



Vinnovaprojekt "5G för industrin"; Riktlinjer för planering, uppbyggnad och drift av lokala 5G-nät för industriellt bruk

Författare:

Tommy Ljunggren, Ljunggren Consulting Team
Claes Beckman, Jan Markendahl, KTH
Joakim Quensel, PTS
Tobias Luthman, Lennart Lundgren, Scania
Erik Rösch, Mathias Holmberg, Tele2
Pieter van der Star, Peter Enmalm, Åkerströms Björbo AB

Sammanfattning

Om man sammanfattar det projektet kommit fram till i några korta slutsatser så kan man konstatera att det är enkelt att implementera ett lokalt privat 5G nät. Det finns flera olika företag/aktörer som säljer lösningar för lokala 5G nät. Utbudet av 5G uppkopplade verktyg och saker var väldigt begränsat i början av projektet men har ökat sakta under projektets gång. Det är fortfarande ovanligt med 5G inbyggt i verktyg och maskiner utan de använder oftast separata modem.

Utmaningarna med ett lokalt 5G nät ligger inte i 5G tekniken i sig utan hur man ska använda de möjligheterna man erbjuds och hur man ska integrera det i produktionen och organisationen på ett effektivt och säkert sätt. Man bör också börja smått med att lösa enklare och nya problem, exv. införande av Automated Guided Vehicle, AGV, snarare än att tro att man ska styra industrirobotar och hela produktionslinor som det första steget i implementeringen av lokala 5G nät.

Marknadsföringen av 5G har varit väldigt fokuserad på korta svarstider och höga hastigheter men vi har i projektet inte uppnått de korta svarstider som ofta utlovas och variationerna i svarstider har också varit för stora för att användas i processtyrning. Systemet vi använt är ett demosystem och inte optimerat men vi hade ändå förväntat oss bättre prestanda. En positiv överraskning är dock den täckning som man kan uppnå med den högre effekt som de lokala 5G tillstånden tillåter.

En viktig erfarenhet är också hur viktigt det kommer att vara med tydliga roller i hela kedjan, från företaget som vill nyttja och bygga ett lokalt 5G nät, leverantörerna av utrustning och maskiner som ska kopplas upp med 5G, "operatören" av nätet och leverantören av 5G nätets komponenter. En annan viktig roll blir systemintegratören som ska integrera de 5G uppkopplade enheterna med övriga produktionssystem (OT) och administrativa system (IT).

Den aspekt som vi inte lyckades slutföra i projektet var mätningar av eventuella störningar mellan de publika och lokala 5G näten respektive mellan lokala nät. Det är en viktig aspekt som kommande projekt bör utreda.

Förkortningar

5G - Femte generationens mobilnät

AGV - Automated Guided Vehicle (Automatiserat styrt fordon)

BBU - Baseband Unit (Basbandsenhet)

DOT – Radiosändaren i Ericssons nät lösning

eMBB - Enhanced Mobile Broadband (Förbättrad mobil bredband)

GNSS - Global Navigation Satellite System (Globalt navigationssatellitssystem)

IoT - Internet of Things (Sakernas internet)

IT - Information Technology (Informationsteknik)

LoRa - Long Range (Lång räckvidd)

mMTC - Massive Machine Type Communication (Massiv maskintypkommunikation)

NFC - Near Field Communication (Närfältskommunikation)

NPN - Non-Public Networks (Icke-publika nätverk)

OT - Operational Technology (Operativ teknik)

PTS - Post- och Telestyrelsen

PTT - Push-To-Talk (Tryck-för-att-tala)

RED - Radio Equipment Directive (Radioutrustningsdirektiv)

SIM - Subscriber Identity Module (Abonnentidentitetsmodul)

SI - Systemintegratör

URLLC - Ultra-Reliable Low-Latency Communication (Ultrapålitlig låg-latenskommunikation)

VLAN - Virtual Local Area Network (Virtuellt lokalt nätverk)

VRF - Virtual Routing and Forwarding (Virtuell routning och vidarebefordran)

WAN - Wide Area Network (Stadsnät)

WiFi - Wireless Fidelity (Trådlös nätverksteknik)

Innehåll

1	Bakgrund till rapporten.....	4
2	Inledning.....	4
2.1	Syfte och målgrupp.....	4
3	Bakgrundsfakta om 5G och lokala 5G nät.....	8
3.1	Allmänt om privata 5G nät, "Non-public networks" respektive lokala 5G nät.....	8
3.2	Tilldelning av nationella och lokala tillstånd i Sverige.....	9
3.3	Privata 5G-nät jämfört med WiFi.....	11
4	OT respektive IT.....	13
5	Krav och förutsättningar för den egna verksamheten.....	15
5.1	Verksamhetens behov alternativt problem och användningsfall.....	15
5.2	Regulatoriska säkerhetskrav.....	16
5.3	Befintliga system och uppkopplingar.....	17
5.4	Tekniska krav och praktiska förutsättningar.....	17
5.5	Systemintegration.....	17
5.6	Säkerhetskrav.....	18
5.7	Egen och extern kompetens.....	18
5.8	Drift och övervakning.....	19
5.9	Behov av testmiljö och demosystem.....	19
5.10	Krav och förutsättningar för verktyg, maskiner, modem och andra anslutna enheter.....	20
5.11	Noggrann positionering av enheter i rummet.....	21
5.12	Övriga förutsättningar.....	21
6	Underlag som behövs för olika delar tas fram.....	22
6.1	Underlag radionätplanering.....	22
6.2	Verktyg för radionätsplanering.....	23
6.3	För installation och nätuppbyggnad.....	23
7	Genomförda tester och erfarenheter.....	24
7.1	Radionät.....	24
7.2	Jämförelse med Wi-Fi.....	26
7.3	Synkronisering av nätet.....	26
7.4	Modem och "devices".....	27
7.5	Sammanfattning av prestanda.....	28
8	Drift och underhåll.....	29
8.1	Ansvarsfördelning.....	29
8.2	Övervakning och felrapportering.....	29
9	Sammanfattande reflektioner och rekommendationer.....	30

1 Bakgrund till rapporten

Denna rapport bygger på utredningsarbete, analys och resultat för den studie som vi genomfördes under perioden juli 2022 – Oktober 2024 inom Vinnova-projektet ”Test och utvärdering av lokala 5G nät och lokalt spektrum för digitalisering av industriella system och produktion lokal spektrumanvändning för industriella radiosystem”¹ (Vinnova projekt 2022–01725). Arbetet har finansierats av det strategiska innovationsprogrammet Smartare elektroniksystem - en gemensam satsning av Vinnova, Formas och Energimyndigheten. Projektdeltagare i projektet har varit Boliden, KTH, Post och Telestyrelsen, Scania och Åkerströms.

Rapporten utgör en sammanslagning av de två första (R1 resp R2) av de tre utlovade rapporterna i projektet. Prestanda för det lokala 5G nätet, som var syftet med rapporten R1, har därför inkluderats i kapitel 7. Målgruppen för rapporten är företag som avser att bygga (eller låta bygga) lokala 5G-nät för den egna verksamheten, och/eller företag som vill undersöka möjligheter och förutsättningar för att bygga sådana nät. Rapporten inriktas på det underlag som användaren (företaget) behöver ta fram; detta innefattar dels krav och behov för verksamheten, operationella aspekter samt processer för drift av 5G nät, och dels underlag avseende upphandling, planering och uppbyggnad av nät, integration mot övrig OT/IT, installation och tester som behövs. I en annan rapport² sammanfattas bakgrund och underlag som behövs för att ansöka om lokala spektrumtillstånd samt för hantering av samexistens mellan olika radiosystem.

2 Inledning

Lokala 5G nät är identifierade som en viktig komponent för digitalisering och automatisering inom industri och andra sektorer. Man pratar mycket om Industri 4.0 där såväl traditionell IT för företagen och så kallad OT³ system, dvs tekniska system i produktionen, kommer att behöva kopplas upp med såväl fast (fiber) som mobila (radio) förbindelser i en allt större utsträckning. Exempel på uppkopplade OT system kan vara såväl industrimaskiner som självgående truckar, mutterdragare o s v men innefattar även sensorer och kameror som med avancerade AI system kan följa, styra och säkerställa såväl kvalitet som säkerhet i produktionen. I utvecklingen av 5G har man i stor utsträckning försökt möta de krav som uppkoppling av OT ställer och de ökande kraven på IT. Man har ökat datahastigheterna väsentligt för applikationer som kräver det med (Enhanced Mobile Broadband - eMBB), man har förbättrat stödet för ett stort antal IoT enheter på liten yta (Massive Machine Type Communication – mMTC) och man har förkortat fördröjningarna och svarstider i systemet (Ultra-Reliable Low-Latency Communication -URLLC). Det finns därför ett stort intresse hos industriföretagen för kunskap om hur man kan nyttja möjligheterna med lokala 5G nät och vilka möjligheterna och hindren är.

Lokala 5G nät är per definition ett dedicerat 5G nät som har en begränsad geografisk utbredning, oavsett vem som har byggt och sköter nätet respektive vem som äger spektrum för att driva nätet. I detta projekt har vi använt ett nät med eget spektrum som ägs av industriföretaget (Scania) men som planerats, byggts och sköts av en publik operatör (Tele2). I rapporten kommer vi även kort redovisa andra modeller man kan använda och erfarenheter som vi i projektet fått från ett annat företag med eget lokalt 5G nät.

2.1 Syfte och målgrupp

Målgruppen för denna rapport är företag som avser att bygga (eller låta bygga) lokala 5G-nät för den egna verksamheten, och/eller företag som vill undersöka möjligheter och förutsättningar för att bygga

¹ I Vinnova databasen har projektnamnet på en felskrivning fått namnet ”Test och värdering av lokala 5G nät och lokalt spektrum för digitalisering av industriella system och produktion lokal spektrumanvändning för industriella radiosystem”

² TRITA-EECS-RP-2024 ”Vinnovaprojekt ”5G för industrin:

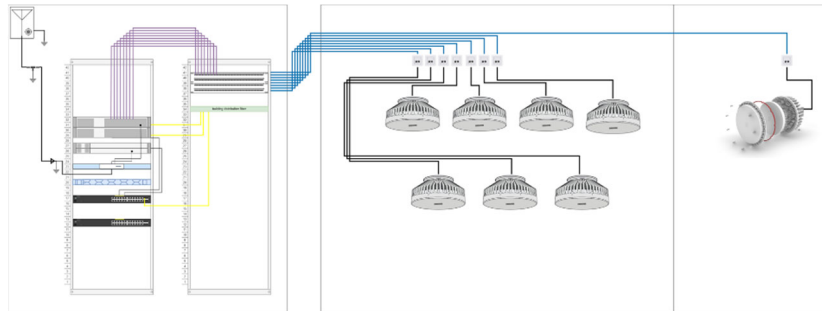
Underlag för riktlinjer för hantering av frekvenser, samexistens och störningar”

³ Operational Technologies: https://en.wikipedia.org/wiki/Operational_technology

sådana nät. Rapporten inriktas på det underlag som användaren (företaget) behöver ta fram; Metodik och arbetsgång

2.1.1 Planering och uppbyggnad av 5G test nät

Inom projektet har Tele2 planerat, byggt upp och driftsatt ett lokalt test nät i en industriell miljö på Scania. Nätet bygger på en Ericsson Enterprise Networks lösning med 8 radioenheter (DOT⁴) kopplade till en gemensam basstation med två separata celler och ett lokalt skärnät (Network Controller). Nätet har inte integrerats med normala driftsystem eller kärnnätet hos operatören utan har hanterats helt separat från det publika nätet. Nätet är dock synkroniserat mot de publika näten med hjälp av en GNSS/GPS ⁵mottagare på taket på den byggnad där testnätet byggts upp vilket innebär att störningar av/från de publika 5G näten är försumbara.



Figur 1 Det lokal 5G nätet

Scania har planerat, förberett och installerat alla Ethernet- och fiberkablar som krävs för att koppla upp alla radioenheter (DOTs) mot basstationsutrustningen och kärnnät på plats, samt för uppkoppling mot övriga system och nät. Scanias personal har även installerat all utrustning från Ericsson som krävs för det privata nätet. I planering har även ingått att ansöka hos Post- och Telestyrelsen om spektrumtillstånd för lokalt 5G nät på den fastighet där testmiljön skulle implementeras för att lära oss mer om tillståndprocessen. Tillståndet omfattar idag 80 MHz tilldelning i frekvensbandet 3.72 GHz-3.8 GHz som är det band PTS avdelat för lokala privata 5G nät i Sverige.

Scania och Åkerströms har byggt prototyper baserat på samma typ och modell av 5G modem för att applicera på projektets olika användningsfall av uppkopplade industriella kontrollsystem. Då tekniken vi använt är relativt ny och det fortfarande är brist på 5G utrustning/modem är varken nätet eller utrustningar byggda eller integrerade för fullskalig industriell produktionsdrift utan det ska observeras att det är en testmiljö med sämre driftsstabilitet än ett optimerat industriellt system. Som exempel kan nämnas att Åkerströms integrerat 5G i styrsystemet för sina kranar, utan att kopplat upp någon kran till styrningen.

⁴ <https://www.ericsson.com/en/small-cells/indoor-coverage>

⁵ <https://www.ericsson.com/en/reports-and-papers/ericsson-technology-review/articles/5g-synchronization-requirements-and-solutions>



Figur 2 Test av "kranstyrning"

2.1.2 Tester i testmiljön på Scania

Ett stort antal tester och försök har genomförts i testmiljön på Scania för att lära oss mer om nätets prestanda i frågan om täckning, kapacitet etc. Tester har även genomförts hur uppkopplingen av olika modem och testutrustningar fungerar. Det har även omfattat felsökning och felrättning då SIM-kort och mjukvara i modem inte fungerat tillsammans.

