



Drönanvändning vid restaurering av vattendrag

Erfarenheter från Västerbottens län

2026-02-13



Författarna har hela ansvaret för innehållet (text och bilder) i denna rapport. Innehållet ska inte tolkas som Europeiska unionens eller EU-kommissionens officiella ståndpunkt.

The authors have full responsibility for the content (text and images) of this report. The content should not be interpreted as the official view of the European Commission or the European Union.

ISBN

978-91-531-8331-0

GRIP on LIFE's rapportserie

2026.03

Författare

Tobias Eriksson, Martina Fjällberg, Linda Vikström
och Jenny Viklund, Länsstyrelsen Västerbotten

Beställare

Länsstyrelsen Västerbotten

Projektledare

Tobias Eriksson

Omslag

Kollage av bilder: en drönare i luften, en drönarpilot med
fjärrkontroll, samt en bild på ett forsande vattendrag
fotograferat med drönare rakt nedåt från hög höjd.

Foton: Johanna Hägglund



Med bidrag från Europeiska
unionens LIFE-program

Innehåll

Förord	4
Sammanfattning	5
Summary	6
Inledning	7
Bakgrund	8
Historisk påverkan på våra vatten	8
Restaureringsarbetet	8
Drönanvändning inom vattendragsrestaurering	9
Regelverk och tillstånd	10
Praktisk användning av drönare	11
Planering av flygning	11
Genomförande i fält	12
Efterarbete och databehandling	12
Datalagring	13
Drönanvändning i olika arbetsmoment	14
Planering och förarbete	15
Biotop- och åtgärdskartering	15
Drönanvändning inom biotop- och åtgärdskartering	15
Vidareutveckling inom biotopkartering	17
Bedömning och dokumentation av kulturmiljövärden	18
Åtgärdsplanering	19
Vidareutveckling av åtgärdsplanering	20
Åtgärdsarbete	22
Begränsningar och vidareutveckling	24
Analys före och efter åtgärd	25
Analys av återskapad våtyna	25
Analys av förekomst av strukturer	25
Död ved	25
Automatiserade analyser av död ved	26
Övriga strukturer och komplexitetsmått	27
Analys av vattenhastighet och flödesmönster	28
Utvecklingsmöjligheter för uppföljning	30
Drönarbilder och -filmer för dokumentation och kommunikation	31
Slutsatser	33
Källförteckning	34
Bilaga 1	35

Förord

Länsstyrelsen i Västerbotten har genom denna rapport samlat sina erfarenheter om drönanvändning vid restaureringsarbete i vattendrag. Rapporten syftar till att ge en lägesbild över hur drönare kan användas som ett hjälpmedel för att nå bättre resultat, effektivisera och följa upp arbetet med restaurering i vatten.

Rapporten är skriven inom ramen för EU Life-projektet Grip on Life IP (2018–2025), som på olika sätt arbetar med att stärka och stödja arbetet med vattenvård och hänsyn till vatten i samband med bedrivande av skogsbruk. Detta gör projektet bland annat genom att bygga kapacitet, utveckla metoder och sprida arbetssätt och kunskap. Innehållet i rapporten har sammanställts i nära samarbete med EU Life-projekten Ecostreams for Life, Rivers of Life samt ReBorN Life och är en del i att hitta nya verktyg för att fortsätta utveckla och förenkla restaureringsarbetet.

Vi gör i rapporten inga anspråk på att vara experter på drönanvändning eller analys av drönardata. Inte heller ska detta ses som en komplett kunskapssammanställning. Rapporten summerar de erfarenheter som Länsstyrelsen Västerbotten har från snart tio års användning av drönare. Mycket har hänt under dessa år. Till exempel kring utvecklingen av tekniken och kvaliteten hos drönare, kameror och mjukvaror. Samtidigt har stora förändringar skett kopplat till regelverk och administration i samband med flygning och hantering av bild- och filmmaterial.

Rapporten vänder sig till dig som är verksam inom restaurering av vattendrag och till dig som arbetar med biotopvård och miljöövervakning. Och förstås om du har ett intresse i hur drönare kan användas i dessa verksamheter.

Umeå, februari 2026

Tobias Eriksson, Martina Fjällberg, Jenny Viklund och Linda Vikström
Länsstyrelsen Västerbotten

Sammanfattning

Denna rapport beskriver hur drönarteknik kan användas som ett stöd i restaurering av vattendrag och ger en samlad bild av både nuvarande arbetssätt och den kunskap som utvecklats inom projektet. Inledningsvis redogörs för bakgrunden till varför restaurering behövs och vilka processer som ligger till grund för arbetet. Därefter följer en översikt av hur drönare idag används inom restaureringssammanhang, tillsammans med en genomgång av de regelverk och praktiska förutsättningar som påverkar flygverksamheten.

Rapportens huvuddel består av tre avsnitt: Planering och förarbete, Restaureringsåtgärder, och Uppföljning. I dessa avsnitt sammanställs erfarenheter från fältarbete, databearbetning och analyser av drönarmaterial. Avsnitten beskriver både hur arbetet bedrivs i dagsläget och vilka metoder som prövats och utvecklats. Här presenteras även resultat från flera studier där drönarbilder använts för att identifiera strukturer, följa förändringar i vattendrag och utvärdera effekterna av olika åtgärder.

I varje del diskuteras också de begränsningar som finns med dagens arbetssätt, samt vilka möjligheter som finns för vidareutveckling för att skapa mer effektiva, tillförlitliga och långsiktigt användbara metoder för restaurering av vattenmiljöer.

Summary

This report describes how drone technology can be used as a support tool in the restoration of watercourses and provides an overview of both current practices and the knowledge developed within the project. The introductory section outlines the background to why restoration is needed and the ecological and physical processes that form the basis of the work. This is followed by an overview of how drones are currently applied in restoration contexts, along with a summary of the regulatory and practical considerations that govern flight operations.

The main part of the report is structured into three sections: Planning and Preparatory Work, Restoration Measures, and Monitoring. These sections compile experiences from fieldwork, data processing, and analyses of drone imagery. They describe both current working methods and the techniques evaluated and developed. The chapters also present results from several studies in which drone imagery has been used to identify structural elements, track changes in watercourses, and evaluate the effects of restoration measures.

Each chapter also discusses the limitations of current approaches, as well as the opportunities to further develop drone-based methods to achieve more efficient, reliable, and long-term applicable tools for the restoration and management of aquatic environments.

Inledning

I Västerbotten finns cirka 800 mil av älvar, åar och bäckar som en gång var en del av det allmänna flottledsnätverket. Till detta kan läggas till många ytterligare mil av bäcksystem, som under flottningsepoken har rensats eller på annat sätt påverkats för att påskynda transporten av timmer till kustens sågverk. En central åtgärd för att uppnå miljö kvalitetsmålet Levande sjöar och vattendrag, nå god ekologisk status i våra vattendrag enligt EU:s vattendirektiv, samt uppnå god bevarandestatus för arter och livsmiljöer i Natura 2000-nätverket är därför att restaurera dessa vattendrag.

Utifrån det stora behov som finns och de finansiella satsningar som görs i Sverige och EU har restaureringsverksamheten växt kraftigt de senaste åren. Länsstyrelsen Västerbotten har en central roll i länets restaureringsarbete. Vi samordnar mycket av länets restaureringsarbete och stöttar kommuner och lokala aktörer med finansiering och rådgivning. Länsstyrelsen har även en stor egen restaureringsverksamhet där vi genom nationella satsningar och stora Life-projekt utför åtgärder runtom i länet.

Genomförda åtgärder behöver kvalitetssäkras så att de är rätt utförda och effekter behöver följas upp så att vi når de satta målen för åtgärderna. I takt med att åtgärdsarbetet växt har behovet av effektiva uppföljningsmetoder ökat. Ur detta behov har drönarverksamheten vuxit fram. Drönarbilder ger ett fågelperspektiv med möjlighet att täcka in stora ytor med bilder som är högupplösta och har god positionsbestämning.

Hur drönare används ser väldigt olika ut i olika län. Hos Länsstyrelsen Västerbotten har drönare börjat användas framför allt inom stora EU-finansierade restaureringsprojekt som ett sätt att effektivisera dokumentation och uppföljning av åtgärderna. I och med starten av EU Life-projektet Grip on Life IP skapades en möjlighet att samla erfarenheter från vår drönanvändning och dessutom utveckla och testa nya användningsområden för drönare inom restaureringsverksamheten. Med rapporten vill vi ge en lägesbild över hur drönare kan användas som ett hjälpmedel för att nå bättre resultat, effektivisera och följa upp arbetet med restaurering av vattendrag.

Rapporten gör nedslag i hur vi på Länsstyrelsen Västerbotten använder drönare vid vattendragsrestaureringens olika arbetsmoment, där störst fokus ligger på Planering och förarbete, Restaureringsåtgärder och Uppföljning. Varje avsnitt beskriver dagens arbetssätt, ger exempel på metoder och lyfter de begränsningar och utvecklingsmöjligheter som vi ser finns. Innehållet i avsnitten är en sammanställning av erfarenheter, fältundersökningar, genomförd workshop samt dataanalyser. Innehållet i rapporten har avgränsats till att fokusera mer på arbetssätt samt användningsområden och mer teknisk information kring drönare har därför utelämnats.

Bakgrund

Historisk påverkan på våra vatten

En stor andel av Sveriges vattendrag är kraftigt påverkade genom mänsklig verksamhet såsom vattenkraft, jordbruk och skogsbruk. Flottning av timmer har skett sedan hundratal år i våra vattendrag. Redan under 1400-talet flottades timmer i samband med bergsbruket. Även virke till skeppsbyggerier har flottats liksom tjärtunnor. Framför allt är timmerflottningen i vårt land förknippat med skogsindustrins stora genombrott under 1800-talet. Den intensivaste perioden var 1870–1960 då många vattendrag i mellersta och norra Sverige var flottled (Törnlund och Östlund 2006). Vid slutet av 1930-talet var det nationella flottledsnätet cirka 30 000 kilometer och årligen flottades i genomsnitt nästan 18 miljoner kubikmeter (Nilsson, 2007). Under flottningsepoken rensades våra vattendrag från sten, block och döda träd för att underlätta timmertransporten från inlandet ut till kusten där industrierna låg. Konstruktioner skapades för att koncentrera vattenflödet och förhindra timmerbröten för en mer effektiv transport.

När vattendragen rensades och kanaliserades förlorade de sin naturliga komplexitet vilket ledde till en ökad vattenhastighet, som spolade bort partiklar som sand, grus, löv och växtdelar. Detta ledde till att viktiga livsmiljöer för växter, vattenlevande insekter och fisk försvann. De flottningsdammar som anlades i sel och sjöutlopp för att styra vattenflödet under flottningen är än idag effektiva vandringshinder för fisk och andra organismer.

När flottningen upphörde så utvecklades flottningsföreningarna och sedan dess har olika insatser gjorts i vattendragen för att skapa strukturer och förbättra för fisk och fiske i vattendragen. Synen på vattendrag och restaurering har över tiden förändrats kraftigt och idag jobbar vi med restaurering för att återskapa fysiska livsmiljöer och funktioner som förekommer i ett opåverkat vattendrag.

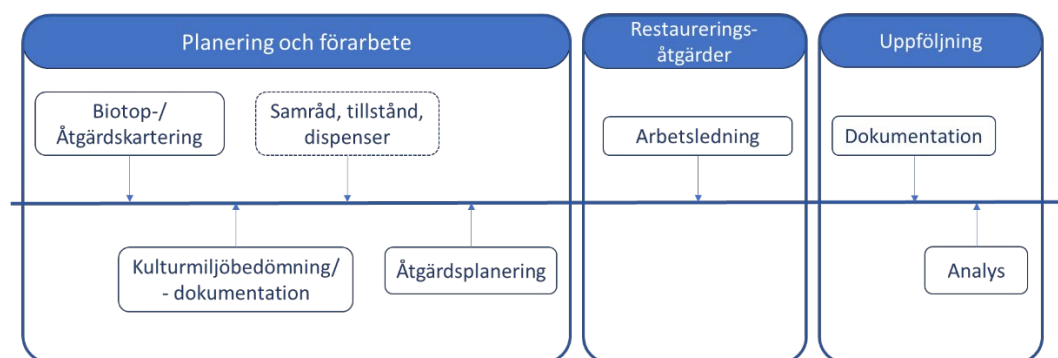
Restaureringsarbetet

Vid vattendragsrestaurering så återförs material som rensats bort, antingen maskinellt med hjälp av grävmaskiner eller manuellt för att återställa vattendragets naturliga och ekologiska funktion. Tidigare avstängda sidofåror öppnas och basnivåer i forsnackar och andra bestämmande sektioner återställs. För att lättare förstå hur drönare kan användas som ett hjälpmedel vid restaurering av vattendrag beskrivs här arbetssättet vid vattendragsrestaurering kortfattat (Figur 1).

