

KVÄVEBERIKNING AV TRÄASKA FÖR SKOGSÅTERFÖRING

RAPPORT 2022:871



Kväveberikning av träaska för skogsåterföring

PÄIVI YLITERVO OCH ANITA PETTERSSON

ISBN 978-91-7673-871-9 | © Energiforsk juni 2022

Energiforsk AB | Telefon: 08-677 25 30 | E-post: kontakt@energiforsk.se | www.energiforsk.se

Förord

Denna rapport är slutrapportering av projekt 2020-031 *Kväveberikning av träaska för skogsåterföring* inom Askprogrammet som bedrivs av Energiforsk. Askprogrammet verkar för att kunskap tas fram för att stimulera användningar av askor så att ingen eller ringa risk för hälsa och miljö på kort eller lång sikt föreligger.

Projektet har undersökt olika kombinationer av aska och kväve för att öka kunskapen om hur de fungerar tillsammans och med syftet att förbättra och effektivisera skogsgödsling.

Arbetet har genomförts av Högskolan i Borås med Päivi Ylittervo som huvudprojektledare.

Projektet har följts av en referensgrupp bestående av:

Jörg Brücher, Holmen

Stefan Mattsson, Sveaskog,

Eva Weidemann, Umeå universitet,

Stefan Anderson, Skogsstyrelsen

Helena Sellerholm

Programansvarig

Termisk energiomvandling, Energiforsk AB

Här redovisas resultat och slutsatser från ett projekt inom ett forskningsprogram som drivs av Energiforsk. Det är rapportförfattaren/-författarna som ansvarar för innehållet.

Sammanfattning

Ett sätt att öka incitamentet att återföra träaska till skogen är att träaska och kväve kan tillföras samtidigt till skogen. Kvävegödsling av skogen sker till viss del i norra delen av Sverige eftersom skogen där framför allt är tillväxtbegränsade av kväve. Träaskor innehåller inget kväve då kvävet avgår som kväveoxider vid förbränning. Att tillföra endast träaska i dessa skogar skulle därför inte öka skogens tillväxt. I dessa fall behöver träaskorna kombineras med en kvävekälla för att öka trädens tillväxt.

Om spridning av både aska och kväve kan kombineras skulle detta minska kostnaden för spridning och askproducenterna skulle ha möjlighet att recirkulera näringsämnena tillbaka till skogen. Men idag behövs mer information om hur man kan producera kväve-askagglomerat och om hur mycket kväve som försvinner från de producerade kväve-askagglomeraten som ammoniak till omgivande luft vid spridning, lagring och produktion. Syftet med detta projekt var att studera alla dessa delar.

Försök med fyra väldigt olika flygaskor från förbränning av träbränsle har används i studien dessa har kommit från Borås Energi och Miljö AB, Holmen AB (anläggning vid Braviken), Umeå Energi AB och askgranuler från Ecofor AB. De kvävekällor som har används för att få fram kväve-askagglomerat har varit Skog-CAN, kalksalpeter, ureaformaldehyd, urea och urearest.

Aska, kvävekälla och vatten blandades ihop och bildade agglomerat som studerades vidare i försök för att mäta ammoniakavgång under en längre tid (ca 2 månader) i förslutna behållare med fuktig luft. Luften inuti behållarna byttes ut med jämna mellanrum för att analysera hur mycket ammoniak som hade avgetts till luften i behållaren.

Den aska och de kvävekällor som producerade bäst kväve-askagglomerat var flygaska från Borås Energi och Miljö AB med kvävekällorna kalksalpeter, urea och urearest. Aska från Braviken, Holmen ABs anläggning innehöll mycket oförbränt material vilket gjorde det svårt att producera agglomerat med den metod som användes i projektet och resulterade i att askan inte bildade agglomerat vid blandning av aska och vatten.

Ammoniakavgången varierade beroende på vilken kvävekälla som använts vid framställning av kväve-askagglomeraten. Eftersom blandning av aska, Skog-CAN eller ureaformaldehyd och vatten resulterade i att en stark stickande lukt uppstod vid försöken studerades inte dessa agglomerat vidare när det gäller ammoniakavgång. Vid framställning av kalksalpeter-askagglomerat uppstod en lätt lukt av ammoniak och mätningarna visade att mer ammoniak avgick från dessa agglomerat jämfört med agglomerat med urea och urea rest. För agglomeraten där urea och urearest användes kunde inte någon ammoniakavgång uppmätas. För att minska ammoniakavgången från kalksalpeter-askagglomeraten gjordes även försök med att blanda in restsyra som innehåller med H_2SO_4 och Na_2SO_4 för att minska pH ökningen vid sammanblandningen med askan. Detta fungerade delvis för att minska ammoniakavgången.

Ammoniakavgång studerades även för de bästa agglomeraten vid torkning vid 50 °C. Men ingen reduktion i mängden ammonium och organiskt kväve från kväve-askagglomeraten kunde påvisas. I dessa försök analyserades inte den avgående mängden ammoniak utan endast mängden kväve (ammonium och organiskt kväve) före och efter torkning.

Priset för att köpa in de olika kvävekällorna kan variera mycket beroende på säsong, tillgänglighet, mängd och återförsäljare. En grov kostnadsuppskattning av priset för endast kvävekällan visar att urearest är billigast, följt av urea, dyrast är kalksalpeter och Skog-CAN. Om man tillför de olika kvävekällorna så att 150 kg N och 2 ton torr aska kombineras och sprids per hektar skogsmark blir priserna för urearest, urea, Skog-CAN och kalksalpeter, 680, 1010, 1670-1940 och 1900 SEK per hektar.

För att simulera vad som händer när askgranuler och Skog-CAN som används vid gödning av skogsmark sprids samtidigt på skogsmark mättes även ammoniakavgången i slutna behållare där askgranuler och Skog-CAN placerats. Även från dessa behållare togs luften ut för att mäta hur mycket ammoniak som avgick. Olika tillsatsmängder av askgranuler och Skog-CAN studerades. Där normal spridningsmängd motsvarades av 2 ton torr aska tillsammans med 150 kg N per hektar, sedan studeras även 10 och 30 gånger denna mängd. Här kunde man tydligt se att ammoniakavgången för den högsta tillsatta mängden av askgranuler och Skog-CAN i det inledande skedet var högt för att sedan minska gradvis. Vid normala tillsatsmängder och tio gånger över det normala var ammoniakavgången mer konstant över tid.

Försöken i projektet visar att det går ganska enkelt att producera kväve-askagglomerat med "rätt" aska och kvävekälla. Dock uppstår en ammoniakavgång i olika utsträckning från agglomeraten där kvävekällan innehöll ammonium. Ammoniak avgår även när askgranuler och Skog-CAN förvaras i en sluten behållare med fuktig luft. Ammoniakavgången beror på att askan höjer pH vilket gör att kväve i form av ammonium övergår till ammoniak. Man bör emellertid tänka på att skogsmark har en buffrande kapacitet som motverkar pH höjning vid spridning av kväve-askagglomerat eller då askgranuler sprids tillsammans med Skog-CAN i skogsmark. Vilket gör att mindre ammoniak skulle avgå från materialet vid spridning i skogen.

För att utröna tillväxteffekterna av spridning av de framtagna kväve-askagglomeraten på träd skulle fältförsök behöva genomföras.

Nyckelord

Flygaska, kväveberikning, kalksalpeter, urea, ureaformaldehyd, Skog-CAN, ammoniak och agglomerat.

Summary

One way to increase the incentive to return wood ash to the forest is that wood ash and nitrogen can be added to the forest at the same time. Nitrogen fertilization of the forest takes place to some extent in the northern part of Sweden because the forest there is primarily growth-restricted by nitrogen. Wood ash does not contain nitrogen as the nitrogen is released as nitrogen oxides during combustion. Addition of only wood ash to these forests would therefore not increase the growth of the forest. In these cases, the wood ashes need to be combined with a nitrogen source to increase the growth of the trees.

If the spreading of both ash and nitrogen could be combined, this would reduce the cost of spreading and the ash producers would have the opportunity to recycle the nutrients back to the forest. However, today more information is needed about how to produce nitrogen-ash agglomerates and on how much nitrogen is lost from the produced nitrogen-ash agglomerates as ammonia to ambient air during spreading, storage and production. The purpose of this project has been to investigate all these parts.

Experiments with four very different fly ashes from the combustion of wood fuels was used in this study. The ash used in this study come from Borås Energi och Miljö AB, Holmen AB (facility at Braviken), Umeå Energi AB and ash granules from Ecofor AB. The nitrogen sources used to produce nitrogen-ash agglomerates was Skog-CAN, calcium nitrate, urea formaldehyde, urea and urea residue.

Ash, nitrogen source and water were mixed together and agglomerates were formed and further studied in experiments to measure the ammonia release from the material for a longer period (about 2 months) in sealed containers with moist air. The air inside the containers was replaced at regular intervals to analyze how much ammonia had been released into the air in the container.

The ash and the nitrogen sources that produced the best nitrogen ash agglomerate were fly ash from Borås Energi och Miljö AB with the nitrogen sources calcium nitrate, urea and urea residue. Ash from Braviken from Holmen AB's plant contained a lot of unburned material, which made it difficult to produce agglomerates with the method used in the project. This ash did not form agglomerates when mixed with water.

