över gränsvärdena för MKM – övriga ligger under. Kobolt, molybden samt vanadin ligger till och med under gränsvärdena för KM. Avsättningsområdet kan därför vara ett alternativ om dispenser accepteras eller om det med små medel är möjligt att reducera halterna av de

Tabell 1. Gränsvärden för känslig markanvändning och mindre känslig markanvändning (enligt Naturvårdsverkets remissförslag) i jämförelse med siktrestens innehåll av tungmetaller.

Table 1. Limit values for various classifications of soil in comparison with the fine-grained residues.

Ämne [mg/ kg (TS)]	Känslig Mark (KM)	Mindre Känslig Mark (MKM)	Siktrest*	Siktrest/MKM
Arsenik	10	25	16	0,64
Barium	200	300	550	1,83
Bly	50	400	328	0,82
Kadmium	0,5	15	1,1	0,07
Kobolt	18	25	6	0,24
Koppar	80	180	280	1,55
Krom	80	150	198	1,32
Kvicksilver	0,25	2,5	0,16	0,06
Molybden	40	60	10	0,17
Nickel	40	120	60	0,50
Vanadin	100	200	19	0,10
Zink	250	500	1067	2,13

* Rött = tillfällen då siktresten överstiger gränsen för MKM, grönt = tillfällen då siktresten understiger gränsvärdena för KM

ämnen som överstiger gränsvärdena. OBS; hanteringsalternativet beror på vad som kommer ut av Naturvårdsverkets nu pågående utredning. Siktresten kan även hanteras likt förorenad jord med syftet att få ned halten organiskt kol (t.ex. genom kompostering) och/eller metaller (t.ex genom jordtvätt). Möjlig avsättning därefter varierar beroende på vilka metoder som används.

Sammanfattningsvis så finns flera alternativ att teoretisk hantera siktresten. Det som avgör framtida avsättningsmöjligheter kommer med största sannolikhet att handla om hur bra producenter av siktrest är på att förhandla kring dessa avsättningsmöjligheter.

4.4 Ekonomisk analys

För att siktning ekonomiskt skall vara motiverat krävs att besparingarna till följd av siktningen bär kostnaderna för siktningen och avsättningen. I Tabell 2 visas de huvudsakliga posterna i denna balansräkning. Besparingar är framräknade från dagens kostnader samt de ovan utpekade potentiella minskningarna. Tabellen visar övre och undre värden för de uppskattade posterna och som synes är besparingarna kraftigt influerade av de stora intäkterna från en ökad mottagningskapacitet. En mottagningsavgift på 500 SEK

Tabell 2. Ekonomiska förutsättningar för siktning av avfall

Table 2. Economic prospect for sifting of waste

Besparingar	Undre nivå [kSEK]	Övre nivå [kSEK]		
Minskad kalkförbrukning	470	1200		
Minskad ångförbrukning	80	150		
Minskad askflöden	950	1400		
Minskad risk för driftsstopp	0	2000		
Ökad mottagningskapacitet	4000	5000		
Totalt:	5500	9750		
<i>Kostnader</i>				
Inköp	300	600		
Driftskostnader (diesel)	750	1000		
Underhåll	100	200		
Övriga kostnader	100	200		
Totalt	1250	2000		
	<i>BU-KU</i>	<i>BU-KÖ</i>	<i>BÖ-KU</i>	<i>BÖ-KÖ</i>
Max kostnad (per ton) för hantering av siktrest	425	350	850	775

BU = besparing undre nivån

BÖ = besparing övre nivån

KU = kostnad undre nivån

KÖ = kostnad övre nivån

per ton används i beräkningarna och den undre- och övre nivån refererar till den ökade mottagningskapaciteten på energibasis respektive massbasis. En reducerad kalkförbrukning och minskade askflöden ger också en stor inverkan på ekonomin, medan en lägre ångförbrukning, till följd av ett ökat sotningsintervall, har en relativt lite inverkan. Minskad sotning förväntas emellertid, tillsammans med en minskad närvaro av oönskade komponenter, reducera risken för driftstopp. Här finns en stor besparingspotential som dock är svår att precisera. För den undre nivån har därför ingen besparing alls antagits, medan det för den övre nivån har antagits att det via siktning går att undvika ett driftstopp per år a 2 MSEK.