Inför restaureringsarbetet väljs ett vattendrag ut där goda förutsättningar finns för att i så stor grad som möjligt återställa dess ekologiska funktion. Åtgärdsbehov, bevarandevärden samt lokala förutsättningar och intressen påverkar också vilka sträckor som utförs och vilka som prioriteras. Innan arbetet kan påbörjas så genomförs en *biotop- och/eller åtgärdskartering* där fysiska och biologiska förhållanden i och i anslutning till vattendraget inventeras. En *kulturvärdesbedömning* genomförs sedan på de objekt som hittats under biotop- och åtgärdskarteringen. För att få *tillstånd* att genomföra åtgärder (bedriva vattenverksamhet som regleras av miljöbalkens 11 kapitel) söks tillstånd hos mark- och miljödomstolen. Inför tillståndsprövsprocessen, som är en del i arbetet med ansökan för att kunna utföra restaureringsåtgärder, så sker

samråd med markägare samt intressen som kan finnas utefter vattendraget. Särskilda tillstånd och dispenser söks hos berörda myndigheter. Innan själva restaureringsarbetet drar i gång krävs förarbete i form av *åtgärdsplanering*. Vid restaurering med grävmaskin planeras körvägar för att undvika onödiga körskador och en grov planering om vad för åtgärder som ska utföras. Detta planeras i grova drag baserat på åtgärdsplaneringen. Vid *åtgärdsarbetet* arbetar en arbetsledare tillsammans med en maskinförare med åtgärdsarbetets olika delar, till exempel att återföra uppensat material till vattendraget, återställa basnivåer i bestämmande sektioner och tillföra död ved. Alternativt sker detta manuellt med hjälp av vinsch och restaureringsverktyg. Det är nödvändigt att efter utförda åtgärder *följa upp effekterna* så att de uppsatta målen nås och ta lärdom och utveckla våra metoder inför framtiden.

Detta avsnitt ger bara en mycket summarisk bild av restaureringsarbetet. Det finns ett antal manualer och rapporter kopplat mot restaurering av vattendrag där arbetssätt beskrivs mer i detalj (till exempel Degerman och Näslund, 2021; Gustavsson och Ibbe, 2022). Dessutom har Grip on Life tagit fram en webbutbildning på webbsidan www.vattendragsrestaurering.se där grunderna i restaurering och tekniska detaljer i arbetet beskrivs i text, illustrationer, bilder och film.



Figur 1. Tidslinje över förenklat arbetssätt vid restaurering av vattendrag samt uppdelning/indelning av kapitel som vi väljer att fokusera på i rapporten.

Drönanvändning inom vattendragsrestaurering

Användningen av obemannade luftfartyg UAS (Unmanned Aircraft Systems), eller drönare har bidragit till utvecklingen av restaureringsarbetet när det kommer till planering, själva åtgärdsarbetet samt den efterföljande uppföljningen. Möjligheten att fotografera från luften har kunnat ersätta tidigare tidskrävande arbete med att fotografera och mäta restaureringens effekt för hand och från land. Genom att kunna skapa ortomosaiker¹ har arbetet utvecklats än mer och drönare gör det möjligt att samla in högupplösta data över stora områden på kort tid, med betydligt lägre kostnader och mindre miljöpåverkan än tidigare traditionella fältmetoder.

Inom restaurering av vattendrag används drönare framför allt för att kartlägga landskap, dokumentera förändringar över tid och utvärdera effekterna av olika åtgärder. Drönare erbjuder även stora möjligheter för visuell kommunikation och

¹ En ortomosaik är en stor georefererad bild med hög detaljeringsgrad och upplösning som är skapad genom att kombinera flera mindre bilder (ortofoton).

dokumentation. Genom foto- och videomaterial kan förändringar tydliggöras för projektpartners, markägare och allmänhet, vilket stärker förståelsen för restaureringsinsatsernas syfte och resultat.

Det finns en rad tillverkare av drönare med olika egenskaper och i olika prisklasser på marknaden. Det finns även en uppsjö av mjukvarutjänster för att enkelt bearbeta data som samlas in genom drönarflygningarna. Det data som samlas in kan via analys med hjälp av mjukvara för bland annat Geografiska Informationssystem (GIS) utvärdera resultatet av restaureringen gällande såväl ytvinst av våtyta, komplexitet och strömbild.

Nedan listas de huvudsakliga användningsområdena för drönare inom Länsstyrelsen Västerbottens restaureringsverksamhet:

- För framställning av ortomosaiker (geometriskt korrigerade drönarbilder) som används vid exempelvis uppföljning.
- Som hjälpmedel vid inventering och planering.
- Som hjälpmedel under restaureringsarbetet.
- För kommunikation genom film eller vybilder över objekt/områden/händelser (både för externt och internt bruk i form av utbildning samt arbetsdokument).

Regelverk och tillstånd

För att flyga drönare i tjänsten behöver arbetsgivaren ha en organisation och rutiner för att kunna nyttja drönaren som verktyg för datainsamling. Detta för att flygningen ska ske på ett säkert sätt och att data behandlas på ett enligt lagstiftningen korrekt sätt. Den 1 januari 2021 trädde nya regler för användning av obemannade luftfartyg (UAS) i kraft. De nya reglerna ställer högre krav på användningen såväl av privatpersoner som företag och myndigheter, med bland annat krav på en ansvarig operatör för drönaranvändningen samt körkort för drönarpiloter (om drönaren väger mer än 250 gram). En utökad straffsanktion för de som bryter mot reglerna infördes 1 januari 2026.

För att flyga drönare kan tillstånd krävas från olika myndigheter. Dels för själva flygningen, där vissa områden har flygförbud eller andra begränsningar (Luftfartsverket 2026). Dels för kameraövervakning och för att få sprida material som insamlats med hjälp av drönaren (Transportstyrelsen 2026). Spridningstillstånd för bildmaterial söks antingen hos Lantmäteriet eller hos Sjöfartsverket (Lantmäteriet 2026, Sjöfartsverket 2026). Det förekommer också regler och föreskrifter för var och hur flygning får ske samt andra restriktioner gällande drönaren och den som flyger. En undersökning om vad som gäller hos berörda myndigheter bör alltid utföras inför planerade flygningar.

Flygning skall ske enligt de regler och föreskrifter som föreskrivs av regelverken inom luftrummet.

Ytterligare regelförändringar kommer succesivt genomföras fram till 2035 vilket fortsatt kan komma att påverka användning samt metodik. Vi har inom denna rapport inte valt att gå djupare in i just regelverk och tillstånd vid drönaranvändning.

Praktisk användning av drönare

Genom att samla in flygbilder från olika höjder och vinklar kan man skapa underlag för att underlätta flera olika stadier inom restaureringsarbetet. Nedan beskrivs hur arbetet vanligtvis genomförs i praktiken.

Planering av flygning

Innan planerad flygning fastställs syftet med flygningen, exempelvis om materialet ska användas för att skapa ortomosaiker, för dokumentation och kartläggning eller för att mäta morfologiska förändringar. Utifrån detta bestäms flygområde, flyghöjd, bildöverlappning och kamerainställningar.

Planeringen görs oftast i en drönarapp (till exempel DJI Pilot, DroneDeploy eller Pix4Dcapture). Den programvara som nyttjas behöver vara godkänd av arbetsgivaren som en programvara som får nyttjas i verksamheten. För myndigheter bör särskilt beaktas hur programvaran hanterar data och om data lagras i molntjänster utanför landets gränser. I programvaran ritas flygrutten upp direkt på en karta och parametrar ställs in:

- Flyghöjd: vanligen 40–100 meter beroende på önskad detaljnivå och storlek på vattendraget.
- Bildöverlappning: cirka 75–85 % för både längd och bredd.
- Kameravinkel: 90° (rakt nedåt) vid framtagande av ortomosaik, men snedställd vid dokumentation.
- Flyghastighet: 3–6 meter per sekund (m/s) för att få skarpa bilder.

Det är viktigt att kontrollera vädret innan flygning då det kan påverka både säkerheten samt bildkvaliteten. Det ska helst vara vind under 6 m/s, inga regnskurar och jämnt ljus utan starka skuggor. Det rekommenderas inte heller att flyga i för varma eller kalla temperaturer då det kan påverka batteritiden på drönaren signifikant. Batterier laddas i förväg, och det kan planeras vart i terrängen eventuella GCP-punkter (Ground Control Points) ska placeras om hög positionsnoggrannhet krävs. Den rumsmässiga noggrannheten i drönarfoton och fältreferenspunkter har stor betydelse för analyser av områden med vegetation, substrat och förändringar över tid där noggrannheten beror till stor del på vilken typ av GPS som används i drönaren och vid provtagningen av fältreferenspunkter (Berglund med flera, 2023). Det finns idag drönare med inbyggd RTK-GPS. RTK står för Real Time Kinetics och kräver ofta avancerad och ofta dyr utrustning men ger i sin tur mycket högre positionering. Ett alternativ är att nyttja drönare utan inbyggd RTK-GPS men med handhållen modul, alternativt GCP-punkter. Genom att nyttja någon av dessa metoder kan precisionen i flygningar höjas och arbetet med att rektifiera ortomosaikerna förenklas. Detta är dock inte ett problem när man undersöker ytvinster då man endast är intresserad av total ytvinst i area, och inte exakta positioner.

Alla flygningar ska följa Transportstyrelsens regler, och eventuella tillstånd (till exempel vid flygning i naturreservat) måste vara ordnade i förväg.

Genomförande i fält

Innan flygningen genomförs behöver ansvarig operatör informeras om plats och datum och tid för flygningen. Vid ankomst till området görs en kontroll av omgivningen för att identifiera hinder som träd, kraftledningar eller människor. Människor som rör sig i området behöver vara informerade om att flygning genomförs. Startplatsen väljs på ett öppet och plant område, gärna med fri sikt mot hela flygområdet och en startplatta kan med fördel användas.

Drönaren kalibreras innan start, både kompass och gimbal, och kamerainställningarna kontrolleras (ISO, slutartid, vitbalans). Oftast varnar drönaren själv om det behöver kalibreras men det kan vara bra att ha det som standardrutin oavsett. Om det är väldigt soligt under flygningen kan polaroidfilter användas för att undvika överdrivet blänk från vattenytan. Vid behov tas några testbilder för att kontrollera skärpa och exponering.

Flygningen startas via appen och övervakas kontinuerligt. Under flygning hålls alltid visuell kontakt med drönaren. Vid större områden krävs ofta flera batteribyten, och därför planeras flygningen i delområden som täcker lagom stora ytor per batteri. Batteritid skiljer sig avsevärt mellan drönare och det kan vara fördelaktigt att ta reda på vad den specifika modellen man ska flyga med har för batteritid.

För dokumentation av restaureringsåtgärder används ofta både:

- Automatiska flygningar för jämförbara ortomosaiker.
- Manuella flygningar för att ta översiktsbilder, panoraman eller filmer över specifika åtgärder.
- Automatiska och manuella Point of Interest (POI)-flygningar med snedställda bilder och filmer.

Under flygningen kan det vara praktiskt att föra fältanteckningar om var olika moment sker (exempelvis startpunkt, batteribyte, eventuella störningar eller intressanta observationer). Om man flyger många olika områden under samma dag kan det också vara fördelaktigt att anteckna tidpunkt för varje flygning.

Efterarbete och databehandling

Efter avslutad flygning laddas bilderna över till dator. Per rekommendation bör länsstyrelserna undvika att använda molntjänster och hantering av bilder ska ske restriktivt på grund av säkerhetsskäl. För bilder som ska användas och spridas söker vi spridningstillstånd. De sorteras och namnges utifrån datum, plats och typ av flygning. Om det ska göras en ortomosaik så kan vid behov oskarpa, överexponerade eller onödiga bilder tas bort innan bearbetning. Vid skapande av ortomosaik kan bearbetningen av fotona göras i mjukvaror anpassade för detta, till exempel Agisoft Metashape, Pix4Dmapper eller DroneDeploy. Programmet räknar ut bildöverlappar och skapar en punktsvärm, dvs en ortomosaik.

För ökad noggrannhet kan GCP-punkterna användas vid georeferering. Resultaten exporteras sedan till GIS-format (till exempel GeoTIFF) och öppnas i program som QGIS eller ArcGIS för vidare analys.

