

KOMBINERAD KVÄVE- OCH BIOASKEGÖDSLING AV SKOGSMARK

RAPPORT 2020:652



Kombinerad kväve- och bioaskegödsling av skogsmark

En litteraturstudie

PÄIVI YLITERVO OCH ANITA PETTERSSON

ISBN 978-91-7673-652-4 | © Energiforsk februari 2020

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

Förord

Denna rapport är slutrapportering av projekt 2019–012 *Kväveberikning av bioaskor för skogsgödsling - en litteraturstudie* 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.

Projekten har sammanställt vilka studier som tidigare gjorts inom området att kombinera askor med kväve och ta fram en lista för vilka möjliga kvävekällor som kan användas i kommande experiment där askor kombineras med kväve.

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

Projektet har följts av en referensgrupp bestående av Stefan Anderson, Skogsstyrelsen och Jörg Brücher, Holmen.

Stockholm januari 2020

Helena Sellerholm
Områdesansvarig
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

Näringsuttaget från skogen vid träbränsleuttag kan kompenseras genom att återföra aska till marken. Skogar i norra Sverige är dock främst tillväxtbegränsade av kväve som inte finns i askor. I dessa fall behöver askorna kombineras med en kvävekälla för att få en ökad trädttillväxt. Genom att tillföra aska och en kvävekälla kan man både gödsla med kväve för att få en tillväxtökning och återföra de näringsämnen som försvinner vid avverkning och grot-uttag (helträdsuttag) plus motverka försurning av skogsmarken.

Näringsuttaget från skogen vid träbränsleuttag kan kompenseras genom att återföra aska till marken. På marker med kvävebegränsning innebär inte en tillförsel av aska någon ökning av trädttillväxten men det kan säkra skogens långsiktiga produktionsförmåga. Oftast sker tillförseln av kväve och aska i samband med gallring eller avverkning. På områden med kvävebegränsning måste spridning av askor kombineras med tillförsel av kväve som gödslingsmedel för att öka trädttillväxten. Om något annat näringsämne är tillväxtbegränsande i skogen, behöver detta tillföras för att få en tillväxtökning.

Fältstudier visar att trädttillväxten kan öka upp till 100% på områden där det tillförts både kväve och aska jämfört med kontrollbestånden. I ett antal fältstudier presenteras ungefär samma tillväxteffekt när både kväve och aska tillförs till skogsmark som vid enbart kväve tillförsel medan andra studier presenterar en mindre tillväxteffekt då både kväve och aska sprids i skogsmarken jämfört med enbart kväve. Den lägre tillväxteffekten beror troligtvis på att ammoniakavgång i vissa fall sker när askor och kvävegödsel sprids samtidigt till skogsmarken. Vissa studier rekommenderar att aska och kväve tillförts vid separata tillfällen men en samtidig spridning är ekonomiskt fördelaktig.

Spridning av aska och kväve kan öka antalet ammonifierande, nitrifierande och denitrifierande mikroorganismer i skogsmarken. Det är både positivt och negativt eftersom ammonifierare och nitrifierare kan leda till ökad kvävemineralisering medan denitrifierare kan öka kväveförlusten. De denitrifierande mikroorganismerna var dock i numerärt underläge jämfört med de ammonifierande som var ca 500 gånger fler.

Tillförsel av aska och kväve till marken ökar markens innehåll av baskatjoner som främst härrör från askans innehåll av baskatjoner som kalcium och magnesium. Resultaten varierar när det gäller trädttillväxt, markegenskaper m.m. för fältstudier vid kombinerad kväve och asktillförsel. Det kan bero på olika klimatförhållanden, olika trädslag och på att skogsmark inte är en homogen marktyp. Insamlad data från skogsmarken har även i många fall "naturligt" stora variationer. Svårigheter i att dra slutsatser utifrån resultaten kan även bero på att olika asktyper har använts (ohärdad, härdad och granulerad, pelletterad eller krossaska) och/eller att näringsinnehållet varierat i olika askor och även att olika kvävekällor har använts.

Summary

The removal of nutrients from the forest upon wood fuel harvesting can be compensated by recirculation of ash to the woodland. However, forests in northern Sweden are mainly growth limited by nitrogen which is not present in ashes. In these cases the ashes need to be combined with a nitrogen source in order to increase the wood growth. By supplying ashes together with a nitrogen source it is possible to both fertilize with nitrogen to get an improved growth and to return the nutrients which has disappeared by tree felling and whole tree removal. It also counteracts acidification of the forest floor.

The removal of nutrients from the forest upon wood fuel harvesting can be compensated by recirculation of ash to the woodland. On soils with nitrogen limitation an addition of ashes will not result in increased tree growth but can secure the long-term capacity of the forest. Often nitrogen and ashes are added after thinning or disforestation has taken place. On areas with nitrogen limitation, distribution of ashes needs to be combined with nitrogen in order to get an increased tree growth. If some other nutrient is growth limiting it needs to be supplied to the forest to increase growth.

Field studies show that tree growth can increase up to approx. 100% on areas where both nitrogen and ash is compared with control areas. In a number of field studies, about the same growth effect is presented, both for trials with nitrogen and ash addition to wood land as with only nitrogen. Whereas other studies show lower growth effect when both nitrogen and ash is spread in the woodland compared to only nitrogen. The lower growth effect is probably caused by that ammonia is lost in some cases when ash and nitrogen is spread at the same time. Some studies recommend that ash and nitrogen should be supplied at separate occasions. Simultaneous spreading is although preferred for economic reasons.

Spreading ash and nitrogen can increase the number of ammonifying, nitrifying and denitrifying microorganisms in the forest soil. This is both positive and negative since ammonifiers and nitrifiers can result in enhanced nitrogen mineralization whereas denitrifiers increase the nitrogen losses. However, the denitrifying microorganisms were much lower in number compared with the ammonifiers that where approx. 500 times more.

The addition of ash increases the soils content of base cations which mainly originates from the ashes content of calcium and magnesium. The results on tree growth, forest floor characteristics etc. varies in field studies at combined ash and nitrogen supply. This can be because of different climatic conditions, different tree species and that woodland is not a homogenous soil type. Data collected from forest do also "naturally" have a large variation. Difficulties in drawing conclusions from the results can also be caused by usage of different ash (unhardened, hardened and granulated, pelleted or crushed ash) and/or that the nutrient composition vary between ashes and because of different nitrogen source.

Results in English

Today large quantities of wood biomass are used as fuel in order to produce renewable and carbon dioxide neutral heat and electricity. This also means that vast amounts of ashes are generated. In order to have a sustainable utilization of wood biomass for fuel, the nutrients removed with the biomass needs to be compensated by recycling the ash back to the forest. In this summary the effects on the forest of combined spreading of nitrogen and ash will be presented. The sections in this part are separated in effects on wood growth, chemical properties of the forest floor, microorganisms and vegetation.

EFFEKTS ON WOOD GROWTH

Mineral soil is usually low in nitrogen which limits the wood growth. Ashes normally contain very little nitrogen meaning that spreading ashes on this kind of soil without any addition of nitrogen will have little effect on the forest growth [1, 2].

A pertinent question is therefore if one should supply both ash and nitrogen to these fields in order to increase the wood growth. Different studies present different growth results when they have combined nitrogen and ash fertilization. Some studies show that there is no growth difference on areas which have been nitrogen fertilized or where ash and nitrogen has been supplied together according to Jacobson et al. (2003) [3] and Saarsalmi et al. (2010) [4]. Other show that combined nitrogen and ash addition results in a lower growth than when only nitrogen was supplied [2, 5]. A study conducted in Finland, present that adding both ash and nitrogen gave a more prolonged growth effect than if only nitrogen was added. This indicates that on this type of soil (mineral soil in boreal forest) it is optimal to both supply nitrogen and ash in order to increase the tree growth [6]. Further studies showed that the increased growth can be caused by changes in the nutrients in the soil and the microbial processes related to the coal and nitrogen recirculation [7].

The balance between nitrogen access and other nutrients plays an important part for the wood growth [4, 8]. But also the deposition (of mainly nitrogen), weather conditions and the areas fertility etc. influence the tree component growth [3, 9].

A study by Ingerslev and Hallbäck [10] showed that trees which did not suffer from nutrient deficiency did not produce much more biomass when they were fertilized with NPK (fertilizer with nitrogen, phosphor and potassium). In an another study by Saarsalmi et al. (2004) [1] it was observed that when only ashes was supplied, one did not gain any increased volume growth fore pine during a period of 5 years. But when 3 ton ash and 150 kg nitrogen per hectare was added this resulted in a growth increase of 42 to 71 % [1]. Different studies have measured the growth of different parts of the tree [1, 2, 7, 11].

One study focused on the observation of the amount of biomass present in the crown biomass. No significant differences on the amount of crown biomass was observed three growth seasons after addition when ash (5 ton/ha), nitrogen (180 kg N ammonium nitrate/ ha) or a combination of nitrogen and ash (180 kg N + 2.5 ton ash /ha) was supplied (all three different cases are compared). The amount of biomass had increased to 16.5 kg in the tree crowns grown on area supplied with both nitrogen and ash compared with control areas where the total tree crown biomass was 12.5 kg. It was also observed that the mass for the current and the one year old needles and shoots increased when only nitrogen and nitrogen combined with ash were supplied to the area. However, it was not possible to see any significant effect of the ash addition. Older needles were not affected by the treatment [11].

Basal area increment increased with at the most 70 – 100 % in trees when 185 kg nitrogen/ha was spread together with either 1, 2.5 or 5 ton ash/ha. The best effect was obtained with nitrogen and 2.5 ton ash/h, next best result with nitrogen and 1 ton ash/ha. After 30 years the positive effect of ash and nitrogen fertilization on the tree growth was ceased. The same study showed that addition of nitrogen and 5 ton ash/ha gave a lower basal area increment. The cause if the lower effect could not be ascertained in the study but the scientists mentioned that the dose of ash should not have caused any negative effects [6]. In another study where one compared to supply ash and nitrogen together (150 kg/ nitrogen and 3 ton/ha ash) with nitrogen only, no difference in stem growth (pine) was seen after 5 years [3]. No difference was seen either when 150 kg nitrogen/ha and 3 ton ash/ha was spread in forest with pine and spruce in a 15 year study [12].

In a study in Munkfors (Sweden) where whole-tree thinning (all thinning waste was removed) was conducted and then 150 kg nitrogen (ammonium nitrate) and 500 kg ash per hectare was supplied to the area a lower growth effect was obtained than when only nitrogen was supplied. The basal area increment was although up to 60% higher for stands supplied with nitrogen and ashes after thinning compared with stands that were only thinned. In areas where only nitrogen was added the growth increased with up to 80% compared to control areas [5]. The author discussed the lower growth effect in the areas where both ash and nitrogen was supplied and referred to an older study made by Persson (1990) [13] which state that high ash doses can negatively affect the trees rot development. However, the ash dose in Munkfors was low (500g/ha) and the author stated instead that the lower growth effect probably was caused by ammonia released when alkaline ash was spread together with the ash. It was also noted that it smelled ammonia during the spreading [5].

