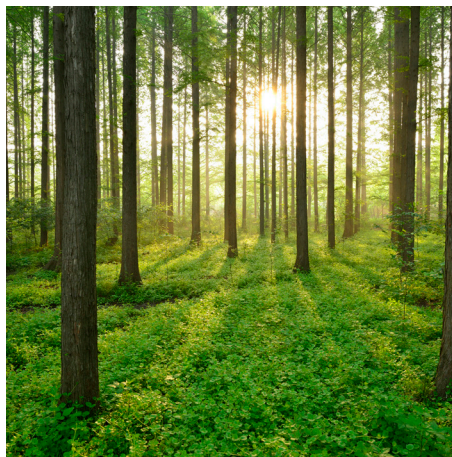
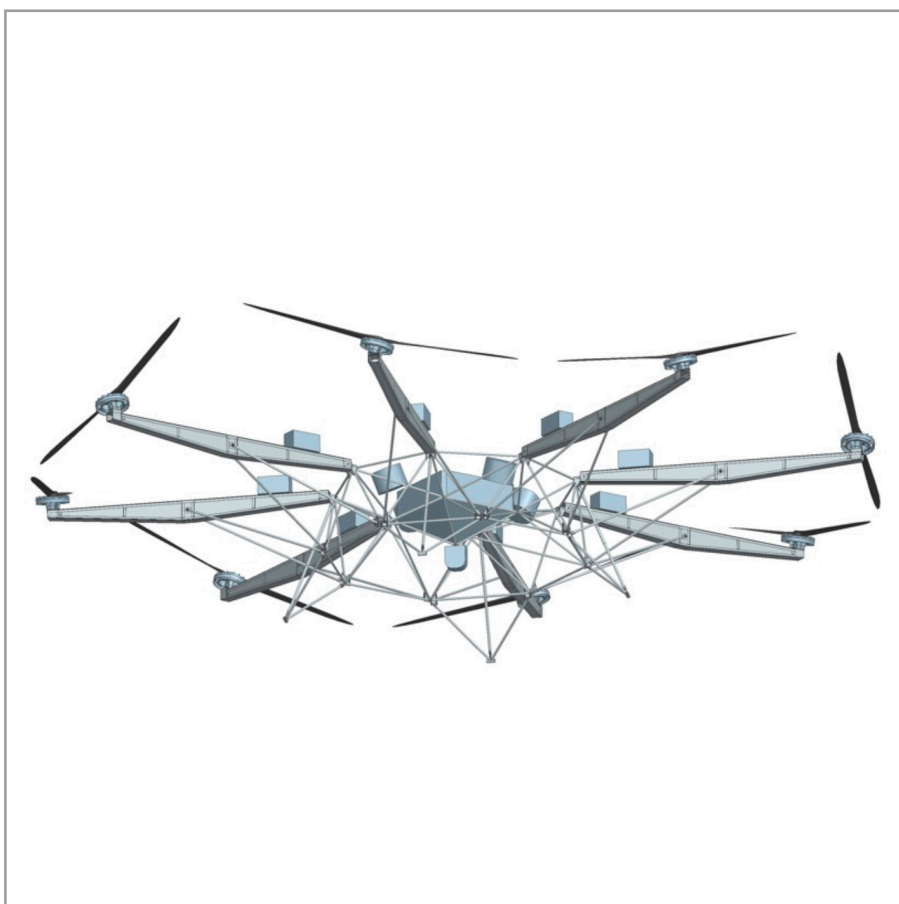


UTPROVNING AV EN MULTIKOPTERBUREN ASKSPRIDARE

RAPPORT 2024:988



ASKPROGRAMMET



Utprovning av en multikopterburen askspridare

GUNNAR DAHLBÄCK
MIKAEL HULT

ISBN 978-91-7673-988-4 | © Energiforsk januari 2024

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

Förord

Behovet av näringsåterföring till skogsmark, bland annat i form av bioaska, kommer att öka genom det ökade uttaget av grenar och toppar (GROT) ur skogen. Askåterföring begränsas dock av dyr logistik för spridningen i skogen.

