

Robust internet för skogsindustrin

Projekt: Robust trådlös infrastruktur



V O L V O



Mittuniversitetet
MID SWEDEN UNIVERSITY



skogforsk



VINNOVA
Sveriges innovationsmyndighet

Sammanfattning

Denna rapport sammanfattar projektet Robust trådlös infrastruktur och den demonstrator som tagits fram där en drönare använts för att skapa mobiltäckning på en tänkt avverkningsplats med begränsad mobiltäckning. Demonstratorns användarscenario har tagit sin utgångspunkt i de identifierade behov som finns kopplat till skogsindustrin och dess digitala värdekedja. Många av skogsindustrins utmaningar för den digitala värdekedjan är relaterad till kommunikation och tillgången till kontinuerlig uppkoppling på relevanta platser. Demonstratorn har visat på hur en drönarmonterad 5G basstation kunnat användas för att skapa mobil täckning på ett område där en skotare sedan fjärrstyrts från en annan plats.

Demonstratorn visade på att det finns tekniska förutsättningar för att skapa täckning som skulle uppfylla kraven för att fjärrstyra en skotare men visade också på att det fortsatt finns ett antal områden som behöver lösas för att det ska bli kommersiellt möjligt att etablera en lösning på marknaden. De tekno-ekonomiska begränsningarna relaterat till kostnaden för en robust och enkel lösning för skogsindustrins arbetsprocesser och den ekonomiska uppsidan har pekat ut ett antal områden som behöver lösas.

Kort sikt

Rekommendationen på kort sikt är att fokusera på de användarscenarion som har lägre krav på internetanslutningens kapacitet samtidigt som kraven på täckning kan vara både låga och höga. Dessa användarscenarion ligger närmare det som är tekniskt kommersiellt och där möjlighet finns för att använda de lågbandiga lösningar som mobilnätet kommer kunna leverera genom LTE-M (Long-Term Evolution for Machines) som är optimerad för IoT (Internet of Things). Inom detta område fångar man användarscenarion som säkerhet, användning av nRTK data samt Telemetry.

Medellång sikt

På medellångsikt är rekommendationen för användningsscenariot för fjärrstyrning att först etablera möjlighet till att fjärrstyra maskiner i direkt anslutning till den plats maskinen verkar. Det vill säga inte styra maskinen från en central (avlägsen) plats utan först adressera de värden som skapas av fjärrstyrning lokalt. I första hand säkerhet och arbetsmiljö för förare, påverkan på marken utifrån att maskinen blir lättare då maskinen kan byggas utan förarhytt. Detta ger också möjlighet att använda mindre avancerade tekniker som gör det enklare att etablera en lokal bubbla med täckning utan att det krävs god internetuppkoppling från platsen.

Lång sikt

På lång sikt är rekommendationen att jobba med att säkra affärsmodeller och produkter som möter även skogsindustrins mest avancerade lösningar med centraliserad fjärrstyrning. För att detta ska bli verklighet krävs både tekniker som uppfyller de prestandamässiga kraven av internetanslutning och de praktiska/användarmässiga kraven kopplat till etablering och nedtagning av temporära platser med förstärkt eller ny täckning

Innehåll

Sammanfattning	2
Kort sikt	2
Medellång sikt	2
Lång sikt	2
Skogsindustrins digitala värdekedja	5
Tekno-ekonomiska utmaningar	6
Projektet Robust trådlös infrastruktur	7
Behov av täckning och kapacitet	8
Användarscenarier inom fältet A- full täckning och låg kapacitet	8
nRTK/positionering	8
Säkerhet	9
Användarscenarier inom fältet B- begränsad täckning och låg kapacitet	9
Telemetri i form av datainsamling och förmedling av status på skogen	10
Användarscenarier inom fältet C- begränsad täckning och hög kapacitet	10
Rapportera statistik	10
Förmedling av arbetsordrar	11
Nedladdning av information	11
Användarscenarier inom fältet D- full täckning och hög kapacitet	12
Fjärrstyrning av skogsmaskin från centraliserad plats	12
Video för fjärrstyrning	12
AR data	13
Edge computing	13
Sammanställning olika användarscenarion och tekniker	14
Alternativ för att skapa täckning på avlägsna platser	14
Förstärkt 5G täckning	15
Förstärkt 5G täckning med lokal edge	15
Lokalt 5G-nät med anslutning till internet	15
Lokalt 5G-nät	16
Sammanställning för- och nackdelar med olika alternativ	16
Praktiskt test av drönare för att skapa mobil täckning	18
Utförda test	18
Slutsatser testet	18
Insikter och rekommendationer framåt	19
Lönsamhet	19
Teknik för att skapa täckning	20

Säkerhet.....	20
Enkelhet.....	21
Rekommendation framåt kopplat till skogsindustrins användarscenario.....	22
Kort sikt	22
Medellång sikt.....	22
Lång sikt	22
Efterord.....	22

Skogsindustrins digitala värdekedja

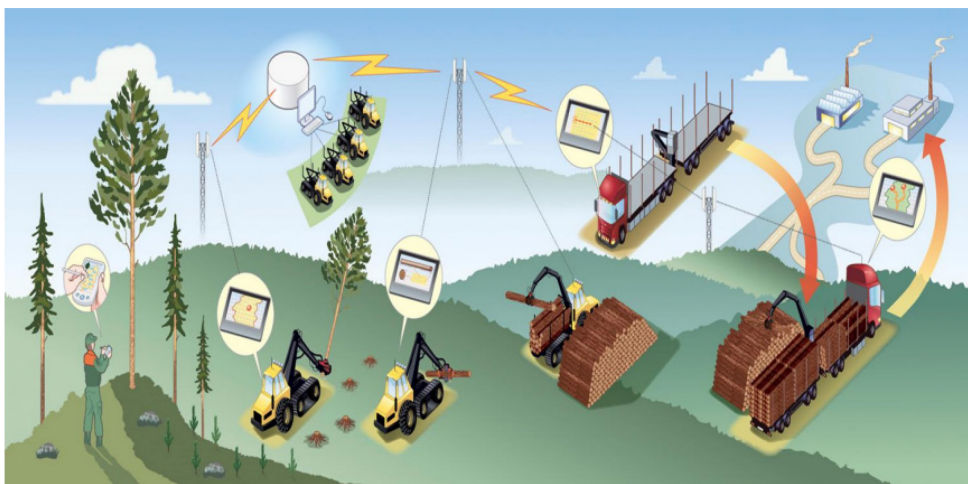
Inom skogsindustrin är digitalisering av hela värdekedjan från skog till färdig produkt något som står högt på agendan. Värdekedjan för skogsindustrin sträcker sig från planering och avverkning till produktion, logistik, kundleverans och återplantering av skog, vilket illustreras i Figur 1 nedan. Genom att använda avancerad teknik som drönare, GIS-system och LIDAR-scanning kan skogsbolag vid inventering av skogen få en exakt bild skogsbeståndet och därmed kan man optimera avverkningsplanen. Smarta skogsmaskiner med sensorer för IoT (Internet of Things) tillämpningar möjliggör både markberedning återplantering och precisionsavverkning, där varje träd mäts och analyseras i realtid.