According to Persson (1991) one should for combined nitrogen and ash fertilization wait one or a couple of years after nitrogen fertilization before spreading ash in order to minimize ammonia release and lowered growth effect [13]. Since ashes have a high pH there is a risk that ammonia will be released when both ash and ammonium nitrate fertilizer is added at the same time. In a study conducted by Jacobsen (2003) it was observed that nitrogen was lost in the form of ammonia which lead to a lower growth effect on one of the field studies and no difference on areas there both nitrogen and ash was supplied [3]. How much nitrogen that is lost

depend partly on the weather condition during spreading [14], and. Fertilizing with urea or ammonium nitrate containing fertilizer there is a risk of losing nitrogen in the form of ammonia. the factors which benefits ammonia release is high temperature, high pH in the ground, low levels of clay and organic material in the ground and no rain after spreading (or that it is first wet and thereafter dry) [15].

Saarsalmi et al. (2010) measured a clear increase in the yearly basal area increment for both spruce and pine areas the first 6 to 8 years after spreading ashes (well burned bark ash, 3 ton/ha) and nitrogen (ammonium nitrate, 150 kg/ha) compared to control areas. After 8 years there was no difference in basal area increment in pine areas compared to control. For areas with spruce the growth was slightly higher than control areas after 8 years but almost the same the following years. Still 15 years after spreading ash and nitrogen the forest floor was less acidic and there was higher level of base cations in the humus layer and sometimes also in the mineral layer [4]. In several other studies it has been shown that addition of ash decrease the acidity in the organic layer [16-19]. If only nitrogen is supplied the acidity of the forest floor is not affected in most cases. However, on areas with high nitrogen levels like in south west Sweden the acidity can be increased upon addition of nitrogen. For example in a study of the pH in the soil solution deeper down in the ground the pH fell 0.4 pH-units when both crushed ash and nitrogen was supplied compared with the control. No major pH difference was seen between areas which were supplied with nitrogen and for those supplied with ash and nitrogen the following years, the pH increased again [20].

When fertilizing with both nitrogen and ash it is important to choose the spreading occasion with care. Skogsstyrelsen have also pointed out that during simultaneous spreading of ash and nitrogen in forest it is important to make sure that it do not cause ammonia release [21].

BASE CATIONS AND NUTRIENTS

A relevant question formulated by Karlton et al. (2008) [22] is if nutrient extraction from the forest will impoverish and acidify the woodland. Based on a study performed by Akselsson et al. [23] Skogsstyrelsen have assessed that a biomass withdrawal result in an net loss of base cations from the forest when the removal of biomass correspond to half a ton dry ash per cycle. When the removal is higher than half a ton it needs to be compensated with mineral fertilizer or ash addition [24, 25].

By recycling ash to the forest it is possible to compensate for the loss in base cations and counteract acidification of the woodland when whole trees are harvested. By suppling 3 ton ash/ha the amount of extractable (plant available) calcium, magnesium and phosphor from the ground increased in both trials with spruce and pine areas, for trials on spruce also potassium increased in the organic layer 15 years after spreading [4].

Addition of urea (280 kg/ha) and ash had no significant effect on the chemical properties in the humus layer or the C/N ratio [12]. Not either in trials performed by Clark et al. (2018) were 150 kg/ha ammonium nitrate and 3 ton ash/ha was

supplied there were any difference in the C/N ratio between different treatments [26]. But combining ash and nitrogen sharply increased the nitrogen mineralization one year after the addition. The nitrogen addition initially increased the acidity of the area and the CEC (cation exchange capacity). There were no clear effects on the foliar nutrient composition [12].

The parameters which describe the soils acidity are pH, CEC (cation exchangeable capacity), BS (base saturation) and EA (exchangeable acidity). CEC is the amount of exchangeable cations which the soil can hold per gram dry soil at a certain pH and which can be exchanged with the soil solution. BS describe how large part (%) of the exchangeable cations which consists of base cations (calcium, potassium, magnesium and sodium). EA describe the amount of acidic cations i.e. aluminum ions and hydrogen ions in the soils cation complex [26].

When ash or ash together with nitrogen is supplied to the forest floor both pH, CEC and BS increases whereas EA decrease in the humus layer (two years after spreading) [26] in accordance with other studies [7, 12, 16]. Standard deviation for measurements on different parameters in the soil are usually large which probably is caused by natural variations in geologie, temperature, moisture and access to light within the sample areas. The addition of only nitrogen does not have any significant effect on the pH, EA, CEC and BS [7, 26].

The relationship between ash addition and individual nutrient concentrations vary e.g. potassium form easy soluble salts [27] which was also shown in a study where the K concentration in the humus layer increased linear with the amount of ash spread in the area. The concentration in the ground was more or less stable for each ash dose. The potassium ion, K^+ , has lower adsorption energy since it is monovalent and has a rather large ionic radius. Therefore it should compete less with the two valent and smaller Ca^{2+} and Mg^{2+} [12]. The concentration of K, Ca and Mg, in the humus layer has been shown to increase linear which the amount of added ash. In the study the amounts were investigated at 0, 2 and 8 ton ash/ha 1, 2 and 5 years after addition. In the same study the acidity of the humus layer decreased with increasing amount of ash [12].

Ca^{2+} is the most occurring base cation in the ash and is found mainly in the form of $CaCO_3$ (which is formed when the ashes comes in contact with CO_2 and water). The solubility of $CaCO_3$ increase exponentially with lowered pH. Mg is formed from Mg oxides which are chemically stable [27]. The addition of ash has a alkalizing effect which is preserved for a long time [6].

A study of the concentrations of nutrients and heavy metals in the humus layer 10 years after spreading of ash (3 ton/ha) and nitrogen (150 kg/ha ammonium nitrate and lime) showed increased levels of Ca, K, Mg, P, B, Cd, Mn, Ni and Zi compared to control areas [16].

Saarsalmi et al. (2010) [4] showed that addition of ash and nitrogen significantly increased pH and lowered the EA in the organic soil layer 15 years after spreading. CEC as well as BS increased in the organic soil layer in both field trials with spruce and pine and also in the mineral soil layer (5-10 cm) in the pine areas. There was no difference in nitrogen concentration or C/N ratio in the different soil layers 15 years after spreading [4].

Measurements of the NH_4^+ and NO_3^- concentrations in the soil solution on 50 cm depth showed elevated concentrations one year and almost two years after spreading either only nitrogen or nitrogen and 3 ton/ha of crushed ash. This shows that some of the added nitrogen travelled deeper down in the ground with the soil solution. When crushed ash was supplied to the forest it resulted in an increased leaching of K, Ca, Cd and SO_4^{2-} . There was a relationship of increased leaching of different elements with increasing ash dose [20].

FOREST FLOOR PH

The forest floor is acidified when the tree takes up nutrients. For each positively charged “nutrient ion” the tree takes up, a hydrogen ion is released in order to maintain charge balance in the ground. The tree growth thereby makes the ground more acidic. When the tree dies the biomass is slowly decomposed and upon complete decomposing the same amount of hydrogen ions has been consumed as produced during its growth. This results in an increased pH in the humus layer. If the biomass instead is removed from the forest it results in that the acidification that occurred when the tree has grown will be permanent since the biomass is removed instead of being degraded [28].

Addition of ash increases the pH in the forest floor particular in the upper layers. How much the pH increase, depends on the ash dose and which type of ash is spread [1, 10, 29]. A compilation made by Egnell et al. (1998) [30] on conducted field studies where ash was spread in accordance with Skogsstyrelsens ash recommendations (max 3 ton ash/ha) showed that the pH increase in the humus layer occur the next few years after spreading. How much the pH increase varies between 0.4 – 1.4 pH units for loose ash and 0.4 – 0.6 pH units for crushed ash and 0 – 0.6 pH units for granulated ash. The compilation is based on field studies where the effect has been studied as far as approx. 10 years after ash spreading [30].

MICROORGANISMS

The microorganisms in the ground can be affected when ash is spread in the forest. It has been shown that addition of ash and the combination of ash and nitrogen can increase the number of ammonifying, nitrifying and denitrifying microorganisms in the forest floor, as discussed above. Ozolinčius (2006) [31] showed that the number of microorganisms for all three microorganism groups increased three months after adding 2.5 and 5 ton ash per hectare and also when 2.5 ton ash and 180 kg nitrogen per hectare was supplied. As an example the number of ammonifying microorganisms in the forest floor increased from approx. 20 miljon/g sample to approx. 200 miljon/g when 5 ton/ha was added and to approx. 120 miljon/g with both ash and nitrogen. The number of nitrifying microorganisms increased 6 to 7 times and the denitrifying microorganisms increased 40 to 60 times when 5 ton ash/ha or ash and nitrogen was supplied compared with control areas. The number of microorganisms was although low and the number of nitrifying microorganisms increased from approx. 200/g to 1500/g and the denitrifying microorganisms from approx. 5000/g to 240 000/g when ash and nitrogen was supplied [31].

This clearly shows that nitrogen fertilization together with ashes may result in loss in nitrogen because denitrification can occur. Addition of ash can thereby influence the biological processes in the forest floor positively and negatively. An increased number of ammonifying and nitrifying microorganisms can be beneficial because of increased nitrogen mineralisation. While an increased number of denitrifying microorganisms can be negative because of increased nitrogen losses. However, the number of ammonifying and nitrifying microorganisms are much larger than the denitrifying [31].

GROUND VETETATION

Studies with ash supply show that the composition of the ground vegetation can be changed considerably when loose ash is spread in the forest at large doses, > 5 ton/ha. Rühling (1996) specify that adding loose ash will favor neutrophil species such as raspberry and dandelion which only occurred on areas where ash had been supplied [32]. In some cases loose ash can also disfavor mycorrhiza fungi mycelial growth and fruit body formation. Mosses can be extensively damaged already at low doses especially when loose ash or badly hardened ash is used. Today it is banned to spread unhardened ash in the forest according to the 12 chapter 6 § in Miljöbalken samråd. Some moss types are particular sensitive e.g. dicranum. Lichen in turn is less sensitive or insensitive. To avoid burns caused by the ash it can be pelleted or granulated before spreading [30].

Spreading nitrogen and ash to the forest has been shown in field studies to lower the amount of fine root biomass in the ground. Particularly roots with a diameter less than 1 mm were affected. It has also been shown that the necromass (dead root biomass) tended to be higher on areas where ash and nitrogen was spread than on control areas (the increase was although not significant because varying results on the sample areas) [16].

Table 1 present a summary of results from field studies where both ash and nitrogen has been added to the forest floor. With regard to effects on tree growth, chemical properties of the soil, vegetation and microorganisms.

