



# LUND UNIVERSITY

## Aska från samförbränning av returträ och andra biobränslen

Förekomst av önskade näringsämnen och oönskade spårämnen vid en fallstudie av Örtofta kraftvärmeverk

Pettersson, Malin; Björnsson, Lovisa

2019

*Document Version:*

Förlagets slutgiltiga version

[Link to publication](#)

*Citation for published version (APA):*

Pettersson, M., & Björnsson, L. (2019). *Aska från samförbränning av returträ och andra biobränslen: Förekomst av önskade näringsämnen och oönskade spårämnen vid en fallstudie av Örtofta kraftvärmeverk.* (1 uppl.) Miljö- och energisystem, LTH, Lunds universitet.

*Total number of authors:*

2

### General rights

Unless other specific re-use rights are stated the following general rights apply:

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

Read more about Creative commons licenses: <https://creativecommons.org/licenses/>

### Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

LUND UNIVERSITY

PO Box 117  
221 00 Lund  
+46 46-222 00 00

# Aska från samförbränning av returträ och andra biobränslen

Förekomst av önskade näringsämnen och oönskade spårämnen vid en fallstudie av Örtofta kraftvärmeverk

RAPPORT NR 112, 2019 | MILJÖ- OCH ENERGISYSTEM | MALIN PETERSSON & LOVISA BJÖRNSSON  
INSTITUTIONEN FÖR TEKNIK OCH SAMHÄLLE | LUNDS UNIVERSITET



Foto omslag samt Figur B1, B2, B3, B4 och B7: Petter Duvander

Övriga foto: Malin Pettersson

Copyright © Pettersson, Björnsson 2019

Miljö och energisystem, Lunds universitet

ISBN 978-91-86961-38-1

ISSN 1102-3651

ISRN LUTFD2/TFEM--19/3103--SE+(1-75)

# Förord

Tack till Krafringen Energi AB för finansiering och till personalen på Örtofta kraftvärmeverk för bakgrundskunskap och medhjälp under provtagningen, med särskilt tack till Peter Ottosson och Olof Bengtsson. Vi tackar också vår kollega Pål Börjesson för korrekturläsning och faktagranskning.

Mars 2019

*Författarna*



# Innehållsförteckning

1. Inledning	1
1.1 Syfte och mål	2
2. Kraftvärme från bibränslen	3
2.1 Anläggningsdesign	3
2.2 Bränslen på Örtofta Kraftvärmeverk	4
2.3 Trädbränslets ursprung	7
3. Biobränsleaska	9
3.1 Askhalt och innehåll	9
3.2 Klassning och hantering	10
4. Örtofta kraftvärmeverk	13
4.1 Utformning av verket	13
4.2 Askhantering	14
5. Metod	17
5.1 Provtagningsplan	17
5.2 Kemiska analyser och beräkningar	20
6. Resultat och diskussion	21
6.1 Innehåll i flyg- och bottenaskan	21
6.2 Bidrag från respektive bränsle	25
6.3 Totala flöden spårämnen och näringsämnen	29
7. Slutsatser	35
8. Referenser	37
Bilaga 1 - Provtagning	I
Bilaga 2 - Observationer under provtagningen	VII
Bilaga 3 - Analysmetoder	XV
Bilaga 4 - Medelvärden i askorna	XVII
Bilaga 5 - Provsvar rådata	XIX



# 1. Inledning

Örtofta kraftvärmeverk (KVV) är en trädbränslebaserad samförbränningsanläggning som levererar el och fjärrvärme till kunder i Lund, Lomma och Eslöv. Verket och nätet ägs och drivs av det kommunalägda bolaget Krafringen Energi AB. Företaget har ett uttalat arbete för att minska miljöpåverkan av sin energiproduktion, och verket byggdes med avsikten att installera driftsäker värme- och elproduktion med ett förnybart och lokalt producerat bränsle.

Verket använder ett bränslesortiment (eller bränslemix) bestående av olika typer av flis: grenar och toppar (grot), bark, sågspån, returträ (RT-flis) och torv<sup>1</sup>. Kravet på driftsäkerhet fordrar garanterad bränsletillgång inom en nära radie till verket vilket föranledde att man valde ett diversifierat bränslesortiment. Sortimentet består främst av rester från avverkning samt från pappersmassa- och träindustrin och även av RT-flis, som inkluderades av ekonomiska skäl. Den maximala inblandningen av RT-flis begränsas främst av vilka bränsleförhållanden pannan är garanterad att klara av, samt av verkets miljötillstånd.

Träavfall från industri och hushåll sorteras i en obehandlad fraktion, som materialåtervinns, och en rest som går till energjätervinning som RT-flis. Även om RT-flis är ett förnybart bränsle är det fortfarande ett avfall innehållande varierande mängd föroreningar, vilket gör att den kvarvarande askan kan klassas som farligt avfall (SFS 2011:927; Nilsson *m.fl.*, 2007). Klassningen avgör vilken hantering av askan som får tillämpas. Då Örtofta KVV har panntypen cirkulerande fluidiserad bädd (CFB) produceras två askströmmar: bottenaska som tas ut i botten av pannan och flygaska som fångas upp ur rökgaserna med hjälp av askfilter. Askorna tas ur produktkedjan utan att näringsämnen cirkuleras: Bottenaskan skickas iväg för förstärkningsmaterial vid deponitäckning; Flygaskan skickas för deponering.

Skogsstyrelsen har satt upp rekommendationer om att återföra aska till produktionsskog där stort uttag av biomassa sker, främst till marker där det sker ett betydande uttag av avverkningsrester (Skogsstyrelsen, 2008). När avverkningsrester tas ut finns risk för försurning och utarmning av näringsämnen eftersom dessa främst finns i trädens grenar och toppar. Med tiden riskerar förlusten av näringsämnen att påverka markens produktionsförmåga (de Jong *m.fl.*, 2012, 2018). Eftersom efterfrågan av biomassa bedöms fortsätta öka för energi- och materialproduktion (Börjesson, 2016) är balansen av näringsämnen i marken viktig att bibehålla för en hållbar biobränsleproduktion.

För att stävja negativa effekter av grot-uttag rekommenderas alltså att aska förs tillbaka och därigenom sluts också produktionsskogens näringskretslopp. I skogsstyrelsens rekommendationer finns riktvärden för vad askan får innehålla. Dessa innefattar miniminivåer för de näringsämnen som anses viktiga för skogens tillväxt, och maximinivåer för de spårämnen som är oönskade i miljön vid högre koncentrationer. Idag förs inte tillräckligt med aska tillbaka till skogen för att kompensera för grot-uttaget utav olika anledningar (Anderson, Eriksson och Stendahl, 2014). En anledning är att det inte produceras en tillräcklig mängd aska som uppfyller de rekommenderade riktvärdena (de Jong *m.fl.*, 2018). Samförbränning av rena biobränslen och RT-flis är ekonomiskt attraktivt, men askan riskerar innehålla för höga halter av oönskade spårämnen enligt skogsstyrelsens rekommendationer (Bjurström, Ilskog och Berg, 2003). Detta försvarar möjligheten att aska från samförbränning kommer i kretslopp.

Idag tas både Örtofta KVV:s flygaska och bottenaska ur näringskretsloppet. Det finns mycket begränsad kunskap om vilka ämnen askorna och de olika av biobränslena i sortimentet innehåller, och inget aktivt arbete har skett för att påverka askkvaliteten sedan verket togs i drift. För att kunna utveckla förändrade rutiner för askhantering vid Örtofta KVV, där askans näringsämnen kommer i kretslopp, krävs ökad kunskap om vilka önskade näringsämnen och oönskade ämnen som askan innehåller och deras ursprung i de olika bränslena.

---

<sup>1</sup> Torv, som klassas som biobränsle men inte ett trädbränsle, användes vid Örtofta KVV vid tiden för studiens genomförande, men har sedan dess tagits bort från bränslesortimentet.



I ett kretsloppssamhälle är deponering en oönskad hantering, och innehåller askan höga halter av näringsämnen som är viktiga för en långsiktigt god tillväxt i produktionsskog är det önskvärt att de återförs till skogsmark med grot-uttag och på så sätt kommer i kretslopp. Samtidigt är förbränning av RT-flis en del i avfallshanteringen, där de renare träfraktioner som kan återvinnas har fränskilts och förbränning (energiåtervinning) ses som ett bra alternativ för resten av detta avfall. Deponering av organiskt avfall som oförbränt returträ är inte tillåtet. Avfallsklassningen av askan sker om den misstänks innehålla oönskade mängder tungmetaller (Strömberg och Svärd, 2012), och för att förhindra att dessa ämnen kommer i cirkulation i miljön kan deponering vara ett bra hanteringsalternativ (Olsson *m.fl.*, 2008).

Sammanfattningsvis finns inte idag tillräckligt med information vid Örtofta KVV om vad askan innehåller, hur bränslesortimenten bidrar till askans halter av önskade näringsämnen och oönskade spårämnen, eller hur halterna förhåller sig skogsstyrelsens rekommendationer för askåterföring. Detta har lett till att man idag inte har tillräcklig kunskap för att avgöra om det finns anledning att ompröva den aktuella hanteringen av askan, d.v.s. deponering vad gäller flygaskan, eller om det är det mest rimliga hanteringsättet i dagsläget.

## 1.1 Syfte och mål

För att kunna utvärdera lämpligheten i det nuvarande tillvägagångssättet för kvittblivning av Örtofta KVV:s askor, samt ta fram underlag för möjliga framtida hanteringsätt, så behövs bland annat fördjupad kunskap om näringsämnen och spårämnen. Denna studie har därför det övergripande syftet att

*bygga upp kunskap inför en möjlig annan hantering av askan i framtiden.*

För att kunna bygga upp den kunskap som behövs har tre delmål med studien formulerats:

Ett sätt att få en långsiktigt hållbar askhantering är att återföra aska till skogsmark, vilket är det sätt som används för att få näringsämnen från bibränslen i kretslopp idag. För att få ett underlag kring vad nuvarande bränslemix ger för askkvalitet och för att kunna undersöka relevansen i att försöka få just askan från Örtofta KVV i kretslopp är det första delmålet att

1. *Klarlägga vilka halter av önskade näringsämnen och oönskade spårämnen i askan som blir följden vid användandet av en typisk bränslemix vid Örtofta KVV idag, och hur de förhåller sig till skogsstyrelsens rekommenderade riktvärden för askåterföring till skogsmark.*

Genom att ta reda på innehållet av näringsämnen och spårämnen i de enskilda bränslena fås förståelse för hur deras inblandning i bränslemixen påverkar askans innehåll. Kunskap om ämnens ursprung är betydelsefull vid planering av bränsleinköp och bränsleinblandning om man önskar påverka askans kvalitet, varför det andra delmålet är att

2. *Ta reda på vilka halter av önskade näringsämnen och oönskade spårämnen som finns i de bränslen som eldas vid Örtofta KVV.*

Bottenaska anses normalt inte intressant för återföring då halterna av önskade näringsämnen antas lägre än i flygaskan. Det finns inte kunskap kring hur stor mängd näringsämnen som de facto lämnar Örtofta KVV i bottenaskan. För att få underlag för möjlig framtida hantering av bottenaskan är delmål tre att

3. *Uppskatta, vid aktuell bränslemix, hur mängden näringsämnen och oönskade spårämnen fördelar sig i bottenaskan respektive flygaskan.*

## 2. Kraftvärme från biobränslen

Trädbränsle kan delas in i skogsbränsle, energiskogsbränsle och återvunnet trädbränsle. I detta kapitel beskrivs några av de förutsättningar som bestämmer vilket eller vilka bränslen, d.v.s. vilket bränslesortiment, som används i trädbränsleeldade anläggningar. I kapitlet beskrivs även egenskaper hos de bränslen som utgör Örtofta KVV:s bränslesortiment vid tiden för studiens genomförande, vilket även innefattar torv som inte klassas som trädbränsle.

### 2.1 Anläggningsdesign

Hur olika trädbränsleeldade anläggningar fungerar skiljer sig idag på en rad punkter: Det finns verk som endast använder skogsbränsle, endast återvunnet trädbränsle, eller samförbränner de båda; De producerar enbart värme eller både el och värme; Använder olika panntyper etc. Den slutgiltiga anläggningsdesignen styrs av olika faktorer som avgör anläggningens möjliga bränsleunderlag (Strömberg och Svärd, 2012). Bränsleunderlaget bestämmer sedan kvaliteten på den producerade askan.

#### 2.1.1 Krav i miljötillståndet

För miljöfarliga verksamheter krävs miljötillstånd. Beroende på klassning får verksamheten olika krav i sitt tillstånd. Förbränningsanläggningar är miljöfarlig verksamhet och behöver alltid ha tillstånd från tillståndsmyndighet, oavsett bränsle. Klassning (ABC) beror t.ex. av storlek på anläggning och mängd inblandat avfall och olika utsläppskrav ställs därefter. Dessa begränsningar påverkar den resulterande askans möjliga kvalitet och avsättning.

I ett tidigt skede, när man planerar vilka bränslen man vill elda och baserat på bedömningar av hur pris och bränsletillgång ser ut framöver, gör man ett vägval om man vill ha en biobränsle-, avfalls- eller samförbränningsanläggning. En samförbränningsanläggning definieras som en förbränningsanläggning som delvis använder avfall (inte mer än 40 % farligt avfall) som bränsle och har det primära syftet att producera energi eller material. Om varken energi- eller materialproduktion är syftet med verksamheten definieras den istället som en avfallsförbränningsanläggning. Avfalls- och samförbränningsanläggningar har olika krav, enligt Naturvårdsverkets föreskrifter om avfallsförbränning (Naturvårdsverket, 2010), för att uppfylla sina miljötillstånd. Dessa innefattar bl.a. förbränningstemperatur, lufttillförsel, producerad mängd slagg och bottenaska, utsläppsnivåer till luft och i avloppsvatten. Kraven för att få tillstånd att definieras som en avfallsförbränningsanläggning är högre ställda, men bränslet man får lov att elda är kan vara billigare och lättare att få tag på.

RT-flis omfattas av förordningen för förbränning av avfall om det är yt- eller träskyddsbehandlat eftersom bränslet då kan innehålla tungmetaller och halogenföreningar. I dessa fall klassas RT-flisen som avfall eller farligt avfall och får förbrännas i endast i avfallsförbränningsanläggningar och samförbränningsanläggningar.

Örtofta KVV är en samförbränningsanläggning, med utsläppskrav och maximal årlig inblandning av avfallsklassat bränsle (RT-flis) reglerat i sitt miljötillstånd.

#### 2.1.2 Värmeunderlag och bränsletillgång

Fjärrvärmeföretags kostnader och prissättning för att producera värme varierar kraftigt med lokala förutsättningar (Rydén *m.fl.*, 2013). Grundtanken för förbränningsanläggningar generellt är att försäljningen av värme ska täcka löpande kostnader och investeringskostnad (Granström Colnerud, 2011). Hur stor försäljningen av värme kan bli beror av värmeunderlaget i området, som i sin tur beror på antalet anslutna värmekunder och deras effektbehov.

Vid ett tillräckligt stort värmeunderlag kan det löna sig att investera i en turbin och sälja el till kraftnätet, vilket också höjer verkningsgraden. Gör man nytta av energin som går åt till att förångna vattnet i bränslet via rökgaskondensering kan man komma över 100 % verkningsgrad (i relation till bränslets effektiva värmevärde).

Bränslekostnaden är den bestämt största kostnadsposten för kraftvärmeproducenter (Granström Colnerud, 2011). Operatören av verket vill minimera de löpande kostnaderna för produktionen, varför inköpspris styr vilka bränslen, och dess inblandningsfraktion, man helst vill använda. RT-flis är för tillfället det billigaste trädbränslet (Energimyndigheten, 2017a), men andra faktorer utöver pris styr också över den möjliga bränsleanvändningen.

Transport av bränslet till anläggningen är en stor kostnadspost och anläggningens kalkyl beror av vilket bränsle man kan få tag på i närområdet (Rodin, Jansson och Berglund, 2015). Ju större anläggningen är desto större är det ekonomiskt försvarbara upptagningsområdet av bränsle. Det medför också ofta att anläggningen har större valmöjlighet gällande bränsleunderlaget.

Beroende på vilket eller vilka bränsle man vill elda bestämmer man tillsammans med pannleverantören vilken utformning på pannan som passar (Bengtsson, 2018). Beräkningar görs då på materialval, hur pannan ska muras, vart den värmeupptagande delen placeras etc. För att leverantören sedan ska kunna ge garanti under de första åren måste man elda utefter en specificerad bränslekvalitet (med en viss marginal för variationer). Det vill säga att driften planeras utefter de förhållanden, t.ex. fukthalt i bränslet, som pannan måste utformats för att garantera kunna leverera den avtalade effekten. På grund av biobränslenas individuella egenskaper styr således dessa bestämda driftförhållanden vilken inblandning av bränslen en biobränsleeldad panna använder.

## 2.2 Bränslen på Örtofta Kraftvärmeverk

### 2.2.1 Bark

Barken köps främst in från bl.a. massabruk och sågverk där stamved avbarkas innan de blir till plank, papper och andra materialprodukter. Barken kan komma ifrån många olika träarter, som växt under olika ekologiska och geologiska förutsättningar. Därför kan barken som hamnar hos värmeverk variera mycket i kvalitet och innehåll. Den kan även innehålla höga nivåer av tungmetaller eftersom trädet lagrar det i barken, samt alkalimetaller så som natrium och kalium (Strömberg och Svärd, 2012). Barken innehåller även en högre koncentration aska, vilket är en inert beståndsdel som inte tillför något till energiinnehållet.

Ju längre barken legat, desto mörkare blir den. Barken förmultnar snabbt och avger mycket värme när den ligger i hög. Bark innehåller generellt mycket fukt, även om pressad bark är torrare. När rökgaskondensorn är i drift är det fördelaktigt att använda fuktiga bränslen (Ottosson, 2018). Denna kan ibland stängas av i perioder med lägre värmeunderlag, bark används därför huvudsakligen under den kalla perioden på året. I en fluidiserad bädd är det bra att ha bränslen med olika fraktionsstorlekar som förbränns på olika ställen i pannan. Björkbarken har en hög trähalt, dvs mindre askhalt, än t.ex. granbark eftersom den måste hyvlas bort djupare och mer rent trä följer med, vilket är attraktivt ur en ekonomisk synvinkel vid barkinköp.

Bark är billigare än grot och tillgången mindre väderstörd, varför det eldas mer av bark än av grot när det finns tillgång (Bengtsson, 2018).

### 2.2.2 Grot

Grot är tillsammans med stubbar de rester som lämnas kvar i skogen när träd avverkas och fraktas bort. Groten kan antingen hämtas och föras till ett värmeverk direkt, eller lämnas kvar i skogen för att barra av eller fälla löv, och på så sätt föra tillbaka en del näringsämnen till marken (Dyrke *m.fl.*, 1999). Groten kan även lämnas kvar i sin helhet. Om groten lämnas kvar eller inte beror dels på den aktuella prisnivån och hur långt den behöver transporteras, men även på skogsägarens bedömning av näringshalten och surhetsgraden

i marken (Anderson, Eriksson och Stendahl, 2014). Eftersom groten innehåller en stor andel av trädets näringsämnen (Skogsstyrelsen, 2008) kan dessa bedömas vara svåra för skogsägaren att kompensera på annat sätt.

När groten tas ut direkt och inte hunnit släppa barr eller löv i skogen innan den levereras till ett värmeverk kallas den för gröngrot. När värmeverket får in gröngrot vill man gärna använda den direkt i förbränningen och inte lagra för länge, eftersom den färska och fuktiga groten annars förmultnar snabbt och förlorar energiinnehåll. Å andra sidan innehåller de färska barren mer kväve, vilket kan vara en nackdel eftersom det då bildas mer kväveoxider i förbränningen, för vilka värmeverket har ett utsläppstak i sitt miljötillstånd. De färska barren innehåller även mycket terpener och aska. Dessutom har färska barr ett lägre pH-värde, och en sur miljö gör att pannan korroderar snabbare.

Om groten fått ligga kvar i skogen ett tag innan leverans eller lagras hos värmeverket i t.ex. upp till ett år i väntan på förbränning, kallas den för brunrot. Har gröngrot lagrats hos värmeverket så torkar den efter ett tag och blir brun, barren ligger kvar i högen, fast torkade. En nackdel med brunrot som innehåller barr är att de lösa barren är så lätta att de följer med luftströmmen upp och förbränns på fel ställe i pannan.

Planerar man att lagra grot på bränsleplanen en längre tid så täcker man ofta den med papp som låter fukt avdunsta men skyddar mot exempelvis regn. Ju högre fukthalt desto snabbare nedbrytning och lägre energiinnehåll.

Ibland får värmeverket in grot som innehåller mycket stamved. Det beror exempelvis på att det är större toppar och grenar som flisats upp, som inte är tillräckligt stora för att kunna säljas som stamved. I sådana fall har groten förhållandevis bra förbränningsegenskaper: låga kväve- och askhalter pga. den låga bark- och löv/barrkoncentrationen; homogent innehåll och låg fukthalt. Sådan grot kallas därför ibland också för fingrot.

### 2.2.3 RT-flis

Returträ är en samlingsfraktion av det träavfall som är insamlat på återvinningscentraler för hushållsavfall och olika industrier, t.ex. rivningsvirke från bygg- och anläggningsbranschen (Strömberg och Svärd, 2012). Returträ återanvänds eller materialåtervinnas när det har tillräckligt hög kvalitet, eller används för energiåtervinningsändamål. Organiskt eller brännbart avfall (som innehåller mer än 8 % brännbart material) får inte deponeras i Sverige enligt Avfallsförordningen (SFS 2011:927). Returträ som inte är tillräckligt rent för att återanvändas eller återvinnas har därför ingen alternativ användning utan krossas eller flisas till RT-flis och används som bränsle i industrier och värmeverk.