Ammonia release from the nitrogen-ash agglomerates varied depending on the source of nitrogen used in the production of the nitrogen-ash agglomerates. As the mixing of ash, Skog-CAN or urea formaldehyde and water resulted in a strong odor in the experiments, these agglomerates were not further studied for ammonia release. In the preparation of calcium nitrate-ash agglomerates, a slight odor of ammonia arose and it was confirmed that more ammonia was emitted from these agglomerates compared to those with urea and urea residue. For the agglomerates where urea and urea residue were used, no ammonia release could be measured. To reduce the ammonia release from the calcium nitrate ash agglomerates,

attempts were also made to mix residual acid consisting of H_2SO_4 and Na_2SO_4 to reduce the pH increase when mixed with the ash. This worked to some extent to reduce ammonia emissions.

The ammonia release was also studied from the best agglomerates when dried at 50°C . But no reduction in the amount of ammonium and organic nitrogen from the nitrogen-ash agglomerates could be detected. However, the amount of nitrogen analyzed varied in the analyzes according to the Kjeldahl method, so if a smaller amount of nitrogen was released as ammonia, this could not have been detected in the experiments. In these experiments, the outgoing amount of ammonia was not analyzed but only the amount of nitrogen (ammonium and organic nitrogen) before and after drying in the agglomerates.

The price to buy different nitrogen sources can vary a lot depending on the season, availability, quantity and retailer. A rough cost estimate of the price for only the nitrogen source shows that urea residue is cheapest, followed by urea, most expensive are calcium nitrate and Skog-CAN. If the various nitrogen sources are added in order to combine 150 kg N with 2 tons of dry ash and spread per hectare of forest land, the prices for urea residue, urea, Skog-CAN and calcium nitrate will be 680, 1010, 1670-1940 and 1900 SEK respectively per hectare.

To simulate what happens when ash granules and Skog-CAN are spread simultaneously on forest land, the ammonia emission was also measured in closed containers where ash granules and Skog-CAN were placed without mixing. Air was also taken from these containers to measure how much ammonia was emitted. Different amounts of ash granules and Skog-CAN were studied. The normal spread rate equivalent to 2 tonnes of dry ash together with 150 kg N per hectare was studied and then 10 and 30 times this amount. Here it was clear that the ammonia emission for the highest amount of ash granules added and Skog-CAN in the initial stage was high and then gradually reduced. At normal additive amounts and ten times above normal, the release of ammonia was more constant over time.

The experiments in the project show that it is rather easy to produce nitrogen-ash agglomerates with the "right" ash and nitrogen source. However, an ammonia escape occurs to varying degrees from the agglomerates where the nitrogen source contained ammonium. Ammonia is also released when ash granules and Skog-CAN are stored in a closed container with moist air. The emission of ammonia is caused by the ash raising the pH, which means that nitrogen in the form of ammonium is converted to ammonia. However, it should be kept in mind that forest land has a buffering capacity that counteracts the pH increase when spreading nitrogen-ash agglomerates or when ash granules are spread together with Skog-CAN in forest land. This means that less ammonia would be released from the material when spreading in the forest.

In order to investigate the growth effects of spreading the produced nitrogen-ash agglomerates on trees, field trials would need to be carried out.

Innehåll

1	Inledning	9
1.1	Syfte och mål	10
2	Material och metod	11
2.1	Flygaskor	11
2.2	Karaktärisering av askor	12
2.3	Kvävekällor	14
2.4	Produktion av kväveaskagglomerat	15
2.5	Ammoniakavgång från agglomerat	16
2.6	Kvävemätningar	17
2.7	Kväveförlust vid torkning av kväve-askagglomerat	18
3	Resultat och diskussion	19
3.1	Beredning av agglomerat	19
3.2	Analyser av ammoniakavgång producerade kväve-askagglomerat	22
3.3	Ammoniakavgång från Skog-CAN och askgranuler	26
3.4	Kväveavgång vid torkning	29
3.5	Kostnad för kvävekälla och spridning av kväve-askagglomerat	29
4	Slutsatser och fortsatt arbete	31
5	Referenslista	32

1 Inledning

Skogsbränsle i form av avverkningsrester används idag i stora mängder för att producera fjärrvärme och elektricitet i kraftvärmeverk eftersom det är en förnyelsebar energikälla. Största delen av trädets näringsämnen finns i grenar, toppar och barr. Om inte näringsämnena som tas ut med det avverkade trädet återförs kommer det att leda till att kretsloppet av mineraliska näringsämnen bryts vilket leder till minskat näringsförråd och en permanent försumning i skogsmarken. Vid förbränning av skogsbränsle består 1-3% av den ursprungliga torrvikten av oorganiskt material som blir kvar som aska [1].

Det är viktigt att skogen inte utarmas på näringsämnena för att säkerställa att skogsbruket blir förblir hållbart. När stamved och hyggesrester forslas bort från skogen försvinner även näringsämnena. Förlusten av näringsämnena kan inte kompenseras fullt ut via vittring i marken. Genom att återföra askan som bildas vid förbränning av skogsbränsle kan man minska problemen med askavfall och återskapa kretsloppet av näringsämnena till skogen [2].

Färsk aska består av två huvudkomponenter, oförbränt material och oorganiska föreningar i form av främst oxider. Om askan ska spridas i skogen bör den hårdas och aggregeras till större korn, då kommer ämnena att urlakas långsammare och produkten kommer att få ett lägre pH (mindre kraftig pH-höjning i skogsmarken). Vid hårdningen bildas mindre reaktiva och mindre lösliga ämnen så som hydroxider och karbonater och de fina askpartiklarna agglomereras till större. Genom att askan aggregerar kan man förenkla spridning och underlätta hantering då askan dammar mindre. För att underlätta spridning bör askaggregaten ha en lämplig kornstorlek och fukthalt. Detta kan främst åstadkommas genom två behandlingsförfaranden, självhårdning och krossning eller granulering och torkning. Men det finns flera andra metoder så som pelletering och valsning eller genom att extruderas. Det som är gemensamt för alla metoder är att askan blandas med vatten, eventuellt med andra tillsatsämnen, agglomereras och möjligen torkas ifall fukthalten behöver sänkas [1].

Enligt Skogsstyrelsen bör skogsägare kompensera för näringsuttaget efter avverkning med hjälp av t.ex. aska [3]. Ett problem är dock att askan inte innehåller något kväve och spridning av aska på mindre bördiga, kvävefattiga marker kan till och med orsaka tillväxtminskning hos skogen. På huvuddelen av Sveriges skogsmark är kvävebegränsning en tillväxthämmande faktor. En grov förenkling av läget är att kvävebegränsningen ökar från söder till norr vilket beror på kvävedepositionsgraden till marken. Mark i sydvästra Sverige erhåller mer än 10 kg N/ha och år medan mark i Norrland erhåller mindre än 4 kg N/ha och år [4]. Ett flertal olika kvävegödselmedel har använts, under 1960-talet var det nästan enbart urea som användes, det ersattes senare av ammoniumnitrat som gav en högre tillväxt [5].

Ett problem när man kvävegödslar är att en del av kvävet inte tas tillvara av skogen utan förloras genom att denitrificeras, förflyktigas, immobiliseras eller urlakas från den gödslade marken. Gödsel som innehåller ammonium (NH_4^+) kan resultera i ammoniakavgång ($\text{NH}_3(\text{g})$). Hur mycket som avges i form av ammoniak

beror på det specifika gödslet och dess reaktioner när den kommer i kontakt med jorden och på pH-värdet runt gödselpartikeln [6].

Trädaskorna behöver därför kombineras med en kvävekälla för att passa de kvävefattiga skogsmarkerna främst i norra Sverige. Kväve kan tillföra genom att blanda in en kvävekälla i askan. Genom att göra detta erhålls en produkt som både tillför näringsämnen från askan och kväve till skogen vid spridningstillfället. Men idag behövs mer information om hur man kan producera kväve-askagglomerat och hur mycket kväve som försvinner från de producerade kväve-askagglomeraten till omgivande luft.

En sammanställning för tidigare fältstudier och vilka resultat som erhållits finns samlade i rapporten *Kombinerad kväve- och bioaskegödsling av skogsmark* (Rapport 2020:652) [7].

1.1 SYFTE OCH MÅL

Projektet hade som huvudsakligt mål att tillverka kväveberikade askagglomerat med syfte att användas för skogsgödsling. Ett antal olika kvävekällor studerades genom att de kombineras med flygaska för att bilda kväve-askagglomerat. I projektet studerades framställningen, kväveinnehållet och egenskaperna hos kväve-askagglomeraten samt kväveförluster till luften.

2 Material och metod

2.1 FLYGASKOR

I försöken användes fyra olika flygaskor som kom från Borås Energi och Miljö AB, Ecofor AB, Holmen ABs anläggning i Braviken och Umeå Energi AB. Askan från Ecofor AB var i form av askgranuler och var redan härdad, de övriga askorna var obehandlade när de erhöles. Information om de olika askorna beskrivs kortfattat nedan:

- **Flygaska Borås Energi och Miljö AB:** Flygaskan kommer från en bubblande fluidiserad bäddpanna (BFB) på Sobacken med en effekt på 120MW som eldas med följande volymdelar bränsle: GROT 5/10, retur trä (RT) 2/10, bark 2/10 och sågspån 1/10. Askan benämns i rapporten som Boråsaska se Figur 1a.
- **Askgranuler från Ecofor AB:** Granulerna kommer från Ecofor ABs anläggning i Värtahamnen. Askan som använts till försöken kommer från en cirkulerande fluidiserande bäddpanna (CFB) som eldas med skogsbränsle. Granulerna uppfyller SKS rekommendationer gällande askåterföring till skog när det gäller minsta och högsta halter för näringsämnen och tungmetaller. Askan benämns i rapporten som granuler, se Figur 1b.
- **Flygaska från Holmen ABs anläggning i Braviken:** Askan kommer från en rosterpanna i Braviken med en effekt på 86 MW och producerar 70 ton 60 bar ånga i timmen. Bränslet vid provtagningstillfället var färskflis av stamved från Götaland. Askan innehöll förhållandevis mycket kol och oförbrända trädelar eftersom pannan var under hög belastning. Askan benämns i rapporten som Bravikenaska, se Figur 1c.
- **Flygaska från Umeå Energi AB:** Flygaskan innehåller omkring 25% sand och pannan (Bubblande fluidiserad bädd) eldas med skogsbränsle och torv. Pannans effekt är 105 MW. Askan är väldigt näringsfattig och används idag som konstruktionsmaterial, produktionen är ungefär 5 – 6 kton per år. Askan benämns i rapporten som Umeåaska, se Figur 1d.