Precis som med programvarorna som används vid planering och flygning, behöver också denna programvara vara godkänd av arbetsgivaren. För länsstyrelsens del så görs en säkerhetsanalys av programvaran och om den godkänns tas en rutin fram om när och hur programvaran får användas.

Datalagring

Drönarbilder ger ett unikt tidsdokument över hur området förändras. Genom att upprepa flygningarna vid samma tidpunkt eller flödesnivåer varje år kan man följa vattendragets förändringar. För att möjliggöra långsiktig uppföljning är det viktigt att

- lagra originalbilder i ordnade mappar med tydliga filnamn
- spara metadata (flyghöjd, kamera, väderförhållanden)
- dokumentera metodik så att framtida flygningar kan göras på samma sätt.

Resultaten kan sedan användas som underlag i framtida uppföljningar, eller som stöd i miljörapportering och utvärdering inom berörda projekt.

Datalagring är en utmaning ut flera aspekter. Dels kräver bilder och filmer mycket serverkapacitet. Dels har myndigheter, som länsstyrelserna, också krav på att ha lagring av data som håller över tid. Speciellt om lagring ska ske under lång tid. Det är därför viktigt att ha med denna aspekt när man nyttjar drönarbilder för dokumentation och vill kunna återutnyttja för uppföljning.

Drönaranvändning i olika arbetsmoment

Drönare kan användas som ett stödverktyg i flera skeden av restaureringsarbetet, från den inledande planeringen till uppföljningen efter avslutade åtgärder (Figur 2). Genom att anpassa flygningarnas syfte och omfattning efter fasen man befinner sig i kan drönare bidra till effektivare och bättre beslutsunderlag. I planeringsfasen används drönare främst för att kartlägga områden och identifiera lämpliga åtgärdssträckor. Under själva restaureringsarbetet kan drönaren ge snabb överblick och stöd för att bedöma åtgärdernas genomförande i realtid. Vid uppföljning används drönarbilder och ortomosaiker för att dokumentera förändringar och utvärdera restaureringens effekter över tid. Till sist kan drönarmaterial även fungera som ett värdefullt kommunikationsunderlag genom att tydligt visualisera åtgärder och resultat för markägare, entreprenörer och allmänheten. Det visuella materialet bidrar till en ökad förståelse för restaureringsprocessen och underlättar dialogen kring såväl behov som resultat av restaureringsarbetet. Nedan beskriver vi kort hur drönaranvändningen kan tillämpas och utvecklas i de olika skedena av restaureringsarbetet från planering till uppföljning.



Figur 2. Drönare kan nyttjas som stöd i flera olika arbetsmoment vid restaurering av vattendrag. Till exempel vid bedömningar av kulturmiljöbedömningar (b), uppföljning (c) och arbetsledning (d). Foton: Michael Hoffman (a), Johanna Hägglund (d) och Länsstyrelsen Västerbotten (b och c).

Planering och förarbete

Planeringen utgör en väsentlig del av restaureringsarbetet och lägger grunden för ett effektivt genomförande i fält. Arbetet inleds ofta med insamling av befintligt underlag såsom kartor, flygfoton, höjddata, tidigare inventeringar och biologiska värden. Utifrån dessa data görs en första bedömning av restaureringsåtgärder och prioriterade sträckor. I förarbetet ingår också att samordna insatser mellan olika aktörer, till exempel markägare, entreprenörer och myndigheter, samt att ta hänsyn till naturvärden, tillgänglighet och skyddade arter. En väl genomförd planeringsfas skapar en gemensam bild av nuläget, underlättar val av lämpliga åtgärder och minskar risken för korrigeringar under arbetets gång. Drönare kan bidra med mycket detaljerade data som behövs för ett utförligt förarbete.

Biotop- och åtgärdskartering

Biotop- och åtgärdskartering är metoder för kartering av biologiska och/eller fysiska förhållanden i och i anslutning till vattendrag där vattendraget delas in i olika delsträckor med avseende på olika hydromorfologiska typer, livsmiljöer, påverkansgrad, fluviala processer och förekomst av vandringshinder (Länsstyrelsen Jönköping, 2017). Resultatet från karteringen kan sedan användas inom en rad olika områden, däribland åtgärdsplanering inför exempelvis restaurering av vattendrag.

Biotop- och åtgärdskartering utförs från land genom att personer vandrar längs vattendraget och identifierar samt noterar sträckans egenskaper i ett protokoll. Karteringen ger bra kunskap om den påverkan som flottningsrensningarna medfört. Underlaget kan exempelvis användas av koordinators och arbetsledare som stöd i planerings- och utförandearbetet med restaureringsåtgärder.

Drönanvändning inom biotop- och åtgärdskartering

Drönanvändning ingår i dagsläget inte i vårt arbete med biotop- och åtgärdskartering. Vi har däremot haft möjlighet att testa om arbetsmetoden är tillämpbar inom ramen för Grip on Life. Ett problem som ibland uppstår under själva restaureringsarbetet, är att det dyker upp objekt som inte har identifierats under biotop- och åtgärdskarteringen. Med drönaren går det att få en god överblick över hela strömsträckan. För att undersöka om drönare som hjälpmedel och analys av ortomosaiker kan ersätta eller komplettera landbaserad biotop- och åtgärdskartering gjordes en jämförelse på sträckor av två olika vattendrag med en medelbredd på 5–50 meter som tidigare karterats:

- Tallån, Rickleån (litet vattendrag) 2019-05-25
- Huvudfåra, Öreälven (stort vattendrag) 2019-09-12

Tallån (Rickleåns avrinningsområde) fick representera ett litet vattendrag (medelvattenföring 2,24 m³/s (kubikmeter per sekund); SMHI, 2025) och flögs så tidigt som möjligt efter vårfloden för att inte trädens lövverk skulle skymma bilden (som det gör under perioden maj-september). Sträckan har karterats och vid inventeringen har det uppmärksamats en del objekt som är svåra, om inte omöjliga, att se från luften (Figur 3).

Trots att upplösningen är hög, 1,91 centimeter/pixel, gör vattennivån i kombination med träden att det är svårt att skilja resningar från den naturliga strandkanten.



Figur 3. Tallån från 75 meters höjd med en pixelstorlek på 1,91 centimeter. Bilden visar att även vid en hög inzoomning är det svårt att se flottningsrensade objekt på grund av lövverket. Foto: Länsstyrelsen Västerbotten.

Som representant för ett större vattendrag valde vi Öreälvens huvudfåra. I denna flög och fotograferade vi två lokaler och som jämförelse använde vi även satellitfoton med 0,25 meters upplösning från Lantmäteriet©. I större vattendrag har drönaren större möjlighet att identifiera rensningar och exempelvis avstängda sidogrenar. För att kunna biotopkartera i större älvar krävs lågvatten och i norra Sverige inträffar detta i princip aldrig innan löven har slagit ut på träden – således blir det samma problematik att de objekt som ligger i nära strandkant döljs av lövverket och blir svåra att se endast från luften.

Vid utzoomat läge där skillnaden mellan drönaren och satellitfotot inte är så stor är det ändå enkelt och lämpligt att nyttja drönaren för kvantitativ uppföljning och kvalitetssäkring. Vid jämförelse av Lantmäteriets satellitdata med drönarens ortofoto blir skillnaden tydlig vid in-zoomning (Figur 4). Då inte ens drönarbilden gav tillräckligt med information om eventuella resningar gjordes därför ingen jämförelse med satellitbilder med 0,25 meters upplösning.



Figur 4. Jämförelse satellitbild från Öreälvens huvudfåra med 0,25 meters upplösning och drönbild med 2,64 centimeters upplösning. Vid mer in-zoomning blir drönbildens skärpa mer tydlig, även vid djup in-zoomning. Foto: Länsstyrelsen Västerbotten.

Vidareutveckling inom biotopkartering

Möjligheten att nyttja drönare och analys av ortomosaiker vid biotop- och åtgärds-kartering ser olika ut beroende på vattendragets storlek och mängd vegetation i strandkanten.

Att kunna biotopkartera med hjälp av endast drönare i vattendrag med mycket vegetation är svårt. Dels på grund av att rensningarna ofta är överväxta och smälter in i omgivningen, dels på grund av att lövverket effektivt skymmer objekten. I norra Sverige är perioden mellan avklingande vårflood och träd utan lövverk mycket kort. I detta fall fotograferades Tallån 4–6 juni 2019, men flöden motsvarande medellågvattenföring inträffade först efter midsommar. Flygning under hösten kan vara ett alternativ, men i norra Sverige är hösten väldigt opålitlig då det kan skilja mycket från år till år hur högt vatten det är och därav också hur tydligt objekten syns. Efter det att löven fallit kan också fönstret vara kort innan snön lägger sig, och då kan objekten också skylas. Det skiljer sig också avsevärt mellan större och mindre vattendrag hur lätt det är att se åtgärdsobjekt, där det kan vara lättare i större vattendrag men även där finns det begränsningar som skulle behövas kompletteras med fysiska fältinventeringar.

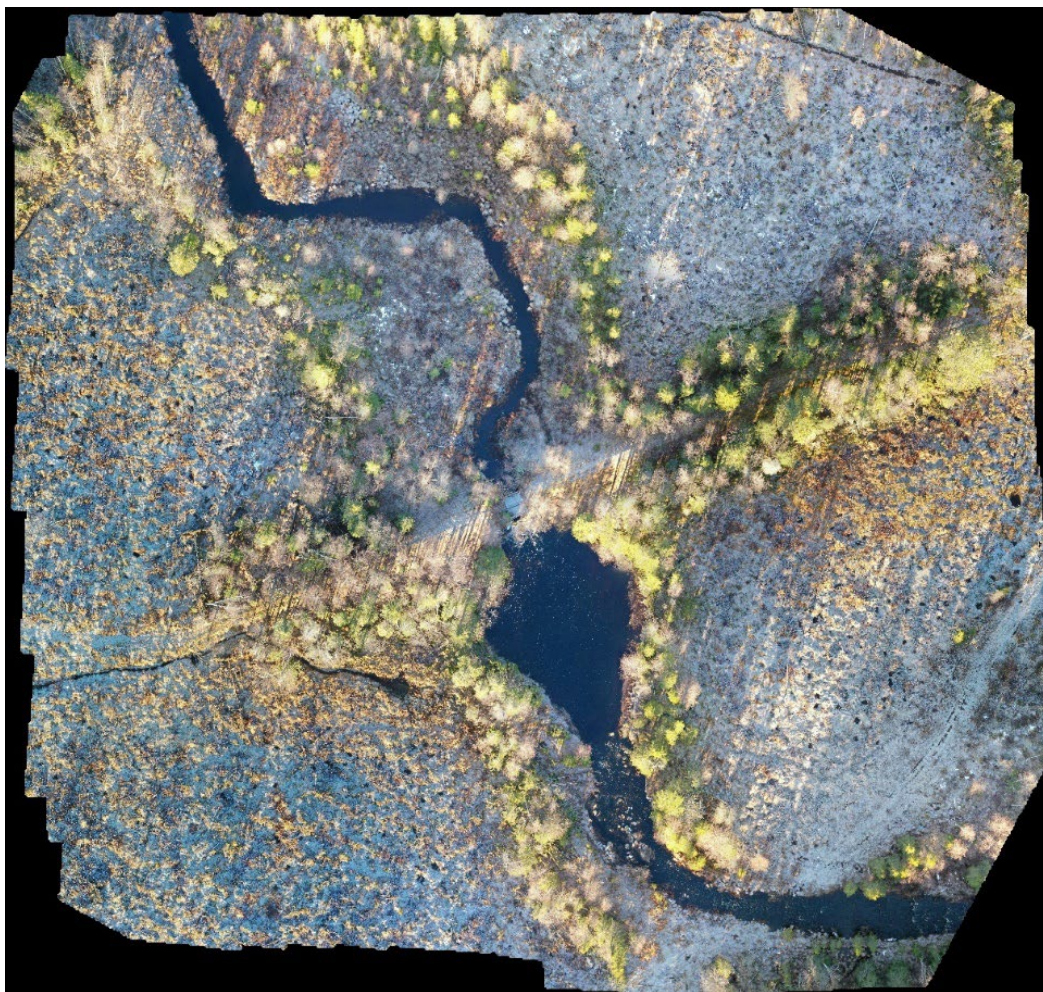
I dagsläget skulle inte gå att ersätta den fysiska åtgärds-karteringen med analys från drönare, men det finns situationer där kartering med drönare skulle kunna vara ett bra komplement. Det handlar framför allt om vattendragssträckor där det inte finns några åtgärdsobjekt eller där åtgärdsbehovet är litet. I nuläget inventerar vi hela vattendraget fysiskt i fält genom att gå längs med vattendraget, inklusive långa sträckor med sel och myrmark som sällan har ett åtgärdsbehov. Dessa sträckor är också ofta svårinventerade på grund av täta videsnår och tuvor. Ibland är det inte ens möjligt att ta sig hela vägen fram till vattendraget. Inventering av dessa sträckor är

därför ofta krävande, både fysiskt och i arbetstid. Påverkansgraden och åtgärdsbehovet kan ofta bedömas på kontoret utifrån historiska kartunderlag och flygfoton från 60- och 70-tal. Sträckor där åtgärdsbehovet är lågt skulle drönare kunna ersätta fysik inventering och därmed underlätta biotopkarteringen. Då kan man åka ut och från vägen flyga dit med drönare och inspektera, ta bilder och avgöra om det finns objekt och därmed ersätta tidskrävande inventeringar. Det man behöver tänka på vid dessa drönarinventeringar är att ha giltigt tillstånd för flygning utom synhåll, något som man kan få för sin verksamhet via Transportstyrelsen. Om man också ser någonting med drönaren som skulle kunna vara ett åtgärdsvärt objekt kan man därefter komplettera med fysik fältinventering.

