

ARBETSRAPPORT 1106-2022

Högkapacitetsdrönare för skogsbrandsbekämpning

Förutsättningar för användbarhet

Tomas Johannesson & Kari Hyll



Bildmontage med illustration av vattenhämtande drönare. Källa: AirForestry

Innehåll

Förord	4
Syfte och avgränsningar	4
Sammanfattning	4
Summary	5
Bakgrund	6
Skogsbränder	6
Vilda vs. kontrollerade bränder	6
Begränsning av skador.....	6
Flygande resurser	6
Räddningsinsats och bevakning efter insats.....	7
Typen av drönare.....	7
Lyftkapacitet.....	7
Design	7
Framdrivningssystem.....	8
Drönare för skogsbrandsbekämpning internationellt	10
Metod	10
Upplägg.....	10
Framtidsscenario	11
Resultat	12
Drönare i det tänkta scenariot.....	17
Användningsområden	17
Krav på produkten	17
Vinster och möjligheter	17
Begränsningar	18
Kompetenskrav i ett effektivt system.....	18
Exempel på tjänsteförpackning	21
Organisation för brandrelaterade insatser	22
Prestationsjämförelse mellan högkapacitetsdrönare och helikopter	22
Diskussion	23
Användningsområden.....	23
Operationell flygning	24
Koordination och separation av luftrummet	24
Sensorer	24
Bevakning efter avslutad räddningsinsats	25
Svärmar	25
Tillstånd.....	25
Autonoma moment och fjärrstyrning	26
Alternativa tjänsteförpackningar	26
Framtida användning	27
Vidareutveckling och fortsatt forskning.....	27
Slutsatser	27
Referenser	29



Uppsala Science Park, 751 83 Uppsala
skogforsk@skogforsk.se
skogforsk.se

Kvalitetsgranskning (Intern peer review) har genomförts 25 januari 2022 av Johan Sonesson, processledare. Därefter har Magnus Thor, Forskningschef, granskat och godkänt publikationen för publicering den 7:e februari 2022.

Redaktör: Hanna Andtbacka, hanna.andtbacka@skogforsk.se
©Skogforsk 2022 ISSN 1404-305X

dessutom måste ha validerats under realistiska omständigheter. Drönarpiloter, som är skyldiga att vara närvarande under nuvarande reglering, skulle också behöva en grundläggande förståelse för brandbeteende samt kännedom om taktik, metoder och teknik för skogsbrandsläckning.

Behov av ytterligare forskning och utveckling inkluderar beslutsstöd för räddningsledare, rutiner för samarbete mellan olika flygresurser, en gemensam modell för att utvärdera högkapacitetsdrönare för släckning av skogsbränder, validering av flygkapaciteten under realistiska förhållanden (varm/kall temperatur, rök, sot, etc.), bedömning av vilka sensorer som behövs, och försök med olika sätt att distribuera vatten eller andra släckningsmedel.

Summary

This report details a project on high-capacity drones for wildfire suppression. The results are largely based on workshops with a reference group of experts on wildfire suppression, prescribed burning, insurance issues, and forestry. The discussions were based on a scenario with 4-6 battery-driven multi-rotor drones each capable of lifting 200 kg of payload. A prototype of such a drone was developed within the project but is not detailed in this report.

The initial hypothesis was that the drone would be most useful for transporting water. However, transportation of equipment such as hoses, as well as food for firefighters on the groups, was highlighted as important uses. Ignition of prescribed burns was also mentioned as a possible use.

It was stressed that high-capacity drones would complement the current use of helicopters for wildfire suppression, not replace them. Flight in smoke, during the night, or in very hazardous situations are examples of when a high-capacity drone provides additional benefits compared to helicopters.

As it is the rescue leader who orders flying resources, it is important that there is information material detailing the capacity of the high-capacity drone, which, of course, must have been validated during realistic circumstances. Drone pilots, which are required to be present during by current regulation, would also need a basic understanding of wildfire dynamics.

Needs of additional research and development include decision support for rescue leaders, routines for cooperation between different flying resources, a joint model for evaluating high-capacity drones for wildfire suppression, validation flights during realistic conditions (hot/cold temperature, smoke, soot, etc.), assessment of which sensors that are needed, and trials of different ways of distributing water or other fire suppressant.

Bakgrund

Skogsbränder

Vilda vs. kontrollerade bränder

Varje år rycker räddningstjänsten ut till cirka 5 000 bränder i skog och mark, varav cirka 700–800 inträffar i produktiv skogsmark (Sjöström & Granström 2020; Brandskyddsföreningen 2021). Skogsbränder utgör risk för människor och natur och innebär stora kostnader för samhälle, skogsägare och försäkringsbolag. Som ett exempel kostade den stora branden i Västmanland år 2014 drygt 400 miljoner kronor för försäkringsbolagen och närmare en miljard kronor för samhället (Sveriges Radio 2018). Ett annat exempel är att Skogsbrukets kostnader för brandsommaren 2018 blev historisk höga (Björheden & Johannesson 2019) med över 100 000 brandvaktstimmar och att summan av driftstoppstimmar för olika maskiner överstiger 420 000 timmar. Bara dessa två poster tillsammans innebär kostnader och intäktsbortfall på över en halv miljard kronor. De driftstopp som nämns var försiktighetsåtgärder som vidtogs för att minska riskerna under perioder med lokalt höga brandrisker. För att ge en tydligare bild av ekonomin bör man även beakta de merkostnader som bränderna medförde i termer av återställning av vägar som körts sönder under släckningsinsatser, kostnader för temporärt ökat transportbehov, behov av nya lantmäteriförrättningar, störningar i virkesförsörjning samt värdeförluster på brandskadat virke.

Majoriteten av bränder i skog och mark är vilda bränder, som kan uppkomma genom exempelvis åsknedslag, oaktsamhet från allmänhet, eller gnistor från tåg eller skogsmaskiner (Sjöström & Granström 2020). En mindre andel bränder anläggs medvetet som naturvårdande insatser, så kallade naturvårdsbränningar. Vissa biotoper är beroende av att bränder sker, och då samhället blivit allt bättre på att förebygga och begränsa vilda bränder krävs aktiva insatser för att dessa biotoper ska fortleva (Naturvårdsverket 2021).

Begränsning av skador

För att begränsa konsekvenserna av en skogsbrand framhålls snabb räddningsinsats som avgörande. Med andra ord så måste 1) branden upptäckas tidigt, 2) det gå snabbt för räddningsinsatsen att nå branden, och 3) räddningstjänsten ha rätt resurser för att kunna begränsa eller släcka branden. Framför allt punkt 1) och 2) kan vara utmanande för skogsbränder i glesbygd där det finns färre människor som kan upptäcka branden, är längre till närmsta räddningstjänstpersonal, och det finns färre vägar. I många fall är även räddningstjänststationerna ur ett kvantitativt perspektiv sämre materiellt utrustade i glesbygd jämfört med större samhällen och städer.

Flygande resurser

Flygande resurser används på flera sätt i samband med skogsbrand. Vid hög risk för brand anlitas det frivilligbaserade brandflyget för att spana efter bränder, med målet att detektion skall ske snabbt (Hyll m.fl. 2020). Under en räddningsinsats kan räddningsledaren besluta att använda helikopter för att transportera vatten och utrustning och/eller skopande flygplan för att transportera större mängder vatten. Även små kamerautrustade drönare kan användas av exempelvis räddningsledaren för att ge en överblick av branden. Flygning i samband med brand är inte trivialt med tanke på rök, turbulens, värme, personer på marken och den potentiella konkurrensen i luftrummet. Det skapar behov av piloter med vissa kunskaper om brand, och av koordination av luftrummet.

Idag används ibland både helikoptrar och skopande flygplan vid samma insatser. Att komplettera med ytterligare en luftburen teknik är inte otänkbart, men kräver god planering och samverkan mellan alla inblandade.

I vissa fall har helikoptrar anlåtts av skogsbruket för att stå i beredskap vid extrem torka. Detta har ibland skett i ett samarbete mellan flera större aktörer som är verksamma inom samma region. Motsvarande samverkansformer kan troligen i framtiden även omfatta drönare.

Räddningsinsats och bevakning efter insats

Efter avslutad räddningsinsats ansvarar markägaren för bevakning av brandområdet och eventuellt dolda glödbränder som kan blossa upp och ge en ny spridning.

För en liten privat skogsägare eller efter en större brand kan detta ansvar vara utmanande att uppfylla. För ytterligare information om organisationen kring skogsbrandbekämpning rekommenderas Hyll m.fl. (2020).

Typer av drönare

Drönare kan kategoriseras på flera olika sätt. I detta avsnitt går några vanliga indelningar igenom.

Lyftkapacitet

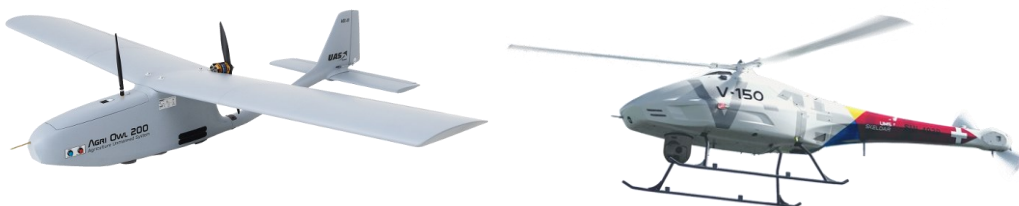
I dagligt tal delas drönare ibland in i lågkapacitetsdrönare och högkapacitetsdrönare (heavy lift drones/high payload drones). Gränsen mellan dem är dock inte definierad. Lågkapacitetsdrönare är ofta lätta och relativt billiga, men är inte anpassade för att bära last, utan som mest några kameror eller andra sensorer. De används vanligen för mätning och övervakning. Drönare som kan bära större last (över 5–10 kg) kan betecknas som högkapacitetsdrönare. Det finns högkapacitetsdrönare som kan lyfta mer än 1500 kg. För drönare som väger mer än 25 kg är tillståndskraven högre än för lättare drönare.