Table 1. Summary of results from studies where ash and nitrogen has been spread in the forest

Ref. / Country	Tree/soil type	Addition ash ¹ /nitrogen ¹	Effects ²		
			Tree growth	Chemical properties of the soil	Vegetation/ microorganisms
[12] Brais (2015) / Canada	Pine and spruce/sandy acidic soil	1, 2, 4, 8 t TS A/ha loose fly ash + 280 kg N/ha (urea)		↑ ³ K, Ca, Mg conc. in the forest floor (depending on ash dose) ↑ CEC, pH and BMG within 1 year after spreading (depending on ash dose)	
[7] Saarsalmi (2014) / Finland	Pine/mor	3 ton A / ha loose ash (wood chips), 3 ton A /ha + 120 kg N / ha (ammonium nitrate with lime)	No or max 25% increased volume growth when only A was supplied A + N increased volume growth with 60-70% the first 5 years after spreading thereafter the growth effect decreased Somewhat higher growth with N + A than only N	↓ soil acidity 0.6 pH units in the humus layer and 0,5 in mineral soil ↑ N mineralization with A + N addition and when only N was added (20 years after spreading)	
[33] Ozolincius (2007) / Lithuania	Pine/ poor medium sandy soil	1.25, 2.5, 5 t A/ha raw (unstabilized ash) and ash from district heating 180 kg N/ha (ammonium nitrate), 2.5 t A/ha + 180 kg N/ha			A + N resulted in ↓ ground cover of mosses (largest effect when only 5 t A /ha and only N was added) ↑ ground cover of vascular plants with A + N
[11] Ozolincius (2007) / Lithuania	Pine/ poor medium sandy soil	5.0 t A/ha, 180 kg N/ha (ammonium nitrate), 2.5 t A /ha + 180 kg N /ha	↑ crown biomass from 12,5 kg (control) to 16,5 kg (A + N) ↑ needle biomass with 40% when A + N was added, only small increase with addition of only A or N A + N increased biomass for the current and 1 year old needles and shoots		
[6] Saarsalmi (2012) / Finland	Pine/mineral soil	1, 2.5, 5 t A/ha loose ash + 185 kg N/ha (urea) (all different A with N), 185 kg N/ha	Basal area increment elevated approx. 7 years with only N addition. With 2.5 t A + N /ha the growth was elevated approx. 24 years after spreading Basal area increment increased at the most with 70-100% when A+N and N was added		

[26] Clarke (2018) / Southwest Norway	Spruce/podsol thin mor	3 t A/ha, 3 t A/ha + 150 kg N/ha, 150 kg N/ha (granulated ash)/ (ammonium nitrate Opti-KAS SkogCan (Yara) 27%N (13,5% NO ₃ ⁻ , 13,5% NH ₄ ⁺), 5% Ca, 2.4% Mg och 0,2% B)		↑ Mg. 2 years after addition No larger difference when A and A+ N was added on N and C in the humus layer ↑ pH in the ground and ↑NO ₃ ⁻ , NH ₄ ⁺ , Ca, Mg, K, Co, Ni, Zn (40 cm depth)	
[31] Ozolincius (2006) / Southwest Lithuania	Tall/sandy soil	1,25, 2,5, 5,0 t A/ha, (unstabilized ash) 180 kg N/ha (ammonium nitrate), 2,5 t A/ha + 180 kg N/ha		↑ Cr, Ni, Zn, Cu in forest floor but not above critical levels no increase in the soil solution ↓ soil acidity (pH higher (at most 2,7 pH units)) as Ca ²⁺ and Mg ²⁺ increased in the ground. No change in pH of the soil solution at 20 cm or 50 cm depth 17 months after addition except when only N was added then pH decreased.	↑ number of ammonifying, nitrifying and denitrifying microorganisms in the forest floor
[5] Pettersson (1990) / Sverige (olika platser)	Pine	0,5 t A/ha + 150 kg/ha N (ammonium nitrate), 150 kg/ha N	Lower growths effect at N and A addition (≈ 60% maximum increased growth) than when only N was added (≈ 80% maximum increased growth).The lower growth effect is probably caused by ammonia release.		
[34] Saarsalmi, (2006)	Pine/podsol mor	1, 2,5, 5,0 t A/ha (wood-, bark- eller peat aska) + 185 kg N/ha (urea), 185 kg N/ha	↑ stand growth with 53% the first 5 years after spreading of only N. Adding N + A (different doses) increased stand growth with 34-83%	pH increase depended mainly on how much Ca was added with the ash (ash dose). N addition did not influence pH ↑ pH with 2.1 pH-units at 5 t A/ha (wood ash) (9 years after addition) and 0.9 pH-units (23 years after addition) in the humus layer. No mayor influence on the N conc. or C/N ratio in the humus layer	
[16] Helmisaari (2009)/ Södra Finland	Spruce/mor	3 t A/ha loose bark ash + 150 kg N/ha ammonium nitrate with ash		↑ pH (1,2 higher), BMG, extractable Ca, K, Mg, P, B, Cd, Mn, Ni and Zn was elevated in the humus layer (10 years after spreading)	↓ fine root biomass and tendency of ↑ necromass (9 years after spreading)

¹ Ash is abbreviated with A and nitrogen with N² Effects are stated for combined addition of ash and nitrogen in relation to a control area if not anything else is stated³ ↑ Increasing ↓ decreasing values

Innehåll

1	Bakgrund	16
1.1	Syfte och avgränsning	17
2	Askors komposition, egenskaper och härdning	18
3	Nackdelar med askor	21
4	Kväve i skogsmark	22
5	Effekter på vedtillväxt vid spridning av askor och kväve	23
6	Effekter på skogsmarkens kemiska egenskaper	28
6.1	Baskatjoner och näringsämnen	28
6.2	Markens pH	29
7	Effekter på markens mikroorganismer och markvegetation vid spridning av askor och kväve	31
7.1	Mikroorganismer	31
7.2	Markvegetation	31
8	Slutsatser	33
9	Framtida studier	34
	Bilaga A:	35
10	Referenser	36

1 Bakgrund

Idag används stora mängder träbiomassa som bränsle och andelen träbiomassa som används för detta ändamål har ökat dels på grund av klimatskäl och högre oljepriser. Användning av träbränsle för el- och värmeproduktion är både förnyelsebart och koldioxidneutralt det innebär även en låg klimatpåverkan. I dagens skogsavverkning tas ofta större delen av trädet ut dvs. även grenar och toppar (grot) som tidigare lämnades i skogen. Det mesta av näringsämnena återfinns i trädens bark, toppar, grenar och barr/löv vilket leder till att mer näringsämnen försvinner med uttaget av hela träd. En annan negativ konsekvens av näringsuttaget är att det påskyndar förurning av marken.

Den stora användningen av skogsbränsle innebär att stora mängder bioaskor (askor från förbränning av träbiomassa) bildas. Askorna som återstår efter förbränning av skogsbränsle kommer i denna rapport att benämnas askor. En liten del av askorna recirkuleras tillbaka till skogen medan mycket hamnar på deponi. Dessutom måste askor oftast transporteras långa distanser till olika deponier och det bästa vore om askorna kunde recirkuleras till skogsmark i närheten av där askan produceras [12].

Genom att utnyttja skogsbränsle kan Sveriges behov av fossila bränslen för energiförsörjningen minskas. Biobränsle som är en förnybar resurs från skogen har därför en viktig roll för att få ett samhälle med låg klimatpåverkan. Vid skogsbränsleuttag där grot avlägsnas lämnas normalt 20-40% av groten kvar i skogen pga. tekniska skäl och med hänsyn till den biologiska mångfalden. När grot bortförs från skogsmarken förs mer kväve bort än om enbart stamveden forslades bort. Detta kommer att påverka markens förråd av kväve [24].

Andelen grot som avlägsnas vid gallring eller skogsavverkning påverkar den biologiska mångfalden i skogen då en av de viktigaste faktorerna för att bevara den biologiska mångfalden i skogsekosystemet är mängden död ved som ett stort antal olika organismer är beroende av [35]. Dagens skogsbruk har ändå lett till att mängden klen död ved har blivit mer vanlig i skogslandskapet jämfört med naturlandskapet. I samband med grot-uttag lämnas alltid en viss del av groten kvar i skogen. När grot avlägsnas i samband med gallring eller förnygringsavverkning innebär det dock en förlust av substrat för olika organismer, men även att miljön förändras t.ex. ökad solexponering, minskad strukturella variationen och att skyddet på hygget minskar [24].

När hela träd tas ut vid skogsavverkning rekommenderar Skogsstyrelsen att askor ska återföras till marken. Sedan år 2000 återförs askor till omkring 5 000 – 15 000 hektar skogsmark per år. Detta för att kompensera för de näringsämnena som avlägsnas i och med att man avverkar skog och för att motverka att marken försuras [36]. Detta är en förhållandevis liten areal och om Skogsstyrelsens rekommendationer skulle följas skulle askor spridas på en mycket större skogsareal idag än vad som görs.

Skogsstyrelsen föreskriver att då det utöver stamvirke tar ut grot ska åtgärder vid behov vidtas för att undvika negativ påverkan på skogsmarkens näringsbalans och buffringsförmåga på långa sikt. Därför bör mineralnäring tillföras, i form av t.ex. askor, för att kompensera näringsuttaget när uttaget är större än ett halvt ton torrsubstans ren ohärdad aska per hektar och omloppstid. På skogsmarker som är starkt försurade eller i skog på torvmark bör uttag alltid kompenseras med mineralnäring. När aska används som mineralnäring bör den alltid ha sitt ursprung i skogsbränsle och vara stabiliserad (härdad). Askans innehåll av näring, tungmetaller och andra skadliga ämnen ska även ha dokumenterats via analyser. Det är även satt att maximalt 3 ton TS aska (torrsubstans) bör spridas per hektar under en 10 årsperiod. Under ett bestånds omloppstid bör maximalt 6 ton TS aska spridas per hektar [21, 24].

Askor innehåller alla viktiga näringsämnen för växter förutom kväve och har alkaliska egenskaper när den tillförs till marken. Genom att recirkulera askor som genereras vid biomassaförbränning kan man därmed sluta näringscykeln och motverka att marken försuras [22].

Syftet med denna litteraturstudie är att summera vilka fältstudier som gjorts inom spridning av både askor och kväve till skogsmark i gödslings syfte. Studien presenterar vilka resultat som erhållits via fältstudier för att få en mer samlad bild över effekterna av ask och kvävegödslingen i skogsmark. Rapporten ger även en lite kort bakgrund till askors komposition, samt fördelar och nackdelar med askor.

1.1 SYFTE OCH AVGRÄNSNING

På huvuddelen av Sveriges skogsmark är tillgången på kväve en tillväxthämmande faktor, speciellt i norr. Askor innehåller inget kväve och för att få en tillväxtökning behöver spridning av askor kombineras med en kvävekälla. Därför är det intressant att sammanställa vilka resultat man fått i studier där man kombinerat spridning av askor med någon kvävekälla till skogsmark.