Kostnader för inköp och drift av sikten är uppgifter från TESAB AB som är återförsäljare av stjärnsiktat medan underhållet och övriga kostnader är uppskattningar. Inköpskostnaderna är för den undre nivån beräknade utifrån en avskrivning på 10 år. Motsvarande tid för den övre nivån är 5 år.

Extremerna i sammanhanget, dvs. den övre besparingsnivån jämfört med den undre kostnadsnivån och vice versa visar på en att kostnaderna för hanteringen av siktresten ej får överstiga 851 SEK per ton i det mest gynnsamma fallet. I det minst gynnsamma fallet är motsvarande siffra 352 SEK/ton. Om inverkan av mottagningsavgifter och kostnader för hantering av siktrest lyfts bort från kalkylen så kan det konstateras att de gjorda besparingarna täcker investeringskostnaderna och driften av stjärnsikten, både för den undre- och övre nivån.

5 Slutsatser

Detta projekt har undersökt förutsättningarna för att genom siktning av verksamhetsavfall minska belägningsrelaterade problem samt drift- och underhållskostnaderna vid en avfallsförbränningsanläggning. Slutsatserna är att:

1. den ökade förbehandlingen och den ökade bränslekvaliteten har en ekonomiskt sett positiv och stor inverkan på driftbetingelser såsom askflöden, sotningsintervall och kalkförbrukning.
2. siktresten är inte inert vilket innebär att efterbehandling krävs
3. flera alternativ för efterbehandling finns men behöver studeras närmare med avseende på kostnader, effektivitet etc
4. en minskad hålstorlek vid siktningen torde ha en marginell inverkan på halten TOC i siktresten
5. den ekonomiska potentialen är svår att precisera men besparningarna till följd av den utökade förbehandlingen täcker investeringskostnaderna och driften av stjärnsikten.

6 Rekommendationer och användning

Arbetet visar att det finns stora besparingar att göra genom att tillämpa siktning som en förbehandlingsmetod. Livscykelkostnaden för en ökad förbehandling avgörs dock av kostnaderna för efterbehandling/avsättning av siktresten. Anläggningsägare som funderar på att investera i siktning bör därför först utreda förutsättningarna för efterbehandling/avsättning av siktresten.

7 Litteraturreferenser

- [1] Berg, M., Andersson, A., Andersson, C., von Bahr, B., Ekvall, A., Eriksson, J., Eskilsson, D., Harnevie, H., Hemström, B., Jungstedt, J., Keihäs, J., Kling, Å., Mueller, C., Sieurin, J., Tullin C., och Wikman, K.; ”Förbränning av returträflis – Etapp 2, Värmeforskningsprojekt 820 ” VÄRMEFORSK Service AB, Stockholm, Mars 2003

- [2] Nordtest method, NT Envir 004, Solid waste, particulate materials:

- [3] Wikström-Blomqvist, E., Franke, J., Johansson, I.; ”Karakterisering av fast inhomogena avfallsbränslen - inverkan av metoder för provtagning och provberedning” Värmeforskningsrapport 1036, VÄRMEFORSK Service AB, Stockholm, December 2007

- [4] A. Johansson, E. Wikström, D. Eskilsson, C. Tullin, B.-Å. Andersson, A. Victorén, G. Peters, ”The Performance of a 20 MWth Energy-from-Waste Boiler”, 19th Int. Conference on Fluidised Bed Combustion, Vienna – Austria, 21-24 May 2006

- [5] NATURVÅRDSVERKET REMISSVERSION 2007-10-19 Rapport Riktvärden för förorenad mark – Modellbeskrivning och vägledning

- [6] Kjörk, A; ”Behovsstyrd sotblåsning för bio- och avfallseldade pannor – inventering och teknikval”, Värmeforskningsrapport 843, VÄRMEFORSK Service AB, Stockholm, November 2003

A Bilaga 1 - Kemisk sammansättning: Siktrest, normalbränsle och askor

Kemisk sammansättning på de fyra prover av siktresten samt två (tidigare) bränsleprovtagningar.