I huvudsak delas returträ upp i olika avfallssegment utefter ytbehandling (SDC, 2011). Segmenten har varsin klass (I-III) för att skilja de olika kvaliteterna åt vid exempelvis inköp. Rent returträ (klass I), även kallad vit RT-flis, får endast vara berört av skärande och borrande verktyg och inte innehålla spik, skruv eller målarfärg etc. Det sorteras ut eftersom det får förbrännas på vilken förbränningsanläggning som helst, vilket gör att fler värmeaktörer efterfrågar denna typ av bränsle (Bengtsson, 2018). Det är också användbart för materialåtervinning i exempelvis spånskivor. Till följd av detta är returträ i klass I överlag är dyrare än returträ i klass II och III. En framtida effektivare och mer omfattande utsortering av rent returträ skulle sannolikt resultera i högre halt föroreningar i det kvarvarande returträet i klass II och III.

Målat och limmat returträ (klass II) är i princip en samling av allt resterande returträ: gamla dörrar och fasader, möbler etc. Det innehåller mycket obrännbara ämnen, såsom metaller, vilket i sin tur påverkar innehållet i den resulterande askan (Bjurström, Ilskog och Berg, 2003). Utöver rester av färg och lim kan denna fraktion innehålla exempelvis masonit, papper, bindemedel från pressade spånskivor, metall från spik och gångjärn, tyg från klädda möbler, plast från möbelstoppning, frigolit, och skyddsplast etc. (Bengtsson, 2018).

Tryckimpregnerat trä utgör en egen klass (klass III), och är den största föroreningskällan för arsenik, koppar (som idag ersatt arsenik för träimpregnering) och krom (Strömberg och Svärd, 2012). Tryckimpregnerat trä klassas ofta som farligt avfall och ska då egentligen inte blandas med i andra returträsegment, men i praktiken kan en del av detta hamna ihop med klass II-avfallet (Sundqvist *m.fl.*, 2009). Tryckimpregnerat

trä utgör en egen klass (klass III), och innehåller föroreningar som arsenik, koppar (som idag ersatt arsenik för träimpregnering) och krom (Strömberg och Svärd, 2012). Tryckimpregnerat trä klassas ofta som farligt avfall och ska då egentligen inte blandas med i andra returträssegment, men i praktiken kan en del av detta hamna ihop med klass II-avfallet (Sundqvist *m.fl.*, 2009).

Mängden förorenande ämnen i ”målad och limmad” RT-flis (klass II) blir på så vis varierande och svårbedömd på förhand, men ger framförallt ett stort bidrag av zink från målarfärg, galvaniserad plåt och däck, samt av bly från däck och gipsplattor (Sjöblom, 2001). Det är detta sortiment som utgör den största delen av RT-flissegmentet (Strömberg och Svärd, 2012) och det som normalt refereras till som RT-flis i kraftvärmesammanhang. Örtofta KVV, som är en samförbränningsanläggning, får enligt sitt miljötillstånd använda upp till 160 000 ton avfall per år. Utöver de rena biobränslena använder man RT-flis av klass II i sitt bränslesortiment.

Överlag är RT-flis ett torrt bränsle eftersom det kommer från trä (mestadels barrträd) som torkat och skyddats från fukt under tiden som möbler, reglar, spånskivor, lastpallar, fasad etc. RT-flisen har därför högre energivärde per viktenhet än skogsbränslen så som flis, bark och spån (Energimyndigheten, 2017c). Det är bra att använda ett torrt bränsle för att väga upp fuktiga sortiment så som sågspån och bark då en förbränningspanna är konstruerad för ett visst fuktintervall, i Örtofta KVV en fukthalt på 33-55%. I en CFB-panna behövs fukten för att ta upp värmeenergi vid förbränningen, annars överförs den till sanden igen som smälter, klumpas ihop och blir till glas (Bengtsson, 2018). Klorider (från plast) och alkalimetaller, som finns i framförallt RT-flisen, sänker även smältpunkten för askan.

Utöver det höga värmevärdet är också en anledning till varför aktörer väljer att blanda in RT-flis att priset har varit lågt framtill nu (Energimyndigheten, 2018). RT-flisen är det billigaste av de bränslen Örtofta KVV använder. Priset på RT-flis varierar delvis utefter efterfrågan hos de värmeanläggningar som kan ta emot det, men även efter tillgång på marknaden. Det finns även ett antal tillkommande pannor i bygg/tillståndsfas av typen som får elda RT-flis vilket ökar efterfrågan och också kan pressa upp priserna (Bengtsson, 2018).

#### 2.2.4 Sågspån

Sågspån som kommer till värmeverken från sågverk är stamved, där man sågat plank och kvar blir bortsågat spån. Eftersom sågspånet i princip endast kommer från stamved, är det homogent till innehållet och kvaliteten. Ett homogent bränsle är önskvärt för att kunna förutsäga förbränningsegenskaperna i pannan och reningsstegens förmåga. Sågspånet är ofta färskt och innehåller mycket vatten, vilket är ett bra komplement till torra bränslen i cirkulerande fluidiserande bäddar. Dessutom är det ingen bark i så det har en låg askhalt (lägst av alla bränslen på Örtofta KVV).

Sågspånet kan lagras längre än barken eftersom barken är fuktigare och innehåller mer nedbrytande organismer (Bengtsson, 2018). Av det rena sågspånet görs även spånplattor och bränslepellets som säljs till villakunder och mindre förbränningsanläggningar, vilket påverkar tillgången. En framtida förändrad efterfrågan på biobaserade material, pellets och råvara till drivmedel, t.ex. HVO, skulle kunna förändra tillgången och prisbilden och därmed viljan eller möjligheten för värmeverken att använda rent sågspån (Börjesson, 2016). Sågspån förväntas vara en av de vanligaste råvarorna för biodrivmedel i Sverige framöver (Haaker, 2018).

Frånsåll är en samlingskategori för spån från andra ursprungskällor än sågverk, vars spån är en överbliven produkt som bara passar för förbränning. Frånsållet på Örtofta KVV består av rejekt från pappersmassabruk och lagras tillsammans med sågspånet.

#### 2.2.5 Torv

Torv definieras som en organisk jordart som främst är bildad av förmultnade växtdelar. Den klassas inte som förnybart bränsle enligt EUs direktiv om energianvändning av förnybara källor, även om det geologiskt sett varken är förnybart eller fossilt (Energimyndigheten, 2017a).

Torven har förbränningsmässigt önskvärda egenskaper ur värmeverks synvinkel (Burman, 2005): torv innehåller naturligt hög halt av svavel vilket skyddar insidan av pannan, värmväxlare och reningssteg mot

skadlig korrosion som annars resulterar i dyra byten och reparationer av komponenter i förtid. RT-flis (och bark) innehåller alkalimetaller som bildar korrosiva föreningar under förbränningen och angriper metalldelar i processen. Svavlet reagerar med alkaliföreningarna och bildar mindre korrosiva föreningar, så som kaliumsulfat. Därför förlänger inblandning av torv livslängden på metallkomponenterna i processen. Ett alternativ till torv är att tillsätta mineraliskt svavel i form av granulat till bränslet.

En annan önskvärd egenskap är att torven består till största del av en mycket fin, dammliknande fraktion, vars beståndsdelar är mycket mindre än hos de andra biobränslena. Torven fyller upp hålrummen i det blandade bränslet vilket ökar blandningens energidensitet. Torven är energirik i sig men är ibland såpass torr att den suger till sig fukt, vilket gör att det effektiva värmevärdet kan variera mellan lass.

Örtoftas torv utfasas nu ur bränslemixen på grund av att det räknas som fossilt när växthusgasutsläppen för energiproduktion beräknas. Efter utfasningen så kommer bränslemixens energidensitet att minska, vilket gör att volymen bränsle in måste öka för att bibehålla samma panneffekt. Svavlet i torven kommer att ersättas med rent svavelgranulat som läggs på bränslet.

## 2.3 Trädbränslets ursprung

Det mesta av trädbränslet som används i svenska värmeverk produceras inom landets gränser. En liten del importerar från närliggande länder, och en ytterligare mindre del exporteras. 2016 producerades cirka 48 TWh inhemskt skogsbränsle och 4 TWh återvunnet trädbränsle (Energimyndigheten, 2017b). Under samma år importerades cirka 0,9 TWh skogsbränsle, främst bark och spån från rundved, och 0,5 TWh returträ.

Primärt används importerat returträ i södra Sverige, bland annat ifrån Baltikum, Danmark, Norge och England (Ottosson, 2018), medan det i norra Sverige kommer från återvinningscentraler (Nordberg, 2013). Importen av trädbränslen till Sverige drivs till stor del av det välutbyggda fjärrvärmenätet och mängden påkopplade biobränsleldade värmeverk (Ericsson och Nilsson, 2004).

Importen försvårar spårbarheten för bränslet, vilket kan vara en nackdel om värmeverket vill använda bränsle av en viss kvalitet. Den höga andelen av inhemsk råvara är positivt om en förbränningsanläggning i framtiden skulle vilja öka kraven på sortering, förbehandling etc., t ex vad det gäller RT-flis.



## 3. Biobränsleaska

### 3.1 Askhalt och innehåll

Askhalt anges som kvoten av askans massa och biobränslets massa som torrsubstans (TS). Mängden aska som blir kvar efter fullständig förbränning av ett visst bränsle skiljer sig inte bara mellan bränslesortiment utan även mellan ursprung, hantering, lagring och när på året bränslet skördats. Mängden aska som produceras i en förbränningsanläggning beror alltså på vilka bränslen man använder.

Askhalt delas in två kategorier: naturlig askhalt och föroreningsaskhalt. Den naturliga askhalten är den som finns i bränslet innan skörd och föroreningsaskhalt är den som tillkommer efter skörd, t.ex. vid hantering och lagring.

I Tabell 1 listas typiska askhalter för de bränslen som används på Örtofta KVV (Strömberg och Svärd, 2012).

Tabell 1 Typiska askhalter (% av TS) för de bränslen som används på Örtofta KVV.

Bark barr/björk	1,7-4,2 % /1,6-4,0 %	medel 3,0 %/medel 3,3 %
Grot	1,3-4,7 %	medel 2,7 %
Sågspån	0,2-5,5 %	medel 0,7 %
RT-flis (klass II)	3,2-15,9 %	medel 4,8 %
Torv	1,6-8,9 % (beror på mosse)	medel 5,3 %

För värmeproducenter är askhalten en parameter att ta hänsyn till när man bestämmer vilket bränslesortiment som skall användas eftersom det påverkar värmevärdet.

Askans består alltså av biobränslets oförbrända beståndsdelar. Den innehåller grundämnen såsom kisel, magnesium, kalcium, kalium, fosfor, aluminium, järn, zink etc. Vilket bränslesortiment som används på värmeverket, och även förbränningstemperatur och anläggningstyp, påverkar den resulterande sammansättningen oförbrända ämnen, dvs askinnehållet.



## 3.2 Klassning och hantering

Hur askan får eller ska hanteras vid värmeverket beror på vad den innehåller. Olika hanteringsätt kostar olika mycket för värmeproducenten. Vad askan innehåller och hur bundet innehållet är bestämmer om den är ett avfall och i så fall vilken avfallsklassning den får. Klassningen bestämmer vilket tillstånd en mottagare behöver för att få ta emot askan.

### 3.2.1 Klassning som avfall, farligt avfall eller biprodukt

Restprodukter bildas ofta vid tillverkning av varor och produkter. Vilka regler som gäller för hur en restprodukt ska hanteras beror på om den ska klassas som ett avfall eller en biprodukt enligt miljöbalken (SFS 1998:808). Är restprodukten en biprodukt faller den under samma regelverk som nytillverkade produkter men är den ett avfall så gäller avfallsförordningen (SFS 2011:927). Visst avfall kan vara undantaget från avfallsförordningen men ändå beröras av andra regelverk som omfattar avfall, så som förordningen om förbränning av avfall (SFS 2013:253) och miljöprövningsförordningen (SFS 2013:251).

Aska från förbränningsanläggningar är en restprodukt ifrån den huvudsakliga värmeproduktionen och är ett avfall om producenten gör sig av med den eller avser göra det. Bottenaska, slagg och pannaska samt flygaska från samförbränning är listat som avfall enligt avfallsförordningen (SFS 2011:927) och berörs därför av alla regelverk som omfattar avfall. Om askan har farliga egenskaper enligt EUs avfallsdirektiv (2008/98/EG) ska den klassas som farligt avfall. Detta avgörs således från fall till fall.

Den aktör som tar emot aska kan vilja använda den i olika syften så som billig ballast i anläggningsarbeten eller för att täcka deponier. Men verksamhetsutövare som använder avfall måste ha gjort de anmälningar som krävs till länsstyrelsen och ha tillstånd att ta emot och använda en viss avfallsklass. Miljöprövningsförordningen (SFS 2013:251) bestämmer om tillstånd kan ges till en viss verksamhet och detta prövas av Mark- och miljödomstolen. Om askan klassas som farligt avfall finns det färre alternativ gällande mottagare med tillstånd, men vissa deponier kan ta emot. Flygaska innehåller höga halter tungmetaller (Steenari och Zhao, 2010) och anrikas speciellt på lösliga metallföreningar, klorider och sulfater (Johansson, 2017) varför den oftast klassas som farligt avfall och resulterar i en kostsam och omständlig hantering (Öberg, 2013).

Flygaska från förbränning av returträ kan klassas som farligt avfall beroende på vad för typ av returträ som har förbränts, detta gäller särskilt vid förbränning av returträ i samförbränningsanläggningar. Enligt en undersökning av Statistiska Centralbyrån på uppdrag av branschorganisationen Energiaskor producerades ca 180 000 ton TS bottenaska och 110 000 ton TS flygaska från biobränslen i Sverige år 2012 (varav 20 600 respektive 9 700 ton kom från returträ) (SCB, 2012). Av dessa askor klassades ca 1,5 % som farligt avfall, och det var nästan uteslutande av flygaska som hamnade i denna kategori.

Det finns ett återvinningsändamål för rena biobränsleaskor som jordförbättringsmedel i skogs- och åkermark (Anderson, Eriksson och Stendahl, 2014). För att återvinning genom spridning i skogsmark ska rekommenderas ska askans innehåll uppfylla de riktvärden som satts av Skogsstyrelsen (Skogsstyrelsen, 2008). Spridningen omfattas inte av miljöprövningsförordningens bestämmelser om återvinning av icke-farligt avfall för anläggningsändamål, vilket innebär att ett miljötillstånd inte behövs för verksamhetsutövaren. Däremot ska samråd hållas med Skogsstyrelsen.

### 3.2.2 Hantering av bibränsleaskor

I detta kapitel redogörs för tre olika sätt för att hantera bibränsleaskor: återföring av askor till skogsmark, återvinning för anläggningsändamål och slutligen deponi. Dessa hanteringsätt för bibränsleaskor från samförbränningsanläggningar används idag, eller skulle kunna bli aktuella i framtiden.

#### 3.2.2.1 Återföring till skogsmark

Uttag av grot och andra avverkningsrester bidrar till försurning och näringsförlust i skogsmark, vilket kan ha negativa effekter på biodiversitet, mark och vatten och på längre sikt då ge risk för minskad skogproduktion (de Jong *m.fl.*, 2018) Därför har Skogsstyrelsen rekommendationer på att kompensera för uttag av avverkningsrester genom att återföra bibränsleaska (Skogsstyrelsen, 2008). 2012 återfördes ca 47 400 ton TS aska i Sverige till skog och mark, motsvarande ca 3 % av den totala askproduktionen det året (SCB, 2012). Målet med askåterföringen är primärt att motverka försurning genom att återföra de basiska ämnen (baskatjoner) som träden anrikat genom sitt näringsupptag. Alla baskatjoner är näringsämnen förutom natrium (Na), och dessa hamnar i askan vid förbränning av bibränslena. Askans innehåll av baskatjoner uttrycks också som dess kalkverkan.

Rena bibränsleaskor anses positivt att återföra ur ett kretsloppsperspektiv, men även annan aska får återföras förutsatt att kvalitetskraven i skogsstyrelsens rekommendationer uppfylls (Skogsstyrelsen, 2008).

Främst ska uttag av avverkningsrester d.v.s. grot och stubbar, kompenseras. Det kan även vara aktuellt med näringskompensation av stamvedsuttag. Beräknad kalkverkan hos de delar av beståndet man skördar kan användas för att beräkna hur mycket aska som krävs för att kompensera ett uttag (Skogsstyrelsen, 2008).

Skogsstyrelsens rekommendationer innehåller riktvärden för oönskade spårämnen som ej bör överstigas, samt riktvärden på näringsämnen som inte bör understigas i den aska som är avsedd för återföring. Halten av de önskade näringsämnena bör uppfyllas för att ge tillräcklig effekt av kompensationen. Det kan annars vara aktuellt att tillsätta vissa näringsämnen tills miniminivån uppfylls. Riktvärdena för spårämnen, såsom tungmetaller, stammar från de mängder som skulle frigjorts om biomassan brutits ner i skogen istället för att tas ut. Bor, Zink och Vanadin kan i låg halt vara önskvärda som mikronäringsämnen, och för zink finns även ett lägre riktvärde, men dessa ämnen är fortfarande skadliga i för höga halter. Skogsstyrelsens rekommenderade riktvärden för lägsta och högsta halter ses i Tabell 2 och anges per TS aska (Skogsstyrelsen, 2008).

För att aska ska få spridas ska ett samråd med Skogsstyrelsen hållas, där analysvar på askans ämnesinnehåll och halter ska finnas med (Skogsstyrelsen, 2008). Utgångspunkten är att halterna i askan ska uppfylla riktvärdena för att få spridas. Om askan enbart kommer ifrån rena bibränslen så anses att marken på uttagsplatsen inte tillförs mer oönskade ämnen än vad som tagits ut, och askan kan få spridas även riktvärdena inte uppfylls. På mark som redan innehåller höga halter av oönskade ämnen naturligt, så som arsenik eller kadmium, gäller inte nödvändigtvis detta.

Tabell 2 Skogsstyrelsens riktvärden för återföringsbar aska till skogsmark (Skogsstyrelsen, 2008).

Element	Rekommenderade halter	
	Lägsta	Högsta
<b>Makronäringsämnen, g/kg TS</b>		
Kalcium Ca	125	
Magnesium Mg	15	
Kalium K	30	
Fosfor P	7	
<b>Spårämnen, mg/kg, TS</b>		
Bor B		800
Koppar Cu		400
Zink Zn	500	7000
Arsenik As		30
Bly Pb		300
Kadmium Cd		30
Krom Cr		200*
Kvicksilver Hg		3
Nickel Ni		70
Vanadin V		70

\* Gränsvärdet för krom höjt från 100 till 200 mg/kg TS enligt beslut 2015-12-09 dnr 2015/2821

### 3.2.2.2 Anläggningsändamål och deponi

Bottenaskan används i Sverige idag mest för sluttäckning av gamla deponier (SCB, 2012). Antalet deponier som finns kvar att täckas är dock få, inga nya deponier tillkommer idag, och det finns därefter ingen självklar användning av bottenaskan (Gunnarsson, 2018). Bottenaska kan användas som syntetiskt grus eller obehandlat som fyllnadsmaterial i vägbyggen och hårdgjorda ytor i konstruktioner (Avfall Sverige, 2017). I de fallen kan man genom att använda aska undvika att använda jungfruligt material, vilket är positivt ur miljösynpunkt. För det mesta klassas bottenaska som ej farligt avfall, men i Sverige finns bara ett fåtal exempel på där tillstånd givits för återvinning för anläggningsändamål (Gunnarsson, 2018). För resterande bottenaskor finns risken att stora mängder kommer behöva deponeras när den inte längre kan användas som täckmaterial (Gunnarsson, 2018).

Flygaska som är klassat som farligt avfall måste hanteras av en anläggning som har tillstånd att ta emot sådant. Flygaska som inte är farligt avfall kan blandas in med cement för att skapa cementliknande produkter, dock är det främst askor från förbränning av stenkol som hittills har ansetts uppfylla kraven för denna typ av användning (SS-EN 450-1:2012).

Deponering kommer längst ner på EUs avfallsstege och skall därför ses som det sista valet för en avfallsproducent att hantera sitt avfall på. Det är tillåtet att deponera askorna eftersom de inte längre innehåller något organiskt/brännbart material, men för att få deponera måste man betala en deponiskatt. Tanken med skatten är att göra alternativa hanteringssätt ekonomiskt mer fördelaktiga för avfallsproducenten och på så sätt minska mängderna som skickas till deponi. Exempelvis blir utveckling av hanteringsmetoder för att på industriell skala tillvarata värdefulla näringsämnen och metaller, eller rena bort farliga ämnen i askorna mer och mer efterfrågat (Johansson *m.fl.*, 2017).

## 4. Örtofta kraftvärmeverk

Örtofta KVV stod klart 2014 och är ett av södra Sveriges största trädbränsleeldade kraftvärmeverk. Verket förser fjärrvärmenätet i Lund, Eslöv och Lomma med ca 600 GWh årligen, vilket motsvarar ungefär hälften av värmebehovet (Krafringen AB, 2018). Elproduktionen uppgår till ungefär 220 GWh per år. Till detta krävs årligen ca 300 000 ton bränsle, som består av ungefär 50 % skogsbränsle och 50 % RT-flis. All information i det här kapitlet är inhämtad från fackkunniga på Krafringen (Bengtsson, 2018; Ottosson, 2018) samt i Örtofta KVV:s miljötillstånd från Mark- och Miljödomstolen, om inte annan källa anges.

### 4.1 Utformning av verket

Örtofta KVV projekterades som en samförbränningsanläggning av skogsbränsle och RT-flis. Enligt miljötillståndet fick anläggningen blanda in upp till 160 000 ton RT-flis per år och 20% torv. Efter uppstartsperioden har inblandningen av RT-flis ökat från ca 35 % till 50 % av ekonomiska skäl, och man räknar med en fortsatt inblandning på kring 50 %.

#### 4.1.1 Bränslehantering

##### *4.1.1.1 Lastningen på bränsleplanen*

På bränslegården förvaras bränslesorterna i separata högar, delvis för att förhindra att fukt sprider sig till torrare sortiment, och för att kunna justera inblandningen av olika bränslesortiment. För optimal förbränning krävs jämn bränsle kvalitet till pannan, och bränslen från de olika högarna blandas därför efter ett bränslerecept som kan varieras efter bränsletillgång eller pannans behov.

##### *4.1.1.2 Transport via silo till förbränning*

Från bränsleplanen transporteras det blandade bränslet via ett transportband in i anläggningen och hamnar i en av två bränslesilos. Bränslesilo används för att kunna säkra ett stabilt och kontinuerligt bränsleflöde till pannan. Ifrån botten av silon matas sedan bränslet in i botten av pannbädden.