Denna rapport fokuserar främst på att sammanställa de resultat som erhållits vid kombinerad gödsling med kväve och askor. Den tar även i vissa fall upp resultat då endast askor eller endast kväve tillförts till skogsmark. Både studier där man tillfört aska och kväve samtidigt och där kväve och askor spridits vid olika tidpunkter kommer att beaktas. Rapporten fokuserar även på kvävegödsling med antingen urea eller ammoniumnitrat med olika tillskott av andra näringsämnen så som t.ex. bor, magnesium och kalk.

2 Askors komposition, egenskaper och härdning

Eftersom aska innehåller ett flertal näringsämnen är den lämplig att recirkuleras tillbaka till skogsmark för att återföra de näringsämnena som försvinner i samband med avverkning, gallring och grot-uttag. Askor har även neutraliserande egenskaper som kan motverka markförurning i likhet med kalk.

Askor som har sitt ursprung från förbränning av trä kommer att benämnas askor i denna rapport. Ungefär 3 vikt procent av träet som förbränns blir kvar som aska vid fullständig förbränning av det ingående materialet [22]. Ungefär 200 000 ton återföringsbara askor produceras årligen i Sverige och ca 25 % av detta återförs till skogsmark [37].

Askor är en komplicerad blandning och hur den kemiska sammansättningen ser ut i askan beror dels på träart, vilka delar av trädet som använts (stam, bark, grenar etc.), typ av pannan och processförhållanden vid förbränningen [38], även ifall materialet förorenats med impregnerat trä eller byggmaterial [39], var askavskiljningen sker (bottenaska/flygaska) och även av hur askan behandlas efter avskiljningen från pannan [30].

Huvudelementen (makroelement) i askorna är kalcium (Ca), kalium (K), magnesium (Mg), aluminium (Al), järn (Fe), natrium (Na), mangan (Mn), fosfor (P) och svavel (S) [40] dessa återfinns i form av oxider eller hydroxider. Askornas basverkan beror på att de innehåller höga halter av Ca, Mg, och K hydroxider (baskatjoner) [17]. Askorna innehåller väldigt lite kväve då det bildas flyktiga kväveoxider vid förbränningen. Askorna innehåller även små mängder tungmetaller (mikroelement) t.ex. arsenik (As), barium (Ba), bor (B), kadmium (Cd), koppar (Cu), krom (Cr), silver (Ag), molybden (Mo), kvicksilver (Hg), nickel (Ni), vanadium (V) och zink (Zn) [22]. Tabell 2 redovisar innehållet av makro- och mikroelement i ett antal askor men även rekommenderade minimi och maximihalter av ämnen i härdade askor som ska spridas i skogsmark. Oftast innehåller askorna även en del kol (C) eftersom man sällan uppnår en helt fullständig förbränning av kolet i biomassan. Askor kan även innehålla en del grus, sand och vatten [30].

Hur snabbt de olika ämnena i askan blir biologiskt tillgängliga varierar mellan asktyper och är ämnesspecifikt. Generellt minskar tillgängligheten med ökad stabiliseringsgrad och askkornens storlek. Bland de kvantitativt viktigaste näringsämnena är tillgängligheten i följande ordning $P < Mg < Ca < K$ där fosfor har en mycket låg lakbarhet [30].

När askor kommer i kontakt med vatten reagerar de lätt med vattnet och pH på lösningen höjs i och med att oxider och hydroxider i askan löses upp och bildar hydroxidjoner. Askor har därmed en kalkeffekt liknande den för kalk och kan därmed användas för att neutralisera surhet i marken. [22]. Den kalkverkan askan har beror främst på dess innehåll av baskatjonerna kalcium och magnesium varav

kalcium är viktigast. Det kalium som finns i askan bidrar inte till askans kalkverkan eftersom kalium främst finns i form av neutrala salter. Askans kalkverkan är ungefär hälften av vanligt kalkmedel [30].

Tabell 2. Makronäringsämnen och spårämnen halter i ett antal askor som använts i studier där både kväve och askor spridits i skogsmark. Även Skogsstyrelsens rekommenderade lägsta och högsta halter för olika element presenteras.

Table 2. Macroelement and trace element levels in a number of ashes used in studies where both nitrogen and ash is spread in the forest. In addition the recommended levels by Skogsstyrelsen for different elements are presented.

Referenser References	[12]	[12]	[11]¹	[6]	[26]	Skogsstyrelsens rekommenderade halter [25] Recommended levels by Skogsstyrelsen	
Makronäringsämnen (g/kg TS) Macroelements						Lägst Lowest	Högst Highest
N	<1				<1		
Ca	67	214	72.0	282	437	125	
K	9	74	5.3	75	8.2	30	
Mg	4	20	9.5		37.3	15	
Mn	2	12		27	33.1		
Na	2	14			0.2		
P	1	11	2.2	18	24.2	7	
Spårämnen (mg/kg TS) Trace elements							
As	2	6			0.6		30
B	62	210		300			800
Ba	1300	2460			10500		
Cd	3	8	0.6		3		30
Co	10	10			18.6		
Cr	11	47	9.5		127.9		200
Cu	20	80	13.1	180	20.7		400
Fe	1216	9000			4600		
Hg	0	<1					3
Mo	4	7			6.5		
Ni	12	80	8.1		50.3		70
Pb	10	38	4.5		11.9		300
V							70
Zn	286	3300	73.7	900	0.1	500	7000

¹ Komposition i askan som spreds i skogen (ej TS) (Composition in the ash spread in the forest (not TS))

När askorna kommer ut från förbränningen är den inte kemiskt stabil då den kommer i kontakt med luft och fukt. Oxiderna i askan reagerar med koldioxid och vatten i luften och bilda hydroxider och karbonater [22]. Aska som kommer ut efter förbränningen har ett högt pH (pH 12 -13 när det slammas upp i vatten) och består till största delen av oxider. Då askan lagras kommer den i kontakt med vatten och koldioxid som finns i omgivningsluften (eller att den fuktas) och det bildas successivt hydroxider och karbonater när askan självhårdar. Det som sker är att askans partikelstorlek ökar, oxider och hydroxider i askan reagerar till karbonater vilket gör att askan blir mindre reaktiv och basisk [30].

Ohärdad lös aska bör inte spridas i skogsmark dels med tanke på arbetsmiljön vid spridningen och pga. dess negativa miljöeffekter på t.ex. vegetationen. Detta beror på askans reaktiva kemiska form och textur. Askan bör alltid stabiliseras kemiskt såväl som fysikaliskt så att den består av större aggregat. Innan spridning är även askans fukthalt viktig eftersom en fuktad aska är skonsammare än en torr då den dammar mindre [30]. Det innebär också att risken för mekaniska blästringsskador på träden minimeras eftersom askan då blir mjukare.

Askan kan granuleras genom att forma runda korn t.ex. via rullning i trumma. Eller genom att forma pellets när produkten extruderas dvs. pressas genom en hålmatrix eller pressas till flak i en vals. Dessa metoder är dock rätt kostsamma. En annan billigare metod är istället att befukta den lösa askan med vatten och sedan låta den självhärda. Den härdade askan krossas sedan och siktas till den önskade kornstorleken, produkten kallas krossaska. Ett problem med metoden är att askan inte alltid härdat ihop till aggregat. För att använda denna metod får det inte finnas för mycket oförbränt material i askan. En nackdel är även att en aska som redan härdat inte går att härda om [30].

Ett riktmärke är att den härdade askprodukten ska lösas upp under en period av 5-25 år efter att den sprids på skogsmarken. Upplösningshastigheten när askan sprids på marken behöver vara så långsam att det inte blir några negativa påföljder på skogsmarken när den initialt börjar avge sina salter. Askan behöver även analyseras för att se till att den är tillräckligt härdad innan den tillförs till skogsmarken. Hur denna analys genomförs beskrivs i rapporten *Regler och rekommendationer för skogsbränsleuttag och kompensationsåtgärder Rapport 2019/13* utgiven av Skogsstyrelsen [24].

3 Nackdelar med askor

Träbränsleaskor innehåller alltid en viss mängd tungmetaller eftersom träd i sig innehåller tungmetaller. I vissa fall kan träbränsleaska även innehålla miljögifter så som radioaktiva ämnen och organiska miljögifter. Eftersom askorna som sprids i skogsmarken kommer ifrån ett stort antal träd som har vuxit på en stor areal som är större än vad området man sprider askan på kan koncentrationen av tungmetaller öka i marken där askan sprids. Vanligtvis har tungmetaller relativt låg tillgänglighet, men variationen är stor mellan olika metaller och undersökningar.

Därför är askans innehåll av tungmetaller och näringsämnen viktiga parameter när det gäller att bestämma om en aska ska användas för spridning i skogsmark [39]. Skogsstyrelsen har därmed satt en del rekommenderade minimi- och maximihalter av vissa ämnen i härdade askor som ska spridas i skogsmark, se Tabell 1[24]. Man är t.ex. orolig att tillförsel av askor kommer att öka koncentrationen kadmium i marken. Vissa studier har rapporterat något förhöjda värden för kadmium i det organiska lagret i marken efter spridning av askor [1, 16]. I en av studierna var den totala Cd koncentrationen något förhöjda 10 år efter asktillförsel men värdena låg inom värden som är normala för finsk skogsmark [16]. Medan andra studier inte visar på några effekter på kadmium koncentrationen efter spridning av askor [6, 34].

Aska som har sitt ursprung från träd som har vuxit på områden som erhöll radioaktivt nedfall från Tjernobyl kan innehålla mycket ^{137}Cs . Därför ska även askor som kommer från delar av landet med höga halter ^{137}Cs testas på dess innehåll av detta ämne [24]. Även polyaromatiska kolväten (PAH) kan förekomma i vissa askor och uppkommer vid ofullständig förbränning, ämnena anses vara cancerogena [30]. Idag är informationen om träbränsleaskors innehåll av PAH begränsad. Men den allmänna bilden är att halten PAH är låg i askor som är väl förbrända. Idag finns inga rekommenderade lägsta halt av PAH i askor som får spridas i skogsmark som man bör ta hänsyn till men det kan vara att man inför en sådan gräns ifall ny kunskap tillkommer [24].

Askornas positiva eller negativa egenskaper kommer att bero på dels askans sammansättning men även hur mycket aska som sprids på marken dvs. både dos och hur ofta. [22]. Skogsstyrelsens riktlinjer säger att en askdos på upp till 3 ton/ha (härdad aska) kommer att ha begränsade eller inga negativa effekter på skogsmarken [36].