För att skapa en bakgrundslast i systemet har ca 10 enheter sats upp runt om i lokalen som har genererat datatrafik mer eller mindre kontinuerligt. Testerna har sedan genomförts med relativt enkla testverktyg och vi har även kunnat ta ut statistik medinbyggda funktioner i 5G modemerna.

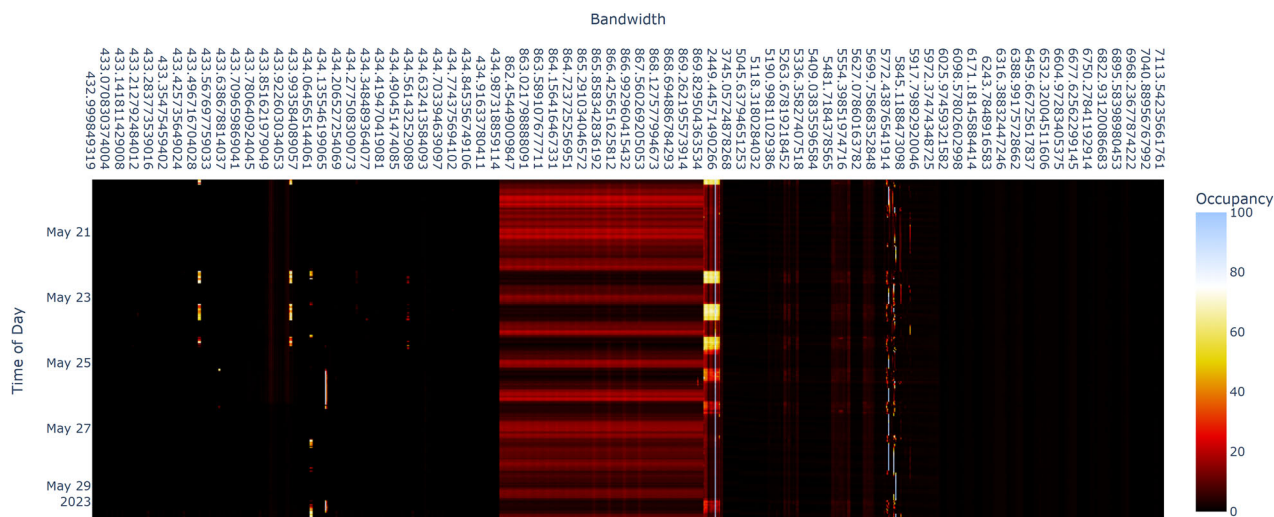
2.1.3 Mätningar av befintliga radiosignaler innan installation

Scania använder sedan länge ett stort antal dedicerade radiosystem för styrning av diverse processer: LoRa⁶ sensorer med mera och givetvis även flera olika WiFi nät. Tillsammans med PTS har därför mätningar av befintliga radiosignaler i flera olika lokaler hos Scania genomförts för att utröna vilka frekvenser och system som används redan idag och hur mycket de används. Motsvarande mätningar⁷ är även viktiga för att upptäcka eventuellt dolda, avsiktligt eller oavsiktligt, sändare som kan finnas implementerade i olika typer av utrustning.

Mätningarna användes även för de teoretiska studierna för att se om det fanns någon användning av frekvenserna som tilldelats för det lokala 5G nätet på Scania i närheten som skulle kunna störa i industribyggnaden. Några sådana signaler kunde inte uppmätas.

⁶ <https://en.wikipedia.org/wiki/LoRa>

⁷ NIST.IR.8195 "Requirements for Spectrum Monitoring in Industrial Environments" [NIST.IR.8195.pdf](#)



Figur 3 Mätning av använda radiofrekvenser i anläggningen

2.1.4 Tester av samexistens i operatörens egen testmiljö

Utöver tester i testmiljön var tester av samexistens planerade i en testmiljö hos mobiloperatören Tele2. Testmiljön är radiomässigt helt isolerad från omvärlden och lämpar sig för tester som annars skulle kunna störa de publika näten eller andra system. Testerna var fokuserade på samexistens av privata och publika nät och på att utröna eventuella störningar mellan det lokala nätet och det publika 5G nätet. Av speciellt intresse hade varit att undersöka förekomsten av störningar om det lokala nätet radiosändning respektive mottagning inte är tids och fas synkroniserat med det publika nätet eller om det använder en annan struktur än det publika nätet (problemet beskrivs senare i rapporten). Vi avsåg även att testa om man kan undvika störningar genom att använda radiofrekvenser/kanaler med olika (spektrum)avstånd mellan varandra för det lokala och det publika nätet.

Tyvärr har dessa tester inte kunnat genomföras på grund av andra prioriterade aktiviteter i operatörens testanläggning. Vi har därför inte kunnat verifiera resultaten av de teoretiska studierna nedan men hoppas kunna genomföra testerna efter projektet då resultatet kan anses av stor betydelse.

2.1.5 Teoretiska studier kring samexistens mellan publika och privata 5G nät

Projektet har genomfört en teoretisk studie av eventuella störningar som kan uppstå mellan det lokala nätet och det publika nätet. Resultaten har även publicerats i ett examensarbete⁸ men summeras även i denna rapport. I avsaknaden av testresultat kan resultaten av den teoretiska studien användas som underlag för företag som vill bygga lokala 5G nät men även för Post och Telestyrelsen i sitt arbete med framtagning av regler tilldelning av spektrumtillstånd för lokala 5G nät.

2.1.6 Dialoger och intervjuer av leverantörer, integratörer och användare av privata nät

Inom ramen för projektet har vi intervjuat leverantörer av lokala 5G nät samt andra företag som använder eller planerar lokala 5G nät i sin verksamhet. Det har skett i formen av workshops eller enskilda diskussioner. Bland dessa finns såväl Combitech, AFRY, Radtonics som industriföretagen Boliden, Sandvik/Alleima, Fiskarhedens Trävaru AB, Holmen Iggesund med flera. Några av dessa företag finns även representerade i referensgruppen för projektet och har även där delat med sig av

⁸ Bn Nafi Hassan Mohammed Ibrahim O. Analysis of The Co-existence of Local and Macro Mobile Networks [Internet] [Dissertation]. 2023. (TRITA-EECS-EX). Available from: <https://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:kth:diva-343968>

sina erfarenheter. En del av erfarenheterna från ovanstående parter är sammanfattade och inkluderade i rapporten men oftast utan direkt referens till respektive företag.

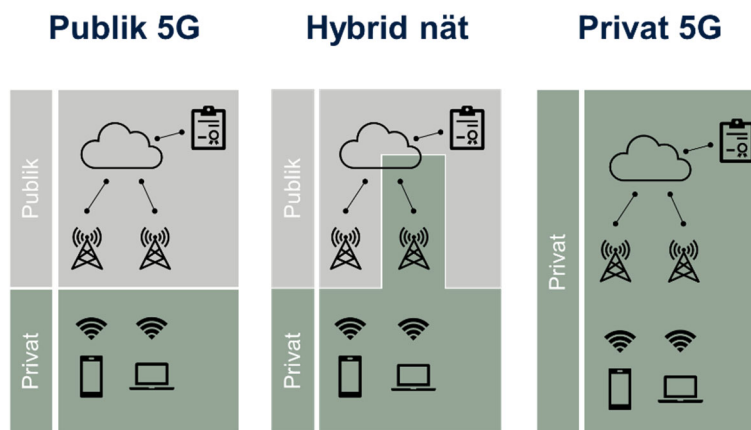
2.1.7 Observationer av fel, brister och möjliga förbättringar

Sist men inte minst har vi givetvis stött på problem och brister i den tekniska lösningen och processerna kring testnätet som vi har försökt sammanfatta i rapporten.

3 Bakgrundsfakta om 5G och lokala 5G nät

3.1 Allmänt om privata 5G nät, "Non-public networks" respektive lokala 5G nät

Det finns inte en tydlig definition av privata 5G nät och det behöver inte nödvändigtvis vara ett lokalt nät. Men, om vi ska försöka definiera vad ett privat 5G nät är så är det en 5G-nätresurs som är dedicerad till ett företag, organisation eller en person och som används för eget bruk/produktion och inte för att sälja telekomtjänster till andra, dvs "non-public use". Privata nät⁹ kallas därför ofta Non Public Networks (NPN), Private Networks (PN) eller på svenska "icke publika nät". Det finns dock flera olika sätt att implementera ett privat nät som är olika hårt knutet till de publika näten eller inte alls.



Figur 4 Olika modeller för privata nät

3.1.1 Lokalt nät som med eget spektrum inom begränsat geografiskt område

Ett företag kan ansöka om spektrumtillstånd inom sina egna fastigheter, bygga ett antal basstationer som kopplas till ett eget skärnät. Skärnätet kan vara implementerat på företagets egna servrar som står på samma plats som radionätet (s.k. "on premise") eller på annan plats och företaget kan även köpa skärnätets funktion som en molntjänst. Valet mellan en on-premise lösning eller en molnlösning beror i oftast på om man av säkerhetsskäl vill placera bolagets data i molnet och om man vågar lita på att förbindelsen till molnlösningen är tillräckligt robust. Om man har stora mängder data i sin produktion krävs även en förbindelse med väldigt hög kapacitet till molnlösningen.

Företaget köper en lösning för att sköta det privata 5G nätets alla komponenter såsom SIM-kort hantering, terminalhantering, radionätsplanering och konfigurering o s v. Dessa funktioner kan också vara inkluderade i skärnätslösningen. Man kan köpa in allt som en tjänst från leverantörer, systemintegratorer eller från de publika mobiloperatörerna. Man kan även välja att sköta allt detta själv då det inte är väldigt komplicerat att sköta ett nät med ett fåtal basstationer om man köper rätt verktyg. Det finns många olika leverantörer av kompletta privata 5G nät och kring-system, exv. de stora systemleverantörerna men även många mindre leverantörer, om man väljer att köpa och integrera de olika komponenter själv. Man ska dock inte underskatta det arbete som kan krävas för att

⁹ Ahmed A. Comparison of Operator and Nonoperator Managed 5G Non-Public Networks (NPNs): Implications for Network Architectures and Cost Structures [Internet] [Dissertation]. 2023. (TRITA-EECS-EX). Available from: <https://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:kth:diva-340092>

integrera och anpassa det privata 5G nätet och de mobila terminalerna/modemen till den befintliga OT/IT miljön, fordon och maskinerna på företaget.

Det här sättet att bygga ett privat 5G nät kallas ofta för "*stand alone private network*" och vårt testsystem i projektet kan sägas vara ett sådant nät även om det planerats och byggts av en mobiloperatör så är den inte integrerad med det publika nätet.

3.1.2 Privatnät som är integrerat med det publika nätet men som nyttjar eget/privat spektrum inom ett geografiskt begränsat område

Företaget kan själva söka och äga spektrumtillståndet för nätet eller låta mobiloperatören söka det åt företaget. Mobiloperatörerna kan sedan erbjuda företaget ett privat nät som en tjänst där man planerar, bygger upp och sköter ett privat 5G nät åt företaget.

Operatören kan med denna lösning bygga det privata nätet åt företaget på ett sätt så att operatören kan återanvända olika delar i det publika nätet, exv. SIM-korthantering, driftövervakning o s v. Det går även för operatören att utnyttja gemensamma basstationer som både sänder ut det privata nätets frekvenser och det publika nätets frekvenser för att även förbättra täckningen för de publika kunderna. Det blir då vad man brukar kalla ett "*hybrid private network*".

Precis som ovan ska man dock inte underskatta det arbete som kan krävas för att integrera och anpassa det privata 5G nätet och de mobila terminalerna/modemen till den befintliga OT/IT miljön, fordon och maskinerna på företaget. Som företag måste man därför säkerställa att det antingen ingår i tjänsten från operatören eller att man kan köpa det från annan part om man inte kan göra det själv.

3.1.3 Privat nät som är en del av det publika nationella nätet och nyttjar publika spektrum

Ett ytterligare sätt för företag att skapa ett privat nät är att köpa ett "virtuellt WAN" i operatörens nät. Det fungerar i stort sett på samma sätt som ett VPN-nät över internet där man skapat tunnlar i nätet som bara det specifika företaget har tillgång till. Det passar väldigt bra om man vill bygga upp ett privat nät men över stora geografiska ytor eller till och med över flera länder. Operatörerna kan med denna lösning erbjuda olika typer av prioritering och kvalitetsklasser. Populärt kan detta kallas för *Network Slicing* även om även definitionen av det inte heller är entydig.

Ett virtuellt privat nät köper företaget som en tilläggstjänst av operatören på befintliga abonnemang och den kan även kombineras med att operatören förstärker täckningen med nya basstationer på (för företaget) viktiga platser, exempelvis i fabriken eller på kontoret. De nya basstationerna blir normalt då en del av det publika nätet och tillgängligt för alla abonnenter hos den operatören.

Åter igen ska man inte underskatta det arbete som kan krävas för att integrera och anpassa det privata 5G nätet och de mobila terminalerna/modemen till den befintliga OT/IT miljön, fordon och maskinerna på företaget. Som företag måste man därför säkerställa att det antingen ingår i tjänsten från operatören eller att man kan köpa det från annan part om man inte kan göra det själv.

