



SLUTRAPPORT

# Utveckling av drönbaserad askåterföring

Elof Winroth, Nordluft Automation AB

**RE:  
SOURCE**

Slutrapport för projekt:

# Drönbaserad askåterföring

**Engelsk titel:** Development of drone based bioash recirculation

**Projektperiod:** 2020-01-01 till 2022-12-31

**Datum:** 2022-12-31

**Projektnummer:** 45712-2

**Diarienummer:** 2019-019347

**Projektledare:** Elof Winroth

**Organisation:** Nordluft Automation AB

**Adress:** Sandhamnsgatan 58, 115 60, Stockholm

**Nyckelord:** 5–7 st: Bioaska, askgödning, drönare, lastdrönare, askåterföring, skogsbruk

RE:Source är ett strategiskt innovationsprogram och finansieras av

VINNOVA

 Energimyndigheten

FORMAS 

# Förord

Träbaserade biobränslen används i stora mängder inom industri och energiproduktion. Vid förbränning av dem uppstår bioaska som restprodukt. Återföring av dessa askor till skog har långsiktigt goda effekter på skogen och dess tillväxt. Återföringen begränsas av dyr och komplex logistik. I aktuellt projekt har återföring med hjälp av drönare utvecklats och testats med lovande resultat. Projektet har genomförts av startupbolaget Nordluft Automation AB med stöd från Stockholm Exergi, som agerat behovsägare. Övriga partners är RE:Source/Energimyndigheten, Energiforsk och EIT InnoEnergy. Dessa aktörer har bidragit med finansiering, expertkunskap och nätverk.

## Innehåll

1. Sammanfattning.....	4
2. Summary .....	5
3. Inledning och bakgrund .....	7
3.1. Askåterföring .....	7
3.2. Drönartekniken .....	9
4. Genomförande .....	11
4.1. Arbetspaket 1 – vidareutveckla drönare .....	11
4.1.1. Drönare.....	11
4.1.2. Batterisystem.....	13
4.1.3. Spridarmekanism.....	14
4.2. Arbetspaket 2 – vidareutveckla styrsystemet .....	15
4.3. Arbetspaket 3 – vidareutveckla basstationen .....	16
4.4. Arbetspaket 4 – tester och demonstration .....	17
4.5. Arbetspaket 5 – admin och övrigt .....	18
5. Resultat och diskussion .....	18
6. Slutsatser, nyttiggörande och nästa steg .....	21
7. Projektkommunikation .....	23

# 1. Sammanfattning

Vid förbränning av träbränsle, exempelvis flis och pellets, i industriella produktions- och energianläggningar uppstår stora mängder aska som restprodukt. Askan innehåller mineraler och näringsämnen. För ett långsiktigt hållbart skogsbruk behöver detta material återföras till skogen där det bidrar till tillväxt och markförbättring. Idag hamnar stora mängder av materialet i stället på deponi, framför allt på grund av höga kostnader för spridning i skogen. Drönbaserad spridning är en ny metod som kan sänka kostnaderna och komplettera befintliga spridningsmetoder.

Aska från förbränning av träbränslen sprids i skog dels för att uppnå lång- och kortsiktiga tillväxteffekter i skogen, dels för att producenter av askan ser återföring till skog som ett cirkulärt och attraktivt sätt att kvittbli den. Alternativ till återföring är framför allt täckning av deponier och användning som utfyllnadsmaterial i anläggningsarbeten.

Askåterföring rekommenderas av Skogsstyrelsen för den mark där grot för energiändamål tagits ut. Detta då grot har särskilt hög koncentration av mineraler och näringsämnen. Till arealen för grotuttag tillkommer stor ytterligare potential för askåterföring där vissa forskare pekar på uppåt 500 000 hektar. Idag återförs en begränsad mängd aska. Anledningen är framför allt utmaningar i logistiken och ekonomin. Det kostar helt enkelt för mycket att få ut askan i skogen jämfört med de alternativa kvittblivningsmetoderna.

Startupbolaget Nordluft Automation utvecklar drönarteknik för att sprida material från luften. Systemet använder ett antal större drönare som styrs autonomt. Storleken av, och antalet drönare, ger hög spridarkapacitet. Att spridningen sker från luften ger ett oberoende av terrängförhållandena i skogen och en stor flexibilitet. Det har setts en möjlighet i att denna drönarteknik skulle kunna minska de ekonomiska och logistiska hindren som finns för att askåterföring till skog ska kunna öka. Denna rapport beskriver arbetet med utveckling av systemet från prototyper av delkomponenterna mot målsättningen, ett sammansatt system som kan visa den kommersiella potentialen i Nordlufts koncept.

Ett omfattande utvecklingsarbete har inom projektet bedrivits fokuserat på drönarsystemets olika delkomponenter och hur de fungerar tillsammans. Drönare, styrsystem och basstation har vidareutvecklats och testas. En demonstration för askåterföring genomfördes i december 2021 då tre drönare med 30 kg kapacitet användes för att återföra 300 kg granulerad aska till skog. Denna demonstrationskörning verifierade kärnan i Nordlufts koncept och responsen från medverkande var mycket positiv.

Inom ramen för utvecklingsprojektet uppstod en rad utmaningar, relaterade till bl.a. teknik och flygtillstånd. Trots en förlängd projekttid, från 24 till 36 månader, uppnåddes inte

målsättningen om en kommersiell demonstrator fullständigt, dit är det en bit kvar. Projektet och dess resultat har ändå varit mycket värdefulla och inneburit stora framsteg för tekniken och dess applikation inom askåterföring. Projektparterna är fortsatt övertygade om potentialen. Projektet har medfört kunskapsutbyggnad kring kvarvarande utvecklingsbehov och insikter om hur resurser bör prioriteras.

Nordluft Automation fortsätter utvecklingen av drönarssystemet för askåterföring och andra applikationer. Projektet har medfört ökad mognadsgrad framförallt för tekniken men även för företaget bakom den. Förutsättningar finns nu för att ta nästa steg mot kommersialisering och uppskalning. Bolaget bedömer att projektets ursprungliga mål kommer nås under 2023-2024, då kommer en kommersiellt användbar prototypversion av systemet vara framtagen, uppbyggd av delkomponenterna drönare, basstation och styrsystem.