Design

Drönare kan också kategoriseras som vingdrönare (fixed wing) eller rotorbaserade (Figur 1). Vingdrönare ser ut som små flygplan och kan inte lyfta rakt upp av egen kraft utan behöver en startramp eller startbana. De flyger dock bränsleeffektivare och snabbare än rotorbaserade drönare, och brukar användas för kartering av större områden (Transportstyrelsen 2021c).

Rotorbaserade drönare kategoriseras utifrån antalet propellrar, exempelvis tre (tricopter), fyra (quadcopter), sex (hexacopter), åtta (oktacopter), och så vidare. Gemensamt kallas drönare med fler än en propeller för multirotdrönare. De flesta lättkapacitetsdrönarna är quadcopters, medan högkapacitetsdrönare vanligen är hexacopters eller octacopters. Jämfört med vingdrönare är de betydligt flexibla att manövrera och kan bära större laster.

Det finns även kombinationer av båda designerna.





Figur 1. Olika designern av drönare. Överst till höger: fastvingedronare från svenska UAS Europe. Överst till vänster: enkelrotor-drönare från svensk-schweiziska UMS Skeldar. Nederst till vänster: lättvikts-multirotdronare från kinesiska DJI. Nederst till höger: fastvinge/rotor-hybrid från svenska Katla. Drönarnas storlek är ej skalenliga i relation till varandra. Källa är i samtliga fall respektive företags hemsidor.

Framdrivningssystem

Drönare kan vara eldrivna (batteridrivna), förbränningsdrivna (gas/diesel), eller ha en hybrid mellan el och förbränning. Batteridrivna drönare kan spendera jämförelsevis kortare tid i luften, men kan i gengäld drivas fossilfritt och utsläppsfritt.

Regelverk och tillstånd

Sedan år 2020 måste alla fjärrpiloter (drönarförare) ha registrerat sig och tagit ett drönarkörkort i form av en webbaserad utbildning (Transportstyrelsen 2021f). Beroende på kategorin hos drönaren som ska opereras (öppen, specifik, certifierad) så varierar omfattningen på utbildningen.

Tillståndsklass

Drönarflygning omgärdas av olika tillstånd, som beror på drönarens klass och administreras av Transportstyrelsen (Transportstyrelsen 2021e). Tre typer av tillståndskategorier finns:

- Öppna
- Specifika
- Certifierade

Drönare med totalvikt under 25 kg hamnar inom den öppna kategorin. Då krävs inga tillstånd så länge man flyger inom synhåll, max 120 meter över marken (undantaget vid flygning över hinder), och inte över folksamlingar. Flygningar som kan innebära hög risk för omgivningen, eller vid flygning bortom synhåll (Beyond Visual Line of Sight; BVLOS) ingår i den certifierade kategorin och kräver tillstånd, oavsett drönarens vikt. För denna kategori finns inga speciella regler för drönare, utan de allmänna reglerna för bemannad luftfart gäller. Drönare som varken platsar i den öppna eller certifierade kategorin hamnar i den specifika kategorin. Denna kategori är vanlig för högkapacitetsdrönare.

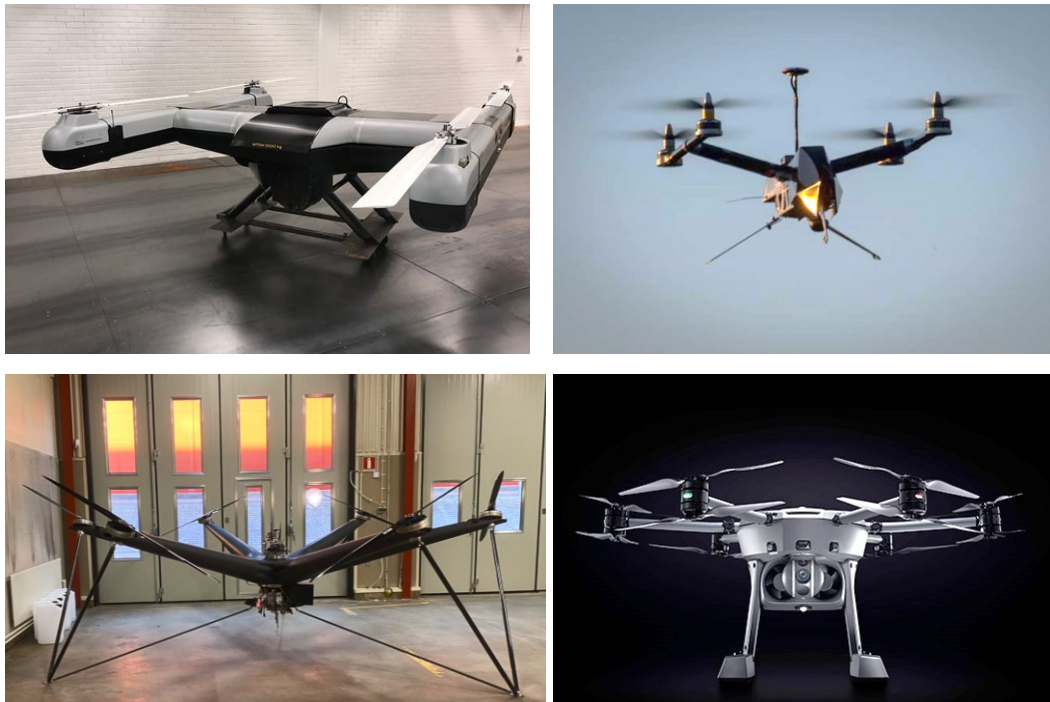
Drönare inom den specifika kategorin kan söka tre typer av tillstånd. För vanligare typer av flygningar finns det standardscenarier (Pre-Defined Risk Assessment, PDRA) som beskriver vad piloten måste uppfylla för att få genomföra flygningen (Transportstyrelsen 2021d). I dagsläget finns inte standardscenarier för skogsbrand.

Det finns även möjlighet för en drönarpilot att inneha ett så kallat LUC-certifikat (Light UAS operator Certificate), som ger förhandstillstånd att utföra en viss typ av flygningar (Transportstyrelsen 2021a). Vid skrivandet av denna rapport har ingen svensk användare av högkapacitetsdrönare fått ett LUC-tillstånd (Mauritz Andersson, AirForestry, personlig kommunikation 2021).

För flygningar där ett standardscenario inte tagits fram måste piloten göra en särskild riskbedömning med hjälp av den så kallade SORA-modellen (Specific Operation Risk Assessment) (Transportstyrelsen 2021b). Denna typ av tillstånd är idag vanligast för högkapacitetsdrönare. Exempelvis kan ett SORA-tillstånd kräva att både en pilot och en observatör finns på plats när drönaren flygs. Processen att skriva och få ett SORA-tillstånd tar ofta 6+ månader.

Högkapacitetsdrönare i Sverige

Bland utvecklare och tillverkare av högkapacitetsdrönare i Sverige år 2021 finns Katla (eldrivna fastvinge/rotor-hybrider), ACC Innovations (förbrännings/el-hybrider med hög lastkapacitet, bland annat inriktade mot vindkraftsunderhåll), Nordluft (batteridrivna multirotor med inriktning mot jord/skogsbruk), AirForestry (batteridrivna multirotor med inriktning mot skog och skogsbruk), och XER Technologies (multirotor, inriktning mot samhällstjänst).



Figur 2. Urval av högkapacitetsdrönare utvecklade i Sverige. Överst till vänster: ACC Innovations. Överst till höger: Nordluft. Nederst till vänster: AirForestry. Nederst till höger: XER Technologies. Källa är respektive företags hemsidor, förutom för AirForestry, där källan är personlig kommunikation.

ACC Innovations demonstrerade under 2021 lyft av vatten med samma typ av behållare som brukar användas av helikoptrar vid skogsbrandsbekämpning; en så kallad bambi-bucket.



Figur 3. ACC Innovations ThunderWasp-drönare vid lyftning av vatten i en bambi-bucket vid Västerviks flygplats. Källa: Drone Center Sweden

Drönare för skogsbrandsbekämpning internationellt

De flesta rapporterade användningar av drönare inom skogsbrandsbekämpning handlar om lättkapacitetsdrönare som används för detektion och övervakning. Flera andra tillämpningar har dock utvecklats eller är under utveckling. Nedan ges några exempel.

Amerikanska Drone Amplifieds drönarmodul IGNIS har använts i USA för att antända bränder genom att släppa så kallade dragon eggs (Drone Amplified 2021; Flying Magazine 2021). Modulen väger 4,0 kg och kan monteras på flera olika modeller av multirotdrönare.

Kinesiska drönartillverkaren QilingUAVs har en drönare som kan släppa två ”bomber” fyllda med brandskyddsmedel, som beskrivs påverka en område om 50 m³ (New Atlas 2020). Drönaren drivs av en förbränningsmotor och drönaren och lasten väger tillsammans 250 kg.

Spanska Drone Hoppers drönare WildHopper har utvecklats med tanke på vattentransport för skogsbrandsbekämpning. Olika källor anger olika lyftkapacitet, där 600 liter är målsättningen men där det är oklart vad nuvarande kapacitet är (González 2018; EU Cordis 2019; Drone Hopper 2021). Drönaren drivs av en ”thermal engine”, sannolikt en förbränningsmotor, och väger 600 kg (Ragab m.fl. 2021).

Medan de flesta högkapacitetsdrönare jämför sig mot helikoptrar är amerikanska Drone Americas drönare Ariel Mark2 utvecklad för att ersätta skopande flygplan (Drone America 2021). Motorn är av hybridtyp och drönaren kan lyfta 150 kg. Ytterligare en modell, ScooperDrone, är under utveckling, med målsättningen att lyfta 3700 liter vatten (Fire Aviation 2021).