4 Kväve i skogsmark

Kvävebalansen i skogsmark är viktig för träden som växer där eftersom det är främst kvävetillgängligheten som bestämmer trädens tillväxt. Kväve tillförs främst via kvävemineralisering i marken eller via nedfall från luften. Sedan kan kväve tillföras via spridning av kvävegödsel till skogsmarken.

I samband med grotuttag kommer kväve att forslas bort från skogsmarken. Men på kväverika skogsmarker främst i sydvästra Sverige med hög kvävebelastning kan istället grot uttag vara positivt då det motverkar nitrifikation och kväveutlakning. I och med en lägre nitrifikation kan man även undvika att syra tillförs till marken och leder till förurning [25].

Uttag av grot vid förnygringsavverkning i Svealand och Norrland leder ofta till att förlusten av kväve är högre än vad som tillförs till det enskilda beståndet. Tillförsel av kväve genom kvävegödsling är dock större än förlusten vid uttag av grot sett till hela regionen Svealand och Norrland. Kväve tillförs inte som en kompensationsåtgärd i bestånd där grot tas ut utan som gödslingsåtgärd. Därför riktas främst kvävegödsling till bestånd där man får en god tillväxteffekt så att gödslingen blir ekonomiskt lönsam [25].

Kväve tillförs även till skogsmarken via nedfall från luften. Detta bakgrundskvävetillskott är lågt i snitt för Sverige, endast några kilo per hektar och år. Kvävebelastningen är högst i sydvästra Sverige med 10 – 15 kg per hektar och år sedan minskar nedfallet av kväve mot nordost, nedfallet är lite förhöjt vid ostkusten om man jämför med områden inne i landet [30]. Tillförsel av askor kan påverka tillgången av kväve i marken via olika mekanismer men främst genom att markens pH och löst organiskt kol höjs [41]. I och med att pH ändras i skogsmarken då askor sprids kan markens sammansättning av mikroorganismer ändras vilket oftast leder till att mer kväve mineraliseras i marken [12, 42-44].

5 Effekter på vedtillväxt vid spridning av askor och kväve

I denna del av rapporten kommer en genomgång göras för att se vilken effekt på trädttillväxt som erhållits vid samtidigt kväve och aska spridning i skogsmark. Detta för att få en mer enhetlig bild över vilken effekt det innebär för skogsbruket.

Mineraljord är ofta fattiga på kväve vilket begränsar trädens tillväxt. Askor innehåller knappt något kväve vilket innebär att askspridning på denna skogsmark utan tillförsel av kväve kommer att ha liten effekt på skogens tillväxt [1, 2].

En relevant fråga är därför ifall det på dessa marker ska tillföra både aska och kväve som gödsel för att öka trädens tillväxt. Olika studier ger dock varierande tillväxtresultat för kombinerad kväve och ask gödsling. Några forskningsstudier visar att det inte finns någon tillväxtskillnad mellan områden som kvävegödsplats eller där både aska och kvävegödsling utförts enligt Jacobson m.fl. (2003) [3] och Saarsalmi m.fl. (2010) [4]. Medan andra studier visar att samtidig kväve och ask gödsling leder till en lägre tillväxt än när enbart kväve tillförs [2, 5]. En studie genomförd i Finland visade att tillförsel av både askor och kväve gav en mer långvarig tillväxteffekt än om bara kväve tillfördes. Detta indikerar att på denna typ av mark (mineraljord i boreal skog) är det optimalt att tillföra både kväve och askor för att öka trädens tillväxt [6]. En vidare studie visade att tillväxtökningen kan bero på att det sker förändringar för näringsämnen i jorden och de mikrobiella processerna relaterat till kol och kväve cirkulation [7].

Balansen mellan tillgång till kväve och andra näringsämnen spelar en viktig roll för trädttillväxten visar flera studier [8, 45]. Men även mängden nedfall (av främst kväve), väderleksförhållanden och områdets bördighet etc. påverkar olika trädkomponenters tillväxt [3, 9]. Genom att tillföra både aska och kväve kan tillväxten öka även om någon/några av näringsämnena är begränsande.

I en studie gjord av Ingerslev och Hallbäcken [10] observerades att träd som inte led av näringsbrist inte producerade mycket mer biomassa när de gödslades med NPK (handelsgödsel med kväve, fosfor och kalium). I en annan studie gjord av Saarsalmi (2004) observerades att när endast askor tillfördes erhöles ingen ökad volymtillväxt för tall under en studieperiod på 5 år. Men när både 3 ton aska per hektar och 150 kg kväve per hektar tillfördes blev tillväxtökningen 42 – 71 % [1]. Olika studier har mätt tillväxten hos olika delar av trädet [1, 2, 7, 11].

En studie som fokuserade på att titta på biomassa mängd i trädtrunkor sågs inga signifikanta skillnader på mängden biomassa varken när aska (5 ton/ha), kväve (180 kg N (ammoniumnitrat)/ha) eller en kombination av både kväve och aska (180 kg N + 2,5 ton aska per ha) mättes tre tillväxtperioder efter tillförseln (dessa tre fall jämförs). Men jämfört med kontrolltyterna vars totala mängd trädtrunkbiomassa var 12,5 kg hade biomassamängden ökat till 16,5 kg för de trädtrunkor som växte på områden där både kväve och aska tillförts. Man såg även att massan för årets

och ett år gamla barr och skott ökade i massa både när kväve och kväve i kombination med aska tillfördes områdena. Dock kunde man inte se någon signifikant effekt av asktillsatsen. Äldre barr påverkades inte av behandlingen [11].

Grundytetillväxten ökade hos träden som mest mellan 70-100 % när 185 kg kväve/ha spreds tillsammans med antingen 1, 2,5 eller 5 ton aska/ha. Bäst effekt gav kväve och 2,5 ton aska/ha, näst bäst effekt gav kväve och 1,0 ton aska/ha. Efter 30 år hade den positiva effekten vid ask och kvävegödning på trädttillväxten avstannat. I samma studie visade dock en tillförsel av 185 kg kväve/ha och 5 ton aska/ha en lägre grundytetillväxt än med enbart kväve. Orsaken till detta kunde inte utrönas i studien men forskarna nämnde att denna dos av aska inte borde orsaka några negativa effekter [6]. Vid en annan studie där man jämförde att tillföra aska tillsammans med kväve (150 kg/ha kväve och 3 ton/ha aska) med enbart kväve kunde man inte efter 5 år se någon skillnad i stamtillväxt (tall) [3]. Ingen skillnad i tillväxt sågs heller när 150 kg kväve/ha och 3 ton aska/ha spreds i en skog med tall och gran vid en studie på 15 år [12].

En studie i Munkfors där träddeleggallring utfördes (allt avverkningsavfall togs bort) och där man kvävegödslade med 150 kg kväve/ha (ammoniumnitrat) och kompletteringsgödslade med 500 kg aska/ha erhöles en lägre tillväxteffekt vid askåterföring jämfört med när enbart kväve tillfördes. Grundytetillväxten var dock upp till ca 60% högre för de bestånd som tillfördes både kväve och askor efter gallring jämfört med bestånd som enbart gallrades. För bestånd som enbart gödslades med kväve efter gallring var tillväxtökningen upp till 80% högre än kontrollbestånden [5]. Artikelförfattaren argumenterar för varför tillväxteffekten är mindre på de bestånd som erhöles både kväve och aska och refererar dels till en äldre studie genomförd av Persson 1989 [13] som anger att stora askgivor kan påverka trädets rotutveckling negativt pga. askans löslighet. Men askgivan som spreds i Munkfors var låg endast 500 kg/ha och borde inte leda till en försämrat rotutvecklingen hos träden. Artikelförfattaren tillskrev istället att de lägre tillväxteffekterna troligtvis orsakades av att en del av ammoniumjonerna omvandlades och avdunstade i form av ammoniak. Ammoniakavgång sker vid höga pH-värden som när alkalisk aska sprids på marken. Vid gödslingstillfället noterades även att det luktade ammoniak [5].

Enligt Persson (1991) bör man vid kombinerad gödsling med kväve och aska vänta med att sprida aska tills ett eller ett par år efter kvävegödsling för att minimera ammoniakavgång och därmed lägre tillväxteffekter från kvävegödslingen [13]. Eftersom askor har ett högt pH finns det en förhöjd risk att det bildas ammoniak som avgår till atmosfären när man tillför både aska och ammonium-nitrat gödningsmedel samtidigt. Det kan vara en förklaring till varför man inte får någon tillväxtökning när både askan och kvävet sprids i skogen samtidigt i vissa studier. I en studie gjord av Jacobsen (2003) observerades att kväve förlorades genom ammoniak avgång vilket ledde till låg tillväxt på ett av studieområdena och ingen skillnad på andra studieområden när både kväve och askor tillfördes till marken [3]. Hur mycket kväve som avgår från gödslingsmedlet beror mycket på väderförhållandet vid spridningen [14]. Vid gödsling med urea eller ämnen som innehåller ammonium finns det risk för förlust av kväve i form av ammoniak. De faktorer som gagnar ammoniakavgång är hög temperatur, högt pH i marken, låga

halter lera och organiskt material i marken, inget regn efter spridning (eller först att det är fuktigt och sedan torrt) [15].

Saarsalmi m.fl. (2010) uppmätte en tydlig ökning i den årliga grundytetillväxten både i gran och tall områden de första 6-8 åren efter spridning av askor (väl förbränd bark aska, 3 ton/ha) och kväve (150 kg kväve/ha, ammoniumnitrat med kalk) jämfört med kontroll områdena. Efter 8 år fanns ingen skillnad i grundytetillväxt i tall områden mot kontroll områdena. För skog med gran var tillväxten något högre än kontrollområdena efter 8 års tillväxt men nästan den samma de efterföljande åren. Artikelförfattarna visade att även efter 15 år från gödsling med både aska och kväve påvisades askans neutraliserande effekt, marken var mindre sur och hade högre halter av utbytbara baskatjoner i humuslagret och i vissa fall även i mineraljorden [4]. Ett flertal andra studier har också visat långsiktigt minskat surhetstillstånd i det organiska lagret vid tillförsel av aska [16-19]. Om endast kväve tillförs påverkas inte markens surhetstillstånd i de flesta fall [4]. På marker med stort kväveinnehåll som i sydvästra Sverige kan surhetstillståndet försämrast vid tillförsel av kväve. T.ex. i en studie på markvätskans pH djupare ner i marken visade att när både krossad aska och kväve tillfördes minskade initialt pH med 0,4 mot kontrollområdenas pH. Ingen större pH skillnad sågs mellan kvävegödslade områden och de med både kväve och aska och åren efter tillförseln ökade pH igen [20].

När man både ska tillföra kväve och aska till skogsmarken är det viktigt att tidpunkten för gödslingen är väl vald. Ifall både alkalisk aska och kvävegödsel med ammonium (NH_4^+) sprids samtidigt i skogsmarken kan det leda till frisättning av ammoniak (NH_3) p.g.a. askans höga pH [30]. Skogsstyrelsen har även poängterat att vid samtidig spridning av aska och kvävegödsel i skogsmark bör man förvisa sig om att detta inte orsakar ammoniakavgång [21].