## 2. Summary

In the combustion process of wood biomass, e.g. fuel pellets and wood chips in industrial production and energy plants, large volumes of bioash is created as waste. This material contains minerals and nutrients that counteracts acidification and boosts growth in the forest. For a closed loop and long-term sustainable production system, these minerals and nutrients needs to be returned to the forest ecosystem. The bioash from use of wood-based fuels is currently to a high extent used as landfill, where the nutrients and minerals inside it does not contribute to the future growth in forests. This is due to high cost of recycling the bioash in forests. Drone based ash recycling is a new method that can lower the costs of spreading and provide a valuable addition to current spreading methods.

Ash from combustion of wood-based fuels is spread in forests partly to achieve long- and short term increased growth and soil health, but also because producers of bioash see forest recycling as a circular and attractive way of disposal. The alternative is in most cases use as landfill where the nutrients inside the ash have no positive effect.

Recirculation of bioash is recommended by the Swedish Forest Agency for forest land used for production of grot (rejected tops and branches). The reason for this is that this material has a higher concentration of minerals and nutrients compared to roundwood. In addition to this land there is large potential for recirculation of wood-ash, some researchers point towards 500 000 hectares in Sweden. Today only a small portion of wood-ash is recycled due to difficulties in the logistic chain and high costs. The costs of getting the ash out to and then spread in the forest is simply too high compared to other methods of disposal.

The startup company Nordluft Automation is developing drone technology for aerial spreading of material. The system uses a group of cargo drones controlled automatically from a central computer. The size of, and number of, drones give high spreading capacity. Because the spreading is aerial, the operations are independent of terrain and a high flexibility is gained. Using this technology for decreasing the logistical and economical barriers of forest ash recirculation has been identified as a promising way to increase bio ash recirculation in forests. This report describes the work of developing the system from prototypes of the sub-components to the project objective, a full system that could work as commercial demonstrator for Nordluft's technology.

In the project, substantial development work has been done focused on the drone system's different sub-components and how they have operated together. Drones, control system and base station have been further developed and tested. A demonstration flight session took place in December 2021 where three drones, each carrying 30 kg of payload, were used to recycle 300 kg of granulated ash to the forest. This verified the core in in Nordluft's concept and the response from industry experts was positive.

During the process, a number of issues related to technology, flight operation permits and other, arise. Despite a prolonged project period of another 12 months, the full project objective of commercial demonstrator was not reached. However, the project and its result are of great value and meant substantial progress for the technology and its application in bioash recirculation. The project partners are fully convinced of the potential. The project has led to knowledge built in around remaining development needs and insights in how resources should be prioritized.

Nordluft Automation continues to develop the drone system for bioash recirculation and other applications. The project has increased the maturity level of the technology but also for the startup company behind it. Now the conditions are in place to take the system to commercialization and scaling up. The company plans to achieve the initial project objective during 2023, a commercially usable prototype version of the full system, with all subcomponents, drones, base station and control system in place and integrated.

## 3. Inledning och bakgrund

### 3.1. Askåterföring

Vid förbränning av fasta träbaserade skogsbränslen som exempelvis sågspån, flis, och pellets, bildas bioaska som restprodukt. Detta material skapas i stora mängder i trä- och pappersindustrier samt i kraft- och värmeproduktion. Dessa industrianläggningar har behov av att bli av med detta material på ett hållbart och ekonomiskt sätt.

Bioaskan innehåller många olika ämnen med olika egenskaper. Av principiella skäl kan hävdas att all bioaska behöver återföras till skogsmarken för att sluta det naturliga kretsloppet och för att göra bränsleuttaget långsiktigt hållbart. I praktiken är det dock en begränsad mängd aska som lämpar sig för spridning. Beroende på förbränningsprocessen får askan olika egenskaper och innehåll. Uppgifter förekommer om att det i Sverige årligen produceras 200 000 ton bioaska lämplig för spridning.<sup>1</sup>

Bioaska innehåller en rad kemiska komponenter. Störst relevans i skogen har fosfor, kalcium, magnesium och kalium. Ifall det råder brist på något av dessa ämnen i skog som bioaska sprids i, ges en positiv tillväxteffekt av askåterföring. Tillväxteffekten är dock beroende av flera faktorer. Markbundet kväve kan påverkas både avseende omsättning och tillgänglighet av komponenter i bioaskan. Där kvävetillgången är begränsad är därför tillväxteffekten av askåterföring inte säker. Bioaskan är basisk och motverkar därmed försurning av marker och vattendrag.

Torvmarker innehåller generellt begränsade mängder av de näringsämnen som återfinns i bioaska. Projektstudien "Viltfoderproduktion på torvmark med hjälp av aska" från 2017 visar stora tillväxteffekter av askåterföring på torvmark hos de växter som utgör viltfoder, och därmed en attraktiv ekonomisk möjlighet för skogsägare att minska sina betesskador.<sup>2</sup> Uppgifter från Markku Remes vid Finlands skogscentral gör gällande att askåterföring till torvmark ökar virkestillväxten med i medeltal 3 kubikmeter per år och hektar. Askåterföring till torvmark har alltså stor potential att ge skogsägaren minskade kostnader för viltskador, ökad virkestillgång och högre kolinbindning från atmosfären.

