

KARTLÄGGNING AV MOBILTÄCKNING & KUNDUPPLEVELSE

PÅ UPPDRAG AV REGION GÄVLEBORG INOM PROJEKT
DIGITAL UPPKOPPLING LÄNGS VÄG OC JÄRNVÄG I
GÄVLEBORG



Medfinansieras av
Europeiska unionen



Region
Gävleborg

Innehållsförteckning

BEGREPPSFÖRKLARING	4
TIDSLINJE	5
2. UPPDRAGETS OMFATTNING	7
2.1 AVGRÄNSNINGAR	8
3. FÖRBEREDANDE ARBETE	8
3.1 VALIDERING AV MÄTMETOD OCH UTFÖRANDE	8
3.2 PLANERING AV FÄRDRUTTER	8
4. FÖRUTSÄTTNINGAR	9
4.1 FÖRUTSÄTTNINGAR VID MÄTNING, TÅG	9
4.2 FÖRUTSÄTTNINGAR VID MÄTNING, BUSS	11
4.3 PUBLIK KOMMUNIKATION	11
5. VALIDERING AV MÄTMETOD OCH UTFÖRANDE	12
5.1 SAMORDNING NÄTÄGARE	12
5.2 MÄTMETOD OCH LIKVÄRDIGHET	14
5.2.1 UPPRÄTTANDE AV MÄTVERKTYG OCH METODER	14
6. UTRUSTNING OCH FÖRUTSÄTTNINGAR - MÄTNINGARNA	15
6.1 TEKNISKA FÖRUTSÄTTNINGAR	15
6.2 KONSULTERNAS UTRUSTNING	15
6.2.1 DATAINSAMLINGSENHETER	15
7. GENOMFÖRANDE	16
7.1 KARTLÄGGNING AV VIDEOKONFERENSMÖTE VIA MOBILTELEFONER	16
7.2.1 MÄTNING PÅ TÅG	17
7.2.2 MÄTNING PÅ BUSS	17
7.3 INSAMLING FÖR TÄCKNINGSKARTA VIA MÄTSKANNER	17
7.3.1 OMBORD TÅG	17
7.3.2 OMBORD BUSS	19
7.4 EFTERANALYS AV MÄTNINGARNA	20

8. RESULTAT	21
8.1 TÄCKNINGSKARTOR, TÅG	22
8.1.1 TÄCKNINGSKARTA TÅG, SKANNER	22
8.1.1.1 KARTA SKANNER, N4M (TÅG)	23
8.1.1.2 KARTA SKANNER, TELIA (TÅG)	24
8.1.1.3 KARTA SKANNER, HI3G (TÅG)	25
8.1.2 TÄCKNINGSKARTA MOTTAGNING OMBORD PÅ TÅG, MOBILTELEFON	26
8.1.2.1 KARTA MOBILTELEFON, N4M (TÅG)	26
8.1.2.2 KARTA MOBILTELEFON, TELIA (TÅG)	27
8.1.2.3 KARTA MOBILTELEFON, HI3G (TÅG)	28
8.1.3, TÄCKNINGSKARTA WI-FI, OMBORD PÅ TÅG	28
8.2 TÄCKNINGSKARTOR, BUSS	29
8.2.1 TÄCKNINGSKARTA BUSS, SKANNER	29
8.2.1.1 KARTA SKANNER, N4M (BUSS)	30
8.2.1.2 KARTA SKANNER, TELIA (BUSS)	31
8.2.1.3 KARTA SKANNER, HI3G (BUSS)	32
8.2.2 TÄCKNINGSKARTA MOTTAGNING OMBORD PÅ BUSS, MOBILTELEFON	33
8.2.2.1 KARTA MOBILTELEFON, N4M (BUSS)	33
8.2.2.2 KARTA MOBILTELEFON, TELIA (BUSS)	34
8.2.2.3 KARTA MOBILTELEFON, HI3G (BUSS)	35
8.2.3, TÄCKNINGSKARTA WI-FI, OMBORD PÅ BUSS	35
9. ANALYS OCH FÖRSLAG PÅ ÅTGÄRDER	36
9.1.1 BETYDELSE AV JÄMN UPPLÄNK	36
9.1.2 RADIOSTÖRNINGAR	36
9.2 ANALYS OCH FÖRSLAG PÅ ÅTGÄRDER, TÅG	37
9.2.1 DATAHASTIGHET MOBILNÄT TÅG	37
9.2.1.1 KARTA MOBILTELEFON UPP OCH NEDLÄNK, N4M (TÅG)	38
9.2.1.2 KARTA MOBILTELEFON UPP OCH NEDLÄNK, TELIA (TÅG)	39
9.2.1.3 KARTA MOBILTELEFON UPP OCH NEDLÄNK, HI3G (TÅG)	40
9.2.1.4 KARTA MOBILTELEFON UPP OCH NEDLÄNK, WI-FI (TÅG)	41
9.2.2 FÖRSLAG ÅTGÄRDER, MOBILNÄT TÅG	41
9.2.2.1 UPPGRADERING AV REPEATRAR	41
9.2.2.2 UTVÄRDERING AV RF-FÖNSTER	42
9.2.2.3 FORTSATT DIALOG MED MOBILOPERATÖRERNA	42
9.2.3 TÄCKNINGSANALYS WI-FI, TÅG	42
9.2.4 FÖRSLAG ÅTGÄRDER WI-FI, TÅG	43
9.3 ANALYS OCH FÖRSLAG PÅ ÅTGÄRDER, BUSS	44
9.3.1 DATAHASTIGHET MOBILNÄT, BUSS	44
9.3.1.1 KARTA MOBILTELEFON UPP OCH NEDLÄNK, N4M (BUSS)	45
9.3.1.2 KARTA MOBILTELEFON UPP OCH NEDLÄNK, TELIA (BUSS)	46
9.3.1.3 KARTA MOBILTELEFON UPP OCH NEDLÄNK, HI3G (BUSS)	47
9.3.1.4 KARTA MOBILTELEFON UPP OCH NEDLÄNK, WI-FI (BUSS)	48
9.3.2 FÖRSLAG ÅTGÄRDER MOBILNÄT	48
9.3.3 TÄCKNINGSANALYS WI-FI, BUSS	48

9.3.4 FÖRSLAG ÅTGÄRDER Wi-Fi, BUSS	49
SLUTSATS	51

BILAGOR:

KOMPONENTREGISTER	53
REPEATERS OMBORD PÅ TÅG	54
RADIOSTÖRNINGAR VID INBROMSNING, MOBILTELEFON	56

Begreppsförklaring

Basstation – Sändarplats för radiobaserad kommunikation för 2G (GSM), 3G (UMTS), 4G (LTE) och 5G (NR)

Carrier Aggregation (CA) – Teknik som gör att mobiltelefonen kan nyttja fler kanaler i basstationen en endast en. Detta gör att utrustningen fungerar på flera frekvensband samtidigt och ökar tillgänglig bandbredd och teoretisk tillförliggande högre datahastighet. Kan förekomma för både Upplänk och Nedlänk.

Cell – Del av basstation. Varje basstation kan innehålla en eller flera celler per frekvensband för sektorisering av mobiltäckning.

dB – Decibel, skala för mätning av signalstyrka

Dämpning – Faktor som påverkar signalutbredning negativt vid data och telekommunikation. Dämpning uppkommer ex. vis när radiosignaler skall tränga in buss eller tåg där plåt, solfilm eller andra hinder förekommer eller vid nyttjande av splitter som fördelning av signalen från en gemensam insamlingsport till flera mottagar- eller sändar-portar

fps – Frames per second, antal bildrutor per sekund som skickas

GSM – Global Service for Mobile Communication, Mobiltelefoni 2a Generation (2G). Tal och begränsad datakommunikation. Under nedmontering.

GPS – Global Positioning System, Nätverk av satelliter för att tillhandahålla positionsangivelse.

HD-bild – High Definition, mått på bildkvalité

Hotspot – Anslutningspunkt för kommunikation via Wi-Fi-nät

LTE – Long Term Evolution, Mobiltelefoni 4e Generation (4G). Tal och höghastighetsdatakommunikation

Läckande kabel – En antenn integrerad i en kabel, används ombord på tågen för sändning och mottagning av mobiltelefonisignaler kopplade till en repeater eller Wi-Fi router

Mobiltelefon (UE) – radiokommunikationsenhet, kan t. ex vara mobiltelefon, surfplatta eller laptop, i detta fall en mobiltelefon.

Nedlänk – Radiosignaler från cell till mobiltelefon (DL)

NR – New Radio, Mobiltelefoni 5e Generationen (5G). Idag mestadels för höghastighetsdatakommunikation.

Repeater – Utrustning för återutsändning av dubbelriktad kommunikation av radiosignaler

Router - Enhet som ansluter två eller flera nätverk till varandra, typ mellan mobilnätet och mobiltelefon via Wi-Fi

RF-Fönster – Radiotransparanta fönster för lättare genomsläppning av radiosignaler vid nyttjandet av metallfilm för solskydd.

Skanner – Radiomottagare för kartläggning av täckning, cellinformation, radionätkvalité osv. Mäter enbart nedlänk.

UMTS – Universal Mobile Telecommunications System, Mobiltelefoni 3e Generationen (3G). Tal och Datakommunikation. Under nedmontering.

Upplänk – Radiosignal från mobiltelefon till cell (UL).

Wi-Fi – Trådlös LAN-uppkoppling (Local Area Network)

Tidslinje



1. Bakgrund

Vi rör oss ständigt mot ett ökat uppkopplat och mer digitalt samhälle, där kraven på uppkoppling och tillgänglighet ökar från år till år. Redan idag anser de flesta att en stabil och pålitlig internetuppkoppling är en självklarhet oavsett plats man befinner sig på. Man förväntar sig kunna ta telefonsamtal, svara på mejl och delta i teamsmöten vid arbetspendling, privat vill man kunna använda alla typer av digitala tjänster såsom att surfa på internet och streama musik och film såväl hemma, ute i samhället och när man nyttjar kollektivtrafik.

Den nationella bredbandsstrategin har som mål att alla i Sverige ska kunna använda mobila tjänster av god kvalitet oavsett var de befinner sig.

Statistik från Post- och telestyrelsen (PTS) visar dock att endast 35 procent av järnvägsnätet och 40 procent av vägnätet i Gävleborg har god mobiltäckning. Därför är det viktigt att göra en kartläggning och utifrån denna ta fram förslag på förbättring i samråd med alla intressenter.

Syftet med rapporten är dels en kartläggande funktion av dagens mobiltäckning inom Gävleborg med tillhörande högtrafikerade sträckor (pendlarstråk), dels att skapa ett underlag för eventuella framtida åtgärder som kan tänkas öka den uppkopplade upplevelsen. Exempel på åtgärd kan vara att befintliga mobilnät bereds ingångsvärden för en fortsatt utbyggnad, eller att allmänt förbättra den redan existerande täckningsnivån via ny aktiv utrustning på de fordon som är i behov av en uppgradering.

Senast 2028 ska man kunna visa upp att den förväntade uppkoppling som invånarna önskar har realiserats i praktiken, eller är på väg dit genom att ha skapat ett välgrundat beslutsunderlag för framtida uppgraderingar och förtätningar.

Kollektivtrafiken är fokus i denna rapport, och har en viktig samhällsfunktion att spela. I Gävleborg rör sig invånare och besökare över stora geografiska områden för att kunna ta sig till vårdinrättningar, skolor, arbetsplatser osv. Avsaknaden av stabil internetuppkoppling vid resande begränsar både privatpersoner och näringsliv samt hämmar utvecklingen av en hållbar och attraktiv kollektivtrafik.

Det finns idag ett stort intresse att öka resandet med kollektivtrafik i alla län och regioner, både för privata syften och som en arbetspendlarfunktion. Utöver att alla inte har möjlighet att förflytta sig med eget fordon, bidrar strävan efter minskat klimatavtryck till den ökande efterfrågan på kollektivt resande. Många ser det även som en möjlighet att kunna använda sin restid på ett mer produktivt sätt.

I och med att frågan att öka antalet resor med kollektivtrafik drivs på samhällsnivå, behöver man veta hur förutsättningarna för den mobila uppkopplingen ser ut, och dess möjligheter att fungera tillfredsställande. Strävan att uppnå en konstant nåbarhet förutsätter att kollektivtrafiken erhålls en stabil och lättillgänglig uppkoppling i kombination med en stabil bastäckning av både fasta och mobila telekomnätverk.

På så sätt kan man säkra att framtida upphandlingar av trådlöst internet ombord på bussar och tåg kan genomföras korrekt och att rätt utrustning monteras. Vid behov kan man stötta mobiloperatörerna med data för att säkra upp sin täckning på rätt plats och med rätt teknik. Utökningen av den samlade upplevelsen av en stabil uppkoppling kan fortlöpa för att förhoppningsvis i slutändan nå allt och alla.

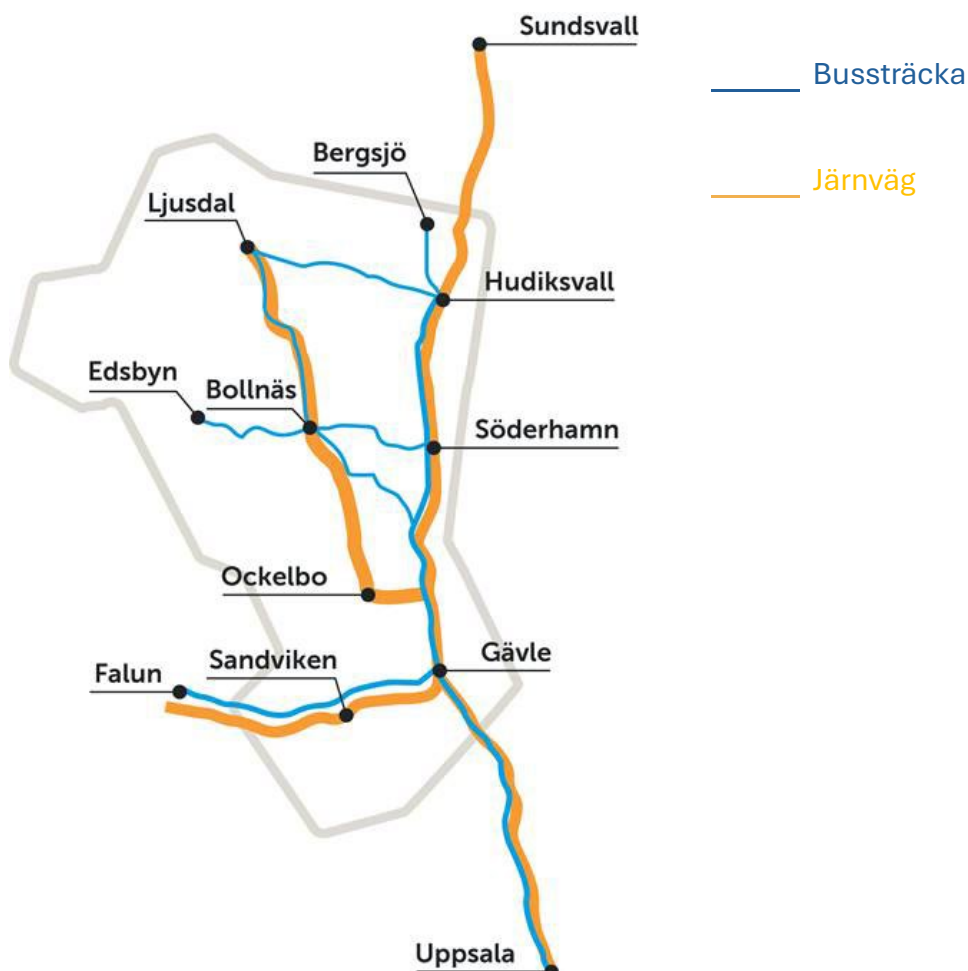
2. Uppdragets omfattning

Konsultuppdraget har omfattat:

- Kartlägga och analysera mobiltäckningen och uppkopplingen längs starka kollektivtrafikstråk för Region Gävleborg.
- Identifiera hinder och föreslå lösningar för förbättrad uppkoppling.

Kartläggning av mobiltäckning inom Gävleborg med hjälp av skanner, ombord på tåg eller i buss med följe bil. 4 st uppkopplade mobiltelefoner har använts, 3 st har varit uppkopplade mot mobilnäten samt 1 st mot WiFi-nät ombord tåg eller längs med busstäckan. Kartläggningen innefattar signalstyrka för mobiltelefoni, datahastighet mobiltelefoni samt upplevelse av tjänst via mobiltelefon. Samtliga mobiltelefoner var under testet uppkopplade mot ett gemensamt TEAMS-möte inklusive röst och video.

Dessa väg- och järnvägssträckor var aktuella för mätningarna där orange sträckor är tågsträckor och blå sträckor är bussträckor:



Telefonerna har varit öppna för alla mobilnät, dvs 2G (GSM) till 5G (NR) och nyttjat den av mobilnätet valda kanal, cell och aktuell frekvens eller frekvenser i de fall detta förekom. Sammantaget var det ej aktiverat låsningar eller forceringar för respektive SIM-kort, förutom

Wi-Fi-tester där telefonen var utan SIM-Kort men uppkopplad mot aktuell router (hotspot) för respektive teststräcka.