Metod

Upplägg

Materialet har tagits fram genom workshops, genom att svara på individuella frågeformulär samt under diskussioner på olika möten. Deltagarna har bestått av representanter från MSB, räddningstjänst, försäkringsbolag, entreprenörer, naturvårdsbolag och skogsbolag. Frågeställningar och diskussionsunderlag har tagits fram av ledarna för projektets olika arbetspaket.

Insamlade tankar och resonemang från referensgruppen har sammanvägts och i vissa fall förtydligats med hjälp av kompletterande samtal. För frågor som specifikt rör helikopteranvändning har kompletterande intervjuer genomförts med fem olika helikopterföretag som arbetar med skogsbrandsläckning i Sverige.

Framtidsscenario

För att avgränsa diskussionerna i gruppen har utgångsläget varit att arbeta utifrån ett framtidsscenario med en hypotetisk multirotdrönare som klarar 200 kg lastvikt och att drönarna i scenariot kan arbeta tillsammans i grupper om 4–6 st.

I scenariot så används även drönarna i daglig drift inom skogsbruket och finns på olika platser runt om i landet för att arbeta med uppdrag inom skogsbruket. I ett vattenbärarscenario skulle dessa drönare göra flygrunder till ett närbeläget vattendrag, exempelvis en sjö.

Resultat

Genom sammanställningar av deltagarnas synpunkter har dessa grupperats och sammanvägts i tre avsnitt med olika ämnesområden. Avsnitten består av:

- Helikopteranvändning idag
- Drönare i det tänkta scenariot
- Prestationsjämförelse mellan högkapacitetsdrönare och helikopter

I vissa fall redovisas svaren ordagrant medan i vissa andra fall har svaren slagits samman eller formulerats om för att enklare förmedlas i text. Innebörden är förhoppningsvis oförändrad. Svaren redovisas i form av löptext och punktlistor. Det finns ingen hierarki i detta som skulle antyda att vissa synpunkter är högre prioriterade än andra.

Helikopteranvändning idag

Av de flygande resurser som används vid skogsbrandsbekämpning påminner högkapacitetsdrönare mest om helikoptrar. Därför finns det anledning att utvärdera i detalj hur helikoptrar används i samband med en räddningsinsats.

Hur går det till?

När luftburet stöd behövs för skogsbrandssläckning kan räddningsledaren anlita en privat aktör eller få stöd av staten genom att begära resurser för skogsbrandssläckning (flygande enheter) hos MSB eller länsstyrelse. Insattiden kan variera beroende på var det brinner och var det finns tillgängliga helikoptrar. Ofta anländer helikoptern med en vajermonterad vattenbehållare, en så kallad "bambi-bucket", som fylls med vatten vid något närliggande vattendrag. Piloterna nyttjar ofta inflygningen mot brandområdet för att skapa en lägesbild och lämna information vidare till den som leder insatsen. Vid någon av de första rundorna brukar även ledaren själv åka med för att rekognosera. Vattenbehållaren fungerar, lite förenklat, som en hink hängande under helikoptern. Piloten kan fylla behållaren vid relativt små tjärnar eller sjöar och helikopterns lyftkapacitet avgör hur stora vattenhållare som används. Piloten kan därefter öppna en ventil i behållarens botten för att släppa ut vatten på önskad plats. Spridningen styrs då av helikopterns hastighet och flyghöjd. Beslut om var vattnet ska spridas sker formellt via den som leder insatsen men erfarna piloter kan ta ett stort eget ansvar i samråd med ledaren och markpersonal.



Figur 4 visar en helikopter med en så kallad "Bambi-bucket" som släpper vatten i ytterkanten av ett brandområde. Piloten hanterar hur vattnet ska spridas med hjälp av en ventil i behållarens botten samt flyghöjd och hastighet efter ett tidigare beslut om var och hur vatten ska läggas. Foto: David Rönnblom, Holmen Skog AB.

Antal insatser med luftburet stöd i Sverige 2021

MSB bistår med luftburet stöd som stöd vid släckningsarbete. Stödet bestod 2021 av 4 skopande plan och minst 10 helikoptrar som var kontrakterade för beredskapsperioden. Positioneringsorterna varierade under säsongen baserat på rådande brandrisk. Under 2021 genomfördes totalt 77 insatser med luftburet stöd (Tabell 1) varav 43 i de fyra nordligaste länen. Hur många av insatserna som var kopplade specifikt till skogsbränder respektive andra typer av bränder är oklart. Under 2021 inträffade den första insatsen med flygburet stöd i juni, men tidigare år har det varit vanligt med helikopterinsatser tidigare under slutet av april.

Tabell 1. Antalet insatser i Sverige med luftburet stöd mellan 2019 – 2021. Källa: MSB

	2019	2020	2021
Helikoptrar	37	58	66
Flygplan	0	5	11

När kan helikoptrar inte flyga?

Helikopterflygning begränsas i de fall det råder dålig sikt på grund av mörker, rök, dimma eller låga molnbaser. I norra Sverige är ljuset sällan ett problem under sommaren, även om det även där finns timmar under natten då ljuset kan vara begränsande. I normalfallet så är även brandbeteendet mindre hektiskt under de timmarna.

Helikoptrarna är relativt okänsliga för vind och kan arbeta med god precision upp till höga vindstyrkor. De kan däremot vara känsliga för rök eller värmekonvektion. Man undviker av flera skäl att flyga i tät rök dels för att sikten är dålig, dels för att syremängden i luften är låg. Det finns heller inget egentligt skäl till att flyga där röken är

som tätast eller värmen som störst ovanför brandfronten eftersom vattenbombning just där inte ger någon egentlig effekt.

Var kan helikoptrar inte flyga?

Helikoptrar varken kan eller får flyga i närheten av fysiska hinder såsom vindkraftverk, radiomaster, staglinor och dylikt. Var man får flyga påverkas även av lokala luftregler som kan förändras över tid. Detta styrs av Luftfartsverket via en så kallade "daily use plan".

Helikoptrar har ett behov av landningsplatser som är relativt stora med fritt område runtom helikopterns rotorblad. Det är sällan svårt att finna ett sådant område inom några minuters flygtid från den plats där arbetet genomförs och vad gäller helikopterns prestation så har detta i normalfallet endast en försumbar inverkan. Helikoptrarna har dessutom relativt lång flygtid, i normalfallet cirka 1,5 timme, mellan varje tankning. Tankningarna tar cirka 20 minuter att genomföra.

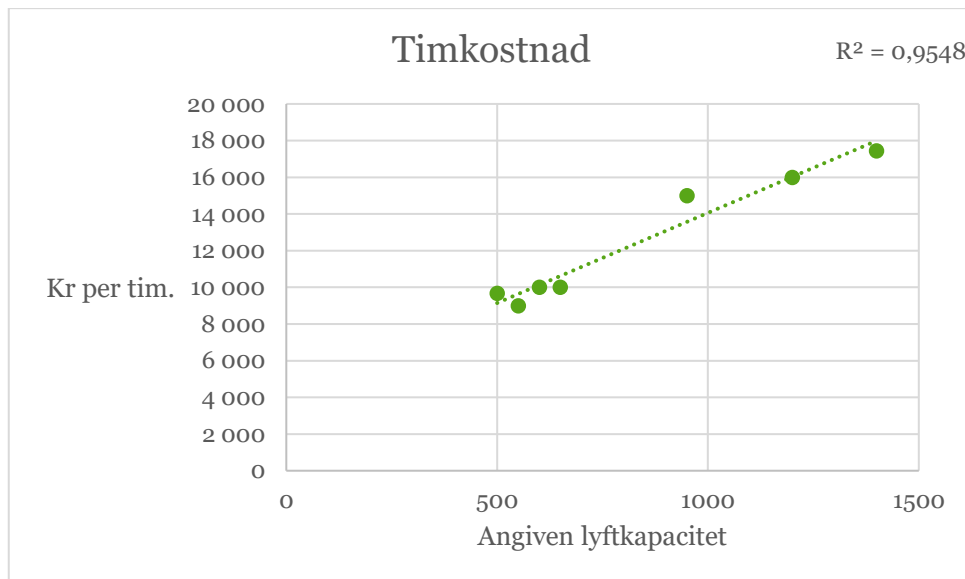
Vid normala skogsbränder och naturvårdsbränningar så behöver sällan helikoptrarna användas kontinuerligt utan gör behovsstyrda punktinsatser och flygningar. Man eftersträvar av kostnadsskäl att hålla helikoptrarna på marken om det inte finns ett tydligt behov just för stunden. Det förekommer att helikopterpiloterna använder egna drönare för enklare kontroller innan de beslutar att starta helikoptern.

Vad begränsar helikoptrars flygtid?

Det som begränsar den effektiva flygtiden är vanligen arbetstidslagen, depåstopp och serviceintervaller. Enligt lag har piloterna en maximal flygtid på 9 timmar samt en maximal tjänstgöringstid på 16 timmar. Men även tillgång till bränsle, avstånd till depå och logistik för bränsle kan i vissa fall innebära minskad effektivitet. Vid de flesta kombinationer av helikopterstorlek och vattenbehållare föredrar piloterna att inte fylla sina bränsletankar helt fulla då det leder till reducerad lyftkapacitet. Detta medför således tätare tankningsintervall men trots det en ökad kapacitet att frakta vatten.