---

<sup>1</sup> Rapport – *Produktion och spridning av granulerade askprodukter, Skogforsk 2019*

<sup>2</sup> Rapport – *Viltfoderproduktion på torvmark med hjälp av aska, Energiforsk 2017*



Av de 200 000 ton spridningsbar aska så återförs årligen ca en fjärdedel till en total areal av ca 13 000 hektar.<sup>3,4</sup> Rekommenderad giva är mellan 2 och 3 ton torr aska per hektar enligt Skogsstyrelsen. De rekommenderar askåterföring på marker där större uttag av grot (avverkningsrester såsom grenar och toppar, oftast för energiändåmål) görs. Detta material innehåller högre koncentration av näringsämnen jämfört med rundvirke. Uttag av grot bedöms annars orsaka alltför stor försurande effekt och näringsutarmning för att kunna definieras som uthålligt. Skogsstyrelsen gör bedömningen att gränsen går vid uttag av grot i samband med slutavverkning i granskog på 200 m<sup>3</sup>sk eller mer, vilket motsvarar ungefär ett halvt ton aska. Uttag av grot på tallmarker understiger ofta gränsen på ett halvt ton.<sup>5</sup>

Enligt Stefan Andersson på Skogsstyrelsen kräver gällande lagstiftning att skogsägare kompenserar för näringsuttag, men bara 25-30 % av askan från biobränsleuttag återförs.<sup>6</sup> Resten av askan hamnar på deponi, deponitäckning eller används som anläggningsmaterial. I dessa användningsområden kommer inte näringsämnena i askan till nytta och utan återförande av dessa riskerar skogsmarkens långsiktiga produktionsförmåga att minska.

Anledningen till att mer bioaska inte återförs till skogen är framför allt att den logistik som krävs är dyr. Askan behöver först förbehandlas genom befuktning och härdning för att inte dess kemiska reaktivitet ska skada vegetationen. Sedan tillkommer kostnaden för transport till skogen och för spridning. Spridningen görs framför allt med anpassade skogsmaskiner och traktorer, men även med helikopter. Vid spridning behöver hänsyn tas till markförhållanden och väderlek för att inte körskador ska orsakas.

Kostnaden för hantering av askan bärs till stor del av askproducenten, men ett mindre bidrag kommer i många fall från skogsägaren. En hållbar omställning av energisystemet kommer troligen att innebära en ökad andel el och värme från förnybara bränslen och därmed kommer behovet av askåterföring att öka.

---

<sup>3</sup> Rapport – *Produktion och spridning av granulerade askprodukter*, Skogforsk 2019

<sup>4</sup> Rapport – *Simuleringsstudie av ny metod för askåterföring*, Skogforsk 2018

<sup>5</sup> Informationsblad – *Återför aska till skogen*, Skogsstyrelsen 2014

<sup>6</sup> Artikel läst maj 2022 – <https://bioenergitidningen.se/kulor-av-aska-ska-oka-aterforing-av-naring-till-svenska-skogar/>



## 3.2. Drönartekniken

Drönare är ett samlingsnamn på motorförsedda luftfartyg utan pilot ombord som kan flyga autonomt eller fjärrstyras. Det finns idag ingen tydlig gränslinje mot modellflyg. Det är dock, till skillnad från modellflyg, ovanligt att drönare byggs för att utseendemässigt efterlikna bemannade luftfarkoster. Drönartekniken har sitt ursprung i det militära men idag används tekniken inom de flesta samhällssektorer. Några exempel är:

- Leverans av mediciner på den afrikanska landsbygden. Se bolaget Zipline.
- Akut utkörning av hjärtstartare i ett område i Västsverige. Se bolaget Everdrone.
- Besprutning av risfält i Asien. Se bolagen DJI och XAG.
- Inspektion av infrastruktur såsom broar, järnväg och elnät.
- Eftersökning av personer och djur hos blåljusverksamhet.

I aktuellt projekt används drönare av typen multikopter, en design med flera roterande horisontella propellrar monterade på varsin arm. Denna typ av flygfarkost provades under tidigt 1900 tal men fick då ingen praktisk betydelse. Problemet med konstruktionen var den inneboende instabiliteten. Lyftkraften ute på de olika armarna måste alltid regleras och balanseras noggrant för att flygfarkosten ska flyga horisontellt. I stället blev helikoptern den dominerade konstruktionen då den till viss del är självstabiliserande.

Med framsteg i prestanda och pris hos mikroelektronik uppstod nya möjligheter för multikoptern under senare tid. Från tidigt 90 tal och framåt har en enorm utveckling skett. En mängd multikoptrar lanserades som flygande leksaker men också dyra arbetsredskap. Bättre, billigare, mindre och lättare IMU:er (rörelsesensorer baserade på tröghet), GPS:er, mikrodataorer, laddbara batterier, kolfiberkomponenter och kameror har haft enorm betydelse för hur tekniken spridits på marknaden.

Företaget bakom aktuellt projekt, Nordluft Automation AB, grundades 2017. Grundarna såg att drönanapplikationer baserade på kameror, sensorer och datainsamling dominerade marknaden. De insåg att drönares förmåga att bära last och utföra fysiska arbetsuppgifter ofta förbises och undervärderas. Efter att en tid ha funderat igenom hur denna förmåga skulle kunna kommersialiseras och i vilka applikationer så utkristalliserade sig affärsidén. Faktorer såsom lönsamhet, säkerhet och möjligheten att säkra flygtillstånd behövde nogta beaktas.

Innovationen och affärsidén kom att bli att bygga ett högeffektivt drönarbaserat maskinsystem för att sprida material från luften. Idékomponenter för utformningen var:

- Systemet använder drönare av multikoptertyp för att smidigt kunna operera på relativt korta avstånd.
- Drönarna är av sådan storlek att kapaciteten skulle maximeras men att de ändå skulle gå att hantera manuellt utan lyfthjälpmiddel.
- Systemet ska använda en grupp drönare för större total kapacitet.
- En operatör på plats sköter och övervakar systemet. Detta kommer behövas inom överskådlig framtid av legala skäl.
- Drönarna styrs automatiskt av en dator och navigerar med hjälp av GPS för att säkert och effektivt täcka in valt arbetsområde. Styrsystemet tar batteriförbrukning, tid för att sprida en last och flyghastigheten i beaktan för att minimera köbildning.
- Drönarna utgår på marken från en fordonsbaserad basstation. Denna har en mekanism för att möjliggöra snabb och smidig lastpåfyllning så att en drönare endast behöver stå still på marken några sekunder innan den kan påbörja sin nästa spridningsrunda.
- Systemet designas för spridningsapplikationer inom skogsbruk och jordbruk. Här finns behoven, flygavstånden är korta och miljöerna är fördelaktiga ur säkerhetssynpunkt då det här är liten sannolikhet att drönaren behöver flyga över människor.