GI Lift AB har sedan 2018 arbetat med att utveckla system för markoberoende skogsskötsel. I det här projektet har GI Lift utvecklat ett autonomt luftburet system med spridare som sprider askan med hjälp av en egenutvecklad fossilfri multikopter.

Det återstår en del utvecklingsarbete till exempel med att utveckla en spridare som kan hantera 500 kg krossaska, men grunden till ett effektivt system för att sprida stora mängder aska från luften finns nu framtaget.

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

Sammanfattning

Behovet av näringsåterföring till skogsmark, bland annat i form av bioaska, kommer att öka genom det ökade uttaget av grenar och toppar (GROT) ur skogen. Denna biomassa används för att minska vårt fossilberoende men innehåller också viktiga näringsämnen. Askan från värmeverken bibehåller dessa. Genom spridning av askan i skogen återför man näringsämnena och därmed kan man minska risken för försurning och samtidigt öka tillväxten.

Att återföra aska och näringsämnen från luften har flera fördelar. I detta projekt har vi arbetat med att utveckla ett autonomt luftburet system med spridare som sprider askan med hjälp av en egenutvecklad fossilfri multikopter.

Målsättningen med projektet har varit att hitta en optimal spridningsmetodik med en luftburen spridare för olika typer av bioaska. Spridaren integreras under en stor multikopter (drönare). Det övergripande kravet har varit att uppnå en kontrollerad spridning utan risk för spridning till känsliga områden som t.ex. vattendrag.

Efter flera utvecklingssteg har prov inklusive flygprov med en nerskalad spridare genomförts. Denna spridare tippar askan genom ett reglerande raster för ett kontrollerbart utflöde. Genom att kontrollera multikopterns flyghastighet i förhållande till askflödet är det möjligt att få en jämn spridning längs flygvägen utan oönskad spridning i sidled.

Nyckelord

Multikopter, Drönare, Autonomt, Askåterföring, Spridning från luften, Minskad påverkan på marke, Krossaska, Granulerad aska, Ökad tillväxt, Minskad försurning

Summary

The need for nutrient recycling, including in the form of bioash, to forest land will increase through the increased removal of branches and tops (GROT). This biomass is used to reduce our dependence on fossil fuels but also contains important nutrients. The ash from the heating plants maintains these. By spreading the ash in the forest, the nutrients are returned and thus the risk of acidification can be reduced and at the same time growth can be increased.

Returning from the air has several advantages. In this project, we are working on developing a spreader that autonomously spreads the ash using a fossil-free multicopter.

The goal of the project has been to find an optimal spreading methodology with an airborne spreader for different types of bioash. The spreader is integrated under a large multicopter (drone). The overall requirement has been to achieve a controlled spread without the risk of spread to sensitive areas such as e.g. water course.

After several stages of development, tests including flight tests with a scaled-down spreader have been carried out. This spreader tips the ash through a regulating grid for a controllable outflow. By controlling the multicopter's flight speed in relation to the ash flow, it is possible to get an even spread along the flight path without unwanted lateral spread.

Innehållsförteckning

1	BAKGRUND	7
2	GENOMFÖRANDE	8
2.1	MARKPROV	8
2.1.1	Steg 1, Spridning inomhus i kontrollerad miljö, ingen vind	8
2.1.2	Steg 2, Statiska prov utomhus, provhöjd 10 – 35 m.	10
2.1.3	Steg 3	10
2.2	FLYGPROV	11
2.3	SLUTSATSER	13
2.3.1	Kvalitet samt typ av aska	13
2.3.2	”Turnaround-tid”	13
3	FORTSATT ARBETE	15
4	REFERENSLISTA	16

1 Bakgrund

För att klara Sveriges miljömål är en ökad användning av biomassa från skogen en viktig åtgärd. Ett ökat uttag av GROT ur skogen innebär dock samtidigt en utarmning av näringsämnen som långsiktigt påverkar skogens tillväxt och kan förorsaka försurning. Askan från värmeverk, kraftvärmeverk och bruk som använt GROT innehåller fosfor och nödvändiga baskatjoner.

Askåterföring kan bidra till att bibehålla balansen i skogen.