2.1 Avgränsningar

Endast de större vägarna i länet med flest resenärer omfattades av mätningarna. Samtliga fyra järnvägssträckor med utgångspunkt från Gävle, mättes fram till närmsta större ort.

Inga separata tester genomfördes för dedikerat röstsamtal eller ren datahastighet.

Den av operatörerna tillgängliga täckningskartan kan ses som en bra indikation över hur täckningen är inom ett område eller geografi. Dock visar dessa kartor all tillgänglig täckning och inte vad som är specifik täckning baserad på faktiska frekvensband som utrustningen stödjer.

Sträckan Gävle-Uppsala är ett starkt pendlarstråk och har stor betydelse för Gävleborg. Sträckan trafikeras av Mälardalstrafik. Region Gävleborg har inget ägarskap i Mälardalstrafik och därför sker ingen analys av den tekniska utrustningen (wifi och repeaters) ombord på tågen och inte heller ges några förslag på åtgärder. Dock har sträckan blivit uppmätt på samma vis som övriga sträckor i Gävleborg.

Nätägare Net1 som innehar ett mindre frekvensband inom 450Mhz-bandet utlämnades då denna operatör inte riktar in sig mot privat eller företagskunder utan bara till myndigheter och liknande instanser. Således skulle en kartläggning av detta band inte ge ett svar på om publik täckning finns eller ej, då denna täckning inte kan anses som publik för rapportens ändamål.

3. Förberedande arbete

3.1 Validering av mätmetod och utförande

Region Gävleborg genomförde tillsammans med konsulter från Network Projectum Consulting AB (nedan konsulten) flera möten med samtliga intressenter i uppdraget.

Intressenterna utgjordes, förutom av X-Trafik, som är en del av Region Gävleborg primärt av trafikutövare (Vr, Vy, Transdev) regionala tågoperatörer (X-trafik, Tåg i Bergslagen, Mälartrafik) fordonsägare samt mobilnätoperatörer (telekomoperatörer).

Målet med mötena var att identifiera den mest effektiva metoden för att genomföra kartläggningen, med hänsyn till de olika intressenternas särintressen och förutsättningar.

Dessa förutsättningar berörde allt från passagerartrygghet och kommunikation mot resenärer, till rent tekniska möjligheter i mätförfarandet, mobilnätens utbyggnad i det berörda geografiska området, samt praktiska aspekter såsom tillgänglighet för konsulten och dennes mätutrustning.

Samtliga möten hölls digitalt, med uppföljande kontakter via telefon och e-post.

Slutligen enades alla om en metod och en genomförandeplan som alla berörda parter kände sig trygga med och delaktiga i.

3.2 Planering av färdtrutter

En grovplanering för genomförandet av kartläggningen togs fram baserat på kravställningen samt de identifierade mätsträckorna.

För att uppnå så realistiska mätresultat som möjligt anpassades mättidpunkterna till de perioder då flest personer reser med kollektivtrafiken. Under dessa högtrafikperioder är belastningen på mobilnäten större än under lågtrafik, vilket kan påverka resenärernas upplevelse (till exempel vid uppkomna kapacitetsbegränsningar).

Mätningarna på vissa sträckor prioriterades framför andra för att göra utförandet så enkelt och tidseffektivt som möjligt.

Effektivitet innebar i detta sammanhang att konsultens tid utnyttjades väl, att transporterna planerades genomtänkt och att mätuppdraget utfördes med högsta möjliga energieffektivitet. Det övergripande målet var att minska antalet bilresor och väntetider (ställtider) utan att tumma på kvaliteten hos insamlade data, samt att möjliggöra mätning av så många sträckor som möjligt under rusningstid. Samtidigt fanns en reservplan ifall en mätning skulle misslyckas eller om en viss sträcka blev inställd.

Grovplaneringen skickades därefter ut för synpunkter till berörda parter och justerades utifrån nya omständigheter som uppkom.

Exempelvis på revidering var att mätningarna dag 1 inte kunde starta förrän efter den pressträff på Gävle C som var inplanerad under måndagsmorgonen.

Dessutom pågick omfattande underhållsarbeten på tågsträckan Gävle C–Sundsvall C under hela mätperioden, vilket medförde att antalet tågavgångar var betydligt färre än normalt.

Sådana faktorer togs i beaktande vid den slutliga planeringen som senare mynnade ut i ett reseschema.

Där det var möjligt användes elbil som primärt transportmedel utöver tåg eller buss, allt för att minimera klimatpåverkan under uppdraget i största möjliga mån.

4. Förutsättningar

Innan mätningarna kunde genomföras behövde flera praktiska och tekniska förutsättningar hanteras. I detta kapitel beskrivs förutsättningarna för mätning på tåg respektive buss, de förberedande åtgärderna ombord, samordningen med nätägarna, samt informationsinsatserna gentemot allmänheten.

4.1 Förutsättningar vid mätning, tåg

Utifrån mätningar i tidigare uppdrag som konsulten genomfört ombord på Öresundståg av typ X31K föreslogs initialt en liknande mätmetod. I den tidigare mätningen användes enbart tågens takantenn som var kopplad mot existerande repeater för insamling av mobilnätsdata. Mobiltelefonmätningen utfördes i en annan vagn för att erhålla en fullt repeterad signal ombord. Under dessa täckningsmätningar längs Öresundsbron kopplades repeaterfunktionen ombord helt ur. Repeater stängdes av, vilket bröt den förstärkta uppkopplingen för samtliga resenärer under testtillfället (cirka en timme, då mätningen startade i Lund och avslutades på Köpenhamn Huvudbangård) i aktuell vagnset.



Figur 1 Inkoppling Skanner Öresundståg, ej GPS

För att kompensera för den då bortkopplade repeatern föreslogs i stället att en extra splitter skulle användas, detta för att dela insignalen likvärdigt mellan repeatern och den skanner som skulle samla in mobilnätdata under själva färden. På så vis kunde repeatern fortsätta att verka, om än med en viss dämpning av insignalen (cirka -3 dBm).

Ovanstående mätmetod kunde dock inte användas för mätning i Gävleborg eftersom det framkom att de aktuella tågset inom projektområdet hade fler tillgängliga takantennerna än Öresundstågen. Dessutom bestod tågen här oftast av endast ett tågset med en repeater (jämfört med Öresundstågens två eller fler sammankopplade tågset med varsin repeater). Därför beslutades att i stället fokusera på att identifiera den mest lämpliga takantennen och inkopplingsalternativet för mätutrustningen.

Parallellt utvärderades också möjligheten att arbeta autonomt via externa antenner monterade i lokförarhytten och direkt kopplade till skannern. Detta förslag kom att förkastas, dels på grund av begränsad tillgång till förarhytten och att vissa tågtyper hade skyddande solfilm på hyttfönstren. Solfilmen skulle medföra en avsevärt dämpad insignalen till skannern, vilket i sin tur hade kunnat snedvrider täckningskartläggningen. Mätresultaten skulle då inte spegla verkliga förhållanden.

Denna alternativa mätmetod ansågs därför medföra flera alltför begränsande faktorer och begränsningarna gjorde att idén övergavs med externa antenner monterade i extra förarhytt. Arbetet med att identifiera rätt takantenn fortlöpte som det enda kvarvarande alternativet.

Mätningen med de handhållna mobiltelefonerna planerades ske på samma sätt som hos en vanlig passagerare och hans normala brukande av en mobiltelefon. Det innebar att inga särskilda anpassningar behövde genomföras inom detta område.

Det enda praktiska kravet var således att säkerställa tillgång till en sittplats i den mån det var möjligt samt identifiera extern strömförsörjning, så att mobiltelefonerna kunde vara kontinuerligt strömförsedda under hela mätningen.

Att rent fysiskt genomföra mätaktiviteten ombord på tåg krävde mer omfattande administrativt arbete jämfört med mätning på buss eller i följebil.

För att få tillstånd att utföra arbetet behövde först en metod och en **riskbedömning och hantering av ändring** upprättas. Detta dokument – även kallat **riskanalys** – togs fram för varje trafikutförare. Riskanalysen handlade om det planerade arbetet kunde påverka fordonets framförande, kompromettera säkerheten, hindra personalen i sitt arbete eller utsätta passagerare för fara eller olägenheter. Syftet med riskanalysen var att i förväg identifiera eventuella risker, hinder eller störningar samt föreslå hur dessa skulle minimeras eller elimineras.

Innan mätningen kunde starta behövde riskanalysen vara klar och godkänd av trafikutförare samt tågoperatörer.

När riskanalysen var klar och godkänd och den slutliga planeringen gjordes för de berörda sträckorna, undersöktes även när tågen skulle vara i depå och vilka rutter de körde. Detta för att man under säkra former skulle kunna koppla ur befintligt kablage som skulle användas och ansluta eventuellt nya kablar till skannern med tillhörande GPS-antenn. Innan mätningen skulle allt nödvändigt kablage vara på plats och takantennen lättillgänglig, så att inkopplingen kunde ske smidigt och enligt riskanalysens krav.

I detta projekt var många parter inblandade, och dialog fördes med flera tågoperatörer. Till skillnad från bussmätningen, där bara en aktör (X-trafik) deltog, gick det ändå att genomföra inom uppdragets ramar.

4.2 Förutsättningar vid mätning, buss

Det bedömdes tidigt att mätningar ombord på buss borde genomföras med en konsult ombord på bussen som hanterade mobiltelefonerna och utförde tillhörande tester (inklusive nödvändig övervakning och kontroll).

Den andra konsulten skulle samtidigt följa efter aktuell buss i följebil strax bakom. Detta för att starta i gång skannern och hålla ett jämt avstånd mot själva bussen så att ombordmätning och skannermätning skedde så likvärdigt i tid och rum som möjligt.

Skillnaden i antennhöjd mellan bussen och följebilens takantenn ansågs försumbar och påverkar inte täckningskartläggningen.

Utöver detta krävdes inga ytterligare åtgärder för att genomföra uppdraget.

4.3 Publik kommunikation

Region Gävleborg tog fram en förklarande text avsedd att informera passagerare ombord på buss eller tåg, syftet med mätningarna och hur de skulle genomföras.

Under mötet bestämdes det även att en portabel informationsskylt i A4-format med tillhörande ställ skulle användas för att informera passagerarna, samt ett förslag om att konsulten skulle bära en varselväst.

Västen skulle ha en tydlig text som angav vem som utförde mätningen, vad som gjordes, och att det handlade om en mätning av mobiltäckning. Dessa västar skulle bäras under hela testperioden, och skylten skulle placeras väl synlig vid samtliga mättillfällen.

5. Validering av mätmetod och utförande

5.1 Samordning nätägare

Ett digitalt möte hölls med representanter utsedda av de aktuella nätägarna, där mätmetoder och tekniska förutsättningar diskuterades

Den tekniska samordningen med varje nätägare skedde genom att deras radioplanerare lämnade information om aktuella mobilsystem och frekvenser inom det bestämda området.

Den skickade handlingen baserades på vilka system som var aktiva i området under mätperioden. Nätägarna skulle också, så gott de kunde, minimera påverkan från planerade servicearbeten.

Vid uppföljningen av det tekniska samrådet kom man överens om att använda tågoperatörernas föreslagna externantennor för skannern och GPS-antennen ombord. Man beslutade också att använda konsultens föreslagna inkopplingsmetod, där signalen fördelas för att passa skannerns fyra portar, eftersom takantennen bara hade en tillgänglig port.

Repeater för de aktuella tågen skulle vara påslagna och i normal drift under hela testperioden, utan ytterligare justeringar eller kalibreringar.

Följande information över aktuella nät och frekvens inom området delgavs:

N4M:

3G (UMTS):					
	System	Kanal 1 (ARFCN)	Kanal 2 (ARFCN)	Kanal 3 (ARFCN)	Kanal 4 (ARFCN)
	2100	10762	10787	10812	10836
	900	3015			
4G (LTE):					
	System	Kanal 1 (ARFCN)	Kanal 2 (ARFCN)	Kanal 3 (ARFCN)	Kanal 4 (ARFCN)
	700	9460			
	800	6400			
	900	3550			
	1800	1606	1750		
	2600	2850	3350		
5G (NR):	System	Kanal 1 (ARFCN)	Kanal 2 (ARFCN)	Kanal 3 (ARFCN)	Kanal 4 (ARFCN)
	2100	423020			

Telia:

3G (UMTS):					
	System	Kanal 1 (ARFCN)	Kanal 2 (ARFCN)	Kanal 3 (ARFCN)	Kanal 4 (ARFCN)
	2100	10762	10787		
4G (LTE):					
	System	Kanal 1 (ARFCN)	Kanal 2 (ARFCN)	Kanal 3 (ARFCN)	Kanal 4 (ARFCN)
	700	9360			
	800	6300			
	900	3768			
	1800	1300	1471		
	2600	3150			
5G(NR):	System	Kanal 1 (ARFCN)	Kanal 2 (ARFCN)	Kanal 3 (ARFCN)	Kanal 4 (ARFCN)
	700	154600			

Hi3G (notera att ingen info om aktuellt 5Gnät översändes):

3G(UMTS):					
	System	Kanal 1 (ARFCN)	Kanal 2 (ARFCN)	Kanal 3 (ARFCN)	Kanal 4 (ARFCN)
	900	2938			
4G (LTE):					
	System	Kanal 1 (ARFCN)	Kanal 2 (ARFCN)	Kanal 3 (ARFCN)	Kanal 4 (ARFCN)
	800	6200			
	2100	326			
	2600	300			
5G (NR):	System	Kanal 1 (ARFCN)	Kanal 2 (ARFCN)	Kanal 3 (ARFCN)	Kanal 4 (ARFCN)

5.2 Mätmetod och likvärdighet

Under samordningen framkom önskemål från nätägarna (operatörerna) att inga särskilda testabonnemang från respektive operatör skulle användas. I stället krävde man att alla abonnemang vid testerna skulle vara vanliga kommersiella abonnemang, inköpta av konsulten ”direkt över disk”. Anledningen man angav var att undvika risken för **prioriterade abonnemang** – det vill säga abonnemang som ges förtur i nätet och därmed kan påverka mätresultaten i en för normalkunden ej möjlig upplevelse.

Genom att använda vanliga företagsabonnemang minimeras risken för att resultaten inte återspeglar den genomsnittliga användares upplevelse.

Konsulten använde därför tre olika abonnemang där alla var aktiverade med obegränsad data och alla nät tillgängliga hos följande operatörer (nätägare):

- Telenor (N4M)
- Telia (Telia)
- Tre (Hi3G)

5.2.1 Upprättande av mätverktyg och metoder

Data samlades in enligt två parallella metoder:

1. **Täckningsmätning med skanner:** Ger objektiva mått på signalstyrka, kvalitet och cellinformation.
2. **Teams-möte via mobiltelefon, en uppkopplad via Wi-Fi och övriga tre mot mobiloperatörens nät:** Visar användarupplevelsen genom faktiska röst- och videokommunikationstester.

6. Utrustning och förutsättningar - mätningarna

6.1 Tekniska förutsättningar

Efter genomgång av inkomna synpunkter upprättades en detaljerad resplan för buss- och tågsträckor. I planen specificerades bland annat:

- Start- och slutdestination för respektive tur.
- Avgångs- och ankomsttider.
- Tåglinjenummer (för att säkerställa tillgång till rätt fordon och vagnar).

Åtgärderna möjliggjorde korrekt förberedelse av tågens utrustning, inklusive säkerställande att kablage för skanner och GPS var på plats inför själva mättillfället.

6.2 Konsulternas utrustning

6.2.1 Datainsamlingsenheter

För att samla in information om mobiltäckning och användarupplevelse användes följande utrustning:

- **Mobiltelefoner** med tillhörande mjukvara för insamling av signalnivåer, överföringskapacitet och nätkvalitet, samt inbyggd GPS för positionsangivelse.
- **Skannerutrustning** för att mäta täckningsnivåer för olika mobilnät (3G, 4G, 5G), kompletterad med en extern GPS-antenn för noggrann positionsangivning.

Nedan följer en översikt över de huvudsakliga enheter och mjukvaror som användes:

1. Mobiltelefoner

- Samsung A52s 5G (SM-A528B) × 3
- Samsung Galaxy Z Flip 3 5G × 1

2. Skanner

- PcTel MxFlex × 1

3. Dator

- Lenovo ThinkPad × 1

4. Mjukvara (mobiltelefoner)

- Enhancell EchoOne (en licens per mobiltelefon)

5. Mjukvara (skanner)

- Enhancell Echo Studio (för både datainsamling och postprocessing)

Ytterligare information om takantenner tåg, skannerantenner och splitter finns i **Bilaga 1: Komponentregister**.