Kostnader och kapacitet vid användande av helikoptrar

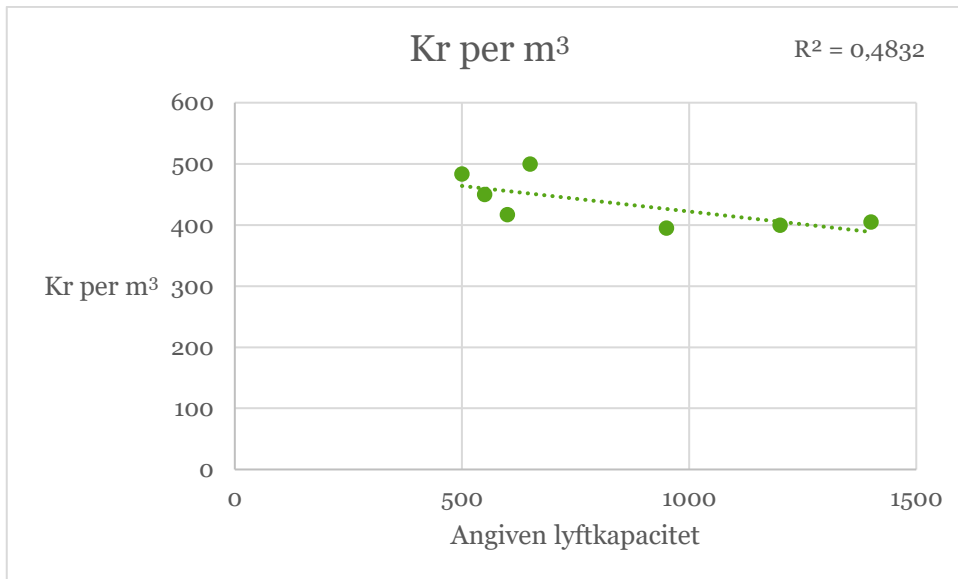
I arbetet tillfrågades fem helikopterföretag som samtliga arbetar med släckningsinsatser vid skogsbrand om kundpriser och prestanda. I svaren framkommer att timkostnaderna för att anlita helikoptrar är relativt lika över landet och att priset är sammankopplat med helikoptrarnas lyftkapacitet (Figur 5). De fem olika företagen lämnade uppgifter för totalt 10 helikoptrar med lyftkapacitet mellan 500 och 1400 kg.



Figur 5 visar angivna timkostnader för helikoptrar med olika lyftkapacitet. I de fall det finns uppgifter för flera helikoptrar i samma storleksklass så har ett medelvärde av deras angivna timkostnader använts i diagrammet.

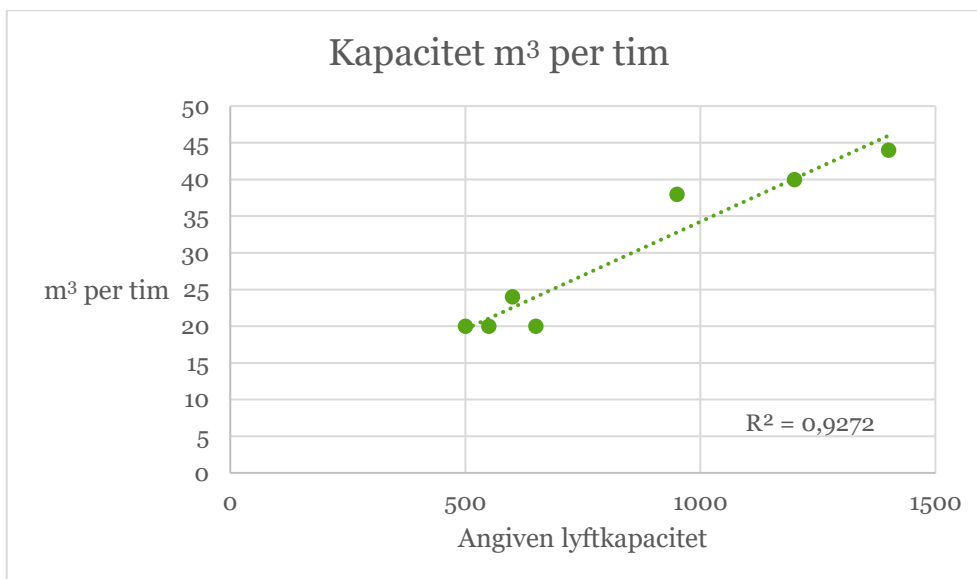
För att göra en kostnadsjämförelse mellan de olika helikopterstorlekarna och deras olika prestanda så simulerades ett scenario där vändatiderna sattes till 90 sekunder för att fylla vattentunnorna, flyga till brandplatsen, tömma tunnan och återvända till påfyllningsplatsen. Inga avbrottstider för service och tankning har räknats med och inte heller finns någon hänsyn till hur länge respektive helikoptrar kan flyga mellan tankningarna. I scenariot så används de "buckets" som företagen själva anger och dessa är i några fall mindre än helikoptrarnas maximala lastkapacitet.

Av beräkningarna framkommer att om kostnaden räknas som kronor per m³ vatten så hamnar resultatet mellan 400 och 500 kr/m³ (Figur 6). Detta är relativt likvärdigt oavsett storlek på helikopter men generellt något lägre för de större maskinerna med större lastkapacitet.



Figur 6. Beräknade kostnader i kronor per m³ vatten vid en vändtid på 90 sekunder. I de fall det finns uppgifter för flera helikoptrar i samma storleksklass så har ett medelvärde av deras angivna timkostnader använts i diagrammet.

Vidare har en beräkning gjorts för att jämföra den teoretiska kapaciteten för respektive storleksklass (Figur 7). Resultatet visar ett spann från ca 20 m³ per timme för de mindre helikoptrarna och drygt 40 m³ per timme för de större. Även i denna beräkning ligger företagens befintliga "buckets" till grund.



Figur 7. Beräknad kapacitet i kubikmeter per timma för de olika storleksklasserna av helikopter, med befintliga "buckets". I de fall det finns uppgifter för flera helikoptrar i samma storleksklass så har ett medelvärde använts i diagrammet.

Om man teoretiskt skulle beräkna en maximal kapacitet, det vill säga med så stora "buckets" som möjligt, så skulle de större helikoptrarna klara uppemot 56 m³ per timme. Dessa siffror kan användas som benchmarking vid utveckling av drönare för skogsbrandsbekämpning.

Drönare i det tänkta scenariot

Användningsområden

Referensgruppen ombads att diskutera och försöka besvara frågan:

”Vilka användningsområden ser ni, och vilka skulle vara primära för en drönare av den typ som beskrivs i projektet?” och gav följande svar:

Drönare av den typen som diskuteras inom projektet skulle kunna användas för att effektivt kunna hantera brandflankerna och så kallad ”smitningar”, det vill säga i de fall en brand eller kontrollerad bränning går över brandområdets begränsningslinjer.

De skulle även kunna kontrollera och hantera så kallad ”gnistkast” då brinnande flagor åker med vinden i brandfronten och orsakar nya antändningar längre fram eller för att lyfta utrustning eller frakta vatten till tankar/depåer som kan nyttjas av markpersonal.

Likaså skulle drönarna kunna användas för att rädda specifika punkter inom eller i närheten av ett brandområde, exempelvis byggnader eller platser med höga kulturvärden.

Drönarna skulle gå att använda för att identifiera utveckling och händelseförlopp och därmed ge viktig information och ledningsstöd och för att fotografera, filma och registrera brandområdets ytterkanter med GPS-positioner i inledningen, under och efter insats.

Krav på produkten

Referensgruppen ombads även att diskutera och försöka besvara frågorna:

”Vad kräver en drönare och vad krävs av en drönare för att vara effektiv i den tillämpning som diskuteras? Vad måste den klara av att göra?”

Referensgruppen gav följande svar (observera skillnader mellan ”måste” och ”bör”):

- Drönaren måste klara av att sprida som ett sorts regn eller dumpa vatten. Vad som är mest effektivt skiljer för brandens fyra sidor och rådande brandförlopp. Den måste även klara av att frakta vatten till depåer för markpersonal samt kunna flytta utrustning som exempelvis strålrör, slang, pumpar med mera
- Drönaren bör även kunna användas vid skyddsavbränning för att släppa så kallad ”Dragoneggs” (brandbomber) för antändning samt ha någon form av hinderdetektion/IR och autonomt kunna avgöra var det ska släppas vatten ur ett strategiskt perspektiv
- Drönaren bör även ha sensorer och kameror för att kunna förmedla viktig information till den som leder insatsen (stabsfunktionen)
- Det skulle ses som en fördel om det utvecklades standardiserade fästen och utrustning för att frakta vatten eller annat material.

Vinster och möjligheter

”Vilka vinster finns med att använda en drönare av den typ som diskuteras?”

Under projektet har samtalen ofta kopplat till ifall man tror sig kunna se uppenbara vinster med att använda drönare vid släckningsinsatser och vid bevakning efter avslutad räddningsinsats. De vinster och fördelar som oftast framkommer är följande:

- Användning av drönare bör rimligen leda till kostnadseffektiva insatser i samband med släckning och efterbevakning och bidra till att minska de samlade kostnaderna för skogsskador.
- Helikoptrar har idag en snabb framryckning till brandplatsen och piloten kan fatta viktiga beslut baserat på vad man upptäcker från högre höjd under inflygningen men i ett tidigt och sent brandskede kan drönare vara lämpligt för att bistå med lägeskontroller och vissa släckningsinsatser. Erfarenheter från 2018

visar att man inte kunde flyga så intensivt som man önskade utifrån servicetider på de flygande resurserna.

- Snabba och effektiva insatser är viktiga och möjlighet att flyga i mörker är positivt. Detta kan då även utgöra ett viktigt komplement till helikoptrar som kan flyga under dagtid och då undvika konkurrens i luftrummet. Drönare som redan finns lokalt som kan tas i anspråk för skogsbrandsläckning kan då bli snabbare för en direkt första insats än flygunderstöd av helikopter som i vissa situationer kan ha längre tid att flyga fram till branden, men också vara upptagna med insatser på annan plats. Antalet helikoptrar att tillgå är begränsat.