På prov i inlämningstillstånd

	Prov #1	Prov #2	Prov #3	Prov #4	Medel	VOKAB#1	VOKAB#2	Medel
Total fukt, vikt-%	31,8	37,7	49,8	58,9	44,55	31,3	42,1	36,7
Aska, vikt-%	18,6	18,5	19,6	12,6	17,325	9,7	9,8	9,75
Kol, C, vikt-%	26,6	24,3	18,4	14,6	20,975	32	26,5	29,25
Väte, H, vikt-%	6,8	7,2	7,9	8,4	7,575	7,6	8,2	7,9
Kväve, N, vikt-%	0,83	0,91	0,67	0,68	0,7725	0,84	0,65	0,745
Svavel, S, vikt-%	0,34	0,41	0,24	0,31	0,325	0,18	0,24	0,21
Klor, Cl, vikt-%	0,28	0,31	0,21	0,16	0,24	0,37	0,41	0,39
Kal.värmev. konstant volym, MJ/kg	10,87	9,01	7,61	5,99	8,37	13,72	11,16	12,44
Eff. värmev. konstant tryck, MJ/kg	9,37	7,43	5,88	4,16	6,71	12,06	9,38	10,72
Aska, vikt-%	27,3	29,6	39,1	30,8	31,7	14,1	16,9	15,5
Svavel, S, vikt-%	0,5	0,65	0,47	0,76	0,595	0,27	0,41	0,34
Klor, Cl, vikt-%	0,42	0,49	0,42	0,38	0,4275	0,54	0,7	0,62
Total kol, C, vikt-%	38,9	39	36,6	35,5	37,5	46,6	45,8	46,2
Karbonatkol, C-CO ₃ , vikt-%	0,32	0,45	0,38	0,39	0,385			
TOC, vikt-%	38,6	38,6	36,2	35,1	37,125			
Väte, H, vikt-%	4,9	4,9	4,7	4,4	4,725	6	6	6
Kväve, N, vikt-%	1,2	1,5	1,3	1,7	1,425	1,2	1,1	1,15
Syre, O, (diff) vikt-%	26,8	23,8	17,3	26,4	23,575	31,2	29	30,1
Kalorimetriskt värmevärde vid konstant volym, MJ/kg	15,92	14,45	15,15	14,6	15,03	19,97	19,28	19,625
Effektivt värmevärde vid konstant tryck, MJ/kg	14,87	13,39	14,14	13,63	14,0075	18,66	17,98	18,32
Aluminium, Al, vikt-%	1,39	1,41	1,88	1,33	1,5025			
Kisel, Si, vikt-%	6,75	7	10,1	7,66	7,8775			
Järn, Fe, vikt-%	0,86	0,89	0,99	0,72	0,865			
Titan, Ti, vikt-%	0,39	0,28	0,19	0,19	0,2625			
Mangan, Mn, vikt-%	0,03	0,03	0,04	0,03	0,0325			
Magnesium, Mg, vikt-%	0,46	0,48	0,56	0,5	0,5			
Kalcium, Ca, vikt-%	3,02	3,73	4,14	3,34	3,5575			
Barium, Ba, vikt-%	0,06	0,05	0,05	0,06	0,055			
Natrium, Na, vikt-%	0,99	1,12	1,81	1,33	1,3125			
Kalium, K, vikt-%	0,49	0,52	0,72	0,49	0,555			
Fosfor, P, vikt-%	0,08	0,13	0,18	0,1	0,1225			
Koppar, Cu, mg/kg	270	440	280	130	280	640	110	375

Vanadin, V, mg/kg	22	19	18	17	19	11	10	10,5
Krom, Cr, mg/kg	160	260	150	220	197,5	200	150	175
Kobolt, Co, mg/kg	1	10	7	5	5,75	5	5	5
Nickel, Ni, mg/kg	49	66	100	24	59,75	11	11	11
Zink, Zn, mg/kg	1420	1020	1050	780	1067,5	520	420	470
Bly, Pb, mg/kg	230	370	510	200	327,5	120	300	210
Kadmium, Cd, mg/kg	1	2	0,4	1	1,1	1,8	2,1	1,95
Molybden, Mo, mg/kg	9	6	20	4	9,75	2	2	2
Arsenik, As, mg/kg	16	13	19	17	16,25	21	<4	21
Kvicksilver, Hg, mg/kg	-	0,25	0,14	0,1	0,1633 33			
Brom, Br, mg/kg	33	67	23	28	37,75			