7. Genomförande

7.1 Kartläggning av videokonferensmöte via mobiltelefoner

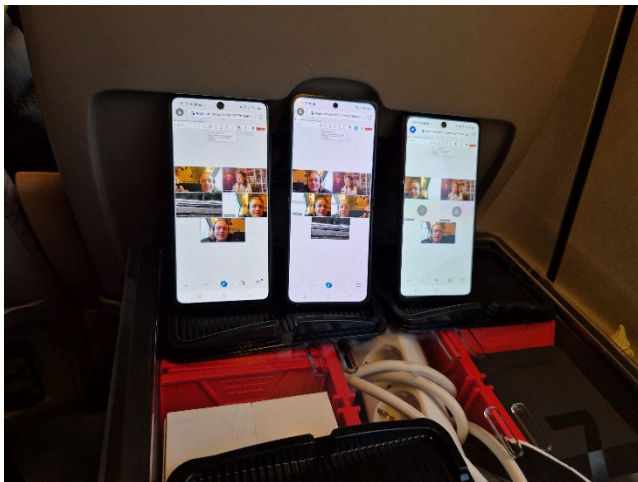
Fokus i denna del av mätningen var kundupplevelsen genom en tvåvägs realtidsuppkoppling med både röst och video. Valet föll på **Microsoft Teams** då det är en etablerad tjänst i Sverige, med tydliga krav på minsta, rekommenderade och optimala datahastigheter i både Nedlänk (DL) och Upplänk (UL). Kraven i Tabell 1 är de av Microsoft definierade värden vid nyttjande av tjänsten vid en fast stabil uppkoppling. Notera att testen är utförda med mobiltelefoner under rörelse där bandbredden upplevs fluktuerande, det vill säga skifta upp och ner i erbjuden datahastighet beroende på exempelvis närheten till en basstation eller påverkan av hinder så som skog eller berg.

	Minsta		Rekommenderad		Bästa prestanda	
	Nedlänk	Upplänk	Nedlänk	Upplänk	Nedlänk	Upplänk
Ljud	10kbps	10kbps	58kbps	58kbps	76kbps	76kbps
Video	0,2Mbps	0,150Mbps	4Mbps	2,5Mbps	4Mbps	4Mbps
Presentation	0,25Mbps	0,25Mbps	2,5Mbps	2,5Mbps	4Mbps	4Mbps

Tabell 1 Microsoft Teams, bandbreddskrav fast uppkoppling

Teams ansågs därmed representativ för liknande videomötestjänster.

Tre mobiltelefoner anslöts till mobilnätet (Telenor, Telia och Tre), medan ytterligare en mobiltelefon anslöts via ombord-Wi-Fi (om tillgängligt).



Figur 2 Teamsmöte mobiloperatörer

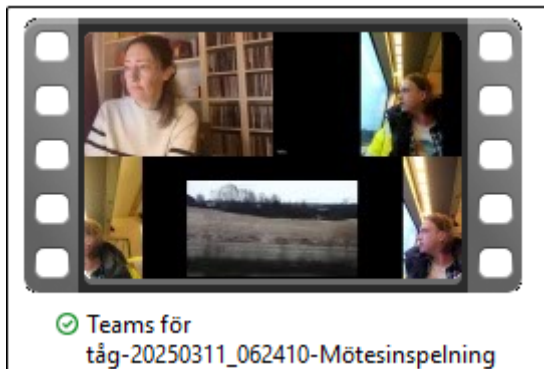
För att minimera skillnader i prestanda användes samma mobiltelefonmodell parallellt i respektive mobilnäten.

Wi-Fi-enheten var dock en annan modell men från samma tillverkare, med i huvudsak jämförbart chipset och med likvärdig uppkopplingsförmåga som övriga mobiltelefoner.

Genomförande:

- Samtliga mobiltelefoner anslöt till ett gemensamt Teams-möte via en unik länk (en länk per mobiltelefon).

- Oftast deltog en extern användare via fast uppkoppling i syfte att bedöma eventuella störningar.
- Mötena spelades in och transkriberades för senare analys.



Figur 3 Setup Teamsmöte buss och tåg

7.2.1 Mätning på tåg

Mätteknikern tog plats ombord och anslöt till Teams-mötet i samband med avfärd. Mötet pågick tills slutstationen nåddes.

7.2.2 Mätning på buss

En mättekniker klev ombord på aktuell buss och startade Teams-mötet i samband med avfärd. Mötet pågick sedan under hela resan och avslutades vid ändhållplats. Under resans gång registrerades samtliga uppkopplings- och prestandaförändringar.

7.3 Insamling för täckningskarta via mätskanner

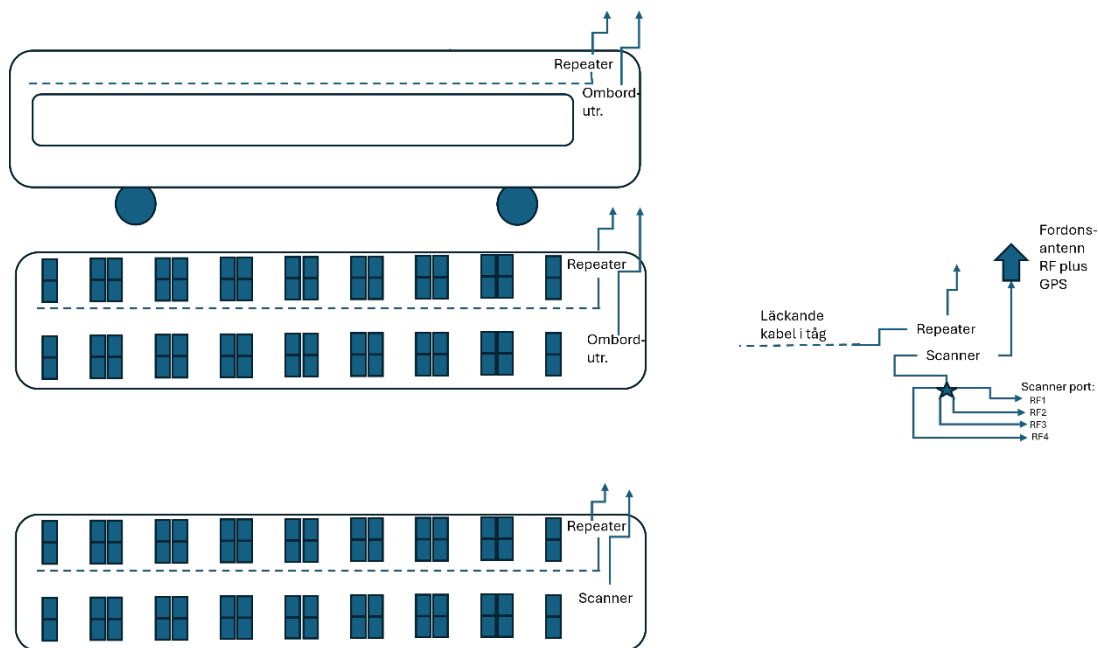
7.3.1 Ombord tåg

Ombord på tåget monterades skannern och en bärbar dator nära den av tågoperatören tillhandahållna takantennanslutningen. Skannerns antennkabel anslöts via en 1:4-fördelare (splitter), vilken delade upp den inkommande signalen från takantennen till fyra separata mätportar i skannern, se figur 5 och 6.



Figur 4 Antennkablage tåg mot takantenn

1st extern GPS-antenn kopplades dessutom in för att exakt kunna logga tågets position under färderna.



Figur 5 Skiss 1:4 fördelare ombord på tåg

Varför fördela insignalen?

Skannern är utrustad med fyra separata mottagarenheter, var och en med egen processor och antennport. Detta möjliggör parallell mätning av flera mobiltekniker (3G, 4G och 5G) och frekvensband (i detta fall 700-2600Mhz) utan att riskera för långsam cykling mellan mätpunkterna.

Metoden ger en **dämpning** på cirka -6 dB eftersom en fördelare används. Trots detta är noggrannheten bättre än att mäta genom tågfönster (som ofta har metallfilm eller solskydd) eller använda sämre antenntypplaceringar.

7.3.2 Ombord buss

I följe bilen, som körde i anslutning till bussen, fanns en skanner ansluten till externa takantennar monterade på bilens tak. På så sätt kunde konsulten fortlöpande mäta signalnivåer och nätkvalitet motsvarande den rutt bussen faktiskt färdades.

Vid situationer där bussen använde separata körfält (exempelvis bussfiler) försökte följe bilen välja närmaste tillgängliga och säkra färdväg.

7.4 Efteranalys av mätningarna

Den insamlade täckningsdatan analyserades i efterhand med Enhancell Echo Studio. Där skapades digitala kartor och sammanställningar av signalstyrka och datahastighet. En mätning av signalstyrka (RSRP) enligt figur 6 på mer än -95 är att anse som Bra. För djupare analys av signalstyrka och definition täckningsnivå se Kapitel 8, Resultat.

8. Resultat

Utfallet av täckningskartläggningen delas upp i flera delområden, där olika transportslag och tjänster presenteras separat för att på bästa sätt i framtiden kunna följa upp eventuella förbättringar som skett ombord eller i omgivningen på respektive fordon eller mobilnät.

Med stöd av insamlade täckningsdata via **mätskanner** togs täckningskartor fram. Täckningskarta med skanner visar aggregerad täckning, dvs all tillgänglig täckning gemensamt alla operatörer och mobilnät eller filtrerat en täckningskarta per nätägare.

Täckningskartor med skanner används effektivt för att hitta eventuella gemensamma täckningshål och brister i nättäckningen samt som underlag för snabb analys för att identifiera brister per enskild nätägare. Kartorna har som mål att överskådligt påvisa vart täckningen är Bra, Mindre Bra eller en Begränsad funktion, vart gemensamma områden med bristande täckningsnivåer förekommer samt visa tillgänglig täckning för respektive fordonsslag.

Täckningskarta med **mobiltelefon** visar aktuell täckning per mobilnät uppmätt med mobiltelefon ombord på fordonet. Skillnaden mellan täckningskarta med mobiltelefon och täckningskarta med skanner skall ses som uppmätt täckning **inifrån** fordonet (mobiltelefon) kontra tillgänglig täckning **utanför** fordon (skanner). Med stöd av den insamlade täckningsdata via mobiltelefoner presenteras upplevd täckning. Kartorna har även här som mål att överskådligt påvisa vart täckningen är **Bra**, **Mindre Bra** eller **Begränsad**, vart gemensamma områden med bristande täckningsnivåer förekommer samt visa tillgänglig täckning för respektive fordonsslag.

Täckningskartan oavsett mätmetod skall utläsas enligt följande:

- **Bra**
Här kan du sannolikt ringa och surfa både utanför och inne i buss eller tåg. Täckningen ombord påverkas dock av typ av kaross, val av fönster och vilka dörrar fordonet har samt var i fordonet du befinner dig.
- **Mindre Bra**
Här finns goda möjligheter att kunna ringa och surfa utanför respektive fordon. Det kan även gå att ringa och surfa ombord, särskilt om du sitter nära ett fönster eller har tillgång till repeater och inte försämrar mottagningen genom att ha telefonen till exempel i handen, fickan eller väskan.
- **Begränsad**
Här finns möjlighet att kunna ringa och surfa, men det är troligt med brister i täckning och datahastighet. Täckning kan finnas utanför fordonet under förutsättning att du inte försämrar mottagningen genom att ha telefonen till exempel i handen, fickan eller väskan.

Följande mätningar presenteras:

- **Täckningskarta tåg, skanner**
- **Täckningskarta ombord tåg, mobiltelefoni (UE)**
- **Täckningskarta ombord tåg, Wi-Fi**
- **Täckningskarta buss, skanner**
- **Täckningskarta ombord buss/bil, mobiltelefoni (UE)**
- **Täckningskarta ombord buss, Wi-Fi**

8.1 Täckningskartor, tåg

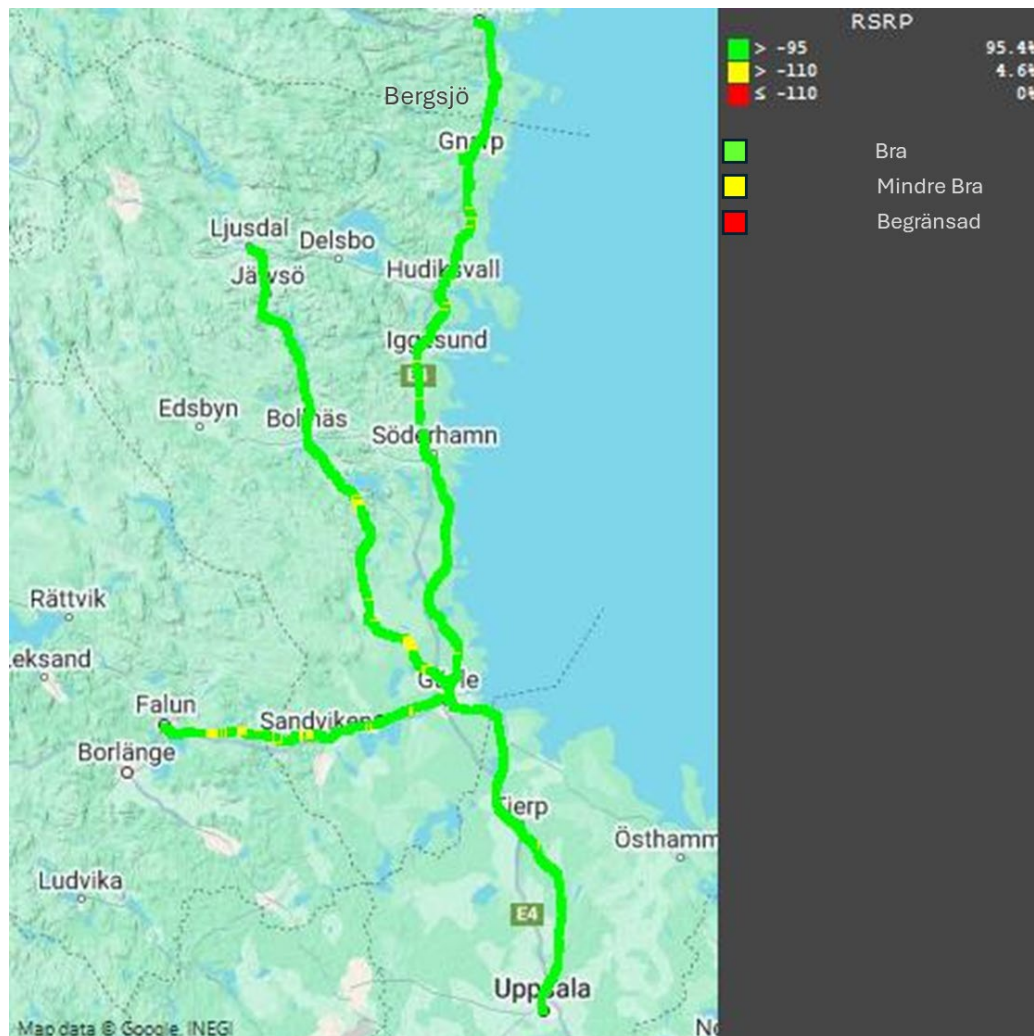
Nedan presenteras mättningsresultaten för tågmätningarna med hjälp av kartor. Resultaten är uppdelade på mätmetod (skanner, mobiltelefon) samt mätning av Wi-Fi. Mobiltäckningen presenteras med karta för respektive nätägare samt aggregat.

Testade mobilnät:

- N4M (Tele2 och Telenor)
- Telia (Telia)
- Hi3G (3)

8.1.1 Täckningskarta tåg, skanner

Här visas en samlad täckningskarta med insamlade data för alla 4Gnät inom Gävleborg där en signalstyrka (RSRP) på mer än -95 är att anse som Bra täckning när man befinner sig utomhus. Ombord på ett fordon kommer täckningsnivån sjunka i och med att ett fordon oftast innebär en dämpning av signalstyrkan såvida ingen aktiv enhet, typ repeater är monterad ombord och anpassad för aktuella frekvensband.



Figur 6 Täckningskarta tåg, aggregerat 4G (LTE)

Figur 6 visar att upp till nästan c: a 96% av de mätta sträckorna kan påvisa en täckning som definieras Bra aggregerat alla nät, dvs att alla operatörer finns tillgängliga samtidigt och bästa mätvärde redovisas.