Bedömning och dokumentation av kulturmiljövärden

Flottningsperioden har även lämnat många kulturvärden, som behöver vägas mot de miljövinster som vattendragsrestaurering ger. Innan värdefulla flottledslämningar rivs ut är det viktigt att en kulturhistorisk dokumentation sker, eftersom borttagna kulturlämningar inte kan återskapas. Detta är ofta även ett krav från tillståndsmyndigheten i samband med att tillstånd för restaureringsåtgärderna söks.

Den dokumentation av kulturmiljövärden som vi gjort med drönare har vi främst gjort inför själva restaureringsarbetet, till exempel inför utrivningar av gamla flottledsdammar. Dessa drönarbilder är ofta fokuserade på helheten och detaljer från själva dammen är ofta svår att urskilja (Figur 5). I juni 2022 arrangerade Grip on Life en workshop på Länsstyrelsen Västerbotten där både arbetsgrupper med restaureringsexpertis och kulturmiljöexpertis deltog. Där diskuterade vi hur bildmaterialet från bland annat drönare kan utvecklas för att förbättra dokumentationen och bedömningen av kulturmiljöer. Workshopen utvärderade bland annat om samma underlag som används vid exempelvis utrivning av dammar även skulle kunna användas för kulturlämningsdokumentation samt ligga till grund för samråd med markägare inför en tillståndsansökan.



Figur 5. Ortomosaik från drönare på Sörbäckdammen (275D) i Vänjaurbäcken, biflöde till Öreälven. Foto: Länsstyrelsen Västerbotten.

Under workshopen konstaterades det att de drönarunderlag som efterfrågas skiljer sig en del mellan kulturmiljö- och restaurering (Bilaga 1). Drönarbilder kan komplettera, men däremot inte ersätta den kulturmiljödokumentation som bäst görs av experter i fält. Det kan därför vara svårt att hitta en gemensam drönarinventeringsmetodik som uppfyller alla krav utan att bli allt för omfattande. Vilka foto-/flygmöjligheter som ges på platsen sätter också ramarna för vilken information som går att samla in. En gemensam instruktion/metodik för inventering med drönare, som kan användas av såväl kulturmiljöresurser som restaureringsresurser på Länsstyrelsen kan på så sätt vara svår att ta fram. Fler drönarbilder ur olika vinklar och med större detaljeringsgrad kan däremot förenkla en första bedömning om dammens konstruktion och kulturmiljövärde. En mer utförlig sammanställning från workshopen finns i Bilaga 1.

Åtgärdsplanering

För att genom restaurering återskapa naturliga processer och funktioner i ett flottledsrensat vattendrag krävs ett strukturerat och noggrant arbetssätt. Vid storskalig restaurering kan drönarunderlag utgöra ett viktigt verktyg under åtgärdsplaneringen och genomförandefasen. Här är det särskilt viktigt att lyfta blicken från enskilda stenar och objekt för att få en helhetsbild. Drönarunderlag

används ofta tillsammans med åtgärdskartering för att visa var på sträckan åtgärdsobjekten ligger.

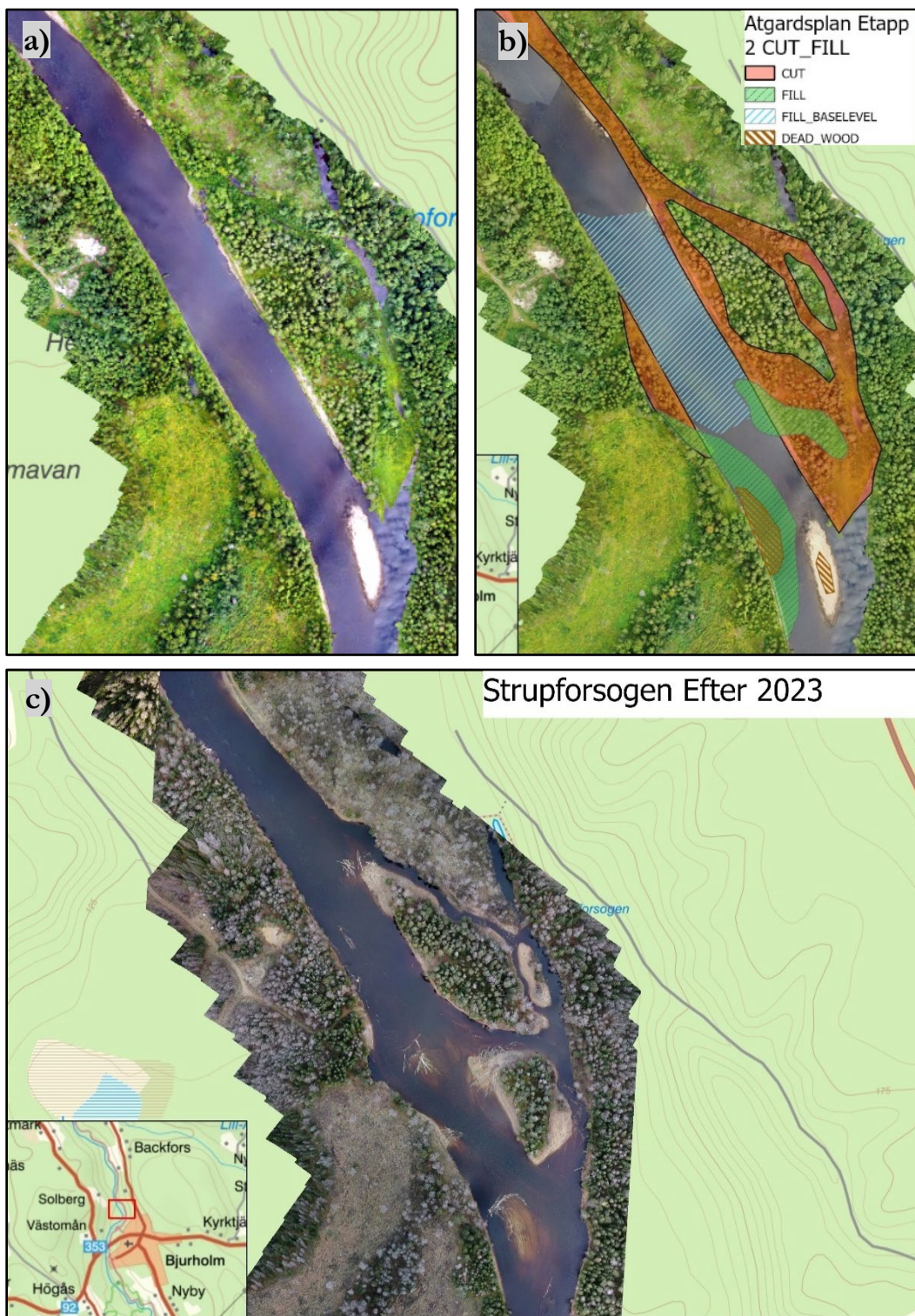
Med hjälp av så kallade ”Cut and Fill-kartor” visualiseras på ett enkelt och pedagogiskt sätt vilka områden med massor som ska förflyttas, detta används framför allt på alluviala sträckor med mycket sand och grus (Figur 6a och 6b). Dessa färdiga åtgärdsplaner kan underlätta själva åtgärdsarbetet för arbetsledarna och är främst tänkt som ett hjälpmedel för att förstå omfattningen på åtgärden. De ska ej ses som en slutgiltig målbild. Dialog med koordinator förs alltid ute i fält och det kan ske avsteg och förändringar från ursprungsidén baserat på lokala förutsättningar (Figur 5c).

Ortomosaiker insamlade innan åtgärd kan sedan användas vid analyser efter åtgärd för att utvärdera själva restaureringen, på så sätt är dessa förebilder minst sagt nödvändiga för hela utvärderingen av ett restaureringsprojekt.

Vidareutveckling av åtgärdsplanering

Drönarbilder är ett viktigt underlag som vi använder frekvent vid planering av våra restaureringsåtgärder i GIS-verktyg och i kombination med annat underlag (till exempel historiska kartor, ortofoton och nationellt LiDAR-data). Här finns också en del utvecklingsmöjligheter. Med drönarbilder finns det även möjligheten att skapa 3D-modeller av en vattendragsträcka. För att få en hög detaljeringsgrad i modellen behöver bildöverlappet vara stort och förstärkas med vinkelbilder. Potentiellt kan sedan modellen användas i planeringsarbetet för att exempelvis bedöma volymer av rensat material vilket kan underlätta vid planeringen av åtgärden. En begränsning i dessa 3D-modeller är att vegetationen längs vattendraget som försämrar detaljeringsgraden och möjligheterna till exakta beräkningar.

Drönare utrustad med LiDAR skulle kunna möjliggöra att skapa än mer högupplösta kartor och digitala höjdmodeller (DEM) av stora områden. Data som samlas in kan användas för en mängd olika mätningar och analyser (se exempelvis Swescan 2024). Det kan underlätta planeringsarbetet genom att till exempel förenkla bedömningen av hur mycket basnivån behöver höjas, precisera beräkningar av hur stor volym av schaktmassor som behöver flyttas och visa hur vattendraget kommer att se ut efter åtgärd.



Figur 6. (a) Ortomosaiker över Strupforsögen i Öreälven före och efter åtgärd 2023. (a) Åtgärdssträckan före åtgärd (b) Visar samma ortomosaik, men som en Cut and Fill-karta, som visar en pedagogisk arbetsplan inför åtgärd. Förenklat visar röda polygoner områden som ska flyttas och gröna polygoner är dit massorna sedan flyttas. (c) Visar ortomosaik över samma arbetsområde efter utförd restaurering. Illustration och foto: Länsstyrelsen Västerbotten.

Åtgärdsarbete

På Länsstyrelsen Västerbotten utför vi till stor del det praktiska restaureringsarbetet längs en vattendragssträcka med grävmaskin. En arbetsledare styr det dagliga arbetet och en koordinator stöttar arbetslaget och har det övergripande ansvaret för utförandet. I dagsläget är inte drönanvändning en praxis för arbetsledare under pågående åtgärdsarbete utan någonting som främst används av koordinator. Detta är på grund av de begränsningar som finns i antalet drönare och drönapiloter.

Drönare kan ge unika synvinklar som man annars inte får tillgång till under pågående restaureringsarbete. Ofta har koordinator och arbetsledare tillgång till en högupplöst ortomosaik på åtgärdssträckan före restaurering som används vid planering, men ibland kan det behövas ytterligare drönarbilder under åtgärden för att underlätta restaureringsarbetet samt för att kunna säkra en lyckad åtgärd.

Det finns tillfällen där lokala förutsättningar gör det tidskrävande att återvända med grävmaskin till sträckan och korrigera en åtgärd. Därför behöver vi vara säkra på att åtgärden är tillräcklig innan vi lämnar platsen. Det kan till exempel handla om när man behöver riva en temporär körväg i vattendraget och innan man gör detta vill man veta att den inte kommer behöva användas igen. Här kan drönaren vara en stor hjälp. Genom att låta en drönare ta bilder i fågelperspektiv får arbetsledaren eller koordinatoren en mer övergripande bild över åtgärdens nuläge. Detta är speciellt användbart vid restaurering av större vattendrag där det kan vara svårt att få en uppfattning över åtgärdens utseende och funktionalitet enbart från marken. Med hjälp av en överblicksbild tagen med drönare kan arbetsledare eller koordinator lätt bilda sig en uppfattning om omgivningen samt kommunicera och förmedla planerat arbete till maskinföraren på plats.