3.2 Tilldelning av nationella och lokala tillstånd i Sverige

Tilldelning av s k spektrumtillstånd, dvs tillstånd att använda en speciell frekvensresurs ("radiokanal"), görs av Post och Telestyrelsen (PTS) i Sverige på uppdrag av riksdagen. Deras uppdrag är att på bästa sätt se till att naturresursen utnyttjas. PTS tilldelar såväl nationella som lokala tillstånd i alla möjliga spektrumband till såväl privatpersoner som till företag och organisationer. Vissa delar av frekvensbanden är s k *tillståndsfria* och får användas utan tillstånd, exv. frekvenser för WiFi, men man har då heller ingen kontroll över störningar från andra användare. Det finns även ett litet frekvensband, totalt 2*5 MHz i 1800 MHz bandet, som går att använda inomhus för 4G utan tillstånd. De flesta frekvensband är dock tillståndspliktiga och tillstånd tilldelas dels som nationella tillstånd, dvs ett tillstånd för hela landet, eller lokala tillstånd som bara får nyttjas i ett speciellt geografiskt område.

De nationella tillstånden för de frekvenser som används för 4G och 5G i Sverige tilldelas genom auktioner som PTS arrangerar och de tillstånden är normalt giltiga i 15–25 år. Det är flera olika frekvensband som används för 4G och 5G, från 450 MHz till 3.72 GHz, som operatörerna kombinerar för att maximera täckning eller kapacitet. De nationella tillstånden används i huvudsak för publika tjänster av nätoperatörerna Net4Mobility (samarbete mellan Tele2 och Telenor), Telia och Tre. Även Teracom har nationella tillstånd som används för 4G och 5G men de säljer inte sina tjänster till allmänheten. De nationella tillstånden för 5G är även kopplade till högre krav för att säkerställa rikets säkerhet vilket bland annat innebär begränsningar i vilka leverantörer som får användas, krav på inhemsk driftspersonal och synkronisering som är oberoende av GNSS. Dessa krav finns inte för lokala 5G tillstånd enligt nedan.

Sedan 2022 kan man i Sverige även ansöka om och bli tilldelad ett s k spektrumtillstånd för ett lokalt 5G nät i det s k 3.7 GHz bandet¹⁰ resp. i det s k 26 GHz bandet (än så länge endast inomhus i det bandet)¹¹. Tillstånden löper i 5 år mot en relativt låg årlig avgift och man kan ansöka om max 80 MHz i 3.7 GHz bandet vilket motsvarar en teoretisk möjlighet till datahastigheter om ca 1 Gbit/s. Man ansöker om tillstånd för användning inom en specifik geografisk yta, som sammanfaller med ytan för en fastighetsbeteckning enligt Lantmäteriet. Man kan även söka för en kombinerad yta av flera intilliggande fastigheter genom att samtidigt söka flera tillstånd för alla fastigheter som utgör det önskade täckningsområdet. Man kan på detta sätt exempelvis få tillstånd för ett helt fabriksområde, även om det i strikt mening (Lantmäteriet) spänner över flera fastigheter. Man behöver inte själv äga fastigheten där man får spektrumtillstånd, om man till exempel endast är brukare eller hyresgäst, men normalt krävs tillstånd från fastighetsägaren för att bygga basstationer på fastigheten.

Spektrumtillståndet innebär att man fått "ensamrätt" att använda dessa frekvenser inom det geografiska området och därmed uppstår inte störningar från andra nät inom samma geografiska område. Man måste dock tillse att man inte sänder med för hög effekt utanför området för sitt eget tillstånd och man är dessutom ansvarig för att se till att man inte stör de publika näten, som använder frekvenser som ligger nära de som tilldelas för lokala nät i 3.7 GHz bandet. Som undersökts i projektet kan man därför behöva se till att man har s k tids och fassynkronisering med de publika näten. Alternativt kan man använda frekvenser "längre bort" i spektrumbandet (med ett så kallat "guard band") från de publika näten. Projektet planerade för att mäta effekten av det men har ej genomfört sådana mätningar heller. Det finns inte motsvarande krav som på de nationella tillstånden avseende rikets säkerhet i tillståndsvillkoren. Det är upp till varje tillståndsinnehavare, exv. industriföretaget, att själv bedöma vilken säkerhetsnivå som behövs utifrån dess verksamhet.

Man ansvarar själv för att säkerställa att man inte stör intilliggande lokala nät eller de överlappande publika näten. Om man bygger basstationer utomhus kan det därför vara lämpligt att göra mätningar av täckningen vid gränsen av fastigheten och som nämns på annan plats i rapporten bör synkronisera nätet mot de publika näten för att undvika problem. Om systemet planeras i ett område där det är tätt mellan byggnader som tillhör andra företag på intilliggande fastigheter kan det även krävas mätningar, även om man bara bygger inomhus. PTS är tillsynsmyndighet för det utdelade tillstånden och kan begära in uppgifter om det lokala nätet eller själva genomföra mätningar för att säkerställa att man uppfyller de tekniska kraven och att man inte stör andra nät. Tillsyn kan ske på PTS eget initiativ eller vid störningsanmälan från någon annan.

Inom kort förväntas mer frekvenser att allokeras för användning av privata nät i Europa. Det nya bandet som diskuteras är samma frekvensband som redan används i några länder, nämligen 3.8 – 4.2 GHz. Det är idag inte klart när och hur dessa frekvenser kommer att tilldelas i Sverige men det skulle ge större möjligheter för att ha överlappande privata nät nära varandra, alternativt att höja den teoretiska datahastigheten som kan åstadkommas i nätet.

¹⁰ 3,72-3,80 GHz

¹¹ <https://pts.se/tillstand-och-anmalan/radio/lokala-tillstand-37-ghz--och-26-ghz-banden/>

3.3 Privata 5G-nät jämfört med WiFi

Många företag har idag olika industriutrustningar uppkopplade med WiFi eller annan radioteknik. Det finns några grundläggande skillnader i 5G och WiFi som gör att många anser att 5G är en teknik som är bättre lämpad för industritillämpningar. Teoretiskt finns några fördelar som vi även konstaterat i projektet även om vi inte tekniskt jämfört teknikerna i detalj.

3.3.1 Störningar från andra nät och användare

WiFi bygger i grunden på olicensierat spektrum där man inte behöver söka tillstånd för att använda sända från accesspunkter (basstationer) och användarutrustningar. Det gör att man som företag inte har någon kontroll alls över hur detta spektrum används och vilka störningar som kan uppstå från andra WiFi nät och användare eller ens hur de egna användarna stör varandra. Störningarna i WiFi från andra nät och användare kan göra att man får sämre prestanda eller att man i värsta fall inte kan upprätta någon kommunikation alls. Man kan översätta detta med att täckningen från varje accesspunkt blir liten och att ofta behöver många accesspunkter för att säkerställa kommunikationen.

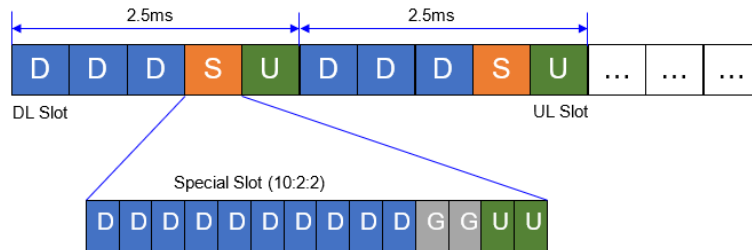
Om man använder WiFi i utomhusmiljöer blir detta än mer tydligt då man får mer störningar från omkringliggande WiFi nät och användare. Det blev till exempel väldigt tydligt för företaget Fiskarheden där man konstaterade väldigt höga störningsnivåer när det uppstod bilköer utanför anläggningen, då många bilar idag har inbyggt WiFi. Dessa störningar innebar produktionsstopp för Fiskarheden.

Med ett spektrumtillstånd för ett privat 5G nät i 3.7 GHz bandet så har man exklusiv rätt att använda detta spektrum på den egna fastigheten och man riskerar inte att andra sänder i samma område. Det innebär också att det krävs mycket färre basstationer än accesspunkter i ett privat 5G nät jämfört med ett WiFi nät för att vidmakthålla samma täckning och kapacitet. Det mindre antalet basstationer beror givetvis även på att man kan använda basstationer med högre effekt än med WiFi utan att försämra prestanda i egna nätet eller av andra nät.

Det kan eventuellt uppstå störningar mellan det privata nätet och de publika näten som har spektrumtilldelningar i angränsande spektrum då de kan sända över samma geografiska område. Det gäller speciellt om det privata nätet inte är synkroniserat i tid och fas med de publika näten med hjälp av GNSS eller synkronisering via IP nät, exv. från Netnod.¹² Det kan även uppstå om man inte följer den ramstruktur och schema som de publika näten använder, exv. för att öka bandbredden på upplänken, dvs från den mobila enheten till nätet. I de publika näten används 80% av kapaciteten för den s k nedlänken, dvs att skicka data till den mobila enheten, och endast 20% för den s k upplänken, för data som skickas från enheterna till nätet. Teoretiskt innebär det att man kan få en maximal hastighet på ca 800 Mbit/s i nedlänk och 200 Mbit/s i upplänk. Den praktiska datahastigheten sjunker givetvis med fler användare och om man befinner sig långt ifrån sändaren.

I Figur 4 nedan visas hur man tidsmässigt delar upp radiokanalen för nedlänk (D) respektive upplänk (U) i de publika näten. Man tilldelar även en special tidslucka mellan upp och nedlänk med en liten "skyddslucka" (G) för att kompensera för hur lång tid det tar för radiosignalen att färdas mellan basstationen och den uppkopplade enheten. För att undvika störningar bör man som sagt behålla samma ramstruktur i sitt privata 5G nät som i de publika näten.

¹² Osynkroniserad och halvsynkroniserad (semi-synchronised) drift definieras i avsnitt 6.1.4 i ECC-rapport 281, juli 2018.



Figur 4 Ramstruktur som används i de publika näten

Den normala ramstrukturen passar bra för att exv. titta på Netflix på sin telefon men passar dåligt för exv. videoövervakning, där nästan ingen data skickas till men mycket ifrån videokameran. Det ska dock observeras att många system, inklusive det vi använt i projektet inte stödjer någon annan ramstruktur. Ansvar för att avhjälpa ev. störningar ligger på den som har det privata nätet och risken är störst i utomhusmiljön. Det avhjälps enklast och billigast med en GNSS synkronisering av basstationerna och givetvis att man använder samma ramstruktur. Det blir då en avvägning av behovet av en bättre upplänk och risken för störningar.

3.3.2 Stöd för rörliga enheter, exv. autonoma truckar

5G är i grunden ett system som specificerats för att klara av att hantera att användaren rör sig, inklusive extremfallet med lika höga hastigheter som tåg, även om man kopplas om mellan olika basstationer. Även om den nya WiFi standarden också anpassat för att bättre hantera rörliga enheter så är det i grunden gjort för stationär eller långsam rörlighet (nomadisk) hos uppkopplade enheter. Hanteringen av omkoppling mellan accesspunkter är inte lika robust som 5G vilket kan leda till större risk för avbrott i varje omkoppling. Eftersom antalet omkopplingar även blir större i ett WiFi nät, eftersom det krävs fler accesspunkter än basstationer enligt ovan, så är det inte ovanligt med längre avbrott i kommunikationen i ett WiFi nät innan förbindelsen etablerats igen.

3.3.3 Enkel hantering av nätet

De flesta IT/OT (se kapitel 3) tekniker vet hur man sköter ett WiFi nät men väldigt få har erfarenhet från att sköta ett 5G nät. Det upplevs därför som att det är mer komplicerat att sköta ett 5G nät än ett WiFi nät. Det man jämför då är oftast ett nät med några tiotal accesspunkter jämfört med tusentals basstationer i ett nationellt 5G nät. När det gäller privata 5G nät ska man komma ihåg att det oftast rör sig om ett fåtal basstationer (5–10) för att täcka in en hel industribyggnad eller helt industriområde. Det är därför möjligt att använda sig av mycket enklare verktyg än de verktyg de publika operatörerna använder i sina nationella nät vilka är svåra att skala ned till stöd för ett fåtal basstationer.

Redan idag finns det lösningar för privata nät som har jämförbar komplexitet med att sköta WiFi nät. De har även stöd för att hantera SIM-kort och terminaler i nätet vilket oftast är separata system i de nationella näten. Företaget Fiskarheden har som tidigare nämnts installerat ett privat 5G nät med ca 5 basstationer som ersätter ca 25 WiFi accesspunkter utomhus. Det nätet hanteras sedan start av befintlig IT/OT personal och endast i undantagsfall krävs support från leverantören. I Scania's fall skulle ca tio 5G basstationer kunna ersätta drygt 100 st. WiFi accesspunkter med samma täckning eftersom man högre uteffekt från radiosändarna. Kapacitetsmässigt är det svårare att enkelt beräkna antalet sändare som krävs och prestanda kommer bero väldigt mycket vilken typ av applikationer man kopplar upp via 5G nätet resp. WiFi nätet. En grov uppskattning är dock att de 10 radioenheterna i 5G ska kunna leverera samma prestanda som de 100 accesspunkterna och man kan enkelt utöka kapaciteten genom att mer noggrant placera radioenheterna nära de maskiner som genererar

mycket trafik, genom att dela upp nätet i fler celler eller helt enkelt sätt upp ytterligare ett fåtal radioenheter.

3.3.4 Prestanda

Teoretisk har ett privat 5G nät med 80 MHz tilldelning möjligheten att leverera ca 1 Gbit/s om man använder 4*4 MIMO i basstationer och terminaler. Motsvarande hastigheter är även möjliga att uppnå med ett högpresterande och väl optimerat WiFi nät. I praktiken så varierar dock datahastigheten mycket mer i ett WiFi nät till följd av de metoder som används för att tilldela olika användare resurser i radionätet. Det kan vara känsligt för applikationer som kräver en jämn datahastighet. Ett 5G nät har en mer kontinuerlig datahastighet och en mer avancerade metoder för hur resurserna fördelas mellan användarna. Det går även, utifrån 5G standarden, att göra prioritering så att de applikationer som behöver hög hastigheter får det resp. de som behöver låg fördröjningar får det. I praktiken finns det dock begränsningar i hur man kan konfigurera prioritetsklasserna och det är enklast att allokera samma prioritet till alla applikationer i en och maskin/utrustning, dvs per SIM-kort. Det kan vara en risk exv. då man vill undvika att en mjukvaruuppdatering av inbyggda mjukvaran i en industrimaskin har samma prioritet/fördröjning som styrsignalerna från operatören av maskinen.