På inaskat prov vid 500 °C

Aluminium, Al, vikt-%	4,84	4,57	4,77	4,35	4,6325	5,47	5,63	5,55
Kisel, Si, vikt-%	23,5	22,8	25,6	25	24,225	16,5	19,2	17,85
Järn, Fe, vikt-%	3,01	2,88	2,5	2,35	2,685	2,1	2,22	2,16
Titan, Ti, vikt-%	1,37	0,92	0,49	0,62	0,85	1,14	1,27	1,205
Mangan, Mn, vikt-%	0,09	0,11	0,1	0,09	0,0975	0,13	0,12	0,125
Magnesium, Mg, vikt-%	1,6	1,54	1,41	1,62	1,5425	1,53	1,83	1,68
Kalcium, Ca, vikt-%	10,5	12,1	10,5	10,9	11	14,2	13,5	13,85
Barium, Ba, vikt-%	0,22	0,16	0,14	0,18	0,175	0,15	0,2	0,175
Natrium, Na, vikt-%	3,44	3,63	4,59	4,35	4,0025	3,74	3,68	3,71
Kalium, K, vikt-%	1,71	1,7	1,84	1,61	1,715	1,58	1,78	1,68
Fosfor, P, vikt-%	0,29	0,43	0,47	0,32	0,3775	0,64	0,64	0,64
Koppar, Cu, mg/kg	950	1420	700	430	875	4340	640	2490
Vanadin, V, mg/kg	78	62	46	55	60,25	74	60	67
Krom, Cr, mg/kg	540	830	370	730	617,5	1380	850	1115
Kobolt, Co, mg/kg	4	33	19	16	18	32	28	30
Nickel, Ni, mg/kg	170	220	260	78	182	77	62	69,5
Zink, Zn, mg/kg	4950	3330	2650	2550	3370	3520	2380	2950
Bly, Pb, mg/kg	800	1200	1300	640	985	840	1680	1260
Kadmium, Cd, mg/kg	4	7	1	4	4	12	12	12
Molybden, Mo, mg/kg	30	21	50	12	28,25	16	14	15
Arsenik, As, mg/kg	55	43	49	57	51	140	20	80

Kemisk sammansättning på Filter-, Cyklon-, Vändschakts- och Bottenaska. Provtagningar gjordes vid förbränning av siktat avfall (vecka 51) samt vid ett senare tillfälle för referensändamål (vecka 3).

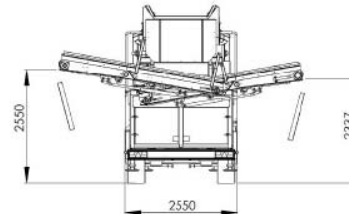
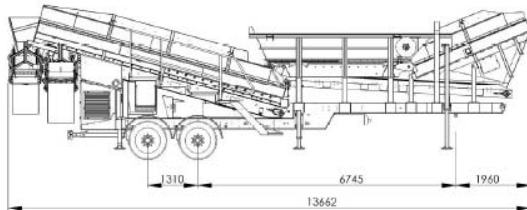
	Filter- aska v51	Filter- aska v3	Cyklon- aska v51	Cyklon- aska v3	Botten- aska v51	Botten- aska v3	Vänds.- aska v51	Vänds.- aska v3
S [vikts-%]	3,13	3,79	1,73	2,05	0,26	0,18	0,58	1,39
Cl [vikts-%]	16	15,2	1,79	1,86	0,05	0,06	0,19	0,17
Al [vikts-%]	2,13	1,79	9,67	9,54	5,89	6,43	8,16	7,35
Si [vikts-%]	2,79	2,45	14,9	15,9	29,5	31,5	28,9	27,3
Fe [vikts-%]	0,69	0,69	2,46	2,73	2,16	3,32	2,59	3,22
Ti [vikts-%]	0,86	0,66	1,53	1,74	0,43	0,32	0,58	0,63
Mn [vikts-%]	0,06	0,1	0,15	0,16	0,15	0,08	0,09	0,11
Mg [vikts-%]	0,82	0,77	1,9	1,94	0,92	0,8	0,98	0,96
Ca [vikts-%]	29,8	31,7	19,8	19,2	6,6	5,28	6,68	7,58
Ba [vikts-%]	0,11	0,1	0,26	0,23	0,13	0,14	0,16	0,14
Na [vikts-%]	1,97	1,17	2,04	1,9	4,04	3,91	2,44	2,54
K [vikts-%]	1	0,39	1,38	1,29	2,2	2,46	2,18	2,17
P [vikts-%]	0,34	0,28	0,64	0,51	0,3	0,2	0,44	0,38
As [mg/kg]	45	52	24	23	66	50	<20	<20
Cd [mg/kg]	50	52	8	6	1	2	2	2
Co [mg/kg]	19	14	45	43	14	11	16	14
Cr [mg/kg]	480	400	610	420	350	380	280	240
Cu [mg/kg]	6000	4900	3800	3200	5500	4800	7600	5200
Mo [mg/kg]	14	20	19	20	24	40	22	20
Ni [mg/kg]	67	56	180	120	86	85	140	80
Pb [mg/kg]	3500	3020	930	630	580	550	460	360
V [mg/kg]	30	26	72	64	52	62	58	50
Zn [mg/kg]	6050	5000	7050	5200	2400	1950	3700	3000