I tabell 3 finns en sammanställning över effekter när det gäller trädttillväxt för ett antal fältstudier. Tabellen redovisar även effekter på markens kemiska egenskaper, markvegetation och mikroorganismer.

Tabell 3. Sammanställning av resultat från studier där man tillfört både aska och kväve till skogsmark

Ref. /land	Träd/ jordtyp	Tillförsel aska ¹ / kväve	Effekter ²		
			Trädutväxt	Markens kemiska egenskaper	Markvegetation/ mikroorganismer
[12] Brais 2015 / Canada	Tall och gran/sandi g sur jord	1, 2, 4, 8 t TS A/ha lös flygaska + 280 kg N/ha (urea)		↑ ³ K, Ca, Mg konc. i marken (beroende på askdos) Både CEC, pH och BMG ökade inom ett år efter spridning (beroende på askdos)	
[7] Saarsal mi 2014 / Finland	Tall/mor	3 ton A / ha lös aska (träflis), 3 ton A /ha + 120 kg N / ha (ammoniumnitrat med kalk)	Ingen eller max 25% volymtillväxtökning då enbart A tillfördes A + N tillförsel ökade volymtillväxt med 60-70% de första 5 åren efter spridning sedan avtog tillväxteffekten Något högre tillväxteffekt med N + A än enbart N	↓ Marksurhet 0.6 pH enheter i humuslagret och 0,5 i mineraljorden ↑ N mineralisering med A + N tillförsel och då enbart N tillfördes jämfört med kontroll (20 år efter spridning)	
[33] Ozolinci us 2007 / Litauen	Tall/ fattig medium sandig jord	1.25, 2.5, 5 t A/ha råaska (ostabiliz-erad aska) och aska från (från fjärrvärme- verk), 180 kg N/ha (ammonium nitrat), 2.5 t A/ha + 180 kg N/ha (ammonium nitrat)			A + N innebar ↓ täckningsgrad av mossor på marken (störst effekt då 5 t A /ha och endast N tillfördes) ↑ täckningsgrad av kärlväxter med A + N
[11] Ozolinci us 2007 / Litauen	Tall/fattig medium sandig jord	5.0 t A / ha, 180 kg N/ha (ammonium-nitrat), 2.5 t A /ha + 180 kg N /ha	↑ biomassa i trädskronan från 12,5 kg (kontroll) till 16,5 kg (A + N) ↑ barr-biomassa med 40% när A + N tillfördes endast liten ökning vid tillförsel av endast A eller N A + N ökade biomassan för årets och 1 år gamla barr och skott		
[6] Saarsal mi 2012 / Finland	Tall/miner aljord	1, 2.5, 5 t A/ha lös aska + 185 kg N/ha (urea) (alla olika A tillförsel med N), 185 kg N/ha	Grundytetillväxt förhöjd ca 7 år med enbart N tillförsel Vid 2.5 t A + N /ha var tillväxt förhöjd i ca 24 år efter spridning, vid 2.5 t A + N /ha var tillväxten förhöjd i ca 30 år, (jämfört med kontrollbestånd) Grundytetillväxten ökade som mest 70-100% när A+N och N tillfördes till beståndet		

[26] Clarke 2018 / sydvästra Norge	Gran/podsol tunn mor	3 t A/ha, 3 t A/ha + 150 kg N/ha, 150 kg N/ha (granulerad aska) / (ammonium nitrat Opti-KAS SkogCan (Yara) 27%N 13,5% NO ₃ ⁻ , 13,5% NH ₄ ⁺ , 5% Ca, 2,4% Mg och 0,2% B)		2 år efter tillsats ↑ Mg. Inga större skillnad när aska eller aska och kväve tillfördes på N och C i humuslagret. PH i marken ↑ och även koncentrationen av NO ₃ ⁻ , NH ₄ ⁺ , Ca, Mg, K, Co, Ni, Zn (40 cm djup)	
[31] Ozolincius 2006 / Sydvästra Litauen	Tall/sandig jord	1,25, 2,5, 5,0 t A/ha, (ohärdad aska) 180 kg N/ha (ammoniumnitrat), 2,5 t A/ha + 180 kg N/ha		↑ Cr, Ni, Zn, Cu i skogsmarken men inte över kritiska värden ingen ökning i markvätskan ↓ Marksurhet (högre pH (som högst 2,7 pH enheter)) eftersom Ca ²⁺ och Mg ²⁺ ökade i skogsmarken. Markvätskans pH ökade varken 20 cm eller 50 cm ner i jorden 17 månader efter spridning förutom vid N tillförsel där pH sjönk	↑ Antal ammonifierande, nitrifierande och denitrifierande mikroorganismer i skogsmarken
[5] Pettersson 1990 / Sverige (olika platser)	Tall Värmland	0,5 t A/ha + 150 kg/ha N (ammoniumnitrat), 150 kg/ha N	Lägre tillväxteffekt vid N och A gödsling (ca 60% ökad tillväxt maximalt jmf med kontroll) än då enbart kväve tillfördes (ca 80% ökad tillväxt maximalt jmf med kontroll). Den minskade tillväxteffekten beror troligtvis på ammoniakavgång.		
[34] Saarsalmi, 2006	Tall/podsol mor	1, 2,5, 5,0 t A /ha (trä-, bark- eller torv aska) i kombination med 185 kg N/ha (urea), 185 kg N/ha	Trädstamtillväxten ökade 53% de första fem åren efter spridning av endast kväve Vid tillförsel av N + A (olika doser) ökade stamtillväxten 34-83%	pH ökning berodde främst på hur mycket Ca tillfördes med askan (askdos). N påverkade inte pH pH höjdes 2.1 pH-enhet vid 5 ton träaska med kväve per hektar (9 år efter tillförsel) och 0,9 pH-enheter (23 år efter tillförsel) i humuslagret. Ingen större påverkan på kväve koncentration eller C/N kvot i humuslagret	
[16]Hel misaari/ Södra Finland	Garn/mor	3 t A/ha lös bark aska + 150 kg N/ha ammoniumnitrat med kalk		pH (1,2 högre), BA, extraherbart Ca, K, Mg, P, B, Cd, Mn, Ni och Zn var förhöjda i humuslagret (10 år efter spridning)	↓ mängd fin rotbiomassa och tendens till ↑ mängd död rotbiomassa (9 år efter spridning)

¹ Aska förkortas med A och kväve med N i texten² Effekter redovisas för kombinerad tillförsel av aska och kväve i relation till kontrollbestånd om inget annat anges³ ↑ Ökade ↓ minskade värden

6 Effekter på skogsmarkens kemiska egenskaper

Vid uttag av grot sker en förlust av näringsämnen från skogsmarken det medför en nettoförlust av framförallt utbytbara baskatjoner (Ca, Mg och K) men troligtvis även fosfor (P). Generellt avlägsnas utbytbara baskatjoner från skogsmarken via biomassauttag och läckage via markvätskan medan de tillförs genom vittring och nedfall [24].

6.1 BASKATJONER OCH NÄRINGSÄMNEN

En relevant fråga som ställs av Karlton m.fl. [22] är ifall uttaget av näringsämnen ur skogen kommer att utarma och försura skogsmarken. Utifrån en studie gjord av Akselsson m.fl. [23] har Skogsstyrelsen gjort bedömningen att uttag av biomassa medför en nettoförlust av skogsmarkens baskatjoner vid ett grot-uttag på ett halvt ton torrsustans (TS) aska per omloppstid. När uttaget är högre än detta bör man kompensera med mineralgödsel eller asktillförsel [24, 25].

Genom att recirkulera askor till skogen kan man kompensera för skogsmarkens förlust av baskatjoner och basverkan vid uttag av grot (helträdsuttag). Genom att tillföra 3 ton aska/ha ökade mängden extraherbart (planttillgängligt) kalcium, magnesium och fosfor ur marken för både försök i gran och tallmark och även kalium (för gran) i det organiska lagret fortfarande 15 år efter spridning [4].

Tillförsel av urea (280 kg/ha) och askor hade ingen signifikant effekt på de kemiska egenskaperna i humuslagret eller på C/N kvoten [12]. Inte heller i de försök där Clark m.fl. (2018) tillförde 150 kg/ha ammonium nitrat och 3 ton aska/ha blev det någon skillnad i C/N kvoten mellan de olika behandlingarna [26]. Men kombinationen av aska och kväve ökade kraftigt kvävemineraliseringen ett år efter tillförseln. Kvävetillförsel ökade initialt markens surhetstillstånd och CEC (katjonbyteskapacitet). Man hittade inte heller några klara effekter på bladens näringssammansättning [12].

De parametrar som beskriver jordens surhet är pH, CEC (katjonbyteskapacitet), basmättnadsgrad (BMG) och EA (titrerbar aciditet). CEC är mängden utbytbara katjoner som jorden kan hålla per gram torr jord vid ett visst pH och som kan utbytas med markvätskan. Basmättnadsgrad beskriver hur stor del (%) av de utbytbara katjonerna som består av baskatjonerna (kalcium, kalium, magnesium och natrium). EA beskriver mängden sura katjoner d.v.s. aluminium- och vätejoner som finns i markens katjonbyttarkomplex [26].

När både aska och aska och kväve tillförs till marken höjs både pH, CEC och BMG medan EA sänks i humuslagret (2 år efter spridning) [26] i linje med andra studier [7, 12, 16]. Standardavvikelseerna för prov tagna från marken är antagligen höga på grund av naturliga variationer i geologi, temperatur, fukt och tillgången på ljus vilket leder till stora variationer även på samma område. Tillförsel av enbart kväve har ingen signifikant effekt på vare sig pH, EA, CEC eller BMG [7, 26].

Sambanden mellan asktillförsel och individuella näringsämneskoncentrationer varierade t.ex. bildar kalium i träaskor lättlösliga salter [27] vilket också visades i studien där K koncentrationen i humuslagret ökade linjärt med mängden spridd aska i området. I studien var koncentrationen i marken mer eller mindre stabil inom varje askgiva. Kaliumjonen, K^+ , har en lägre adsorptionsenergi eftersom den är monovalent och har en ganska stor jonradie. Detta innebär att den borde konkurrera mindre med de tvåvalenta och mindre Ca^{2+} och Mg^{2+} [12].

Ca^{2+} är den mest förekommande baskationen i askan och finns främst i form av $CaCO_3$ (vilket bildas när askorna utsätts för CO_2 och vatten). Lösligheten för $CaCO_3$ ökar exponentiellt vid lägre pH. Mg i sin tur är i form av Mg-oxider som är kemiskt stabila [27]. Tillförsel av askor kan ha en lång alkaliserande effekt som bevaras i marken under lång tid [6].