Vid denna tidpunkt har drönarbaserad spridning endast förekommit där volymerna av material varit små och kraven på precision varit höga, exempelvis inom spridning av växtskyddsmedel inom vinodling. Nordlufts unika koncept kombinerar fördelarna med drönarbaserad spridning tillsammans med hög kapacitet och spridningseffektivitet. En driftkalkyl visar att ett utvecklat och intrimmat system kan nå en spridningskapacitet på över 6 ton i timmen.

Askåterföring identifierades tidigt som en intressant applikation för systemet. Fördelar sågs i:

- Potentiell sänkning av spridningskostnaden. En driftkalkyl visar potential till sänkning med mellan 30 och 60 % för ett utvecklat system.
- Oberoende av terräng och markegenskaper (ex dålig bärighet) gör att spridning kan utföras på fler områden och året runt.
- Genom att endast baseras på ett fordon och en operatör och därigenom innebära låga uppstartskostnader, skulle systemet möjliggöra spridning på mindre områden jämfört med andra spridarmetoder.
- Relativt tyst och miljövänlig spridning genom eldrift

Ovanstående fördelar skulle öka den totala mängden återförd aska och därmed initierades det aktuella projektet. Tekniken behövde utvecklas för att bevisa potentialen i konceptet.

## 4. Genomförande

Projektets genomförande beskrivs nedan utifrån uppdelningen i arbetspaket enligt projektansökan.

### 4.1. Arbetspaket 1 – vidareutveckla drönare

#### 4.1.1. Drönare

I januari 2020 när projektet startade hade Nordluft byggt två olika fullskaliga drönare med kapacitet att lyfta 30 kg. Den tredje designen var under framtagning och var den som bolaget planerade utgå från i en kommersiell demonstrator. En rad brister upptäcktes dock senare vilket förlängde utvecklingsarbetet.

Den första konstruktionen var en mycket utrymmeskrävande octokopter som dessutom tog lång tid för montering ute i fält. Den andra designen var en quadcopter med fyra fällbara armar och elektriskt fällbara landningsställ. Den hade brister i motorinfästningen, var inte vattentålig och landningsställena var ej tillräckligt starka.

Den andra quadkoptervarianten var uppgraderad med vädersäkrad design och bärande delar i sandwich-material för lägre vikt. Under våren 2020 upptäcktes bristande strukturell styvhet i flygkroppen och i motorfästena, vilket orsakade dåliga flygegenskaper. Vidare visade det sig att motorerna som hade använts till båda varianterna av quadcopters inte var tillförlitliga. Det visade sig också att batterierna som användes inte längre var kapabla att ge tillräcklig effekt för längre flygningar med full last. Detta upptäcktes efter en rad incidenter, reparationer och felanalyser. Byte av motorer och batterilösning visade sig vara nödvändigt för att komma vidare.

Efter modifieringar fungerade drönaren bra. Designen var gjord för ett integrerat batteri monterat i en "låda" i kroppen. Ansvarig för batteriet var företaget Miuta Electric Company, Arnhem, Holland. Batteriet blev dock aldrig levererat och företaget gick under jord. För ökad flexibilitet kring batterilösningar bestämde sig då teamet hos Nordluft för att frånga det integrerade batteriet i nästa design. Istället placerades batteriutrymmet ovanpå huvudkroppen. Detta möjliggör även för central placering av flightcontroller (styrdator), vilket främjar goda flygegenskaper. Det möjliggör även viss flexibilitet kring batteriets utformning.

Designarbetet med version 4 av drönaren startade under sommaren 2020 parallellt med testning och modifiering av version 3. Version 4 kom att bli den variant som bedömdes tillräckligt bra för att användas i demoprojekt. Den var vädertålig, hade säkra flygegenskaper och var relativt enkel att hantera på marken. Komponenter köptes in och i slutet av 2020 var 3 drönare monterade och testade. Se figur 1.

Det kan nämnas att landningsställ i alla konstruktioner varit en större utmaning än vad bolagets ingenjörer trott. Det är önskvärt med en konstruktion som är lätt, kompakt, enkelt borttagbar för transport, elektriskt uppfällbar i luften, samt byggd för tåla en hård landning med full last. Många iterationer gick igenom innan bolaget bestämde sig för en enkel lösning med fyra lätt vinklade stela ben i kolfiber.



Figur 1. Drönare version 4

Dessa drönare användes för tester och spridningsdemonstrationer under 2021. I slutet av det året slutade företagets flygstillstånd 5C för tyngre drönare att gälla, vilket medfört att de framtagna drönarna för 30 kg last inte flugits mer. Situationen och problematiken beskrivs ytterligare i avsnitt 4.5. För att kunna fortsätta utvecklingen av drönarsystemet valde teamet att övergå till mindre drönare med maximal vikt om 25 kg, då inom den öppna kategorin vilket inte kräver specialtillstånd. För ytterligare information om flygtillstånd för drönare, se publikationer från EASA och Transportstyrelsen.

Under våren 2022 tog Nordluft fram fem mindre lastdrönare för att kunna fortsätta utvecklingen av ett komplett spridarsystem. Utgångspunkten för denna drönardesign (version 5) var en byggsats som modifierades för bolagets specifika behov. Se figur 2.



Figur 2. Uppställning av mindre drönare (version 5)

Trots att motorer och motorstyrning av erkänt fabrikat valdes så hade Nordluft under våren stora problem med utrustningen. En krasch orsakad av en plötsligt avstannad motor resulterade i en lång dialog med leverantören. Slutligen gjordes ett återtagande av motorer och motorstyrningar. Bolaget ersatte med komponenter av ett annat fabrikat, men det dröjde till augusti 2022 innan drönarflottan åter var flygduglig.