Begränsningar

Det är viktigt att designa ett system som kan komplettera, inte ersätta, användandet av helikoptrar och samspelet mellan olika flygande resurser måste planeras noggrant. Helikopterpiloter vill inte flyga samtidigt som drönare i det aktuella luftrummet.

Drönare kommer att ha svårt att släcka glödbränder. Glödbränder bekämpas vanligen genom att det brinnande materialet, som ofta har en stor utbredning under jord, sprutas sönder med högtryck eller hackas sönder med redskap, vilket gör att det sedan kan svalna. Vattenbombning från drönare ger inte tillräckligt tryck för att komma åt glödhärdar.

Inledningsvis är det förmodligen enklast att nyttja drönare vid kontrollerade bränningar då man vet förutsättningarna (exempelvis markvegetation som starr, gräs mm) vilket möjliggör en god planering. Det är också viktigt att utreda vad som gäller då släckningsinsatsen är avslutad och markägaren svarar för bevakning – vem äger, och har tillgång, till utrustningen? Detta måste framgå tydligt i designen av olika tjänstepaket.

Kompetenskrav i ett effektivt system

”Vad behöver de olika aktörerna veta och kunna för en effektiv och säker insats?”

När det gäller att införa ny teknik och nya resurser så krävs det en övergripande insikt hos de berörda aktörerna för att nå ett säkert och effektivt resultat. Den som beställer tjänster av den typ av drönare som diskuteras i projektet bör ha vissa grundläggande kunskaper om drönarens kapacitet, flygtid, samt villkor för det aktuella luftrummet.

Det finns en uppenbar risk för att den som leder insatsen annars i första hand begär förstärkning från funktioner eller resurser som man redan är bekant med och har erfarenhet av som helikoptrar och skopande plan. Det är också viktigt att beställaren har kännedom om hur olika typer av resurser kan komplettera varandra och vilka krav som ställs i ett sådant läge. För detta krävs att nya resurser och deras förmågor och begränsningar ingår samt uppdateras löpande i utbildningar men också att det finns ett snabbtillgängligt, tydligt och effektivt informationsmaterial som fungerar även stressiga situationer.

I ett sådant informationsmaterial bör det även framgå vilka typer av sensorer som finns tillgängliga och vad de olika sensorerna kan besvara. Det är även viktigt att tydligt förklara vilka hjälpmedel som finns på plats för att delge staber och räddningspersonal viktig information. Inte minst gäller detta visuellt stöd som bilder och video.

I rapporteringen efter olika insatser där drönare använts bör så mycket som möjligt av all relevant informations dokumenteras för utvärdering och utveckling av både teknik och samverkan.

Nedan redogörs några av de kunskapskrav som identifierats för de som *beställer* stöd från drönare respektive de som *opererar* drönarna.

Insats vid släckning och kontroll av smitningar och gnistkast samt flygbränder

För den som beställer drönarstöd:

- Det är viktigt att den som leder insatsen har grundläggande kunskaper och i förväg vet vad man kan förvänta sig i form av kapacitet och prestanda samt hur systemet är uppbyggt och hur det fungerar.
- Förutom uppgifter om kapacitet för att sprida vatten och flytta utrustning måste det finnas kännedom om vilka sensorer som finns och hur de kan bidra till en förbättrad lägesbild, samt vilka kommunikationsgränssnitt som tillämpas.
- Eftersom ett framtida drönarsystem är modulärt går det att beställa utifrån önskad kapacitet. Exempel på kapacitet kopplat till antalet drönare och avstånd till vatten och depå ska vara väl känt.
- Beställaren måste ha kunskap om eventuella villkor för det aktuella luftrummet.
- Beställaren måste i förväg kunna ange en lämplig depåplats och vilka krav som gäller för den.
- Det är viktigt med kommunikationskanaler mellan pilot och den som beställer tjänsten eller leder arbetet. Ledaren måste kunna beskriva var och hur en planerad insats av drönarstöd ska utföras.
- Det måste i varje skede då stöd av drönare genomförs vara klart vem som har det ekonomiska ansvaret för tjänsten. Om en drönartjänst ska ske efter det att räddningsinsatsen avslutats måste avtal ingås med berörda parter som då är markägaren eller den som företräder denne.

För den som genomför drönarstöd:

- Vid kontrollerade bränder vill man av kostnadsskäl inte ha helikoptern i luften mer än nödvändigt. Man passerar höjdryggar för att visuellt kontrollera eventuella kast (flygbränder) eller smitningar (brandspridningar). För detta behöver piloten veta var man ska spana av och vad man ska titta efter. Det är ofta lätt att se när det hänt något, men svårare att se att det inte hänt något. Sikten kan besväras av rök och bedömningen gör att "egna" ögon från hög höjd är viktiga. En drönarpilot måste således ha sensorer och ett flygmönster som möjliggör 360 graders bevakning. Det finns möjlighet att ha anpassade och lämpliga IR-sensorer som kan ge stöd.
- Smitning, hopp eller kast är inte samma sak. En smitning är något som dragit ut över en tänkt gräns. Ofta är det naturliga gränser eller skapade och tydliga gränser. Ett hopp, eller kast, uppstår då brinnande flagor förs med i vindriktningen. Piloten behöver därför kunskap om hur terrängen kan styra och påverka vindriktning hur olika bränsletyper beter sig samt veta vilka luftskikt kan bära gnistor.
- Piloten behöver även veta hur man separerar luftrummet med andra flygande resurser i de fall man delar luftrummet med andra flygande resurser.

Piloten ha kunskap om eventuella villkor för det aktuella luftrummet. Dessa restriktioner är föränderliga över tid. Luftfartsverket har en "daily use plan" som inverkar på hur och var man får flyga.

Rädda specifika punkter

Beroende på var det brinner så kan det finnas områden, byggnader eller andra viktiga objekt som bör eller måste prioriteras i släckningsarbetet. Specifika punkter kan vara något som man redan känner till sedan tidigare.

För den som beställer drönarstöd:

- Beställaren behöver ha en prioriteringsordning i de fall det finns olika viktiga skyddspunkter. Vid exempelvis en vindkantring eller ett oväntat brandförlopp kan man tvingas göra snabba punktinsatser.

För den som genomför drönarstöd:

- Piloten behöver veta exakt var dessa punkter finns exempelvis radiomaster eller gamla byggnader som man vill skydda utan att det räknas som akut.
- Piloten kan också bidra med att lokalisera och identifiera platser/saker som man vill bevattna.

Ledningsstöd

Mycket av den information som kan inhämtas från luften kan bidra till att underlätta eller effektivisera insatserna. Vilken informations det gäller beror på vilken eller vilka sensorer som används.

För den som beställer drönarstöd:

- Beställaren behöver veta vilka möjligheter som finns för att nyttja drönarna för rekognoseringsrundor och få en uppdaterad lägesbild. Detta kan göras på "tillbakavägen" och ifall man använder flera drönare kan dessa styras till att flyga i olika stråk. Därmed finns möjlighet att spela in eller live-streama information med hjälp av heat-maps, bildanalys, rökutvecklingskarta och så vidare. Tekniken används redan idag av så kallad "fixed wings".

För den som genomför drönarstöd:

- Piloten måste veta hur information ska förmedlas vidare. Alla räddningstjänster har inte idag utvecklade karttjänster så det finns ett behov av att kunna presentera färdigt material ute i fält.
- Bilder och livestreamad video är bra, men det kan vara svårt att visa var en front befinner sig. Piloten blir en viktig bricka i att presentera information. Detta är en tjänst som idag inte är utbyggd. Det ideala läget är att få denna information till berörda som leder insatsen samt också till de som deltar i släckinsatsen på marken.
- Insatsledningen önskar få GIS-info från både luften och marken och det är viktigt att fastighetsinformation finns med. MSB följer utvecklingen och kan i framtiden komma att utveckla eller sträva efter att samordna funktioner för särskilda GIS-tjänster.

Samla in data före insats och efter insats

Efter en avslutad insats är det ofta intressant att skyndsamt inhämta informations som kan underlätta skadereglering kopplat till eventuella försäkringsärenden. Man vill bland annat veta om det varit mark- eller trädbränder genom bildanalyser. Högupplösta bilder kan ge information på nivå för enskilda träd vilket underlättar skaderegleringen. Träden byter färg redan efter två till tre dagar.

Transport av utrustning samt vatten till marktankar

Det finns en önskan om att drönarna ska kunna underlätta frakt av utrustning, exempelvis slangrullar, tomma tankar samt vatten att fylla tankarna med. Detta sköts idag till stor del med hjälp av fyrhjulingar eller med manuell arbetskraft vilket innebär höga insatser av personalen. I svår terräng eller våtmarker blir detta ofta extra ansträngande och personalen tvingas fokusera på annat än själva släckningsinsatsen.

Att placera ut vattentankar på strategiska platser underlättar avsevärt. Dessa kan användas som depåer för både motorsprutor och ryggsprutor. En 200-liters tank räcker ganska länge och kan minska problemet med långa slangsträckor och tryckfall. Man använder idag mindre pumpar för att tryckköka slangsystemen i terrängen beroende av längd och topografi. Dessa pumpar väger oftast mindre än 50 kg. Vid en naturvårdsbränning används ofta 2 – 3 km slang.

Även transport av mat och vatten till personalen kan underlättas med hjälp av drönarteknik. Det bör här uppmärksammas vikten av att vid bränder är den fysiska belastning stor och såväl mycket vätska och mat behövs löpande för att ha god förmåga bibehålla den fysiska förmågan, särskilt som bränder ofta sker i varmt och torrt väder. Det kan bli extra kritiskt att hantera försörjningen med mat och vätska då avstånden ofta kan vara långt från depåer eller vägnät. Markpersonalen kan då bli tvingade till längre vandringar eller att gå kringgående sträckor för att undvika rök och andra risker i brandområdets närhet för att få vätska och mat.