Koncentrationen av K, Ca och Mg i humuslagret har visat sig ökande linjärt med mängden tillförd aska. I studien undersöktes mängden vid 0, 2 och 8 ton/ha tillsatt aska 1, 2 och 5 år efter tillförseln. När det gäller humuslagrets surhetstillstånd minskade detta med ökande mängd tillförd aska [12].

När man studerade koncentrationerna av näringsämnen och tungmetaller i humuslagret 10 år efter spridning av aska (3 ton/ha) och kväve (150 kg/ha ammoniumnitrat och kalk) var visar analyser att nivåerna för Ca, K, Mg, P, B, Cd, Mn, Ni och Zn var förhöjda jämfört med kontrollområden [16].

Saarsalmi (2010) visade att tillförsel av aska och kväve signifikant ökande pH och minskade EA i det organiska marklagret även 15 år efter spridning. Likaså ökande CEC och BMG i det organiska marklagret både i försöksområden med gran och tall och även i mineraljordlagret (5-10 cm) i områden med tall. Det var ingen skillnad i kväve koncentration eller C/N kvoten i de olika jordlagren 15 år efter spridning [4].

Uppmätning av NH_4^+ och NO_3^- koncentrationer i jordvätskan 50 cm ner i marken visade på förhöjda koncentrationer 1 år och nästan 2 år efter spridning av antingen enbart kväve eller kväve och 3 ton krossad aska per hektar [20]. Detta visar att en viss del av det tillförda kvävet följt djupare ner i marken med markvätskan.

När krossaska har tillförts till skogsmark ökar urlakningen av K, Ca, Cd, och SO_4^{2-} . Det finns även ett samband att urlakning av olika ämnen ökar med ökad askdos [20].

6.2 MARKENS PH

Skogsmarken försuras i och med att träden tar upp näring. Detta eftersom trädet avger en vätejon för varje positivt laddad "näringsjon" som trädet tar upp för att upprätthålla laddningsbalans i marken. Träd tillväxt gör därmed att marken försuras. När trädet dör kommer biomassan att långsamt brytas ner och vid fullständig nedbrytning kommer samma mängd vätejoner att ha konsumerats som vid tillväxt. Denna process innebär att pH höjs i humuslagret. Ifall man istället tar ut biomassan kommer det att innebära att den försurning som skett under tiden trädet har vuxit kommer att bli permanent eftersom biomassan avlägsnas istället för att brytas ner [28].

Tillförsel av aska kan öka pH i marken särskilt i de övre lagren, hur mycket pH ökar beror på askdos och vilken typ av aska som tillförs [1, 10, 29]. Det verkar även som om tillförsel av kväve inte har någon effekt på pH i marken [7, 11, 26, 31]. En sammanställning skriven av Egnell m.fl. (1998) [30] på gjorda fältförsök där aska har sprids på skogsmark enligt Skogsstyrelsens askdos rekommendationer visar att en pH-höjning sker i humuslagren de närmaste åren efter spridning. Hur mycket pH höjs varierar mellan ca 0,4-1,4 pH-enheter för lös aska, 0,4 - 0,6 pH-enheter för krossaska och 0 - 0,6 pH enheter för granulerad aska. Sammanställningen bygger på fältförsök där effekterna har studerats som längst ca 10 år efter askskridning på marken [30].

Då ohärdade askor (2,5 ton/ha) och kväve (180 kg ammoniumnitrat/ha) tillfördes till områden med tall ökade pH i skogsmarken efter 4 månader från 3,45 till 4,75. Vid tillförsel av enbart kväve ändrades inte pH signifikant [31].

7 Effekter på markens mikroorganismer och markvegetation vid spridning av askor och kväve

Ett antal fältstudier har granskat vilka effekter spridning av askor och kväve har på markens mikroorganismer eller markvegetationen. Dessa resultat är viktiga för att få en helhetsbild över vilka effekter ask och kväve tillförsel har på hela skogsmiljön. Mikroorganismer

Mikroorganismerna i marken kan påverkas när aska sprids i skogsmarken. Det har visat sig att spridning av aska och kombination av aska och kväve kan öka antalet ammonifierande, nitrifierande och denitrifierande mikroorganismer som finns i skogsmarken. Ozolinčius (2006) [31] visade att antalet mikroorganismer i alla tre mikroorganismgrupperna ökade tre månader efter tillförsel av 2,5 och 5 ton aska per hektar och även då 2,5 ton aska och 180 kg kväve tillfördes per hektar. Som exempel ökade antalet ammonifierande mikroorganismer i skogsmarken från 20 miljoner/g prov till 200 miljoner/g vid tillförsel av 5 ton ask/ha och till 120 miljoner/g vid ask och kvävegödsling. Antalet nitrifierande mikroorganismer ökade 6-7 gånger och denitrifierande mikroorganismer ökade 40-60 gånger jämfört med kontrollproven då 5 ton ask/ha eller aska och kväve tillfördes. Här var dock antalet mikroorganismer lågt och antalet nitrifierande mikroorganismer ökande från ca 200/g till ca 1 500/g och denitrifierande mikroorganismer från ca 5 000/g till ca 240 000/g vid tillförsel av både aska och kväve [31].

Detta visar tydligt att om kvävegödsel tillförs samtidigt med askor kan det leda till förluster av kväve eftersom mer denitrifikation kan ske. Tillförsel av aska kan därmed både påverka de biologiska processerna i skogsmarken positivt och negativt. Ett ökat antal ammonifierande och nitrifierande mikroorganismer kan vara fördelaktigt eftersom de kan mineralisera kväve. Medan ett ökat antal denitrifierande mikroorganismer kan vara negativt eftersom det leder till kväveförluster. Dock är det totala antalet ammonifierande och nitrifierande mikroorganismer mycket större än denitrifierare [31].

7.1 MARKVEGETATION

Studier av asktillförsel visar att markvegetationens sammansättning kan ändras avsevärt när lös aska sprids på skogsmark i högre doser, > 5 ton/ha. Rühling (1996) anger att tillförsel av lös aska gynnar nitrofila arter och t.ex. hallon och maskros fanns endast på askåterförda områden [32]. I vissa fall kan även lös aska missgynna mykorrhiza svampars mycelietillväxt och fruktkroppsbildning. Mossor kan även få omfattande skador redan vid låga spridningsdoser särskilt när lös aska eller dåligt härdad aska används. Idag är det förbjudet att sprida ohärdade askor i skogsmark enligt 12 kap 6 § Miljöbalken samråd. Vissa mosstyper är extra känsliga t.ex. kvastmossor. Lavar i sin tur är mindre känsliga eller okänsliga. Om askan pelleteras eller granuleras kan brännskador orsakade av askan undvikas [30].

Tillförsel av kväve och aska till skogsmarken i en fältstudie visar på att det kan minska mängden fin rotbiomassa i marken. Särskilt rötter med en diameter på mindre än 1 mm. Det visade sig även att mängden död rotbiomassa tenderade vara större på områden där aska och kväve spreds än kontrollområden (men ökningen var inte signifikant eftersom värdena varierade mycket mellan provområdena) [16].

8 Slutsatser

Syftet med denna litteraturstudie var att få information om vilka fältstudier som utförts och vilka resultat som erhållits vid kombinerat kväve och asktillförsel till skogsmark.

Resultaten visar på en ökad trädttillväxt vid samtidig kväve och asktillförsel när något av ämnena som tillförs är tillväxtbegränsande. Många fältstudier visar på likande tillväxteffekt vid kombinerad tillförsel av kväve och aska) som när enbart kväve tillförs och i vissa fall var tillväxten lägre än då enbart kväve tillfördes. En orsak till detta kan vara att den alkaliska askan gör att ammoniak avgår vid samtidig spridning av aska och kvävegödsling.

Surhetsgraden minskar tydligt i framförallt det översta marklagret i skogsmarken då både aska och kväve tillförs. De flesta studier visar att tillförsel av kväve inte har någon påverkan på pH i marken.

Det är viktigt att askan som sprids på skogsmark är ordentligt härdad så att den inte är reaktiv när den sprids och att näringsämnen frigörs långsamt från askan.

Kombinerad kväve och ask spridning bör endast göras i skog med brist på kväve och där framförallt trädbränsleuttag sker. Tillförseln av kväve sker som en gödslingsåtgärd för att få en ökad trädttillväxt på marker med kvävebegränsning. Kvävegödsel bör inte spridas på marker med mycket kväve då det i så fall leder till läckage av kväve till omgivningen. Asktillförsel kan främst ses som en kompensationsåtgärd för att återföra näring till skogen som sker vid trädbränsleuttag och för att motverka förurning av skogsmarken.

9 Framtida studier

- Ammoniakavgång var ett problem i ett antal av fältstudierna där kväve och aska tillfördes samtidigt till skogsmarken. Därför borde detta fenomen studeras mer ingående det vill säga: När förloras kväve i form av ammoniak? Hur mycket ammoniak avgår? Går det att förhindra ammoniakavgång vid samtidig kväve och askspridning?
- Många av de fältstudier som genomförts beskriver att aska och kväve medel inte har blandats ihop så att de sprids samtidigt utan vid två spridningar tätt i följd. Det är önskvärt att askor och kvävegödselmedel kombineras av ekonomiska skäl så att de kan spridas samtidig. Ett problem har varit att det frigörs ammoniak vid sammanblandningen vilket är ett stort problem. Vidare studier borde därför göras för att studera hur man på bästa sätt kan blanda ihop aska och kväve utan ammoniakavgång och där man får en produkt som är lätt att sprida i skogsmark och lagra.
- Det borde studeras hur pellets/granuler med både kväve och aska frigör näringsämnen och kväve på spridningsområdet. Hur lång tid tar det för pelletsen/granulerna att falla sönder och avge näringsämnena?
- De flesta av fältstudierna i litteraturstudien har använt antingen urea eller ammoniumnitrat för att kvävegödsla i skogsmarken i kombination med asktillförsel. Det skulle även vara intressant att studera kvävegödslingen med något organiskt kvävegödslingsmedel eller olika kvävehaltiga restprodukter (från industrin eller jordbruk). I bilaga A presenteras en lista över kvävekällor som skulle vara intressanta att studera experimentellt för se hur lätta de är att kombinera med aska.