De metoder som erbjuds idag i form av spridning med traktor, ombyggd skotare eller helikopter, har sina begränsningar med avseende på effektivitet, precision, ekonomi och miljö. Genom att sprida från luften och utnyttja den snabba utvecklingen som sker inom autonoma och fossilfria system kan man uppnå vinster på alla dessa områden.

GI Lift AB har sedan 2018 arbetat med att utveckla system för markoberoende skogsskötsel. I samarbete med Södra Skogsägarna har vi visat på möjligheterna att lyfta hela träd ur skogen samt att sprida näringsämnen som t.ex. bioaska. Olika typer av aska såsom krossaska eller granulerad aska ställer olika krav på spridningsmetodiken. Granulerad aska har en jämnare kornstorlek medan krossaska har en stor variation och klumpar sig lätt.

Med stöd från bland annat Askprogrammet har projektet genomförts i ett antal steg vilka beskrivs nedan.

2 Genomförande

2.1 MARKPROV

Initialt genomfördes olika former av tester från marken med en spridare som bl a utvecklats inom ett examensarbete vid Linköpings universitet ("Drönarburet spridarsystem för skogsvård" LiU ISRN: LIU-IEI-TEK-A-21/04128—SE, Brygt F. och Edström L., ref 1).

Spridaren är en svetsad plåtkonstruktion, som rymmer 500 l aska och har en roterande tallrik i botten för spridning likt en gödselspridare. Spridaren väger ca 40 kg.

Samtidigt studerades hur systemet skulle kunna lastas med aska. En studie av en start- och landningsplattform genomfördes, också detta som ett examensarbete ("Utveckling av operationsplattform för autonomt drönarsystem - Ett system för att effektivisera askspridning inom skogsindustrin". Linköpings universitet 2021. LIU-IEI-TEK-A{21/04144—SE, Aurell A., Bystedt O., ref 2).

2.1.1 Steg 1, Spridning inomhus i kontrollerad miljö, ingen vind

Dokumentation av askspridningsprofil med granulerad aska, med olika flöden samt olika rotationshastigheter på spridartallrik.



Bild 1. Prov av fullstor spridare i testhall, provhöjd ca. 3m

Spridaren (se bild) hängdes upp i taket ca 2 m över golvet. 12 stycken (ca 50 x 100 cm) tråg placerades ut med ca. 70 cm avstånd från spridarens centrum. Spridarens rotationshastighet styrdes via en mikrodator som registrerade både varvtal samt styrkan på reglerspänningen (max reglerspänning 5 V motsvarar värdet 255).