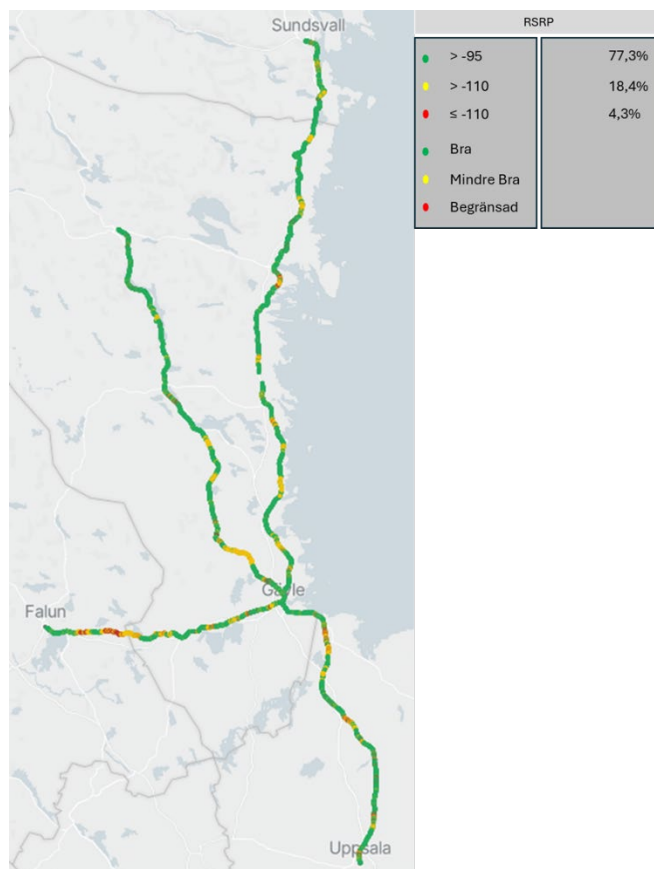
Liknande siffror uppdelat per operatör ger en lägre täckningsprocent enligt benämning Bra, då de som har störst andel täckning Bra bara når en nivå av maximalt 77%, dvs 19% lägre än den jämförbara aggregerade täckningen, notera att aggregerad data är interpolerad och data per operatör saknar interpolerad täckningsdata för tunnlar eller liknande platser, där god GNSS-signal saknas.

Notera också att delar av främst sträckorna Gävle – Falun och Gävle - Ljusdal upptar de områden som gemensamt påvisar merparten av den bristande täckning (Mindre Bra eller Begränsad) och kan anses vara de mest prioriterade områdena för vidare analys och eventuella gemensamma förstärkningsåtgärder.

8.1.1.1 Karta skanner, N4M (tåg)

Kartan visar att nästan c: a 77% av de mätta sträckorna kan påvisa täckning Bra. C: a 18% visar täckning som definieras Mindre Bra och c: a 4% upplever täckningsnivåer som kan upplevas som Begränsad, dvs områden där risken för dålig upplevelse är överhängande vid samtal även utanför fordonet.

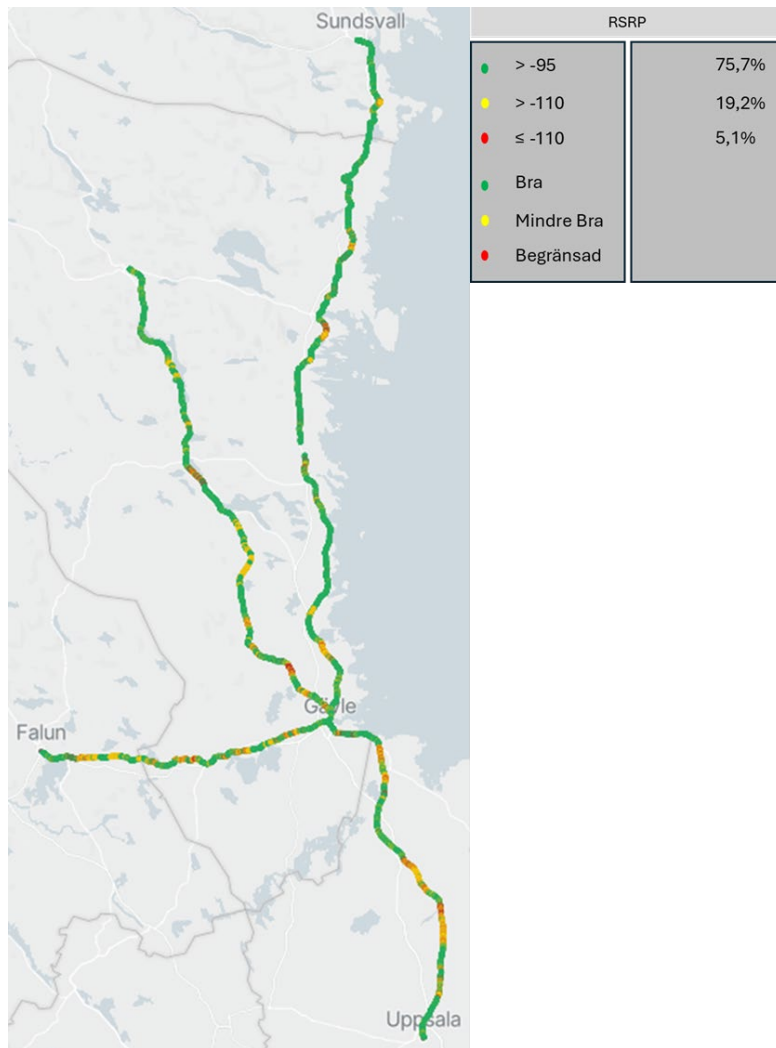
Notera att på sträckorna Gävle – Falun, Gävle – Ljusdal och Gävle – Söderhamn är sträckor som påvisar mest potentiell bristande täckning (Mindre Bra eller Begränsad). Dessa sträckor kan anses vara de mest prioriterade områdena för N4M att utföra vidare analys och eventuella förstärkningsåtgärder kring.



8.1.1.2 Karta skanner, Telia (tåg)

Kartan visar att nästan c:a 76% av de uppmätta sträckorna kan påvisa täckning definierad som Bra. C:a 19% visar täckning som definieras Mindre Bra och c:a 5% upplever risk för Begränsad täckning, dvs områden där risken för dålig upplevelse är överhängande vid samtal även utanför fordonet.

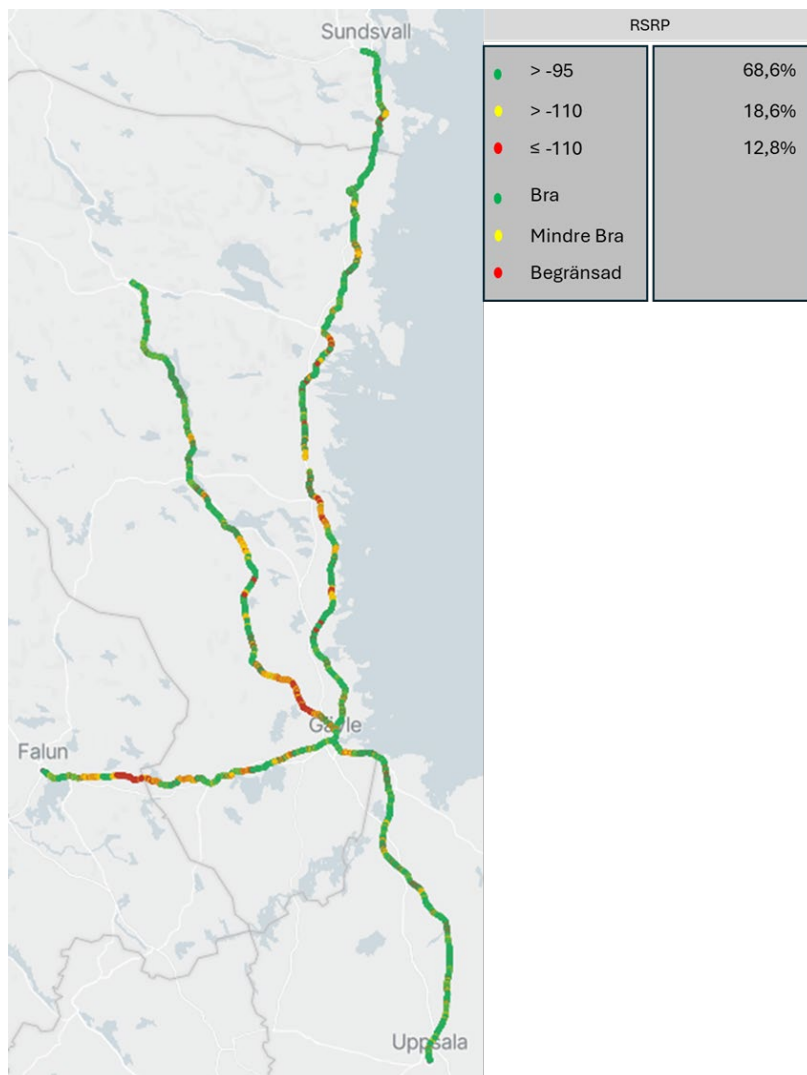
Notera att delar av främst sträckorna Gävle – Falun, Gävle – Ljusdal och Gävle – Uppsala söder om Tierp påvisar mest potentiell bristande täckning (Mindre Bra eller Begränsad) och kan anses vara de mest prioriterade områdena för Telia att utföra vidare analys och eventuella förstärkningsåtgärder kring.



8.1.1.3 Karta skanner, Hi3G (tåg)

Kartan visar att nästan c:a 69% av de uppmätta sträckorna kan påvisa täckning definierad som Bra. C:a 19% visar täckning som definieras Mindre Bra och c:a 13% upplever Begränsad täckning, dvs områden där risken för dålig upplevelse är överhängande vid samtal även utanför fordonet.

Notera att delar av främst sträckorna Gävle – Falun, Gävle – Ljusdal och Gävle – Hudiksvall inklusive järnvägstunnlarna kring Söderhamn påvisar mest potentiellt bristande täckning (Mindre Bra eller Begränsad) och kan anses vara de mest prioriterade områdena för Hi3G att utföra vidare analys och eventuella förstärkningsåtgärder kring.



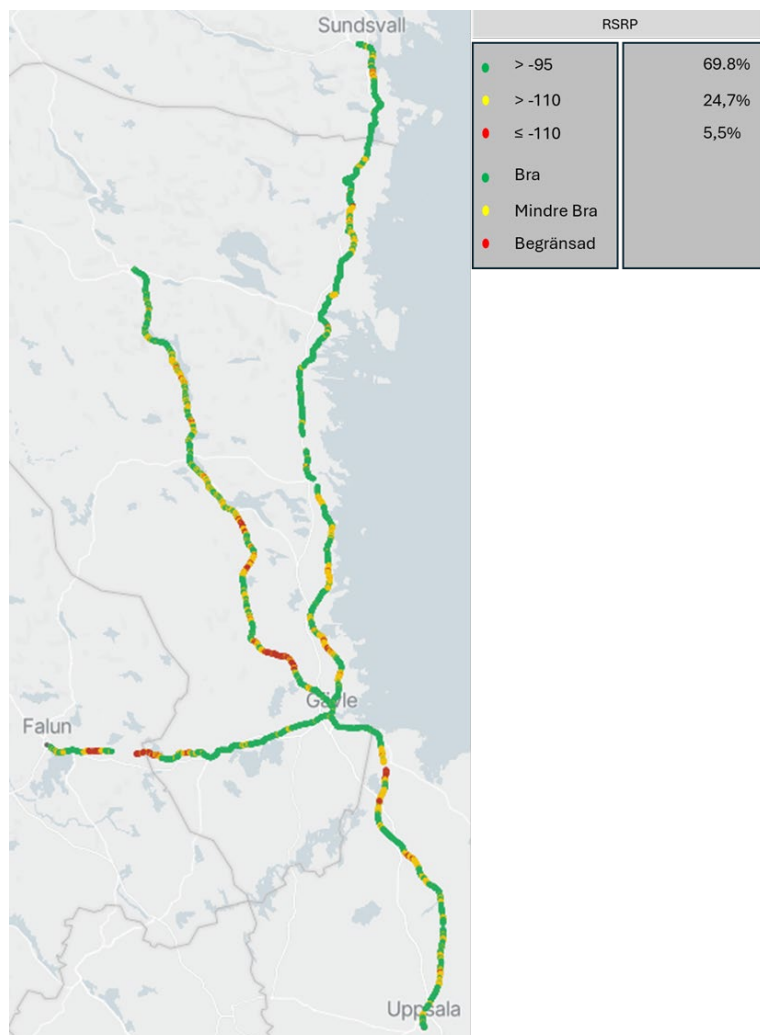
8.1.2 Täckningskarta mottagning ombord på tåg, mobiltelefon

Här visas en samlad täckningskarta med insamlade data för alla 4Gnät inom Gävleborg där en signalstyrka (RSRP) på mer än -95 är att anse som Bra täckning när man befinner sig utomhus. Ombord på ett fordon kommer denna täckningsnivå sjunka i och med att ett fordon oftast innebär en dämpning av signalstyrkan såvida ingen aktiv enhet, typ repeater är monterad ombord och anpassad för aktuella frekvensband.

8.1.2.1 Karta mobiltelefon, N4M (tåg)

Kartan visar att endast 70% av de uppmätta sträckorna kan påvisa täckning definierad som Bra. C: a 25% visar täckning som definieras Mindre Bra och c: a 6% upplever Begränsad täckning, dvs områden där risken för dålig upplevelse är överhängande vid samtal även utanför fordonet.

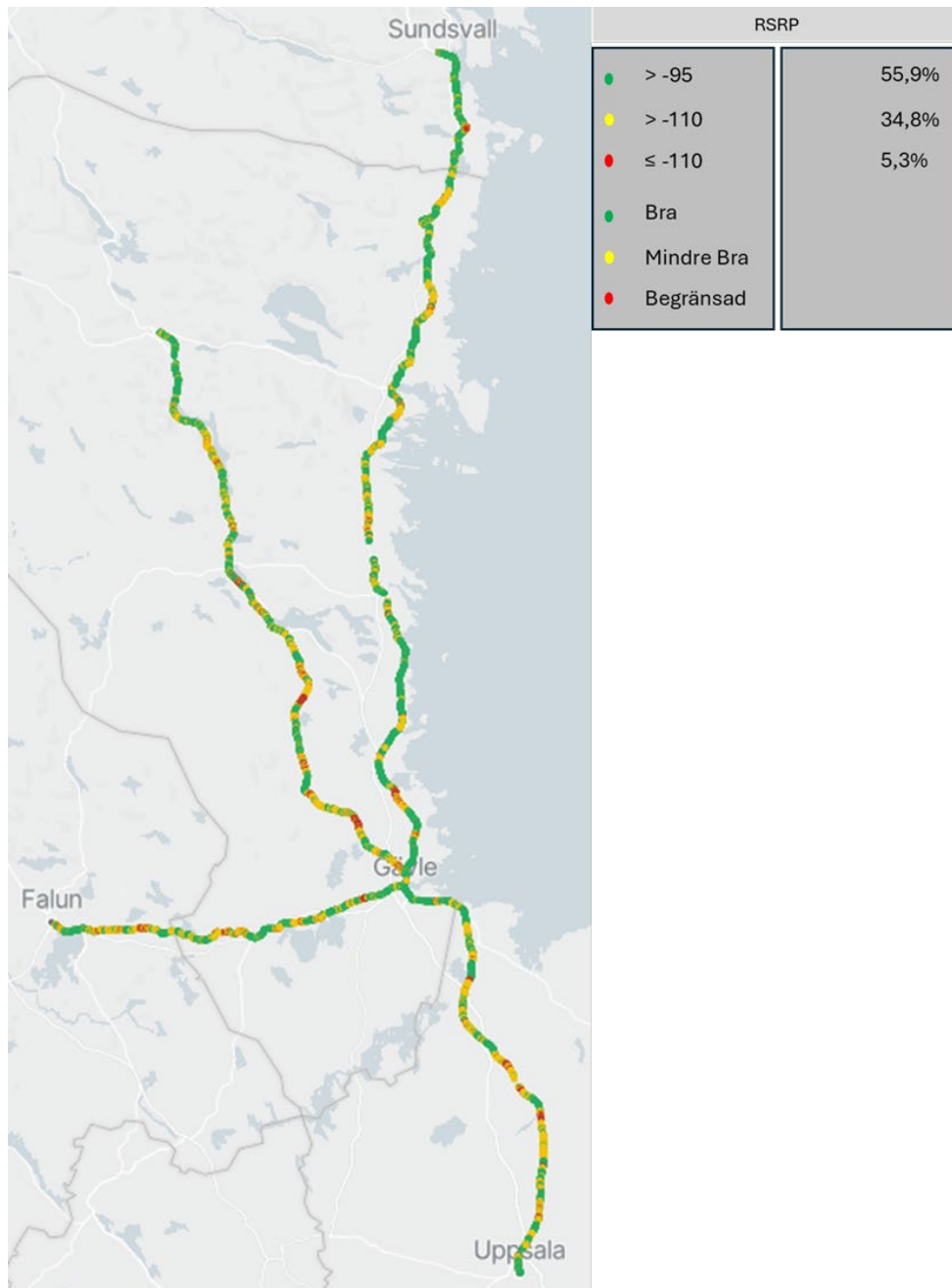
Notera att delar av främst sträckorna Sandviken – Falun, Gävle – Ljusdal, Gävle – Söderhamn samt Gävle – Uppsala upptar de c: a 30% som påvisar bristande täckning (Mindre Bra eller Begränsad) och kan anses vara de mest prioriterade områdena för N4M att utföra vidare analys och eventuella förstärkningsåtgärder kring.