#### 4.1.2. Batterisystem

Nordluft använde för sina första drönarprototyper batterier av typen litium-polymer för hobbybruk. Batterier är dyra och bolaget ville hålla nere kostnaden innan man bestämt sig för en mer långsiktig lösning. Nackdel med de batterierna var att de var små och att det därför krävdes 6 av dem sammankopplade för kraftförsörjningen. Detta innebar extra tidsåtgång för inkoppling samt bortkoppling och vidare är livslängden på dessa batterier begränsad.

Därför beställdes i januari 2020 ett specialbyggt litium-jon provbatteri från ett holländskt företag, Miuta Electric Company. Batteriet betalades i förskott men levererades aldrig och företaget gick därefter under jord. Teamet spenderade mycket tid på att försöka få tag på leverantören i Holland, och senare på att försöka hitta en alternativ lösning. Det visade sig svårt då utbudet av leverantörer villiga att sälja små serier specialbyggda litium-jon batterier för ett rimligt pris, var litet.

Det bestämdes att Nordluft i stället skulle köpa in ett cellblock, alltså en sammansättning av ihopsvetsade cylindriska litium-jon celler, och bygga själva batterihöljet in-house. Utbudet av leverantörer för cell-block var något bättre än för kompletta batterier.

Två olika batterier byggdes enligt denna princip och båda fungerade mycket bra. Litium-jon-typen av batterier har generellt högre energidensitet jämfört med litium-polymer, men har nackdelen av ett större spann i spänningsnivå mellan full laddning och urladdat. Detta kan dock justerade inställningar i drönarens flygelektronik kompensera för. Under hösten 2020 beslutades att bolaget skulle fortsätta med litium-jon-varianten. Det var dock fortsatt svårt att



hitta leverantörer. De två leverantörerna av olika cellblock som användes för provbatterierna bedömdes vara för dyra för en komplett lösning till flera drönare. Andra leverantörer var endast intresserade av större volymer. Det dröjde en bit in på år 2021 innan kontrakt skrevs med ett företag i Göteborg för leverans av 10 kompletta batteripack med hölje och aktiv kylning.

Dessa 10 batterier hade en rad brister vilket gjorde att Nordluft beslutade att fortsättningsvis bygga egna batterier. För drönarversion 5 användes egen-ihopsvetsade cellblock och egenkonstruerade batterihöljen i kolfiber.

### 4.1.3. Spridarmekanism

Drönarprototyp 1 och 2 var utrustade med spridare, men de användes mycket lite. Framst därför att bolagets ingenjörer hade fokus på andra tekniska utmaningar och förbättringsidéer. När spridaren på drönarprototyp 3 började genomgå mer omfattande tester, märktes det att konstruktionen inte var robust. Granuler fastnade i öppningsmekanismen och orsakade att det elektroniska ställdonet brändes ut. Detta i kombination med att spridaren behövde vara lättviktig visade sig vara en utmaning. Figur 3 nedan visar CAD illustrationer över de första spridarmekaniserna, alla baserade på den ventilstängningsprincip som visade sig problematisk.



Figur 3. Tidigare spridarmekanismer

I samarbete med företaget Vännäs Verkstad AB togs en avancerad spridare fram. Den var tänkt att kunna fungera både för askåterföring och skogsgödsling. Den var byggd med två elmotorer och hade ingen ventil där granuler kunde fastna. En motor reglerade utmatning från lastbehållaren genom en roterande tallrik på vilken granulerna i lastbehållaren tryckte.

Tallriken hade en hög kant över vilken granulerna tvingades vid rotation. När de tvingats över kanten föll de på en spridartallrik som drevs av en andra elmotor. Denna konstruktion fungerade bra och gav möjlighet att styra både mängden granuler och spridningsbredd individuellt. Nackdelen var dock att konstruktionen blev stor och tung samt att spridningskapaciteten var begränsad.

Då projektet var försenat och teamet behövde komma vidare, valdes att använda erfarenheterna från de olika konstruktionerna för att bygga en enkel spridare anpassad endast för askgranuler. Denna utgjordes av en tallrik med höga kanter och en trång spalt. När tallriken stod still låser friktionen flödet från lastbehållaren. När en motor roterar tallriken tvingas granuler upp över tallrikens kant och ned på ett brätte sammansatt med tallriken. De ges genom det viss utkastningshastighet. Konstruktionen blev lyckad men ökat flöde hade varit önskvärt. Den konstruktionen användes i demospridningen i december 2021.

För drönardesign 5 användes en modifierad version av en kommersiellt tillgänglig spridare. Utveckling skedde under år 2022 för att öka robusthet och kapacitet i denna.

## **4.2. Arbetspaket 2 – vidareutveckla styrsystemet**

Under början av år 2020 övertog en inhyrd konsult det arbete som var påbörjat av en grupp utvecklare och studenter i Lund. Vissa delar av arkitektur och algoritmer kunde användas men det mesta ersattes med ny kod i språket python.

”Dronekit” är en kodplattform för utveckling av styrsekvenser till drönare genom relativt enkel programmering i python eller Android. Det är en hög-nivå lösning och är därför enkel att implementera. Initialt var detta det självklara valet för att bygga styrsystemet. Basfunktionen var på plats i maj 2020. Efter ytterligare testning och förberedelser för att implementera mer avancerade funktioner, upptäcktes att dronekit inte är underhållet (i takt med utvecklingen av annan mjukvara som kommunicerar med dronekit) och att tillgänglig dokumentation inte är komplett. Det gick alltså inte att använda utan en stor ”städinsats”. Bedömningen gjordes att det bästa alternativet var att lämna dronekit och istället bygga systemet i ROS, ett programmeringsspråk för professionella robotsystem. Under sommarn 2020 byggdes systemet ut genom MAVROS för att kunna prata med MAVLINK, det normala kommunikationsinterfacet hos drönare. I simulering fungerade allt mycket bra. I verkliga flygtester tappas dess dock mängd data i den trådlösa länken, detta är något naturligt i sådana förbindelser. Det upptäcktes då att ROS och MAVROS inte kan hantera sådana dataförluster. Det upptäcktes också problem med hur ROS loggar data. Konsekvenser av dessa brister blev under testning på flygfältet tappade kommandon och långa väntetider.