##### *4.1.1.3 Tillsatser*

Ett antal olika produkter tillsätts på olika ställen för ökad driftsäkerhet och för att ta bort oönskade föreningar som bildas. Svavel tillsätts (efter att den svavelrika torven tagits bort som bränsle) i pelletsform på bränslebandet för att binda upp alkalimetaller och klorider i förbränningen. Sandens uppgift är att ta upp värmen, fördela värmen och tända inkommande bränsle. Utbyte av sand görs för att minska risken för att sanden klumpar ihop sig (sintring). Ny sand tillsätts därför kontinuerligt för att ersätta uttagen sand i bottenaskan. För att minska NO<sub>x</sub>-halten i rökgaserna sprutas ammoniak (NH<sub>4</sub>) in i eldstaden. Kalk eller sorbacal tillsätts rökgaserna innan rökgasreningen för att minska mängden SO<sub>x</sub> och tungmetaller. Utöver dessa tillsätts även olika verksamma ämnen i vattenreningen, men dessa påverkar inte eller påverkas ej av askproduktionen.

#### 4.1.2 Förbränningsprocess

Örtofta KVV har en cirkulerande fluidiserad bädd, där sand blåses in tillsammans med förvärmad tryckluft i botten av pannan och transporteras uppåt. Bränslet blandas med sanden och luften, och den kontinuerliga luftströmmen gör att bränsle/sand-blandningen beter sig näst intill flytande istället för en fast bränslehård i botten av pannan.

Detta ger upphov till en jämnare förbränning och värmeutveckling eftersom mer av bränsleytan kommer i kontakt med syre och värme samtidigt i hela pannan, jämfört med t.ex. en rosterpanna. Vattnet i bränslet förångas nere i pannan, vilket medför att förgasning av de flyktiga beståndsdelarna och sedan förbränning sker under tiden bränslet stiger uppåt i pannan. Förgångningsentalpin nyttiggörs senare i processen genom att vattenångan kondenseras i en värmeväxlare mot fjärrvärmenätet.

Sanden cirkuleras runt i pannan och tjänar två syften: dels värmer sanden snabbt upp det inkommande bränslet när de blandas, dels förhindrar sanden överhettning av pannan eftersom den absorberar en del av den avgivna värmen när bränslet förbränns. Den uppvärmda sanden och rökgaserna från det förbrända bränslet fortsätter att transporteras längst upp i pannan där de får passera genom en cyklon där sanden faller ner, varefter den cirkuleras in i botten av pannan igen.

En mindre del av sanden plockas ur pannan och ny blåses in eftersom det blir askbeläggningar på sanden efter ett tag som smälter och sintrar. Bytet gör att kvaliteten på sanden i pannan hålls under kontroll. Den uttjänta sanden transporteras ut tillsammans med resten av bottenaskan till speciella askbehållare. Uppehållstiden för varje sandkorn inne i pannan kan variera stort.

Tunga fragment så som sten och metallbitar följer med bottenaskan ut och därmed mycket av de oönskade ämnena och materialen i bränslet så som olika metaller och glas.

Sintringstendensen ökar om det är mycket klor och alkalimetaller i bränslet, vilket främst brukar förekomma i RT-flis och bark, vilket inte är önskvärt. Vid hög inblandning av bränslen av den kvalitén vill man därför öka omsättningen av sand.

De heta rökgaserna fortsätter genom cyklonen och genom överhettare och värmeväxlare mot strumpfilter som skiljer flygaskan från rökgaserna. Tungmetaller finns i högre koncentration i de oförbrända materialen i rökgaserna jämfört med bottenaskan eftersom den främst innehåller sand (Öberg, 2013; Johansson, 2017). Innan rökgaserna når filtren tillsätts Sorbacal, som innehåller kalk och aktivt kol, för att undvika att tungmetaller i rökgaserna släpps ut genom skorstenen eller via avloppsvattnet från rökgasreningen. Blandningen binder tungmetallerna och fastnar sedan också i askfiltren. Askfiltren töms genom att de backspolas med tryckluft och flygaskan faller ner och transporteras till en asksilo.

## 4.2 Askhantering

Enligt miljötillståndet från Mark- och miljödomstolen får Örtoftas samförbränningsenhet ha högst 150 MW tillförd bränsleeffekt och elda högst 160 000 ton returträ (klass I-II) per år. Tillståndet innehåller också villkor som styr hur mycket partiklar Örtofta KVV får släppa ut samt maximihalter av arsenik, bly, kadmium, koppar, krom, kvicksilver, nickel, tallium, zink, NO<sub>x</sub>, CO, SO<sub>x</sub>, HCl, NH<sub>3</sub>, HF och TOC i både utgående vatten och rökgaser. För att uppfylla utsläppsnivåerna i tillståndet, samt hålla den producerade askmängden låg, ligger kravet från Krafringen på <0.5 vikt% oförbränt material (metall, glas, porslin, keramik, betong, asfalt etc.) vid inköp av RT-flis.

I miljötillståndet villkoras att *"Aska ska, så långt det är tekniskt och ekonomiskt möjligt, hålla en sådan kvalitet att näringsämnena kan återföras till skog- och jordbruksmark eller på annat sätt återvinnas. Bolaget ska verka för att återvinning kommer till stånd."* Krafringen yttrade själva i tillståndsansökan att man kommer arbeta med att hitta miljömässigt bra möjligheter till avsättning med deponi som sista utväg. Några direkta krav på kvalitet och avsättning av verkets askor finns däremot inte reglerade i tillståndet utan får istället ske på sådana villkor som Krafringen själv råder över.

#### 4.2.1 Projektering inför driftstart

Enligt miljötillståndet får inte askan lov att lagras eller lastas om på bränsleplanen. Silon för flygaskan är på 200 m<sup>3</sup> och dimensionerad för ca 10 dagars produktion. Rutiner för kvittblivning av askan var därför tvunget att finnas på plats så att kvittblivningen kunde ske utan missöden när produktionen på Örtofta KVV startade.

I det stadiet fanns ingen aska ännu som kunde ligga till grund för en askanalys, men eftersom RT-flis skulle förbrännas så antogs att askan skulle bli klassad som farligt avfall. Redan när kraftverket projekterades ansöktes därför om tillstånd att få exportera flygaskan till företaget NOAH för deponering på Langöya i Norge, där olika typer av farligt avfall deponeras, vilket ansågs som en trygg och stabil lösning.

Det ansågs inte lika troligt att bottenaskan skulle klassas som farligt avfall, men Krafringen ville försäkra sig om att den mottagande anläggningen hade tillstånd att ta emot askan oavsett. Därför användes både avfallskoderna för farligt avfall respektive ej farligt avfall vid första upphandlingen, även om farligt avfall kostar mer att få omhändertaget.

#### 4.2.2 Nuvarande askproduktion och hantering

Krafringens sammanställning av mängder flyg- respektive bottenaska ifrån driftstart 2014 till och med 2018 visas i Tabell 3. Mängden bottenaska påverkas av mängden sand som används i pannan, och mängden flygaska beror av mängden tillsatt kalk till rökgaserna. Under åren har mängden tillsatt sand och kalk per MWh justerats, vilket påverkat mängden aska per MWh. Utöver detta har även produktionen på verket ökat sedan driftstart.

Tabell 3 Producerad flyg- och bottenaska (ton/år), samt årlig värmeproduktion (GWh) hos Örtofta KVV 2014-2018.

	Flygaska (ton/år)	Bottenaska (ton/år)	Värmeproduktion (GWh)
2014	840	3640	516
2015	1340	3890	632
2016	1410	2530	620
2017	1620	1930	630
2018	1660	2050	

2014 var produktionen lägre på grund av intrimning av anläggningen efter driftstart, varför flygaskproduktionen är låg det året. De påföljande åren ökades produktionen vilket direkt påverkade mängden flygaska. Därutöver ökade inblandningen av RT-flis, som generellt innehåller större mängd askbildare än de övriga bränslena, från 35 till 50 % fr.o.m. 2015-2017.

Den lägre anläggningsproduktionen påverkade inte mängden producerad bottenaska det första året eftersom man använde större mängder sand.

På båda askströmmarna tas prover ett par gånger per år, men avsikten med denna provtagning har inte varit att kartlägga innehållet av näringsämnen och spårämnen, eller utvärdera askhanteringen. Analyserna används för att klassa askorna som ej farligt avfall eller farligt avfall gentemot mottagaren, som i sin tur har tillstånd för vilka mängder och kvalitet på askorna som får tas emot. Det ställs däremot inga krav på provtagning och analys av askan varken i verkets miljötillstånd, föreskrifter från länsstyrelsen eller i det interna kontrollprogrammet.

Idag sköter branchorganisationen Sinfra (f.d. Värmek) upphandlingen med NOAH för att ta hand om flygaskan, som även idag klassas som farligt avfall. Flygaskan skickas till Langöya där den först används för att neutralisera rester från svavelsyratillverkning som företaget tagit hand om för destruering, och sedan deponeras i en nedlagd kalkgruva. Kalkgruvans kapacitet är ändlig och är snart fylld, varpå man måste hitta alternativ för kvittblivningen av flygaskan. Det finns regionala företag som har tillstånd att ta emot farligt avfall (Sysav, Sakab etc.) vilket troligen skulle bli dyrare. Utöver en önskan om en miljöriktig energiproduktion är även en framtida dyrare askkvittblivning en drivkraft för att hitta alternativ till deponering.

Vid nuvarande produktion klassas bottenaskan som ej farligt avfall. Kvittblivningen av bottenaskan handlas upp bland lokala företag, och askan skickas till anläggningar som har tillstånd för att ta emot den. Bottenaskan har olika användningsområden, men används just nu främst som täckmaterial till deponier av den upphandlade mottagaren.

Provtagning och analys av askorna sker idag sporadiskt, exempelvis vid upphandling av kvittblivning, och utan avsikt att kartlägga hur askans innehåll ser ut under en längre tid och hur det relaterar till bränsleinblandningen. Man har heller inte analyserat askproverna med ändamålet att utvärdera hur innehållet förhåller sig till skogsstyrelsens riktvärden för återföring.

## 5. Metod

För att samla in kunskap om innehållet av önskade näringsämnen och oönskade spårämnen hos bränslen och askor på Örtofta KVV, togs en plan för provtagning och analys fram. En detaljerad beskrivning över planens upplägg och de bakomliggande antaganden som ligger till grund för den följer nedan. Provtagningens genomförande finns beskrivet i Bilaga 1.

### 5.1 Provtagningsplan

En period för provtagning valdes då driften var stabil, det vill säga när värmeunderlaget var konstant och bränslereceptet (förhållandet i inblandning mellan de olika bränslena) inte hade ändrats under de närmaste dagarna innan provtagningen startade, och inte heller planerades att ändras under provtagningsperioden. Stabil drift var viktigt för att minimera risken för oväntade och svårspårade effekter i processen som skulle kunnat påverka askinnehållet. Bränslereceptet under provtagningsveckan ses i Tabell 4, och hur det omräknas till volym bränsle (antal skopor som lastas i en så kallad recepthögen).

Tabell 4 Bränslereceptet under provtagningsveckan i energiinnehåll, viktandel och motsvarande andel skopor.

Bränsle	Energiinnehåll (%)	Viktandel (%)	Motsv. antal skopor
RT-flis	54	39	7
Grot	9	10	1
Sågspån	8	16	2
Bark	22	25	2
Torv	7	10	1

I dygnslagret ute på bränslegården antogs den färdigblandade recepthögen ligga max 1 dygn innan det fördes upp med hjälp av skruvarna till bränslesilon. I bränslesilon beräknades bränslet uppehålla sig ½-1 dygn. Därefter bedömdes uppehållstiden från bränslesilon, genom förbränningskammaren, och till sist till flygaskfiltret vara 1 dygn. Utmatningen av bottenaskan och tillsättning av sand in i förbränningskammaren sker kontinuerligt, och det är omöjligt att spåra exakt hur länge innehållet i bottenaskan har uppehållit sig i kammaren eftersom det cirkuleras runt och ny sand blandas med gammal. Flygaskan å andra sidan bildas så fort bränslet förbränns och transporteras därefter ut till askfiltrena. Det är därför lättare att göra antaganden kring fördröjningen mellan provtagning på bränslet som lastades på dygnslagret och provtagning på flygaskan. Samma fördröjning användes för bottenaskan.



Med hänsyn till uppehållstiderna i processen från dygnslagret på bränslegården till askutmatningen påbörjades provtagningen i bränslesilon med ett dygns fördröjning från provtagningen i dygnslagret, och proverna på askan (både flygaska och bottenaska) togs med ytterligare ett dygns fördröjning. Analysresultaten hanteras så att prover tagna på bränslegården jämförs med askprover tagna med två dygns förskjutning. Provtagnings-schemat och uttagna provvolymen kan ses nedan i Tabell 5. För bränsleproverna togs ett antal delprover ut per dag som sedan blandades till ett samlingsprov per dag, tillvägagångssättet för detta beskrivs i Bilaga 1.

Tabell 5 Provtagningschema, provmärkning och uttagna provvolymer

Märkning bibränslen						
Provpunkt	GrOT	RT-flis	Bark	Sågspån	Torv	Bränslesilon
2018-02-26	BränsleG0226A	BränsleR0226A	BränsleB0226A	BränsleS0226A	BränsleT0226A	
2018-02-27	BränsleG0227A	BränsleR0227A	BränsleB0227A	BränsleS0227A	BränsleT0227A	Silo0227A
2018-02-28	BränsleG0228A	BränsleR0228A	BränsleB0228A	BränsleS0228A	BränsleT0228A	Silo0228A
2018-03-01	BränsleG0301A	BränsleR0301A	BränsleB0301A	BränsleS0301A	BränsleT0301A	Silo0301A
2018-03-02	BränsleG0302A	BränsleR0302A	BränsleB0302A	BränsleS0302A	BränsleT0302A	Silo0302A
2018-03-03						Silo0303A
Provtagningskärl	Spann 20 l	Spann 20 l	Spann 20 l	Spann 20 l	Spann 20 l	Spann 20 l

Märkning aska och tillsatser					
Provpunkt	Flygaska	Bottenaska	Sand	Sorbacal	Svavel
2018-02-28	AskaF0228A	AskaB0228A	Ny sand	Sorbacal	Svavel
2018-03-01	AskaF0301A	AskaB0301A			
2018-03-02	AskaF0302A	AskaB0302A			
2018-03-03	AskaF0303A	AskaB0303A			
2018-03-04	AskaF0304A	AskaB0304A			
Provtagningskärl	Spann 5.8 l	Spann 5.8 l	Spann 5.8 l	Spann 5.8 l	Spann 5.8 l

Provtagningen skedde alltså under 7 dagars tid med totalt 30 bränsleprover, 10 askprover och 3 prover på olika tillsatser i processen innan askfiltrena, och provantalet begränsades av projektets budgetramar. I och med att bränslena varierar mycket i kvalitet och innehåll till sin natur, speciellt bark, grot och returträ, skulle en mycket längre provtagningsperiod krävas för att få en fullständig bild av varje bränsletyps innehåll och variation i sammansättning. En fullständig bild av kopplingen mellan innehåll i bränslen och aska kan inte heller fås baserat på de enkla antaganden som gjorts om flöden genom processen. Undersökningen kan ge en ögonblicksbild av förutsättningarna vid anläggningen, utan att antyda att provtagningsresultaten är allmängiltiga för varje given situation.

## 5.2 Kemiska analyser och beräkningar

För både bränslena, askorna och tillsatserna analyserades halterna av de önskade näringsämnena (kalium, kalcium, magnesium och fosfor) samt de oönskade spårämnen där Skogsstyrelsen satt ett övre riktvärde för återföring till skogsmark (bly, bor, kadmium, koppar, krom, kvicksilver, nickel, vanadin, zink och arsenik).

För samtliga bränslen (de rena bränslena i recepthögarna och det blandade bränslet i bränslesilon) genomfördes bestämningar av fukthalt, askhalt, elementaranalyser (kol, klor, svavel, väte och kväve) samt värmevärde.

Halterna av näringsämnen och spårämnen anges i rådatatabellerna (Tabell B4-B7, Bilaga 5) per TS bränsle, men halterna i rapporten är omräknade med hjälp av askhalten i bränslet och anges även för bränslen per TS aska.

Alla analyser genomfördes av Eurofins, Linköping. Samtliga utförda analyser presenteras i Tabell B2, Bilaga 3.

Analyserna gjordes på dagsprov, men de resultat som diskuteras eller används i vidare beräkningar är medelvärdet under veckan för varje bränsle och aska och anges så i resultatet. I de fall alla analyser för en provtyp låg under detektionsgränsen redovisas detta som 'under detektionsgräns' (ud). I de fall något av analysvaren av dagsproven låg under detektionsgränsen används detektionsgränsen som inparameter för beräkning av medelvärdet.

Flöden (kg/d) under provtagningsperioden av de önskade och oönskade ämnena beräknades genom att multiplicera medelhalterna för varje ämne i respektive provkategori med det motsvarande massflödet (räknat som TS) under samma period som provtagningen skedde. De olika massflödena inhämtades från olika källor: Bränslenas massflöde beräknades m.h.a. bränslenas värmevärden, receptet och pannans levererade effekt under veckan. För sorbacal, sand och flygaska användes mätvärden från respektive silo. Svavel uppskattades genom hur ofta säcken byttes ut. Bottenaskans flöde uppskattades m.h.a. den bortforslade mängden under veckan.

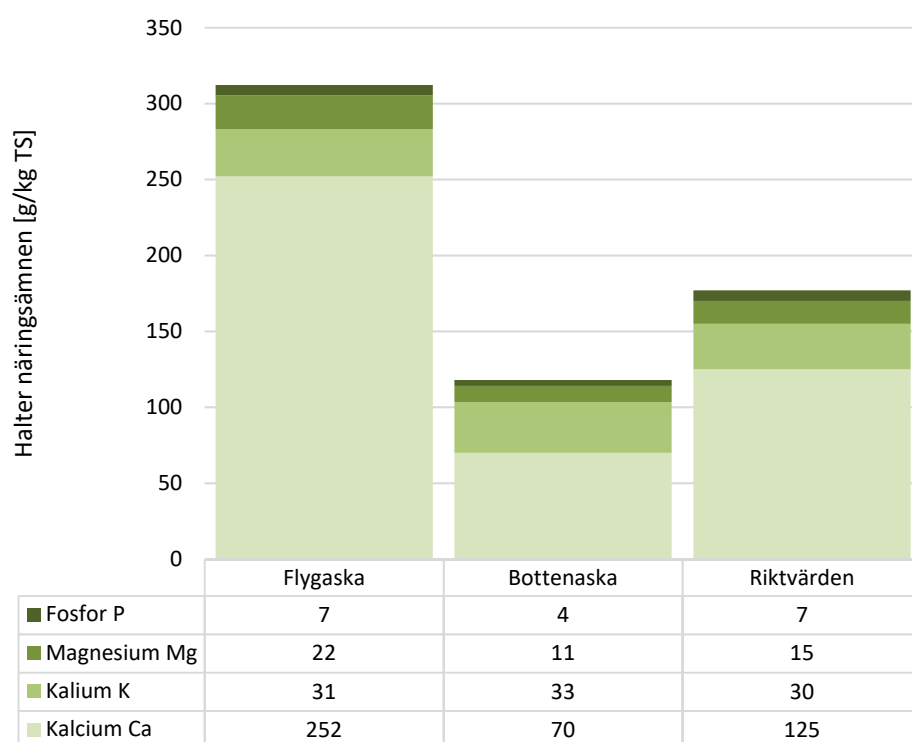
## 6. Resultat och diskussion

I detta kapitel presenteras och diskuteras analysresultaten från provtagningen utifrån studiens delmål: 1. Vad finns i askan och hur förhåller sig halterna av önskade och oönskade ämnen till skogsstyrelsens riktvärden?; 2. I hur stor utsträckning bidrar de olika bränslena och tillsatserna med önskade och oönskade ämnen?, samt 3. Hur fördelar sig de tillförda mängderna av önskade och oönskade ämnen i flyg- och bottenaskan?

### 6.1 Innehåll i flyg- och bottenaskan

#### 6.1.1 Önskade näringsämnen

I Figur 1 visas den uppmätta halten av önskade näringsämnen i flyg- och bottenaskproverna som medelkoncentrationen [g/kg TS aska] under provveckan av magnesium, kalium, kalcium och fosfor. För jämförelse visas i den tredje stapeln de motsvarande rekommenderade lägsta halter, som alltså bör överstigas (Skogsstyrelsen, 2008) för att askan ska vara intressant att sprida på skogsmark ur näringssynpunkt.



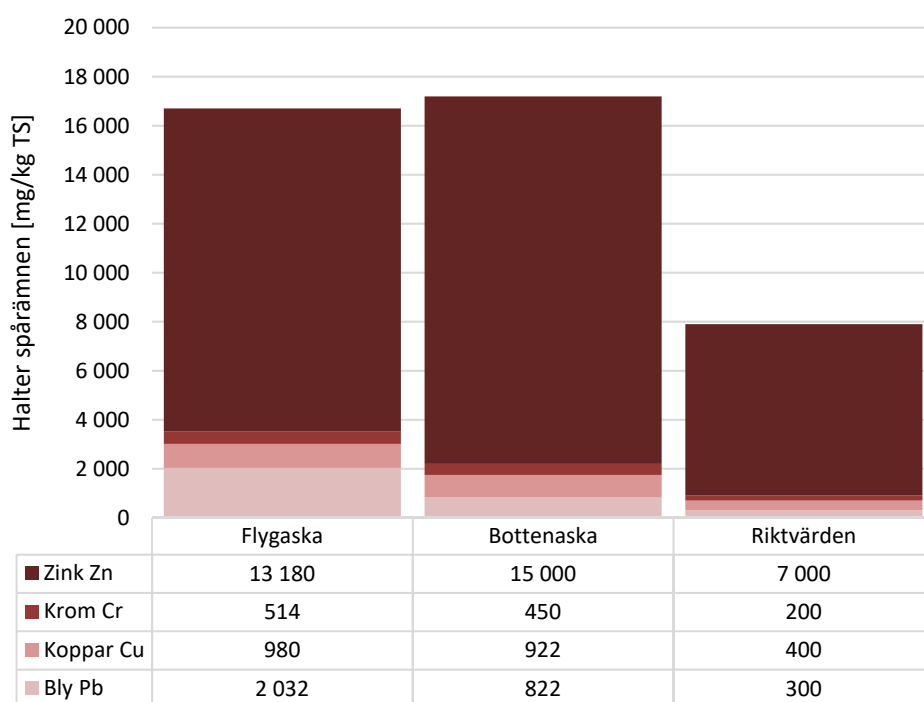
Figur 1 Uppmätta halter P, Mg, K och Ca [g/kg TS] i flyg- och bottenaskan samt skogsstyrelsens riktvärden som bör överstigas för återföring till skogsmark.