Det kan också förekomma ”utsuddade” naturliga strukturer, såsom gamla sidofåror, i och kring vattendraget och då är det ofta lämpligt att utnyttja och förstärka de strukturer som redan finns på lokalen. Med en drönarbild kan det vara lättare att se dessa och det kan därmed underlätta restaureringsarbetet. I blockrika vattendrag kan drönarperspektivet även med fördel användas för att upptäcka raka, onaturliga linjer som är svåra att se från markplan. Även djupvariationen i vattendraget är enklare att synliggöra från drönarens perspektiv (Figur 7 och 8). Insamlat material via drönaren kan direkt visas via en mobiltelefon eller en läsplatta i fält.



Figur 7. Överblicksbild (vinkel) från drönare på grävmaskin i arbete, Öreälvens huvudfåra. Här ger drönaren en tydlig överblick över arbetet då Öreälven är ett större vattendrag. Foto: Jonathan Nordin.



Figur 8. Överblicksbild (lodbild) från drönare på grävmaskin i arbete, Öreälvens huvudfåra. Här kan man se öns form, något som är svårt att avgöra från marken och därmed kan man enkelt göra korrigeringar om det behövs. Foto: Jonathan Nordin.

Begränsningar och vidareutveckling

Drönanvändning under restaureringsåtgärder är väldigt användbara men det förutsätter att det finns tillräckligt med drönare och drönapiloter. Om inte, krävs mer planering och större framförhållning inför flygningar. Detta kan vara ett problem om vattenflödena snabbt ändras och en maskin snabbt behöver flyttas, och därmed finns det inte tid att vänta på att drönarbilder tas innan man går vidare med arbetet.

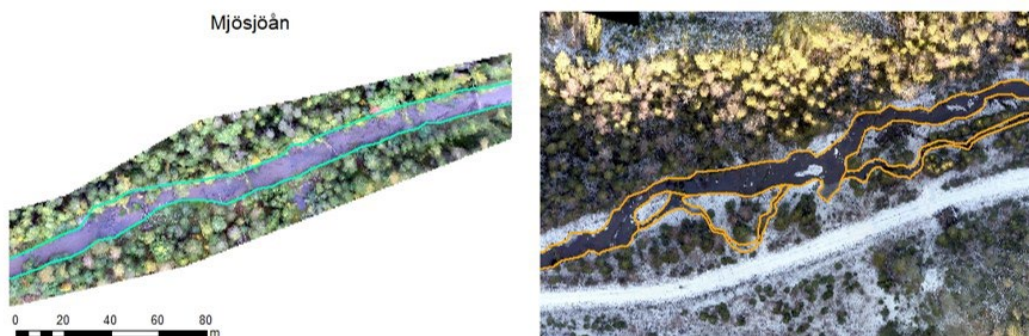
Tillgången till en drönare och drönapiloter, samt att skapa tid och resurser för drönarflygningar, är något som behöver planeras och skapas förutsättningar för inför säsongen. Under pågående restaureringsarbete behövs sällan dyra drönare med högupplösta kameror. Här fungerar mindre och billigare drönare (till exempel DJI mini) utmärkt då det inte är av lika stor vikt att bilderna är av högsta upplösning, utan att det viktigaste är att snabbt kunna få en överblick. Dessa mindre drönare är ofta lätta att hantera och kan snabbt skickas upp för en effektiv bedömning av restaureringsarbetet.

Analysen före och efter åtgärd

Det är viktigt att följa upp effekterna av de åtgärder som genomförs vid vattendragsrestaurering. Dels för att bedöma om vi uppnått de uppsatta målen med åtgärden, dels för att öka förståelsen för åtgärderna och dess effekter och utveckla våra metoder inför framtiden. Drönare skapar väldigt goda förutsättningar att faktiskt mäta förändringar i den fysiska miljön, till exempel förändringar i vattendragets våtyta, mängden block och död ved och komplexiteten som skapas av block, död ved och sidofåror. Det finns en hel del utvecklingsmöjligheter i användande av drönare vid uppföljning av åtgärder. Det första steget är dock att ta fram effektmål för våra restaureringar så att det blir tydligt vilka variabler som ska följas upp.

Analys av återskapad våtyta

Drönare används för att dokumentera vattendrag före och efter restaurering. Ortomosaiker möjliggör bland annat beräkning av återvunnen våtyta, vilket syftar på den ökning i yta som restaureringen åstadkommit i vattendragsfåran och på så sätt tillgängliggjort tidigare förlorade habitat. Exempel på detta är öppnandet av avstängda sidofåror och breddning av den kanaliserade huvudfåran. Genom georefererade bilder kan förändringar analyseras i GIS-program. Denna analys gör vi idag manuellt genom att rita ut strandlinjen i programmet och jämföra areor före och efter åtgärd (Figur 9). Det finns osäkerheter i analysen. Resultaten påverkas av vegetation, flödesnivåer och tidpunkt för flygning, vilket gör att tydliga rutiner krävs för jämförbara analyser.



Figur 9. Exempel på uppföljning av återvunnen våtyta med hjälp av drönare och ortomosaik. Bilden till vänster visar vattendraget före restaurering och bilden till höger visar efter restaurering, där vattendragets våtyta har breddats och återfått sin komplexitet. Foto: Länsstyrelsen Västerbotten.

Analys av förekomst av strukturer

Genom de högupplösta bilderna finns möjlighet att studera och analysera strukturer i vattendraget, som block och död ved.

Död ved

Tidigare har inventeringen av död ved främst skett genom inventeringar från marken där antal träd eller kluster av träd dokumenterats och mätts in i fält. Med det drönarmaterial som samlas in kan arbetet med att analysera död ved före och efter

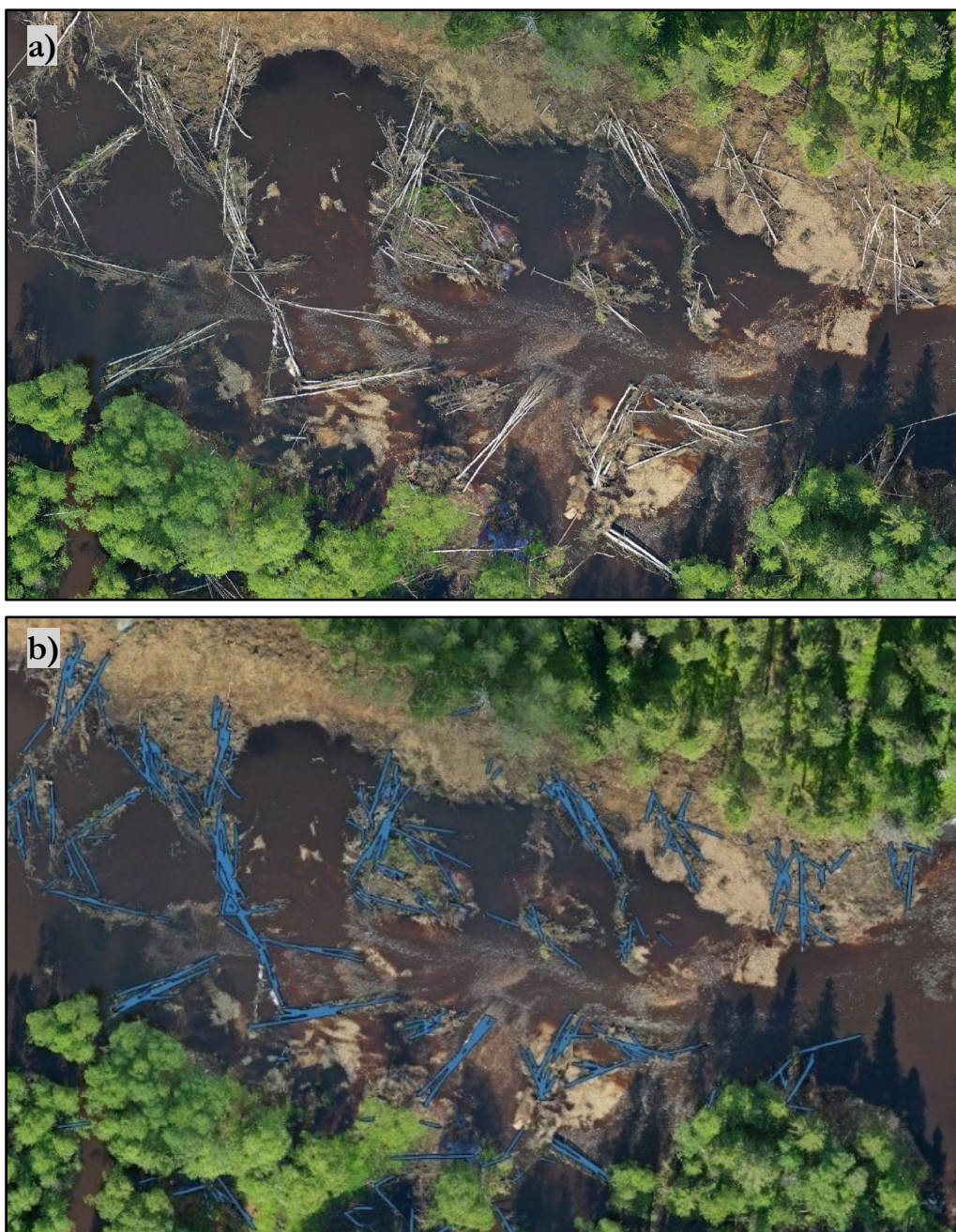
åtgärd möjliggöras och till viss del förenklas. Precis som med våtyteberäkningarna så har detta gjorts genom att manuellt räkna och mäta den döda veden i ortomosaiken.

Metodiken har utvärderats bland annat i ett examensarbete vid Umeå universitet i samarbete med Länsstyrelsen Västerbotten, där drönarbilder före och efter restaurering på fem sträckor i Lögdeälven jämfördes med data från fältundersökningar för att validera GIS-metoden. (Karlsten, 2019). Uppskattningen av död ved skiljde sig mellan fältinventeringarna och GIS-analysen där GIS-metoden generellt underskattade mängd död ved i vattendraget. Dock är det värt att tillägga att denna studie är från 2019 och drönares kamerakvalitet har ökat signifikant sen dess.

Automatiserade analyser av död ved

Att manuellt mäta in död ved och andra strukturer i vattendraget är tidskrävande. Därför har metoder för att automatisera detta arbete testats och utvärderats. I ett examensarbete så testade Fjällberg (2023) ett bildanalysverktyg i ArcGIS för att identifiera och automatisera död ved i drönarbilder före och efter restaurering på en alluvial vattendragssträcka i Vargån, Öreälven. Ett antal olika parametrar följdes upp, däribland enskilda trädets längd, bredd, volym samt även trädklusters komposition (antal kluster och antal träd i varje kluster). Noggrannheten i analysverktyget testades genom att jämföra resultatet från de olika flygningarna (före restaurering, direkt efter restaurering samt ett år efter restaurering). Resultatet av studien visade att metoden fungerar till viss del, men den är väldigt känslig för variation i bildkvalitet samt att det är svårt att göra volymsuppskattningar av död ved (Fjällberg, 2023).

För att ytterligare utveckla analysen testades med hjälp av en konsult möjligheten att använda artificiell intelligens (AI) och djupinlärning (DL) för att identifiera död ved i högupplösta drönarbilder. Samma bilder från restaurerade vattendrag som användes av Fjällberg (2023) användes även här för att träna modellen. Resultaten förbättrades avsevärt med denna metod (Figur 10). Det går att automatiskt upptäcka och räkna död ved, till och med göra volymsuppskattningar med modellen, men den behöver mer träning för att ge en exakt skattning (Lidberg, 2024). Möjligheten att gå vidare med mer träning för modellen och att utveckla ett analysverktyg för detta fanns inte inom ramen för Grip on Life, men är något som vi gärna går vidare med i framtida projekt. I dagsläget finns ett script för nuvarande modell, som möjliggör analyser i till exempel ArcGIS. Detta kan erhållas på förfrågan.



Figur 10. Urklipp ur ortomosaik baserad på drönbilder från Vargån, där (a) visar originalbilden och där (b) visar bilden efter att AI-modellen har markerat ut död ved i form av blåa linjer/polygoner. Bakgrundsfoton: Joakim Nilsson

Övriga strukturer och komplexitetsmått

Vi har inte inom ramen för detta projekt hunnit utveckla ytterligare metoder för att studera strukturer och komplexitet utifrån ortomosaiker. Däremot har Wagenius (2025) i sitt examensarbete vid Umeå universitet testat nya sätt att analysera vattendragsrestaurering med hjälp av GIS och drönare i Vargån, Öreälvens avrinningsområde. Där användes drönbilder före och efter åtgärder genomförda i projektet Ecostreams for Life för att analysera förändringar i geomorfologisk enhetsmångfald (Geomorphic Unit diversity), det vill säga mångfalden av landformer och strukturer i vattendraget. Genom att analysera ortomosaiker från drönare och kartlägga geomorfologiska enheter i ArcGIS Pro kunde variationer i vattendragets

struktur jämföras före och efter restaurering. Resultaten visade på en ökad mångfald och komplexitet i geomorfologiska enheter, vilket tyder på att restaureringsåtgärderna bidragit till ett mer dynamiskt och naturligt fungerande vattendragssystem. Detta är ett utmärkt exempel på hur man kan göra för att påvisa skillnader i geomorfologi och ytterligare en parameter som tidigare inte inkluderas i samma grad. Denna studie kompletterar tidigare examensarbeten på död ved till ett större geomorfologiskt perspektiv.