Transport och logistik effektiviseras med hjälp av digitala plattformar och ruttoptimeringssystem, vilket minskar transportkostnader och koldioxidutsläpp. På produktionssidan används automatiserade sågverk och AI-drivna system för att maximera utbytet av varje träd. Dessutom möjliggör digitala verktyg bättre spårbarhet och hållbarhetsrapporter som visar trädets resa – från skog till färdig produkt. Denna digitala transformation är en förutsättning för att göra skogsindustrin effektivare, mer hållbar och datadriven, och därmed stärka konkurrenskraften på en alltmer krävande global marknad.

Den digitala värdekedjan inom skogsindustrin kan delas upp i följande nyckelområden:

1. **Skogsinventering och datainsamling** – Använder satelliter, drönare, GIS-system, LIDAR-scanning, nRTK/positionering, sensorer och AI för att kartlägga skogen.
2. **Planering och beslutsstöd** – Digital analys av skogsinventeringen för att optimera avverkning och resurshantering.
3. **Avverkning och maskinstyrning** – Automatiserade och fjärrstyrda maskiner förbättrar precision och säkerhet.
4. **Logistik och transport** – IoT och AI optimerar transportflöden och ruttplanering.
5. **Produktion och industriell bearbetning** – Digitalisering och automation ökar effektiviteten i sågverk och fabriker.
6. **Skogsplantering och återbeskogning** – Precisionsplantering (GNSS och nRTK) och digital övervakning optimerar återväxten.
7. **Spårbarhet och hållbarhet** – Blockchain och sensorer säkerställer hållbar hantering av skogsråvaror.

En pålitlig och kontinuerlig uppkoppling är en förutsättning för skogsindustrins digitalisering. Från datainsamling och fjärrstyrda skogsmaskiner till automatiserade sågverk – alla processer kräver tillgång till snabb och stabil internetuppkoppling. I skogsområden, där traditionella mobilnät är svaga eller obefintliga, skapas därför särskilda utmaningar.



Figur 1 Illustration av skogsindustrins digitala värdekedja

Tekno-ekonomiska utmaningar

Att bygga och underhålla mobil täckning i ett land som Sverige innebär flera tekniska och ekonomiska utmaningar. Sveriges stora geografiska yta, låga befolkningstäthet i glesbygdsområden och varierande terräng med skogar, sjöar och berg gör utbyggnaden av mobilnät betydligt mer komplex och kostsam jämfört med tätbefolkade länder.

En av de största tekniska utmaningarna är att säkerställa täckning i avlägsna områden och glesbygd. Här krävs att mobiloperatörer bygger basstationer på avlägsna platser, vilket kräver tillgång till el, infrastruktur och backhaul-lösningar (till exempel mikrovågslänkar eller fiber). I skogsområden och kuperad terräng dämpas radiovågorna, vilket leder till att signalen blir svagare och att fler master krävs. Vill man ytterligare öka kapaciteten med de nya spektrumresurser som möjliggörs med 5G-tekniken krävs ytterligare fler och tätare basstationer än tidigare generationer (4G), vilket innebär ökade krav på teknik och därmed ökade kostnader.

De ekonomiska utmaningarna är kopplade till den höga kostnaden för att bygga och driva mobilnät i glesbefolkade områden. I städer är kostnaden per användare låg, då många användare kan dela på en basstation. I glesbygden är förhållandet omvänt – få användare måste dela på kostnaden för varje basstation där basstationerna i glesbygd dessutom blir mer kostsamma utifrån att det finns begränsade möjligheter till infrastruktur som höga byggnader, el och fiberanslutning. Lönsamheten blir då av förklarliga skäl lägre. Och det är i dessa områden som till exempel skogsindustrins digitalisering har behov av täckning.

De tekno-ekonomiska utmaningarna med att bygga mobil täckning i ett land som Sverige är kopplade till höga kostnader för att bygga basstationer i glesbygd, komplexiteten med att övervinna skog och terräng, samt behovet av att använda ny teknik som 5G.

I det fall behoven som ställs i första hand rör lång räckvidd, låg dataöverföring och kostnadseffektivitet så finns det alternativ som adresserar de tekono-ekonomiska utmaningarna. Exempel på det är NB-IoT (Narrowband IoT) som är en lågbandig IoT-teknik som använder befintliga mobilnät (4G/5G) med funktioner för att kunna hantera lägre signalnivåer, energieffektivitet och kapacitet för att stödja IoT-enheter. En annan teknik är LTE-M (Long-Term Evolution for Machines) som är en mobilnätsteknik som är en del av 4G LTE, men optimerad för IoT (Internet of Things). Den är utformad för att stötta enheter som kräver mobilitet i stora

områden (krav på bra täckning) och ska kunna ha låg energiförbrukning, vilket gör tekniken särskilt användbar i branscher som skogsbruk, logistik och industriell automation.

Till skillnad från NB-IoT stöder LTE-M cellbyten, vilket gör den idealisk för rörliga enheter som fordon, maskiner och transportspårning med låga krav på datakapacitet.

Andra exempel på tekniker inom detta område är LoRaWAN, Sigfox och Satellit IoT. Man kan även använda befintligt LTE/5G nät med låga frekvenser (ger större täckning) där täckning finns alternativt att det inte krävs kontinuerlig uppkoppling utan applikationen kan hantera vissa kortare avbrott.

I slutändan kräver en effektiv utbyggnad av mobil täckning en balans mellan tekniska lösningar och ekonomiska resurser.

Projektet Robust trådlös infrastruktur

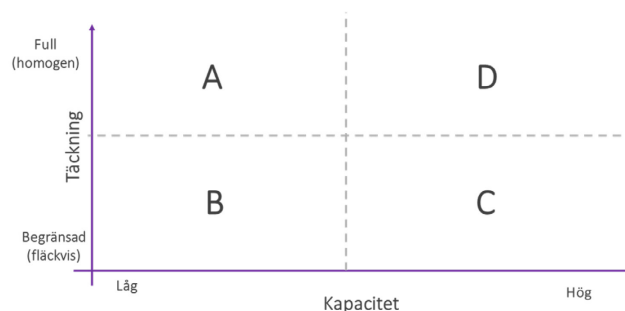
Projektet Robust trådlös infrastruktur är ett forskningsprojekt stöttat av Vinnova lett av Mittuniversitetet i Sundsvall med samarbetsparterna SCA, Telia, Ericsson, Skogforsk, Biometria, Volvo. Forskningsprojektet är en fortsättning på ett tidigare forskningsprojekt Remote Timber som genomfördes 2019-2022. Remote Timber visade att det gick att fjärrstyra virkeslastning och lossning på en av SCAs virkesterminaler. I projektet gjordes även beräkningar som visade på att det finns goda möjligheter att öka lönsamheten med hjälp av fjärrstyrning. Samtidigt identifierades utmaningar med en robust internetuppkoppling relaterat till fjärrstyrning. Projektet Robust trådlös infrastruktur har därför som syfte att titta på möjligheterna att utifrån skogsindustrins behov kopplade till den digitala värdekedjan visa på möjligheter för att skapa internetuppkoppling på avlägsna platser genom att kombinera drönare och 5G-teknik. Slutmålet är att kunna fjärrstyra skogsmaskiner samt att titta på tekniska möjligheter för att internetanslutningen skall vara robust och tillförlitlig.