Information och utbildning

Det regelverk och utbildningskrav som gäller idag för användning av drönare är känt för projektgruppen och arbetet avgränsas till att inte belysa det vidare i denna rapport.

Däremot så föreslår projektgruppen att när drönarna har studerats och utvärderats i fält bör man ta fram en specifikation som tydligt beskriver hur systemet fungerar och tar hänsyn till det som tidigare redogjorts under rubriken *Kompetenskrav i ett effektivt system*. Ett önskvärt scenario vore då att ta fram, förutom information och systembeskrivningar, ett kursmaterial och checklistor i samverkan med erfarna räddningsledare och drönarpiloter. Kursmaterialet skulle kunna vara webbaserat och på så sätt nå en snabb spridning.

Referensgruppen förordar även att det genomförs praktiska demonstrationer exempelvis i samband med planerade naturvårdsbränningar eller genom att simulera insatser med vattenbombning och flytt av utrustning under med ordnade och lättplanerade former. Rimligen skulle praktiska demonstrationer vara positivt både för en snabb tillämpning och vidareutveckling av ny teknik.

Exempel på tjänsteförpackning

Den drönartillverkare som medverkat i projektet ser i första hand en skoglig tillämpning för den utrustning och de tjänster de kommer att erbjuda marknaden. Företaget kommer sälja luftburna tjänster där drönarna ingår som en del i tjänsteförpackningen.

Det primära fokuset ligger på att med hjälp av drönarna utföra gallringar av ungskogar. I ett tänkt framtidsscenario kommer drönarna att arbeta i så kallad "svärmar" med en hög grad av automation. Varje team består av 2 piloter som vardera ansvarar för 2 drönare. En mobil basstation som inkluderar arbetsplats för piloterna, plats för batteriladdning, samt utrustning för ett lokalt kommunikationsnät finns i anslutning till arbetsplatserna.

I händelse att drönarna skulle inkallas för brandrelaterade uppdrag kan det ordinarie arbetet avbrytas och den mobila basstationen med drönarna kan vara redo för avfärd inom cirka 60 minuter. Inställetiden avgörs av avståndet till platsen för insats. Tillverkaren ser goda möjligheter för jourberedskap under perioder med hög brandrisk.

Verktyg för brandrelaterade insatser är i första hand 200-liters vattenbehållare samt utrustning för materialtransport. Dessa finns antingen med i basstationen eller transporteras separat till platsen.

Organisation för brandrelaterade insatser

I ett framtidsscenario har drönartillverkaren har ett etablerat kontaktnät inom det svenska skogsbruket och en dedikerad organisation för de skogliga tjänsterna. Bedömningen är att det finns ett flertal enheter i drift året om på olika platser i landet. Driftsledningen kan kontaktas via ett aktivt journummer som är känt för räddningsledare och Länsstyrelserna. Samtliga piloter har relevant utbildning för att bistå i släcknings- och efterbevakningsarbete.

Prestationsjämförelse mellan högkapacitetsdrönare och helikopter

Som underlag för vissa teoretiska överslag har jämförelser gjorts mot de uppgifter (Tabell 2) som inkommit från intervjuer med olika helikopterföretag. Den teoretiska vändatiden, det vill säga en arbetscykel bestående i att fylla vattenbehållaren, flyga till brandområdet, tömma behållaren och återvända till påfyllningsplatsen är i beräkningen satt till 90 sekunder. Detta varierar givetvis med avståndet.

Tabell 2 visar en teoretisk beräknad jämförelse mellan en drönare med 200 kg lyftkapacitet och en mindre helikopter. För beräkning av prestanda har vändatiderna satts till 90 sekunder. I tabellen finns även vissa andra jämförelser kopplat till risker vid flygning.

	TEAM MED 4 DRÖNARE	MINDRE HELIKOPTER
Fart (maxfart) km/h	70	
Prestanda, m ³ /h	24	20
Lyftkapacitet, kg	200 kg * 4 drönare = 800 kg	Ca 500 kg
Kostnad kr/m ³	400 – 500	400 – 500
Flygtider	Dygnet runt	Endast vid tillräcklig sikt
Flygning nära eld och rök	Inget problem med rök eller syrefritt.	Förbränningsmotorer klarar inte syrefritt eller kraftig rök.
Turbulens	Drönare bedöms vara relativt okänsliga för turbulens.	Helikoptrar kan vara känsliga för turbulens.
Riskfyllda områden	Vid flygning i kritiska lägen finns ingen risk för personskada eller dödsfall.	Vid flygning i kritiska lägen finns stor risk för personskada eller dödsfall.

Angående arbetstid så görs bedömningen att inom de närmsta åren kommer drönare i detta sammanhang behöva piloter som finns med på plats. Hur många enheter som varje pilot kan hantera vet vi inte i nuläget men detta styrs bland annat av automationsgrader, systemstöd och uppdragens komplexitet. I framtiden är det troligt att piloterna kan fjärrstyra drönare utan att behöva vara i dess närområde. Även drönarpiloter lyder under arbetstidslagen men det är rimligt att tro att utbildningen till drönarpilot är billigare och enklare än motsvarande utbildning för helikopterpiloter och att det därmed kan finnas fler piloter att tillgå.

I en obemannad farkost är säkerhetskraven lägre även om man inte får bortse från de risker som finns. Vad gäller piloternas behov av sikt så det svårt att lösa men vid obemannad flygning kan det vara fullt möjligt att ta stöd av GPS-navigering, olika visionssystem med aktiv belysning alternativt IR- eller LIDAR-baserade system.

Vad gäller fysiska hinder och tillgång till luftrummet så gäller detsamma för drönare som för helikoptrar. Däremot finns en skillnad i krav på depåplats och möjlig flygtid.

Drönare är mera vindkänsliga än helikoptrar men den drönare som beaktas i detta arbete bör klara vindstyrkor på 10 m/s.

Diskussion

Inledningsvis kan det konstateras att referensgruppen gemensamt ser en stor potential för att i framtiden använda drönare så som den i exemplet från projektet. Givetvis finns det utmaningar att lösa men de bedöms mera vara av regulatorisk karaktär samt att det finns risk för en tröghet i implementeringen. Rent tekniskt verkar den drönare som diskuterats i projektet kunna komma att fungera. Som tidigare nämnts pågår ett flertal liknande drönarutvecklingsprojekt på andra platser, som verkar ge lovande resultat.

Användningsområden

Drönare kan användas till en stor mängd uppgifter i samband med skogsbrand. I stort sett alla uppgifter som kan utföras med lättkapacitetsdrönare kan också utföras med högkapacitetsdrönare. Med tanke på högkapacitetsdrönarnas högre kostnad och större storlek utförs dock flera av dem med fördel av lättkapacitetsdrönare, se Tabell 3.

Tabell 3. Några exempel på användningsområden för olika typer av drönare. Lätt = lättkapacitetsdrönare. Lätt+ = drönare som kan bära viss last; 4–25 kg. Hög = högkapacitetsdrönare.

	SKOGS- BRÄNDER	NATURVÅRDS- BRÄNNINGAR	TYP AV DRÖNARE
Antändning	-	Ja	Lätt+
Detektion av oupptäckta bränder	Ja	-	Lätt
Detektion av kast (flygbränder) eller smitningar (brandspridningar)	Ja	Ja	Lätt
Övervakning	Ja	Ja	Lätt
Transport av utrustning	Ja	Ja	Lätt+/Hög
Förbevakning	Ja	Ja	Hög
Släckning (vissa typer)	Ja	Ja	Hög
Rökgasprovtagning	Ja	Ja	Lätt+
Inmätning/kartering	Ja	Ja	Lätt

Detektion, övervakning och kartering kan med fördel göras av mindre drönare, även om högkapacitetsdrönare förutom att samla in sådan information dessutom kan utföra andra uppgifter. Området ”transport av utrustning” är kanske det bredaste, där allt från att frakta strålrör, slang, pumpar och förnödenheter till räddningspersonalen har nämnts. För vissa av dessa tillämpningar är en lyftkapacitet på 200 kg onödigt högt och kan lika gärna utföras av mindre drönare med lyftkapacitet på runt 25 kg. Att använda standardiserade lyftanordningar, exempelvis fästen, containrar och ”buckets”, i stället för egenutvecklade lösningar har lyfts fram som önskvärt.

Spridning av vatten

Detta projekt har utgått ifrån att drönaren vid vattentransport använder en ”bucket”, och släpper allt vatten samtidigt alternativt som ett sorts regn. Det finns dock andra möjliga system, till exempel att vattnet fördelas som en dimma (Ragab m.fl. 2021) eller genom att en högtrycksspruta med slang kopplas till drönaren (Rosenbauer 2020). Vattnet skulle även kunna blandas med additiv, vilket dock skulle kräva att det hämtas från en tank snarare än ett naturligt vattendrag. Olika additiv som förbättrar släckförmågan finns men ifrågasätts ofta ur ett kostnads- och miljöperspektiv.

Operationell flygning

En drönare för skogsbrandsbekämpning måste kunna hantera hinder, värme, rök, och kyla. Sannolikt kommer transport av vatten med högkapacitetsdrönare göras på liknande sätt som med helikoptrar, det vill säga där en ”bucket” hänger i en lina från drönaren, som flyger ovanför träden. Hinder blir därmed framför allt en fråga när vattnet ska släppas. Det måste säkerställas att det inte finns personal eller känslig utrustning på marken.