Försök att framställa kväve-askagglomerat gjordes med alla fyra askorna dock misslyckades försöken med Umeåaskan och inga agglomerat kunde fås fram med de metoder som användes i projektet eftersom den innehöll mycket sand. Även Bravikenaskan var svår att producera agglomerat från eftersom den innehöll mycket oförbränt material. Den aska som förhållandevis lätt producerade agglomerat tillsammans med kvävekällorna var Boråsaska som därför representerats i flest försöken. Eftersom Ecoforaskan redan var i form av askgranuler och härdad gjordes försök att få kvävekällan att fästa på ytan av granulerna.



Figur 1. De olika flygaskor som används i projektet a) Boråsaska b) granuler c) Bravikenaska och d) Umeåaska.

2.2 KARAKTÄRISERING AV ASKOR

Innehållet av fukt och oförbränt i askorna återfinns i Tabell 1. Fukthalten bestämdes genom att torka askorna vid 105 °C i 24 innan askorna togs ut ur ugnen och lades i en exsickator för att svalna innan vägning. För att bestämma mängden organisk material i askan torkades de torra askorna (efter 105 °C 24 h) vid 550 °C i 4 h och innan vägning fick askan svalna i en exsickator.

Det finns rekommenderade minimi- och maximihalter av ämnen i hårdare askor som får spridas i skogsmark [8]. Därför mättes makronäringsämnen och spårämnen i askorna, de uppmätta halterna återfinns i Tabell 2. För att lösa upp ämnena i askorna innan analys med MP-AES (Microwave Plasma Atomic Emission Spectroscopy), Agilent Technologies, användes en mikrovågsugn, Ethos UP high performance microwave digestion system, och askorna (prov om 0,1 g) uppslöt i en blandning bestående av 6 ml HNO₃, 2 ml HCl, 1 ml HF och 1ml H₂O₂. Proverna värmdes till 220 °C under 20 min och sluttemperaturen hölls konstant i 20 min. För att mäta halten av ämnena i proverna användes en MP-AES dock kunde inte halterna för Hg och Cd bestämmas eftersom de låg under detektionsgränsen för instrumentet. Även As kunde inte analyseras med instrumentet.

Tabell 1. Askornas innehåll av fukt och oförbränt

Aska	Fukt (%)	Oförbränt (%)
Borås	0,1 ± 0,0	1,5 ± 0,0
Braviken	19,2 ± 1,1	16,2 ± 0,4
Braviken (silad 500 µm)	20,4 ± 0,0	11,8 ± 0,0
Ecofor	13,7 ± 0,3	5,2 ± 0,2
Umeå	16,3 ± 0,5	4,2 ± 0,1

Tabell 2. Makronärings- och spårämnen i askorna som användes i försöken

Rekommenderade halter ¹						
Element	Lägsta	Högsta	Borås	Braviken	Ecofor	Umeå
Makronäringsämnen, g/kg TS						
Kalcium	125		100 ± 6	150 ± 15	110 ± 32	44 ± 12
Magnesium	15		8,5 ± 0,6	11 ± 1	10 ± 3	2,6 ± 0,9
Kalium	30		58 ± 4	45 ± 1	56 ± 1	47 ± 1
Fosfor	7		8,4 ± 0,3	10 ± 0	8,9 ± 3,4	5,1 ± 1,1
Spårämnen, mg/kg TS						
Bor		800	na	na	na	na
Koppar		400	200 ± 4	130 ± 17	310 ± 100	59 ± 1
Zink	500	7000	620 ± 150	1500 ± 56	510 ± 130	490 ± 120
Arsenik		ka	ka	ka	ka	ka
Bly		300	49 ± 0	42 ± 19	12 ± 4	12 ± 3
Kadmium		30	ud	ud	ud	ud
Krom		200	91 ± 4	100 ± 13	86 ± 13	47 ± 4
Kvicksilver		3	na	na	na	na
Nickel		70	42 ± 11	25 ± 1	29 ± 1	25 ± 0
Vanadin		70	na	na	na	na

¹ Rekommenderade minimi- och maximihalter av ämnen i askor som får spridas i skogsmark enligt Skogsstyrelsen [7].

^{ud} Under detektionsgränsen

^{na} Analys saknas

^{ka} Kunde inte analyseras med instrumentet

2.3 KVÄVEKÄLLOR

De fem kvävekällorna som användes i försöken var YaraLiva kalksalpeter (Yara AB, produktkod PA34FG), Skog-CAN (Yara AB, produktkod PA159G), ureaformaldehyd (Evergreen Garden Care, produktkod 300000003048), urea (Scharlau, produktkod UR01311000) och urearest (MBP Trading SA, produktnamn UFF, urea fett fraktion/ urearest). Det ungefärliga innehållet i de olika kvävekällorna beskrivs kortfattat nedan:

- **Yara kalksalpeter:** Innehåller 15,5 mass% kväve (%N) i form av 14,4% nitrat och 1,1% ammonium finns även 18,8% Ca, se Figur 2a.
- **Skog-CAN:** Innehåller 27% N i form av nitrat 13,5% och ammonium 13,5% finns även 5% Ca, 0,2% B och 2,4% Mg, se Figur 2b.
- **Ureaformaldehyd:** Innehåller 22% N i form av 3% ammonium, 7,5% urea, 11,5% ureaformaldehyd innehåller även 2,2% fosfor och 9,1% K, se Figur 2c.
- **Urearest:** Består till ca 73% av urea det ger ett kväveinnehåll på ca 33% innehåller även ca 22% fiskolja och ca 5% etanol och vatten, se Figur 2d.
- **Urea:** Består av 46% N i form av ureakväve. Utseendemässigt är det ett vitt pulver.



Figur 2. Fyra av de fem kvävekällorna som används i försöken, a) kalksalpeter, b) Skog-CAN, c) ureaformaldehyd, d) urearest

2.4 PRODUKTION AV KVÄVEASKAGGLOMERAT

Den teknik som fanns tillgänglig för att producera kväve-askagglomeraten var en matberedare med två snurrande vispar där hastigheten på omblandningen kunde varieras. För att få fram kväve-askagglomeraten tillsattes först 2/3 av massan aska till behållaren tillsammans med all kvävekälla. Dessa blandades ihop för att få en mer jämn blandning av de två komponenterna. Sedan tillsattes vatten till blandningen i små mängder under omrörning. För att hindra materialet från att fastna i behållaren när vatten tillfördes stoppades omrörningen ibland och materialet rördes upp med en sked.

Efter att all vatten hade tillförts så blandades materialet tills den fick en mer degliknande utseende och för att eventuella större granuler skulle homogeniseras i massan. I sista steget tillsattes resterande 1/3 av askan till blandningen då övergick massan från att vara degliknande till mindre agglomerat.

De mängder aska och kvävekälla som användes visas i Tabell 3. Receptet beräknades utifrån att 2 ton torr aska tillsammans med 150 kg kväve skulle spridas per hektar skogsmark.



Figur 3. Matberedare som användes för att blanda ihop flygaska, kvävekälla och vatten till agglomerat.

Tabell 3. Sammanställning av vilka mängder torr aska och kvävekälla som användes vid beredning av kväve-askagglomerat.

Torr aska	N	Kvävekälla	g	%N
g	g			
100	7,5	Urearest	22,7	33
100	7,5	Urea	16,1	46,7
100	7,5	Ureaformaldehyd	34,1	22
100	7,5	Skog-CAN	27,8	27
100	7,5	Kalksalpeter	48,4	15,5

2.5 AMMONIAKAVGÅNG FRÅN AGGLOMERAT

För att utvärdera kväve-askagglomeraten genomfördes försök för att mäta hur mycket ammoniak (NH_3) som avgick under en längre tidsperiod från agglomeraten. Ammoniakavgång gör att kväve som träden annars kunnat ta upp för att öka sin tillväxt försvinner till atmosfären istället. Stor kväveavgång skulle också medföra ett arbetsmiljöproblem för de som handskas med produkten vid tillverkning, lagring och spridning. För att kunna mäta hur mycket ammoniak som avgick placerades kväve-askagglomeraten i en E-kolv som förslöts med en silikonpropp. Luften inuti E-kolven kunde sedan med hjälp av nålar slangar och en stor spruta bubblas genom en 0,10 M HCl lösning för att binda in NH_3 , enligt Figur 4. När NH_3 passerar HCl lösningen omvandlas den till NH_4^+ och finns kvar i lösningen så länge pH:t är lågt. NH_3 -avgången mättes flera gånger per vecka från varje E-kolv.