Efter diskussion med ett antal experter konstaterades att ROS inte var en framkomlig väg för stora delar av systemet. Funktioner behövde lösas genom låg-nivå-programmering anpassad för trådlös kommunikation. Detta för att bygga ett robust system. Ändringar genomfördes under början av 2021.



Parallellt med utveckling av styrsystemet pågick en utveckling och utprovning av kommunikationslänk. Lösningar som prövades var utomhusanpassade wifi-modem, 3G modem, LoRa modem och radiolänk. Slutligen valdes ett system med enkla radiomodem baserade på en öppen låg frekvens.

Under 2021 och 2022 har styrsystemet genomgått en rad förbättringar:

- Omfattnade simuleringar och tester har uppmärksammat en rad buggar, som sedan hanteterats.
- Säkerhet, robusthet och användarvänlighet har höjts
- Effektiviteten i flygruttsplaneringen har höjts

Styrsystemet i nuvarande version anses fullt användbart i ett kommersiellt spridarsystem.

### **4.3. Arbetspaket 3 – vidareutveckla basstationen**

I den ursprungliga projektplanen ingick att ta fram en första prototyp av basstation. Med detta avses den delkomponent av systemet som syftade till att underlätta och effektivisera driftslogistiken på marken. Basstationen var tänkt att utgöras av en påbyggnadsenhet som monteras på en lastbil. Basstationen skulle innehålla:

- Förvaring för drönare och drönarbatterier i ergonomiskt utformade rack
- Laddningsfunktion till batterierna
- Styrsystemet och kontrollpanel
- Påfyllningsmekanism för drönarna
- Lastutrymme för det material som ska spridas

Basstationen utvecklades under projektet men inte så långt som till en färdig prototyp. Genom workshops internt och med input från externa experter har konceptet för basstation utvecklats för ökad flexibilitet och mindre investeringskostnad. Omfattande beräkningar har gjorts avseende olika typer av laddningslösningar för drönarbatterierna. En lösning fördelaktig ur perspektiven driftsekonomi, enkelhet och miljö har därefter valts. Illustrationer och designskisser har tagits fram. När basstationen ska byggas kommer färdigställandet av slutlig CAD vara ett mindre arbete då de avgörande frågeställningarna är hanterade.

## 4.4. Arbetspaket 4 – tester och demonstration

Drönarsystemet har under stora delar av 2021 och 2022 genomgått tester, både av de enskilda komponenterna och det samlade systemet. Efter flertalet förseningar på grund av tekniken, leveransproblem och coronapandemin kunde en mindre demonstrationsspridning planeras i december 2021. Genom samarbete med Stockholm Exergi och Svensk Skogsgödsling säkrades material att sprida och en lämplig spridningsplats.

Fastighetsägare Mats Ruhne tillät spridning i en skogbeklädd slänt ned mot Södertälje kanal, söder om området vid Hall. Nordluft hade dagen innan förberett genom att transportera dit granulerad aska paketerad i 15 kg enheter (mestadels hinkar). Askkan kom från flisförbränning i Stockholm Exergis anläggning i Värtahamnen.

Till demonstrationen var bland annat följande parter inbjudna att delta som åskådare:

- Repräsentanter från Energiforsk/Askprogrammet
- Stockholm Exergi
- Svensk Skogsgödsling
- Robotdalen
- Media i form av tidningen BioEnergy International och Tidningen Skogen
- Aktörer från spridningsbranschen i form av Skogens Gödslings, Dala skogsvitalisering och Svensk Näringsåterföring.

Kl 11 startade spridningen. Tre drönare användes då för att i skytteltrafik sprida totalt 300 kg granulerad bioaska. Tidsåtgång för spridningen var 30 min. Nordlufts personal skötte under spridningen lastpåfyllning och batteribyten. Repräsentanter från Robotdalen spelade in rörligt bildmaterial, vilket redigerades till en film som finns tillgänglig på videostreamingsplattformen Youtube samt Robotdalens hemsida.

Bolaget anser att spridningsdemonstrationen var lyckad. Askspridning med drönare visades upp. En betydande mängd material spreds med hjälp av flera autonoma drönare. Önskvärt hade varit en högre effektivitet i spridningen och bättre data över prestanda och spridningsprecision. Med projektets alla utmaningar och den begränsade resurstillgång som bolaget haft, ser bolaget att ett bättre resultat hade varit svåruppnåeligt. Det uppfyllde syftet att visa upp konceptet drönarbaserad askåterföring.

Ursprungligen var idén att i slutet av projektet ha ett fullvärdigt system redo, med detta avses flera drönare i systemet och fungerande basstation med lastpåfyllningsmekanism. Ett sådant

spridarsystem skulle kunna demonstrera den komersiella potentialen i tekniken med effektivitetsvinster och hög kapacitet.

Större delen av 2022 användes för att färdigställa flottan med mindre drönare. Under september 2022 och framåt har dessa varit flygdugliga och använts för fortsatt utveckling av spridarsystemet.

## 4.5. Arbetspaket 5 – admin och övrigt

Projektadministration har förekommit under hela projektets löptid. Arbetat har handlat om b.l.a. inköp, leverantörsdialoger, reserach, kommunikation internt och externt och arbetsplanering. En stor fråga har varit den om flygtillstånd, en stor utmaning på vägen till kommersialisering av tekniken. Bolaget hade fram till sista december 2021 ett nationellt flygtillstånd för obemannade luftfartyg kategori 5C. Tillståndet innebar att Nordluft fick använda sina stora lastbärande drönare på vissa specifika platser. Dessa platser har bolaget i god tid ansökt för, och Transportstyrelsen har genom handläggning godkänt dessa. En av platserna var spridningsområdet för demospridningen i Södertälje. Principerna för detta tillstånd togs fram enligt den tidigare nationella lagstiftningen. Från och med 2022 gäller endast tillstånd enligt den nya EU-harmoniserade lagstiftningen.