För flygaskan visar resultaten högre eller samma koncentration av näringsämnen som de rekommenderade lägsta halterna för samtliga ämnen. Bottenaskan har lägre halter än riktvärdena förutom för koncentrationen av kalium. Att flygaskan har en hög halt kalcium kan förklaras av tillsatsen av Sorbocal till rökgasreningen (som består till mesta dels av kalcium) som sker efter att bottenaskan tagits ut.

Med avseende på näringsinnehåll och kalkverkan finns det alltså relevans för återföring av Örtoftas flygaska till skogsmark, medan bottenaskan är för näringsfattig. Bottenaska förväntades inte innehålla höga koncentrationer näringsämnen eftersom den består utav stora mängder sand.

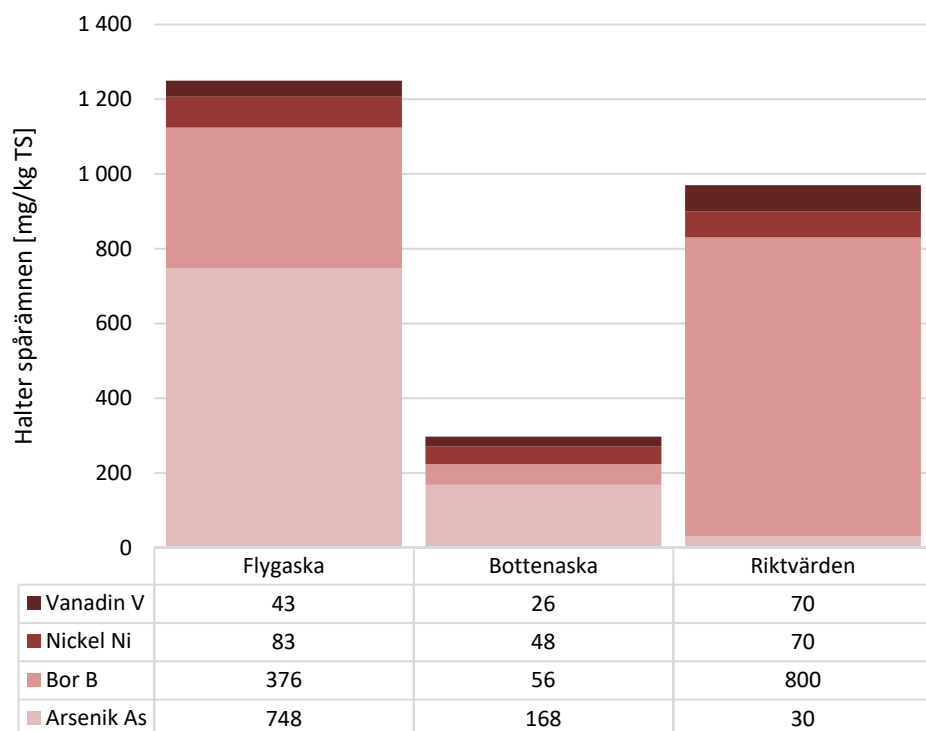
### 6.1.2 Önskade spårämnen

Med önskade spårämnen menas här de ämnen där Skogsstyrelsen satt ett övre riktvärde som inte bör överstigas för att en aska skall vara lämplig för återföring till skog och mark. Vissa av dessa ämnen är önskvärda i små mängder (mikronäringsämnen) men i denna studie undersöks endast om deras halter är oönskat höga. I Figur 2-4 visas medelkoncentrationer under provveckan, och resultatet är uppdelat i tre figurer med olika skala. Staplarna visar som innan halterna i flyg- och bottenaskan, samt skogsstyrelsens riktvärden för jämförelse.



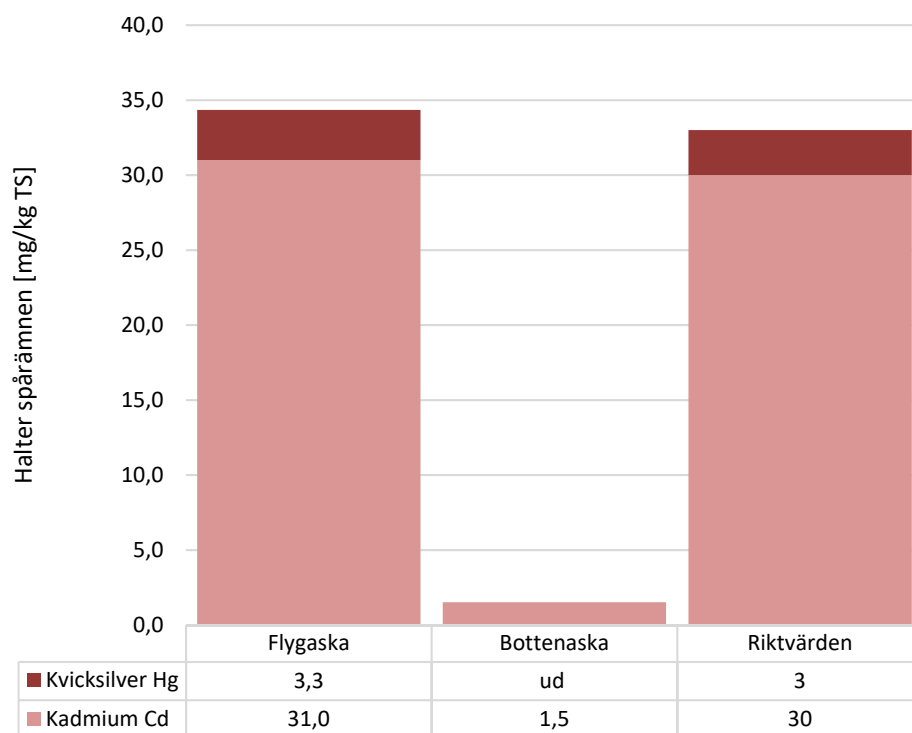
Figur 2 Uppmätta halter Zn, Cr, Cu och Pb [mg/kg TS] i flyg- och bottenaskan. Även skogsstyrelsens riktvärden som bör understigas för återföring till skogsmark visas.

De uppmätta halterna av zink, krom, koppar, bly överstiger riktvärdena i båda askorna (Figur 2). Halten bly i flygaskan överstiger riktvärdet nästan 7 gånger. Zinkhalten i bottenaskan är högre än i flygaskan, vilket möjligen kan bero på större metallskrot som följer med bottenaskan ut ur pannan. Detta stöds av de observationer som gjordes när bottenaskproverna samlades in (se Bilaga 2). Vid en hantering av bottenaskan där metallskrot inte är önskvärt hade detta dock kunnat sällas ut.



Figur 3 Uppmätta halter V, Ni, B och As [mg/kg TS] i flyg- och bottenaskan. Även skogsstyrelsens riktvärden som bör understigas för återföring till skogsmark.

Halten arsenik är mycket hög i båda askorna, och speciellt i flygaskan där halten överskrider den rekommenderade 25 gånger (Figur 3). En förklaring till den höga halten kan vara att äldre tryckimpregnerat trä funnits i RT-flisen, även fast det egentligen inte skall finnas då Krafringen köper in RT-flis klass II medan impregnerat trä ska sorteras som RT-flis klass III. Detta styrks även av de observationer som gjordes på bränsleplanen, se Bilaga 2. Även halten nickel ligger något högt i flygaskan jämfört med riktvärdena (Figur 3). Resterande halter understiger riktvärdena i båda askorna.



Figur 4 Uppmätta halter Hg och Cd [mg/kg TS] i flyg- och bottenaskan. Även skogsstyrelsens riktvärden som bör understigas för återföring till skogsmark. Halter under detektionsgräns indikeras ”ud”.

Halterna av kvicksilver och kadmium ligger under (bottenaska) eller är mycket nära att uppfylla skogsstyrelsens riktvärden (flygaska) (Figur 4).

### 6.1.3 Sammanställning innehåll i flyg- och bottenaska

Ingen av askorna uppfyllde under provtagningsperioden skogsstyrelsens riktvärden för återföring till skogsmark (se sammanställning av medelhalterna i flyg- och bottenaskan i Bilaga 4). Ur näringssynpunkt har flygaskan tillräckligt höga halter för att vara intressant att återföra till skogsmark, men har vad gäller oönskade spårämnen för höga halter av flera ämnen, där särskilt bly och arsenik sticker ut. Detta resultat var väntat utifrån att RT-flis förutsätts ha en typiskt hög föroreningshalt som gör att Örtofta KVV:s flygaska idag hanteras som farligt avfall. Innehållet av önskade näringsämnen gör det ändå intressant att fortsätta studera alternativa hanteringsmetoder, med avsikt att ta tillvara dessa.

Bottenaskan var som förväntat mindre näringsrik, och hade även lägre nivåer av de oönskade spårämnena, i förhållande till flygaskan. Att flygaskan innehåller en hög koncentration av vissa oönskade spårämnen är väntat eftersom Sorbacal tillsätts med avsikten att binda dessa från rökgaserna och få dem att falla ut i askan.

Skillnaden i koncentration mellan de individuella proverna är generellt något högre hos flygaskproverna. Vissa enskilda ämneshalter uppfyller eller faller utanför riktvärdena, även om medelvärdet för veckan visar motsatsen, se Bilaga 5.

## 6.2. Bidrag från respektive bränsle

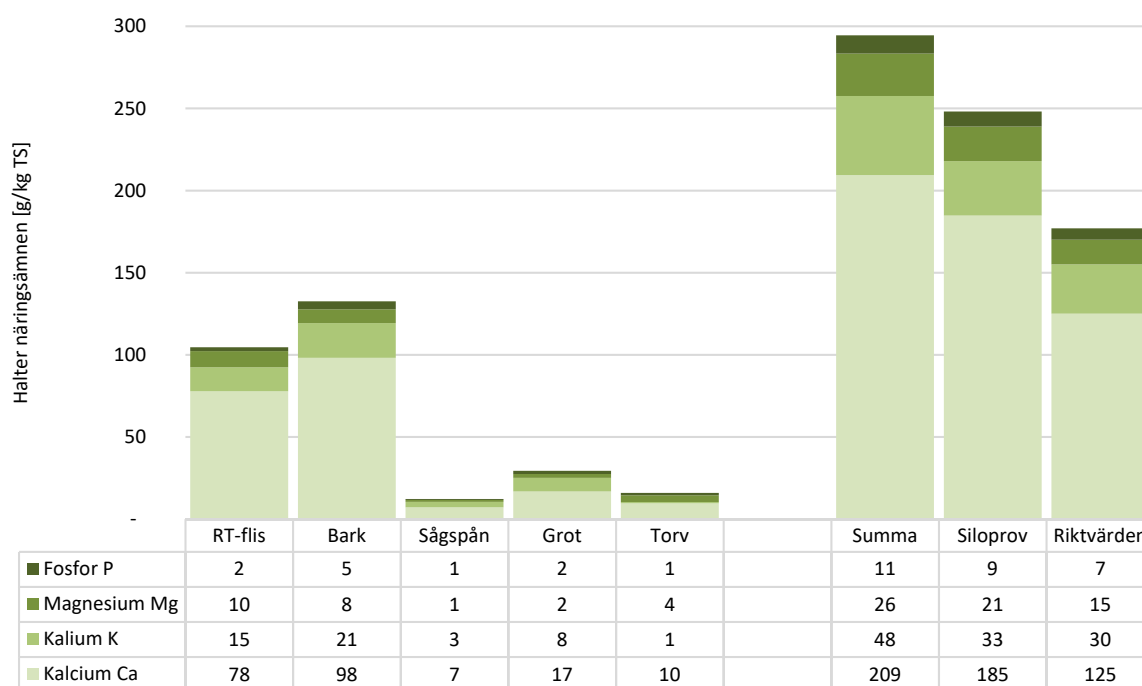
I detta delkapitel presenteras resultaten från provtagningen av bränslena ute på bränslegården. Syftet är att härleda från vilka bränslen flyg- och bottenaskans innehåll av önskade näringsämnen och oönskade spårämnen härstammar.

Enheten på y-axeln är g/kg TS aska, med vilket menas halten näringsämnen i bränsleproverna efter att de inaskats. Staplarna representerar därför varje bränsles bidrag av näringsämnen till 1 kg inaskad teoretisk bränslemix, m.a.o. den resulterade askans näringsinnehåll om bränslemixen hade förbränts i labbförhållanden utan tillsatser och utan uppdelning i flyg- och bottenaska.

Halterna i Figur 5-8 är för varje bränsle viktat efter det aktuella receptet under provtagningsveckan, alltså efter den viktandelviktsandel som varje bränsle bidrog med till bränslemixen (Tabell 4). Det sammantagna resultat visas som "Summa". Resultat utan viktning för de individuella bränslena och för bränslemixen i bränslesilon redovisas i (Tabell B4-B6, Bilaga 5). Summan av innehållet hos de viktade bränslena bör vara detsamma som innehållet i siloprovet i teorin. Det inaskade siloprovet är mer relevant att jämföra med skogsstyrelsens riktvärden då det är bättre relaterat till det faktiska askinnehållet, men det ger ingen information om hur de ingående bränslena bidrar. Eftersom lastandet av bränslena och dess blandning inte är perfekt finns det en ofrånkomlig osäkerhet i jämförelsen mellan den teoretiska bränslemixen och siloprovet.

### 6.2.1 Önskade näringsämnen

Bidragen av Fosfor, Magnesium, Kalium och Kalcium visas i Figur 5.



Figur 5 Uppmätta halter P, Mg, K och Ca viktade efter respektive bränsles viktandel i bränslemixen [g/kg TS aska] samt halterna summerade. Även uppmätta halter i bränslesilon och skogsstyrelsens riktvärden som bör överstigas för återföring till skogsmark.

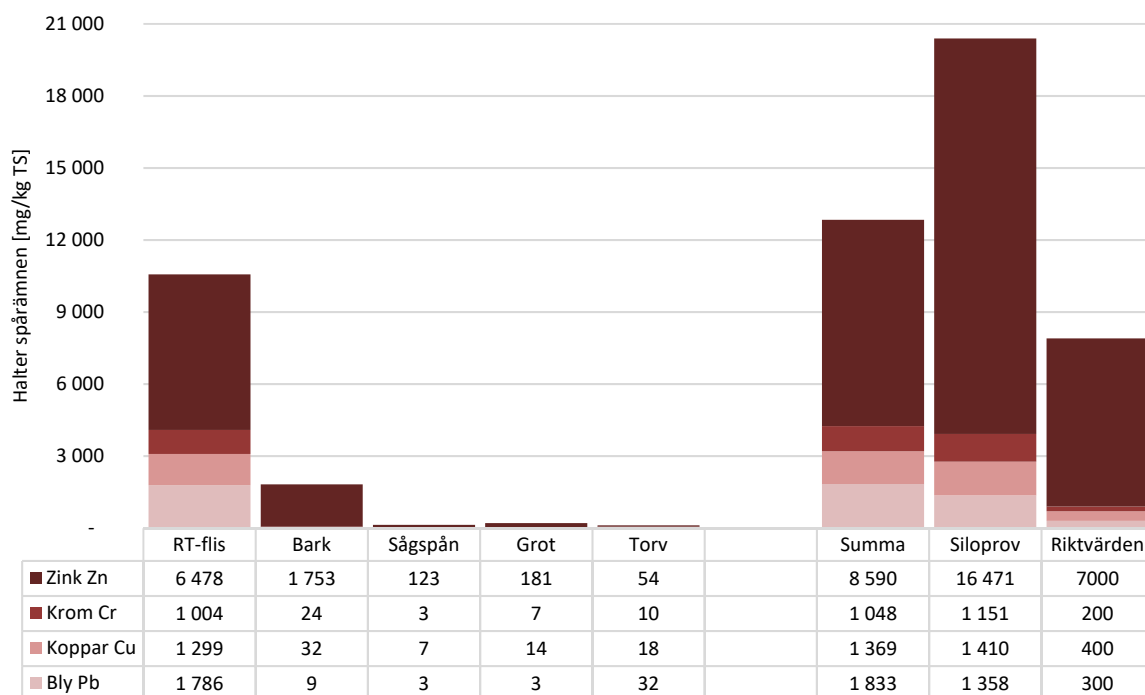


Grot står för ca 10 viktprocent av tillförd bränslemängd och bidrar med 10 % av det sammanlagda näringsinnehållet, dvs är inte mer näringsrik än snittet för tillförda bränslen. Näringsinnehållet var högre i det första dagsprovet då gröngrot användes (se Bilaga 2). Resten av veckan användes brungrot eller grot med mycket stamved, vilket kan vara en förklaring till ett lägre näringsinnehåll än förväntat. Exempelvis var halten fosfor nästan tre gånger så högt dag ett, jämfört med i det fjärde dagsprovet (se Bilaga 5). Motsvarande bidrag för RT-flis är 39 viktprocent och 35 % av näringsinnehållet, och för bark 25 viktprocent respektive 45 % av näringsinnehållet. Sågspån som är mestadels stamved och står för 16 viktprocent bidrar med endast 4 % av näringsinnehållet.

Bark bidrog med mest näringsämnen till bränslemixen i förhållande till viktandelen. Förväntningen var att RT-flisen, som liksom sågspån förväntas bestå mest av stamved, skulle vara mer näringsfattig. Men RT-flisen bidrar med intressanta näringsämnen: alla riktvärden för önskade näringsämnen ovan uppfylldes, förutom för fosfor där halten var något för låg. I förhållande till inblandningen bidrog RT-flisen nästan lika mycket som grotten.

## 6.2.2 Önskade spårämnen

Bidragen av Bly, Koppar, Krom och Zink visas i Figur 6.

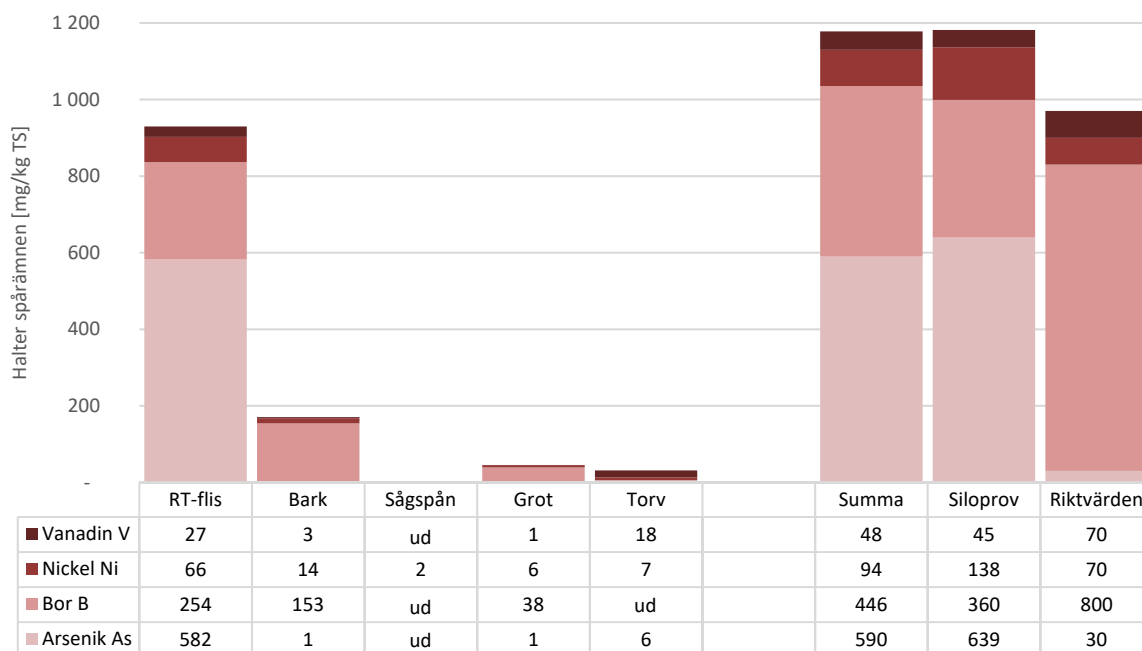


Figur 6 Uppmätta halter Zn, Cr, Cu och Pb viktade efter respektive bränsles viktandel i bränslemixen [mg/kg TS aska] samt halterna summerade. Även uppmätta halter i bränslesilon och skogsstyrelsens riktvärden som bör understigas för återföring till skogsmark.

Halten bly i flygaskan översteg riktvärdet med 7 ggr (Figur 2). I Figur 6 framgår att RT-flisen står för så gott som hela bidraget av bly, och dessutom bidraget av koppar och krom i bränslemixen, samt för majoriteten av bidraget av zink. Bly i RT-flisen kan komma från färgrester från gammal målarfärg, vilket är ett rimligt antagande eftersom rivningsvirke gärna består av gamla uttjänta träkonstruktioner (Adler, Haglund och Sjöblom, 2004). Det observerades träbitar med målarfärg i RT-flisprovsmängden vilket stödjer antagandet. Ett siloprov hade nästan dubbelt så högt zinkinnehåll som resterande prov (Tabell 6, Bilaga 5).

I det provet observerades ett stycke metallrest i samband med uttaget (se Bilaga 2), vilket kan ge ett förklara en viss förhöjd halt zink. Eftersom zink kan förekomma i hög halt i RT-flis (Adler, Haglund och Sjöblom, 2004), understöds resultatet att nästan enbart RT-flisen bidrog med zink.