I projektet används användarscenarion kopplade till skogsindustrin men motsvarande utmaningar finns även inom andra branscher och användningsområden tex

- Lantbruk med automatiserade jordbruksmaskiner och IoT lösningar för mark och väder och övervakning av djur el styrning av bevattningssystem,
- Energisektorn där det behövs fjärrövervakning och styrning av tex vindkraftsanläggningar och solpanelsparker. Underhåll och felsökning eller generell datainsamling och analys för att optimera produktion, kapacitet och prestanda.
- Sjukvård för övervakning, fjärravläsning av patienter på landsbygd även digitala system för tex videokonsultation.
- Transport/logistik för att hantera ruttoptimering, övervakning och säkerhetkommunikation samt även stötta behov av tillfälliga/temporära omlastningsplatser.
- Räddningstjänst för kommunikation vid skogsbränder, översvämningar eller andra naturkatastrofer. Kommunikation och koordinering vid sökinsatser
- Turism och friluftsliv för tillgång till kartor och guidning, säkerhet olika betalsystem
- Utbildning
- Fastighetsutveckling för övervakning och kommunikation till byggplatser i glesbygd
- Militära tillämpningar

Behov av täckning och kapacitet

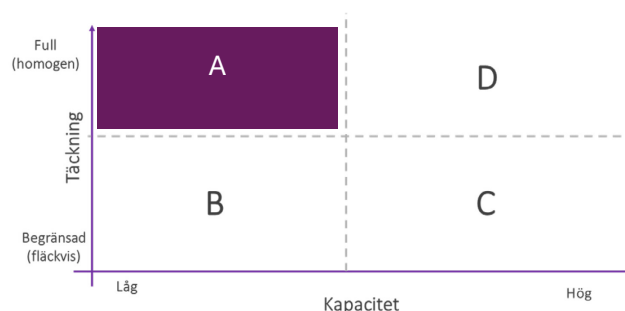
Täckning och kapacitet är grunden i mobila datanät. När mobila nät byggs ges täckning och kapacitet av mixen av stora celler (kräver låga frekvenser) som ger yttäckning och mindre celler med hög kapacitet dvs hög sitedensitet (många sändare /antennor på begränsad yta). Hög kapacitet får man genom närhet till celler (hög celldensitet) och mycket spektrum i varje cell. Detta betyder att relaterat till de teknoekonomi beskriven ovan kan användarscenarion som är relevanta för skogsindustrin delas in i 4 grupper enligt bilden nedan. A= full täckning och låg kapacitet, B= Begränsad täckning och låg kapacitet, C= Begränsad täckning och hög kapacitet samt D= Full täckning och hög kapacitet. Där användarscenarier i område D ställer högre krav på den ekonomiska vinsten då kostnaderna för detta typ av nät är störst.



För skogsindustrins digitala värdekedja finns ett antal användarscenarion med tillhörande tekniker där behovet av täckning och kapacitet varierar för att nå en tillfredställande upplevelse.

Nedan beskrivs de användarscenarier och tekniker som setts som mest relevanta inom skogsindustrins värdekedja och hur de förhåller sig till de 4 fälten A-D.

Användarscenarier inom fältet A- full täckning och låg kapacitet



I fältet A ligger de användarscenarier som har höga krav på täckning men inte lika höga krav på den tillgängliga kapaciteten. Detta är användningsområden som generellt skickar små datamängder men är beroende av att kunna göra detta i realtid.

nRTK/positionering

nRTK (nätverks-Real Time Kinematic) är en teknik för positionering med hög noggrannhet som används i skogsindustrin för att förbättra arbetsprocesser genom noggrann navigering och

realtidspositionering. Med hjälp av GNSS (satellitnavigeringssystem) och korrigeringar från referensnätverk möjliggör nRTK positioneringsnoggrannhet på centimeter- eller decimeternivå.

nRTK används i flera av skogsindustrins nyckelområden tex skogsinventering, avverkning, logistik och skogsplantering:

- Exakt kartläggning av skogsområden, gränser och trädens position.
- Underlättar planering av hållbar avverkning och naturvård.
- Navigering av skogsmaskiner till specifika träd utan att skada omgivningen.
- Optimering av ruttor för att minska bränsleförbrukning och tid.

nRTK ger noggrann positionering som är avgörande för att effektivisera och automatisera skogsindustrins processer. Nedan grundläggande krav ställs på uppkopplingen för att kunna använda nRTK på ett effektivt sätt.

Täckning: Stabil mobilanslutning (4G/5G) eller satellit krävs för att hantera referensdata.

Kapacitet: Kräver låg bandbredd och i vissa fall kan det finnas behov av låg latens specifikt i kombination med videoströmmar.

Dessa krav gör att täckning snarare än kapacitet ofta är den avgörande faktorn för att nRTK ska fungera i skogsbruket.

Säkerhet

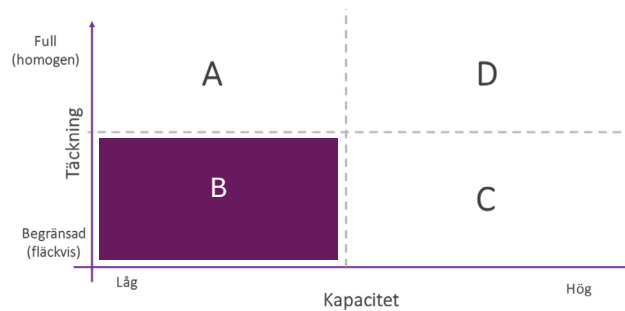
Säkerhet är en viktig aspekt i flera steg i skogsindustrins digitala värdekedja och handlar om att skydda personal, maskiner, data och miljön genom att använda digital teknik. Det omfattar fysisk säkerhet (arbetarnas välbefinnande), cybersäkerhet (skydd av data och system) och operationell säkerhet (effektiv drift och undvikande av olyckor).

Täckning: För den fysiska säkerheten används sensorer och realtidsdata övervakar maskiner och arbetsmiljö för att upptäcka risker i tid. För att skapa en säker fysisk miljö krävs sedan att den data som samlas in /registreras kan föras över i realtid. Och för detta krävs en heltäckande täckning.

Kapacitet: För personsäkerheten så är kapacitetskraven begränsade då det i första hand handlar om att överföra tex larm. I det fall analys om säkerhetsnivå ska göras på distans ställs andra krav på säkerheten.

Användarscenarier inom fältet B- begränsad täckning och låg kapacitet

I detta fält hamnar användarscenarion som inte har behov av heltäckande täckning dvs den kommunikation som görs är inte realtidsberoende, utan det är ok om kommunikationen kan ske när tex en maskin eller sensor kommer till ett område med täckning. Den information som överförs är dessutom begränsad i storlek vilket gör att behovet av kapacitet är begränsad.



Telemetri i form av datainsamling och förmedling av status på skogen

Telemetri innebär insamling, överföring och analys av data från avlägsna system eller enheter i realtid. I skogsindustrin används telemetri för att övervaka maskiner, sensorer och processer, där data om exempelvis position, prestanda, bränsleförbrukning, väderförhållanden och skogstillstånd skickas till centrala system för analys och åtgärder.