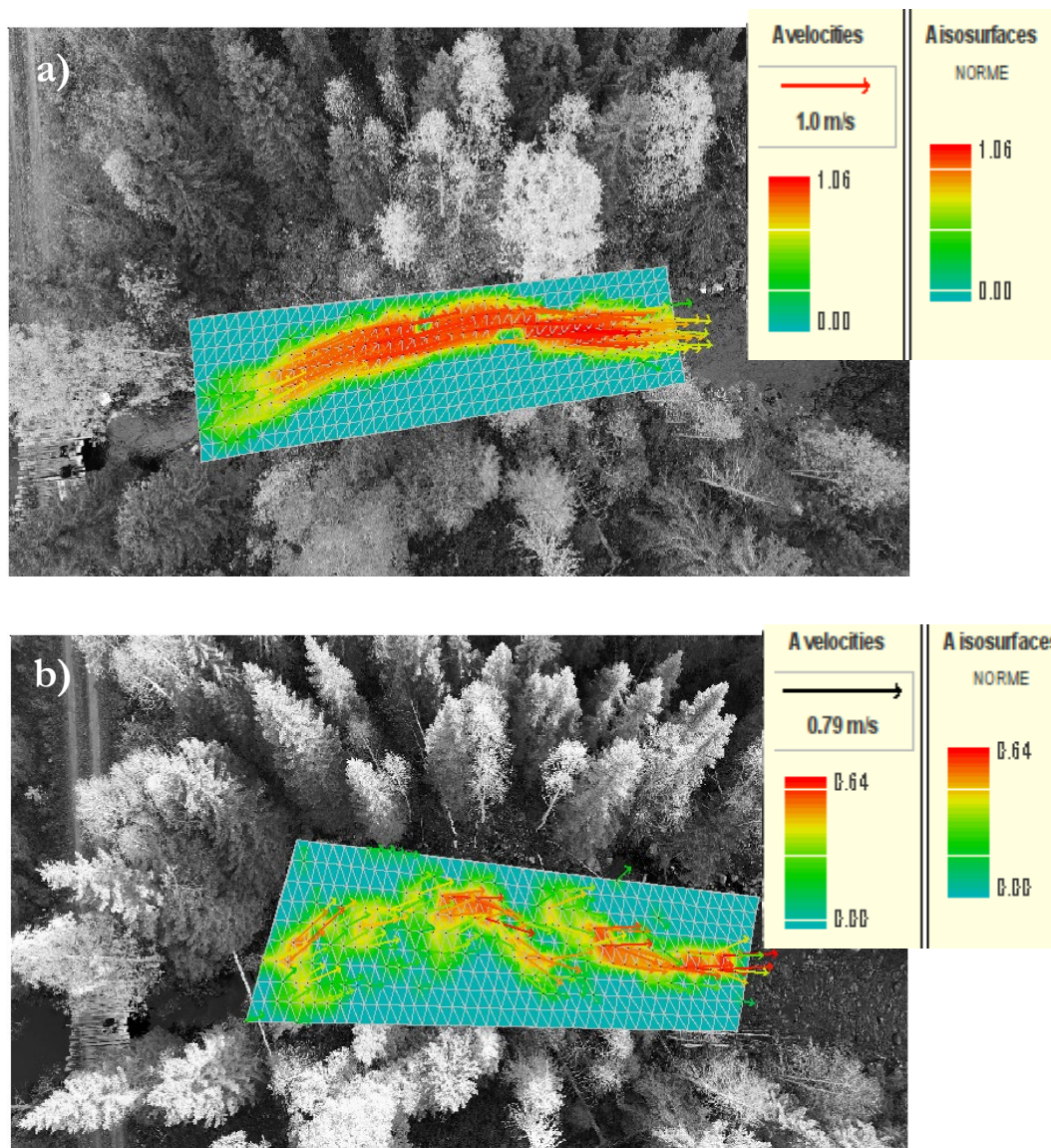
Analys av vattenhastighet och flödesmönster

Att analysera vattenhastighet och flödesmönster från drönarfilmer kan vara ytterligare ett sätt att följa upp effekter av restaureringsåtgärder. Genom metoden Large Scale Particle Image Velocimetry (LSPIV) kan naturliga markörer på vattenytan, såsom vitvatten och sediment, spåras för att beräkna rörelser över tid. För att ytterligare förstärka kontraster och strömriktningar kan artificiella markörer, till exempel kutterspån, släppas ut i vattnet under filmningen. Det finns flera mjukvaror för dessa analyser. Det finns även konsulter som har kompetens och tar på sig sådana uppdrag. Till exempel har SMHI ett pågående uppdrag att analysera flödesmönster i Ljusnan och Voxnan på uppdrag av projektet Rivers of Life.

Våra analyser har vi genomfört själva med programvaran Fudaa-LSPIV, ett kostnadsfritt och öppet verktyg utvecklat av det franska forskningsinstitutet INRAE. Programmet analyserar rörelser i bildsekvenser genom att jämföra små delområden mellan två efterföljande bilder. Genom korrelationsberäkningar identifieras hur mönster i vattenytan förflyttar sig, vilket gör det möjligt att beräkna lokala hastigheter och riktningar över hela den filmade ytan. Resultaten presenteras som vektorfält, så kallade strömlinjer, som visar vattenrörelsens riktning och hastighet (Jodeau med flera, 2020).

Inom Grip on Life testades flödesanalysen på filmsekvenser från Sörbäcken, som är ett relativt litet vattendrag (medelvattenföring cirka $0,78 \text{ m}^3/\text{s}$; avrinningsområde cirka $61 \text{ kvadratkilometer, km}^2$) i Öreälvens avrinningsområde. Vattendraget, som var kraftigt kanaliserat innan det restaurerades 2023, filmades före och efter åtgärd i samband med spånsläpp. Flödesanalyserna kunde därför göras för att jämföra sekvenser före och efter åtgärd. Dessutom fanns möjlighet att jämföra resultaten av flödesanalysen med spånsläpp jämfört med utan spånsläpp, eftersom filmsekvenserna täckte båda momenten.

Våra försök med spånsläpp gav tydliga signaler på hur flödesförhållandena förändrats före och efter åtgärd. Före restaureringsåtgärden var strömlinjerna koncentrerade till en smal fåra med höga hastigheter (Figur 11a). Efter åtgärderna fördelades vattnet över en bredare sektion och skapade nya strömmar kring utlagda strukturer. Vattenhastigheten hade minskat och flödesbilden blivit mer varierad, vilket indikerar en ökad komplexitet och förbättrade förutsättningar för habitatdiversitet (Figur 11b).



Figur 11. Resultat från LSPIV-analys där vektorfält beräknats från drönarfilmer med kutterspånmarkörer före (a) respektive efter (b) restaurering. Vektorerna och färgerna illustrerar riktning och hastighet och gör det möjligt att visuellt följa hur vattnets rörelser har förändrats som ett resultat av restaureringsåtgärder. Notera de olika skalorna i ytvattenhastighet (velocities) i teckenförklaringen i (a) och (b), där flödes hastigheten generellt är högre före jämfört med efter restaurering.

I analysen utan spånmarkörer blev resultatet inte alls lika framträdande, framför allt inte i den restaurerade sträckan där naturliga markörer som vitvatten och turbulens är färre på grund av den minskade flödes hastigheten. Vattendragets storlek, samt ljusförhållanden och bildkvalitet i filmsekvenserna kan vara omständigheter som försämrade analysmöjligheterna utan tillförda markörer. Här behöver fler test genomföras. Vanligen, vid drönarfotografering för ortomosaiker, vill vi undvika reflektioner från vattenytan. I detta fall kan nog soliga förhållanden utan polarisationsfilter i stället förbättra analysresultaten. Större vattendrag med mer vitvatten och högre ström hastighet ger sannolikt också tydligare resultat. Annars är tillförsel av externa markörer, som kutterspån, en billig metod för säkrare analysresultat.

Utvecklingsmöjligheter för uppföljning

Mätning av våtyta skulle kunna effektiviseras med hjälp av automatiserade GIS- och dataverktyg. Här är det också viktigt att ta fram effektmål för restaureringen så att vi vet vad vi följer upp.

Vattenhastighet och flödesmönster har redan effektiva analysmodeller. Däremot behövs det utveckling av referensvärden för att kunna ta fram effektmål.

AI-analys av död ved har visat sig fungera, men befintligt script behöver mer träning för att kunna öka säkerheten. Även här behövs det utveckling av effektmål för att vi ska veta var vi ska nå.

Det finns även fler variabler än ovan nämnda som kan komma att följas upp. Som exempel kan nämnas lateral konnektivitet som är en viktig del i den nya restaureringslagstiftningen. Även höjning av basnivåer och återställande av bestämmande sektioner kan ha stort värde att följa upp.

Drönarbilder och -filmer för dokumentation och kommunikation

Utöver användandet i restaureringsprocessen från planering till uppföljning är drönarbilder och -filmer användbara för att dokumentera och kommunicera åtgärdsarbetet och dess effekter. Kommunikationen är viktig för att skapa förståelse och acceptans för restaureringsarbetet samt inspirera andra till fler och bättre åtgärder.

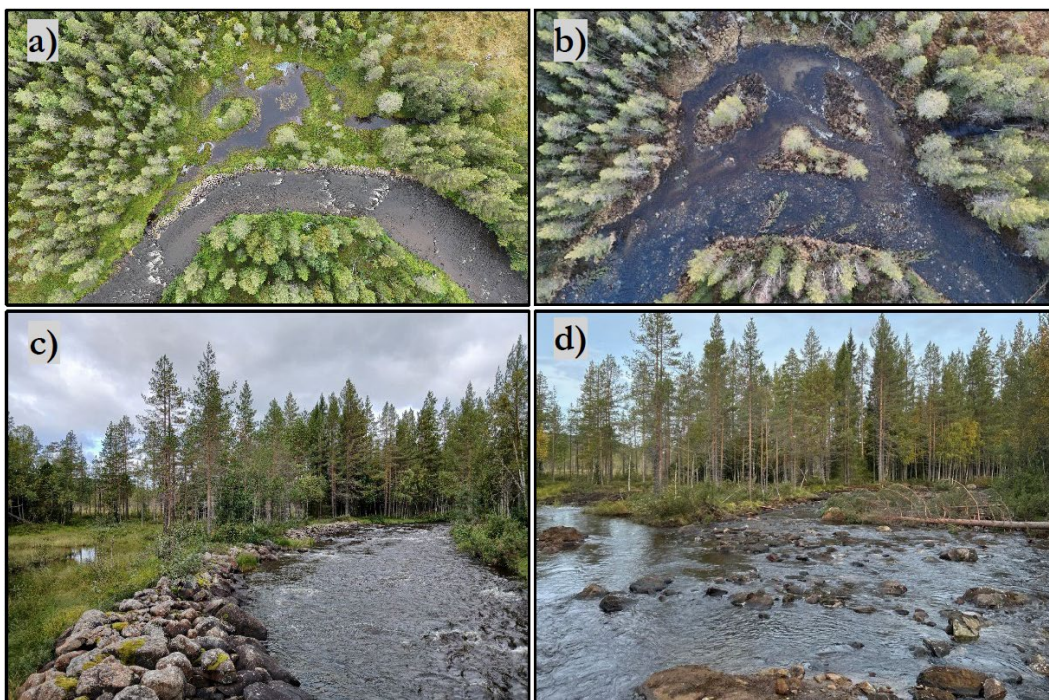
Drönaren skapar möjligheter att se åtgärden från olika höjder och vinklar. Genom att dokumentera och spara inställningarna från flygningar är det också möjligt att återkomma för att fotografera och filma från samma position, höjd, riktning och vinkel. På så sätt kan bilder bli direkt jämförbara med noggrann precision. Här nedan följer exempel på hur vi och andra har använt drönare för att visa på åtgärdseffekter och skapa förståelse hos allmänhet för restaureringsarbetet.