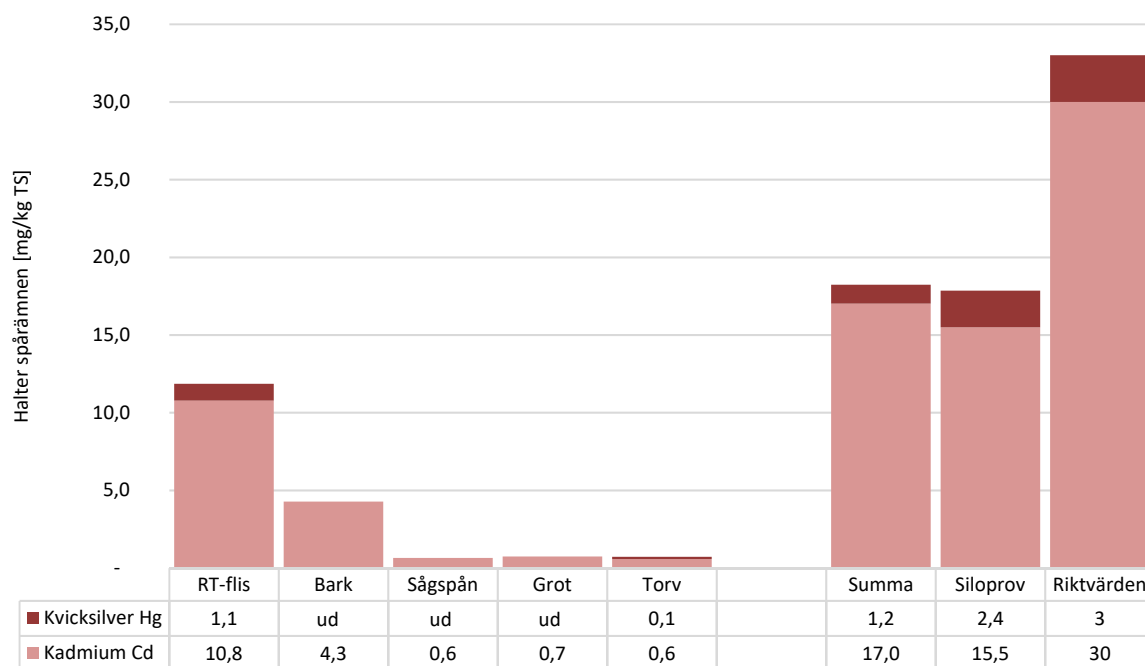
Bidraget av Arsenik, Bor, Nickel och Vanadin visas i Figur 7.



Figur 7 Uppmätta halter V, Ni, B och As viktade efter respektive bränsles viktandel i bränslemixen [mg/kg TS aska] samt halterna summerade. Även uppmätta halter i bränslesilon och skogsstyrelsens riktvärden som bör understigas för återföring till skogsmark. Halter under detektionsgräns indikeras ud.

Arsenik var det ämne i flygaskan som överskred riktvärdet allra mest, med 25 ggr (se Figur 3). Figur 7 visar att denna arsenik så gott som uteslutande kommer från RT-flisen. Eftersom äldre trädskyddsbehandlat trä innehåller arsenik (idag används koppar), är det en möjlighet att sådant följt med RT-flisproven. Det är också troligt med avseende på att rivningsvirke oftast är äldre träkonstruktioner. Detta understöds i detta fall av de observationer som gjordes vid provtagningen (se Bilaga 2). RT-flisen står även för huvudbidraget av bor, nickel och vanadin, men dessa ämnen översteg inte, eller endast marginellt, rekommenderad högsta halt i askproverna (Figur 3).

Bidraget av Kadmium och Kvicksilver visas i Figur 8.



Figur 8 Uppmätta halter Hg och Cd viktade efter respektive bränsles viktandel i bränslemixen [mg/kg TS] samt halterna summerade. Även uppmätta halter i bränslesilon och skogsstyrelsens riktvärden som bör understigas för återföring till skogsmark. Halter under detektionsgräns indikeras ud.

Kadmium och kvicksilver i flygaskan överskred marginellt riktvärdena (Figur 4). Figur 8 visar att en teoretiskt beräknad askhalt utifrån bränslemixen skulle understiga riktvärdena, så vida den inte fördelas mellan flyg- och bottenaska. I sådant fall är det rimligt att flygaskan får högre halter än halten i den teoretiskt beräknade askhalten, så som utfallet i Figur 4 visar.

Bark och RT-flis står för det största bidraget av kadmium. Sågspån består mestadels av stamved, likaså gör RT-flis. Mängden kadmium i den inaskade RT-flisen är 11 ggr större än i sågspånet, fastän mängden tillförd RT-flis är 2,5 gånger högre än mängden sågspån. Detta antyder att kadmium i RT-flisen kommer från andra källor än endast markupptag. En tänkbar källa är äldre färgrester. Analyserna antyder också att kadmium i skogsbränslet lagrats främst i barken, och inte i stamveden, vilket också gäller för krom (Figur 6) och bor (Figur 7).

### 6.2.3 Sammanställning bidrag från respektive bränsle

Enkelt tolkat hade en 100 % förbränning av bark under provtagningsveckan gett en återförbar aska, när inte det faktum att ämnen fördelar sig olika i flyg- och bottenaska vägs in. Grot hade i stort sett också gett en återförbar aska, eftersom det bara är halten av nickel som är obetydligt för hög (cirka 15%). Att elda både bark och grot bör baserat på dessa resultat kunna ge en aska som uppfyller alla riktvärden. Ur återföringssynpunkt spelar dock inte halterna så stor roll eftersom Skogsstyrelsen kan godkänna även för höga, respektive för låga halter i askan när endast rena bränslen används (även ren RT-flis (klass I)) (Skogsstyrelsen, 2008).

Argumentet för att lämna kvar eller föra tillbaka grot och bark till skogsmark bygger på att det mesta av näringsämnena i träden ansamlas i barken och grönskan. Analysen visar att sågspånet och RT-flisen också har höga halter näringsämnena vilket inte var väntat då de innehåller mycket stamved: endast halten av fosfor i RT-flisen understiger riktvärdena för önskade näringsämnena.

RT-flisen har för höga halter av många oönskade ämnen och inte heller sågspån understiger riktvärdena, fastän det är ett rent skogsbränsle. Att vid Örtofta KVV enbart minska RT-flisen skulle alltså inte nödvändigtvis ge en aska med spårämneshalter som understeg riktvärdena (det krävs att all RT-flis av klass II och III utesluts för att för höga halter ska kunna godkännas av Skogsstyrelsen). Det är alltså inte enbart samförbränningen med RT-flis som gör att askan inte uppfyller rekommendationen för återföring till skogsmark. Trots detta stödjer resultaten antagandet att RT-flisen är det bränsle som främst tillför oönskade metaller till askorna.

Beräknat innehåll i askan summerat utifrån de individuella bränsleanalyserna och innehållet i analyserade prover av bränslemixen uttaget från bränslesilon stämmer inte helt överens (Figur 5-8). En exakt överensstämmelse är inte heller förväntad, men värdena ligger i samma storleksordning, med undantag för zink, som är mycket högre i analyserad bränslemix från bränslesilon. En anledning till ytterligare skillnad i koncentration mellan aska- och siloprover är de produkter som tillsätts processflödet innan askutmatningen, d.v.s. sand, Sorbacal och svavel (kalk tillsattes inte under provtagningsveckan). Sand och sorbacal tillsätts dock efter silon och dess innehåll adderas således enbart till askproverna.

### 6.3 Totala flöden spårämnen och näringsämnen

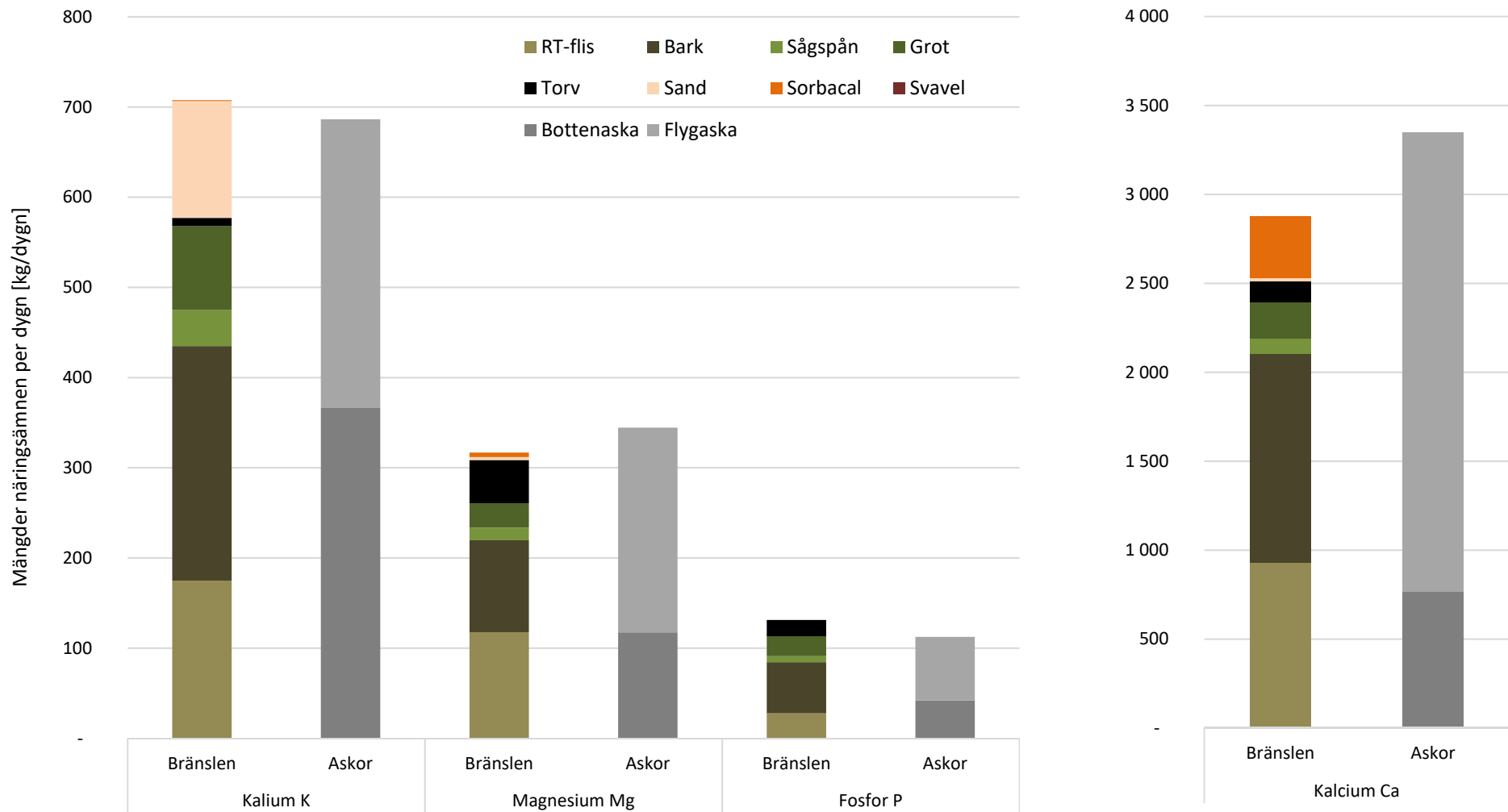
I detta kapitel presenteras resultatet av beräknade flöden av ämnen i bränslen och tillsatser tillfört Örtofta KVV, och flödet av ämnen i de två askfraktionerna. Flödet är beräknat som mängd per dygn, och är baserat på de analyserade halterna tillsammans med beräknade massflöden under provtagningsveckan. Resultatet visar in- och utflödena av de ämnen som regleras av skogsstyrelsens rekommendationer och hur de fördelas mellan flygaska och bottenaska. I Tabell 6 visas även de totala flödena i ton under provtagningsveckan för bränslena, tillsatserna och askorna.

**Tabell 6 In- och utflöden [våtvikt ton/dygn] för bränslen, tillsatser och askor på Örtofta KVV som analyserades under provtagningsveckan.**

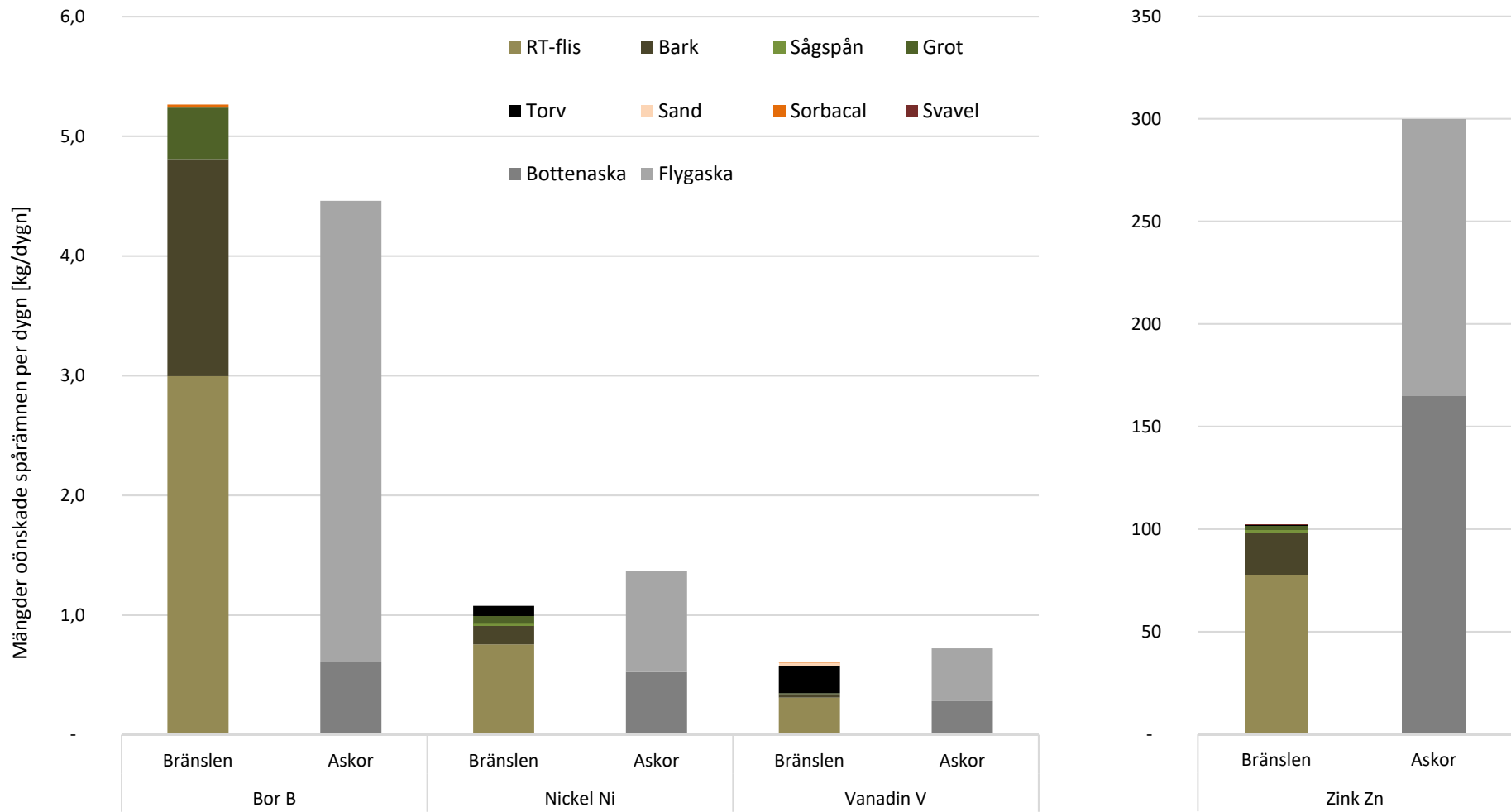
	RT-flis	Bark	Sågspån	Grot	Torv	Sand	Sorbacal	Svavel	Flygaska	Bottenaska
Våtvikt ton/dygn	408	260	172	107	107	6	2	0,2	10	12

Syftet med beräkningarna i detta kapitel är att visa att det inte enbart är bränslenas ingående halter som är intressanta, utan även fördelningen av ämnen mellan flyg- och bottenaska, för att undersöka relevansen av alternativa hanteringssätt. Hur stor andel av de önskade näringsämnena och oönskade spårämnena som exempelvis hamnar i bottenaskan kan inte utläsas enbart av halterna.

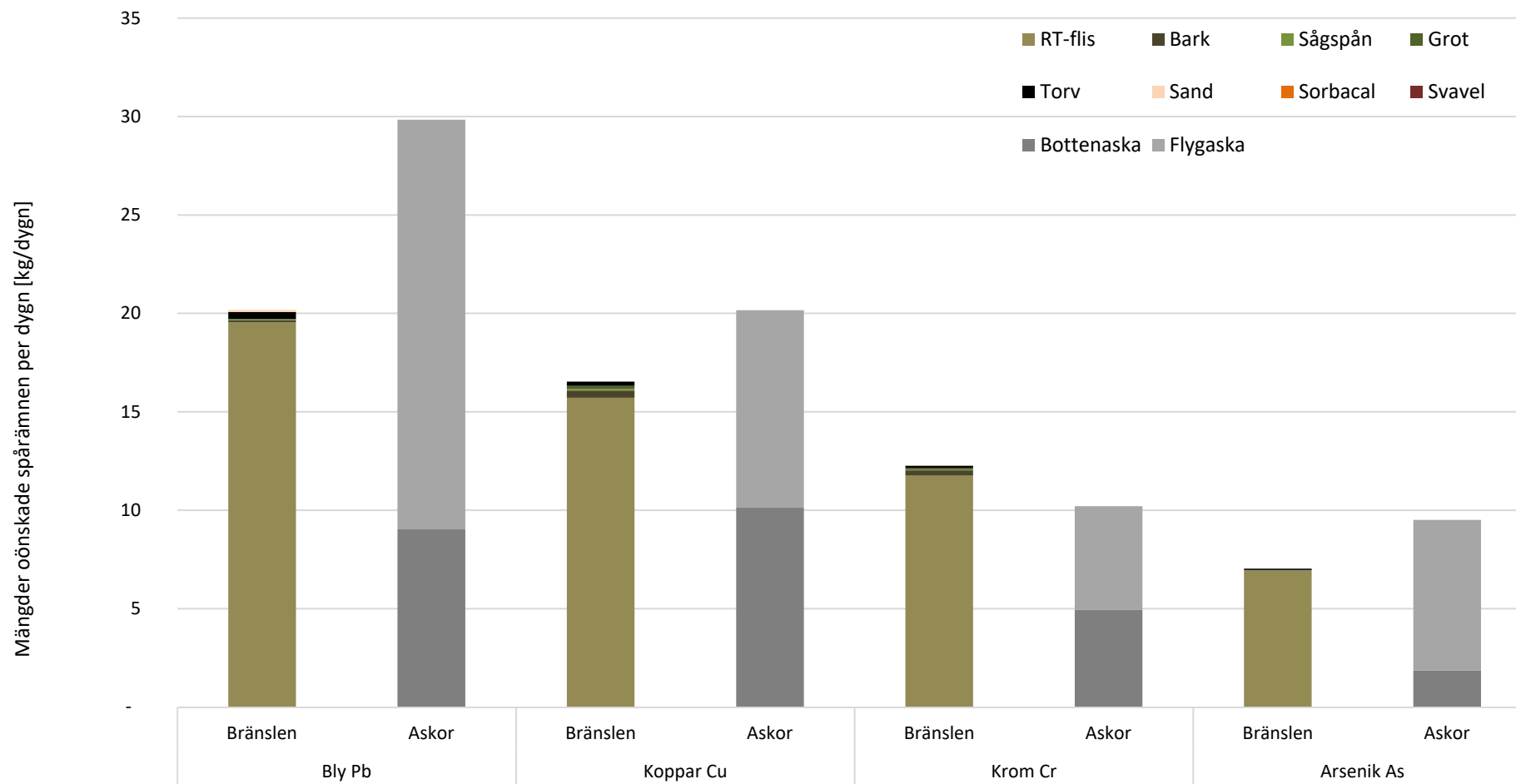
I Figur 9 visas inflödet av önskade näringsämnen till pannan från bränslen och tillsatser, och hur de sedan delar upp sig i flyg- respektive bottenaska. I Figur 10-12 visas motsvarande för de oönskade spårämnena.



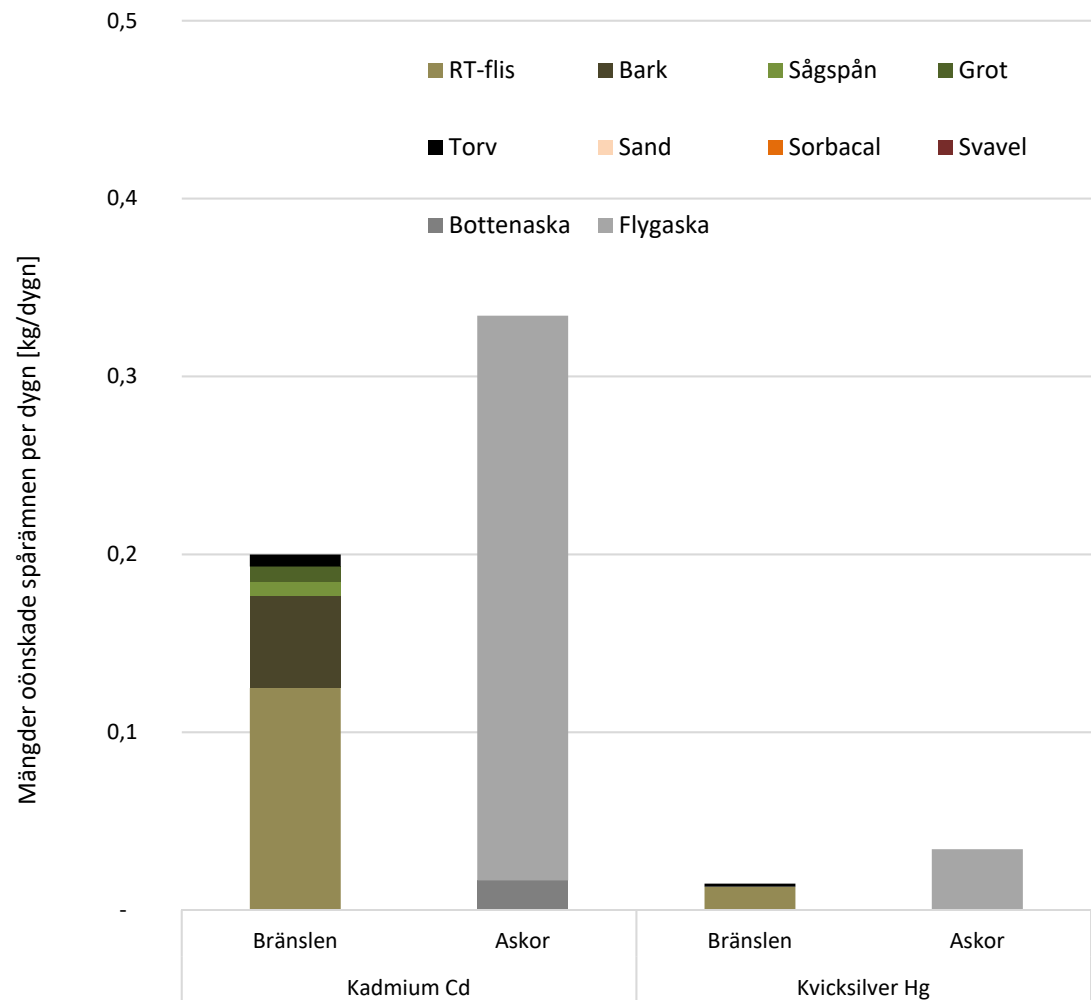
Figur 9 In- och utflöde [kg/dygn] under provtagningsveckan av de önskade näringsämnena (fosfor, kalium, magnesium och kalcium). Under kategorin bränslen redovisas även tillsatser. Observera den avvikande skalan för kalciumflödet.