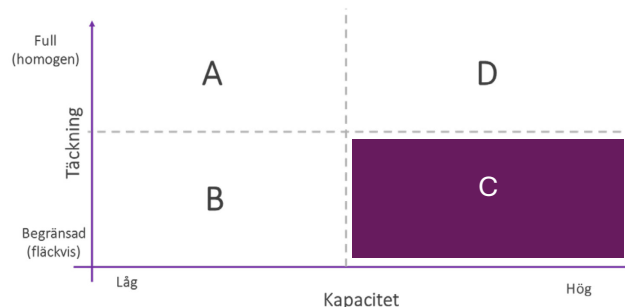
Telemetri är en grundpelare i skogsindustrins digitala värdekedja, eftersom den möjliggör realtidsövervakning och optimering av processer.

Täckning: Behoven av täckning varierar med hur processen och behovet av realtidsdata ser ut. Även om önskemålet i många fall är att kontinuerlig dataöverföring krävs för att telemetrin ska vara effektiv kan de flesta tillämpningar tillåta att överföringen av data sker när täckning finns, man lagrar då data lokalt och skickar det när anslutningen förbättras, vilket minskar beroendet av konstant täckning.

Kapacitet: Kraven på kapacitet är relativt låga men varierar med datakomplexiteten.

Användarscenarier inom fältet C- begränsad täckning och hög kapacitet

Detta fält karakteriseras av användningsscenarier som kan hantera att kommunikationen inte behöver ske i realtid. När sedan information ska föras över så handlar det om större datamängder vilket gör att kravet är att nätprestandan ska hålla hög kvalitet (låg fördröjning).



Rapportera statistik

Statistikrapportering inom skogsindustrin innebär insamling, bearbetning och analys av data för att ge insikter om verksamheten och kunna planera verksamheten över tid. Det används för att mäta produktivitet, hållbarhet, och resurseffektivitet.

Insamlingsutrustning, sensorer och maskiner samlar kontinuerligt data om t.ex. skogsbestånd, avverkad volym, maskintimmar och miljöförhållanden.

Data kan lagras lokalt eller skickas till en central databas beroende på tillgänglig uppkoppling.

Täckning: Statistikinsamling är generellt mindre känslig för täckning eftersom den kan överföra data i batcher när anslutning är tillgänglig.

Kapacitet: Bandbreddskravet kan vara relativt höga när stora datamängder överförs samtidigt.

Förmedling av arbetsordrar

Arbetsordrar används för att instruera maskinförare eller fältarbetare om specifika uppgifter (t.ex. avverkning, transporter, underhåll). Digital hantering av arbetsordrar innebär att en order skapas, förmedlas och rapporteras via digitala system, ofta integrerade med mobila enheter, molntjänster eller lokala nätverk. Förmedlingen kan exempelvis inkludera detaljer som geografisk plats, specifika uppgifter, tidsramar och prioriteringar och rapportering av status, t.ex. slutförda uppgifter, problem eller extra resurser som krävs och inkluderar tex. tidsstämplar, GPS-position, bilder, video eller kommentarer.

Täckning: Arbetsordrar kräver stabil anslutning om behovet är att de ska levereras/rapporteras i realtid. Inom skogsindustrin varierar kraven på realtid och i många fall kan ordrar skickas/rapporteras tex dygnsvis eller att man skickar så fort täckning finns.

Kapacitet: Bandbreddskraven för arbetsordrar varierar. Oftast består de av text och mindre mängder data vilket gör att bandbreddskraven är låga men rapporteringen kan vara datatung om den innehåller bilder, videor eller detaljerade arbetsloggar.

Nedladdning av information

Nedladdning av information inom skogsindustrin är en viktig del av den digitala värdekedjan, där data och instruktioner hämtas från centrala system till fältoperatörer, maskiner eller mobila enheter. Denna information används för att effektivisera och säkerställa korrekta beslut i olika arbetsmoment.

Exempel på denna information är:

- Digitala kartor med information om avverkningsområden, naturvärden, marktyp och körvägar.
- GIS-data för exakt navigering och planering
- Programuppdateringar för maskiner eller styrsystem.
- För fjärrstyrning och AR-applikationer kan nedladdningar omfatta 3D-modeller, overlay-data och instruktioner för specifika uppgifter.

Om informationen är stor eller ska användas i realtid, som vid navigering, krävs god täckning. Vid bristande täckning behöver information kunna laddas ner i förväg eller lagras lokalt för användning i fält.

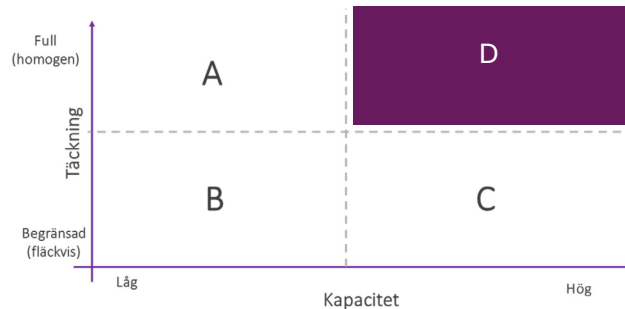
Nedladdning av information i skogsindustrin är avgörande för att leverera data och instruktioner i fält

Täckning: avgör om informationen kan hämtas i realtid

Kapacitet: påverkas av datamängdens storlek och applikationens krav. Optimerade system och backup-lösningar säkerställer kontinuerlig tillgång till viktig information, även i avlägsna skogsområden

Användarscenarier inom fältet D- full täckning och hög kapacitet

I detta fält ligger de användarscenarier med störst krav på nätets robusthet ur alla aspekter. Både täckningen och kapaciteten behöver hålla hög kvalitet.



Fjärrstyrning av skogsmaskin från centraliserad plats

Inom både avverkningsområdet och skogsplaneringsområdet för den digitala värdekedjan är fjärrstyrning av skogsmaskiner ett användningsscenario som kan bidra till effektivare skogsbruk, ökad säkerhet, hållbarhet och bättre resurshantering genom hela den digitala värdekedjan. För detta användarscenario är stabil täckning avgörande för att säkerställa kontinuerlig kommunikation mellan maskiner, sensorer och operatörer.

Exempel på de fördelar som fjärrstyrning skapar:

Ökad produktivitet, effektivitet och ekonomi

- Möjlighet att styra flera maskiner samtidigt.
- Minskad operatörströtthet och ökad precision.
- Billigare maskiner och bränslekostnader

Förbättrad arbetsmiljö och säkerhet

- Eliminering av riskfyllda arbetsförhållanden.
- Minskad exponering för vibrationer och buller.
- Attraktivare arbetsvillkor och bättre rekryteringsmöjligheter.

Minskad miljöpåverkan

- Exakt navigering minskar markskador.
- Lättare maskin då förarhytten kan tas bort minskar markskadorna.
- Optimerad bränsleförbrukning och minskade utsläpp.
- Bättre planering för återbeskogning och skogsplantering.

Optimerad logistik och virkesflöde

- Realtidsdata förbättrar samordning mellan avverkning och transport.
- Fjärrstyrning möjliggör mer kostnadseffektiv lastning och leverans.