8.1.2.2 Karta mobiltelefon, Telia (tåg)

Kartan visar att endast ca 56% av de uppmätta sträckorna kan påvisa täckning som definieras som Bra. Ca 35% visar täckning som definieras Mindre Bra och ca 5% upplever dock Begränsad täckning, dvs områden där risken för dålig upplevelse är överhängande vid samtal även utanför fordonet.

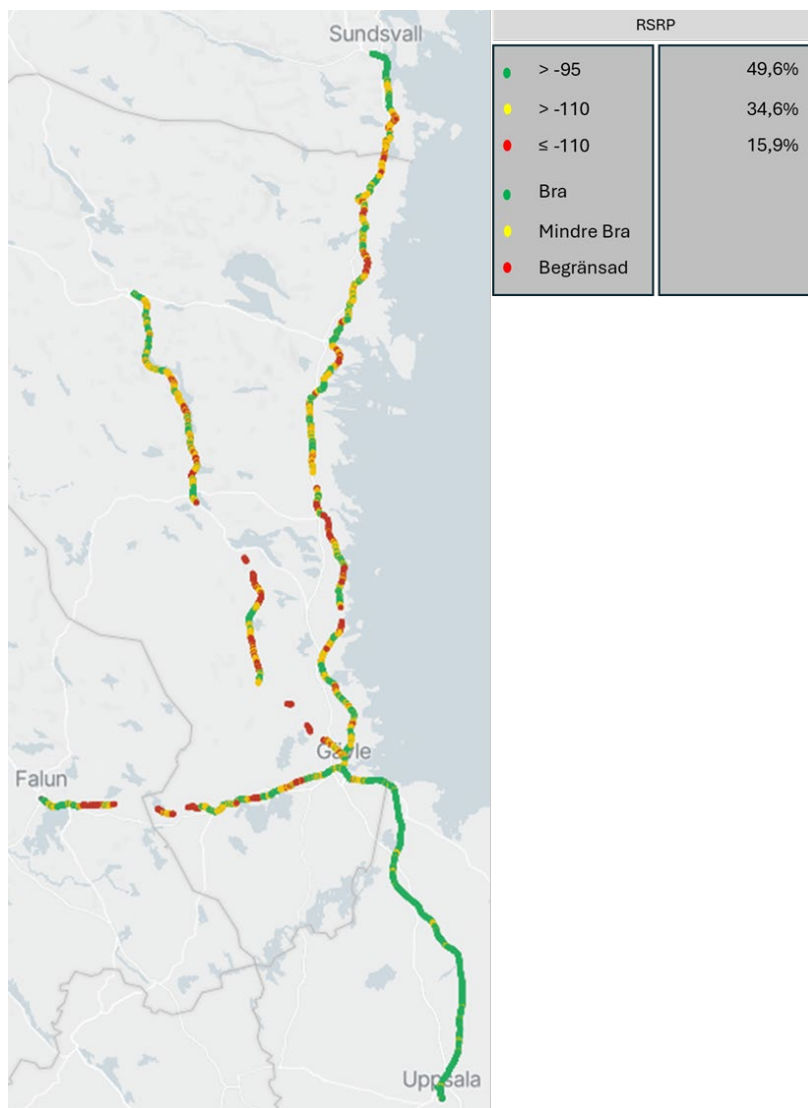
Notera att delar av främst sträckorna Gävle – Falun, Gävle – Ljusdal, Gävle – Hudiksvall samt Gävle – Uppsala upptar ca 40% som påvisar bristande täckning (Mindre Bra eller Begränsad) och kan anses vara de mest prioriterade områdena för Telia att utföra vidare analys och eventuella förstärkningsåtgärder kring.



8.1.2.3 Karta mobiltelefon, Hi3G (tåg)

Kartan visar att endast c:a 50% av de uppmätta sträckorna kan påvisa täckning som definieras som Bra. C:a 35% visar täckning som definieras Mindre Bra och c:a 16% upplever Begränsad täckning, dvs områden där risken för dålig upplevelse är överhängande vid samtal även utanför fordonet.

Notera att delar av främst sträckorna Gävle – Falun, Gävle – Ljusdal som uppvisar stora brister i LTE-täckning samt Gävle – Sundsvall inkl. tunnelarna kring Söderhamn som upptar c:a 50% som påvisar bristande täckning (Mindre Bra eller Bristande) och kan anses vara de mest prioriterade områdena för Hi3G att utföra vidare analys och eventuella förstärkningsåtgärder kring.



8.1.3, Täckningskarta Wi-Fi, ombord på tåg

Täckningskarta Wi-Fi är inte relevant i och med att täckningsnivåerna är konstanta för Wi-Fi-nätet ombord på tåget såvida du inte rör på dig över stora ytor då mindre täckningsvariationer kan uppkomma, om du hamnar närmare eller längre ifrån själva sändare.

Upplevelsen påverkas av hur väl mobilnätet utanför tåget fungerar samt hur hård och mjukvara på själva Wi-Fi-enheten (hotspot) har för möjligheter att ta emot och återutsända data.

8.2 Täckningskartor, buss

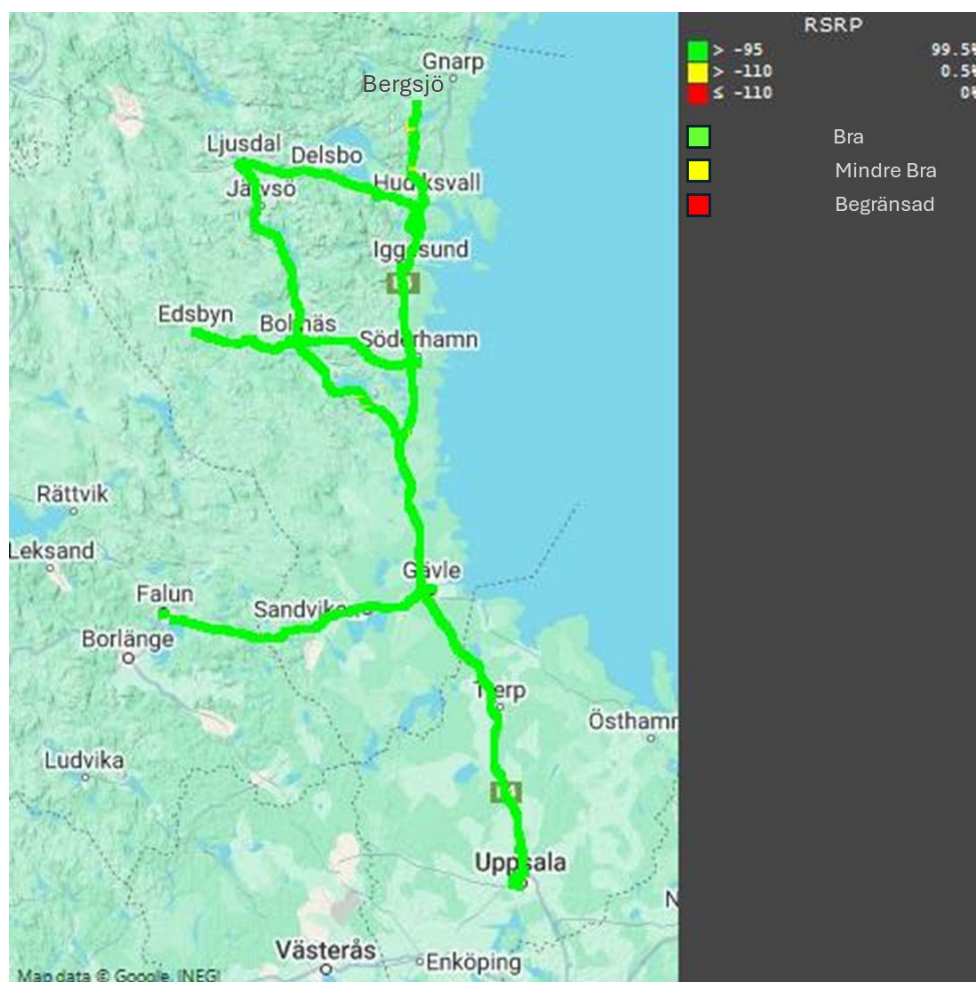
Nedan presenteras mättningsresultaten för buss mätningarna med hjälp av kartor. Resultaten är uppdelade på mätmetod (skanner, mobiltelefon) samt mätning av Wi-Fi. Mobiltäckningen presenteras med karta för respektive nätägare samt aggregat.

Testade mobilnät ombord på buss:

- N4M (Tele2 och Telenor)
- Telia (Telia)
- Hi3G (3)

8.2.1 Täckningskarta buss, skanner

Här visas en samlad täckningskarta med insamlade data för alla 4Gnät inom Gävleborg där en signalstyrka (RSRP) på mer än -95 är att anse som Bra täckning när man befinner sig utomhus. Ombord på ett fordon kommer denna täckningsnivå sjunka i och med att ett fordon oftast innebär en dämpning av signalstyrkan.



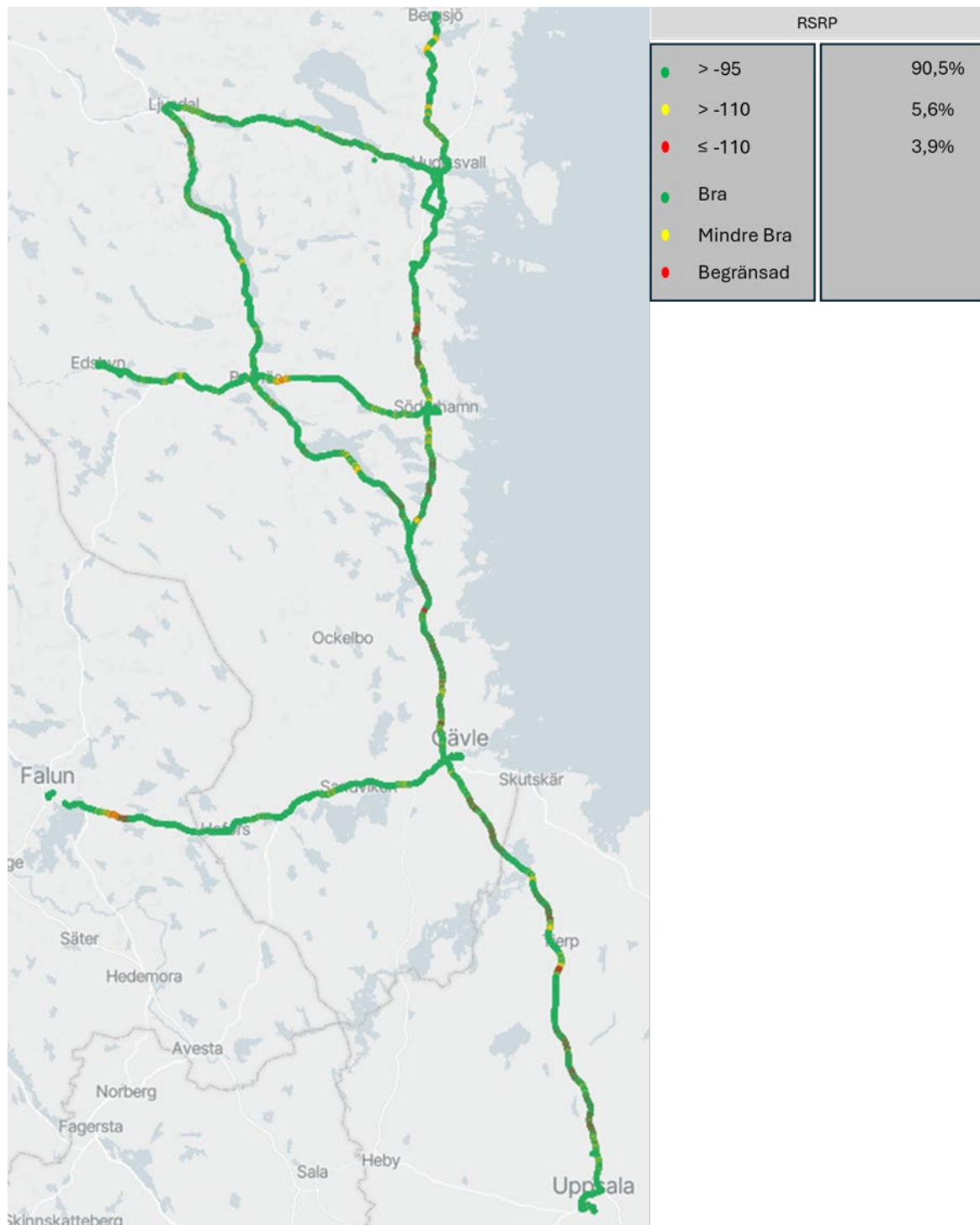
Figur 8 Täckningskarta buss aggregat, skanner

Kartan påvisar att den aggregerade täckningen kan erbjuda en täckning som utomhus upplevs Bra med nästan 100%, det är bara c:a 0,5% av området som kan upplevas som Mindre Bra och 0% som Begränsat. Detta får anses vara en generellt väldigt bra täckningsnivå.

Men om man i stället enbart tittar på vad respektive enskilt mobilnät har för täckningsnivå så finner man en nivå mellan som ligger från lägst c: a 82% Bra till mer än 98% Bra utomhus. Detta är som sagt utomhus och täckning ombord kan visa sig vara lägre i och med det hinder ett fordon tillför om man själv befinner sig ombord.

8.2.1.1 Karta skanner, N4M (buss)

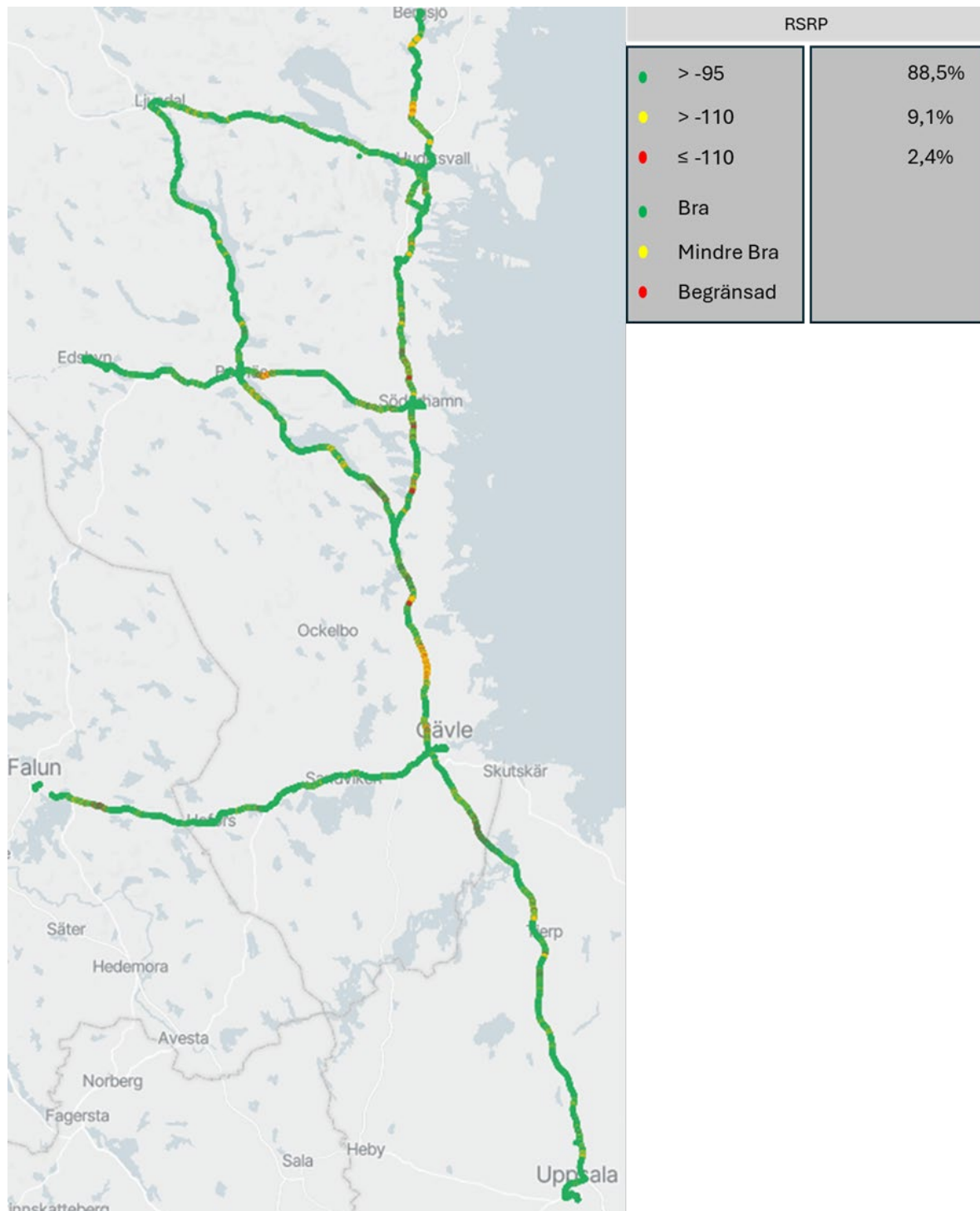
Kartan visar att c: a 90% av de mätta sträckorna kan påvisa täckning som definieras som Bra. C: a 6 % visar täckning som definieras Mindre Bra och 4% är Begränsad täckning dvs områden där risken för dålig upplevelse är överhängande vid samtal även utanför fordonet.