I Figur 12 visas snedställda bilder före och efter restaurering i Lagnäset, Öreälven. Öreälven är ett relativt stort vattendrag, där bredden på vattendraget ökat från ca 75 meter till upp till 150 meter efter restaurering. För att visa på effekterna av åtgärden i detta exempel är fågelperspektivet nödvändigt för att täcka in hela restaureringsåtgärden.



Figur 12. Storskalig restaurering i Lagnäset Öreälven, Bjurholms kommun där bilden till vänster visar sträckan före åtgärd och bilden till höger visar efter åtgärd då stora massor har flyttats och nya fåror/öar har skapats. Här fotograferats uppströms från 75 meters höjd. Foto: Jonathan Nordin.

Markbilder och drönarbilder kan komplettera varandra på ett pedagogiskt sätt. Drönarbilderna ger ett utzoomat perspektiv och skapar bättre övergripande förståelse för åtgärden. Markbilder kan ge en kompletterande förståelse för vattendragets storlek och åtgärdernas omfattning (Figur 13).



Figur 13. Bilder från Verbobäcken från drönare (a och b) respektive marknivå (c och d) före åtgärd (a och c) och efter åtgärd (b och d). Alla fyra bilder är från samma del av bäcken där en avstängd ytterkurva öppnats. Drönarbilderna ger ett bättre helhetsperspektiv av åtgärden medan markbilderna ger en känsla för bäckens och rensningsvallens storlek. Foton: Länsstyrelsen Västerbotten.

Inom projektet ReBorN Life skapades digitala demonstrationsområden för restaurering av vattendrag. Med stöd av en konsult tog projektet fram bildmaterial med 360 graders kamera från marknivå, samt drönarbilder från samma position som sammanfogats till en bild med 360 graders rotation. Detta möjliggör för besökaren på webbplatsen att titta på området och åtgärderna ur många vinklar från land och luften. Resultatet hittar du på ReBorN Lifes webbplats www.rebornlife.org under fliken ”Demonstrationsområden”.

Genom projektet Grip on Life har Länsstyrelsen Västerbotten tagit fram fem instruktionsfilmer för att beskriva det tekniska arbetet med vattendragsrestaurering. I filmerna har drönare varit ett viktigt verktyg för att visa olika arbetsmoment och målbilder. Filmerna finns publicerade på Grip on Lifes Youtubekanal (se [Restaurering av vattendrag – för arbetsledare och maskinförare](#)), samt inbäddat i den digitala webbutbildningen www.vattendragsrestaurering.se.

Något som försvårar användandet av drönarmedia som kommunikationsmedel är de långa väntetiderna för att få spridningstillstånd för materialet. Handläggningstiderna hos Lantmäteriet har under de senaste åren ökat kraftigt och har varierat mellan cirka 15–90 arbetsdagar. Utöver den externa ansökan hos Lantmäteriet är det också tvingat att diarieföra tillståndsärendet, en process som även den tar en del tid i anspråk. Behöver det gå någorlunda snabbt får drönaren tyvärr därför ofta stanna kvar hemma. De inlägg vi gör i sociala medier utifrån drönarbilder och -filmer är därför sådana som har en längre planeringshorisont, till exempel summering av säsongens genomförda åtgärder. Exempel kan ni hitta under Facebooksidan [Fiske och vattenvård i Västerbotten](#).

Slutsatser

Syftet med rapporten har varit att ge en överblick av hur drönare kan användas som ett verktyg inom restaurering av vattendrag. Idag använder vi drönarbilder- och filmer främst i planerings- och uppföljningsfasen samt för att visualisera åtgärdsarbete och åtgärdseffekter i kommunikationssyften. Rapporten visar att drönartekniken har stor potential att effektivisera arbetet, höja datakvaliteten och bidra till bättre beslutsunderlag och dokumentation under restaureringsprocessens alla moment. Drönarbilder och ortomosaiker ger ett perspektiv som är svårt att uppnå från marken, särskilt vid stora eller svårtillgängliga områden, och kan därmed bidra till både ökad effektivitet och säkerhet i fält. Under restaureringsarbetet kan drönarteknik i framtiden integreras mer aktivt som ett operativt stöd i fält. För att nå dit krävs fler utbildade piloter, förbättrade rutiner och fler tillgängliga och lätta drönare.

Drönartekniken, i kombination med nya sensorer och framväxande analysmetoder, har stor potential att utvecklas ytterligare inom alla delar av restaureringsprocessen. En ökad standardisering, bättre datakvalitet och breddad tillämpning, tillsammans med bättre analysverktyg, kan leda till en mer effektiv, förutsägbar och kunskapsbaserad restaurering av vattendrag i framtiden.

Trots drönaranvändningens många fördelar och möjligheter finns det också utmaningar och begränsningar. Att som länsstyrelse ha en egen drönarverksamhet kräver en organisation och en kompetens att flyga drönare och analysera bildmaterialet. För detta krävs utbildningar för piloter och i användning av mjukvaror för fotosammanläggningar och analyser. Drönaranvändning är inte gratis. Drönare kostar cirka 15 000 kronor för de minsta drönarna till flera hundra tusen kronor för större drönare utrustade med LiDAR. Även programvaror för planering och bildbearbetning innebär en kostnad. Det insamlade bildmaterialet kräver stor lagringskapacitet på länsstyrelsens servrar och handläggningstiderna hos Lantmäteriet för spridningstillstånd är långa. Ytterligare krav på drönaranvändning och bildhantering kan komma framöver som en respons på säkerhets- och spionagehot från främmande makter.

Samtidigt är drönarverksamheten här för att stanna och det kommer därför vara viktigt att drönarkompetensen finns på länsstyrelserna. Då krävs det att pengar och resurser för en drönarorganisation skapas och här ser förutsättningarna och strategierna väldigt olika ut för landets länsstyrelser. Några har en egen organisation och egna drönarpiloter medan andra tar in konsulter för flygningar och analyser. Oavsett val av strategi hoppas vi att rapporten har gett er tips på hur drönare kan användas i arbetet med restaurering av vattendrag.

Källförteckning

- Berglund, J., Thomasdotter, A., och von Friesen, C. P. 2023. Marin Fjärranalys– Övervakning av Vegetationsutbredning Med Satelliter Och Drönare. Rapport Länsstyrelsen Västerbotten, 8767–2021.
- Degerman, E., och Näslund, I. 2021. Fysisk restaurering av akvatiska miljöer: vattendrag och sjöar med kantzon och våtmarker. Grip on Life Rapport 2021.03. ISBN: 978-91-986871-6-3.
- Fjällberg, M. 2023. Characteristics of instream wood following alluvial river restoration: Using Uncrewed Aerial Vehicles. B.Sc. Thesis. Department of Ecology and Environmental Science, Umeå University, Sweden.
- Jodeau, M., Bodart, G., Le Coz, J., Haddad, H., Legout, C. och Marchand, B. 2020. New developments of Fudaa-LSPIV, a user-friendly software to perform river velocity measurements in various flow conditions. I bok: River Flow 2020 (s. 847–854). DOI:10.1201/b22619-120.
- Karlsten, A. 2019. Quantifying the physical effects of stream restoration: With unmanned aerial vehicles and geographical information systems. M.Sc. Thesis. Department of Ecology and Environmental Science, Umeå University, Sweden.
- Lantmäteriet. 2026. Spridningstillstånd. Lantmäteriet URL: <https://www.lantmateriet.se/spridningstillstand/>
- Lidberg, W. 2024. Internt PM. Kartera död ved med AI - Geoint på uppdrag av Länsstyrelsen Västerbotten. (Kan lämnas ut vid efterfrågan).
- Luftfartsverket. 2026. Flyg drönare medhjälp av LFVs drönarkarta. <https://lfv.se/tjanster/informationstjanster/lfvs-dronarkarta>.
- Länsstyrelsen i Jönköpings län. 2017. Biotopkartering vattendrag. Metodik för kartering av biotoper i och i anslutning till vattendrag. Februari, 2017. Meddelande nr 2017:09.
- Nilsson, C. 2007. Återställning av älvar som använts för flottning: en vägledning för restaurering. Naturvårdsverket.
- Riksantikvarieämbetet. 2019. Kulturmiljöer vid vattendrag: uppföljning av länsstyrelsernas arbete med kunskapsunderlag. Hämtad från <https://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:raa:diva-5971>
- Sjöfartsverket. 2026. Start – Tjänster – Sjökort - Sjögeografiska data – Djupdata – Spridningstillstånd. Sjöfartsverket URL: <https://www.sjofartsverket.se/sv/tjanster/sjokortsprodukter/digital-data/djupdata---detaljerad-information/spridningstillstand/>
- Swescan. 2024. Swescan erbjuder laserskanning från drönare – Kombinerad teknik ger helheten. Swescan URL: <https://swescan.se/https-laserskanning-med-dronare/>
- Transportstyrelsen. 2026. Luftfart - Luftfartyg och luftvärdighet - Drönare. Transportstyrelsen URL: <https://www.transportstyrelsen.se/dronare>
- Wagenius, T. 2025. Changes in geomorphic units in response to river restoration in Vargån, Öre River catchment. B.S. Thesis. Department of Ecology and Environmental Science, Umeå University, Sweden.

Bilaga 1

Workshop och testflygningar för bedömning och dokumentation av kulturmiljövärden

Ett av Sveriges antagna miljömål är ”Levande sjöar och vattendrag”. Målet inkluderar såväl ekologiska aspekter av vattenhushållning och biologisk hänsyn som bevarande av kulturmiljöer. Detta innebär således en potentiell konflikt mellan genomförande av åtgärder för bättre vattenkvalitet och ekologi i förhållande till bevarande av kulturmiljöer.

När miljömålen antogs var kunskapen om kulturmiljöer vid vattendrag generellt sett låg. Som ett led i att öka kunskapen om vattenvårdsarbetet, och möjliggöra effektivt arbete med åtgärdsprogram för vatten, har många svenska vattendrag och sjöar undersökts med medel från Kulturmiljövårdsanslaget som fördelats på landets länsstyrelser (Riksantikvarieämbetet, 2019). Undersökningarna har sett olika ut men den vanligaste metoden har varit inventeringar längs delar av vattendragen, likt biotop- eller åtgärdsarteringen men där kulturmiljöerna varit i fokus.

Innan värdefulla flottledslämningar rivs ut är det viktigt att en kulturhistorisk dokumentation sker eftersom borttagna kulturlämningar inte kan återskapas. Detta är ofta även ett krav från domstolen. Dokumentationen som görs i samband med utrivningar kan exempelvis vara en rapport med bildunderlag och beskrivningar av respektive objekt.

Metodundersökning

Med drönare skulle en mer effektiv och djupgående foto-/bilddokumentation av objekt inför utrivning kunna genomföras. 3D-modeller av objekten kan tas fram med hjälp av ett ortofoto för visuell förståelse samt för vidare analys. Med 360-fotografier eller panoramabilder skulle det gå att göra en områdesöversikt. Det skulle även vara möjligt att skapa digitala landskap (360-bubbla) där det är möjligt att återbesöka platsen efter att utrivningen har skett.

Samma underlag som används för dokumentation skulle även kunna användas i själva åtgärdsarbetet vid exempelvis utrivning av dammar. Det skulle där kunna ligga till grund under samråd med markägare inför en tillståndsansökan.