Nedan beskrivs tre tekniker/områden kopplade till fjärrstyrning som påverkar behovet av täckning och kapacitet för internetanslutning när fjärrstyrning används

Video för fjärrstyrning

Vid fjärrstyrning av en skogsmaskin överförs video i realtid från kameror på maskinen till operatörens fjärrkontrollcenter. Kamerorna ger en 360-graders vy med detaljerade bilder av arbetsområdet, vilket gör det möjligt för operatören att styra maskinen effektivt. Vid fjärrstyrning krävs en högupplöst videoström vilket ställer krav på hög bandbredd. För att man ska få en exakt fjärrstyrning krävs också låg latens/fördröjning samt en stabil uppkoppling. Utan tillräcklig täckning och kapacitet riskerar fjärrstyrningen att bli oprecis, vilket kan påverka säkerhet och produktivitet

AR data

Som ett led i att ta fjärrstyrningen ännu ett steg kan AR-data (Augmented Reality-data) användas. AR-data avser digital information som integreras med den fysiska världen via AR-teknik. Denna data används för att skapa en förstärkt verklighet, där visuella element, texter eller annan information överlagras i realtid på den verkliga världen genom skärmar eller AR-glasögon. AR-data kan exempelvis bestå av kartor, simuleringar, dataetiketter eller visualiseringar av dolda lager, som underjordiska rötter eller trädens tillväxtmönster. Vid fjärrstyrning av skogsmaskiner kan AR användas för att se information om trädens art, höjd och lämplighet för avverkning i realtid, vilket minskar misstag och spill och ger effektiv och precis avverkning, med bättre användning av resurser. När AR-data används för att komplettera video vid fjärrstyrning av skogsmaskiner, ställs ytterligare krav på nätverkets kapacitet och täckning, eftersom AR-data innebär att ytterligare information överförs och bearbetas i realtid t.ex. kan AR-data inkludera 3D-modeller och realtidspositionering. För att AR-overlay ska uppdateras synkroniserat med videoströmmen krävs extremt låg fördröjning, eftersom fördröjningar kan skapa osynk och förvirring för operatören.

Edge computing

Edge computing innebär att databehandling sker nära källan, t.ex. direkt vid skogsmaskiner, i lokala servrar eller i nätnoder, i stället för att skicka all data till en central molntjänst eller fjärrstyrningsplats. Detta gör att kritiska beräkningar och analyser kan utföras snabbt, även i områden med begränsad nätverkstäckning.

Användningsområdena kopplade till skogsindustrins digitala värdekedja:

Avverkning

- Skogsmaskiner använder edge computing för att bearbeta sensordata, navigera med nRTK och köra precisionsverktyg i realtid utan beroende av konstant uppkoppling.

Fjärrstyrning och AR

- Edge-enheter bearbetar video- och AR-data lokalt eller i nätnoder för att minska latens och möjliggöra smidig styrning även med begränsad bandbredd.

Minskad påverkan av täckning

- Eftersom data bearbetas lokalt, minskar beroendet av konstant och högkvalitativ täckning. Endast kritiska data, t.ex. sammanfattningar eller varningar, skickas till centrala servrar eller fjärrstyrningsplatser när nätverk är tillgängligt.
- I områden med svag eller ingen täckning kan edge computing säkerställa fortsatt drift utan avbrott.

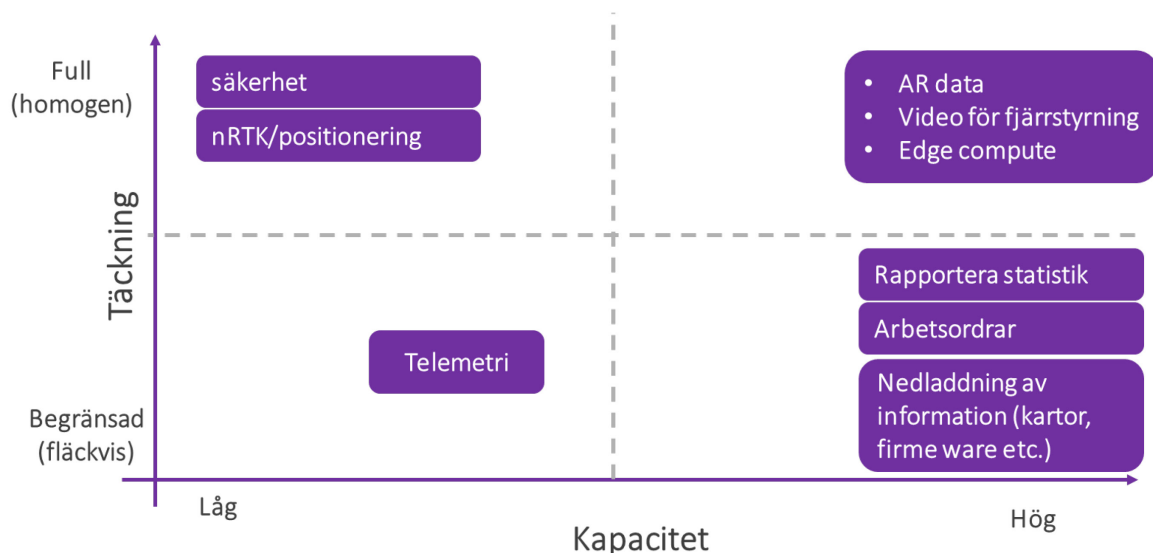
Lägre krav på kapacitet

- Bandbreddskraven reduceras eftersom endast nödvändig information skickas via nätverket, snarare än stora rådatafiler.
- Detta minskar också kostnaderna för dataöverföring och möjliggör effektivare användning av nätverk.

Beroende på hur edge computing implementeras, om det sker i direkt anslutning till maskinen eller i radio-nätoder påverkas de krav som ställs. I grunden är edge computing något som gör att skogsindustrin kan bearbeta data lokalt/regionalt för snabbare och mer robusta lösningar, särskilt i avlägsna områden. Detta minskar beroendet av nätverkets **täckning** och **kapacitet**, vilket är avgörande för att hantera utmaningar i skogsbrukets digitala miljöer.

Sammanställning olika användarscenarion och tekniker

Nedan en bild där scenarion och tekniker ovan relateras till kraven på täckning och kapacitet (datahastighet).



Alternativ för att skapa täckning på avlägsna platser

För att skapa täckning i avlägset belägna områden utan mobilnätstäckning finns flera tekniska lösningar som kan implementeras vilka har olika för- och nackdelar. Beroende på platsens förutsättningar och de behov av kommunikation och datainsamling som skall uppfyllas, kan olika alternativ vara intressanta. Projektet har tittat på alternativ där drönare används för att skapa den lokala radiotäckningen. I huvudsak har följande 4 alternativ utvärderats:

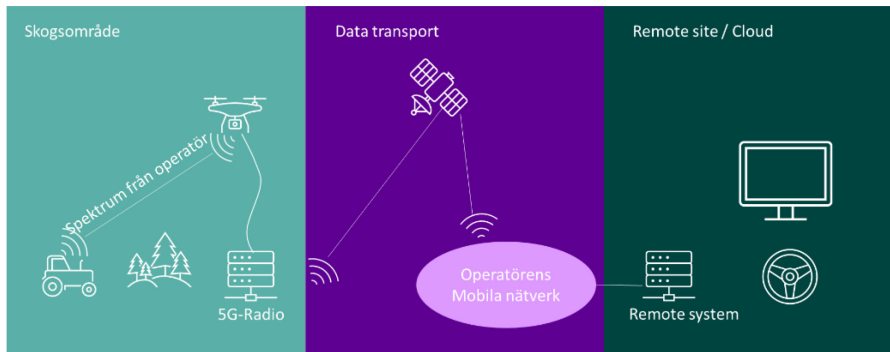
- Förstärkt 5G täckning
 - Området som behöver täckning blir en del av det mobila nätet.
- Förstärkt 5G- täckning med lokal edge
 - Trafiken kan tas ut lokalt (lokalt edge), området som täcks blir en del av det mobila nätet men all trafik måste inte skickas in i nätet.
- Lokalt 5G-nät med anslutning till internet
 - Området som täcks skapar en lokal internetanslutning där 5G teknik används och sedan ansluts till internet.