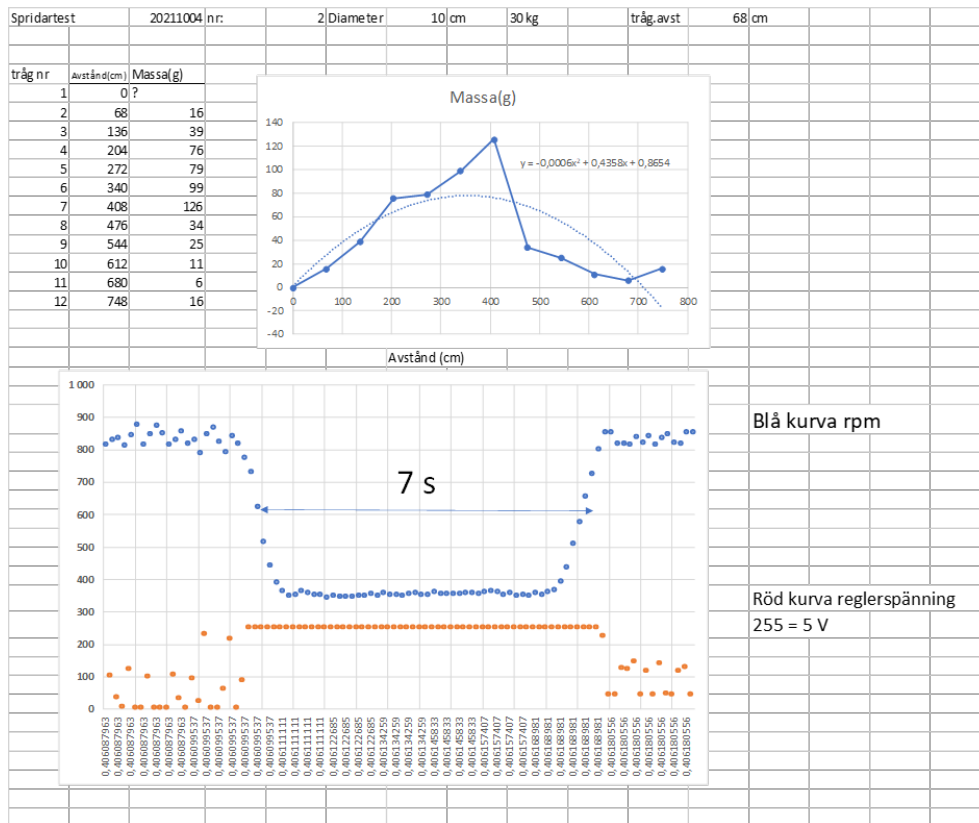


Diagram 1. Övre delen visar spridning av askgranulat (massa = g, askgranulat i varje enskilt tråg) som funktion av avståndet från spridningscentrum och undre delen förhållandet mellan reglerspänning (röd kurva = V) och varvtal (blå kurva = rpm) på spridardisken.

2.1.2 Steg 2, Statiska prov utomhus, provhöjd 10 – 35 m.

Proverna genomfördes dels med granulerad aska dels med krossaska. Resultaten från dessa prov visar en relativt jämn spridning på marken. Kärln var placerade från centrum ut till 7 m med jämna mellanrum, för att kunna registrera spridningen från centrum. Ett problem, som framgår i nedanstående bild, är den svårkontrollerade dammbildningen.

Spridning av krossaska med en roterande tallrik bedömdes ge en ännu kraftigare spridning av askdamm.



Bild 2. Statiska prov utomhus, provhöjd 10 – 35 m.

2.1.3 Steg 3

Steg 3 och 4 enligt vår ansökan har fått en modifierad utformning efter erfarenheterna från steg 1 och 2. Ändring av innehållet i steg 3 o 4 har gjorts i dialog med Skogsstyrelsen (Stefan Andersson), vilket har lett till att kravbilderna modifierats.

Det avgörande är en kontrollerad spridning i flygvägen. Detta för att undvika risk för spridning till närliggande vattendrag. Spridningen längs flygvägen skall vara kontrollerad dvs mängden aska per meter ska kunna variera genom varierad hastighet på multikoptern. Tvärs flygvägen är det avgörande att inget sprids utanför spridningsprofilen.

Efter dialog med Skogsstyrelsen utvecklade vi en helt ny spridningsmetodik där aska töms kontrollerat ur en spridare med minimal sidospredning. Kontrollen av flödet ur spridaren sker genom ett galler och mängdflödet per meter styrs genom att anpassa flyghastigheten. Denna metodik och konstruktion är intressant att vidareutveckla.

Ett stort antal statistiska prov har genomförts med en nerskalad spridare som kan rymma 50 kg aska. Spridaren är anpassad för att kunna lyftas av en mindre multikopter. Under testerna använde vi vår egenutvecklade demonstrator, Proto8 (bild 3). Denna kan lyfta totalt 80 kg.

Markproven visade att det var möjligt att få ett kontrollerat flöde ur spridaren.

2.2 FLYGPROV

För att kunna utföra flygprov med spridaren använde vi vår multikopter Proto8. Denna är en egenkonstruerad multikopter med åtta separata rotorerna. Den har en total lyftförmåga på 100 kg men vi har begränsat MTOW (Maximum Take Off Weight) till 80 kg för att ha viss marginal vid oväntade belastningar. Med Proto8 har vi genomfört över 50 flygningar.



Bild 3. Multikopter Proto8 med 8 motorer och en lyftförmåga på 80 kg.