I varje E-kolv placerades kväve-askagglomerat bestående av 10 g torr aska med 0,75 g N uppe på en bädd av glaspärlor. Vilket motsvarar en sammansättning på 150 kg N per 2 ton torr aska som eftersträvades. I varje flaska fanns 1 cm glaspärlor med en diameter på 3 mm. För varje agglomerattyp gjordes två provflaskor i ordning. För att hålla luften fuktig i E-kolven tillsattes 2 ml vatten i botten av flaskan.

Vid varje NH_3 -mätning tillfördes 1,0 L luft genom E-kolven vilket motsvarar ca 3 gånger luftvolymen i flaskan. Utgående luft bubblades genom 10 ml 0,10 M HCl för att binda NH_3 som NH_4^+ . För att bestämma hur mycket NH_4^+ som bildas titrerades proverna med 0,10 M NaOH till pH 7. Försök gjordes även för att använda en jonselektiv elektrod (Thermo Scientific Orion Ammonia Ion Selective Electrode (ISE)) för att bestämma koncentrationen NH_4^+ i proverna men sensorn var svårkalibrerad och responsen var mycket långsam och gav förhållandevis varierande resultat. Så titrering för att bestämma mängden ammoniak användes genom alla försök. En nackdel med titrering är dock att man endast kan se en volymskillnad på 0,1 ml vid avläsning.



Figur 4. Provuppsättning för att binda in ammoniak som avges från kväve-askagglomerat i HCl innan titrering.

2.6 KVÄVEMÄTNINGAR

Kväve-askagglomeraten innehåller ett stort antal makro- och spårämnen. I dessa försök var det framför allt viktigt att mäta halten kväve i agglomeraten för att säkerställa att det inte avges till luften som ammoniak. Halten N analyserades med hjälp av ett Kjeldahl instrument (Behrotest InKjel), enligt Figur 5. Vid dessa analyser kan man få fram halten kväve som är i form av ammonium och organisk kväve i materialet. Nitrat analyseras inte men nitrat riskerar inte att avges som ammoniak från agglomeraten.

Vid analyserna med Kjeldahl tillsattes ca 0,5 g torkat prov till ett reaktionsrör tillsammans med en Kjeldahl tablett (KT1 tablett som innehåller CuSO_2 och K_2SO_4) och en tablett med skumdämpande medel. För att bryta ner materialet tillfördes 20,0 ml koncentrerad svavelsyra (95-97%) till varje reaktionsrör. Sedan värmdes proverna upp i Kjeldahl instrumentet enligt ett särskilt program. Efteråt destillerades proverna med hjälp av ånga och 32% NaOH för att binda in den avgående NH_3 användes 0,10 M HCl lösning. Efteråt titrerades proverna med 0,10 M NaOH för att bestämma mängden kväve i proverna.



Figur 5. Kjeldahl instrument för analyser av kväveinnehållet i agglomeraten

2.7 KVÄVEFÖRLUST VID TORKNING AV KVÄVE-ASKAGGLOMERAT

För att se ifall det enkelt gick att uppmätta hur mycket ammoniak som avgick vid torkning gjordes försök där de olika kväve-askagglomeraten torkades vid 50 °C under 24 h. Halten N mättes enligt Kjeldahl metoden före och efter torkning på fuktigt material. Sedan bestämdes fukthalten i agglomeraten både före och efter torkning för att beräkna hur mycket kväve kväve-askagglomeraten innehöll i det torra materialet genom att torka materialet i 24 h vid 105 °C.

3 Resultat och diskussion

3.1 BEREDNING AV AGGLOMERAT

Försök gjordes för att blanda in alla fem kvävekällor (kalksalpeter, Skog-CAN, ureaformaldehyd, urearest och urea) med de obehandlade flygaskorna för att producera kväve-askagglomerat med det var framförallt Boråsaska som producerade lämpliga agglomerat tillsammans med de olika kvävekällorna. För att reducera antalet försök och eftersom inblandning med antingen ureaformaldehyd eller Skog-CAN tillsammans med vatten och aska resulterade i en stark stickande lukt när askan blandades med kvävekällan, speciellt stark för Skog-CAN, fokuserades de fortsatta försöken på kvävekällorna kalksalpeter, urearest och urea. Resultaten för de försök som gjordes med Boråsaska och Bravikenaska summeras i Tabell 4 och några av agglomeraten kan ses i Figur 6.

När aska, kalksalpeter och vatten blandades uppstod en lätt lukt av NH_3 . För att se ifall man kunde minska NH_3 avgången och förbättra härdningen av agglomeraten gjordes även försök att blanda in restsyra som bestod av H_2SO_4 (240 g/L) och Na_2SO_4 (120 g/L) tillsammans med Boråsaska och kalksalpeter. Vid produktionen av agglomeraten med hjälp av restsyran så luktade det väldigt svagt av ammoniak. Vilket indikerar att mindre ammoniak avgick då restsyra istället för vatten användes vid beredningen av kalksalpeteraskagglomeraten. Detta beror på att pHt höjs mindre vid produktionen.

Tabell 4. Sammanställning av försök att producera kväve-askagglomerat med Boråsaska och Bravikenaska

Aska	Kvävekälla	Kommentar	Agglomerat	Problem	Vatten (ml)
Borås	Urea	Blandas direkt med aska	Bra		30
Borås	Urearest	Blandas direkt med aska	Bra	Luktar ”fisk”	30
Borås	Ureaformaldehyd	Blandas direkt med aska	Bra	Starkt stickande lukt	60
Borås	Skog-CAN	Löses upp först	Bra	Luktar starkt av ammoniak	25 - 30
Borås	Kalksalpeter	Blandas direkt med aska	Bra	Luktar lite av ammoniak	30
Borås	Kalksalpeter	H ₂ SO ₄ och Na ₂ SO ₄ tillsätts	Bra	Luktar väldigt svagt av ammoniak	40 (syra lösning)
Braviken	Urea	Blandas direkt med aska	Ibland bra		Ca 95
Braviken	Urearest	Blandas direkt med aska	Inte bra	Luktar ”fisk”	Ca 95
Braviken	Ureaformaldehyd	Blandas direkt med aska	Inte bra	Stark stickande lukt	Ca 95
Braviken	Skog-CAN	Löses upp först	Inte bra	Luktar starkt av ammoniak	Ca 95
Braviken	Kalksalpeter	Blandas direkt med aska	Inte bra	Luktar lite av ammoniak	Ca 95

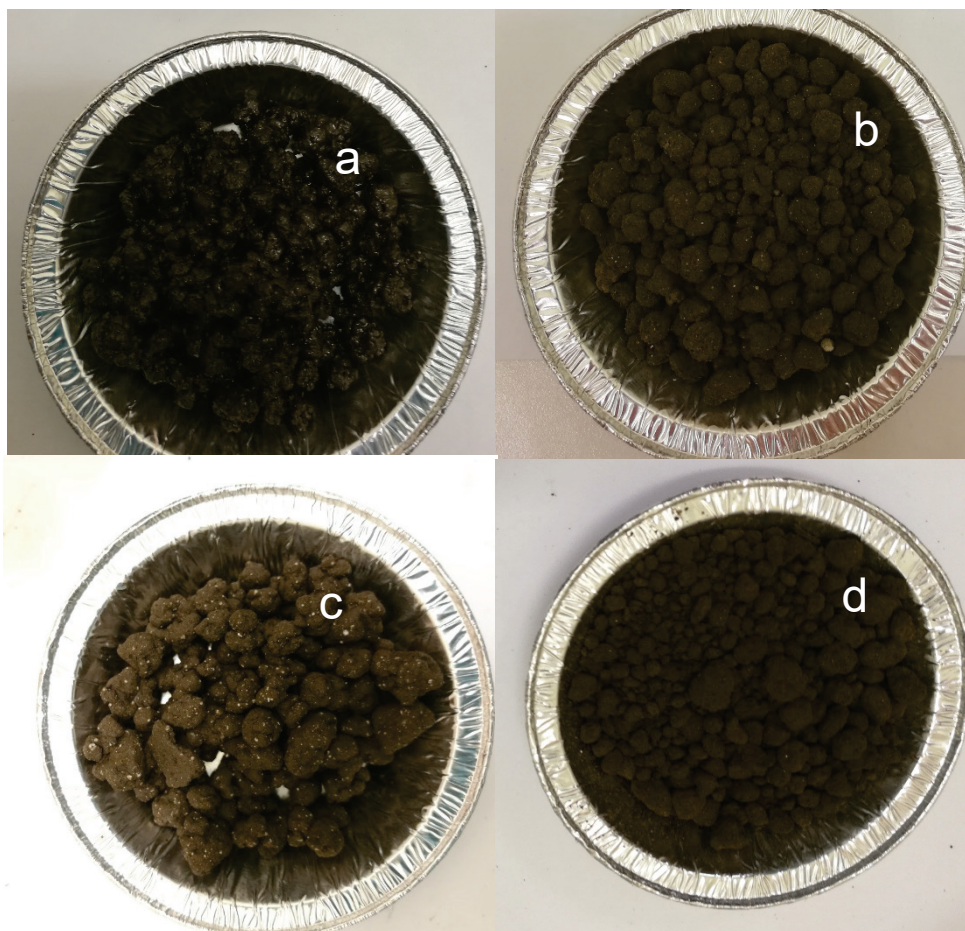
Eftersom Bravikenaskan innehöll mycket oförbränt $16,2 \pm 0,4\%$ var det svårt att få fram hållbara agglomerat. Askan var mörkgrå till färgen och innehöll mindre oförbrända träbitar. Bravikenaskan silades för att ta bort alla träbitar större än 500 µm detta gjorde att mängden oförbränt minskade till $11,8 \pm 0,0\%$. Men även om askan silades kunde inga agglomerat produceras med den metod som användes i projektet förutom vissa gånger tillsammans med kalksalpeter som kvävekälla. Bravikenaskan kvävde även mer vatten för att bli blöt och börja bilda mer agglomerat. Men askan betedde sig mer som sand när den blandades med vatten och kvävekällan.