5G standarden ger också utrymme för väldigt låg fördröjningar och man har bland annat specificerat något som kalla Ultra Reliable and Low-latency communication (URLLC) som kan ge ned till ca 1 ms. fördröjning. Det ska dock konstateras att varken nätet eller terminalerna idag når dessa nivåer. I vårt test nät har vi inte kommit under 10 ms. men fördröjningen är relativt stabil. I det WiFi nät som finns i lokalerna kan man uppnå ca 1 ms. om man står still men fördröjning varierar kraftigt. Vissa applikationer kan vara väldigt känsliga för variationer i fördröjning snarare än att de ska vara extremt korta vilket 5G har större möjligheter att garantera.

3.3.5 Kostnad för nätet och energiförbrukning

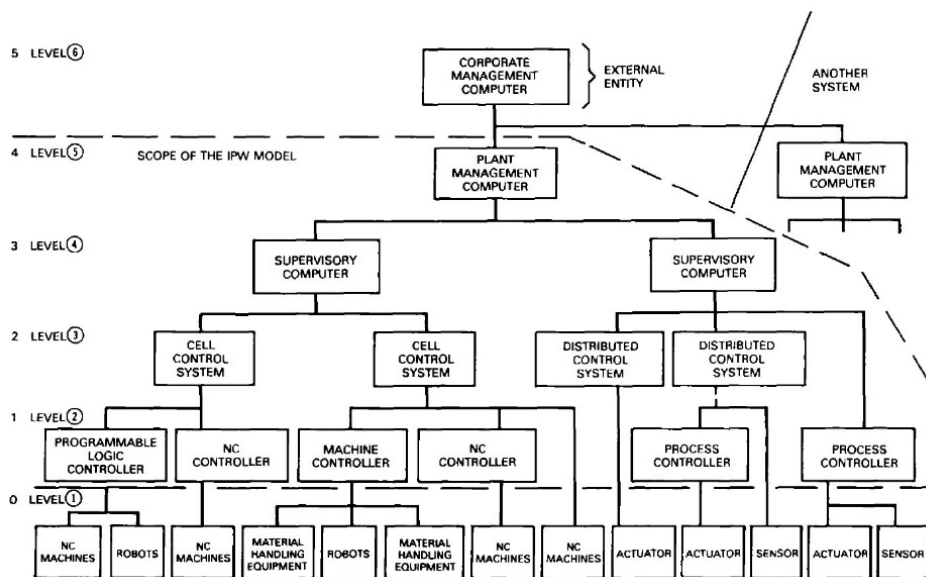
Som vi nämner ovan så krävs normalt mycket färre basstationer i ett 5G nät jämfört med antalet accesspunkter i ett WiFi nät. Den stora kostnaden för att bygga ett nät ligger dock i installationskostnader. Antalet Ethernet eller fiber kablar som behöver installeras blir därmed också mycket färre och installationskostnaden därmed lägre. En liten basstation kräver dessutom ungefär lika mycket energi som en accesspunkt och totala energiförbrukningen blir därmed 5–10 ggr lägre, på grund av antalet accesspunkter, i ett 5G nät.

Om man vill ha hög prestanda på sitt WiFi nät behövs relativt dyra accesspunkter och de kräver oftast ett IT system för att sköta WiFi nätet. För ett privat 5G nät kan man använda mycket enklare och billigare basstationer än de som används i det publika nätet som prismässigt ligger närmare avancerade accesspunkter. Kostnaden för radioenheterna, inkl. de system som krävs för att sköta dem, är med andra ord jämförbara.

4 OT respektive IT

I den här rapporten har vi använt begreppet IT resp OT många gånger. För att beskriva skillnad mellan de båda kan man använda sig av en logisk modell (fig 5) framtagen av Purdue Research Foundation som delar in de tekniska systemen i olika nivåer (jmf OSI stacken) i en produktionsanläggning. Alla system eller utrustningar som tillhör nivåerna från 0-5 (noll till fyra) är OT och endast nivå 5 är IT i deras modell. OT kan t ex innefatta system för trafikledning, energihantering, processkontroll, fastighetsautomation och andra industriella styrsystem.

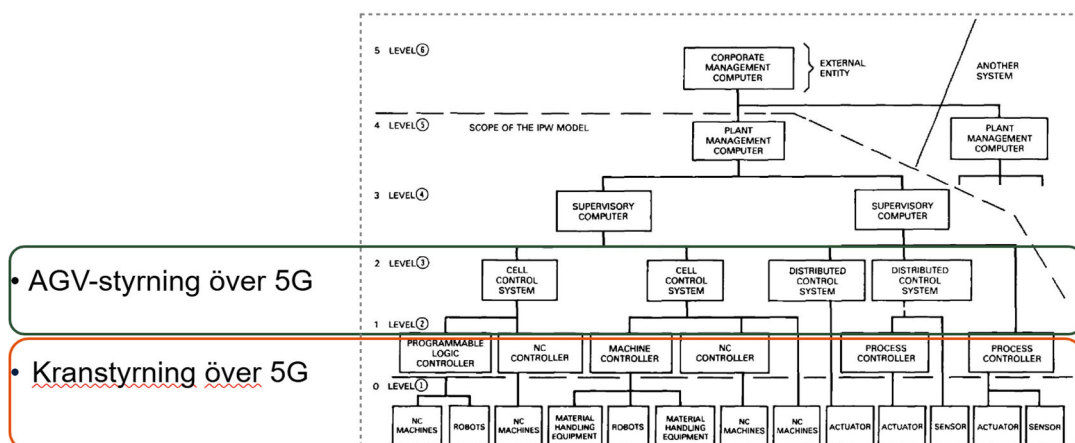
Kraven på i de olika nivåerna kan vara väldigt olika och det är därför viktigt att kunna identifiera var i den logiska modellen de tillämpningar man avser att koppla mot det privata 5G nätet befinner sig och vad kraven är på den/de nivåerna.



Copyright © Purdue Research Foundation 1989

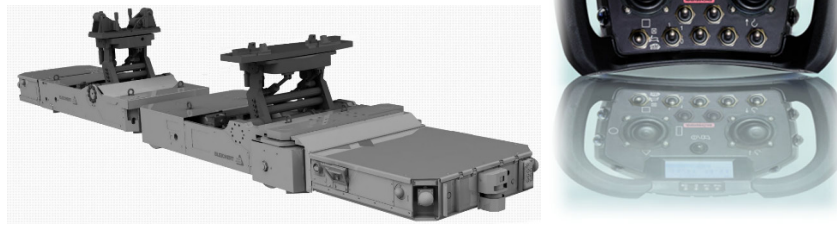
Figur 5 Modell för beskrivning av IT vs OT

I projektet har vi fokuserat testerna på två tillämpningar nämligen styrning av AGV respektive kranstyrning som man tillhör nivå 0-2 i modellen utan koppling till system i de övre nivåerna av modellen. Där kranstyrning omfattas av såväl nivå 0 som 1 medan AGV styrningen främst tillhör nivå 1 och 2 i modellen.



Copyright © Purdue Research Foundation 1989

Figur 6 OT tillämpningar testade i projektet



Figur 7 AGV för chassi montering respektive kranstyrning

5 Krav och förutsättningar för den egna verksamheten

5.1 Verksamhetens behov alternativt problem och användningsfall

Det absolut viktigaste att göra innan man bestämmer sig för att installera ett lokalt 5G nät i sin verksamhet är att bestämma sig för vilka behov verksamheten har. Det är sällan organisationer har ett verksamhetsbehov av 5G som teknik, men de funktioner som 5G erbjuder kan lösa de verksamhetsbehov man har på ett bättre sätt än andra lösningar. Det är sällan som 5G ensamt kan lösa alla verksamhetsbehov utan man måste identifiera vilka användningsfall som passar bäst att lösa med 5G.

För att möta verksamhetens behov och krav på kommunikation är det viktigt att först förstå vilken typ av data som kommer att hanteras och vilka användningsfall som är relevanta för företaget. Nedan beskrivs några vanliga typer av användning kopplade till olika typer av data:

- **Insamling av data om mätobjekt:** Detta inkluderar data om exempelvis timmer, produkter på produktionslinor, och andra råmaterial eller slutprodukter som behöver spåras och övervakas. Det kan även omfatta videoövervakning av säkerheten, process- och produktkvalitet eller för AI bildhantering för styrning av maskiner.
- **Insamling av data om omgivningen:** Sensordata som samlar information om temperatur, luftfuktighet, buller eller andra omgivningsfaktorer kan vara viktigt för att optimera produktionsprocesser eller säkerställa kvalitetskontroller.
- **Insamling av data om egen utrustning:** Genom att övervaka företagets egna tillgångar, som truckar, AGV (automatiserade fordon), och accesspunkter, kan man optimera logistiska flöden och minimera driftstörningar.
- **Ta emot larm:** Snabb och tillförlitlig kommunikation, med krav på millisekundnivå, för att ta emot larm är avgörande för att upprätthålla säkerhet och minimera skador vid incidenter.
- **Sända styrdata till egen utrustning:** För att styra maskiner och annan utrustning i realtid, behöver data skickas med låg och förutsägbar latens med hög precision.
- **Intern (tal)kommunikation:** Många industrier använder sig fortfarande av talkommunikation mellan personalen i produktionen, via s k Push-to-talk, vilket också kan levereras över 5G nätet.

Det är också viktigt att identifiera vad man har för problem med befintliga lösningar och i vilken mån ett privat 5G nät löser dessa problem:

- Är **prestanda** på kommunikationen inte tillräckligt bra i form av täckning, fördröjningar, batterilivslängd eller datahastigheter?
- Är nuvarande lösning för **störningskänslig**?
- Är **säkerheten, stabilitet, tillförlitlighet och robusthet** inte tillräcklig?

Ytterligare en aspekt är var man geografiskt har de olika behoven av kommunikation:

- Är behovet geografiskt koncentrerat till en del av anläggningen, hela anläggningen eller till och med utanför anläggningen?
- Finns det behov (för användningsfallet) att koppla upp sig under rörelse inom anläggningen respektive utanför anläggningen, exv. mellan olika anläggningar och till och med utomlands?
- Har vi behov av att styra maskinen på distans eftersom arbetsmiljön är hälsovådlig? Ska maskinskötaren finnas på plats på anläggningen eller på en plats långt ifrån anläggningen?

5.2 Regulatoriska säkerhetskrav

Det finns ganska tydliga regulatoriska säkerhetskrav för maskiner och utrustningar i industriell miljö i olika ISO standards, exv det s k Maskinsäkerhetsdirektivet (Maskindirektivet 2006/42/EC), där det bland annat specificeras krav på nödstoppustrustning för utrustning där människor kan vara eller komma i närheten respektive mer skyddade miljöer. Det finns också detaljerade krav på kommunikationen till och från olika typer av styrsystem. Beroende på vilka tillämpningar man avser att koppla upp måste man utreda vilka krav man kommer att behöva möta.

Många av de regulatoriska kommunikationskraven handlar om en stabil och robust uppkoppling, snarare än om väldigt korta svarstider. Det innebär bland annat att svarstider inte får variera för mycket utan ska vara förutsägbara. 5G erbjuder mycket stora möjligheter till en mycket mer stabil och robust uppkoppling än WiFi, LoRa och många andra generella radiotekniker. För vissa tillämpningar, exv nödstopp, kan det dock krävas ett proprietärt radiosystem som är optimerat för ändamålet. Med olika prioritet och kvalitetsklass för olika tillämpningar i nätet kan optimera nätet för att anpassa mot olika maskiners och systems behov. I praktiken är det i dagens privata 5G system inte så enkelt att konfigurera de olika kvalitetsklasserna separat för olika applikationer som använder samma radiomodem/sim-kort utan man tilldelar oftast en kvalitetsklass per sim-kort.

Man ska komma ihåg att maskindirektivet inte ställer några som helst krav på ett 5G nät. Maskindirektivet och dess harmoniserade standarder ställer endast krav på maskiner och maskiners styrsystem. Det är upp till styrsystemen att hantera 5G nätet som bärare av information på ett säkert sätt. Så länge ett styrsystem använder 5G nätet till att ladda ner eller upp generisk data som statistik, uppdateringar eller annat som inte har med den direkta styrningen av maskinen att göra så är det inga problem att använda sig av ett 5G nät.

Däremot, för att kunna använda ett 5G nät som bärare av styrkommandon för maskiner med funktionssäkerhetskrav måste styrsystemet hantera alla säkerhetsproblem som 5G nätet medför. I praktiken innebär det att styrsystemen implementerar säkra end-to-end dataprotokoll som garanterar säkerheten oavsett hur det trådlösa nätet betar sig däremellan. Principen som används är att den maskinmonterade delen av ett trådlöst styrsystem (mottagaren) förväntar sig en ström av datapaket från fjärrheten (sändaren) med uppdaterad styrinformation kontinuerligt under drift. Om dessa datapaket blir korrupta, försenade eller uteblir, om så under korta stunder (typiskt max 500ms), ska styrsystemet alltid kunna stoppa maskinen och sätta den i säkert läge. Mycket av säkerheten bygger på feldetektering av själva datapaketen i styrsystemet. Det används starka checksummor för att detektera bitfel, meddelandenummer för att detektera sekvensfel och ACK-paket med tidsstämplar för att skydda mot otillbörlig buffring.