Scenariot i denna rapport har utgått ifrån en batteridrivna drönare. Batteridrivna drönare ger möjligheten att minska CO₂-utsläpp från flygande insatser, då dagens helikoptrar har förbränningsmotorer. Jämfört med förbrännings- eller hybridbaserade drönare kan batteridrivna drönare stanna i luften kortare tid innan de måste byta batterier. Batteriernas känslighet för kyla, det vill säga att batterierna kan tappa kapacitet, borde inte vara ett problem då de flesta skogsbränder sker på sommarhalvåret. Det finns även möjlighet att ha batterivärmare.

Elektronik kan påverkas av hög värme. Drönarens lyftkapacitet kan potentiellt påverkas dels av lägre luftdensitet till följd av hög värme, dels av lägre syrehalt till följd av branden i de fall drönaren drivs av en förbränningsmotor. Högkapacitetsdrönare kommer dock sannolikt inte användas för uppgifter där de flyger rakt över brandfronten som ofta är så kraftigt att den ändå inte kan släckas genom att släppa mindre mängder vatten.

Det har varit svårt att hitta information om hur varm luften blir på drönarflyghöjd (~50 m) vid olika typer av skogsbränder. Därför skulle tester där en drönare utrustas med en lufttermometer vara värdefulla.

En annan oklar faktor är hur drönaren påverkas av rök och sot på kort och lång sikt, och om det påverkar rengörings- och servicefrekvensen hos drönaren. Man bör utveckla metoder och taktik för att undvika kontamination av rök och sot.

Koordination och separation av luftrummet

Idag används ibland både helikoptrar och skopande flygplan vid samma insatser. Detta sker då med en god organisation. Att komplettera med ytterligare en luftburen teknik är inte otänkbart men kräver god planering och samverkan mellan alla inblandade. Teknik och metoder för koordination och separation av luftrummet kommer säkerligen att utvecklas i takt med att drönare används i allt fler branscher. Här bör särskilt utvecklingen i andra delar av blåljusfamiljen bevakas, då överlapp i behov och operativa scenarion sannolikt finns. Här kan svenska mjukvaran Skydome nämnas, som utvecklats för blåljuspersonal och militär med tanke på koordination och samling av många olika datakällor, inklusive live-bilder från drönare.

Sensorer

I stort sett alla drönare är utrustade med färgkameror; så kallade RGB-kameror. Drönare som är tänkta för att flyga autonomt har ofta även LIDAR-sensorer för avståndsmätning och detektion av hinder. Drönare som skall användas för skogsbrandsbekämpning kan ha

fördel av flertalet andra sensorer. De två främsta bör vara termometer för mätning av lufttemperatur, samt värmekamera för mätning av marktemperatur, detektion av brand/hotspots, mätning av brandtemperatur/intensitet, samt navigation genom rök. De två vanligaste typerna av värmekameror är LWIR (Long-Wavelength InfraRed) och MWIR (Mid-Wavelength InfraRed), där de förra är kompaktare och billigare än de senare, men de senare är känsligare och bättre på mätning av riktigt varma objekt. De flesta värmekameror för drönare är LWIR-kameror. Potentiellt kan även kamera känslig för markfuktighet vara till nytta för en drönare för skogsbrandsbekämpning, för att avgöra områden i större behov av förbevakning.

Genom att sätta in filter i kameror kan dess göras känsliga för specifika substanser, till exempel koldioxid, flytande vatten eller vattenånga (FLIR Systems 2020).

Bevakning efter avslutad räddningsinsats

En hypotes i projektet var att högkapacitetsdrönare kunde vara särskilt användbara vid bevakning efter avslutas räddningsinsats, exempelvis för att identifiera glödhärdar och dämpa eventuella uppblossande bränder. I resultaten framgick det att det inte går att släcka glödhärdar, som är den vanligast vid bevakning, genom vattenbombning från drönare. Däremot kan högkapacitetsdrönare frakta vatten till en tank, som i sin tur kan kopplas till en pump som kan trycksätta ett slangsystem att använda mot glödhärden.

De drönare som används för efterbevakning kommer sannolikt främst att vara lättkapacitetsdrönare utrustade med värmekamera, som används för övervakning. Då flygningen kräver drönarkörkort, vilket många markägare inte har, är det troligt att detta kommer att förekomma i form av en tjänst, till exempel via försäkringsbolag eller restvärdesledare.

Sammanfattningsvis så sticker inte bevakning ut som ett primärt användningsområde för högkapacitetsdrönare men bevakning kan vara ett av många tillämpningsområden.

Svärmar

I inledningen beskrevs det hur de helikoptrar som används vid skogsbrandsbekämpning idag har en lyftkapacitet på 500–1400 kg, vilket motsvarar knappt samma mängd vatten. Buckets och fästånordningar tar en del av den maximala lyftkapaciteten. För att vara en konkurrenskraftigt alternativ bör drönare kunna transportera motsvarande mängd vatten per timme till liknande kostnad. Det kan antingen åstadkommas med stora drönare, som Thunderwasp från ACC med en lyftkapacitet på 1000 kg, eller med en grupp av mindre drönare som arbetar koordinerat.

I detta projekt bedömdes fyra drönare med total kapacitet på 800 kg kunna utföra arbete till motsvarande kostnad som en helikopter. Större svärmar av mindre drönare är givetvis också möjligt. Ausonio m.fl. (2021) bedömde att en drönarsvärm behövde kunna släppa 2400 liter per varv för att effektivt bekämpa en markbrand.

Tillstånd

I dagsläget kan en högkapacitetsdrönare behöva tillstånd för varje plats och/eller tidpunkt som den ska flygas på. För att högkapacitetsdrönare ska vara operationellt användbara vid skogsbrandsbekämpning måste de kunna lyfta så snart larmet kommer. Framtagandet av standardscenarier (Pre-Defined Risk Assessment, PDRA) för skogsbrand skulle bidra till att möjliggöra detta.

Det krävs tillstånd för att få flyga bortom synhåll med alla typer av drönare och för högkapacitetsdrönare är dessa tillstånd i dagsläget mycket svåra att få. Därför är det troligt att drönarpiloter kommer att behöva vara på plats under räddningsinsatsen på kort och medellång tidshorisont. Piloterna placeras lämpligen invid den som leder insatsen på

plats, så att informationsförmedlingen kan ske snabbt och smidigt. I framtiden är det möjligt att särskilda undantag från reglerna om flyg inom synhåll etableras för flygning i skogsmiljö.

Autonoma moment och fjärrstyrning

Initialt så kommer sannolikt de flesta arbetsmoment som högkapacitetsdrönaren utför i samband med skogsbrand att styras av den mänskliga piloten. Givet en utveckling på tillståndssidan så kan vissa repetitiva moment komma att automatiseras på sikt, exempelvis flygning till räddningsplatsen, batteribyte, och hämtning av vatten. Även släppning av vatten och transport av utrustning kan komma att automatiseras. Detta kräver dock mer av sensorsystemet då säkerheten på marken måste garanteras. Om regelverket ändras så att flygning bortom synhåll tillåts är fjärrstyrning (att piloten är aktiv men stationerad på avstånd från branden) i kombination med autonoma moment ett troligt scenario på längre sikt. Även icke-pilotutbildad personal på marken kan spela en roll i enkla moment, exempelvis vid transport av utrustning.

Inställelsetid

Att bekämpande resurser snabbt når fram är grundläggande vid bekämpning av skogsbrand. I det exempel på tjänsteförpackning som beskrevs tidigare i denna rapport befinner sig grupper om fyra högkapacitetsdrönare ute i skogen och utför andra tjänster för skogsbruket. För att ställas om till bekämpning av skogsbrand behöver drönarens ordinarie utrustning bytas ut mot exempelvis en bambi-bucket. Med dagens drönarregelverk behöver även drönarpiloterna åka till platsen till skogsbranden.

Inställelsetiden är sannolikt en viktig faktor för vilken flygande resurs som väljs att beställa till skadeplatsen. Huruvida högkapacitetsdrönare är snabbare eller långsammare än en helikopter kan därför bero på var branden sker, och om någon grupp av högkapacitetsdrönare finns i närheten. Om högkapacitetsdrönare står i beredskap vid hög brandrisk, om omställningen till skogsbrandsbekämpning kan optimeras och automatiseras, eller om regelverket ändras så att piloter kan flyga bortom synhåll, så skulle drönarnas inställelsetid kunna minska.

Alternativa tjänsteförpackningar

Detta projekt har haft ett scenario där drönarna ägs och opereras av tillverkaren som tillhandahåller skogliga tjänster för att maximera nyttjandegraden. Det är dock inte självklart att en hög nyttjandegrad är mer prioriterat än effektivitet och snabb tillgång och att ett alternativ skulle kunna vara att drönare köps in av samhället som gemensamma beredskapsresurser. Erfarenheter från helikopteranvändning tyder på att det krävs dedikerade extra medel från staten/MSB för att räddningstjänster ska öka sin användning av flygande resurser vid skogsbrand vilket möjligen skulle ändras om exempelvis räddningstjänsten ägde egna drönare som komplement.

Drönare utan påtaglig negativ miljöpåverkan och klimatpåverkan kan också vara en resurs som samhället samlat skulle kunna fatta beslut om ska användas i ökad omfattning och leda fram till offentligt finansierade lösningar. Även här kan olika lösningar finnas i form av helt ägda resurser eller leasing/avtal alternativt köp av tjänst.

I tjänsteförpackningar där tillverkaren ej äger drönaren blir tillgången till reservdelar en viktigare fråga. Oavsett tjänsteförpackning är beställarkompetensen viktig, och därmed utbildning.