För att flyga Proto8 med last krävs ett tillstånd baserat på det nya europeiska regelverket för flygning med obemannade farkoster (Easy Access Rules for Unmanned Aircraft Systems, Regulations (EU) 2019/947 och 2019/945, ref 5). Ansökningsprocessen för flygtillståndet har krävt mycket tid och fördröjt vår möjlighet att komma igång med provningsverksamheten enligt plan. Tidsfördröjningen beror till största del på att den tillståndsgivande myndigheten, Transportstyrelsen, har behövt "läsa in sig" på det nya regelverket och bygga en organisation för hantering av ansökningarna.

Efter erhållet flygtillstånd har vi genomfört ett flertal flygningar med den nerskalade spridaren, som hittills har lastats med upp till 30 kg krossaska. Utvärderingen har primärt skett med okulär besiktning och via filmer. Dessa visar att vi uppnått ett bedömt kontrollerat flöde med begränsad dammspridning utanför flygsträckan (se bild nedan). Vi har också kunnat konstatera att luftflödet runt multikoptern (vortex) aktivt hjälper till att sprida askan ut från centrum av systemet och nedåt marken.



Bild 4. Flygprov med Proto8 och spridningstunna med 30 kg krossaska.

En demonstration av systemet och spridningen genomfördes i september 2023 för representanter från Askprogrammets referensgrupp vid Norrköpings flygplats. Flygplatsen används som testfält inom den EU-finansierade huben Aero EDIH (en av två i Europa) där GI Lift ingår.

En film från demonstrationen finns på Youtube, sök "GI Lift demo".

I samarbete med Linköping universitet har vi genomfört fyra examensarbeten. Dessa har haft inriktning på askspridare (ref 1), landningsplattform (ref 2), utformning av chassi för multikopter med lyftkraft 1 ton (ref 3) samt batterihanteringssystem (ref 4). Vi avser genomföra ytterligare examensarbeten med fokus på spridaren och spridningsteknik samt spridningsmönster.

Vi har även sökt patent på principen ”behovsanpassad näringsåterföring i samband med annan skogsskötselåtgärd”.

2.3 SLUTSATSER

2.3.1 Kvalitet samt typ av aska

Krossaska kontra granulerad aska

Vi noterar att granulerad aska är något enklare att hantera tack vare relativt jämn kornstorlek. Däremot är tillgången mycket begränsad. I dagsläget finns endast en fungerande granuleringsanläggning i Sverige. Denna är belägen vid Stockholm Exergis anläggning i Värtahamnen i Stockholm. Detta begränsar både tillgången till granulat samt den geografiska utbredningen. Det blir inte lönsamt att transportera askan långt från anläggningen.

Fördelen med krossaska är att den finns tillgänglig på många platser i Sverige och dessutom i stor omfattning vilket bör täcka behovet inom överskådlig tid. Ett krav är dock att den är helt baserad på biobränsle. Aska från annat material än biobränsle får inte användas.

Hanteringen av krossaska är mer komplicerad än granulerad aska. Den klumpar sig lätt vilket kräver att den på något sätt måste finfördelas innan spridning. Det är en av de frågeställningar vi avser titta närmare på framöver.

Projektet påbörjades med intentionen att använda granulerad aska, vilken har flera positiva egenskaper. Resultaten från de första statiska proven med denna aska visade dock att vald spridningsmetodik med en roterande tallrik gav ett svårkontrollerat moln av damm.

Våra kontakter med Skogsstyrelsen klargjorde att det viktigaste kravet var att inte sprida utanför valt stråk så att aska inte hamnar i exempelvis vattendrag. På grund av ovanstående valde vi att fortsätta studier skulle ske med krossaska. Massaflödet styr flyghastigheten så att det blir konstant kilogram aska per meter i flygriktningen. Därmed uppnår man tillräckligt jämn spridning inom valt flygstråk

2.3.2 ”Turnaround-tid”

En slutsats är att en av de viktigaste faktorerna som avgör produktiviteten är att tiden vid basstationen skall vara så kort som möjligt. Den faktor som kommer att avgöra ”turn-around” tiden blir därmed batteribytet. Ett första examensarbete vid Linköpings universitet (”Utveckling av batterihanteringssystem för autonom transportdrönare”, LIU-IEI-TEK-A--23/04581—SE, David Granbom) (ref 4) har visat på olika möjligheter att lösa detta.