Umeå askan innehöll mycket sand och försök gjordes för att blanda askan med olika kvävekällor och vatten. Men askan bildade inte agglomerat utan behöll sin sandlika konsistens. Lignin (1%) eller restsyra (H₂SO₄ (240 g/L) och Na₂SO₄ (120 g/L) blandades även med Umeåaskan tillsammans med kvävekällan och vatten för att försöka använda det som bindemedel för att framställa kväve-askagglomerat med de förbättrade inte produktionen av agglomerat. Det kan vara att denna aska är mer lämplig att blanda med kvävekällan och vatten och sedan låta blandningen härda och producera krossaska när materialet härdat. Detta eftersom första askan som erhöles från Umeå Energi AB hade självhärdat i hinken då den hade stått några månader innan den till slut skulle användas i försöken.

Försök gjordes även för att tillföra kväve utanpå Ecoforgranulerna. Vatten måste tillföras för att lösa upp eller slamma upp kvävekällan innan den tillförs till

granulerna. Urearest löser sig inte fullständigt i vatten medan kalksalpeter är svårslösligt och kräver en större mängd vatten. Ett problem med mer vatten är att granulerna blir blöta snabbt och tar inte upp vätskan så materialet måste torkas för att kunna tillföra kvävekällan. Även om materialet torkades var det svårt att tillföra tillräckligt med kvävekälla för att uppnå 150 kg N per 2 ton torr aska som var målet i projektet. Det kan vara att man skulle kunna uppnå en större mängd kvävekälla på askgranulerna om man använder andra metoder för att tillföra kvävekällan t.ex. spraya på lösning med kvävekälla och torkning i flera omgångar.

Några andra metoder än att enbart blanda vätska och granuler följt av torkning undersöktes inte i detta projekt. I Figur 7 återfinns askgranuler där urearest har tillförts och materialet har torkats. Dock har inte tillräckligt med urearest fastnat på granulerna för att uppnå 150 kg N per 2 ton torr aska.



Figur 6. Exempel på några kväve-askagglomerat a) Boråsaska och kalksalpeter, b) Boråsaska och urearest, c) Boråsaska och ureaformaldehyde och d) Boråsaska och urearest.

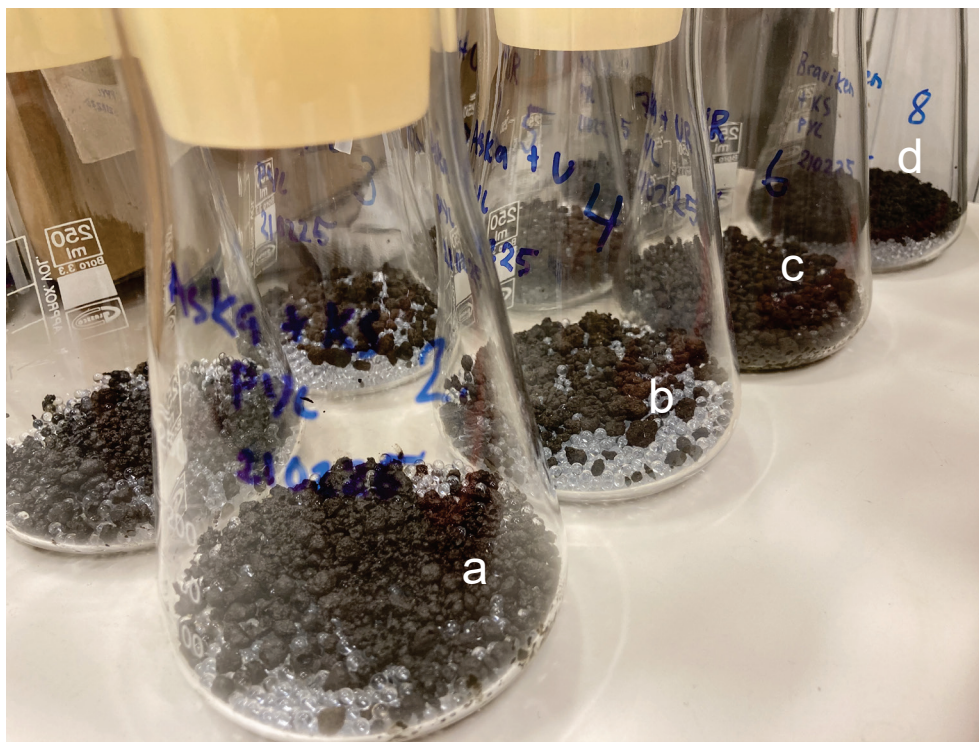


Figur 7. Ecoforgranuler tillsammans med urearest

3.2 ANALYSER AV AMMONIAKAVGÅNG PRODUCERADE KVÄVE-ASKAGGLOMERAT

Efter att ha producerat ett antal olika kväve-askagglomerat i första delen av projektet mättes NH_3 -avgången från kväve-askagglomeraten när de förvarades i förseglade E-kolvar med fuktig luft enligt Figur 8. De kväve-askagglomerat som studerades var:

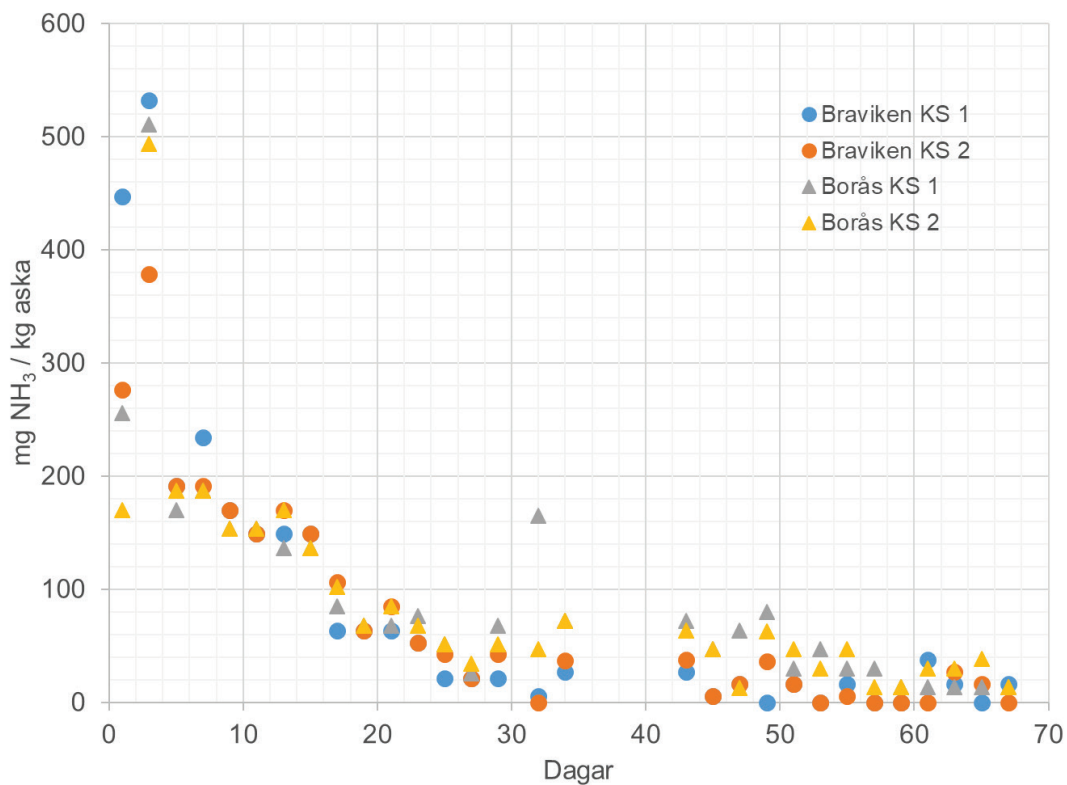
- Boråsaska med kalksalpeter
- Boråsaska med urearest
- Boråsaska med urea
- Boråsaska med syra (H_2SO_4 och Na_2SO_4) och kalksalpeter
- Bravikenaska med kalksalpeter