Framtida användning

Det är redan idag relativt vanligt att räddningspersonal använder sig av lågkapacitetsdrönare utrustade med bild- eller värmekamera för att få en överblick av en skogsbrand. Denna användning kommer sannolikt att öka. Av resultaten framkom att det är troligt att användningen av drönare med högre kapacitet kommer att börja inom naturvårdsbränningen, där förhållandena är mer kontrollerade. Sammantaget är användningen av högkapacitetsdrönare i skogsbrandssammanhang beroende av många faktorer, bland annat validering av drönarnas operativa förmåga, drönarregelverkets utveckling, utvecklingen i miljörelaterade regelverk (kan påverka helikopteranvändning) och prisutvecklingen av tjänsten. Även information om olika drönares förmåga och möjligheter använda dem och nytta torde ha betydelse för framtida nyttjandegrad och hur snabbt ett nytt koncept kan introduceras. Skärpningar i miljölagstiftningen skulle kunna påskynda användningen av batteridrivna drönare och minska användningen av fossildrivna flygande resurser.

Vidareutveckling och fortsatt forskning

I detta projekt har arbetet fokuserat på att ta fram en drönare som kan effektivisera och stärka insatser kopplade till släckning och bevakning efter avslutad räddningsinsats av skogsbränder. En del av de frågeställningar som uppkommit har också besvarats men det finns ännu områden som är intressanta för att utveckla vidare. Några av dessa nämns i listan nedan.

- Det finns ett uttalat behov av operativa scenarioövningar och troligen även ett framtaget beslutsstöd. En tydlig genomgång och analys av historiska insatser med flygande resurser skulle rimligen ge viktig kunskap om vad som förväntas och vad som går att förbättra vid olika typer av insatser. Kunskapen skulle kunna användas för att proaktivt förbereda och förbättra både helikopter- och drönarbaserade tjänster vid framtida skogsbränder. Arbetet skulle exempelvis försöka besvara vad som är mest viktigt vid olika typer av insatser, att vattenbomba eller frakta vatten eller utrustning.
- Rutiner för samverkan, koordinering och separation av luftrummet mellan olika typer av flygande resurser bör utvecklas. Dels för att ge piloter och piloter bättre förutsättningar, dels för att säkerställa goda möjligheter för strategiskt och taktisk ledning av olika insatser.
- Eftersom detta projekt till stor del bygger på antaganden och teoretiska beräkningar bör man inom en närtid försöka designa studier som ger tydligare och mer korrekta svar kring drönarnas prestanda. Dessa studier kan med fördel genomföras som övningar utan verkliga bränder.
- Även flygningar vid faktiska bränder bör genomföras för att utvärdera prestanda vid realistiska temperaturer samt under inverkan av rök och sot.
- Liknande utvecklingsarbeten som detta pågår på andra platser runtom i världen och en gemensam modell för utvärderingar av drönare för skogsbrandändamål vara till stor fördel.
- Lämpliga typer och modeller av sensorer bör utredas.
- Olika alternativ för att sprida vatten från drönare bör utredas.

Slutsatser

- Högkapacitetsdrönare kan fylla flera olika syften vid skogsbrandsbekämpning.
- Drönaren bör kunna lyfta utrustning och vatten.
- Högkapacitetsdrönare är ett komplement till helikopter vid skogsbrandsbekämpning, snarare än en ersättare.
- Högkapacitetsdrönare har fördelar jämfört med helikoptrar när det gäller flygning i mörker och rök, samt, ifall drönaren är eldriven, när det gäller koldioxidutsläpp.

- Det är en fördel om drönaren även kan antända kontrollerade bränder.
- Lyftanordningar och fästen, exempelvis containrar eller korgar, bör vara standardiserade.
- Informationsmaterial till räddningsledare och övrig räddningspersonal är av stor vikt.
- Drönare är inte användbara för direkt släckning av glödbränder. Däremot kan de transportera vatten till en tank, som i sin tur kan kopplas till en pump som trycksätter slangsystem högtrycksspruta med vilket glödhärdar i marken kan bekämpas.
- Mer kunskap behövs kring batterikapacitet och flygtid i praktisk drift.
- Det finns behov av operativa scenarioövningar. Vilken resurs ska sättas in när?
- Mer kunskap behövs om drönare kring vilka skogsbränder som kan detekteras och även följa brandspridningen, det vill säga brandens utveckling med drönare, givet vissa sensorer och flyghöjd.
- Regelverket kring drönarflygning behöver utvecklas för att drönarnas fulla potential ska kunna användas, gärna genom standardscenarion för skogsbrand.

Referenser

- Ausonio, E., Patrizia, B. & Ghio, M. 2021. Drone Swarms in Fire Suppression Activities: A Conceptual Framework. *Drones*, 5, 1-22.
- Björheden, R. & Johannesson, T. 2019. Effekter på svenskt skogsbruk av sommaren 2018. Arbetsrapport 1012, Skogforsk, 1-28 s.
- Brandskyddsföreningen 2021. Så rustat är Sverige för skogsbränder. *Brandsäkert*, 3.
- Drone America. 2021. Ariel. Drone America. URL: <https://www.droneamerica.com/ariel/> [Hämtad 2021-12-28].
- Drone Amplified. 2021. Ignis - How it works. Drone AMplified. URL: <https://droneamplified.com/how-it-works/> [Hämtad 2021-12-28].
- Drone Hopper. 2021. Products - Wild Hopper. Drone Hopper. URL: dronehopper.es/products/ [Hämtad 2021-12-28].
- EU Cordis. 2019. WILD HOPPER - Heavy-Duty UAV for day and night firefighting operations. EU Horizon 2020. URL: <https://cordis.europa.eu/project/id/880642/reporting> [Hämtad 2021-12-28].
- Fire Aviation. 2021. On the horizon, a 1,000-gallon scooping amphibious drone air tanker? : Fire Aviation. URL: <https://fireaviation.com/2021/12/01/on-the-horizon-a-1000-gallon-scooping-amphibious-drone-air-tanker/> [Hämtad 2021-12-28].
- FLIR Systems. 2020. Making Invisible CO2 Emissions Visible with FLIR OGI. FLIR Systems. URL: <https://www.flir.com/discover/industrial/making-invisible-co2-emissions-visible-with-flir-ogi-cameras/> [Hämtad 2022-01-10].
- Flying Magazine. 2021. Drones Take Their Place on the Cutting Edge of Wildfire Fighting. Flying Media. URL: <https://www.flyingmag.com/drones-wildfire-fighting/> [Hämtad 2021-12-28].
- González, A. 2018. Drone Hopper: Firefighters of the future. *Compasslist*. URL: <https://www.aeroexpo.online/prod/drone-hopper/product-180204-26489.html> [Hämtad 2021-12-28].
- Hyll, K., Johannesson, T. & Björheden, R. 2020. På skogsbrandsfronten mycket nytt. Skogforsk Arbetsrapport, Skogforsk, 1-42 s.
- Naturvårdsverket. 2021. Naturvårdsbränning hjälper naturen på traven. Naturvårdsverket. URL: <https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/skyddad-natur/sa-forvaltas-skyddade-omraden/skotsel-av-naturmiljoer-och-arter/naturvardsbranning> [Hämtad 2021-11-25].
- New Atlas. 2020. Helicopter drone is made to drop bombs on forest fires. *New Atlas*. URL: <https://newatlas.com/drones/forest-fire-fighting-drone/> [Hämtad 2021-12-28].
- Ragab, A. R., Ale Isaac, M. S., Luna, M. A. & Flores Pena, P. 2021. Wild Hopper: A Heavy-Duty UAV for Day and Night Firefighting Operations. *Heliyon*, Under review.
- Rosenbauer. 2020. Height test with extinguishing drone. Rosenbauer. URL: <https://www.rosenbauer.com/blog/en/height-test-with-extinguishing-drone/> [Hämtad 2022-01-12].
- Sjöström, J. & Granström, A. 2020. Skogsbränder och gräsbränder i Sverige - Trender och mönster under senare decennier. *MSB*, 1-104 s.
- Sveriges Radio. 2018. Årets bränder kan bli dyrare än Västmanlandsbranden. *Sveriges Radio*. URL: <https://sverigesradio.se/artikel/7001410> [Hämtad 2021-11-25].
- Transportstyrelsen. 2021a. Ansök om LUC – ett verksamhetstillstånd med privilegier. Transportstyrelsen. URL: <https://www.transportstyrelsen.se/sv/luftfart/Luftfartyg-och-luftvardighet/dronare/tillstand-for-dronare/kategori-specifik/luc--ett-verksamhetstillstand-med-privilegier/> [Hämtad 2021-11-25].
- Transportstyrelsen. 2021b. Ansök om operativ auktorisation enligt SORA – en metodik för riskanalys. Transportstyrelsen. URL: <https://www.transportstyrelsen.se/sv/luftfart/Luftfartyg-och-luftvardighet/dronare/tillstand-for-dronare/kategori-specifik/sora--en-metodik-for-riskanalys/> [Hämtad 2021-11-25].
- Transportstyrelsen 2021c. Drönare - utbildningsmaterial - A2. 1-93 s.
- Transportstyrelsen. 2021d. Kategori specifik – en av tre kategorier. Transportstyrelsen. URL: <https://www.transportstyrelsen.se/sv/luftfart/Luftfartyg-och->

[luftvardighet/dronare/tillstand-for-dronare/kategori-specifik/](https://www.transportstyrelsen.se/sv/luftfart/Luftfartyg-och-luftvardighet/dronare/tillstand-for-dronare/kategori-specifik/) [Hämtad 2021-11-25].

Transportstyrelsen. 2021e. Tillstånd för drönare. Transportstyrelsen. URL:

<https://www.transportstyrelsen.se/sv/luftfart/Luftfartyg-och-luftvardighet/dronare/tillstand-for-dronare/> [Hämtad 2021-11-25].

Transportstyrelsen. 2021f. Utbildning för fjärrpiloter. Transportstyrelsen. URL:

<https://www.transportstyrelsen.se/sv/luftfart/Luftfartyg-och-luftvardighet/dronare/dronarkort-och-utbildning/> [Hämtad 2021-11-25].