B Bilaga 2 - Teknisk data för stjärnsikt 3-mb



Technical data sheet – starscreen 3-mb

starscreen 3 fraktion, version mobil



Schutzvermerk nach DIN 34 beachten !

General

Throughput capacity: max. up to 300 tonnes or 200 m³ per hour
Weight: ca. 20 tonnes

Structural form: trailer
Acceptances: CE declaration/vehicle approval as per German Highway Code(*)

Hopper

Material to be conveyed: all forms of bulk material ,compost, earth, rubbish etc. However, we recommend series-connecting with bar grid in cases of foreign pieces, such as stones, iron, greater than 400 mm

Intake volume: 5.00 m³ slightly heaped
Hopper dimensions: h/w/l: 1.20m x 3.90m
Loading height: 3.35m
Drive: spur gears/Danfoss with a bunker cage drum roller.
Conveying speed: continuously adjustable, automatic switching off/on in the event of overload.
Material feed: as an option, through continuously adjustable dosage snail in order to achieve optimum charging of the material

Belt width: 1.20m
Profiling: profiled belt with smooth surface

Star screen

Star screen fractions: screen I: 50 – 120 mm, screen 2: 12 mm and above
Star screen dimensions: screen deck I: 1.20m x 3.20m
 Screen deck II: 1.20m x 6.70m
 (h/w/l)
Drive: Danfoss OMS , high-quality roller chain with hardened, galvanised double chain wheels
Storage: INA four-hole flange bearing, sizes vary depending on screening size, lubricated
Chain boxes: can be folded up sideways

Fine conveyor belt

Dimension: 0.65m x 3.75m
Conveying speed: continuously adjustable
Belt width: 0.65m
Profiling: smooth
Drive: Danfoss OM
Drive/tail pulley: d = 160 mm



Technical data sheet – starscreen 3-mb

starscreen 3 fraktion, version mobil

Middle conveyor belt (*)

Dimension:	0.65m x 3.75m
Conveying speed:	continuously adjustable
Belt width:	1.20m
Profiling:	smooth
Drive:	Danfoss OM
Drive/tail pulley:	d=160 mm

Underneath belt (*)

Dimensions:	1.20m x 5.90m
Conveying speed:	continuously adjustable
Belt width:	1.20m
Profiling:	smooth
Drive:	Danfoss OM
Drive/tail pulley:	d=160 mm

Motor specification

Manufacturer:	Perkins / 1106C-E60T
Type:	1106
Output:	129 kW
Exhaust standard:	certified as per directive 97/68 EC
Cooling:	water cooled
Diesel tank:	380 litres

Electrical control

Presentation:	graphic display 5.7 “
Function:	with integrated CAN-BUS pilot system
Operator switching cabine:	500 x 500 x 210 mm
Operation:	via manual operation/if preferred, radio remote control (*)
Description:	operator-friendly thanks to automatic start-stop program

Hydraulics

Pumps:	Bosch – Rexroth A10V0 Tandem/Triplex combination*
Valves:	Danfoss PVG 32
Cooling:	hydraulic air cooling system
Hydraulics tank:	250 litres
Description:	safety device through level switching off in the event of a loss of hydraulic oil

Chassis

Tyres:	385/55 R22.5
Brakes:	Knorr ABS /EBS sensitised.
Axles:	tandem axle BPW/SAF max. 9 tonnes per axle
Suspension:	air suspension

Lacquer

Priming:	Eposist lacquer
Final lacquer:	PU – finish lacquer
Colour tone:	house tone RAL 1007, also available in other colour tones as an option (*)

*(optional ordering possibility)



WASTE REFINERY
SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut
Box 857, 501 15 Borås
wasterefinery@sp.se
www.wasterefinery.se