8.2.1.2 Karta skanner, Telia (buss)

Kartan visar att c: a 88% av de uppmätta sträckorna kan påvisa täckning definierad som Bra. C: a 9 % visar täckning som definieras Mindre Bra och c: a 2% upplever Begränsad täckning, dvs områden där risken för dålig upplevelse är överhängande vid samtal även utanför fordonet.

Värt att uppmärksamma är E4 norr om Gävle, den sträckan påvisar ett lite större område med Mindre Bra täckning som kan påverka ombordtäckningen på bussen negativt.

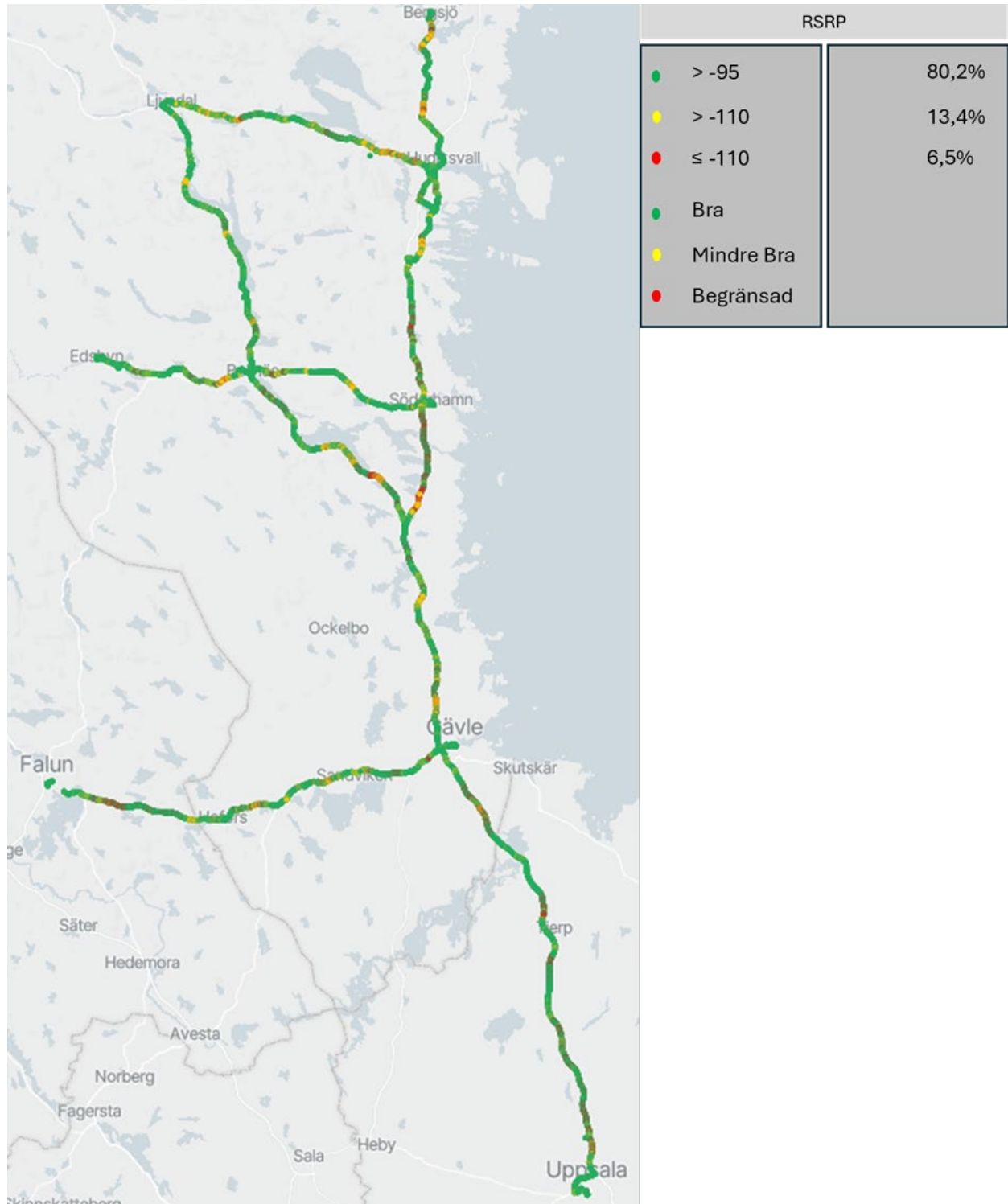


8.2.1.3 Karta skanner, Hi3G (buss)

Kartan visar att c: a 80% av de uppmätta sträckorna kan påvisa täckning definierad som Bra.

C: a 13 % visar täckning som definieras Mindre Bra och c: a 7% upplever Begränsad täckning, dvs områden där risken för dålig upplevelse är överhängande vid samtal även utanför fordonet.

Värt att notera är E4 norr om Tönnebro och kring Rv. 83 mot Kilafors, den sträckan påvisar större områden med enbart Mindre Bra eller Begränsad täckning där en risk för sämre uppkoppling kan förekomma.



8.2.2 Täckningskarta mottagning ombord på buss, mobiltelefon

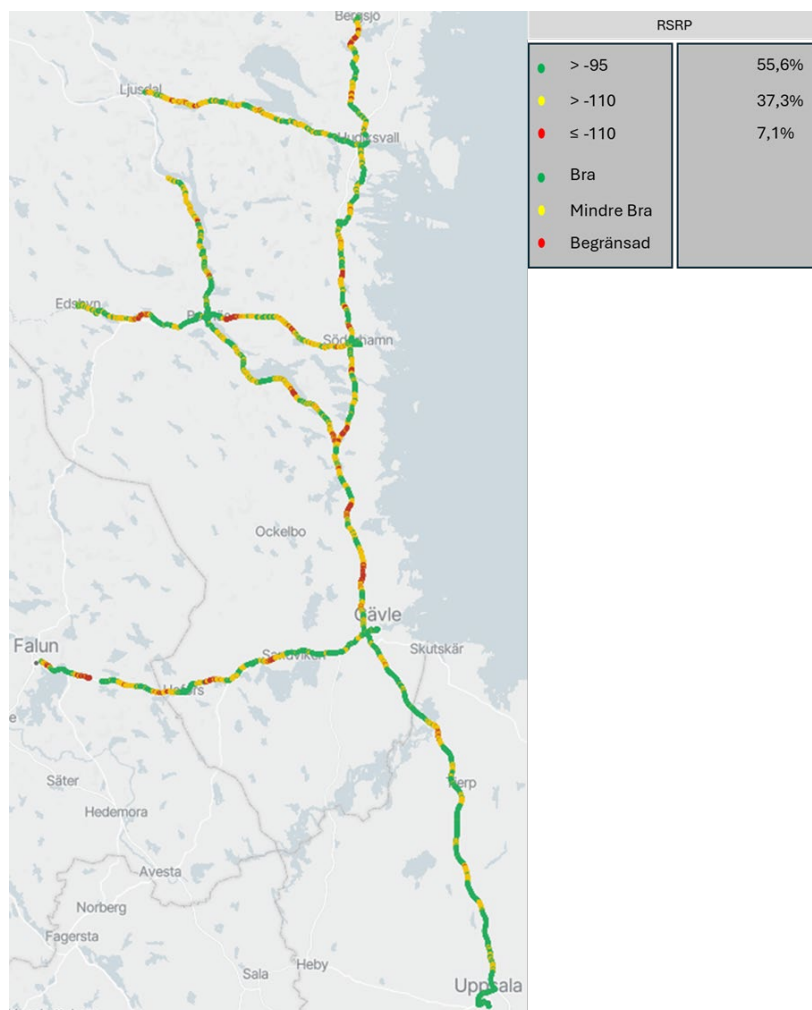
Här visas en samlad täckningskarta med insamlade data för alla 4Gnät inom Gävleborg där en signalstyrka (RSRP) på mer än -95 är att anse som Bra täckning när man befinner sig utomhus. Ombord på ett fordon kommer denna täckningsnivå sjunka i och med att ett fordon oftast innebär en dämpning av signalstyrkan.

För sträckan Karsjö via Järvsö till Ljusdal saknas insamlade data för alla mobilnät. Detta p g a. begränsning i strömtillgång ombord på bussen som ledde till att alla mobiler fick slut på batteri i eller kring Karsjö. Mätningen avslutades för alla så att likvärdighet erhöles.

8.2.2.1 Karta mobiltelefon, N4M (buss)

Kartan visar att enbart c: a 55% av de mätta sträckorna kan påvisa Bra täckning samt att hela c: a 37 % uppnår en nivå av Mindre Bra täckning. Dessutom är l c: a 7% av täckningen i testområdet enbart Begränsad, så stor risk för bristande täckning kan förekomma i området även utanför bussen.

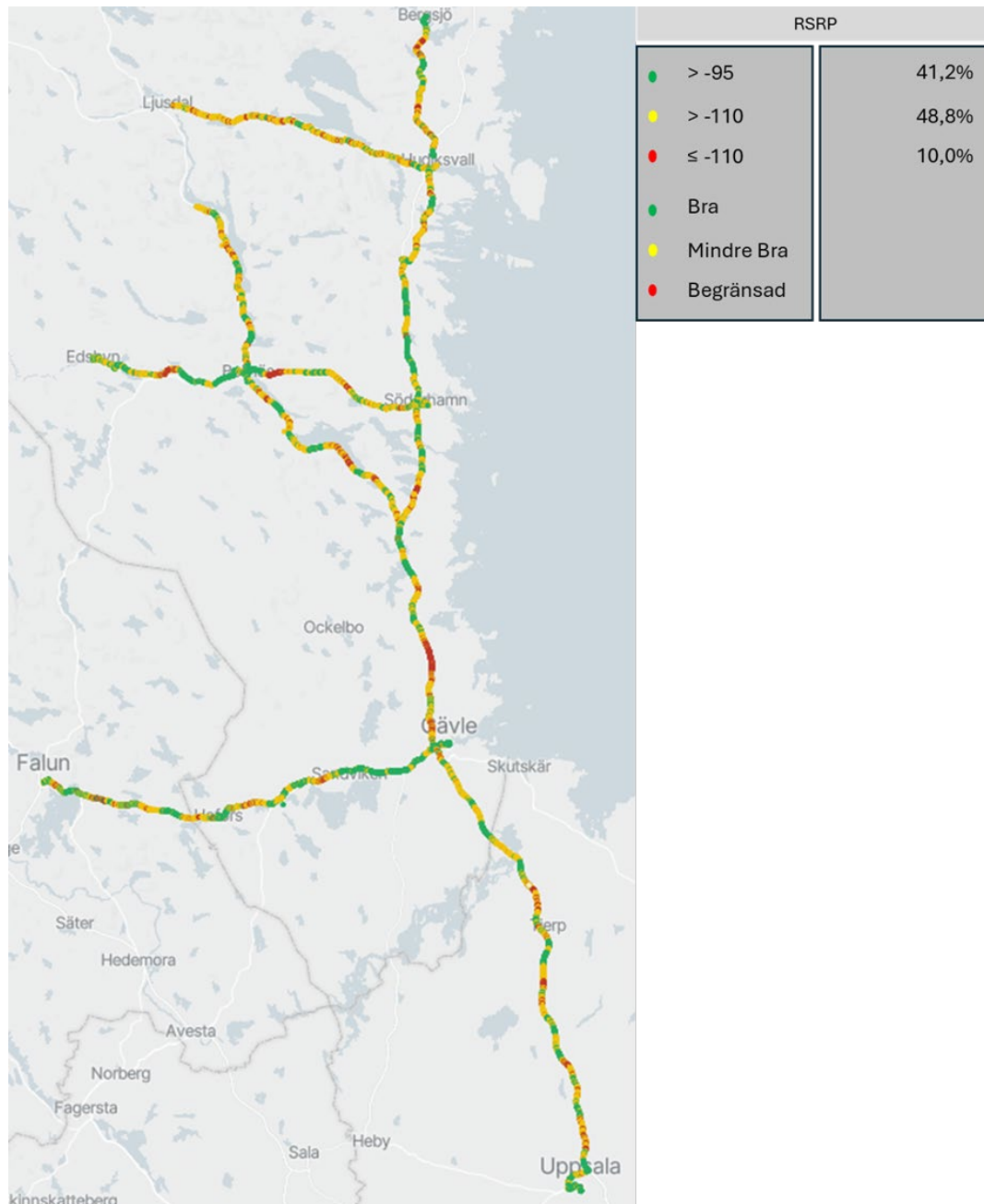
Värt att notera är E4 norr om Gävle. Området kring Tönnebro och Rv. 83 mot Kilafors samt mellan Söderhamn och Bollnäs påvisar större områden med Mindre Bra eller Begränsad täckning där risk för sämre uppkoppling kan förekomma.



8.2.2.2 Karta mobiltelefon, Telia (buss)

Kartan visar att enbart c: a 41% av de mätta sträckorna kan påvisa Bra täckning samt att hela c: a 49% endast uppnår en nivå av Mindre Bra täckning. I c: a 10% räknas täckningen som Begränsad med stora risker för bristande täckning i området även utanför bussen, vilken får ses som en ganska hög siffra.

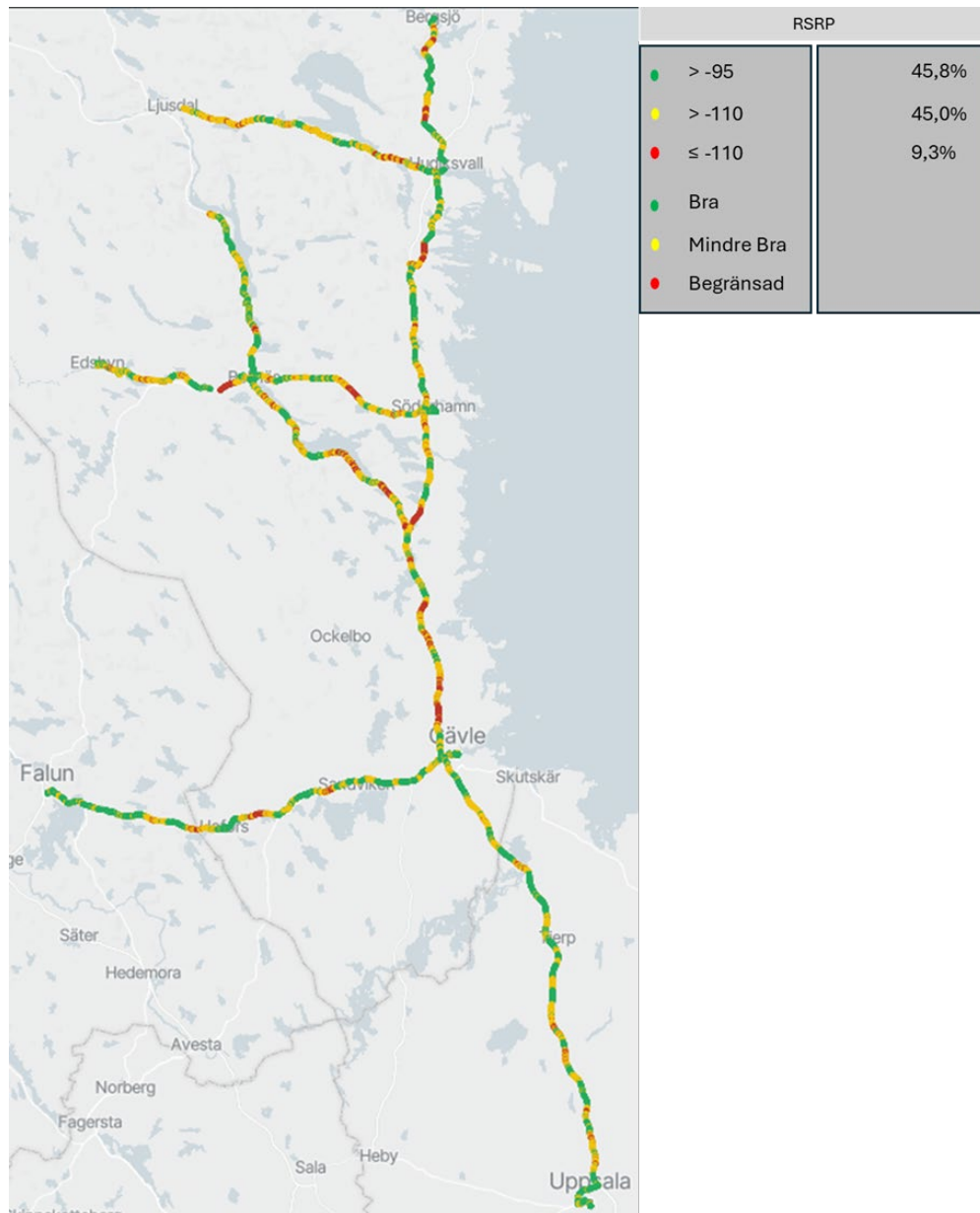
Värt att notera är E4 norr om Gävle, området kring Tönnebro och Rv. 83 mot Kilafors samt mellan Söderhamn och Bollnäs samt mellan Hudiksvall och Ljusdal påvisar större områden med enbart Mindre Bra eller endast Begränsad täckning. Här finns stora risker för att sämre uppkoppling kan förekomma även utanför bussen.