För att undersöka om drönare kan användas som verktyg för kulturvärdesbedömningar och dokumentation av objekt inför utrivning genomfördes testflygningar med drönare i fält. Ett antal flottledsdammar kring Lycksele kommun valdes ut och inventerades vid två tillfällen. Först under hösten 2021 (2021-11-06) och sedan igen sommaren 2022 (2022-06-16). Bland annat så testades/samlades följande underlag in vid inventeringen:

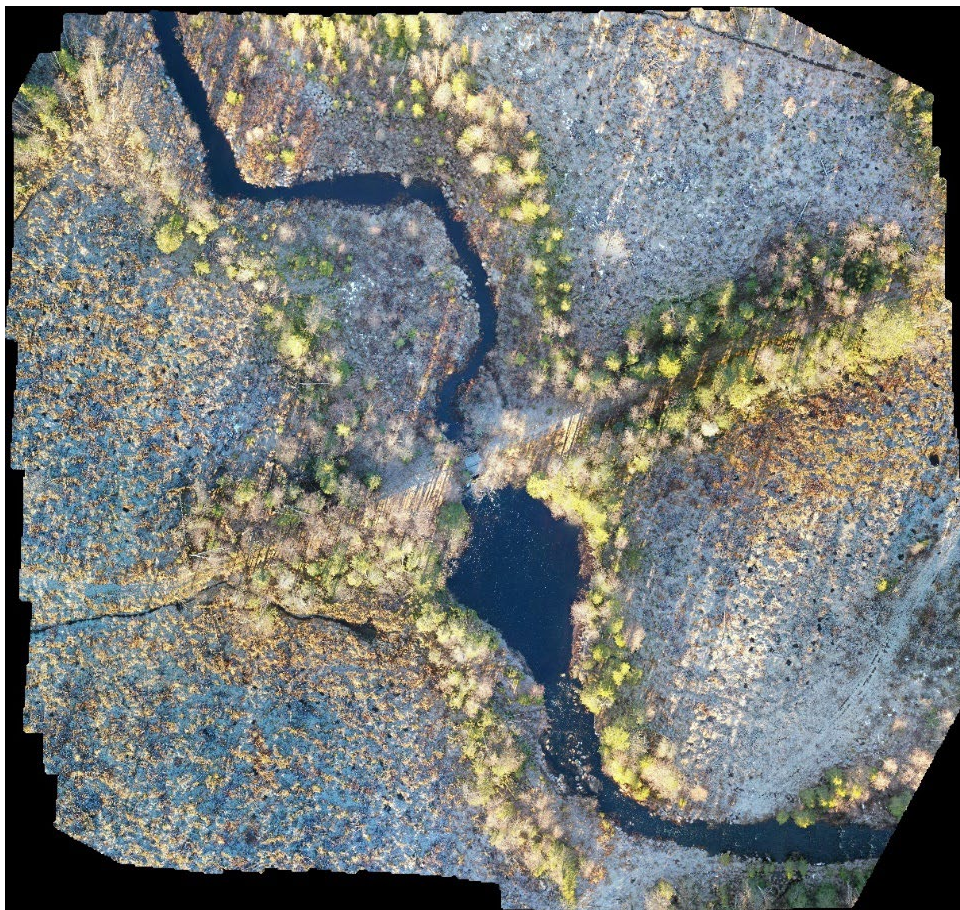
- Foto taget från hög höjd (100 meter eller högre för att se om det kan ersätta ortomosaik), om lokalen tillåter kan även ett foto från låg höjd testas (30 meter)
- Foto taget i vinkel riktad mot dammen både upp och nedströms

- 360, POI (Point of interest)
- Panorama
- Överflygning över objektet (film)
- 3D-flygning för punktmoln

Det insamlade materialet (Figur B1–B7) användes sedan som underlag för diskussion i en intern workshop på Länsstyrelsen Västerbotten där representanter från vattenvård och projekt (restaurering) samt kulturmiljö medverkade. Syftet med workshopen var att utvärdera metoder och underlag för att göra bedömningar av kulturmiljövärden inför utrivning. Syftet var även att se om det går att nå en gemensam samsyn över vilka bilder som kulturmiljö och vattenvård (restaurering) behöver samla in och om det går att ta fram ett standardiserat inventeringsprotokoll för såväl kulturvärdesinventeringen som åtgärdskarteringen.

Resultat

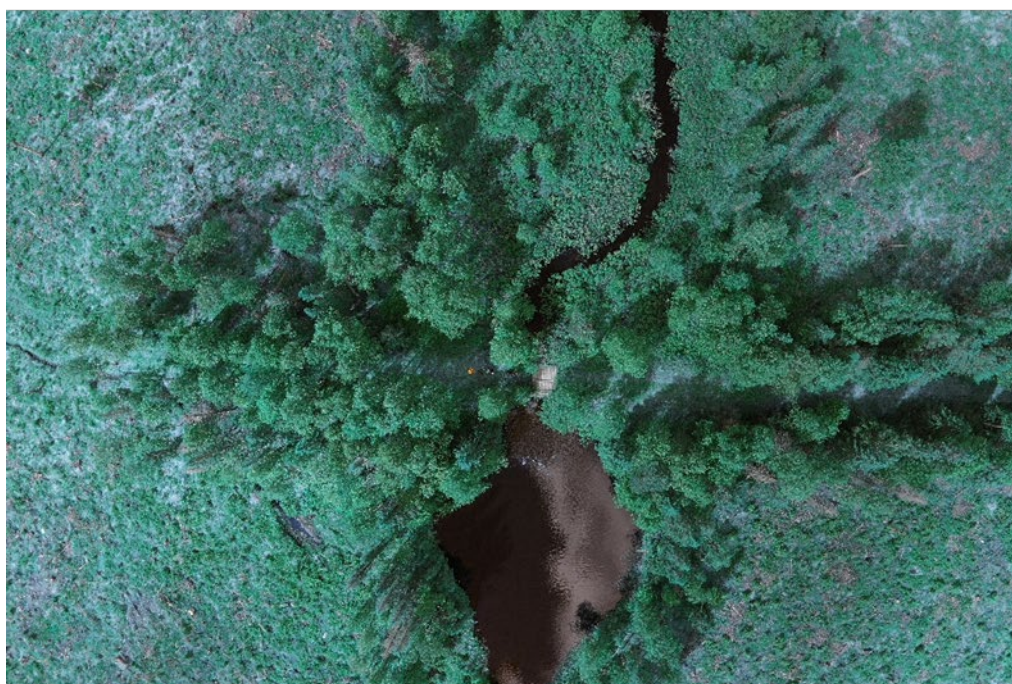
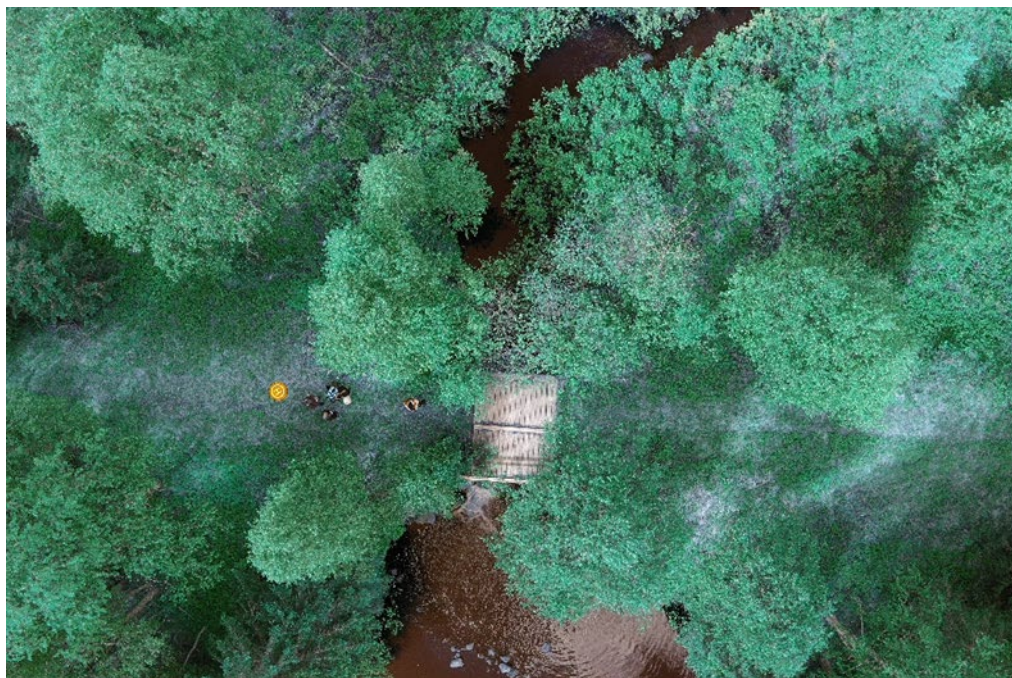
Ortomosaiker från drönare ger en bra överblick över området i stort (Figur B1). Liknande information/bildunderlag på objektet fås genom foton tagna rakt uppifrån från tillräcklig höjd (30–100 meter) (Figur B2 och B3).



Figur B1. Ortomosaik från drönare på Sörbäckdammen (275D) i Vänjaurbäcken, biflöde till Öreälven. Foto: Länsstyrelsen Västerbotten.

I Figur B2 och B3 så skymmer trädkronorna delar av dammen. Det hade varit bättre om flygningen hade skett innan/vid lövsprickning då överskuggningen hade varit

minimal. I ortomosaiken (Figur B1) är bilden tagen på hösten då löven har fallit. Överskuggningen från trädkronorna är därför mindre jämfört med Figur B2 och B3.



Figur B2 och B3. Två bilder på en Sörbäckdammen (275D) i Vänjaurbäcken, biflöde till Öreälven. Bilderna är tagna med drönare fast på olika höjder (30 meter samt 100 meter) på damm (ID 4). Foto: Länsstyrelsen Västerbotten.

Genom att dokumentera objektet i vinkel, med drönarkameran riktad mot dammen (gärna både upp och nedströms) (Figur B4), så kan materialet användas för att utröna åtgärdsbehovet. Underlaget kan även ligga till grund för åtgärdsplanering samt dokumentation inför utrivning. Panoramabilden (Figur B5) är tänkt som ett komplement där man får med mer av omgivningen inför en tänkt utrivning. På så vis är det lättare att få en känsla för vad som krävs arbetsmässigt, för att ta sig dit med

maskin och utföra åtgärden. Det går även att använda en panoramakamera (Figur B6) för att skapa en ”360-bubbla”. Bubblan innebär att du virtuellt kan befinna dig på plats och rotera 360 grader kring den specifika fotopunkten. En 360-bubbla är ett bra alternativ om dammen ska dokumenteras inför utrivning, på så vis går den att besöka virtuellt även i framtiden.



Figur B4. Foto taget på Sörbäckdammen (275D) i Vänjaurbäcken, biflöde till Öreälven med drönare i vinkel riktad mot dammen nedströms, blickandes uppströms. Foto: Länsstyrelsen Västerbotten.



Figur B5. Panoramafoto taget med drönare på samma damm (275D) Foto: Länsstyrelsen Västerbotten.



Figur B6. Bild tagen med en 360 graders panoramakamera på en damm (258D) i Vänjaurbäcken. Bilden kan med rätt programvara användas för att skapa en 360-bubbla. Foto: Länsstyrelsen Västerbotten.

Vissa strukturer och detaljer på kulturlämningar kan vara svåra att urskilja genom drönbilder. Ett sådant exempel kan vara inristningar av årtal (Figur B7) och där behöver fotounderlag dokumenteras på plats i fält med hjälp av exempelvis en mobilkamera.



Figur B7. Foto på inristning i kilstensmur taget med mobilkamera, Hummelholm Öreälven. Foto: Länsstyrelsen Västerbotten.

Drönare kan underlätta arbetet vid kartering och dokumentation av flottledsdammar men det skulle inte kunna ersätta all inventering i fält. Under workshopen så konstaterades att vilket underlag som efterfrågas efter inventering i fält med hjälp av drönare skiljer sig en del mellan kulturmiljö och restaurering. Det kan därför vara svårt att hitta en gemensam inventeringsmetodik som uppfyller alla krav utan att bli allt för omfattande. Vilka foto-/flygmöjligheter som ges på platsen sätter också ramarna för vilken information som går att samla in. En gemensam instruktion/metodik för inventering som kan användas av såväl kulturmiljöresurser som restaureringsresurser på Länsstyrelsen är därför svår att ta fram.

Under workshopen så efterfrågade representanterna från kulturmiljö mer detaljerade bilder än det bildunderlags som presenterades. Exempel på underlag som efterfrågades var närbilder på vissa strukturer i dammen (utskov, spel, skador, inskriptioner och årtal). Det konstaterades även att det var svårt att göra en kulturmiljöbedömning utan historiska underlag. Ett förslag som uppkom var därför att ytterligare underlag skulle behöva tas med ut i fält (exempelvis sikt i fältdator på Historiska dammar (Törnlund), generalstabskartan, friluftsliv och leder, Dammdatabas, Ortnamnsdatabas, Skog och historia). Eventuellt även en bättre bakgrundskarta). För att skapa sig en uppfattning om kulturobjektet räcker det med en eller ett par bilder tagna rakt uppifrån med drönare (Figur B2 och B3), i stället för att ta fram punktmoln/ortomosaik.

Resultatet av workshopen och de diskussioner som var visade på att de tre verktygen/hjälpmedlen (360, drönare, collector) kan komplettera varandra och utgöra ett bra stöd och underlag till såväl planering inför åtgärd/eventuell utrivning såväl som till dokumentation och kommunikation. När på året som flygningen genomförs påverkar möjligheten att analysera bildmaterialet. För att kunna se strukturer under vattenytan som kan vara av vikt både inför kulturmiljöbedömning och inför åtgärdsplanering är det bra om det är lågt vattenstånd.



Havs
och Vatten
myndigheten



Länsstyrelsen
Västerbotten



Med bidrag från Europeiska unionens LIFE-program