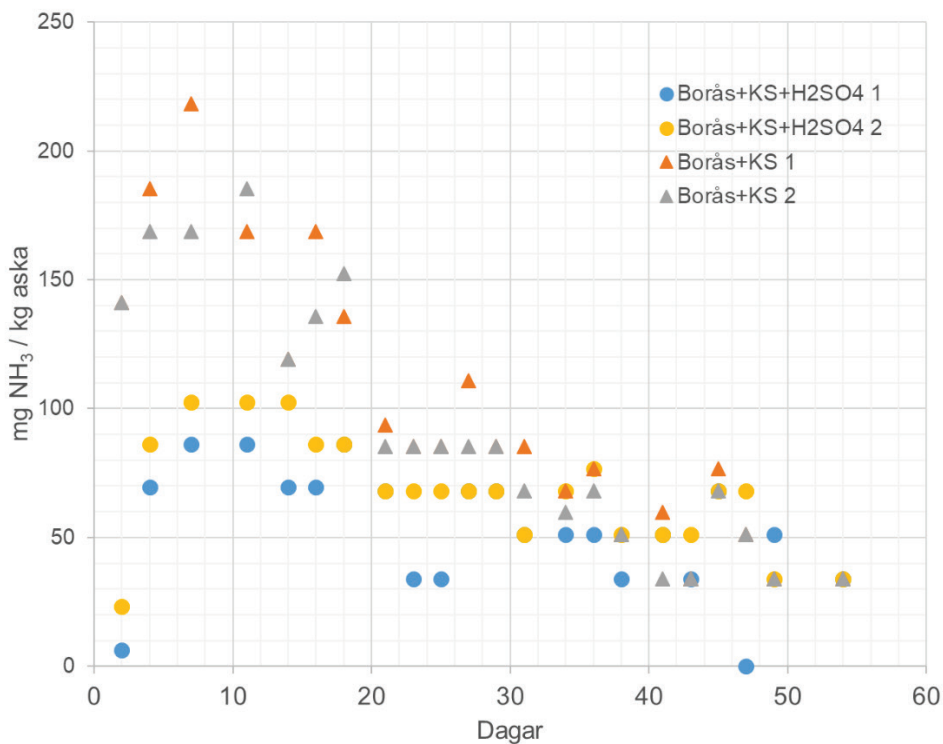
Figur 8. Kväve-askagglomerat i förseglade E-kolvar, a) Boråsaska med kalksalpeter, b) Boråsaska med urea, c) Boråsaska med urea och d) Bravikenaska med kalksalpeter.

Flaskorna förvarades vid rumstemperatur och luften inuti E-kolvorna var fuktig eftersom vatten hade tillsats under glaspärlorna i E-kolven. Man kunde dock se efter ett tag att agglomeraten var hygroskopiska och tog upp vatten från luften eftersom de blev mörkare och såg fuktiga ut. Agglomeraten ändrade inte utseende utöver att de blev fuktiga under de ca 2 månaderna som försöken pågick.

Hur mycket ammoniak som avgick från de olika agglomeraten presenteras i Figur 9 (försök 1) och 10 (försök 2). Försök 1 pågick i 82 dagar och försök 2 i 52 dagar. I Figur 9 och 10 har mängden ammoniak i luften som fanns i E-flaskan vid provtillfället räknats om så att det presenteras som mg NH_3 som avgått per kg torr aska.



Figur 9. Ammoniakavgång från kväve-askagglomerat med Boråsaska med KS och Bravikenaska med KS (kalksalpeter)



Figur 10. Ammoniakavgång från kväve-askagglomerat med Boråsaska med kalksalpeter (KS) eller Boråsaska med KS + H₂SO₄ och Na₂SO₄

Från kväve-askagglomeraten producerade från Boråsaska med urea eller urearest kunde ingen NH₃ avgång uppmätas under de ca 2 månader då försöket pågick. Man bör dock notera att ifall ammoniakavgången var väldigt låg skulle detta inte ha uppmätts utifrån den analysmetod som användes dvs. att NH₃ binds i HCl som NH₄⁺ och att man genom titrering bestämmer hur mycket HCl som utnyttjades för att binda in NH₃.

I början av försöksperioden (Figur 9) avgick mest ammoniak mellan varje provtillfälle upp till 530 mg NH₃ per kg torr aska då aska blandades med kalksalpeter. För att efter 10-15 dagar och 8 – 9 provtillfällen vara nere kring 100 mg NH₃/kg torr aska och under. Efter detta minskar sakta mängden NH₃ i provtagningsluften för att vara nere kring 40 - 0 mg NH₃ efter 54 – 67 dagar och 22 - 30 provtillfällen. Ammoniakavgången från kväveask-agglomeraten i de förslutna E-flaskorna efterliknar dock inte helt förhållandena som råder i en öppen behållare. I ett öppet kärl kan luften bytas ut runt agglomeraten och påskynda NH₃ avgången.

Utifrån hur mycket NH₃ som avgått under försök 1 och 2 beräknades hur mycket av det totala kvävet som har förlorats från kväve-askagglomeraten under försöket. Värdena för detta presenteras i Tabell 5, man bör notera att försök 2 är utförd under kortare tid än försök 1. Tillsatsen av H₂SO₄ och Na₂SO₄ vid produktion av agglomerat från Boråsaska och kalksalpeter minskade mängden NH₃ som avgick från totalt 2,3% till 1,5%. De torkade agglomeraten efter försöken visas i Figur 11.

Kjeldahlanalyser av agglomerat från Boråsaska och KS visade att mängden ammonium i agglomeraten (torrt) var 3%. Detta innebär att i princip allt kväve i form av ammonium har avgått långsamt från agglomeraten förutom för de agglomerat där H₂SO₄ och Na₂SO₄ har använts vid produktionen.

Tabell 5 Procentuellt hur mycket av kvävet i kväve-askagglomeraten som har avgetts

% total N avgång	
Försök 1	
Boråsaska med kalksalpeter	3,0 ± 0,1 %N
Bravikenaska med kalksalpeter	2,6 ± 0,2 %N
Försök 2	
Boråsaska med kalksalpeter	2,3 ± 0,1 %N
Boråsaska med kalksalpeter och H ₂ SO ₄ och Na ₂ SO ₄	1,5 ± 0,2 %N



Figur 11. Olika kväve-askagglomerat (torkade) efter alla analyser av NH_3 -avgång. a) Boråsaska och kalksalpeter, b) Boråsaska och urea, c) Bravikenaska och kalksalpeter, d) Boråsaska och urearest

3.3 AMMONIAKAVGÅNG FRÅN SKOG-CAN OCH ASKGRANULER

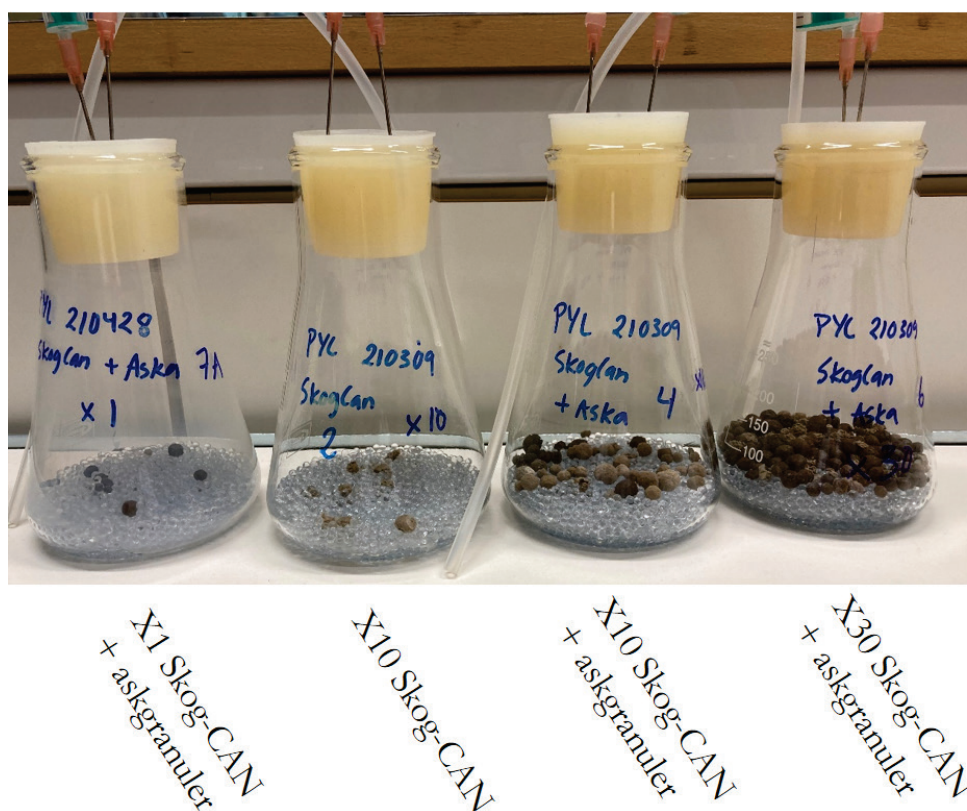
Skog-CAN innehåller till stor del ammonium (13,5%). Ammonium övergår lätt till ammoniak vid ett högt pH detta gjorde att när Skog-CAN blandades med den starkt basiska askan och vatten, bildades det mycket ammoniak så att det luktade starkt. Det var därför inte lämpligt att blanda askan direkt med Skog-CAN. Skog-CAN är i form av större granuler och brukar spridas i den formen ute i skogen för att gödsla skogsmark. För att se ifall spridning av Skog-CAN tillsammans med Ecoforgranuler på samma yta resulterar i kväveavgång gjordes även försök för att simulera en samtidig spridning på en yta i förslutna E-kolvar. För att sedan mäta hur mycket ammoniak som bildades enligt den metod som beskrivs i kapitel 2.5. E-kolvarna med både Skog-CAN och Ecoforgranuler visas i Figur 12. Det pH som uppmättes i de olika E-kolvarna med både Skog-CAN och Ecoforgranuler presenteras Tabell 6.

Olika tillsatsmängder av Skog-CAN och Ecoforgranuler studerades antingen normal tillsatts d.v.s. att 150 kg N per 2 ton torr aska tillförs per hektar (X1) eller tiogångar mer än normalt (X10) eller trettio gånger mer än normalt (X30). För att se ifall endast Skog-CAN tillförs en yta ger en kväveavgång från kvävekällan

studerades även två E-kolvar med X10 normal tillsats av Skog-CAN. Varje försök genomfördes i duplikat.