8.2.2.3 Karta mobiltelefon, Hi3G (buss)

Kartan visar att endast ca 46% av de uppmätta sträckorna kan påvisa Bra täckning. I 45% av tiden erbjuds enbart Mindre Bra täckning och hela ca 10% uppvisar endast Begränsad täckning, så stora risker för bristande täckning kan förekomma i området även utanför bussen.

Värt att notera är E4 norr om Gävle. Området kring Tönnebro och Rv. 83 mot Kilafors samt mellan Söderhamn och Bollnäs och Hudiksvall och Ljusdal påvisar större områden med enbart Mindre Bra eller endast Begränsad täckning. Risk för sämre uppkoppling kan förekomma.



8.2.3, Täckningskarta Wi-Fi, ombord på buss

Täckningskarta Wi-Fi är inte relevant i och med att täckningsnivåerna är konstanta för Wi-Fi-nätet ombord på bussen såvida du inte rör på dig över stora ytor då mindre täckningsvariationer kan uppkomma om du hamnar närmare eller längre ifrån själva sändare.

Upplevelsen påverkas av hur väl mobilnätet utanför bussen fungerar samt hur hård och mjukvara på själva Wi-Fi-enheten har för möjligheter.

9. Analys och förslag på åtgärder

Mätning av mobilnätet kartlades med hjälp av skanner och mobiltelefon, se kapitel 8.

Nedan analys av mobilnätet samt Wi-Fi-nätet ombord respektive fordon samt täcknings och mobilnätsdata utanför fordonen inklusive tillhörande förslag på förbättringar utgår från en samlad bedömning oavsett testmetod.

9.1.1 Betydelse av jämn Upplänk

Mätningarna via mobiltelefon (UE) oavsett fordonstyp antyder att en jämn och stabil Upplänk (UL) ofta är viktigare för kvaliteten på samtalet jämfört med en temporärt hög bandbredd från tid till annan. Detta gäller då främst för videoströmning vid onlinemöte som utgjorde detta uppdrags testmetod.

I de fall man lämnade tätbebyggda områden för att ta sig in i mer rurala områden skedde ofta en snabb förändring av bandbredd under mätningen

Kapacitetsfallet som följde med ovan skifte i miljö, och därmed minskad tillgänglig bandbredd, ledde ofta till att bilden frös eller hackade, vilket en användare uppfattar som dålig kvalitet eller allmänt missnöje med själva tjänsten.

Ibland kunde mobiltelefonen dynamiskt justera bildkvaliteten för att hantera de uppkomna bandbreddstappen, men i flertalet fall krävdes en omstart av kameran för att kunna återuppta video och återgå till mötet.

Analysen av testmetoden ger att en jämn datahastighet, om än något lägre, är att föredra framför en datahastighet som växlar med stundtals höga toppar. En jämn men grynig bildkvalitet upplevs som mer stabilt än en som går fram skarp till frysning då växlingarna kan innebära att uppkopplingen till onlinemötet bryts. Uppfattningen vad som är att föredra kan dock variera från användare till användare, detta är dock konsultens upplevelse.

Enligt uppvisade täckningsnivåer för olika trafikslag inom Gävleborg i kapitel 8, når inget enskilt mobilnät 100% fullgod täckning. Detta leder till att kunder kan uppleva mobilnäten som nät med dålig eller bristande täckning, eller en tjänsteupplevelse som inte tillgodoses fullt ut.

En Bra täckning på c: a 80–90 % kan uppfattas som godkänt, men allt beror i stort på var de sista 10–20 % av Bristande täckning upplevs, då det är dessa som oftast gör hela upplevelsen. Vanligtvis är dessa sista % uppdelat i flera mindre täckningsluckor i stället för en större sammanhängande sträcka, vilket hade varit att föredra.

Oavsett om täckningsbristerna beror på större täckningsluckor i glesbefolkade områden, eller som mindre brister här och där, påverkas passagerare och kunders upplevelser negativt. Detta bör beaktas när arbete påbörjas med att finna lämpliga åtgärder.

9.1.2 Radiostörningar

I samband med radiovågor och radiosystem kan det ibland förekomma externa eller interna störningar som påverkar täckning och tjänsteupplevelser.

Störningar kan uppkomma av flera anledningar; att utrustningen är felmonterad eller felinställd, det kan vara en skada på kablar eller antenner som skapar en störande signal på angränsande frekvensband, eller så kan störningar uppkomma då externa radiofält skapas.

Alla ovan faktorer kan ha en påverkan för slutkunden.

I Bilaga 3, Radiostörningar vid inbromsning belyses en eventuell störkälla som kan ha en stor påverkan på själva upplevelsen ombord på tåget vid nyttjande av mobildatatjänster, oavsett om detta är via mobiltelefon eller Wi-Fi-uppkoppling.

9.2 Analys och förslag på åtgärder, tåg

9.2.1 Datahastighet mobilnät tåg

Via kartläggningen genomförd med uppkopplat Teams-möte uppnåddes en gemensam täckningsgrad för alla operatörer/nätägare tillsammans följande datahastigheter ombord tågen:

- **Upplänk (UL)-datahastighet är mindre än 0,5Mbit/s (500Kbps) mellan minst 9–13% av tiden per operatör**
- **Nedlänk (DL)-datahastighet är mindre än 4Mbit/s (4000kbps) i c: a 39–55% av tiden per operatör**
- **Täckningsnivån, se kap 8 är:**
 - **Bra** mellan 69 - 77% av tiden
 - **Mindre Bra** kring 20% av tiden
 - ej godkänd **dvs. Begränsad** mellan c: a 4 - 13% av tiden beroende av operatör.

Genom att inte nå högre datahastighet i vare sig Upplänk eller Nedlänk påverkas olika tjänster mer eller mindre negativt. För uppdragets test av Teams-möte har framför allt en Upplänk på mindre än 0,5Mbit/s den påverkan att en videoström inte kan säkerställas med god kvalitet, vilket leder till att dessa möten ej kan genomföras tillfredställande. Samma gäller en Nedlänk av mindre än 2Mbit/s, som har en likvärdig negativ påverkan för själva Teamsmöte.

Man bör önska att minst uppnå godtagbar kvalitet (HD-bild) det vill säga en bildupplösning av minst 720p, nås 1080p är det att jämföras med full HD-bild enligt de datahastighetskrav Microsoft definierat för just Teams-tjänsten enligt tabell 1, kap.7. Det är dessa nivåer konsulten sedan har baserat sina kartor utifrån, där en verklighetsanpassad nivå för datahastighet är uppskattad till:

Upplänk:

0 – 0,150Mbps	Ej Garanterad Funktion, ingen eller begränsad bildöverföring
0,150 – 0,5Mbps	Begränsad Upplevelse, låg upplösning (15-30fps, 240-480p)
0,5 – 2Mbps	Godtagbar Hastighet, upplösning komprimerad (30fps, 480-720p)
Mer än 2Mbps	Föredragen Hastighet, full upplösning nås vid 6Mbps (30fps, 1080p)

Nedlänk:

0 – 1,5Mbps	Ej Garanterad Funktion, ingen eller begränsad bildmottagning
1,5 – 4Mbps	Begränsad Upplevelse, låg upplösning (15-30fps, 240-480p)
4 – 10Mbps	Godtagbar Hastighet, full upplösning nås vid 6Mbps (30fps, 1080p)
Mer än 10Mbps	Föredragen Hastighet, full upplösning (30-60fps, minst 1080p)

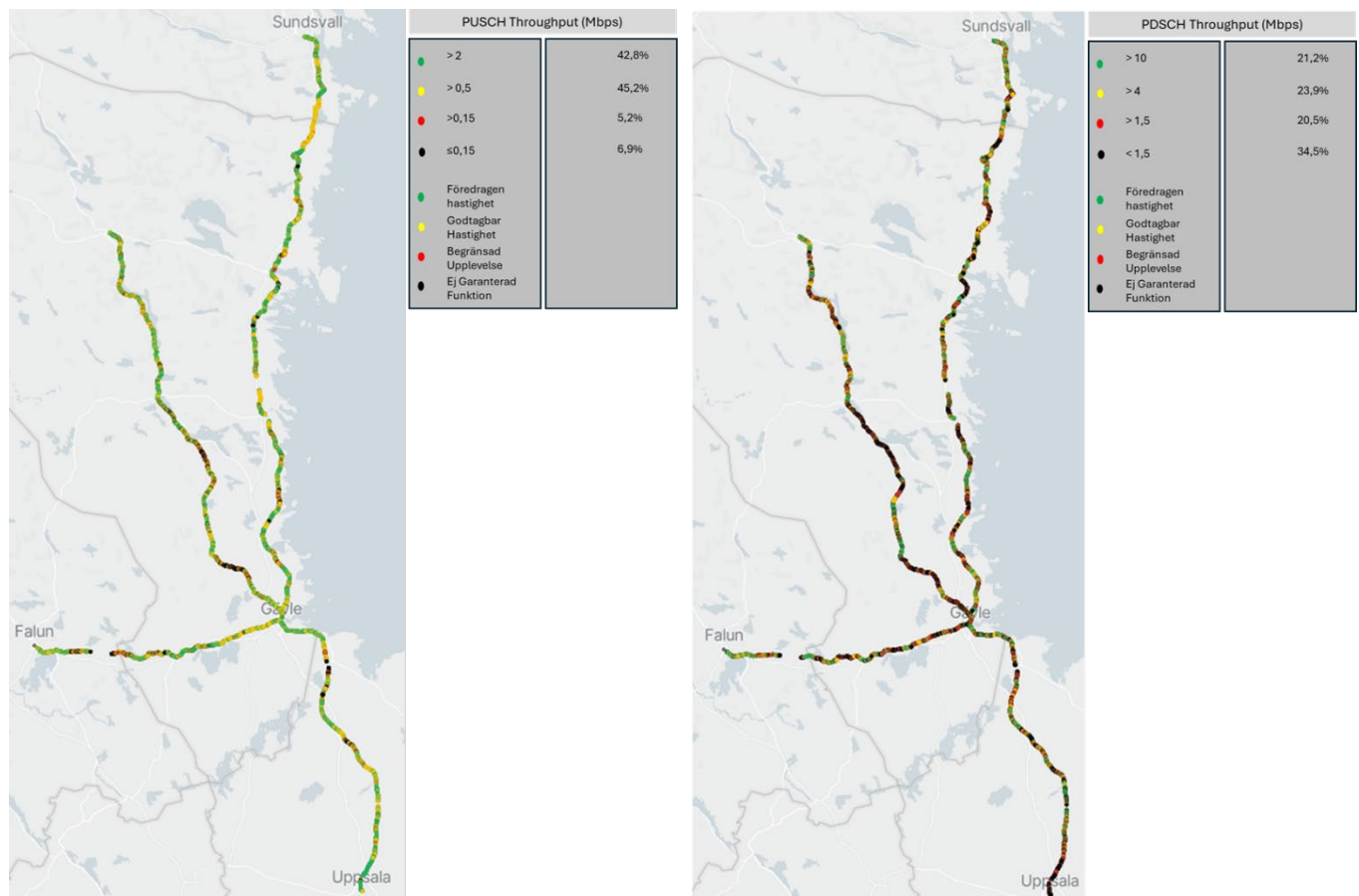
Konsulten kan också konstaterat att täckning ombord tåg i de flesta fall existerar, men möjligheten att interagera online genom att föra till exempel ett Teamssamtal eller delta i ett teamsmöte i presentationsläge är kraftigt begränsad på stora delar av teststräckorna, i och med de uppkomna begränsningar i Upp och Ned-länkshastighet som förekommer.

Teamsmöte via endast ljud hade haft bättre förutsättningar, men kommer troligen också uppleva problem då just den tillgängliga datahastigheten i både Upplänk och Nedlänk även här är en begränsande faktor.

9.2.1.1 Karta mobiltelefon Upp och Nedlänk, N4M (tåg)

Kartan visar att för de uppmätta sträckorna erbjuds c: a 88% Godtagbar Hastighet eller högre (Föredragen Hastighet) i Upplänk och c: a 45% för Godtagbar Hastighet eller högre (Föredragen Hastighet) i Nedlänk. Dvs. stora delar upplever utmaningar med att till och med uppfylla en lägsta nivå för att kunna hantera just ett Teamsmöte.

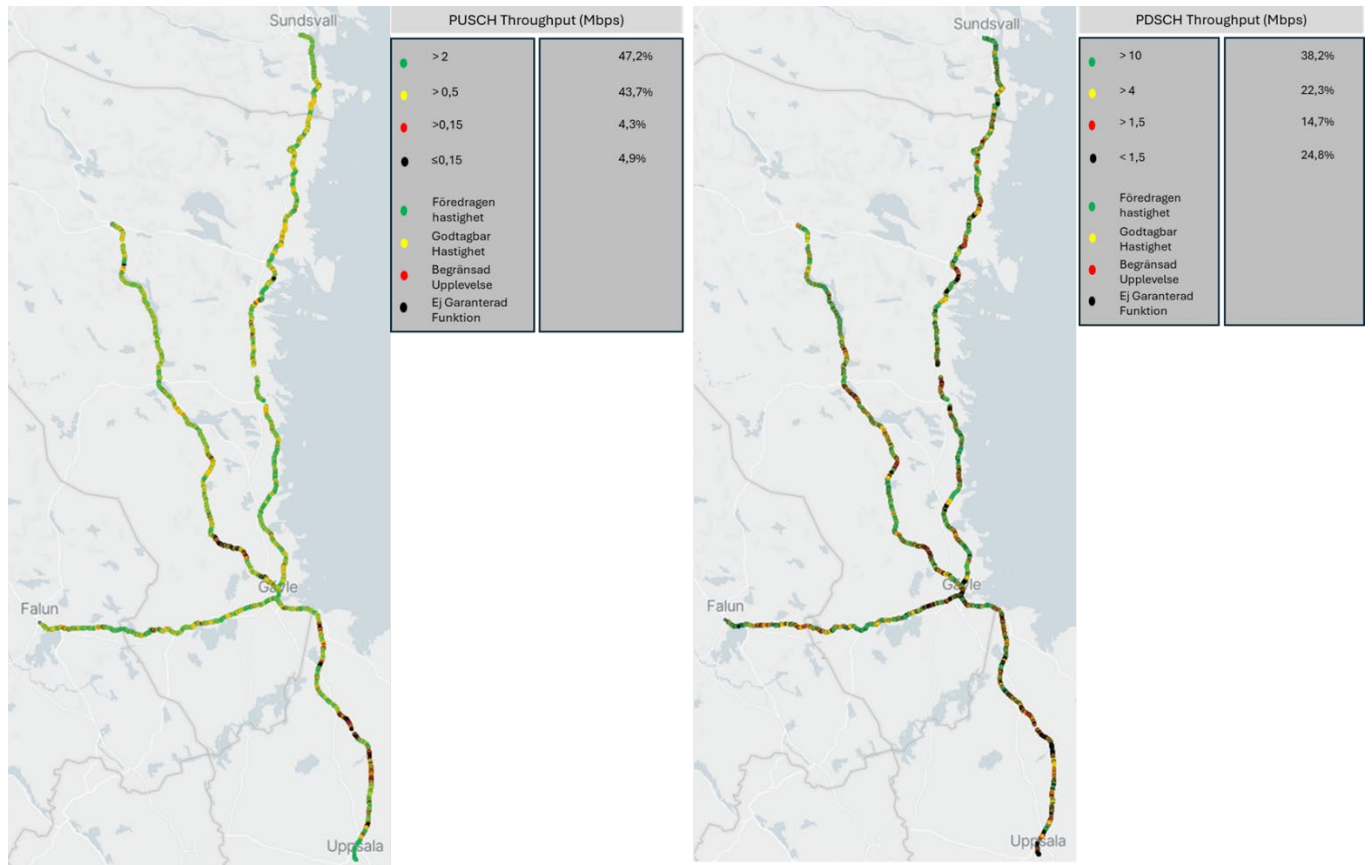
Dessa siffror ger också en indikation att även övriga onlinetjänster och troligen andra mobila tjänster kommer vara begränsade i stora delar av området, när man befinner sig under förflyttning via tåg.



9.2.1.2 Karta mobiltelefon Upp och Nedlänk, Telia (tåg)

Kartan visar att för de uppmätta sträckorna erbjuds c: a 91% Godtagbar Hastighet eller högre (Föredragen Hastighet) i Upplänk och c: a 60% för Godtagbar Hastighet eller högre (Föredragen Hastighet) i Nedlänk. Dvs. att betydande delar av området upplever utmaningar med att till och med uppfylla en lägsta nivå för att kunna hantera just ett Teamsmöte.