Den viktigaste egenskapen för ett 5G nät i maskinstyrningsapplikationer är inte hög hastighet eller extremt korta fördröjningar utan jämn hastighet, undvikande av plötsliga fördröjning oavsett last och undvika buffring av datapaket. Om ett nödstoppskommando skickas från en styrutrustning, men den hamnar i en bufferkö som undan för undan släpper paket till mottagaren kan nödstoppskommandot komma fram för sent. Det får absolut inte hända i maskinstyrningsvärlden.

5.3 Befintliga system och uppkopplingar

För att förstå vilken teknisk infrastruktur som finns idag är det viktigt att göra en genomgång av de befintliga systemen. Detta inkluderar olika typer av uppkoppling som används för att ansluta maskiner och utrustning:

- **Kabel**
Många äldre system använder fortfarande kabelanslutning, ofta Ethernet, för att säkerställa stabil och snabb dataöverföring.
- **WiFi**
Trådlösa nätverk används i många fall för att ansluta mobila eller svåråtkomliga enheter där kabelanslutning inte är praktisk.
- **5G**
För nya applikationer där snabb dataöverföring och låg latens krävs kan 5G-nätverk vara det optimala valet. Kartläggningen bör också ta hänsyn till vilka enheter som är 5G-kompatibla.
- **P2P (Punkt-till-Punkt)**
Punkt-till-punkt-anslutningar kan användas för specifika applikationer där direktkommunikation mellan två enheter är nödvändig.
- **Annat**
Eventuella andra typer av uppkopplingar som är relevanta för verksamheten, såsom LoRaWAN, Bluetooth, eller icke-standardiserade nätverksteknologier.

Denna kartläggning skapar en grund för att bedöma hur det befintliga nätverket kan anpassas och utvecklas för att stödja verksamhetens nuvarande och framtida behov.

5.4 Tekniska krav och praktiska förutsättningar

Utifrån användningsfallen kan man troligen ganska enkelt definiera upp de tekniska krav man ska ställa på kommunikationen per användningsfall. Kraven är viktiga för att sedan planera och dimensionera radionätets prestanda. Det kan exempelvis innefatta datahastigheter, svarstider och fördröjning men det kan även innefatta krav på hur långa avbrott som en applikation klarar av i dataströmmen och om utrustningen kommer att vara batteridrivna tillkommer krav på beräknad batterilivslängd mellan laddningar. I 5G nätet finns möjlighet att prioritera olika användarfall olika för att möta kraven från applikationer och användare i de olika dimensionerna och även styra strömförbrukningen i klienterna.

När man identifierat vilka användningsfall som lämpar sig för att använda 5G till att lösa har man troligen även identifierat vilken typ av användare och utrustning som ska/kan kopplas upp. Det innefattar även att utreda hur man på bästa sätt kan integrera utrustning på maskiner och fordon (se nedan).

Man bör även utreda vilka behov man har idag och vilka behov man tror att man kommer att ha i framtiden. Man kanske vill börja med att bara koppla upp ny eller tillkommande utrustning innan man går vidare med att ersätta kommunikationen i befintliga system. Man kanske även vill börja med en liten yta för att sedan bygga ut systemet med mer täckning. Det blir därför avgörande i upphandlingen av system så att det är skalbart enligt de krav man har.

5.5 Systemintegration

Det lokala 5G nätet gör knappast någon nytta om det inte integreras med övriga IT och OT system. Det är därför viktigt att identifiera systemsambanden mellan de olika systemen, vilken data som skall levereras vart och vilka säkerhetsmässiga krav som ställs på integrationen. Det kan finnas behov/krav på att segmentera upp systemen och nätet för att vidmakthålla önskad säkerhet i olika driftsystemen och separera olika typer av trafik/data.

Styrssystem till maskiner och verktyg kan ha väldigt olika krav på kommunikationsprotokoll. Eventuellt behövs anpassningar och konfigurationer av 5G nätet och de modem som installeras i utrustningar och maskiner för att kunna använda 5G nätet som bärare av den informationen. Det finns inget speciellt definierat industristyrningsprotokoll i 5G men det finns stora möjligheter till anpassningar om man väljer ett 5G system med den flexibiliteten.

5.6 Säkerhetskrav

Ett av de viktigaste målen är att lösa specifika problem utan att ersätta dem med nya. För detta krävs fokus på säkerhet och nätverkssegmentering, inklusive tillämpning av principen "zero trust" för att säkerställa att endast auktoriserade användare och enheter har tillgång till nätverket. Regelbunden uppdatering av mjukvara och säkerhetspatchar är avgörande för att bibehålla ett säkert nätverk. En helt avgörande del i planering av systemet är en ordentlig riskanalys.

5.6.1 Nätverksaccess och Brandväggar

För att säkerställa att systemet kan kommunicera med manageringsservrar över internet, behöver rätt brandväggsinställningar, tillsammans med en redundant och robust internetanslutning, vara på plats. Detta innebär att öppna nödvändiga portar och protokoll för att tillåta säkra anslutningar från 5G-komponenter till specifika noder.

5.6.2 Administration och Säkerhet

Administrationen av nätverket bör ske med tydliga rättighetsnivåer och användning av molntjänster där autentisering med flerfaktorsautentisering (2FA) är en viktig säkerhetsåtgärd. Det är också viktigt att möta både lagkrav och företagets egna säkerhetspolicyer, samt att införa loggning för att övervaka nätverkets aktivitet och upptäcka potentiella säkerhetshot.

5.6.3 SIM-korthantering

En effektiv hantering av 5G-SIM-kort är en viktig del av nätverkets infrastruktur. Det inkluderar administration av SIM-kort för anslutna enheter och säkerställande av att de följer företagets säkerhetspolicyer för att minimera risken för obehörig åtkomst. System för SIM-korthantering ingår normalt när man köper ett system för privat 5G nät. Det man bör tänka på är dock att systemet bör kunna hantera såväl fysiska SIM-kort som så kallade eSIM-kort, dvs mjukvarubaserade SIM-kort.

Om man har behov av att utrustning ska kunna koppla upp sig mot de publika näten utanför det egna privata nätet kan man antingen använda utrustning som stödjer dubbla SIM-kort men det finns även SIM-kort där man mjukvarumässigt kan "byta operatör" när man är utanför täckningen från det egna nätet. På de sätten kan man enkelt åstadkomma sk roaming utan något behov av att integrera det privata nätet med det publika. Det kan till exempel användas för att personalen inte behöver ha olika telefoner/plattor på anläggningen eller utanför.

5.7 Egen och extern kompetens

När man skapat sig en bra bild av vad man vill göra och vilka krav man ska ställa bör man även utreda vilka resurser och kompetenser man har internt, via befintliga partners och vad man eventuellt saknar. Som nämns ovan behöver inte planering, byggnation och drift av ett lokalt 5G nät vara så komplicerat som det låter. Om man redan idag har en relativt komplex IT/OT med WiFi så ska det inte vara mer komplicerat att sköta ett lokalt 5G nät. Det är ett krav man bör kunna ställa på den lösning man köper in att det går att hantera av den egna IT/OT organisationen. De har dessutom god kännedom om den befintliga IT/OT miljön vilket är en nödvändighet för systemintegrationen.

Om man väljer att låta någon annan installera det lokala 5G nätet eller köpa det som en tjänst ska man inte underskatta det arbete som kan krävas för att integrera och anpassa det privata 5G nätet och de mobila terminalerna/modemen till den befintliga OT/IT miljön, fordon och maskinerna på företaget.

Som företag måste man därför säkerställa att det antingen ingår i tjänsten från leverantören/operatören eller att man kan köpa det från annan part om man inte kan göra det själv. Om man använder en extern partner för integration mot de befintliga IT/OT systemen måste man dock beakta att den externa partnern behöver detaljerad information om hela IT/OT miljön, vilket kan vara en säkerhetsrisk man inte vill ta.

5.8 Drift och övervakning

Även om drift och övervakning av ett privat 5G nät kan göras väldigt enkelt och okomplicerat så måste det hanteras som en del av hela produktionsapparaten. Den interna IT/OT organisationen som idag sköter drift och övervakning av produktionsmaskinerna måste ha full insyn i hur det privata 5G nätet påverkar produktionen. Det krävs därför såväl en utbildningsinsats som verksamhetsutveckling för att integrera driften av det privata nätet med den dagliga driften av IT/OT. Driften och övervakningen av 5G nätet kommer troligen krävas 24 timmar om dygnet, även om produktionen inte körs dygnet runt, eftersom vi kan förvänta oss att larm, miljösensorer och annat som måste fungera dygnet runt är uppkopplade på nätet.

En störning i 5G nätet kan få allvarliga konsekvenser för produktionen och i värsta fall innebära fara för de anställda. Eventuella larm som i ett publikt 5G nät kan hanteras senare kan vara tidskritiska på sekundnivå i ett privat 5G nät. En felaktig komponent i ett privat nät kan åstadkomma fullständigt produktionsstopp i hela fabriken och utbyte/reparation/omstart måste gå att hantera inom minuter. Det ställer höga krav på ett mycket tätt samarbete mellan den som sköter drift och övervakning av de olika delarna men med de som arbetar med felavhjälpning. Om man delar upp ansvaret mellan många olika parter uppstår lätt fördröjningar som man inte har råd med i ett privat nät. Även om vi i projektet inte har kopplat upp enheter som är inblandade i produktionen så har vi ändå även i detta projekt upplevt problemen med fördröjning i felavhjälpningstider mellan företaget, operatören och leverantören där ansvaret i en skarp implementering hade behövts göras mycket tydligare och felavhjälpning mycket snabbare.

När man bestämmer sig för hur ansvaren ska fördelas får man inte heller glömma företagen som levererar utrustningar som ska kopplas upp mot det lokala 5G nätet. Vilken certifiering och testning krävs för att man ska godkänna uppkoppling i sin driftsmiljö? Vilka tester måste genomföras innan man implementerar en ny mjukvara i nätet respektive utrustningen för att säkra att det inte uppstår problem i kommunikationen? Det borde i sig inte vara nya aspekter och en fungerande OT miljö borde redan idag innefatta dessa aspekter men skillnaden är att man får en ny aktör och kommunikationsinfrastruktur som man måste ta hänsyn till när man kopplar upp utrustning till det lokala 5G nätet.

5.9 Behov av testmiljö och demosystem

När 5G nätet har satts i drift kommer möjligheten att testa nya konfiguration, uppkoppling av nya verktyg eller maskiner eller ny programvara att vara väldigt begränsad i det driftsatta nätet. Det kan därför finnas behov av en testmiljö som replikerar driftmiljön men som är kraftigt nerskalad. Testmiljön kan även användas för R&D verksamhet och för demonstrationer. Vi har även i projektet identifierat ett eventuellt behov att ha ett "bärbart" system som man kan använda för demonstrationer på mässor eller liknande där man vill visa funktionalitet som bygger på 5G uppkoppling.

För det senare fallet där man vill flytta sitt privata 5G nät till olika platser uppstår utmaningen med tilldelningen av spektrumtillstånd för den aktuella platsen. Det finns idag ingen utarbetad rutin för att söka tillfälliga tillstånd för lokala 5G nät. Samma problem finns även för skogsindustrin där man identifierat ett behov av att ha tillfälliga tillstånd, exempelvis på en avverkningsplats. Den erfarenheten hoppas vi kunna förmedla i diskussionerna kring de nya frekvensbanden framåt.

5.10 Krav och förutsättningar för verktyg, maskiner, modem och andra anslutna enheter

Projektpartnern Åkerströms bygger trådlösa styrsystem som de garanterar håller minst 10 år och tillhandahåller reservdelar för att kunna reparera utrustning om nåt skulle hända hos kunden. I dagsläget verkar det som att modem utvecklas ganska fort och har mindre livstid än det som industrin är van vid idag. Om livstiden av modem skulle vara lika korta i framtiden innebär detta en ökad risk för behov av regelbunden mjukvaruändringar. Om moduler skulle vara inkompatibla med varandra ökar administrationsbehov för service och underhåll eftersom man behöver ha koll vilket modem är kompatibel med vilken mjukvara. För Åkerströms som ofta levererar kundunika lösningar, ibland med anpassad lågnivåmjukvara, kan det ta resurser från annat utvecklingsarbete att hela tiden följa eventuella förändringar i modemen. Samtidigt skulle inköpsavdelningen och lagerhanteringen behöva ha noggrann kontroll över vilken versioner av firmware som är implementerad i varje modem. Ofta levereras nya elektroniksaker med senaste firmware, men behåller dem samma artikelnummer, och man tappar information om vilken firmware som respektive utrustning har. Det ställer nya krav och kunskap hos inköps och lagerpersonal. Kostnader för denna extra insats kanske innebär ett så stort finansiell kostnad att det blir svårt att räkna hem produkter med 5G stöd.

5.10.1 Stödsystem för hantering av inbyggd programvara i verktyg, terminaler och modem
Lösningen på det kan vara att i upphandling av ett lokalt 5G nät och/eller modem ställa krav på att man kan läsa ut information från modemen och att de stödsystem som kommer med 5G nätet kan hantera alla anslutna enheter och modem. Motsvarande system finns idag för vanliga telefoner och Laptops, exv. via Microsoft Intune, men det är ovanligare för modem och andra uppkopplade enheter. Om man inte köper systemet och modemen själv bör man ställa det kravet på tjänsteleverantören att kunna leverera modem och enhetsinformationen respektive vidta åtgärder för att uppgradera, eller nedgradera firmware hos anslutna enheter.