- Lokalt 5G-nät
 - Utan anslutning till internet.

Förstärkt 5G täckning

Området som behöver täckning blir en del av det mobila nätet.

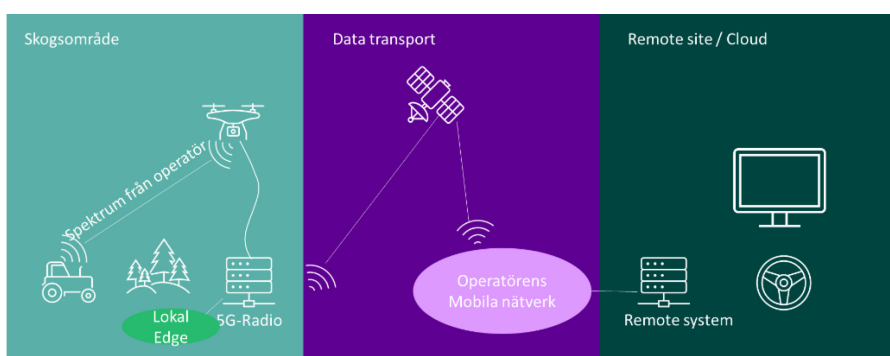
En temporär mast alternativt drönare används för att bära upp en 5G-radioantenn som använder mobil operatörens spektrum och behöver därför radioplaneras i operatörens nät. Radiobasen som står på marken kommunicerar sedan med det mobila kärnnätet och via det till fjärrstyrningsplatsen.



Förstärkt 5G täckning med lokal edge

Trafiken kan tas ut lokalt (lokalt edge), området som täcks blir en del av det mobila nätet men all trafik måste inte skickas in i det mobila kärnnätet. Den stora vinsten med denna typ av lösning är att trafik som kan hanteras lokalt inte behöver transporteras in vidare i nätet vilket minskar behovet av back-haul kapacitet. Dessutom minimeras latensen för denna trafik då den skickas direkt från den lokala radioutrustningen till den lokala edge miljön.

En temporär mast alternativt drönare används för att bära upp en 5G-radioantenn som använder mobil operatörens spektrum och behöver därför radioplaneras i operatörens nät. Radiobasen som står på marken kommunicerar sedan med det mobila kärnnätet och via det till fjärrstyrningsplatsen.

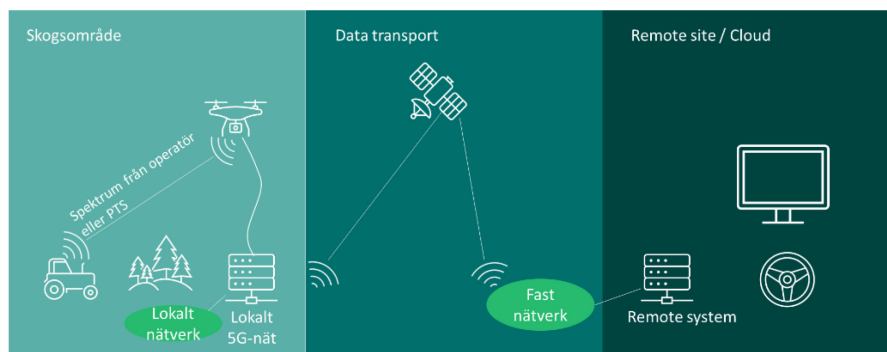


Lokalt 5G-nät med anslutning till internet

I området som täcks skapas en lokal internetanslutning där 5G teknik används. Den lokala internetanslutningen ansluts sedan till internet.

En temporär mast alternativt drönare används för att bära upp en 5G-radioantenn som använder lokalt spektrum (markägaren kan ansöka om spektrum från PTS) eller spektrum via en mobil operatör. Ska en operatörs frekvens användas kräver det dock noggrann radioplanering då det

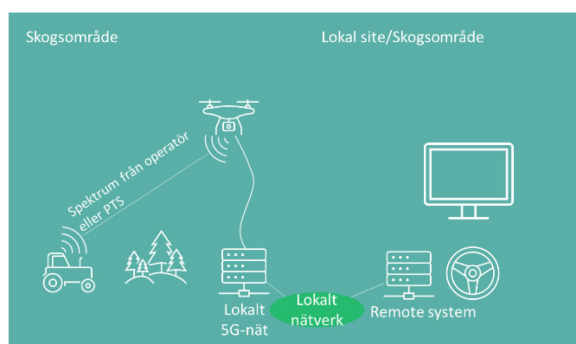
annars kan bli problem i operatörens nät. Radiobasen som står på marken kommunikerar sedan med fjärrstyrningsplatsen via internetanslutning som sker med satellit.



Lokalt 5G-nät

I området som täcks skapas en lokal internetanslutning där 5G teknik används men det finns ingen anslutning till internet.

En temporär mast alternativt drönare används för att bära upp en 5G-radioantenn som använder lokalt spektrum (markägaren kan ansöka om spektrum från PTS) eller spektrum via en mobil operatör. Ska en operatörs frekvens användas kräver det dock noggrann radioplanering då det annars kan bli problem i operatörens nät. Radiobasen som står på marken kommunikerar sedan med fjärrstyrningsplatsen via det lokala nätverket.



Sammanställning för- och nackdelar med olika alternativ

	Förstärkt 5G-täckning	Förstärkt 5G-täckning med lokal edge	Lokalt 5G-nät med anslutning till internet	Lokalt 5G-nät
Behov kopplade till fjärrstyrning och andra användningsscenarion.	Kräver att back-haul som används för anslutning av 5G-radio till det mobila kärnnätet kan hantera fjärrstyrningens karv på bandbredd och svarstider. Inte lämplig för lokal fjärrstyrning då det kräver mobil	Samma som förstärkt 5G täckning med möjlighet till att fjärrstyra maskiner lokalt. Det är möjligt att ha både lokala och centrala dataströmmar för olika behov. Krav på prestandan för back-haul minskar om	Möjliggör att fjärrstyrning kan ske både lokalt och från central plats. Krav på VPN/Internet access är höga i det fall fjärrstyrningen ska ske centralt	Fjärrstyrning kan endast ske lokalt. Andra användningsscenarion förutsätter att internetanslutning kan göras via annan teknik.

	access även till fjärrstyrningen.	fjärrstyrningen kan göras lokalt.		
Legala krav kopplat till spektrum	Anslutningen kan samverka med operatörens övriga radionät och vanliga simkort kan används. Ger möjlighet till stor täckning genom anslutning till mobiloperatörens standardnät	Samma som förstärkt 5G täckning	Lokalt spektrum via PTS eller samarbete med operatör. Används en operatörs spektrum krävs avlägsna platser där använt spektrum inte stör operatörens standardtjänster. Alternativt kan operatören dela med sig av spektrum via multi-operatörs-funktioner där det privata nätet hanteras som en andra operatör.	Lokalt spektrum via PTS eller samarbete med operatör. Används en operatörs spektrum krävs avlägsna platser där använt spektrum inte stör operatörens standardtjänster. Alternativt kan operatören dela med sig av spektrum via multi-operatörs-funktioner där det privata nätet hanteras som en andra operatör.