Efter att ha blivit vägledda till, och efter att ha satsat betydande resurser på ansökningen för ett PDRA-G01 tillstånd enligt den EU-harmoniserade lagstiftningen under 2021, svarade Transportstyrelsen att detta tillstånd endast kan ges för specifika platser, alltså samma princip som för tidigare 5C tillstånd. Vid uppskalning av verksamheten med utveckling, testning, demoprojekt och tidig kommersiell spridning behövs en flexibilitet kring områden, något Transportstyrelsen inte kunde garantera för ett PDRA-G01 tillstånd. Lösningen för att komma förbi detta är ett flygtillstånd enligt kategori LUC, som ger stor handlingsfrihet under ansvar. Arbetet, dokumentationen och ansökningsavgiften som krävs för att säkra ett sådant tillstånd är dock mycket omfattande och inget som Nordluft i dagsläget, klarar av. Därför togs ett strategiskt beslut under hösten 2021 om att tillfälligt övergå till en mindre drönare med maximal vikt av 25 kg. Sådana drönare kräver inget specialtillstånd.

## 5. Resultat och diskussion

Projektet har uppnått ett betydelsefullt resultat, särskilt i form av de framsteg som gjort inom utveckling av det drönarbaserade spridarsystemet för askåterföring. En milstolpe var den demonstrationsspridning som ägde rum i december 2021, världens första drönarbaserade askåterföring. Framstegen som gjorts har medfört att bolaget Nordluft Automation nu kan

fortsätta resan mot komersialiering och utrullning av systemet. Den långsiktiga målsättningen om att bidra till att årligen överflytta mer än 150 000 ton bioaska från deponi till skogens ekosystem, kvarstår och ligger nu betydligt närmre.

Övergripande målsättning för projektet var vidareutveckling och demonstration av konceptet drönbaserad askåterföring. Denna målsättning kan i hög grad sägas ha uppnåtts. Betydande steg har tagits och kvarvarande risker i teknikutvecklingen är låga. Stor kunskapsupbyggnad har skett och bolaget och dess samarbetspartners är fortsatt övertygande om den stora potentialen i drönbaserad askåterföring. Bolaget försätter utvecklingen med alla tillgängliga resurser.

Mer specifikt var målsättningen för projektet att gå från prototyper/koncept av delkomponenterna till ett komplett system som skulle kunna sprida aska till en kostnad minst 25 % under nuvarande spridarmetoder. Ytterligare en målsättning var att verifiera att askspridning kan ske året runt. Dessa målsättningar uppnåddes inte till fullo inom projektet.

Det handlar framför allt om att bolaget inte förmådde ta fram en fungerande version av basstation inom projektet. Basstation är nödvändig för att uppnå den stora effektivitetsvinsten som drönbaserad askåterföring kan ge genom Nordlufts koncept. Nyckelfunktioner hos basstationen är smidig marklogistik för systemet samt möjliggörande av snabba lastpåfyllningar i drönarna som landar.

En demonstrator togs dock fram, och bolaget har verifierat sina drönare genom flygningar i olika väder. Varför inte projektets specifika målsättningar uppfylldes till fullo berodde på flera orsaker. Sammanfattningsvis stötte teamet på fler problem och utmaningar än väntat i utvecklingen, kombinerat med en något överoptimistisk ursprunglig ambitionsnivå i projektplanen utifrån tillgänglig tid och budget.

Mer i detalj är skälen följande.

1. Större utmaningar än väntat i utvecklingen av drönare och styrsystem.
2. Leveransproblematik, delvis orsakat av corona.
3. Otydlighet i den nationella hanteringen av den nya paneuropeiska regleringen av drönarflygningar
4. En alltför hög ambitionsnivå för resultat i relation till tillgänglig tid och budget

Av detta kan flera lärdomar dras. Nordluft är ett ungt bolag med stora visioner. Sedan starten har dess ledning flera gånger missbedömt den tid och den resursåtgång som krävs för att nå ett visst tekniskt resultat. Projekt och tidplaner har formulerats med orimliga målsättningar. Detta är något som bolagets ledning varit medveten om och arbetat med, men bevisligen inte tillräckligt.

En rad tekniska komplikationer bidrog till förseningen. Vissa av dem hade bolagets ingenjörer kunnat förutse och hanterat bättre. Andra var mer av olyckliga omständigheter. Ett exempel på detta var bolagets beställning av batteri från företaget Miuta Electric Company. Detta var ett av få företag som levererade små serier av specialbyggda litiumbatterier för en rimlig kostnad. Företaget fick order på ett provbatteri, fick betalt i förskott, och meddelade i februari 2020 att leveransen var försenad. Det levererades dock aldrig något batteri och bolaget har inte svarat på kommunikation sedan augusti 2020. Osäkerheten kring batterilösning var orsak till en del av förseningen. Det dröjde till sommaren 2021 innan en godtagbar batterilösning för lastdrönarna var på plats.

Större höjd borde ha tagits i projektplaneringen för att tekniska utvecklingsaktiviteter tar tid. Detta skulle ha resulterat i en utvidgad tidplan för det aktuella projektet. Ett alternativ skulle kunna ha varit att minska omfattningen av projektet, exempelvis till att endast visa upp ett fungerande system med en drönare och lastpåfyllningsmekanism.

Vid tiden för projektansökan såg dock resultaten lovande ut. Ansvariga ingenjörer för drönare och styrsystem var optimistiska om att ursprunglig tidplan kunde hållas. Därefter uppstod av rad olika problem som enskilt inte var så allvarliga, men som sammantaget innebar en betydande försening och fördröjning av i projektet.

Coronapandemin påverkade också utvecklingsarbetet hos Nordluft. Vissa i bolagets personal kände sig skyldiga att i perioder arbeta hemifrån, vilket minskade takten i framdriften. Efterhand skapades också förseningar genom komponentbrist.