Figur 10 In- och utflöde [kg/dygn] under provtagningsveckan av de oönskade spårämnen Bor, Nickel, Vanadin och Zink. Under kategorin bränslen redovisas även tillsatser. Observera den avvikande skalan för zinkflödet.



Figur 11 In- och utflöde [kg/dygn] under provtagningsveckan av de oönskade spårämnena Bly, Koppar, Krom och Arsenik. Under kategorin bränslen redovisas även tillsatser.



Figur 12 In- och utflöde [kg/dygn] under provtagningsveckan av de oönskade spårämnen Kadmium och Kvicksilver. Under kategorin bränslen redovisas även tillsatser.



### 6.3.1 Önskade näringsämnen

Fördelningen in och ut av önskade näringsämnen (Figur 9) visar att bark och grot står för hög andel av flödet in (48 % av allt kalcium, 50 % av kalium, 41 % av magnesium och 60 % av fosfor) i relation till 35 % av mängdflödet bränsle in. RT-flisen bidrar också med en förvånansvärt hög andel av näringsämnen (32 % av allt kalcium, 25 % av kalium, 37 % av magnesium och 21 % av fosfor), men mindre i relation till andelen av vikt bränsle in (39 %). RT-flisens bidrag motsvarar drygt 100 kg magnesium, 30 kg fosfor, 1000 kg kalcium och ca 180 kg kalium per dygn. Även tillsatserna bidrar med betydande mängder kalium (sand) och kalcium (Sorbacal).

Viktandelen av de två askorna var ungefär densamma under provtagningsperioden (53 % bottenaska), men huvuddelen av näringsämnena hamnar i flygaskan. Trots det hamnade ändå stora mängder intressanta näringsämnen även i bottenaskan: 23 % av allt kalcium, 53 % av kalium, 34 % av magnesium och 37 % av fosfor. Även om halterna av önskade näringsämnen är låga i bottenaskan, blir mängden som hamnar i den askfraktionen stor. Det ökar relevansen att även studera hanteringen av bottenaska ur perspektivet att öka mängden näringsämnen i kretslopp.

### 6.3.2 Oönskade spårämnen

Fördelningen av oönskade spårämnen i Figur 10-12 visar i vissa fall dålig överensstämmelse mellan in- och utflöden. Proverna är tagna med 2 dygns förskjutning, men det okänt hur flödet genom processen i praktiken ser ut, med eventuella eftersläpningar, minnes effekter etc. Även eventuellt bidrag från slitage av konstruktionsmaterial inuti pannan skulle kunna förekomma. Mängden zink ut i askan och in i bränslena överensstämmer mycket dåligt. Även resultaten i Figur 6 visar högre halter av zink redan i bränslesilon jämfört med proverna tagna på bränslegården. För mängden bly är det också en stor avvikelse mellan bränslet och askan. Flödet av kadmium och kvicksilver är också mkt större ut i askan, här ligger dock analysvärdena för halter i bränslena nära, eller för några bränsleprover under, metodens detektionsgräns vilket ger avvikelser vid summeringen.

Under provtagningsveckan bidrog RT-flisen med den stora majoriteten av de oönskade spårämnena, mycket mer än viktandelen bränsle in (39 %). I princip allt bly under veckan kom därifrån, nära 20 kg per dygn, och nästan all koppar, krom, kvicksilver och arsenik (Tabell 7). Kviksilver ligger under detektionsgränsen i grot, bark och sågspån, och sätts därför till noll när mängderna summeras. I övrigt kom större bidrag enbart från barken, främst med zink, bor och kadmium, och torv med vanadin. Sanden bidrar lite med bly och vanadin, och sorbacal med vanadin och bor, dock under 1 %, förutom för vanadin från sanden som bidrar med 4 % av mängden in.

Tabell 7 Andelen av den totala mängden av respektive oönskat spårämne som kommer från RT-flisen.

Zink	Bly	Koppar	Krom	Arsenik	Bor	Nickel	Vanadin	Kadmium	Kviksilver
Zn	Pb	Cu	Cr	As	B	Ni	V	Cd	Hg
76%	97%	95%	96%	99%	57%	70%	51%	62%	89%

Mängden producerad bottenaska var, som även i normala fall, högre än flygaskan, då den innehåller stor mängd inmatad sand. Under provtagningsveckan tillsattes förhållandevis mycket Sorbacal till rökgaserna i jämförelse med andra perioder med full drift (Bengtsson, 2018). Detta medförde att mängden producerad flygaska blev något större än väntat. På så sätt överskattades möjligen flödet av ämnen som hamnade i flygaskan något (större mängd sorbacal ger större mängd flygaska utan att egentligen tillföra mer av andra ämnen förutom kalcium). Flygaskan innehåller majoriteten av näringsämnena men också majoriteten av de oönskade ämnena, med undantag för zink, samt koppar och krom som fördelas näst intill lika mellan askorna. Ur perspektivet att ta tillvara dessa i kretsloppssammanhang önskade spårämnen som värdefulla metaller är alltså även bearbetning och hantering av bottenaskan relevant att studera.

## 7. Slutsatser

Det övergripande syftet med arbetet var att förbättra kunskapsläget kring halter och mängder av önskade näringsämnen och oönskade spårämnen i aska från samförbränning av RT-flis och andra biobränslen genom att studera Örtofta KVV. Samförbränning med RT-flis gör att flygaskan idag hanteras som FA och deponeras. Samtidigt är det viktigt att skapa kretslopp för aska för att återföra viktiga näringsämnen till skogsmark. Arbetet har utmynnat i ett antal slutsatser som kan ligga till grund för vidare åtgärder och beslut kring framtida askantering.

- Varken flygaskan eller bottenaskan uppfyllde skogsstyrelsens riktlinjer för återföring till skogsmark vid den bränsemix som användes under provtagningsveckan, där RT-flis stod för strax under 40 % av bränsemängden. Flygaskan hade ett tillräckligt högt innehåll av önskade näringsämnen för att den ska vara intressant för återföring till skogsmark, under förutsättningen att halten oönskade spårämnen hade varit lägre.
- Flera bränslen innehöll höga halter av de näringsämnen som är önskvärda att få i kretslopp till skogsmark, även stamvedsbränslena sågspån och RT-flis, vilket annars mest brukar attribueras grot och bark. Majoriteten av oönskade spårämnen härstammade tydligt ifrån RT-flisen, så som förväntat. Höga halterna av vissa av de oönskade spårämnena även i skogsbränslena medför dock att en minskad användning RT-flis inte nödvändigtvis hade givit en aska som uppfyllt skogsstyrelsens riktlinjer för återföring. Bark och grot hade som enskilda bränslen tillräckligt höga halter önskade näringsämnen och tillräckligt låga halter oönskade spårämnen för att kunna ge aska som kan uppfylla skogsstyrelsens riktvärden.
- Den största mängden av de oönskade spårämnena hamnade i flygaskan, men också den största mängden näringsämnen. Mängden av vissa oönskade spårämnen låg mycket högt i flygaskan, 135 respektive 21 kg per dygn för zink och bly, vilket kan jämföras med flödet av fosfor på 70 kg per dygn. Mängder önskade näringsämnen i bottenaska analyseras sällan, och bottenaskan innehöll stora mängder kalium, men även krom, kvicksilver och zink vilket ökar relevansen att även studera alternativa hanteringsätt för den askan.



## 8. Referenser

- Adler, P., Haglund, J. och Sjöblom, R. (2004) *Vägledning för klassificering av förbränningsrester enligt Avfallsförordningen*. Stockholm: Värmeforsk Service AB.
- Anderson, S., Eriksson, H. och Stendahl, J. (2014) *Slutrapport från arbetet med aktörsrådet kring askåterföring*. Jönköping: Skogsstyrelsen.
- Avfall Sverige (2017) Beslutsstöd för återvinning av slaggrus i specifika asfalttäckta anläggningskonstruktioner Rapport 2017:04. Malmö: Avfall Sverige.
- Bengtsson, O. (2018) Muntlig kontakt. Krafringen Energi AB.
- Bjurström, H., Ilskog, E. och Berg, M. (2003) *Askor från biobränslen och blandbränslen – mängder och kvalitet. ER 10:2003*. Eskilstuna: Statens Energimyndighet.
- Börjesson, P. (2016) *Potential för ökad tillförsel och avsättning av inhemsk biomassa i en växande svensk bioekonomi*. Lund: Lund University. Department of Technology and Society. Environmental and Energy Systems Studies.
- Burman, D. (2005) *Förbränning av returträbränsle (RT-flis) med svaveladditiv*. Umeå: Umeå Universitet. Energiteknik och Termisk processkemi (ETPC).
- Dyrke, J., Nilsson, M., Olsson, M. och Sjöbom, P. (1999) *Från pinne till panna - ekonomi kvalitet och miljöpåverkan vid hantering av trädbränsle*. Stockholm: Svenska Fjärrvärmeföreningens Service AB.
- Energimyndigheten (2017a) *Energiläget 2017*. Eskilstuna: Statens Energimyndighet.
- Energimyndigheten (2017b) *Produktion av oförädlade trädbränslen 2016*. Eskilstuna: Statens Energimyndighet.
- Energimyndigheten (2017c) *Värmevärden från Energimyndighetens datalager (DW)*. Eskilstuna: Statens Energimyndighet. Tillgänglig vid: <http://www.energimyndigheten.se/statistik/branslen/varmevarder-och-emissionsfaktorer1/> (Åtkomstdatum: 19 mars 2019).
- Energimyndigheten (2018) *Trädbränsle och torvpriser*. Eskilstuna: Statens Energimyndighet. Tillgänglig vid: <http://www.energimyndigheten.se/nyhetsarkiv/2018/tradbransle-och-torvpriser-for-tredje-kvartalet-2018/> (Åtkomstdatum: 19 mars 2019).
- Ericsson, K. och Nilsson, L. J. (2004) "International biofuel trade—A study of the Swedish import", *Biomass and Bioenergy*. Elsevier, 26(3), s. 205–220. doi: 10.1016/S0961-9534(03)00122-3.
- Europaparlamentets och rådets direktiv 2008/98/EG av den 19 november 2008 om avfall och om upphävande av vissa direktiv.
- Granström Colnerud, S. (2011) *Analys av fjärrvärmeföretagens intäcks- och kostnadsutveckling EI R2011:08*. Eskilstuna: Energimarknadsinspektionen.
- Gunnarsson, J. (2018) *Askan, avfallsförbrännarnas huvudvärk - Recycling, Recycling*. Tillgänglig vid: [https://www.recyclingnet.se/article/view/587254/askan\\_avfallsforbrannarnas\\_huvudvark](https://www.recyclingnet.se/article/view/587254/askan_avfallsforbrannarnas_huvudvark) (Åtkomstdatum: 07 mars 2019).
- Haaker, A. (2018) *Produktion av biodrivmedel i Norden kan fyrdubblas till 2025 | Bioenergitidningen, Bioenergi*. Tillgänglig vid: <https://bioenergitidningen.se/biodrivmedel-transport/produktion-av-biodrivmedel-i-norden-kan-fyrdubblas-till-2025> (Åtkomstdatum: 14 mars 2019).
- Johansson, I., Yngvesson, J., Jones, F., Lorentsson, H., von Kronhelm, T., Karlfeldt Fedje, K. och Lundblad, P. (2017) *Separatförbränning av utvalda avfallsfraktioner för ökat resursutnyttjande av aska*. Borås: SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut.
- Johansson, K. (2017) *Livscykelanalys av behandlingsprocesser för flygaska från avfallsförbränning - Jämförelse av Ash2Salt-processen med befintliga metoder*. Uppsala: Institutionen för energi och teknik.Fakulteten för naturresurser och jordbruksvetenskap. Sveriges lantbruksuniversitet.

- de Jong, J., Akselsson, C., Berglund, H., Egnell, G., Gerhardt, K., Lönnberg, L., Olsson, B. och von Stedingk, H. (2012) *Konsekvenser av ett ökat uttag av skogsbränsle. En syntes från Energimyndighetens bränsleprogram 2007-2011. ER 2012:08*. Eskilstuna: Statens Energimyndighet.
- de Jong, J., Akselsson, C., Egnell, G., Löfgren, S. och Olsson, B. (2018) Miljöpåverkan av skogsbränsleuttag - En syntes av forskningsläget baserat på Bränsleprogrammet hållbarhet 2011-2016. ER 2018:02. Eskilstuna: Statens Energimyndighet.
- Kraftringen AB (2018) *Örtoftaverket – närproducerad el och fjärrvärme | Kraftringen*. Tillgänglig vid: <https://www.kraftringen.se> (Åtkomstdatum: 12 mars 2019).
- Naturvårdsverket (2010) Förbränningsanläggningar Vägledning del 2 Avfallsförbränningsreglerna.
- Nilsson, E., Magnusson, G., Höök, I., Leander, C., Wohlin, C., Olsson, P.-A. och Nummelin, S. (2007) *Klassificering av farligt avfall - PM med beräkningsexempel*. Länsstyrelserna och Naturvårdsverket.
- Nordberg, M. (2013) Småskalig förbränning av returträflis En studie om möjligheterna för mindre fjärrvärmeverk i norra Sverige att förbränna returträflis (RT-flis). Umeå: Umeå Universitet. Institutionen för ekologi, miljö och geovetenskap.
- Öberg, A. (2013) *Askor från avfallsförbränning farligt avfall eller en framtida resurs*. Kalmar: Linneuniversitetet. Fakulteten för hälso- och livsvetenskap.
- Olsson, S., Kärrman, E., Rönnblom, T. och Erlandsson, Å. (2008) Skogsbränsleaska som näringsresurs eller konstruktionsmaterial Miljöeffekter av olika hanteringsalternativ. Stockholm: Värmeforsk Service AB.
- Ottosson, P. (2018) Muntlig kontakt. Kraftringen AB.
- Rodin, J., Jansson, M. och Berglund, M. (2015) *Effektiv transport av bioenergi för kraftvärmeproduktion. Rapport 2015:143*. Stockholm: Bränslebaserad el- och värmeproduktion. Energiforsk AB.
- Rydén, B., Sköldberg, H., Daniel, S., Thore, S., Göransson, A., Anders Sandoff, Jon Williamsson, Niklas Hansson, Gunnarsson, A. och Holmberg, U. (2013) *Slutrapport för fjärrsynprojektet: Fjärrvärmens affärsmodeller*. Fjärrsyn.
- SCB (2012) *Askor i Sverige 2012*. Svenska EnergiAskor.
- SDC (2011) *VIOL Koder v 7.9*. Sundsvall: Skogsbrukets Datacentral.
- SFS (1998:808) *Miljöbalk*.
- SFS (2013:251) Miljöprövningsförordning.
- SFS (2011:927) Avfallsförordning.
- SFS (2013:253) Förordning om förbränning av avfall.
- Sjöblom, R. (2001) Hypoteser och mekanismer för bildning av beläggningar innehållande zink och bly i samband med förbränning av returflis. Stockholm: Värmeforsk Service AB.
- Skogsstyrelsen (2008) Rekommendationer vid uttag av avverkningsrester och askåterföring. Jönköping: Skogsstyrelsens förlag.
- SS-EN 450-1:2012 "Svensk standard - Flygaska för betong - Del 1: Definition, specifikationer och kriterier för överensstämmelse". Swedish Standards institute.
- Steenari, B. och Zhao, D. (2010) *Vattentvätt av flygaska från avfallsförbränning*. Borås: Waste Refinery, SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut.
- Strömberg, B. och Svärd, S. H. (2012) *Värmeforsks Bränslehandbok*. Stockholm: Värmeforsk Service AB.
- Sundqvist, J., Erlandsson, M., Solyom, P., Högberg, B. och Göran Bergman (2009) *Impregnerat trä i kretsloppet - rekommendationer för restprodukthantering*. Stockholm: IVL Svenska Miljöinstitutet AB.

# Bilaga 1 – Provtagning

## B1.1 Bränsleplanen

Proven togs primärt i dygnslagret under lastandet av en recepthög för att säkerställa att proven togs på just det bränslet som kom att användas i processen. I Figur B1 visas bränsleplanen vid den tredje provtagningsdagen. Bakom transportbandet och den grå byggnaden (sällhuset) ses dygnslagret med färdigblandat bränsle. De övriga högarna innehåller oblandade bränslen. Närmast i bild lagras bark, där bakom lagras sågspån. Längs högra långsidan lagras RT-flis och grot. Torvhögen syns inte i bild.



Figur B1. Bränsleplanen på Örtofta kraftvärmeverk under den tredje provtagningsdagen.

Vid lastandet i dygnslagret hämtar hjullastaren de antal skopor av varje bränsle som motsvarar det nuvarande receptet (Figur B2). Vid provtillfället användes följande recept (Tabell B1)

Tabell B1 Recept under provtagningsveckan: andel av energiinnehåll, viktandelen och motsvarande mängd lastade skopor för varje enskilt bränsle.

Bränsle	Energiinnehåll (%)	Viktandel (%)	Motsv. antal skopor
Returträ	54	39	7
Grot	9	10	1
Sågspån	8	16	2
Bark	22	25	2
Torv	7	10	1

Receptet betyder alltså att hjullastaren kontinuerligt hämtade bränsle och lade i en hög i följande ordning: 1 skopa Returträ, 1 skopa Grot, 1 skopa Returträ, 1 skopa Bark, 1 skopa Returträ, 1 skopa Sågspån, 1 skopa Returträ, 1 skopa Torv, 1 skopa Returträ, 1 skopa Bark, 1 skopa Returträ, 1 skopa Sågspån och till sist 1 skopa Returträ. Totalt 13 skopor.



Figur B2. Hjullastaren lastar en recepthög med de olika bränslena som den hämtat ifrån bränslehögarna. I denna bild tippas en skopa RT-flis ut. Den tidigare skopan med grot kan skymtas under.

Efter att en recepthög är färdiglastad plogas den upp på dygnslagret där bränslet matas in kontinuerligt på ett transportband placerat under lagringshögen med hjälp av roterande skruvar. Mängden bränsle som transporteras på bandet och in i bränslesilon är ca 770 kg/min.

### B1.1.1 Observationer av bränslet

Eftersom att bibränslet som köps in varierar i kvalitet och innehåll, även inom de rena bränslena, så kommer de momentana bränsleegenskaperna påverka kvaliteten på askan. För att kunna bättre kunna förklara provresultaten, så gjordes okulära observationer kontinuerligt under provtagningen av de olika bränslena. Observationerna gjordes tillsammans med den ansvariga för bränsleplanen, som även normalt gör dem dagligen för att beräkna värmevärde etc.

### B1.1.2 Insamling av delprov

5 st. 20 liters-hinkar användes för att samla in varje delprov, en hink för varje bränsle. Varje delprov togs från en recepthög under tiden som hjullastaren hämtade och lastade de ingående skoporna enligt det gällande receptet. Det insamlade bränslet lades i en hink dedikerad för respektive bränsletyp. Det innebar att efter att en skopa med ett specifikt bränsle tippats av togs motsvarande hink med fram till högen, en mängd bränsle samlades in, och sedan inväntades nästa skopa.

Eftersom hjullastaren hämtade olika många skopor av varje bränsle för att uppfylla en recepthög, så fick delmängder tas ifrån varje skopa för att få upp så mycket variationer i bränslekvalitet som möjligt. Det innebar att t.ex. att provhinken med RT-flis fylldes genom att ta prov från sju olika skopor (vilket motsvarande ca 2 nävar per skopa) medan en provhink med torv fylldes ifrån en skopa.

Proven togs noggrant för att inte råka få med innehåll från den tidigare skopan. För att fånga upp så stor variation som möjligt i bränsleinnehållet samlades bränslet in genom att ta varje näve på olika ställen i skopan där det bedömdes att bränslet var av blandat innehåll. Detta gjordes främst i lassen RT-flis, bark och i sågspånet då det fanns frånsåll eftersom dessa bränslen kan variera i innehåll från ett ställe i skopan till en annan (d.v.s. heterogena bränslen), vilket kan ses i Figur B3.



Figur B3. Provtagning av sågspån (den mörka delen är frånsåll).



Proceduren upprepades vid 3 olika tillfällen per dag, dvs i slutet av dagen fanns 3 hinkar per bränsletyp (totalt  $3 \cdot 5 = 15$  fyllda hinkar), alla fyllda från varsin recepthö (Figur B4).



Figur B4. Ett färdiginsamlat delprov.