5.10.2 Säker uppkoppling för hantering av inbyggd programvara
Att verktyg är kopplad mot ett nätverk som kan kopplas mot internet betyder också att man måste ta in aspekter kring cybersäkerhet i utvecklingen. Det privata 5G nätet måste kunna hantera segmentering av olika användare och enheter på ett säkert sätt så att man kan styra vilka enheter som eventuellt ska kunna få tillgång till internet och vilka som aldrig får kommunicera utanför brandväggen eller till andra segment. Även om ansvaret ligger till stor del på IT/OT nätet hos kunden måste den uppkopplade enheten vara anpassad mot detta och till exempel inte kräva access till internet för att uppgradera mjukvaran.

5.10.3 Driftstopp vid mjukvaruppdateringar
Att industriella system ska hållas länge betyder att komponenter och verktyg, som ska kunna levereras i 10 år, regelbunden behöver mjukvaruppdateringar. Tillverkare av verktyg behöver därför ändra sitt utvecklingsflöde och distributionsflöde för uppdateringar. Akuta säkerhetsuppdateringar som oftast svåra att planera för (exempelvis zero-day) måste också gå att genomföra på ett säkert sätt. Det kan också innebära att varje gång en radiokomponent ska bytas ut så måste s k RED tester köras. Under en sådan uppdatering är normalt produktionsmaskinen helt ur drift. Det kan innebära stora kostnader eller förluster, som kan göra det svårt att räkna hem en uppdatering.

5.10.4 Konfiguration och anpassning av verktyg och modem mot 5G nätet
För att koppla upp ett verktyg mot ett 5G nätverk kan det behövas många olika inställningar i 5G modem. Inställningar kan vara olika beroende på hur nätverket är konfigurerat. En risk som identifierades i projektet är att verktyg inte stöder den kombination av inställningar som kunden har på sitt 5G nät eller på sitt OT nät generellt. Det betyder att säljaren behöver förstå kundens system till en sådan nivå att dem kan föreslå rätt produkt och konfiguration till kunden. Att ge leverantören sådan inblick i kundens IT/OT nätverk och i 5G nätet kan skapa cybersäkerhetsrisker för anläggning. Alternativ är att verktygsleverantörer säljer produkter som grundprodukt som sedan anpassas efter

kundens behov. Expert företag som Åkerströms kanske klarar av anpassa sina produkter, men för andra blir det svårt att skapa affärsmodell omkring det.

5.10.5 Dokumentation av krav på uppkoppling från leverantör av uppkopplade verktyg

Ett krav som företaget som har ett lokalt 5G nät måste ställa på företag som levererar verktyg som kommer kopplas upp i nätverket är att man behöver veta hur mycket bandbredd dem behöver och övriga krav, exv. på fördröjningar. Om nätverken inte kan möta dessa krav kommer verktyg kanske inte kommer kunna användas som tänkt eller inte alls. Användare kan se verktyg som trasig fast i verkligheten är det samarbete mellan nätverk och verktyg som inte funkar. Därför är det viktig att nätverksansvarig har koll på kraven från respektive verktyg som används. Genom att konfigurera nätet rätt kan man ge olika prioriteter och kvalitetsklasser till olika enheter, exv. utifrån hur tidskritisk överföringen är eller hur mycket data som skall överföras. Det måste man ha koll på redan vid inköp och verifiera efteråt när verktyg tas i bruk. Man måste även tänka efter noga vad effekten blir då man inte längre har enstaka verktyg uppkopplade till 5G nätet utan hundratals.

Leverantörer av verktyg och maskiner måste ha koll på hur deras verktyg lastar nätverk och dela kunskapen med kunden före och efter leveransen. Om verktygen får en mjukvaruuppdatering kan det påverka belastningen i nätverket från det verktyget, exv. om datamängden som skickas ökar eller om tidskraven för data ändras.

5.11 Noggrann positionering av enheter i rummet

Positionering¹³ av uppkopplade enheter, i tre dimensioner, i ett lokalt 5G nät är en funktion som idag inte är fullt utvecklad och vi har inte testat det i projektet. Det är dock ett viktigt krav från industrier och andra som vill använda lokala 5G nät. I dagsläget får man förlita sig på andra system för positioneringen av utrustningen, exv. via NFC eller Bluetooth, men inom kort förväntas man kunna positionera utrustning direkt över 5G nätet på meter nivå. I ett senare skede räknar man med att man ska kunna positioner med ännu större noggrannhet.

Positionering kan användas till många saker i en industri. Man kan använda den för att säkerställa att ingen personal befinner sig i vägen för rörliga utrustningar eller farliga områden och larma/styra för att undvika olyckor. Ett annat exempel är att man vill veta vilken mutterdragare som just nu befinner sig på en viss monteringsstation vid bilen som ska monteras, att lokalisera utrustning som någon har förlagt, övervaka att ingen obehörig befinner sig på området osv.

5.12 Övriga förutsättningar

Utöver de rent tekniska förutsättningarna och kompetenskraven ovan kan det finnas det rent praktiska förutsättningar som måste beaktas. Det kan till exempel röra sig om möjligheterna att placera och val av lämpliga 5G antenner på maskiner och fordon, inkl. AGV, för att upprätthålla kommunikationen men framför allt för att de inte ska vara i vägen. Man bör planera för 4 antenner på varje fordon för att få bästa prestanda vilken kan vara en begränsning men även en lösning om antennerna placeras på olika sidor om utrustningen, så att inte alla antenner är "skymda" samtidigt.

Det kan även finnas andra miljökrav som man måste ta hänsyn till, främst i upphandlingen av användarutrustningen men det kan även gälla radioenheterna exv. i dammiga eller smutsiga miljöer. Den radioutrustning, sändare, som vi använt i detta projekt har inget behov av fläktkylning i radioenheterna och får ström via Ethernetkablarna vilket är viktigt för att underlätta underhållet och minska delar som kan gå sönder.

En stor skillnad mellan "firmware" i maskiner och OT respektive i 5G och IT är att 5G nätet och de uppkopplade enheter uppdateras väldigt ofta med ny firmware respektive annan mjukvara (se nedan). Bara under den korta testperioden med 5G nätet har vi uppdaterat 5G systemet ett stort antal gånger

¹³ <https://www.ericsson.com/en/blog/2023/6/why-is-precise-indoor-positioning-your-best-companion-for-5g-monetization>

medan vissa maskiner i industrin fortfarande använder Windows 95 som operativsystem. Det vi beskriver om modem gäller således även för hela systemet.

6 Underlag som behövs för olika delar tas fram

6.1 Underlag radionätplanering

För att säkerställa en effektiv och pålitlig installation av radioutrustning för vårt privata 5G-nätverk är det avgörande att ha ett gediget underlag för radioplanering. Detta underlag innefattar följande aspekter:

Ritningsunderlag

Ritningsunderlag är centrala för att visualisera och planera den fysiska placeringen av radioutrustningen. Detta inkluderar:

- **Byggnadsritningar:** Detaljerade ritningar av de områden där radioutrustningen kommer att installeras, inklusive planlösningar, byggnadsmaterial och takhöjder. Om möjligt bör även en beskrivning av produktionsanläggningen för att avgöra hur stor andel av lokalerna som har maskiner och annan utrustning som kan hindra radiosignalerna.
- **Fotografier av installationsplatsen:** Visuella representationer av miljön kan ge en bättre förståelse för eventuella hinder eller särdrag som påverkar signalöverföring (se ovan om produktionsanläggningen).
- **Täckningskartor:** Tidigare mätningar av radiovågor och täckningsnivåer, som kan hjälpa till att identifiera områden med svag signal och behovet av fler accesspunkter.

Kunskap om Installation av Radioutrustning

Det är också viktigt att ha djupgående kunskap om hur och var installationen av radioutrustningen kan utföras. Detta inkluderar:

- **Lämpliga montagesätt:** Förståelse för olika montagesätt, inklusive väggmontering, takmontering, och eventuella krav på installationshöjd för att optimera täckning och prestanda.
- **Utrustningens specifikationer:** Kännedom om de tekniska egenskaperna hos den radioutrustning som används, inklusive effekt, frekvenser och strålningsmönster, vilket påverkar installationsvalen.

Kravbild baserat på Användarfallet

Planeringen bör också inkludera en detaljerad kravbild som är anpassad till specifika användarfäll, exempelvis:

- **Takmonterad truck:** När användningen av radioutrustning involverar en takmonterad truck kan det krävas ett specifikt täckningsmönster för att säkerställa ständig, pålitlig täckning även i rörliga miljöer. Här kan det också vara nödvändigt att beakta hur höga hinder påverkar signalens väg, samt att förutse potentiella rörelser i truckens bana.
- **Handhållen enhet med batteri:** För handhållna enheter, som ofta används av personal på golvnivå, kan andra krav ställas för att säkerställa god täckning och tillräcklig signalstyrka. Det kan i dessa fall vara nödvändigt att säkerställa att det finns en stark och stabil signal genom hela arbetsområdet, även i områden med många väggar eller andra hinder.

Genom att kombinera alla dessa faktorer kan vi skapa en omfattande radioplanering som möter de specifika behoven hos användarna och säkerställer en optimal användning av det privata 5G-nätverket.

6.2 Verktyg för radionätsplanering

I projektet har vi testat några olika radionätsplaneringsverktyg innan vi beslutade hur nätet skulle se ut. Inomhussystemet levereras med ett planeringsverktyg som kan generera fullständig "inköpslista" för komponenter som behövs för att installera nätet. Vår erfarenhet är dock att det systemet kraftigt överdrev behovet av antalet radioenheter i lokalen. Det kan givetvis bero på de parametrar vi matade in i systemet eller kvalitén på ritningarna men det var en så stor skillnad att det är värt att notera. Vi testade även andra planeringsverktyg, verktyg som tagits fram för WiFi men med anpassningar för 5G frekvenser. Verktygen är relativt enkla att använda och ger en grov uppskattning av den förväntade täckningen men inget av verktygen ger något stöd i bedömningen av kapacitet som uppnås.

Slutsatsen och erfarenheten från projektet är att radionätsplaneringen i en industrilokal inte kräver något avancerat verktyg utan att man med enkla tumregler och viss erfarenhet från radiosignaler, exv. från WiFi, snabbt kan avgöra lämpligt antal och placering av radioenheterna för att uppnå tillräcklig täckning och kapacitet. Det är också relativt enkelt att justera i efterhand genom att flytta eller lägga till radioenheter. Om man ska beakta framtida funktioner, så som positionering på meternivå, så kan det dock krävas ett större antal basstationer än om man bara beaktar täckning och kapacitet.

6.3 För installation och nätuppbbyggnad

Projektet hade som mål att bygga nätverket med så mycket standardiserad infrastruktur som möjligt. Fokus låg på att utnyttja befintligt kablage och att genomföra installationen utan behov av specialanpassade moment. Inom industrin används ofta standardiserad kommunikationsutrustning, till exempel trådlösa nätverk baserade på 802.11-standarden. För datakommunikation används i de flesta fall Ethernet över kategori 6a, medan fiberanslutningar vanligtvis baseras på singel mode-fiber med LC- eller SC-kontakter, vilket har varit industristandard i många år. I äldre installationer kan man hitta multimode-fiber och kategori 5-kablage, vilket dock inte förväntades vara ett hinder i den aktuella installationen.

6.3.1 Fysiska förutsättningar

I projektet har vi använt ett Ericsson DOT system för implementering av en privat 5G-lösning. Benämningarna nedan kan därför vara Ericsson specifika men motsvarande benämningar gäller för andra leverantörer. Det är av stor vikt att beakta de fysiska förutsättningarna, som inkluderar följande aspekter:

- **Kablage:** Det krävs en noggrann och väldefinierad kablagehantering mellan olika komponenter, däribland:
 - Kablage mellan IRU (Information Radio Unit) och DOT (Data Operating Terminal).
 - Kablage mellan IRU och basbandenhet (BBU).
 - Kablage mellan BBU och GPS-mottagare för exakt positionering och tidssynkronisering.
 - Kablage mellan BBU och det övergripande nätverket för att säkerställa korrekt datatrafik.
- **Rack-enheter:** Dimensionering och placering av rack-enheter bör göras med hänsyn till utrustningens specifika krav och framtida expansionsbehov.
- **Miljöförhållanden:**
 - **Ljudnivå:** En bedömning av ljudnivåerna är nödvändig för att säkerställa att arbete och drift inte påverkas negativt.

- **Kylsystem:** Effektiva kylsystem måste implementeras för att hantera värmeavledning från den aktiva utrustningen.
- **Dammhantering:** Skydd mot damm och andra föroreningar är avgörande för att bevara systemens funktionalitet och livslängd.
- **Dokumentation:** Det är viktigt att dokumentera samtliga patchningar, fiberkopplingar och annan relevant infrastruktur för att säkerställa en smidig drift och felsökning i framtiden.

6.3.2 Logiska förutsättningar

För att stödja den tekniska driften av den privata 5G-lösningen krävs också en grundlig förståelse av de logiska förutsättningarna, inklusive:

- **Nätverkssegmentering:**
 - Genom användning av **802.1Q trunkning** möjliggörs segmentering av nätverket för att optimera prestanda och säkerhet.
 - Tilldelning av **VLAN ID** är viktig för isolering av trafik och hantering av olika tjänster inom nätverket.
 - Implementering av **VRF/VXLAN ID** är fördelaktigt för att skapa virtuella nätverkssegment och möjliggöra bättre hantering av datakommunikation.
- **IP-adressering:** En noggrant planerad IP-adressering säkerställer att varje komponent i nätverket kan kommunicera effektivt och utan konflikter.
- **5G-komponenter:** Identifiering och integration av nödvändiga 5G-komponenter, såsom basstationer och kärnårsutrustning, är centrala för systemets framgång.
- **Länknät:** Design och implementering av länknät är en förutsättning för att upprätta stabil och snabb kommunikation mellan de olika delarna av nätverket.