Bilaga A:

Genom att kombinera aska och en kvävekälla och tillverka pellets/granuler skulle det möjliggöra att man kan sprida ut både kväve och näringsämnena i askan samtidigt till skogsmarken. Följande kvävekällor skulle vara intressanta att studera för att kväveberika askor:

1. Urea, används inom jordbruket som gödselmedel
2. Ammonium nitrat: t.ex. Skogs-can (Opti-KAS Skog (Yara) innehåller 27% N 13,5% NO_3^- (nitrat), 13,5% NH_4^+ (ammonium), 5% Ca, 2,4% Mg och 0,2% B)
3. Ureaformaldehyde (avger kvävet långsamt till marken, används idag för att gödsla gräsmattor, är dock dyrare än vanliga handelsgödsel)
4. Urefettsyraester, är en kväverik biprodukt från fiskindustrin. Som har använts t.ex. för att öka kvävehalten i avloppsslam eller rötresten som kan användas för gödning.
5. Kalksalpeter, innehåller kväve i form av nitrat som går att blanda med aska
6. Kaliumsalpeter, innehåller kväve i form av nitrat som går att blanda med aska

10 Referenser

1. Saarsalmi, A., E. Mälikönen, and M. Kukkola, *Effect of wood ash fertilization on soil chemical properties and stand nutrient status and growth of some coniferous stands in Finland*. Scandinavian Journal of Forest Research, 2004. **19**(3): p. 217-233.
2. Jacobson, S., et al., *Is tree growth in boreal coniferous stands on mineral soils affected by the addition of wood ash?* Scandinavian Journal of Forest Research, 2014. **29**(7): p. 675-685.
3. Jacobson, S., *Addition of stabilized wood ashes to Swedish coniferous stands on mineral soils - effects on stem growth and needle nutrient concentrations*. Silva Fenn., 2003. **37**: p. 437-450.
4. Saarsalmi, A., et al., *Effect of wood ash and nitrogen fertilization on soil chemical properties, soil microbial processes, and stand growth in two coniferous stands in Finland*. Plant and Soil, 2010. **331**(1): p. 329-340.
5. Pettersson, F., *Kompensationsgödsling efter träddelegallring*. Institutet för skogsförbättring, 1990(Nr 2 1990/91): p. 1-4.
6. Saarsalmi, A., et al., *30-Year effects of wood ash and nitrogen fertilization on soil chemical properties, soil microbial processes and stand growth in a Scots pine stand*. Forest Ecology and Management, 2012. **278**: p. 63-70.
7. Saarsalmi, A., et al., *Wood ash in boreal, low-productive pine stands on upland and peatland sites: Long-term effects on stand growth and soil properties*. Forest Ecology and Management, 2014. **327**: p. 86-95.
8. Linder, S., *Foliar analysis for detecting and correcting nutrient imbalances in Norway spruce*. Ecological Bulletins (Copenhagen), 1995. **44**: p. 178-190.
9. Pärn, H., *Effect of wood ash application on radial and height growth of young Scots pines (Pinus sylvestris L.)*. Forestry Studies/Metsanduslikud uurimused, 2005. **42**: p. 48-55.
10. Ingerslev, M. and L. Hallbäck, *Above ground biomass and nutrient distribution in a limed and fertilized Norway spruce (Picea abies) plantation. Part II. Accumulation of biomass and nutrients*. Forest Ecology and Management, 1999. **119**(1-3): p. 21-38.
11. Ozolinčius, R., et al., *Effects of wood ash and nitrogen fertilization on Scots pine crown biomass*. Biomass and Bioenergy, 2007. **31**(10): p. 700-709.
12. Brais, S., N. Bélanger, and T. Guillemette, *Wood ash and N fertilization in the Canadian boreal forest: Soil properties and response of jack pine and black spruce*. Forest Ecology and Management, 2015. **348**: p. 1-14.
13. Persson, H., *Kalkning av skogsmarken - hur reagerar rötterna?*, B.o.s.n. Skogsfakta 1989, Editor. 1989, Sveriges lantbruksuniversitet: Uppsala.
14. Melin, J., *Turnover and distribution of fertilizer nitrogen in three coniferous ecosystems in central Sweden*. 1986, Dept. of Forest Soils: Swedish University of Agricultural Science. p. 122 pp (In Swedish with English summary).
15. Mikkelsen, R., *Ammonia emissions from agricultural operations: fertilizer*. Better Crops with Plant Food, 2009. **93**(4): p. 9-11.
16. Helmisaari, H.-S., A. Saarsalmi, and M. Kukkola, *Effects of wood ash and nitrogen fertilization on fine root biomass and soil and foliage nutrients in a Norway spruce stand in Finland*. Plant and Soil, 2009. **314**(1): p. 121-132.
17. Saarsalmi, A., E. Mälikönen, and S. Piirainen, *Effects of wood ash fertilization on forest soil chemical properties*. Silva Fennica, 2001. **35**(3): p. 355-368.
18. Bramryd, T. and B. Fransman, *Silvicultural use of wood ashes — Effects on the nutrient and heavy metal balance in a pine (Pinus sylvestris, L) forest soil*. Water, Air, and Soil Pollution, 1995. **85**(2): p. 1039-1044.
19. Saarsalmi, A. and T. Levula, *Wood Ash Application and Liming: Effects on Soil Chemical Properties and Growth of Scots Pine Transplants*. Baltic Forestry, 2007. **13**(2): p. 149-157.

20. Ring, E.A., S.A. Jacobson, and H.O. Nohrstedt, *Soil-solution chemistry in a coniferous stand after adding wood ash and nitrogen*. Canadian journal of forest research =, 2006. v. 36(no. 1): p. pp. 153-163-2006 v.36 no.1.
21. Skogsstyrelsens föreskrifter och allmänna råd till Skogsvårdslagen SKSFS 2011:7, Skogsstyrelsen, Editor.
22. 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.
23. Akselsson, C., et al., *Impact of harvest intensity on long-term base cation budgets in Swedish forest soils*. Water air and soil pollution 2007. 7: p. 201-210.
24. Drott, A., S. Anderson, and H. Eriksson, *Regler och rekommendationer för skogsbränsleuttag och kompensationsåtgärder (Kunskapsunderlag)*. 2019, Skogsstyrelsen.
25. Drott, A., S. Anderson, and H. Eriksson, *Regler och rekommendationer för skogsbränsleuttag och kompensationsåtgärder (Vägledning)*. 2019, Skogsstyrelsen.
26. Clarke, N., et al., *Short-term effects of hardened wood ash and nitrogen fertilisation in a Norway spruce forest on soil solution chemistry and humus chemistry studied with different extraction methods*. Scandinavian Journal of Forest Research, 2018. 33(1): p. 32-39.
27. Steenari, B.M., S. Schelander, and O. Lindqvist, *Chemical and leaching characteristics of ash from combustion of coal, peat and wood in a 12MW CFB – a comparative study*. Fuel, 1999. 78(2): p. 249-258.
28. Magnusson, T., *Skogsbruk, mark och vatten*. Skogsstyrelsen, skogsskötselserien nr 13., 2009.
29. Jacobson, S., et al., *Effects of Wood Ash Dose and Formulation on Soil Chemistry at Two Coniferous Forest Sites*. Water, Air, and Soil Pollution, 2004. 158(1): p. 113-125.
30. Egnell, G., et al., *Miljökonsekvensbeskrivning (MSK) av skogsbränsleuttag, asktillförsel och övrig näringskompensation*. 1998: Skogsstyrelsen rapport 1 1998.
31. Ozolinčius, R., et al., *Influence of wood ash recycling on chemical and biological condition of forest Arenosols*. Journal of forest science, 2006. 52(Special issue): p. 79-86.
32. Rühling, Å. and t. Sverige. *Närings- och, Upptag av tungmetaller i svamp och bär samt förändringar i florans sammansättning efter tillförsel av aska till skogsmark: ramprogram Askåterföring*. 1996: NUTEK.
33. Ozolinčius, R., R. Buožytė, and I. Varnagiryte-Kabašinskienė, *Wood ash and nitrogen influence on ground vegetation cover and chemical composition*. Biomass and Bioenergy, 2007. 31(10): p. 710-716.
34. Saarsalmi, A., et al., *Long-term effects of ash and N fertilization on stand growth, tree nutrient status and soil chemistry in a Scots pine stand*. Forest Ecology and Management, 2006. 235(1): p. 116-128.
35. Jong, J.d. and M. Almstedt, *Död vet i levande skogar*. 2005, Naturvårdscerker.
36. Skogsstyrelsen, *Rekommendationer vid uttag av avverkningsrester och askåterföring*. 2008, Skogsstyrelsen: Jönköping.
37. Andersson, S., *På gång askföring 2017*. 2017: Askdagen 2017 (muntlig presentation), 5 april, Odenplan 7A, Stockholm
38. Pugliese, S., et al., *Wood ash as a forest soil amendment: The role of boiler and soil type on soil property response*. Canadian Journal of Soil Science, 2014. 94(5): p. 621-634.
39. Pitman, R.M., *Wood ash use in forestry – a review of the environmental impacts*. Forestry: An International Journal of Forest Research, 2006. 79(5): p. 563-588.
40. Steenari, B.M., L.G. Karlsson, and O. Lindqvist, *Evaluation of the leaching characteristics of wood ash and the influence of ash agglomeration*. Biomass and Bioenergy, 1999. 16(2): p. 119-136.
41. Jokinen, H.K., O. Kiikkilä, and H. Fritze, *Exploring the mechanisms behind elevated microbial activity after wood ash application*. Soil Biology and Biochemistry, 2006. 38(8): p. 2285-2291.

42. Mahmood, S., et al., *Effects of hardened wood ash on microbial activity, plant growth and nutrient uptake by ectomycorrhizal spruce seedlings*. FEMS Microbiology Ecology, 2003. **43**(1): p. 121-131.
43. Perkiömäki, J. and H. Fritze, *Short and long-term effects of wood ash on the boreal forest humus microbial community*. Soil Biology and Biochemistry, 2002. **34**(9): p. 1343-1353.
44. Bååth, E. and K. Arnebrant, *Microfungi in coniferous forest soils treated with lime or wood ash*. Biology and Fertility of Soils, 1993. **15**(2): p. 91-95.
45. Tamm, C.O., *Nitrogen in terrestrial ecosystems, questions of productivity, vegetational changes and ecosystem stability*. Ecological Studies 81. 1991, Berlin: Springer.

KOMBINERAD KVÄVE- OCH BIOASKEGÖDSLING AV SKOGSMARK

Det är viktigt att motverka de negativa konsekvenser som uppstår i samband med dagens ökade trädbränsleuttag ut skogen det vill säga ökad markförsurning och näringsförlust.

I dagens skogsbruk tas oftast större delen av trädet ut i samband med avverkningen vilket leder till att mer näringsämnen forslas ut ur skogen än om enbart trädstammen avlägsnades eftersom större delen av näringsämnena finns i grenar och toppar.

Ett alternativ för att återföra de förlorade näringsämnena och motverka markförsurning är att recirkulera träaskor till skogsmarken. Sedan kan skogens behov av kväve uppfyllas genom konventionell skogskvävegödsling när så behövs.

Här sammanställs resultat från fältstudier där man har kombinerat kväve och askgödsling för att få en mer samlad bild av effekterna av att sprida aska och kväve i skogsmark. Rapporten ger också en kort bakgrund till askors komposition, fördelar och nackdelar med askor.

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