Praktiskt test av drönare för att skapa mobil täckning

Inom projektet togs en demonstrator fram där en skotare skulle fjärrstyras när den befann sig på en plats med begränsad mobilnätstäckning. För att skapa mobil täckning användes en set-up enligt *Lokalt 5G-nät med anslutning till internet*. Skotaren fjärrstyrdes sedan från en fjärrstyrningsstation 9 mil bort.

Utfört test:

Drönare med 5G utrustning skapade en lokal 5G-radiomiljö som skotaren kunde ansluta till. Drönaren var ansluten med dataförbindelse och strömförsörjning via kablage från marken. 5G nätet som skapades täckte ett område av 1-3 km från drönaren i en sektor på 120 grader.

Drönaren kopplades till en lokal 5G basstation med lokal edge-funktionalitet som tog kommunikationen från drönaren och tillgängliggjorde ett lokalt nät som anslöts till internet via satellit.

Utförda test

Skotaren anslöts till det lokala 5G-nätet och fjärrstyrdes från

fjärrstyrningsstationen i Uppsala. Testet visade att internetanslutningen via satellit var tillräcklig (fördröjningar på ca 100ms) för att kunna uppnå syftet. Initialt gjorde den fördröjning som internetanslutningen skapade att maskinföraren hade vissa svårigheter men efter ett tag anpassade sig maskinföraren till de egenskaper som fjärranslutningen gav och de gick då att på ett tillfredställande sätt styra skotaren som var på plats i Virsbo

Slutsatser testet

Drönare som bärare av 5G-utrustning:

- Under goda väderförhållanden fungerar drönaren riktigt bra. Vid snö, regn och blåst så krävs annan typ av utrustning än den som användes vid testet.
- Antennen som drönaren ska bära behöver vara aktiv (RF delarna sitter i antennen) krävs för att ha enkelt kablage. Vikten på utrustningen och kraftmatningen var det som var mest utmanande för drönarens möjlighet att bära all vikt.

Antenner:

Faktaruta:

Plats: Utanför Virsbo (Surahammar)

Fjärrstyrning från Uppsala

Internetanslutning: satellitanslutning via Starlink

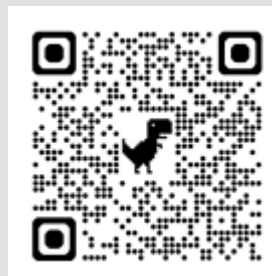
Mobilnätanslutning via 5G: Telia

Utrustning:

- Skotare från Skogforsk
- Drönarlösning från Ericsson
- 5G-nät och 5G-utrustning från Ericsson och Telia
- Fjärrstyrning via fjärrstyrningsstation hos Skogforsk i Uppsala

Demonstratorn i verkligheten.

https://www.youtube.com/watch?v=--g4_noBMgU



- Testen utfördes med sektorantenn (120 grader) och hade god räckvidd i den riktningen som sektorn pekade. Andra typer av antenner kan vara av intresse beroende på vilken typ av yta som ska täckas och möjlig placering av drönare.

Internetanslutning via satellit:

- StarLink användes som koppling mot Internet dit också fjärrstyrningsutrustningen var kopplad och i detta försök fungerade systemet riktigt bra. Dock så ger en satellitanslutning en del extra fördröjningar som kan orsaka korta avbrott, speciellt i de norra delarna av Sverige

Testets relevans för andra set-up:

- Lösningen går att använda i flera av de identifierade alternativen för set up.

Installation/hantering:

- För demonstratorn krävdes en hel del arbete för att få ordning på de ingående delarna. För att detta ska bli kommersiellt gångbart och fungera i praktiken behöver installation och hantering av drönarlösningen och anslutningen till internet och skapandet av den lokala internetbubblan ske med automatik. Den arbetssituation som råder i skogen förutsätter att den personal som tex. etablerar en ny avverkningsplats kan hantera den utrustning som krävs. Hela området för att etablera en ny plats och lämna en plats förutsätter hög automatiseringsgrad och en lösning som kan liknas vid plug and play.

Insikter och rekommendationer framåt

Lönsamhet

Insikter

En av de största lönsamhetsutmaningarna för kommersiell utveckling av demonstratorn är den tekniska komplexiteten som krävs för att skapa stabil och tillförlitlig täckning i avlägsna områden. Att använda drönare för att etablera 5G-täckning och skapa temporära nätverk kräver att flera tekniska utmaningar måste lösas så, vilket innebär ökad komplexitet och därmed höga kostnader både för initial installation och långsiktig enkel drift. Fyrfältaren som tidigare presenterades visar på hur de mest tekniskt krävande lösningarna som innebär hög täckning och hög kapacitet även medför de största kostnaderna. För att kunna fjärrstyra skogsmaskiner eller överföra video i realtid från avlägsna platser krävs hög täckning och kapacitet vilket ökar den ekonomiska risken.

Ytterligare, måste lösningen vara så pass enkel att den kan användas effektivt med minimal personalinsats på plats för att vara ekonomiskt gångbar på lång sikt. Det krävs fortsatt arbete och investeringar för att förenkla installation, drift och nedtagning.

Rekommendationer framåt

För att motivera framtagandet av nya lösningar inom området bättre täckning och kapacitet för internetanslutning krävs efterfrågan som är större än den som skogsindustrin ger. Ett antal huvudsakliga områden behöver därför utvecklas.

- 1) För att teknologin som ska användas ska vara lönsam krävs det en efterfrågan som kan rättfärdiga de höga utvecklings- och driftkostnaderna. Målgruppen behöver utökas till en eller flera av de områden som identifierats (lantbruk, energisektorn, sjukvård, transport/logistik, räddningstjänst, turism och friluftsliv, utbildning, fastighetsutveckling eller militära tillämpningar).
- 2) Tekniken måste vara enkel och kostnadseffektiv för att dra nytta av storskalsfördelar.
- 3) Lösningen bör ha "plug and play"-funktioner för enkel installation, drift och nedtagning som passar skogsindustrins arbetsprocesser.

Teknik för att skapa täckning

Insikter

Drönlösningen testades under optimala väderförhållanden och visade då på god funktionalitet. I verkligheten, där väderförhållandena kan vara mycket varierande, ställs dock systemet inför större utmaningar. Under dagar med regn, blåst eller snö kan kommunikationssignalerna försvagas, särskilt vid användning av högre frekvenser som 5G. Detta problem kommer sannolikt att bli ännu mer påtagligt när nästa generations 6G-teknologi implementeras, som förväntas använda ännu högre frekvenser, vilket gör signalen mer känslig för väderrelaterade hinder och kuperad terräng.