### B1.1.3 Blandning av dagsprov

De 3 hinkarna av samma bränsle tömdes ut i tur och ordning och blandades noggrant på en städad och vindskyddad asfaltsyta (Figur B5). Ifrån den omblandade rena bränsletypen fylldes sedan två nya 20 l-hinkar, en märkt A och en märkt B. Det överblivna bränslen slängdes. I slutet av var dag fanns alltså två samlingsprover per bränsle, varav det ena (A) senare skickades till analys. Proceduren upprepades under 5 på varandra följande dagar (se provtagningsschemat).



Figur B5. Blandning av dagsprov gjordes på den asfalterade bränsleplanen. Platsen städades mellan varje prov.

Ett provtagningsprokoll fylldes även i kontinuerligt med tidpunkt, provtagare och en okulär bedömning av innehåll och kvalitet (t.ex. från vilket träd barken kom, eller om groten var grön eller varit pappad). Även övriga anmärkningar fylldes i.

## B1.2 Bränslesilon

Det blandade bränslet togs prov på i botten av bränslesilon innan det matas in i pannan. Efter sållhuset tillsätts svavel, vilket inte fångas upp av provtagningen på bränslegården. Det är innehållet i denna blandning som bäst kan relateras till innehållet i de resulterande askorna.

Vid denna punkt är blandningen så homogen som den kommer bli innan den förbränns. Det finns en provtagningsanordning installerad i utmatningen under silon som användes även vid denna provtagningsserie.

Anordningen består utav ett ihåligt metallrör som förs in i bränsleutmatningen från silon, med en utskuren öppning som bränslet faller ner i och röret fylls. När röret är fullt dras det ut igen och bränslet tippas ner i ett provkärl (Figur B6). För att fylla ett provtagningskärl på 20 liter, behövdes det ungefär tre fulla rör. Kärlen fylldes genom provtagning vid tre olika tidpunkter på dagen. Vid varje tillfälle fylldes hink A och hink B med varsitt fyllt rör och så kort tid efter varann som möjligt.



Figur B6. Ett fyllt provtagningsrör dras ut från bränsleutmatningen från silon. Bränsleutmatningen ses i bakgrunden där blandat bränsle kontinuerligt förs från botten av silon till pannan för förbränning.

## B1.3 Provtagning tillsatser

Sandprovet togs ur manluckan på den lastbil som levererade sand för den aktuella veckan. Sorbocalprovet togs även det ur den lastbil som levererade sorbocal under den aktuella veckan. Svavelprovet togs från silosäcken ute på bränslegården, som kontinuerligt tillsätter svavelgranulat på bränslebandet.

## B1.4 Askor

### B1.4.1 Bottenaska

Proven med bottenaska tappades ut från en ventil som sitter i askutmatningssystemet från förbränningskammaren, och som installerats för just det syftet. Bottenaskan är av den anledningen väldigt varm vid tappningen och proven fick lämnas i ett rostfritt kärl för nedkylning innan de kunde hällas i plasthinkar (Figur B7).



Figur B7. Uttapning av bottenaska ner i ett metallkärl för avkylning.

### B1.4.2 Flygaska

Anordningen för provtagningen av flygaska är lokaliserad under strumpfiltrena. Den liknar den för provtagning i bränslesilon, där ett ihåligt metallrör fylls upp med flygaska som sedan dras ut och tippas. För flygaskan är röret mycket mindre och fylls också långsammare. Det tog ca en halvtimme att fylla röret, och ca 10 tippningar för att fylla en 5.8 liters hink så det blev många delprover och en bra spridning. Detta medförde att det inte fanns praktiska möjligheter att fylla ett A- och ett B-prov, utan endast en uppsättning med A-prover togs.

## Bilaga 2 - Observationer under provtagningen

De kontinuerliga observationerna av bränslekvaliteten under provtagningen redovisas utförligt i detta kapitel eftersom de kan vara av relevans vid en eventuell vidare fördjupning i analysresultaten.

### B2.1 Bark

Under provtagningsveckan bedömde den ansvariga personalen för bränslegården att den lastade barken främst kom från gran och björk. Även en del lärkträd kunde ses, vars bark kan få en karaktäristisk röd ton. Barken hade en skiftande fukthalt, vilket främst torde ha berott på att bark ifrån björk var torrare än från gran. Granbarken var därför synbart mörkare i färgen än björkbarken (se Figur B8).

Pressad bark är torrare, och i provtagningen så togs mest ifrån den torra leverantören.

Första provet innehöll endast delprov med björkbark. Resterande prov innehöll en blandning mellan björk och gran (och lärk) i olika fraktioner.



Figur B8. Barkhögen på bränsleplanen under provtagningsdag 1. Kvaliteten är blandad, men främst björk- och lärkbark kan urskiljas, varför högen också är torr och ljus relativt till om den innehållit granbark.

## B2.2 Grot

I skopan så såg det homogent ut, men eftersom det låg andra kvaliteter grot på gården (Figur B9), så kan det hända att nästa skopa innehöll något helt annat. Groten är den bränsletyp som är mest ojämn. Två av delproven den första dagen bestod av gröngrot (Figur B10), det resterande av brunngrot (Figur B11). Nästa prov innehöll endast brunngrot, och resterande tre prov innehöll i princip bara stamvedsgrot (Figur 12).

Eftersom det var mycket ved på grund av det den höga inblandningen av stamvedsgrot, så blev det mindre aska vid förbränning. Det märks ej att det är mindre än i gröngrot även om det bara var en 1/13 av skoporna. Eftersom det körs mer bark procentmässigt, så slår avsaknaden av bark i groten inte hårt gällande koncentrationen av "barkelementärämnen", t.ex. tungmetaller, kalium/kalcium etc. Inga krossade rötter fanns med i groten som lastades under provtagningsveckan.

En trolig anledning till den höga leveransmängden stamvedsgrot är arbetet med breddning av E22an, där alla träd på sidorna flisades hela och skickas för förbränning. Det gör att den kan innehålla salter (proverna tagna vid vinterväglag).



Figur B9. Olika kvaliteter av grot: syns på färgskillnaden i högen. Gröngrot längst bort.



Figur B10. Gröngrot.



Figur B11. Brungrot.



Figur B12. Stamvedsgrot.

## B2.3 RT-flis

Hjullastaren blandade gammal och ny RT-flis i varannan skopa. Den gamla RT-flisen hade legat ca sedan i juni (månad för provtagning feb/mars). Eftersom det var en regnig sommar och höst, så har det antagligen sugit åt sig mer fukt än nykrossad RT-flis, vilket även har gett ett lägre värmevärde eftersom fukten gynnar nedbrytning av träet.

RT-flisen varierade väldigt i innehåll efter vad man kunde observera okulärt, men detta åtgärdades genom att ta så många delprover som möjligt i skoporna (minst 2 nävar per skopa á 7 skopor). I Figur B13 ses ett delprov av RT-flis bestående av många olika flisstorlekar och färgnyanser, som indikerar olika trätyper och avfallskällor.

I det tredje provet observerades mer färg än normalt i ett delprov, även om färg troligen var närvarande i varje prov. I ett delprov i femte provet observerades en bit tryckimpregnerat trä. Resterande delprov i det femte provet innehöll stora bitar, vilket gör att mindre massa fick plats i provkärnen.



Figur B13. Ett delprov med RT-flis.

## B2.4 Sågspån

Alla proven hade delprov som innehöll någon mängd frånsåll men i olika fraktioner (se Bilaga 1 för mer detaljerade observationer). Mer frånsåll observerades i delproven för det tredje provet. Sågspånet kommer från sågverk, men frånsållet kom bara ifrån massabruk (för små fraktioner för att bli papper) under provtagningen. Det frånsållet är från avbarkade stammar som flisats upp.

## B2.5 Torv

Torven innehöll lite gamla rötter och stubbar vilket kan ses i Figur B14. Mestadels togs delprov av torr torv med låg fukthalt, även om de två första proverna innehöll mer fuktig torv, vilket kunde ses på en mörkare nyans i högen. Torven som ses i Figur B14 var av det torrare slaget med en ljusare färg.



Figur B14. Ett delprov med torv.



## B2.6 Silo

Provtagningen på bränlemixen gjordes precis innan det går in i pannan. Efter sållhuset tillsätts svavel, vilket inte fångas upp av provtagningen på bränlegården.

I det blandade bränslat kan alla olika bränsltyper skönjas, även en bit metallfolie observerades i första dagens prov som antagligen kommit med RT-flisen (Figur B15).



Figur B15. Ett nästan fyllt 20-liters provtagningskärl från bränlesilo.

## B2.7 Askor

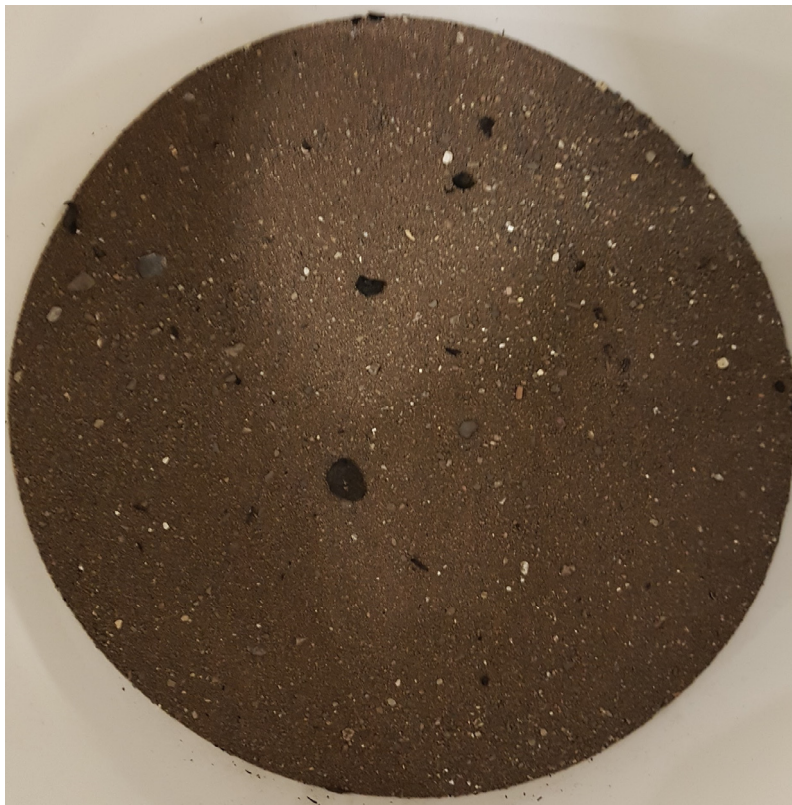
### B2.7.1 Flygaska

Flygaskan hade en mycket fin kornstorlek och dammade lätt. Inga andra observationer gjorda.

### B2.7.2 Bottenaska

Bottenaskan var mest sand med ett lager aska på. Det kom även med klumpar av agglomererad sand och aska, som enkelt kan ses i proven. Man ser även småsten och grus, detta kommer från bark/städbark och en del från RT-flis (Figur B16).

I vissa prov följde stora metallbitar med ut, men dessa avlägsnades innan provet förseglades. Halterna av vissa metaller skulle ha skjutit i höjden och gett icke-representativa resultat. Det var rimligt att anta att dessa ändå skulle vara enkla att sila bort om de inte skulle vara önskade, oavsett slutanvändning för bottenaskan.



Figur B16. Ett delprov bottenaska (ej fyllt).



# Bilaga 3 – Analyismetoder

## B3.1 Genomförda analyser och använda metoder

Genomförda analyser för bränslen, askor och tillsatser redovisas i Tabell B2 (Eurofins, 2018; SIS, 2019). Metoderna för metallanalys är sorterade efter detektionsgräns, och för somliga metaller redovisas två metoder med olika detektionsgräns. Halten i bränslet eller askan avgjorde vilken metod som användes.

Tabell B2 Utförda analyser med metodreferens och detektionsgräns.

Analyskategori/ämne	Detektionsgräns	Referens analysmetod
<b>Bränsleanalyser</b>		
Fukthalt	0,1%	SS-EN 14774:2009 Del 1-3 SS-EN 15414:2011 Del 1-3 (återvunna bränslen)
Askhalt	0,1% TS	SS-EN 14775:2009 SS-EN 15403:2011 (återvunna bränslen)
C	0,1% TS	SIS-CEN/TS 15104:2006 SS-EN 15407:2011 (återvunna bränslen)
Cl	0,01% TS	SS-EN 15289:2011 SS-EN 15408:2011 (återvunna bränslen)
S	0,01% TS	SS-EN 15289:2011 SS-EN 15408:2011 (återvunna bränslen) SS 187177:2017 (torv)
O	0,1%	SS-EN 14918:2010 SS-EN 15400: 2011 (återvunna bränslen)
H	0,1%	SIS-CEN/TS 15104:2006 SS-EN 15407:2011 (återvunna bränslen)
N	0,1%	SIS-CEN/TS 15104:2006 SS-EN 15407:2011 (återvunna bränslen)
Kalorimetriskt värmevärde torrt prov & leveranstillstånd		SS-EN 14918:2010 SS-EN 15400: 2011 (återvunna bränslen) SS-ISO 1928:1996
Effektivt värmevärde, konstant volym torrt prov & leveranstillstånd		SS-EN 14918:2010 SS-EN 15400: 2011 (återvunna bränslen) SS-ISO 1928:1996
Effektivt värmevärde, konstant tryck torrt prov & leveranstillstånd		SS-EN 14918:2010 SS-EN 15400: 2011 (återvunna bränslen) SS-ISO 1928:1996
Effektivt värmevärde, konstant tryck torrt prov askfritt		SS-EN 14918:2010 SS-EN 15400: 2011 (återvunna bränslen) SS-ISO 1928:1996
Effektivt värmevärde, konstant volym torrt prov askfritt		SS-EN 14918:2010 SS-EN 15400: 2011 (återvunna bränslen) SS-ISO 1928:1996

Tabell B2 fortsättning

<b>Metallanalyser bränslen</b>		
Si	250mg/kg TS	EN 14385 / ICP-AES
K	100mg/kg TS	SS-EN 13656 mod. / ICP-AES
Al, B, Mg, Ma, P	50mg/kg TS	SS-EN 13656 mod. / ICP-AES
Ca, Ni, Pb, Cr, Co, V, Mo	20mg/kg TS	SS-EN 13656 mod. / ICP-AES
Ti	10mg/kg TS	SS-EN 13656 mod. / ICP-AES
B, Al	5mg/kg TS	SS-EN 13656 mod. / ICP-MS
Ba, Cu, Fe, Zn, Mn	5mg/kg TS	SS-EN 13656 mod. / ICP-AES
Fe	1mg/kg TS	SS-EN 13656 mod. / ICP-MS
Zn	0,5mg/kg TS	SS-EN 13656 mod. / ICP-MS
Ba, Sb	0,2mg/kg TS	SS-EN 13656 mod. / ICP-MS
As, Cu, Cr, Mn, Mo, Ni, Se, Sn, V, Be	0,05mg/kg TS	SS-EN 13656 mod. / ICP-MS
Co, Pb	0,02mg/kg TS	SS-EN 13656 mod. / ICP-MS
		SS-EN 16277:2012, SS-EN ISO 17852:2008
Hg	0,02mg/kg TS	/CV-AFS
Cd	0,01mg/kg TS	SS-EN 13656 mod. / ICP-MS
<b>Metallanalyser askor</b>		
Si	250 mg/kg TS	EN 14385 / ICP-AES
Na	500 mg/kg TS	SS-EN 13656 mod. / ICP-AES
K	250 mg/kg TS	SS-EN 13656 mod. / ICP-AES
P	200 mg/kg TS	SS-EN 13656 mod. / ICP-AES
Al, Ca, Fe, Mg	100 mg/kg TS	SS-EN 13656 mod. / ICP-AES
Ba, Zn	50 mg/kg TS	SS-EN 13656 mod. / ICP-AES
B	25 mg/kg TS	SS-EN ISO 11885:2009 / ICP-AES
Zn	25 mg/kg TS	SS-EN 13656 mod. / ICP-MS
Cu, Mo, Ti	20 mg/kg TS	SS-EN 13656 mod. / ICP-AES
Mn	5 mg/kg TS	SS-EN 13656 mod. / ICP-AES
Sb, As, Be, Co, Cu, Cr, Ni, V, Sn, Mn	2,5 mg/kg TS	SS-EN 13656 mod. / ICP-MS
Pb	1 mg/kg TS	SS-EN 13656 mod. / ICP-MS
Cd	0,5 mg/kg TS	SS-EN 13656 mod. / ICP-MS
		SS-EN 16277:2012, SS-EN ISO 17852:2008
Hg	0,05 mg/kg TS	/CV-AFS

## B3.2 Referenser

Eurofins (2018) Eurofins analyskatalog <https://analyiskatalog.eurofins.se> [18-11-22], Eurofins, Linköping

SIS (2019) Standardkatalogen. <https://enav.sis.se> [2019-01-17] Swedish Standards Insitutue (SIS), Stockholm.

## Bilaga 4 – Medelvärden i askorna

Tabell B3 Sammanställning över medelvärdena av provsvaren för flyg- och bottenaska, respektive riktvärde från Skogsstyrelsen. Rött mätvärde=uppfyller inte riktvärdena. Grönt mätvärde=uppfyller riktvärdena.

Elementärämne	Mätenhet	Riktvärden	Flygaska	Bottenaska
Fosfor P	g/kg Ts	7	7	4
Kalcium Ca	g/kg Ts	125	252	70
Kalium K	g/kg Ts	30	31	33
Magnesium Mg	g/kg Ts	15	22	11
Arsenik As	mg/kg Ts	30	748	168
Bly Pb	mg/kg Ts	300	2032	822
Koppar Cu	mg/kg Ts	400	980	922
Krom Cr	mg/kg Ts	200	514	450
Nickel Ni	mg/kg Ts	70	83	48
Vanadin V	mg/kg Ts	70	43	26
Zink Zn	mg/kg Ts	500-7000	13180	15000
Bor B	mg/kg Ts	800	376	56
Kvicksilver Hg	mg/kg Ts	3	3	0,05
Kadmium Cd	mg/kg Ts	30	31	2



## Bilaga 5 – Provsvar rådata

Rådata för analyser av bränslen (Tabell B4-B6) samt för askor och tillsatser (Tabell B7). Dubbla rader för vissa metaller avser analys med olika detektionsgräns (vilket innebär olika analysmetod, se Tabell B2). Symbolen ”mindre än” (<) före ett värde anger att analysen givit ett resultat som ligger under detektionsgränsen.

Metallhalterna för bränsle anges här per TS bränsle till skillnad från i rapportens huvuddel där de är omräknade och anges per TS aska.

Tabell B4 Rådata analyser bränsle; Grot och RT-flis.

		GROT BränsleG0226A	GROT BränsleG0227A	GROT BränsleG0228A	GROT BränsleG0301A	GROT BränsleG0302A	RT-Flis Bränsle R0226A	RT-Flis Bränsle R0227A	RT-Flis Bränsle R0228A	RT-Flis Bränsle R0301A	RT-Flis Bränsle R0302A
Fukthalt	%	56	48	43,6	42,3	43,2	31,6	25,6	22,3	21,5	26,3
Askhalt inkl. askbildare	% TS	2,7	1,8	1,3	1	0,8	2	1,8	1,7	1,6	2,6
Svavel S	% TS	0,05	0,057	0,032	0,054	0,024	0,054	0,069	0,046	0,068	0,135
Klor Cl	% TS	0,051	0,038	0,025	0,019	0,013	0,259	0,077	0,077	0,077	0,055
Kol C	% TS	52,1	51,9	50,4	50,5	50,8	49,8	50	49,9	49,9	49,6
Väte H	% TS	5,6	5,8	5,8	5,8	5,9	6,1	5,9	6	6	5,8
Kväve N	% TS	0,72	0,55	0,26	0,23	0,33	1,11	0,94	1,27	1,34	1,49
Syre O (beräknat)	% TS	38,8	39,9	42,3	42,4	42,1	40,7	41,2	41	41	40,3
<b>Värmevärde</b>											
Kalorimetriskt värmevärde leveranstillstånd	MJ/kg	9,27	10,76	11,23	11,50	11,46	13,59	14,90	15,55	15,60	14,48
Kalorimetriskt värmevärde torrt prov	MJ/kg	21,06	20,69	19,93	19,93	20,18	19,85	20,04	20,01	19,87	19,66
Effektivt värmevärde leveranstillstånd konstant volym	MJ/kg	7,48	9,03	9,56	9,84	9,78	12,00	13,41	14,08	14,14	12,99



Tabell B4 fortsättning

		GROT BränsleG0226A	GROT BränsleG0227A	GROT BränsleG0228A	GROT BränsleG0301A	GROT BränsleG0302A	RT-Flis Bränsle R0226A	RT-Flis Bränsle R0227A	RT-Flis Bränsle R0228A	RT-Flis Bränsle R0301A	RT-Flis Bränsle R0302A
Effektivt värmevärde torrt prov konstant volym	MJ/kg	19,92	19,49	18,74	18,74	18,96	18,60	18,82	18,78	18,64	18,46
Effektivt värmevärde leveranstillstånd konstant tryck	MJ/kg	7,37	8,93	9,46	9,74	9,68	11,91	13,32	13,99	14,06	12,90
Effektivt värmevärde torrt prov konstant tryck	MJ/kg	19,85	19,42	18,67	18,67	18,89	18,53	18,75	18,70	18,57	18,39
Effektivt värmevärde torrt prov askfritt konstant tryck	MJ/kg	20,41	19,77	18,90	18,87	19,03	18,91	19,10	19,02	18,88	18,88
<b><u>Metallanalyser</u></b>											
Aluminium Al	mg/kg TS	82		31	36	20	330				
Aluminium Al	mg/kg TS		100					360	230	260	230
Antimon Sb	mg/kg TS	< 0,22	< 0,22	< 0,22	< 0,22	< 0,22	< 0,21	1,3	< 0,22	0,5	< 0,22
Arsenik As	mg/kg TS	0,16	< 0,054	< 0,054	0,21	0,065	30	23	23	18	20
Barium Ba	mg/kg TS			34	31				120	180	120
Barium Ba	mg/kg TS	48	32			16	77	120			
Beryllium Be	mg/kg TS	< 0,055	< 0,054	< 0,054	< 0,054	< 0,054	< 0,053	< 0,053	< 0,053	< 0,053	< 0,053
Bly Pb	mg/kg TS							43		200	36
Bly Pb	mg/kg TS	0,7	0,79	0,6	0,29	0,42	29		13		
Bor B	mg/kg TS	9,9	9,1	6,6	6,4	< 5,4	8,2	7	14	10	10
Fosfor P	mg/kg TS	640	440	270	230	330	88	87	78	110	91
Järn Fe	mg/kg TS		100	26	2000		640	530	280	340	390
Järn Fe	mg/kg TS	85				17					
Kadmium Cd	mg/kg TS	0,24	0,17	0,1	0,082	0,14	0,42	0,36	0,25	0,69	0,33

Tabell B4 fortsättning

		GROT BränsleG0226A	GROT BränsleG0227A	GROT BränsleG0228A	GROT BränsleG0301A	GROT BränsleG0302A	RT-Flis Bränsle R0226A	RT-Flis Bränsle R0227A	RT-Flis Bränsle R0228A	RT-Flis Bränsle R0301A	RT-Flis Bränsle R0302A
Kalcium Ca	mg/kg TS	6400	3500	3700	2300	1800	3100	2700	2700	3300	3500
Kalium K	mg/kg TS	2300	1800	1500	1300	1200	590	560	550	590	580
Kobolt Co	mg/kg TS	0,68	0,16	0,073	0,33	0,13	1,3	1,2	1,3	16	0,91
Koppar Cu	mg/kg TS	4	2,7	1,9	2,9	1,9	72	54	48		
Koppar Cu	mg/kg TS									33	51
Krom Cr	mg/kg TS									37	30
Krom Cr	mg/kg TS	1,9	1,3	1,3	2,2	0,45	38	46	42		
Kvicksilver Hg	mg/kg TS	< 0,022	< 0,022	< 0,022	< 0,022	< 0,022	0,066	0,033	0,028	0,04	0,05
Magnesium Mg	mg/kg TS	710	550	370	340	400	470	370	360	320	410
Mangan Mn	mg/kg TS	510	430	210	200	120				110	110
Mangan Mn	mg/kg TS						82	88	83		
Molybden Mo	mg/kg TS	0,12	0,062	< 0,054	0,15	< 0,054	0,13	0,1	0,073	0,24	0,092
Natrium Na	mg/kg TS	170	110	< 54	< 54	64	450	470	430	450	620
Nickel Ni	mg/kg TS	1,5	1	0,85	1,7	0,48	2,7	2	1,5	4,7	1,5
Tenn Sn	mg/kg TS	0,066	< 0,054	< 0,054	0,15	< 0,054	0,6	1,8	1,8	0,97	0,7
Titan Ti	mg/kg TS	< 11	< 11	< 11	< 11	< 11	33	25	26	30	30
Vanadin V	mg/kg TS	0,21	0,24	< 0,054	0,063	< 0,054	1	0,88	1,9	0,73	0,59
Zink Zn	mg/kg TS					41			220	210	270
Zink Zn	mg/kg TS	57	45	19	15		290	290			
Kisel Si	mg/kg TS	3600	1800	< 540	< 540	< 540	3800	2300	2300	1700	2300
Summa bortplockade askbildare	% TS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,7

Tabell B5 Rådata analyser bränsle; bark och sågspån.