NH₃ avgång vid försöken med olika mängder Skog-CAN och Ecoforgranuler var starkt beroende på hur mycket som tillfördes till provytan. Resultaten för NH₃ avgången presenteras i Figur 13. Då X30 normal giva tillfördes var NH₃ avgången som mest uppe i 1700 mg NH₃/m² och minskade ner under 600 mg NH₃/m² på dag 82 och 35:a provtillfället. När istället X10 eller X1 normal giva tillförs var ammoniakavgången över tid mer konstant och visar ingen tydlig snabbare minskning under den tid som försöken pågick. Här var NH₃ avgången nästan alltid under 200 mg NH₃/m².

Den totala kväveavgången presenteras i Tabell 7 utifrån analyserna av NH₃ mängden i luften inuti E-flaskorna tillsammans med resultat från Kjeldahl-analyser på kvarvarande N (NH₄⁺) när försöket avslutas (i %). Skog-CAN innehåller ca 13,5% NH₄⁺.



Figur 12. E-kolvar med olika mängd SC och Ecoforgranuler vid analyser av NH₃-avgång. X1 motsvarar en normal tillförsel på 150 kg N per 2 ton torr aska per hektar, X10 motsvarar att 10 gånger men än normal giva tillförs till ytan och X30 motsvarar att 30 gånger men än normal giva tillförs till ytan.

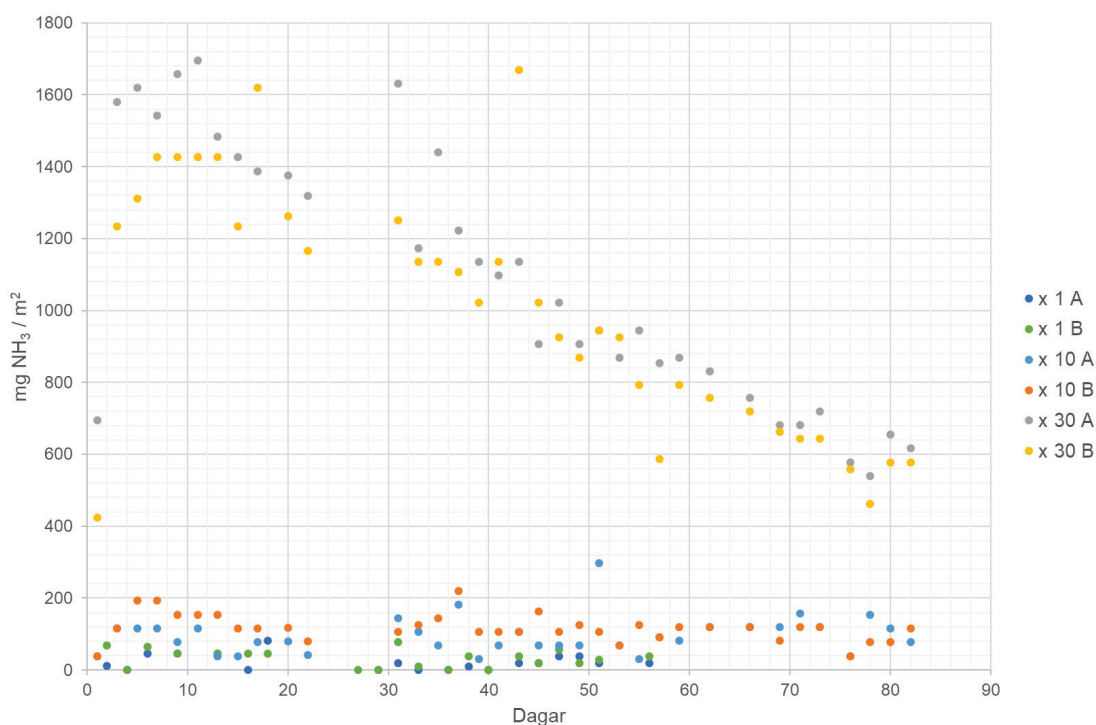
Tabell 6. PH i vätskan i E-kolvarna med olika mängder Skog-CAN och Ecoforgranuler

	pH i E-kolvar
X1	9,3
X10	9,2
X30	10,1

Tabell 7. Total N avgång i % vid olika mängder Skog-CAN och Ecoforgranuler och N kvar enligt Kjeldahl

Försök	% total N avgång	%N enligt Kjeldahl ¹
X1 Skog-CAN	0,0 ± 0,1 %N	11,7 ± 0,5
X1 Skog-CAN och Ecoforgranuler	2,7 ± 1,0 %N	9,8 ± 1,1
X10 Skog-CAN och Ecoforgranuler	2,5 ± 0,4 %N	10,3 ± 0,4
X30 Skog-CAN och Ecoforgranuler	8,1 ± 0,5 %N	6,7 ± 0,1

¹ Kvarvarande N (NH_4^+) när försöket avslutas i % analyserat enligt Kjeldahl.



Figur 13. NH_3 avgång när olika mängder Ecoforgranuler och Skog-CAN tillförs till förseglade E-kolvar. X1 motsvarar en normal tillförsel på 150 kg N per 2 ton torr aska per hektar, X10 motsvarar att 10 gånger men än normal giva tillförs till ytan och X30 motsvarar att 30 gånger men än normal giva tillförs till ytan.

3.4 KVÄVEAVGÅNG VID TORKNING

Några försök gjordes även för att se ifall det gick att uppmäta någon NH_3 avgång vid torkning vid 50 °C från kväve-askagglomeraten. Resultaten presenteras i Tabell 8. I tabellen presenteras hur mycket kväve (%) kväve-askagglomeraten innehöll före och efter torkning (Kjeldahlanalyser). Ett problem var att agglomeraten innehöll vatten och för att analysera mängden kväve i materialet måste agglomeraten även torkas så att man får %N i det torra materialet. Så resultaten gav inte så klara svar på ifall torkning innebär en NH_3 avgång. Ett bättre alternativ skulle vara att studera ammoniakavgången från materialet.

Tabell 8. Mass% N enligt Kjeldahl som finns i de torra agglomeraten

Agglomerat:	Före torkning	Efter torkning
Borås + kalksalpeter + H_2SO_4	2,6 ± 0,1	3,2 ± 0,1
Borås + kalksalpeter	2,8 ± 0,2	3,4 ± 0,6
Borås + urea	7,3 ± 0,1	7,0 ± 0,2
Borås + urearest	6,7 ± 0,0	7,3 ± 0,0
Braviken + kalksalpeter	2,9 ± 0,1	3,2 ± 0,4

3.5 KOSTNAD FÖR KVÄVEKÄLLA OCH SPRIDNING AV KVÄVE-ASKAGGLOMERAT

En kostnadsuppskattning för inköp av de olika kvävekällorna för att producera de olika kväve-askagglomeraten presenteras i Tabell 9. Prisuppgifterna erhöles genom att kontakta återförsäljare, användare eller producent för de olika kvävekällorna. Kostnaden per hektar tar endast hänsyn till priset för kvävekällan vid den aktuella tidpunkten utifrån en viss leverantör, den tar inte hänsyn till produktionskostnaden för kväve-askagglomeraten, transporter, spridning i skogen eller eventuell lagring m.m. Tabell 10 presentera kostnaderna för att sprida kväve-askagglomeraten och den totala kostnaden för kvävekällan och spridning.

Tabell 9. Ungefärlig kostnad för de olika kvävekällorna

Kvävekälla	SEK/kg	SEK/ha ¹	Källa (Tidpunkt för priset):	Producent
Urea	3,15	1010	Swedishagro (April 2021)[9]	YARA AB
Urearest	1,5	680	Bonde i Tranemo kommun (April 2021) [10]	MBP Solutions
Kalksalpeter	1,96	1900	Swedishagro (April 2021)[9]	YARA AB
Skog-CAN	3,0 - 3,5	1670-1940	YARA AB (Augusti 2021)[11]	YARA AB

¹ Kostnaden per hektar är beräknat utifrån att 150 kg N sprids per hektar tillsammans med 2 ton torr aska och avrundade till närmaste 10 SEK.

Kostnaderna är uträknade per hektar skogsmark utifrån att 150 kg N sprids per hektar. Enligt tabell 9 har urearest det lägsta priset på 680 SEK per hektar. Att använda ren urea var ca 50% dyrare dvs ca 1000 SEK per hektar. Dyrast var kalksalpeter och Skog-CAN på 1900 SEK eller mellan 1670 – 1940 SEK per hektar. Detta ger endast en indikation på priset för de olika kvävekällorna eftersom priset kan variera en hel del beroende på säsong, tillgänglighet, hur mycket som köps in och från vilken återförsäljare man köper ifrån.

Kostnaden för att sprida kväve-askagglomerat i skogsmark är ca 500 - 600 SEK/ton inklusive framkörning och lastning vid markspredning om samma maskiner som för skogsgödsling kan användas för att sprida kväve-askagglomeraten. Vid spridning med helikopter är kostnaden ca 1300 – 1500 SEK/ton inklusive framkörning och lastning. Kostnadsuppgifterna är erhållna från Holmen Skog AB oktober 2021 [12].