Drönaren i sig är också beroende av specifika väderförhållanden för att kunna flyga effektivt. För att säkerställa att drönaren kan lyfta och navigera på ett stabilt sätt krävs milda vind- och nederbördförhållanden. Det har även tydligt lyfts att skogsindustrin inte har privilegiet att stå still och invänta bättre väderförhållanden. Detta innebär att dagens lösning i praktiken kan innebära driftstopp och fördröjningar vilket medför att det kommer krävas ytterligare investeringar i teknik som kan hantera dessa faktorer på ett bättre sätt.

Rekommendationer framåt

- 1) Utrustning: Se över antenntekniken och antennval för att skapa mer väderbeständiga alternativ. En mer robust lösning skulle kunna inkludera fasta kommunikationspunkter snarare än att förlita sig på drönare. Detta skulle bidra till att skapa en mer stabil och tillförlitlig täckning även under svåra väderförhållanden.
- 2) Nätverksoptimering: För att säkerställa en stabil och effektiv anslutning, även när vädret eller terrängen påverkar signalen negativt, bör man titta på teknologier som kan anpassa nätverkskommunikationen i realtid. Ett exempel är länkadaptering, som kontinuerligt övervakar nätverkets kvalitet och justerar inställningarna för att bibehålla en stark och pålitlig förbindelse, även när förhållandena förändras. Genom att dynamiskt anpassa hastigheten och mängden data som skickas kan systemet optimera både täckning och prestanda, vilket förbättrar kommunikationens stabilitet.

Säkerhet

Insikter

Kommunikationsstörningar, såsom de GNSS-störningsattacker som gjordes från Ryssland under 2024, har blivit ett allt vanligare problem och utgör ett hot mot stabiliteten, störningar och avbrott, i fjärrstyrda system. Ett ytterligare säkerhetshot är risken för att obehöriga får kontroll över den fjärrstyrda maskinen, vilket kan vara särskilt kritiskt inom militära tillämpningar.

En annan säkerhetsutmaning med fjärrstyrda maskiner är risken för kollisioner med människor eller objekt i deras omgivning. Eftersom maskinerna styrs på avstånd och inte har den direkta uppsikten som en mänsklig förare skulle ha, kan det finnas en ökad risk för att människor eller föremål inte upptäcks i tid, vilket kan leda till olyckor. Till detta kommer även risken för själva maskinerna. Eftersom fjärrstyrda maskiner är beroende av kommunikationssystem och tekniska komponenter som kan påverkas av externa faktorer, kan systemfel eller centralstyrning leda till att maskinen tar skada vid exempelvis kollision. Dessutom innebär fjärrstyrning att maskinen inte alltid har samma typ av återkoppling som en förare skulle ha, till exempel feedback om vibrationer, temperaturförändringar eller andra mekaniska indikatorer. Detta kan försvåra upptäckten av problem innan de eskalerar och leder till skador på maskinen.

Rekommendationer framåt

- 1) Implementera säkerhetssystem som hanterar externa störningar. För att minska riskerna med störningar i kommunikationen, som kan påverka fjärrstyrning av maskiner, bör system som kan känna av och hantera förlust av signal eller störningar användas. Detta kan innefatta automatisk återkoppling av kontrollen till operatören om kommunikationen avbryts, eller att maskinen själv kan gå in i ett "säkerhetsläge", där den stannar eller körs tillbaka till en säker zon, vilket förhindrar oavsiktliga rörelser och skador på omgivningen.
- 2) Utrusta maskinen med sensorer som kan upptäcka objekt eller människor inom ett definierat riskområde. Om en riskidentifiering sker, bör maskinen automatiskt stanna eller vidta åtgärder för att undvika skada. Samtidigt bör maskinen också vara utrustad med sensorer som övervakar dess egen hälsa, inklusive faktorer som vibrationer temperatur och andra mekaniska indikatorer då fjärrstyrning minskar förarens direkta feedback om maskinens tillstånd.

Enkelhet

Insikter

För att lösningen ska vara ekonomiskt gångbar måste användarvänlighet göra att den personaltid som tas i anspråk minimeras. Tre områden har identifierats som särskilt viktiga för vidare utveckling:

1. Installation

Systemet bör vara så enkelt att en person kan starta drönaren och säkerställa att den är korrekt uppkopplad utan omfattande förberedelser.

2. Drift

Minimera antalet fel och gör det enkelt att förstå hur dessa kan åtgärdas.

3. Nedtagning

När drönaren inte längre används bör det vara enkelt och säkert att ta ner den, förvara den på ett skyddat sätt och förbereda den för återanvändning, utan att detta kräver mycket tid eller avancerad utrustning.

Rekommendationer framåt

- 1) En första fas för att enklare åtgärda eventuella problem kan vara att fjärrstyra maskinen medan föraren befinner sig på nära avstånd. Detta skulle fortfarande förbättra

arbetsförhållandena genom att eliminera skadliga vibrationer och göra maskinen lättare, vilket i sin tur förlänger avverkningssäsongen.

- 2) För att lösa personalbristen i glesbefolkade områden kan förarna vara baserade i städerna, medan ett mindre antal anställda har ansvaret att resa mellan platser för att koppla upp, hantera problem och ta ner uppkopplingslösningen. Detta skulle ställa lägre krav på enkelheten, eftersom användarna i detta fall skulle vara experter med den nödvändiga tekniska kunskapen för att hantera mer komplexa system och lösningar.

Rekommendation framåt kopplat till skogsindustrins användarscenarion

Kort sikt

Rekommendationen på kort sikt är att fokusera på de användarscenarion som ligger inom fält A och B. Dessa användarscenarion ligger närmare det som är tekniskt kommersiellt och där möjlighet finns för att använda de lågbandiga lösningar som mobilnätet kommer kunna leverera genom LTE-M (Long-Term Evolution for Machines) som är optimerad för IoT (Internet of Things). Inom detta område fångar man användarscenarion som säkerhet, användning av nRTK data samt Telemetry.

Medellång sikt

På medellång sikt är rekommendationen för användningsscenariot för fjärrstyrning att först etablera möjlighet till att fjärrstyra maskiner i direkt anslutning till den plats maskinen verkar. Det vill säga inte styra maskinen från en central (avlägsen) plats utan först adressera de värden som skapas av fjärrstyrning lokalt. I första hand säkerhet och arbetsmiljö för förare, påverkan på marken utifrån att maskinen blir lättare då maskinen kan byggas utan förarhytt. Detta ger också möjlighet att använda mindre avancerade tekniker som gör det enklare att etablera en lokal bubbla med täckning utan att det krävs god internetuppkoppling från platsen.

Lång sikt

På lång sikt är rekommendationen att jobba med att säkra affärsmodeller och produkter som möter även skogsindustrins mest avancerade lösningar med centraliserad fjärrstyrning. För att detta ska bli verklighet krävs både tekniker som uppfyller de prestandamässiga kraven av internetanslutning och de praktiska/användarmässiga kraven kopplat till etablering och nedtagning av temporära platser med förstärkt eller ny täckning.

Efterord

Denna rapport är skriven av Pro&Pro på uppdrag av Mittuniversitetet inom ramen för forskningsprojektet Robust trådlös infrastruktur för fjärrstyrd virkeshantering.