## 6. Slutsatser, nyttiggörande och nästa steg

Projektet slutfördes med ett resultat väl i linje med dess syfte. Drönbaserad askåterföring har demonstrerats inför kunniga representanter från energisektor och spridningsbranschen. Kärnan i Nordlufts koncept visades upp, att flera lastdrönare autonomt kan sprida material över valt område, med ruttplanering utifrån minimal kö och med lastpåfyllningar batteribyten i beaktan. Potentialen i detta koncept kan erkännas. Dock återstår mycket utveckling innan den affärsmässiga nyttan kan kvantifieras och bekräftas. Detta projekt har nått fram så långt att Nordluft nu kan hävda att grundkonceptet fungerar och dessutom genomfört en mindre demo i skarp drift.

Genom projektet har potentialen för drönbaserad askåterföring påvisats. Det är nu tydligt att drönbaserad askåterföring kan bidra till ökade flöden av bioaska som återförs till skog, istället för att deponeras. RE:Source mål om att verka för hållbar och cirkulär användning av material är därför uppnått inom projektet.

Detta gör att rapportförfattaren anser projektet i stort vara lyckat. En rad komplikationer medförde dock en betydande försening, och ett resultat som inte riktigt nådde fram till det planerade. Vid tillfället för ansökan var tidplanen att projektet skulle vara avrapporterat i december 2021 med storskaliga demonstrationsspridningar med ett fullständigt systemet under sommar och höst 2021. I stället är systemet i slutet av 2022 fortfarande inte fullt utbyggt och endast en mindre demonstrationsspridning kunde genomföras i slutet av 2021.

Efter ett utdraget men lyckat projekt fortsätter nu Nordluft att utveckla drönarsystemet. Flera milstolpar har nåtts men mycket arbete återstår innan drönarspridningens fulla potential kan erbjudas till kund på kommersiella villkor.

Under första halvåret 2022 har företaget arbetat med produktion av en grupp av den nya mindre drönaren. En mindre drönare innebär mindre lastkapacitet och därigenom mindre totalkapacitet för ett helt spridarsystem. Med den mindre drönaren blir utmaningarna med att nå kommersiellt konkurrenskraftig prestanda därför större, speciellt inom askåterföring där det är en stor mängd material som ska spridas per ytenhet.

Det finns dock en rad andra aspekter/komponenter i spridarsystemet som på kort sikt har stor betydelse för effektivitet och totalkapacitet, och som bolaget avser att vidareutveckla. B.la:

- Intrimning av flygdatorns inställningar (tuning) för att uppnå högre säkra flyghastigheter under spridningsuppdragets alla faser.
- Optimering av svärmkoordineringen, så att drönarna i systemet kör kortare tid.
- En spridningsmekanism som släpper ut materialet med gravitation, snarare än aktiv spridning med roterande tallrik. Detta för snabbare tömningstider. Spridningsbredden kommer att bli mindre men kan kompenseras av högre flyghastighet under spridning.
- Fler drönare som opererar i systemet.
- Sensorsystem för terrängavläsning så att drönarna kan flyga och sprida närmre marken utan att kollidera med träd och andra hinder. Detta skulle minska de säkerhetsavstånd som behövs i flygplaneringen och därmed höja effektiviteten.
- Semimanuell påfyllningsmekanism för att göra lastpåfyllningar i drönarna snabbare och mer ergonomiska.
- Slutligen den kompletta fordonsbaserade basstationen med påbyggd påfyllningsmekanism, lastbehållare, kran för extern lasthantering, laddningslösning för drönarbatterier samt förvaringslösning för drönare och batterier.

När implementationen av ovanstående punkter är genomförd, helt eller delvis, kommer effektivitet och kapacitet ha ökat mångdubbelt mot idag. I det läget har förhoppningsvis bolaget en helt annan stabilitet och resursbas. Då är övergången till en större drönare med kapacitet på 30 kg eller mer samt LUC tillstånd ett genomförbart steg för att nå ytterligare höjning av kapacitet och effektivitet.

Avseende applikationen askåterföring är det svårt att säga vilka av ovanstående utvecklingsinsatser som behöver genomföras för att systemet ska bli kommersiellt intressant. I ett första steg kommer med stor sannolikhet drönarbaserad askåterföring bli ett alternativ där det inte finns förutsättningar för andra spridningsmetoder, exempelvis där bärigheten inte tillåter spridning med markgående maskiner. Målsättningen om ett fullt utvecklat system med kapacitet på mer än 6 ton i timmen kvarstår dock. Hur snabbt det nås styrs till stor del av hur framgångsrikt bolaget är när det kommer till säkring av utvecklingskapital, samarbetspartners, samt att hitta kunniga medarbetare.



## 7. Projektkommunikation

Information om projektet, potentialen i drönbaserad askåterföring och startupbolaget Nordluft har spridits genom:

- Samarbetspartnerna Robotdalen, Energiforsk, InnoEnergy, RE:Source, Stockholm Exergi samt Svensk Skogsgödsling AB
- Genom att representanter från spridningsbranschen var inbjudna till demospridningen. Aktörer som kom var Skogens Gödslings, Dala skogsvitalisering och Svensk Näringsåterföring.
- Genom att branschmedia bjöds in till spridningsdemon i form av tidningarna Tidningen Skogen samt BioEnergy International.
- Genom att Nordluft i dialog med möjliga industriella samarbetspartners och potentiella investerare har presenterat potentialen i drönbaserad askåterföring samt de framsteg som gjorts.
- Nordlufts hemsida och publiceringar på sociala medier.

Det är troligt att målgrupperna askproducenter med intresse för utveckling och innovation, samt spridarbranschen, har fått kännedom om utvecklingen av det drönbaserade spridarsystemet.



**RE:Source är ett strategiskt innovationsprogram som fokuserar på att utveckla cirkulära, resurseffektiva materialflöden. Vårt mål är att uppnå en hållbar materialanvändning där vi håller oss inom planetens gränser.**

**RE:  
SOURCE**

[resource-sip.se](https://resource-sip.se)