Tabell 10. Ungefärlig kostnad för spridning och total kostnad för kvävekälla och spridning

Kvävekälla i kväve-askagglomerat	Ton/ha ¹	Markspredning SEK/ha ^{2,3}	Helikopter-spredning SEK/ha ^{2,4}	Total kostnad kvävekälla och markspredning SEK/ha ^{2,5}	Total kostnad kvävekälla och spridning med helikopter SEK/ha ^{2,6}
Urea	2,32	1150 - 1400	3000 - 3500	2200 - 2400	4050 - 4500
Urearest	2,45	1250 - 1450	3200 - 3700	1900 - 2150	3850 - 4350
Kalksalpeter	2,97	1500 - 1800	3850 - 4450	3400 - 3700	5750 - 6350
Skog-CAN	2,56	1300 - 1550	3300 - 3850	2950 - 3500	5000 - 5800

¹ Representerar hur mycket kväve-askagglomerat som ska spridas per hektar skogsmark. Uträkningarna är gjorda utifrån att 2,0 ton torr aska (Boråsaska) och 150 kg N (utifrån kväveinnehållet i de olika kvävekällorna) sprids per hektar.

² Kostnaden är avrundad till närmaste 50 SEK.

³ Den lägsta kostnaden representerar den lägsta kostnaden vid markspredning dvs. 500 SEK/ton kväve-askagglomerat och dyraste kostnaden 600 SEK/ton kväve-askagglomerat.

⁴ Den lägsta kostnaden representerar den lägsta kostnaden vid spridning med helikopter dvs. 1300 SEK/ton kväve-askagglomerat och dyraste kostnaden 1500 SEK/ton kväve-askagglomerat.

⁵ Den lägsta kostnaden representerar den lägsta kostnaden vid markspredning dvs. 500 SEK/ton kväve-askagglomerat och dyraste kostnaden 600 SEK/ton kväve-askagglomerat tillsammans med kostnaden för kvävekällan.

⁶ Den lägsta kostnaden representerar den lägsta kostnaden vid spridning med helikopter dvs. 1300 SEK/ton kväve-askagglomerat och dyraste kostnaden 1500 SEK/ton kväve-askagglomerat tillsammans med kostnaden för kvävekällan.

Hur mycket kväve-askagglomerat som behöver spridas i skogen är beräknat utifrån att 2,0 ton torr aska tillsammans med 150 kg N ska spridas per hektar skogsmark. Eftersom de olika kvävekällorna innehåller olika vikt% N kvävs olika mängd kväve-askagglomerat per hektar enligt Tabell 10. I Tabell 10 presenteras kostnaden för att sprida kväve-askagglomeraten antingen med markspredande maskiner eller med helikopter, den totala kostnaden för kvävekälla, spridning, framkörning och lastning är även framräknad. Den totala kostnaden för kvävekälla, spridning, framkörning och lastning är lägst för kväve-askagglomerat med urearest. Att använda urea kostar lite mer medans kalksalpeter är dyrt och Skog-CAN är något billigare än kalksalpeter.

Spridning med helikopter är mer än dubbelt så dyrt jämfört med spridning med markspredande fordon. Nackdelen med markspredande fordon är dock att de inte kan ta sig fram i alla skogsmarker och kan orsaka skador på både mark och träd. Dessa problem har man inte vid spridning med helikopter.

4 Slutsatser och fortsatt arbete

- Försöken i denna studie visar att man förhållandevis enkelt kan få fram kväve-askagglomerat när en lämplig aska och kvävekälla används tillsammans med vatten. Det räcker med att blanda aska och kvävekälla och tillsätta vatten tills det får en degliknande konsistens i sista steget tillförs mer aska för att få fram agglomeraten.
- Kvävekällor som innehåller en stor andel ammonium resulterar i att mycket ammoniak frigörs eftersom askan är starkt basisk. Kalksalpeter, urea rest och urea gav de bästa agglomeraten utan att mycket ammoniak frigjordes tillsammans med flygaska från Borås Energi och Miljö AB.
- Genom att istället för vatten tillsätta en syralösning med H_2SO_4 och Na_2SO_4 när agglomeraten skulle beredas kunde man minska ammoniakavgången från agglomeraten.
- Från de agglomerat som innehöll urea eller urearest kunde ingen NH_3 avgång uppmätas då de förvarades i en försluten E-kolv med fuktig luft. När kalksalpeter användes som kvävekälla frigjordes NH_3 som var i form av ammonium gradvis. I princip all ammonium hade frigjorts när försöken avslutades efter ca 2 månader.
- Ett alternativ istället för att blanda askan med kvävekällan är att sprida ut dem var för sig. Därför gjordes försök där olika givor av Skog-CAN och askgranuler från Ecofor AB tillfördes till slutna E-kolvar. NH_3 avgången uppmättes sedan med jämna mellanrum. Resultaten visade att vid väldigt höga givor (30 gånger normalt) bildas mycket NH_3 som sedan klingade av med tiden medan för normala givor och upp till 10 gånger den normala givan gav en mer konstant NH_3 avgivning.
- Skogsmark har en buffrande förmåga som gör att pHt inte ökar så mycket på den yta där aska sprids, det betyder att kväveavgången troligtvis är mindre ute i skogen än vid försöken i de förseglade E-kolvarna. Dock motverkas kväveavgången av att E-kolvarna är förseglade och luften därmed inte kan ta med sig den avgivna NH_3 och där med påskynda att NH_3 avges från agglomeraten.
- En möjlig fortsättning på detta projekt skulle vara att producera en lite större mängd av de mest lämpliga kväve-askagglomeraten och sedan testa att tillföra dessa i fältförsök till mindre trädplantor för undersöka hur de olika agglomeraten påverkar trädens tillväxt. Samtidigt skulle man kunna studera hur markvegetationen påverkades och hur markkemi och vattnen påverkas i närheten.

5 Referenslista

1. Bjurström H. och R. Sjöblom, Behandling av aska från biobränslen för spridning på skogsmark – etapp 1. 1997. Stiftelsen för värmeteknisk forskning, Miljöteknik 605. (ISSN 0282- 3772)
2. Karlton E., et al., Wood Ash Recycling – Possibilities and Risks, in Sustainable Use of Forest Biomass for Energy: A Synthesis with Focus on the Baltic and Nordic Region, D. Röser, et al., Editors. 2008, Springer Netherlands: Dordrecht. p. 79-108
3. Drott A., S. Anderson, och H. Eriksson, Regler och rekommendationer för skogsbränsleuttag och kompensationsåtgärder (Kunskapsunderlag). 2019, Skogsstyrelsen.
4. Zetterberg T., Hellsten S., Belyazi, S., Karlsson P.E. och Akselsson, C. Regionala förutsättningar och miljörisker till följd av skogsmarksgödsling vid olika scenarier för skogsskötsel och kvävedeposition – modellerade effekter på kväveupplagring, biomassa, markkemi, 2006, IVL Svenska Miljöinstitutet, rapport B1691.
5. Näslund B-Å, 2015:2 Skogsmarksgödsling med kväve - Kunskapssammanställning inför Skogsstyrelsens översyn av föreskrifter och allmänna råd om kvävegödsling, 2015, Skogsstyrelsen
6. Mikkelsen R., Ammonia emissions from agricultural operations: fertilizer.Better Crops with Plant Food, 2009. 93(4): p. 9-11.
7. Ylittervo P., Pettersson A., Rapport 2020:652 Kombinerad kväve- och bioaskegödsling av skogsmark, Energiforsk – Askprogrammet, 2020, p. 1-39
8. Drott A., Anderson S., Eriksson H., RAPPORT 2019/14 Regler och rekommendationer för skogsbränsleuttag och kompensationsåtgärder (Vägledning), 2019, Skogsstyrelsen.
9. Swedishagro. Personlig kontakt. Prisuppgift för urea och kalksalpeter. April 2021
10. Bonde i Tranemo kommun. Personlig kontakt. Prisuppgift urearest. April 2021.
11. YARA AB. Personlig kontakt. Prisuppgift för Skog-CAN. Augusti 2021.
12. Holmen Skog AB. Personlig kontakt. Ungefärliga prisuppgifter för spridning av granuler till skogsmark via markspridning eller helikopter inkluderat framkörning och lastning. Oktober 2021.

KVÄVEBERIKNING AV TRÄASKA FÖR SKOGSÅTERFÖRING

I rapporten redovisas resultat för när olika flygaskor och kvävekällor har kombinerats för att producera kväve-askagglomerat. Den kombinationen gör det möjligt att tillföra både kväve och aska samtidigt till skogsmark för att på så sätt få en tillväxtökning hos träden på kvävebegränsade marker. Ammoniakavgången från de här kväve-askagglomeraten har även studerats under en längre tid för att se hur mycket kväve som förloras till luften. Försök gjordes även för att se hur mycket ammoniak som avgår då Skog-CAN och aska tillförs samtidigt i granulform utan att blanda ihop materialen.

Det var förhållandevis lätt att producera kväve-askagglomerat med flygaska från Borås Energi och Miljö AB kombinerat med antingen kalksalpeter, urea eller urearest. Försöken visade även på en ganska långsam ammoniakavgång från de studerade materialen.

Ett nytt steg i energiforskningen

Energiforsk är en forsknings- och kunskapsorganisation som samlar stora delar av svensk forskning och utveckling om energi. Målet är att öka effektivitet och nyttiggörande av resultat inför framtida utmaningar inom energiområdet. Vi verkar inom ett antal forskningsområden, och tar fram kunskap om resurseffektiv energi i ett helhetsperspektiv – från källan, via omvandling och överföring till användning av energin. www.energiforsk.se



Energiforsk