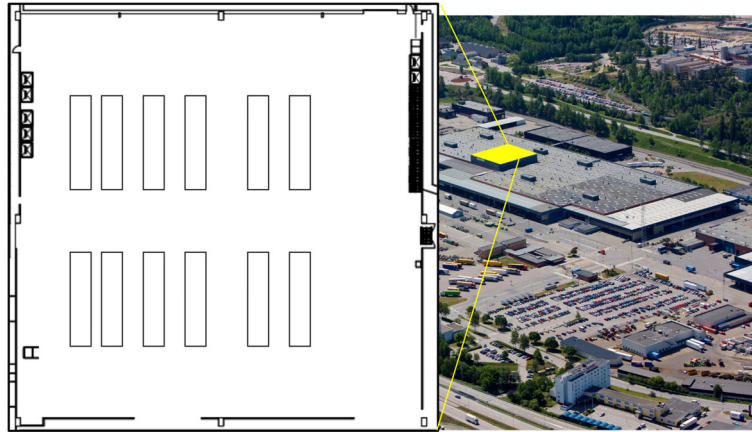
Det är viktigt att adressera både de fysiska och logiska förutsättningarna för att säkerställa en robust helhetsarkitektur.

7 Genomförda tester och erfarenheter

7.1 Radionät

7.1.2 Täckningsmätningar

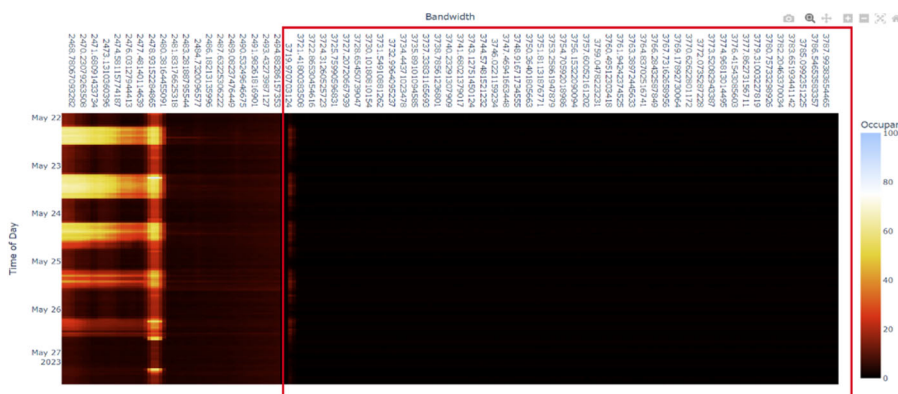
Vi har genomfört ett antal olika täckningsmätningar i fabriksmiljön på Scania. Den sammanfattande slutsatsen från dessa är att, trots att vi bara har ett väldigt litet antal radiosändare placerade i en begränsad del av byggnaden, så uppnår vi enkelt bra täckning i hela produktionslokalen och även i angränsande lokaler. För att uppnå täckning med ett överlapp mellan radioenheterna skulle det troligen räcka med 10 st. radioenheter i industrilokalen som är ca 55 000 kvm. Beroende på hur cellerna konfigureras borde det även kapacitetsmässigt räcka väldigt långt. Om man skulle identifiera täckningsproblem eller kapacitetsbrister är det väldigt enkelt att komplettera med extra radioenheter och ändrad konfiguration av radiocellerna. Om man i framtiden ska ha positionering på meter nivå kan det även behövas ytterligare radioenheter för att uppnå tillräcklig noggrannhet.



Figur 8 Byggnad där 5G nätet installerades (gult) som gav täckning i hela byggnaden

7.1.2 Störningar från/av det publika 5G näten i testmiljön på Scania

Som vi nämnt tidigare så har vi genomfört mätningar och en teoretisk studie av radiomiljön vid anläggningen på Scania. Det vi konstaterade då var att den operatör som använder det spektrum som ligger närmast i frekvensbandet inte hade någon 5G täckning i bandet 3.6–3.7 GHz på platsen. Övriga operatörer använder frekvenser i bandet 3.42–3.6 GHz vilket ligger långt ifrån och endast en av operatörerna hade täckning i området vid mätningen.



Figur 9 Användningen av aktuellt frekvensband inomhus

De övergripande slutsatser man kan dra av både de teoretiska studierna¹⁴ och mätningarna är att det finns relativt liten risk för störning mellan ett lokalt nät inomhus i en industribyggnad och det publika nätet utomhus, även om näten inte är synkroniserade med varandra. Det beror på att radiosignalerna dämpas väldigt snabbt (10-20 dB) när den passerar väggar så att störnivåerna blir små. Det öppnar även för att använda en annan uppdelning av radioresurserna för upp resp. nedlänk, dvs ramstruktur, inomhus utan att det uppstår störningar på utomhusnät. Detta gäller i fallet när det publika nätets siter står långt från lokalen där det lokala nätet byggs och väggdämpningen helt stänger ute det publika nätet. Även med en svag signal från det publika nätet har kan en terminal koppla upp sig och då riskerar man allvarliga störningar på det lokala nätet. I de fall man vill använda annan ramstruktur

¹⁴ Bn Nafi Hassan Mohammed Ibrahim O. Analysis of The Co-existence of Local and Macro Mobile Networks [Internet] [Dissertation]. 2023. (TRITA-EECS-EX). Available from: <https://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:kth:diva-343968>

och/eller ett osynkroniserat lokalt nät rekommenderas att gör det i samråd med de publika nätoperatörerna.

Däremot kan man från de teoretiska studierna dra slutsatsen att man alltid måste synkronisera näten om det finns ett publikt inomhusnät som använder frekvenserna i 3.4–3.7 GHz bandet, exv. genom att nyttja samma synkroniseringssignal som det publika nätet. Man kan även bygga en gemensam radioanläggning/basstation som sänder ut det privata nätet tillsammans med de publika näten, vilket även löser andra radiotekniska problem som kan uppstå med när sändare från två olika nät inte är placerade på samma plats.

För lokala nät med basstationer och uppkopplade enheter utomhus är givetvis risken större för störningar mellan det lokala nätet och det publika. Sannolikheten för att det publika nätet har täckning utomhus i 3.4–3.7 GHz bandet på platsen är också större än inomhus. Utomhus finns även risken med störningar mellan två lokala nät på närbelägna fastigheter, då de lokala näten använder samma frekvens. Det är därför en stark rekommendation att använda synkronisering mot de publika näten och att använda samma skamstruktur/uppdelning mellan upplänk och nedlänk. Störningar mellan två lokala nät kan bara lösas genom god radionätsplanering av båda näten.

7.2 Jämförelse med Wi-Fi

Vi har i projektet inte genomfört några mätningar för att jämföra 5G med WiFi i testanläggningen. Som vi konstaterat ovan så uppnår vi dock fullständig 5G täckning med god kapacitet för ett mindre antal klienter i hela byggnaden. Detta trots att alla radioenheter var placerade väldigt nära varandra i en del av anläggningen och konfigurerade med 2 separata celler. Man kan anta att vi skulle kunna förbättra täckningen genom att sprida radioenheterna till fler platser i lokalen men det skulle definitivt fortfarande räcka med ca 10 radioenheter/DOT. Man skulle kunna dela upp dessa på flera celler utan att påverka kvalitet på uppkopplingen, även för rörliga klienter, kapacitetsmässigt utifrån det antalet klienter som är uppkopplade på WiFi idag.

Som jämförelse så finns idag i lokalen ca 120 accesspunkter för att åstadkomma täckning i hela lokalen för ca 500 samtidigt uppkopplade enheter. De enheter som är uppkopplade är såväl anställdas företagstelefoner, laptops, plattor och annan IT-utrustning samt även ca 100 driftsystem/maskiner (OT). Om man skulle koppla upp alla dessa enheter eller bara OT-system till 5G nätet beror främst på vilken säkerhet och segmentering man vill åstadkomma.

7.3 Synkronisering av nätet

Som nämnts ovan krävs väldigt noggrann tids och fassynkronisering av 5G basstationerna för att fungera korrekt och även för att undvika störningar från eller av omkringliggande 5G nät i närliggande frekvensband. Det kan man enklast och billigast åstadkomma med en mottagare för GNSS signaler (samlingsnamn för GPS med flera satellitsystem för positionering). En GNSS mottagare kräver dock att man installerar antennen utomhus med god sikt ”mot himlen” där satelliterna befinner sig. Antennen och kablar måste då vara helt väderbeständiga för att undvika att vatten tränger in och påverkar GNSS signalen. I vårt fall trängde vatten in i kablarna och vi noterade fel i vårt testsystem vid ett stort antal tillfällen innan vi konstaterat orsaken. Systemet är alltså känsligt för att tappa synkroniseringen och för en industriprocess kan det vara helt avgörande att man har ett väldigt robust 5G nät och därmed en robust synkronisering.

I det rådande säkerhetsläget vet vi alla att det förekommer avsiktliga störningar av GNSS systemet av olika slag. Det kan röra sig om att man helt stör ut systemet med starka radiosändare på långa avstånd eller lokalt genom att man placerar störsändare i närheten av en känslig anläggning. Det finns även exempel där man skickar ut falska signaler som får GNSS mottagarna att tro att de befinner sig på en annan plats eller med fel tidsangivelse. Det finns därför skäl att överväga att använda sig av annan synkronisering än av GNSS. Det är även detta som ligger till grund för PTS krav på de publika näten att de inte får vara helt beroende av GNSS för synkronisering.

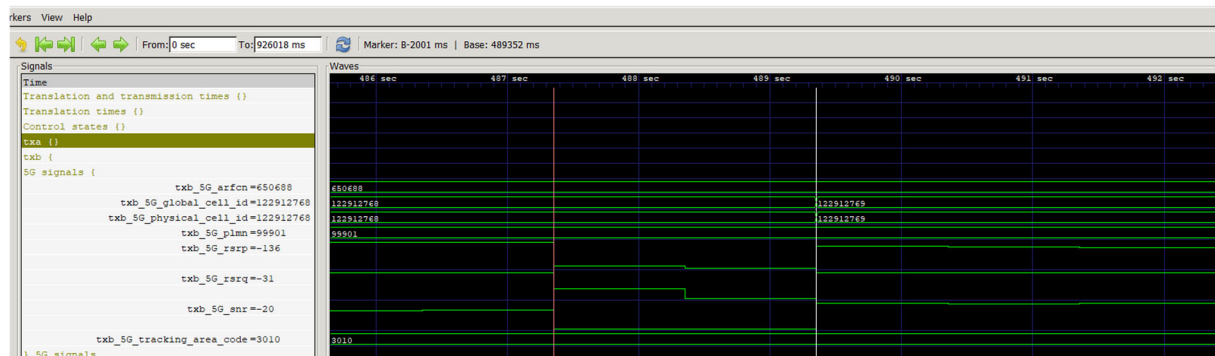
Som alternativ till GNSS kan man använda sig synkronisering som distribueras via Ethernet eller fiber till basstationen. Det finns standardiserade protokoll (PTP/IEEE 1588v2) för hur man ska distribuera synkronisering men det ställs höga krav på stöd hos all utrustning, routrar och switchar, som synkroniseringssignalen passerar. Man behöver också en väldigt exakt källa där man hämtar sin synkroniseringssignal. I Sverige finns till exempel Netnod som kan distribuera detta men man kan även ha ett eget atomur som är helt oberoende av kommunikation utanför den egna anläggningen. Allt blir en avvägning av risker och kostnad där GNSS är billigast men med stort risk att störas avsiktligt eller oavsiktligt och där ett lokalt atomur är dyrt men med väldigt liten risk att störas ut. Kostnaden av en lokal stabil och säker klocksignal är knappast något som ett lokalt 5G nät i sig kan bära men man ska observera att det finns många andra system och processer som skulle kunna utnyttja samma källa. Ett uppenbart exempel för att öka robustheten och säkerheten i sitt IT/OT system är att ha en egen s k NTP server (Network Time Protocol) för att säkerställa att ingen kan manipulera tidsuppfattningen i olika system och processer. En felaktig tid i till exempel backupsystemen kan få ödestigna konsekvenser.

7.4 Modem och "devices"

I början av projektet har vi identifierat 6 scenarier som vi skulle vilja testa, ganska snart stod det klart att inte alla tester kunde utföras på grund av begränsningar i dagens Åkerströms system och att modifiera det skulle vara för mycket arbete för liten vinst. Därför strävade vi efter att endast testa 3 scenarier. Att få 5G-komponenterna att fungera var mer komplicerat än vad man först förväntade sig och fokus flyttades från att testa scenarierna till att få allt att fungera från början. Detta ledde till att de totalt 6 planerade testdagarna reducerades till ca 1,5. Detta innebar också att det inte fanns tillräckligt med tid för att utföra alla tester och vi bestämde oss för att endast testa de mest kompletta scenarierna.