Våra beräkningar pekar på att total spridningskapacitet med 500 kg aska per spridningstur blir ca 20 – 30 ha per dag.

3 Fortsatt arbete

Vi avser fortsätta arbetet med att utveckla en spridare som kan hantera 500 kg krossaska. I detta utvecklingsarbete ingår även att utveckla styrsystemet för autonom flygning med möjlighet att programmera optimerade spridningsrutter för minimerad energiåtgång.

För att lyfta en nyttolast på 500 kg krävs en kraftfull multikopter. Parallellt med framtagning av en fullstor spridare arbetar vi därför med att få tillgång till en multikopter med tillräcklig lyftförmåga. Denna multikopter skall vara utrustad med ett mätsystem som registrerar alla väsentliga parametrar såsom GPS position, höjd och hastighet, variationen i lyft last (för att kunna anpassa spridningshastigheten), etc.

För att få en effektiv återföring av askan till skogen krävs även en effektiv logistik av aska från värmeverken till basstationen i skogen. Vi har initierat en sådan studie i samarbete med några värmeverk.

I en separat ansökan har vi fått medel från NFFP (nationellt flygtekniskt forskningsprogram) för att utveckla en effektiv energiförsörjning till vårt spridningssystem.

4 Referenslista

Brygt F., Edström L. Drönburet spridarsystem för skogsvård
Design av askspridare för återföring av näringsämnen i skog
anpassad till drönare. Examensarbete Linköping Universitet vårterminen 2021.
LIU-IEI-TEK-A-21/04128—SE

Aurell A., Bystedt O. Utveckling av operationsplattform för
autonomt drönarsystem - Ett system för att effektivisera askspridning inom
skogsindustrin. Examensarbete Linköpings universitet vårterminen 2021. LIU-IEI-
TEK-A-21/04144—SE

Theiner R. Preliminary design of UAV Multikopter. Master Thesis at Linköping
University and Prague Technical University, KOS-1087892725805,
<http://hdl.handle.net/10467/102992>

Granbom D. Utveckling av batterihanteringssystem för autonom transportdrönare
- Design av askspridare för återföring av näringsämnen i skog anpassad till
drönare. Examensarbete Linköpings Universitet vårterminen 2023. LIU-IEI-TEK-A-
-23/04581—SE

Easy Access Rules for Unmanned Aircraft Systems, Regulations (EU) 2019/947 och
2019/945

UTPROVNING AV EN MULTIKOPTERBUREN ASKSPRIDARE

Behovet av näringsåterföring till skogsmark, bland annat i form av bioaska, kommer att öka genom det ökade uttaget av grenar och toppar (GROT) ur skogen. Genom spridning av askan i skogen återför man näringsämnen och därmed kan man minska risken för försurning och samtidigt öka tillväxten.

Det här projektet handlar om utvecklingen av ett autonomt luftburet system med spridare som sprider askan med hjälp av en egenutvecklad fossilfri multikopter.

Målsättningen med projektet har varit att hitta en optimal spridningsmetodik med en luftburen spridare för olika typer av bioaska. Efter flera utvecklingssteg har prov inklusive flygprov med en nerskalad spridare genomförts.

Genom ett flertal tester har vi kommit fram till att en acceptabel och kontrollerad spridning av krossaska kan uppnås genom spridning av askan från luften med en multikopterburen askspridare. Det återstår att utvärdera optimalt avstånd till marken för att nå bästa spridning i sidled (tvärs flygriktningen).

Ett nytt steg i energiforskningen

Forskningsföretaget Energiforsk initierar, samordnar och bedriver forskning och analys inom energiområdet samt sprider kunskap för att bidra till ett robust och hållbart energisystem. Energiforsk är ett politiskt neutralt och icke vinstutdelande aktiebolag som ägs av branschorganisationerna Energiföretagen Sverige och Energigas Sverige, det statliga affärsverket Svenska kraftnät, samt gas- och energiföretaget Nordion Energi. Läs mer på energiforsk.se.