		Bark BränsleB0226A	Bark BränsleB0227A	Bark BränsleB0228A	Bark BränsleB0301A	Bark BränsleB0302A	Sågspån BränsleS0226A	Sågspån BränsleS0227A	Sågspån BränsleS0228A	Sågspån BränsleS0301A	Sågspån BränsleS0302A
Fukthalt	%	49,5	57,5	53,6	55,4	55,2	59,5	60,3	58,7	59,9	61,2
Askhalt inkl. askbildare	% TS	2,1	2,5	4,1	2,7	2,9	0,4	0,3	0,4	0,4	0,4
Svavel S	% TS	0,032	0,035	0,068	0,046	0,04	0,035	0,011	0,011	0,037	0,013
Klor Cl	% TS	0,019	0,025	0,016	0,082	0,02	0,01	0,018	0,01	<0,011	<0,011
Kol C	% TS	53,2	53,4	52,6	53,7	53	51,1	51,4	51	50,7	51,5
Väte H	% TS	6,1	5,9	5,8	5,3	6	6,2	6,2	6,3	6,3	6,2
Kväve N	% TS	0,43	0,55	0,56	0,57	0,47	<0,11	<0,11	<0,11	<0,11	<0,11
Syre O (beräknat)	% TS	38,1	37,7	36,8	37,6	37,6	42,1	42	42,2	42,5	41,8
<b><u>Värmevärde</u></b>											
Kalorimetriskt värmevärde leveranstillstånd	MJ/kg	10,88	9,09	9,93	9,66	9,62	8,24	8,08	8,38	8,03	7,93
Kalorimetriskt värmevärde torrt prov	MJ/kg	21,53	21,37	21,38	21,65	21,46	20,34	20,33	20,29	20,02	20,47
Effektivt värmevärde leveranstillstånd konstant volym	MJ/kg	9,10	7,25	8,14	7,90	7,79	6,35	6,18	6,50	6,13	6,03
Effektivt värmevärde torrt prov konstant volym	MJ/kg	20,27	20,16	20,18	20,57	20,22	19,06	19,05	19,00	18,72	19,20

Tabell B5 fortsättning

		Bark BränsleB0226A	Bark BränsleB0227A	Bark BränsleB0228A	Bark BränsleB0301A	Bark BränsleB0302A	Sågspån BränsleS0226A	Sågspån BränsleS0227A	Sågspån BränsleS0228A	Sågspån BränsleS0301A	Sågspån BränsleS0302A
Effektivt värmevärde leveranstillstånd											
konstant tryck	MJ/kg	9,00	7,14	8,03	7,7	7,68	6,24	6,07	6,38	6,02	5,92
Effektivt värmevärde torrt prov											
konstant tryck	MJ/kg	20,20	20,10	20,11	20,50	20,15	18,99	18,98	18,92	18,65	19,13
Effektivt värmevärde torrt prov askfritt											
konstant tryck	MJ/kg	20,63	20,60	20,98	21,07	20,75	19,07	19,04	19,00	18,72	19,22
<b><u>Metallanalyser</u></b>											
Aluminium Al	mg/kg TS	63					30	18	14	15	27
Aluminium Al	mg/kg TS		140	84	110	100					
Antimon Sb	mg/kg TS	< 0,22	< 0,44	< 0,22	< 0,23	< 0,44	< 0,42	< 0,43	< 0,42	< 0,42	< 0,43
Arsenik As	mg/kg TS	0,11	< 0,11	< 0,055	0,13	< 0,11	< 0,11	< 0,11	< 0,11	< 0,11	< 0,11
Barium Ba	mg/kg TS		140		140	99	18	15	17	15	18
Barium Ba	mg/kg TS	85		68							
Beryllium Be	mg/kg TS	< 0,053	< 0,11	< 0,055	< 0,057	< 0,11	< 0,11	< 0,11	< 0,11	< 0,11	< 0,11
Bly Pb	mg/kg TS	0,83	0,94	0,48	1,2	0,74	0,36	0,4	0,41	1	0,36
Bor B	mg/kg TS	14	15	18	14	15	< 11	< 11	< 11	< 11	< 11
Fosfor P	mg/kg TS	400	510	480	520	470	100	97	100	96	93

Tabell B5 fortsättning

		Bark BränsleB0226A	Bark BränsleB0227A	Bark BränsleB0228A	Bark BränsleB0301A	Bark BränsleB0302A	Sågspån BränsleS0226A	Sågspån BränsleS0227A	Sågspån BränsleS0228A	Sågspån BränsleS0301A	Sågspån BränsleS0302A
Järn Fe	mg/kg TS		250	110	190	200	48	36	22	25	57
Järn Fe	mg/kg TS	100									
Kadmium Cd	mg/kg TS	0,31	0,45	0,61	0,39	0,42	0,11	0,11	0,12	0,11	0,12
Kalcium Ca	mg/kg TS	7400	9700	11000	10000	11000	1300	1200	1300	1100	1400
Kalium K	mg/kg TS	1600	1900	3300	1800	2300	580	560	600	550	610
Kobolt Co	mg/kg TS	0,37	0,49	0,43	0,42	0,39	0,072	0,065	0,058	0,057	0,072
Koppar Cu	mg/kg TS	3	3,5	2,7	3,1	3	1,1	1,1	1,5	1,4	1,1
Krom Cr	mg/kg TS	0,64	7,4	1,2	0,89	1,2	0,56	0,53	0,37	0,28	0,44
Kvicksilver Hg	mg/kg TS	< 0,022	< 0,022	< 0,022	< 0,023	< 0,022	< 0,021	< 0,022	< 0,021	< 0,021	< 0,022
Magnesium Mg	mg/kg TS	650	810	1100	780	940	210	190	200	190	210
Mangan Mn	mg/kg TS	400	600	230	630	390	140	150	150	150	140
Molybden Mo	mg/kg TS	< 0,053	0,15	0,076	0,073	< 0,11	< 0,11	< 0,11	< 0,11	< 0,11	< 0,11
Natrium Na	mg/kg TS	86	110	82	110	90	< 53	< 53	< 53	< 52	< 53
Nickel Ni	mg/kg TS	0,51	3,7	0,71	0,78	0,77	0,25	0,3	0,25	0,2	0,35
Tenn Sn	mg/kg TS	< 0,053	< 0,11	< 0,055	< 0,057	< 0,11	< 0,11	< 0,11	< 0,11	< 0,11	< 0,11
Titan Ti	mg/kg TS	< 11	< 11	< 11	< 12	< 11	< 11	< 11	< 11	< 11	< 11
Vanadin V	mg/kg TS	0,19	0,35	0,19	0,24	0,27	< 0,11	< 0,11	< 0,11	< 0,11	< 0,11
Zink Zn	mg/kg TS	170	190		190	160	23	21	21	21	22
Zink Zn	mg/kg TS			130							

Tabell B5 fortsättning

		Bark BränsleB0226A	Bark BränsleB0227A	Bark BränsleB0228A	Bark BränsleB0301A	Bark BränsleB0302A	Sågspån BränsleS0226A	Sågspån BränsleS0227A	Sågspån BränsleS0228A	Sågspån BränsleS0301A	Sågspån BränsleS0302A
Kisel Si	mg/kg TS	1200	1700	1100	1500	1600	< 530	< 530	< 530	< 520	< 530
Summa askbildare	bortplockade % TS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabell B6 Rådata analyser bränsle; torv och blandat trädbränsle från bränslesilon.

		Torv BränsleT0226A	Torv BränsleT0227A	Torv BränsleT0228A	Torv BränsleT0301A	Torv BränsleT0302A	Bränslesilon Silo0227A	Bränslesilon Silo0228A	Bränslesilon Silo0301A	Bränslesilon Silo0302A	Bränslesilon Silo0303A
Fukthalt	%	51,7	48	49,3	41,6	46	46,5	43,5	45,4	42,9	43,3
Askhalt inkl. askbildare	% TS	3,3	4	3	2,7	2,8	3,3	2,7	2,8	2,5	2,7
Svavel S	% TS	0,305	0,216	0,214	0,208	0,195	0,274	0,173	0,148	0,218	0,19
Klor Cl	% TS	0,049	0,048	0,052	0,057	0,055	0,042	0,049	0,067	0,04	0,062
Kol C	% TS	56,6	56,4	55,9	55,9	55,5	51,4	51,2	51,3	51,3	51
Väte H	% TS	5,4	5,1	5,4	5,1	5,5	5,7	5,9	5,8	6	5,9
Kväve N	% TS	1,23	1,27	1,22	1,2	1,21	1,11	0,88	0,83	0,81	0,99
Syre O (beräknat)	% TS	33,2	33	34,2	34,9	34,7	38,2	39,1	39,1	39,2	39,2
<b>Värmevärde</b>											
Kalorimetriskt värmevärde leveranstillstånd	MJ/kg	10,90	11,65	11,18	12,81	11,90	10,99	11,54	11,33	11,68	11,51
Kalorimetriskt värmevärde torrt prov	MJ/kg	22,58	22,39	22,05	21,96	22,02	20,52	20,44	20,74	20,48	20,32
Effektivt värmevärde leveranstillstånd konstant volym	MJ/kg	9,17	10,00	9,48	11,25	10,23	9,29	9,86	9,64	9,99	9,83
Effektivt värmevärde torrt prov konstant volym	MJ/kg	21,47	21,34	20,94	20,91	20,90	19,35	19,22	19,55	19,25	19,10
Effektivt värmevärde leveranstillstånd konstant tryck	MJ/kg	9,07	9,9	9,38	11,15	10,13	9,19	9,76	9,54	9,89	9,73

Tabell B6 fortsättning

		Torv BränsleT0226A	Torv BränsleT0227A	Torv BränsleT0228A	Torv BränsleT0301A	Torv BränsleT0302A	Bränslesilon Silo0227A	Bränslesilon Silo0228A	Bränslesilon Silo0301A	Bränslesilon Silo0302A	Bränslesilon Silo0303A
Effektivt värmevärde torrt prov konstant tryck	MJ/kg	21,41	21,28	20,87	20,85	20,83	19,28	19,16	19,48	19,18	19,04
Effektivt värmevärde torrt prov askfritt konstant tryck	MJ/kg	22,13	22,16	21,53	21,43	21,44	19,94	19,68	20,05	19,66	19,56
<b>Metallanalys</b>											
Aluminium Al	mg/kg TS										
Aluminium Al	mg/kg TS	2100	2200	1800	1400	1500	670	450	410	370	420
Antimon Sb	mg/kg TS	< 0,22	< 0,23	< 0,22	< 0,23	0,25	< 0,44	< 0,43	< 0,44	0,25	0,52
Arsenik As	mg/kg TS	0,8	1,2	1,4	1,7	1	19	16	9,8	29	14
Barium Ba	mg/kg TS	46	48		29	33	160	120	140	150	220
Beryllium Be	mg/kg TS	0,15	0,16	0,1	0,084	0,098	< 0,11	< 0,11	< 0,11	< 0,054	< 0,054
Bly Pb	mg/kg TS						28	59	28	31	41
Bly Pb	mg/kg TS	3,7	4,1	5,9	9,4	9,8					
Bor B	mg/kg TS	< 5,5	< 5,6	< 5,5	< 5,6	< 5,4	< 11	< 11	< 11	9,3	7,9
Fosfor P	mg/kg TS	330	360	310	300	310	300	240	220	280	230



Tabell B6 fortsättning

		Torv BränsleT0226A	Torv BränsleT0227A	Torv BränsleT0228A	Torv BränsleT0301A	Torv BränsleT0302A	Bränslesilon Silo0227A	Bränslesilon Silo0228A	Bränslesilon Silo0301A	Bränslesilon Silo0302A	Bränslesilon Silo0303A
Järn Fe	mg/kg TS	3600	3900	3000	2200	2600	1400	1200	830	760	880
Kadmium Cd	mg/kg TS	0,087	0,095	0,11	0,15	0,16	0,42	0,66	0,34	0,38	0,35
Kalcium Ca	mg/kg TS	2300	2400	2000	1800	1900	5600	4600	4700	5400	5400
Kalium K	mg/kg TS	140	160	160	180	170	1100	910	930	900	790
Kobolt Co	mg/kg TS	0,82	0,91	0,73	0,6	0,63	1,5	1,1	1,2	0,94	1,1
Koppar Cu	mg/kg TS	4	4,8	3,8	3,2	3,3					
Koppar Cu	mg/kg TS						41	35	43	42	35
Krom Cr	mg/kg TS						54	24		47	23
Krom Cr	mg/kg TS	1,5	2,9	1,7	2,9	1,5			14		
Kvicksilver Hg	mg/kg TS	0,029	0,029	0,033	0,028	0,031	0,059	0,06	0,062	0,037	0,11
Magnesium Mg	mg/kg TS	780	800	840	980	860	670	550	570	540	610
Mangan Mn	mg/kg TS	45	48	36	28	34	240	220	190	230	190
Molybden Mo	mg/kg TS	0,28	0,37	0,27	0,24	0,24	0,39	0,18	0,11	0,14	0,23
Natrium Na	mg/kg TS	130	140	160	220	170	300	290	260	280	300

Tabell B6 fortsättning

		Torv BränsleT0226A	Torv BränsleT0227A	Torv BränsleT0228A	Torv BränsleT0301A	Torv BränsleT0302A	Bränslesilon Silo0227A	Bränslesilon Silo0228A	Bränslesilon Silo0301A	Bränslesilon Silo0302A	Bränslesilon Silo0303A
Nickel Ni	mg/kg TS	1,4	1,9	1,3	1,7	1,3	11	2,1	1,8	2,9	2,6
Tenn Sn	mg/kg TS	0,12	0,13	0,16	0,24	0,25	0,53	0,28	0,24	0,46	0,25
Titan Ti	mg/kg TS	62	74	62	49	48	49	40	45	35	35
Vanadin V	mg/kg TS	4,5	5,1	3,9	3,2	3,3	2,1	1,4	0,94	0,91	1,1
Zink Zn	mg/kg TS						400	370	340	730	410
Zink Zn	mg/kg TS	7,2	11	8,4	11	19					
Kisel Si	mg/kg TS	5600	8200	6900	5600	5700	5000	3100	4200	3200	3700
Summa bortplockade askbildare	% TS	0	0	0	0	0	0,11	0	0	0	0

Tabell B7 Rådata analyser tillsatsmedel; ny sand, sorbacal, svavelgranulat samt askor; flygaska och bottenaska.

		Ny sand	Sorbacal	Svavelgranulat	Flygaska AskaF0228A	Flygaska AskaF0301A	Flygaska AskaF0302A	Flygaska AskaF0303A	Flygaska AskaF0304A	Bottenaska AskaB0228A	Bottenaska AskaB0301A	Bottenaska AskaB0302A	Bottenaska AskaB0303A	Bottenaska AskaB0304A
Fukthalt	%	0,1	3,5	0,4	1,3	2	0,2	0,6	1,9	0,2	0,1	0,2	<0,1	<0,1
Aluminium Al	mg/kg TS	27000	430	< 110	14000	36000	41000	32000	38000	37000	39000	38000	34000	37000
Fosfor P	mg/kg TS	< 210	< 210	< 210	3200	7100	7800	7400	8900	3500	4200	3900	3500	4000
Järn Fe	mg/kg TS	2300	1700	< 110	17000	38000	42000	32000	41000	15000	19000	16000	14000	17000
Kadmium Cd	mg/kg TS	< 0,51	< 0,52	< 0,51	16	33	41	36	29	1,4	1,9	1,5	1,4	1,4
Kalcium Ca	mg/kg TS	2600	190000	< 160	360000	240000	200000	250000	210000	66000	76000	72000	62000	74000
Kalium K	mg/kg TS	18000	580	< 260	16000	31000	43000	35000	31000	33000	35000	34000	31000	34000
Kisel Si	mg/kg TS	400000	3600	< 510	22000	60000	66000	54000	69000	300000	270000	310000	310000	300000
Magnesium Mg	mg/kg TS	460	2700	< 110	9800	24000	28000	23000	26000	11000	11000	11000	9500	11000
Mangan Mn	mg/kg TS	59			2900	6400	7000	6300	6900	3600	4200	3900	3400	4000
Mangan Mn	mg/kg TS		200	< 2,6										
Natrium Na	mg/kg TS	8200	560	< 510	8200	16000	20000	18000	18000	19000	19000	20000	19000	19000
Titan Ti	mg/kg TS	440	110	< 21	12000	33000	39000	32000	36000	2800	11000	3300	9200	11000
Arsenik As	mg/kg TS	< 2,6	< 2,6	< 2,6	380	760	880	820	900	160	220	170	130	160
Antimon Sb	mg/kg TS	< 2,6	< 2,6	< 2,6	43	120	120	110	130	26	29	28	28	32
Barium Ba	mg/kg TS	410	< 52	< 51	430	150	170	150	170	2600	2900	2800	2600	3000
Beryllium Be	mg/kg TS	< 2,6	< 2,6	< 2,6	< 2,6	< 2,6	< 2,6	< 2,6	< 2,6	< 2,6	< 2,6	< 2,6	< 2,6	< 2,6
Bly Pb	mg/kg TS	9,5	2,7	< 1,1	960	2100	2600	2500	2000	670	750	810	930	950
Kobolt Co	mg/kg TS	< 2,6	< 2,6	< 2,6	17	38	44	36	41	19	28	19	18	19
Koppar Cu	mg/kg TS						1500				910		980	
Koppar Cu	mg/kg TS	< 2,6	< 2,6	< 2,6	410	990		1000	1000	1000		840		880
Krom Cr	mg/kg TS	< 2,6	3,5	< 2,6	250	540	620	510	650	420	550	460	380	440
Molybden Mo	mg/kg TS	< 21	< 21	< 21	< 21	< 21	< 21	< 21	< 21	< 21	< 21	< 21	< 21	< 21
Nickel Ni	mg/kg TS	< 2,6	< 2,6	< 2,6	45	88	100	85	95	47	50	47	46	49

Tabell B7 fortsättning

		Ny sand	Sorbacal	Svavelgranulat	Flygaska AskaF0228A	Flygaska AskaF0301A	Flygaska AskaF0302A	Flygaska AskaF0303A	Flygaska AskaF0304A	Bottenaska AskaB0228A	Bottenaska AskaB0301A	Bottenaska AskaB0302A	Bottenaska AskaB0303A	Bottenaska AskaB0304A
Svavel S	mg/kg TS			770000										
Tenn Sn	mg/kg TS	< 2,6	< 2,6	< 2,6	19	47	57	51	54	51	49	53	53	63
Vanadin V	mg/kg TS	4,2	3,7	< 2,6	23	45	51	44	52	23	32	24	23	26
Zink Zn	mg/kg TS				4900	15000	17000	15000	14000	14000	15000	15000	15000	16000
Zink Zn	mg/kg TS	< 26	< 26	< 26										
Bor B	mg/kg TS				200	400	450	410	420		49		41	
Bor B	mg/kg TS	< 4,6	14	< 4,6						57		64		67
Kvicksilver Hg	mg/kg TS	< 0,046	< 0,047	< 0,046	3,4	2,5	2,7	4,4	3,7	< 0,046	< 0,046	< 0,046	< 0,046	< 0,046
Kol C	% TS		5,6											