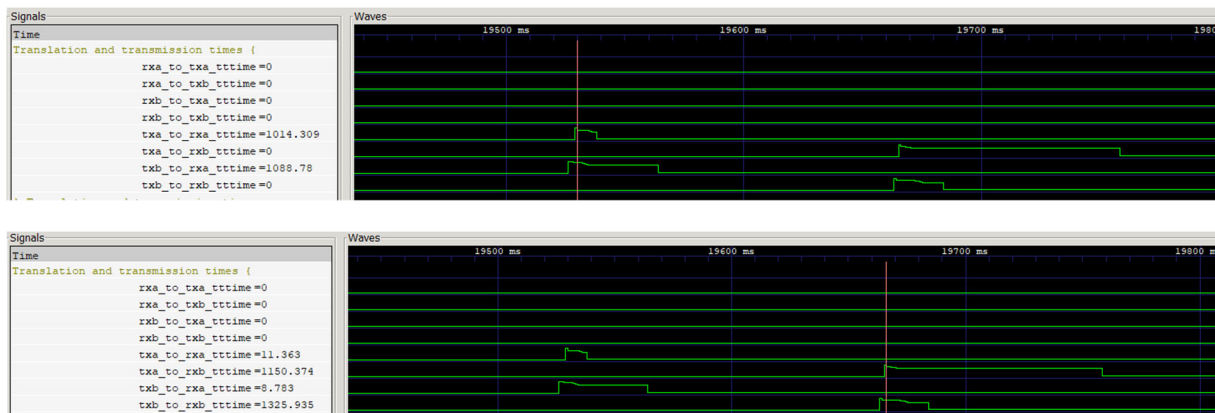
En av de intressanta observationerna var ett scenario som drabbades av någon form av buffringsproblem som gjorde 5G-länkarna helt oanvändbara för ett säkert fjärrstyrningssystem även om vi skulle implementera ett smartare protokoll. Vissa av fördröjningarna är så stora att vi inte riktigt kan lita på data eftersom sättet vi mätte på kan felidentifiera några av tidpunkterna om paketen är identiska. Detta innebär dock att de angivna värdena här kan vara mindre än de faktiska förseningarna. Den genomsnittliga tiden mellan kontrollpaket borde vara långt under en halv sekund, men i det här fallet hade vi mer än 4 % över 19 sekunder.

I det sista scenariot stängdes några av nätets radiosändare av. Det utlöste en intressant händelse där det tog cirka två sekunder för 5G-modulen och/eller datorsystemet att upptäcka dålig radiokvalitet och att etablera sig på den andra radiocellen. För ett industristyrningssystem är detta inte acceptabelt eftersom det kommer att utlösa en snabbstopphändelse, vilket i princip drar i handbromsen på den maskin som används, vilket minskar maskinens livslängd och får maskinen att bete sig oväntat.



Vi har bara sett detta hända en gång, men under vårt besök på Fiskarheden har vi sett att de har liknande problem när de byter cell.

Under 6 av de 10 testerna har en kort topp i fördröjningen mellan paketen. Detta har inte varit något problem i scenarierna då aktiveringen av styrlänken sker efter att fördröjningarna har stabiliserats.

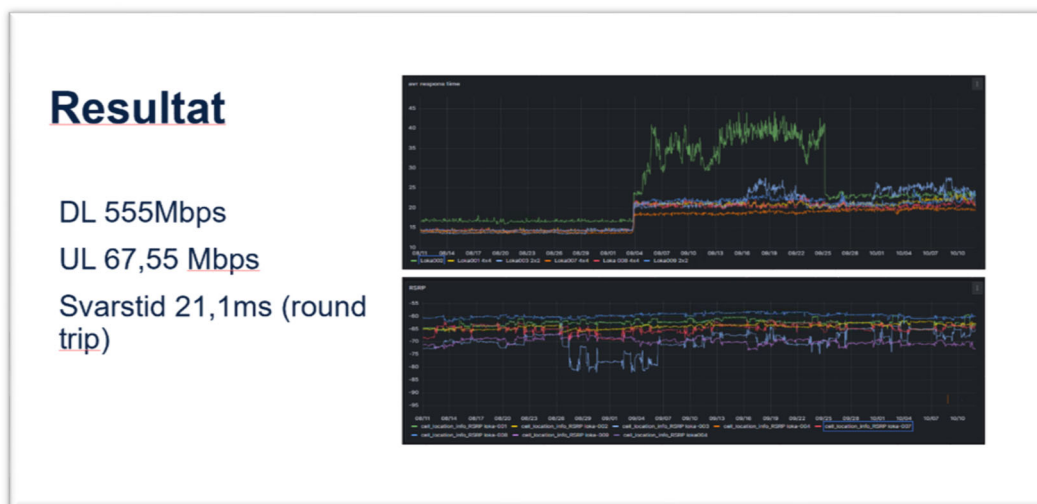


Topparna, när de finns, är vanligtvis mellan 500 och 1000 ms. och varaktigheten är vanligtvis mindre än 100 millisekunder. När nätverket "vänjer sig vid dataflödet" försvinner dessa toppar. Det finns bara en spik per länk mellan enheter och när Åkerströms system börjar skicka data är dataströmmen kontinuerlig. Mellanrummen mellan paketen verkar inte vara tillräckligt stora för att utlösa liknande toppar senare. Detta innebär att vi måste hitta ett sätt att komma runt dessa starttoppar när man implementerar ett Ethernet baserade kontrollprotokoll.

7.5 Sammanfattning av prestanda

Som nämns ovan och i sammanfattningen så har vi i projektet inte uppnått de svarstider som man ofta hör talas om i marknadsföringen av 5G. Vi har dessutom sett stora variationer i svarstider som vi inte lyckats hitta förklaringar till i projektet. Samtidigt ska vi konstatera att vi har använt ett demosystem och har inte optimerat det för skarp drift. Det är möjligt att vi hade kunnat optimera genom att prioritera viss applikationer mot andra och på andra sätt optimerat för exv. stabila svarstider eller högre datahastighet.

Figur 10 visar genomsnittlig datahastighet och svarstider i nedlänk resp. upplänk som vi har noterat i systemet. Observera att svarstiden är s k round trip, dvs fram och tillbaka till samma enhet och man kan uppskatta envägs fördröjning till ca 10 ms i snitt. Det innefattar även ev fördröjningar i de anslutna enheterna och inte bara det som händer på radiogränssnittet. Variationerna i svarstider har vi inte satt något speciellt värde på men som framgår ovan så har de varierat mellan 12 – 100 ms roundtrip vid olika tillfällen och mätuppställningar.



Figur 10 Sammanfattning av genomsnittlig prestanda

8 Drift och underhåll

Vårt testsystem har inte varit i skarp operativ drift, dvs använts i produktionen på Scania, och vi har därför inte en komplett bild av vad som kommer att krävas kring drift och underhåll. Vi har dock haft en del diskussioner och dragit vissa slutsatser utifrån de erfarenheter vi haft i projektet.

8.1 Ansvarsfördelning

Beroende på hur man väljer att bygga sitt lokala 5G nät och vilka, och hur många, parter som är inblandade så fördelas ansvaret väldigt olika. Det är viktigt att man redan i planeringsfasen funderar över hur man vill att ansvaret ska fördelas innan man väljer leverantörer och driftsmodeller. Det är en sak att ansvaret kan vara tydligt när man bygger nätet men sedan måste det vara tydligt även i operativ drift.

8.2 Övervakning och felrapportering

Övervakningen av 5G nätet är tätt kopplat till övervakningen av övriga IT/OT system och kan med fördel bedrivas av samma organisation. De måste dock ha kompetensen och verktygen för att sköta nätet. Den som sköter driften och övervakningen av nätet måste bland annat ha verktyg för att snabbt få en bild av eventuella uppkopplingsproblem, till exempel till följd av bristande täckning eller kapacitet, och ha full insyn i vilken radioenhet som verktyget, maskinen eller personen är uppkopplad emot. Man måste även kunna få en snabb bild av status på de uppkopplade enheterna så att vid behov kan uppgradera på distans eller stänga av enheter som inte fungerar som de ska och eventuellt stör andra enheter. Det är ett tydligt krav på systemlösningen om man ska kunna sköta driften själv i ett stand-alone nät.

Om man väljer att använda sig av ett privat nät som är integrerat eller helt baserat på de publika näten ansvarar operatören normalt för övervakningen av allt fram till 5G basstationen. Man ser helt enkelt till att säkerställa konnektivitet eller uppkoppling och att hålla radionätet i drift. Operatören tar dock väldigt sällan ansvar för användarutrustningen, IT/OT integration, applikationer, mjukvaruuppdateringar, tester etc. Man måste med andra ord se till att man har en fungerande process mellan den egna driftsorganisationen och operatörens driftorganisation för rapportering, information och felavhjälpning avseende störningar i konnektivitet.

9 Sammanfattande reflektioner och rekommendationer

Att sammanfatta ett så här omfattande projekt i några enkla slutsatser och rekommendationer är en stor utmaning. Vi har dock gjort ett försök att sammanfatta det viktigaste:

1. Det är relativt enkelt att bygga ett lokalt 5G nät i Sverige

Processen att få ett tillstånd från PTS, köpa och installera 5G nätet med system för att sköta det samt att sedan sköta om ett lokalt 5G nät är ganska enkelt och liknar mycket den insats som krävs för ett bygga och sköta ett avancerat WiFi system. Utmaningarna ligger inte i att använda en ny radioteknik utan snarare i hur man integrerar det med befintliga system, utrustningar och processer.

2. Lokala 5G nät har fördelar gentemot WiFi och andra tekniker men ersätter inte nödvändigtvis behovet av sådana system

Den störst skillnaden mellan WiFi och ett lokalt nät är att man har full kontroll över radiomiljön eftersom ett lokalt 5G använder frekvenser som man får exklusiv rätt att använda på ett geografiskt område. Det finns väldigt små risker att man får störningar av radiosignalerna i ett 5G nät om man synkroniserat nätet.

5G är också byggt för att stödja rörliga enheter på ett mycket bättre sätt än WiFi, är bättre lämpat för högre effekter i utomhusmiljön och har en större cybersäkerhet inbyggd i systemet.

3. Tillgängligheten av utrustning för uppkoppling mot lokala 5G nät är fortfarande begränsad men har förbättrats

Även om tillgängligheten under hösten 2024 är mycket bättre än den var när vi startade projektet finns det fortfarande få verktyg och industriutrustningar som har direkt/inbyggd uppkoppling mot 5G. Det finns dock stort utbud av modem, gateways och bryggor för att indirekt ansluta utrustning med kabel, Bluetooth, WiFi, LoRa osv till 5G nätet.

Det är många av verktygsleverantörerna som arbetar med att ta fram uppkopplade verktyg. Som ett bra exempel kan nämnas Atlas Copco som kommit väldigt långt i utvecklingen av monteringsutrustning för tillverkningsindustrin.

4. Systemintegratörerna blir väldigt viktiga

Den största utmaningen med lokala 5G nät är som sagt inte 5G nätet i sig utan integrationen mot övriga IT/OT system och produktionsprocesserna. Här kommer systemintegratörerna att spela en avgörande roll för att man ska dra full nytta av det lokala 5G nätet. Utmaningen är dock inte helt olik den man redan har för WiFi och det kan snarare förenkla eller försvåra om man övergår till 5G.

I dagsläget verkar inte systemintegratörerna (SI) riktigt insett möjligheterna med 5G för OT och det finns ganska få exempel där de stora SI företagen varit engagerade. Hittills är det främst operatörerna och mindre leverantörer som varit engagerade i de implementeringar som gjorts i Sverige.

5. Säkerhet och robusthet är avgörande

Säkerhet och robusthet i produktionen är redan idag väldigt viktig och ligger högt på agendan. Ett lokalt 5G nät tillför vissa utmaningar men det löser också andra. Som många företag insett kan man bygga 5G nätet helt frikopplat från de publika näten och väl isolerat från internet. All 5G funktionalitet kan placeras lokalt på anläggningen och man kan minimera behovet av extern internetkoppling. Det gör att man kan bygga en väldigt robust lösning som kan fungera helt autonomt även vid avgrävda fiberanslutningar eller andra större fel och störningar i de publika näten.

5G har stora fördelar mot andra generella radiotekniker, exv WiFi och LoRa, då variationerna i fördröjningar och datahastigheter kan hållas på en relativt låg nivå. Det är oftast viktigare att det är små variationer än att man t ex. uppnår extremt låga fördröjningar. I projektet har vi haft för stora variationer i prestanda och för många avbrott för att använda utrustningen i skarp drift. Orsaken till detta är troligen inte 5G tekniken i sig utan snarare implementeringen och hanteringen av testnätet.

En viktig aspekt som framkommit i projektet är tillgången på en bra källa för tid- och fassynkronisering av 5G nätet men även för resten av IT/OT systemen i produktionen. Givetvis kan man använda GPS/GNSS som källa för detta men i dagens säkerhetsläge, med upprepade störningar av GPS/GNSS, finns ett behov av att utvärdera om man behöver en robustare lösning med lokal synkronisering eller nätbaserad synkronisering, exv. från riksnormalen Netnode.

6. Utvärdera era verksamhetsbehov, brister i dagens lösning och börja smått

Det absolut viktigaste för en framgångsrik implementering av ett lokalt 5G nät är att man börjar med att identifiera vilka verksamhetsbehov man vill lösa, vilka problem man har idag och om 5G är den bästa lösningen för detta. När man har identifierat verksamhetsbehoven gäller det att välja ett prioriterat behov som man enkelt kan implementera och verifiera att 5G fungerar som planerat. I dagsläget är det till exempel svårt att uppnå de låga fördröjningar som 5G standarden teoretiskt kan erbjuda och positionering via 5G nätet ligger fortfarande något år bort. Då är det enklare att fokusera på verksamhetsbehov som kräver låg till medelhöga bandbreddsbehov, uppkoppling av rörliga enheter (exv. handhållna enheter, logistiksystem och AGV), uppkoppling av batteridrivna verktyg, talkommunikation via Push-To-Talk (PTT) och den verksamhet som bedrivs helt eller delvis utomhus. I de fallen ger 5G stora fördelar mot exv. WiFi och man kan snabbt se effekter i verksamheten.

Sist men inte minst vill vi uppmana alla de företag som installerat eller funderar på att installera ett lokalt 5G nät att ta kontakt med sina branschkollegor för att utbyta erfarenheter. Här har även branschföreningar så som Teknikföretagen med flera en viktig uppgift att sprida kunskapen och erfarenheterna för ett snabbare införande av privata 5G nät i Sverige för en effektivare produktion och stärkt konkurrenskraft för Sveriges företag.