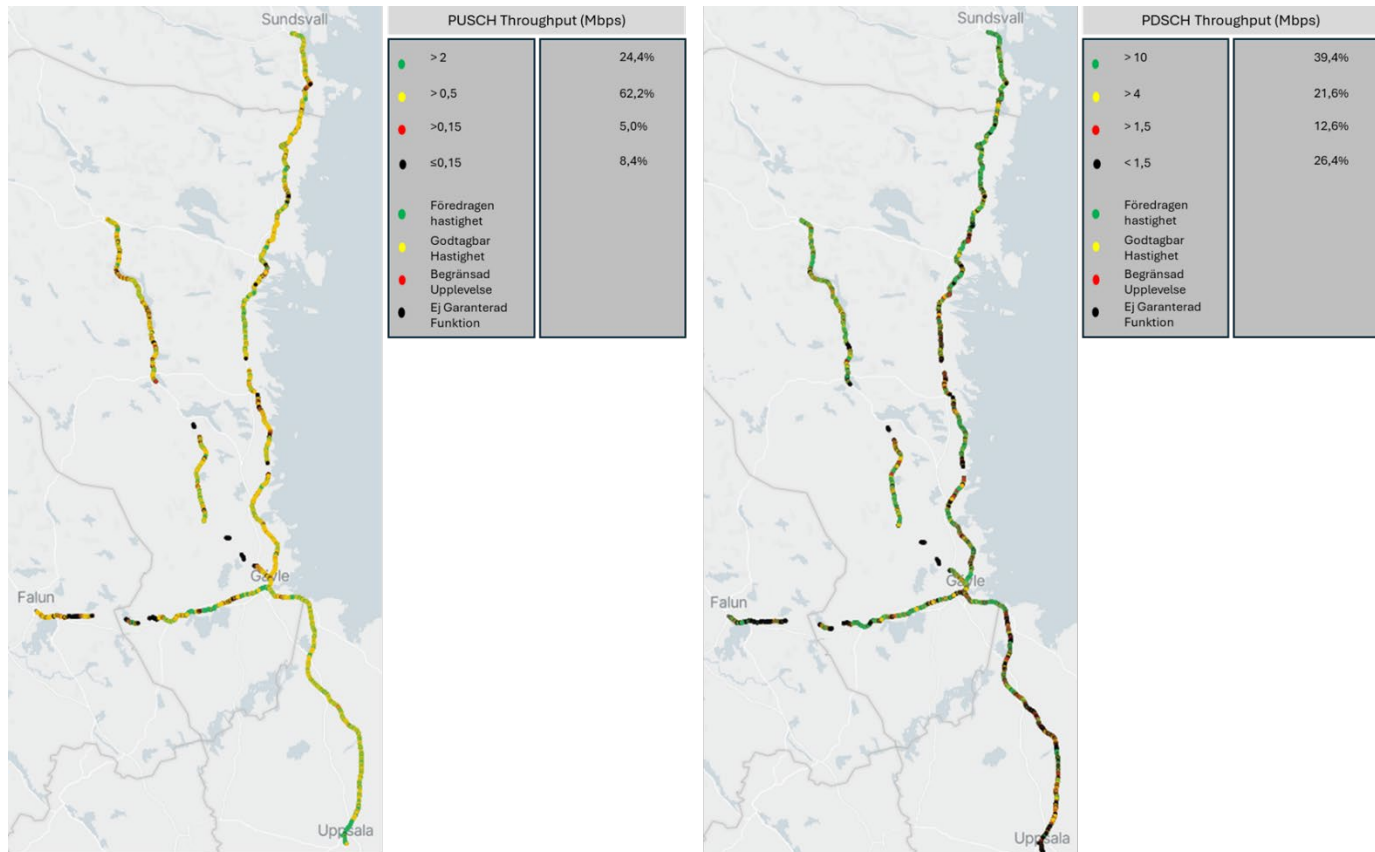
Dessa siffror ger också en indikation att även övriga onlinetjänster och troligen andra mobila tjänster kommer vara begränsade i stora delar av området, när man befinner sig under förflyttning via tåg.



9.2.1.3 Karta mobiltelefon Upp och Nedlänk, Hi3G (tåg)

Kartan visar att för de uppmätta sträckorna erbjuds c: a 87% Godtagbar Hastighet eller högre (Föredragen Hastighet) i Upplänk och c: a 61% för Godtagbar Hastighet eller högre (Föredragen Hastighet) i Nedlänk. Det innebär att omfattande delar upplever utmaningar med att uppnå en lägsta nivå för att kunna hantera ett Teamsmöte.

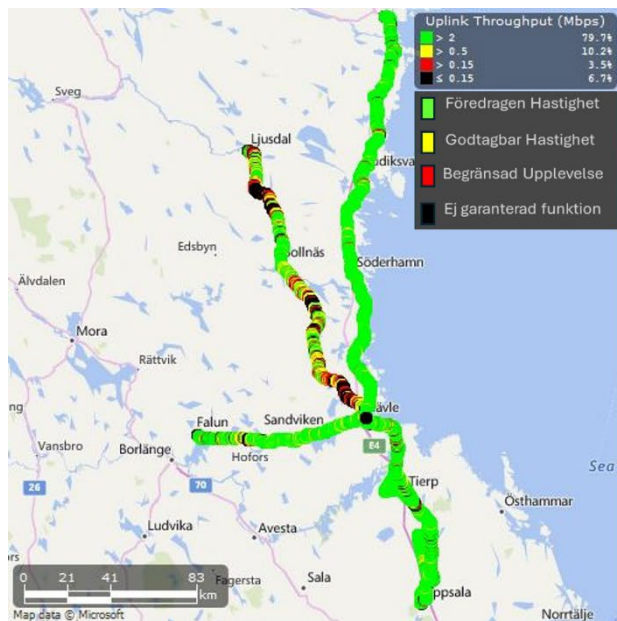
Dessa siffror ger också en indikation att även övriga onlinetjänster och troligen andra mobila tjänster kommer vara begränsade i stora delar av området, när man befinner sig under förflyttning via tåg.



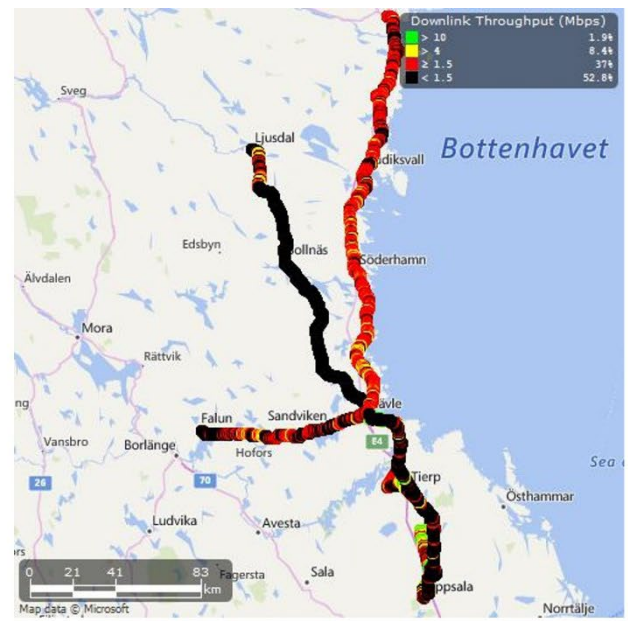
9.2.1.4 Karta mobiltelefon Upp och Nedlänk, Wi-Fi (tåg)

Kartan visar att för de uppmätta sträckorna erbjuder c: a 90% Godtagbar Hastighet eller högre (Föredragen Hastighet) i Upplänk och c: a 10% för Godtagbar Hastighet eller högre (Föredragen Hastighet) i Nedlänk. Det innebär att stora delar upplever utmaningar med att uppnå en lägsta nivå för att kunna hantera ett inkommande Teamsmöte.

Dessa siffror ger också en indikation att även övriga onlinetjänster och troligen andra mobila tjänster kommer vara begränsade i stora delar av området, när man befinner sig under förflyttning via tåg.



UPPLÄNK



NEDLÄNK

9.2.2 Förslag åtgärder, mobilnät tåg

Nedan följer ett par förslag på vilka åtgärder som kan vidtas för att förbättra uppkopplingen mot mobilnät på de undersökta tågsträckorna i Gävleborg.

9.2.2.1 Uppgradering av repeatar

Nuvarande repeatar ombord på tågen är analoga och bör bytas ut till mer moderna digitala repeatar. Senare versioner av repeatar har vanligtvis stöd för fler frekvenser och nät som leder till ett likvärdigt stöd för alla operatörer i stället för att utesluta vissa frekvenser och nätägare som idag.

Dessutom behövs omgående förstärkning ombord av minst 800Mhz-bandet, som är det band som generellt ses som bäst lämpat och är mest likvärdigt alla nätägare. Detta band har även en god utbredning och täckningsgrad jämfört med nät via högre frekvenser. Det man tappar vid 800MHz jämfört med exempelvis 1800 eller 2600Mhz nät är en begränsning i tillgänglig bandbredd, där frekvenser vid 1800Mhz och 2600Mhz (4G/LTE) har mer tillgänglig bandbredd att erbjuda men som sagt i stället uppvisar en sämre yttäckning.

För mer ingående beskrivning av repeatar och dess begränsningar se bilaga 2, Repeater på tåg.

9.2.2.2 Utvärdering av RF-Fönster

Region Gävleborg bör följa debatten om RF-fönster som idag pågår och se om detta är en metod att använda även på regionens bussar framöver utöver primärt användningsområde som är tänkt ombord på tåg.

RF-Fönster kräver dock att signalen på utsidan av fordonen är tillfredställande då själva utskärningen i solfilmen inte förstärker täckningen i sig, utan bara lättare släpper igenom den täckning som redan finns etablerad inom det område där fordonet färdas.

Vid utvärdering av RF-fönster bör man säkerställa att man genomför detta så teknikneutralt som möjligt. Man behöver uppgradera dagens repeater så att man inte riskerar att utvärdera olika signaler under olika förutsättningar.

Man behöver vid exempelvis uppskuren solfilm jämföra men repeater avslagen så att man ser verklig ev. förbättring för alla nät oförstärkt utan en aktiv enhet (repeater) påslagen eller uppgradera till ny repeater med stöd för alla aktuella frekvenser och nät som är påslagen. Detta för att se så att man påvisar att det är repeater eller solfilm som tillför mest täckning på ett så effektivt sett som möjligt.

Man behöver också genomföra dessa tester i faktisk trafik och i skilda miljöer, då radiostrålarna kommer träffa ev. uppskurna fönster eller antenner på taken olika under exempelvis en tågresa. Först när man genomfört flertalet olika typer av tester, med repeater av och på, solfilm uppskuren eller ej, så kan man ev. utesluta en eller flera lösningar och gå vidare för ett beslut.

Region Gävleborg bör också ta del av redan genomförda tester om möjligt. Det lär exempelvis ha genomförts mätningar längs med västkustbanan med RF-fönster och olika typer av repeaters ombord på likvärdiga tåg.

9.2.2.3 Fortsatt dialog med mobiloperatörerna

Mer kapacitet i Upplänk men också i Nedlänk behöver tillföras ombordtäckningen på tågen.

Oavsett om detta sker via repeaters eller RF-fönster måste även en förtätning och kapacitetshöjning genomföras parallellt. Allt för att klara av dagens och morgondagens krav och kundönskan på en stabil och säker mobiluppkoppling och tjänsteupplevelse ombord på tågen

9.2.3 Täckningsanalys Wi-Fi, tåg

Täckningen via Wi-Fi ombord på tågen är konstant då täckningsnivån inte fluktuerar så som för en mobiluppkoppling. Det som ändras är tillgänglig bandbredd som är beroende av omkringliggande mobiltelefonbasstationer och i sin tur deras konfiguration, erbjudna bandbredd och kapacitet. Det är till största delen dessa signaler från basstation till router (hotspot) som påverkar kundupplevelsen och kvalitén på själva överföringen till var enskild mobiltelefonen (UE).

Wi-Fi mottagningen hos mobiltelefonen är således beroende av vilka signaler och frekvenser utrustningen ombord är kapabel att ta emot och vidare omvandla till Wi-Fibaserad datatäckning.

I och med att dagens X-trafik Wi-Fi router endast stödjer en tidig version av ex.vis 4G och har en begränsning i att dels inte kunna hantera flera parallella dataströmmar per operatör (Carrier Aggregation (CA)), dels ha en begränsning i en maximal erbjuden total bandbredd av 100Mbps i

Nedlänk och 50 Mbps i Upplänk medför detta ett hinder. Dessa bandbredder är dessutom gemensamma för alla ombord, så är de fler som nyttjar tjänsten desto mindre bandbredd per passagerare och mobiltelefon.

Konsultens uppfattning är att jämfört med uppkoppling mot mobilnät, ger ändå systemet ombord en delvis bättre upplevelse på de flesta testade tåg men med detta sagt så är den inte helt tillfredställande. I många fall upplevdes ljud och främst bild som hackig där även frysning av bild förekom som gör att ett Teamsmöte kan upplevas som svårt att genomföra längs med hela sträckor.

9.2.4 Förslag åtgärder Wi-Fi, tåg

1. Utrustningen bör uppgraderas för att kunna ta emot fler frekvenser och även 5G för att möta framtidens behov som efterfrågar högre datahastighet samt snabbare svarstider på själva uppkopplingen, samt uppgraderas till att hantera minst Carrier Aggregation i nedlänk men gärna också för upplänk för en bästa möjlig tjänsteupplevelse.

2. Man bör fortsatt säkra upp så att flera tillgängliga operatörer är etablerad i systemet likvärdigt idag, där man nyttjar både Telia och N4M-nät, går man ner på endast ett nät eller operatör är risken stor att man tappar både täckning och kapacitet. Allt detta för att öka bandbreddsmöjligheten, inte minska. Täck upp respektive operatörs täckningshåll samt öka effektiviteten i systemet genom att kunna ta emot flera parallella dataströmmar via separata mobilnät. På så sätt ökas och förbättras Wi-Fi kapaciteten och datahastigheten ombord.

9.3 Analys och förslag på åtgärder, buss

Insamling av data genomfördes under två tillfällen, dels under ordinarie mätperiod mars 2025, dels med en kompletterande mätning under juni 2025 för specifikt sträckan Gävle-Falun. Vid detta senare tillfälle genomfördes mätning bara för Wi-Fiuppkopplingen och enbart denna sträcka då övriga busslinjer inte erbjuder obegränsad datamängd via uppkoppling Wi-Fi och mätningen således inte blir relevant då uppkopplingen upphör relativt snabbt, se kap 9.3.3 Täckningsanalys Wi-Fi, Buss.

9.3.1 Datahastighet Mobilnät, buss

Via kartläggningen genomförd med uppkopplat Teams-möte uppnåddes en gemensam täckningsgrad för alla operatörer/nätägare tillsammans följande datahastigheter längs bussträckorna:

Upplänk (UL)-datahastighet är mindre än 0,5Mbit/s (500kbps) i 1-2% av tiden beroende av operatör

- **Nedlänk (DL)-datahastighet är mindre än 4Mbit/s (4000kbps) i c: a 28–38% av tiden per operatör**
- **Täckningsnivån (se kap 8) är:**
 - **Bra** mellan 80 - 90% av tiden
 - **Mindre Bra** under c: a 6 - 13% av tiden
 - ej godkänd **dvs. Begränsad** mellan c: a 4 - 7% av tiden beroende av operatör.

Genom att inte nå högre datahastighet i vare sig Upplänk eller Nedlänk påverkas olika tjänster mer eller mindre negativt. Vid testet av Teams-möte påverkar Upplänken på mindre än 0,5Mbit/s att en videoström inte kan säkerställas med god kvalitet, vilket leder till att mötet ej kan genomföras tillfredställande. Samma gäller en Nedlänk av mindre än 2Mbit/s, som har en likvärdig negativ påverkan på Teamsmötet.

Man bör önska att minst uppnå godtagbar kvalitet (HD-bild) det vill säga en bildupplösning av minst 720p, nås 1080p är det att jämföras med full HD-bild enligt de datahastighetskrav Microsoft definierat för just Teams-tjänsten enligt tabell 1, kap.7. Det är dessa nivåer konsulten sedan har baserat sina kartor utifrån, där en verklighetsanpassad nivå för datahastighet är uppskattad till:

Upplänk:

0 – 0,15Mbps	Ej Garanterad Funktion, ingen eller begränsad bildöverföring
0,150 – 0,5Mbps	Begränsad Upplevelse, låg upplösning (15-30fps, 240-480p)
0,5 – 2Mbps	Godtagbar Hastighet, upplösning komprimerad (30fps, 480-720p)
Mer än 2Mbps	Föredragen Hastighet, full upplösning nås vid 6Mbps (30fps, 1080p)

Nedlänk:

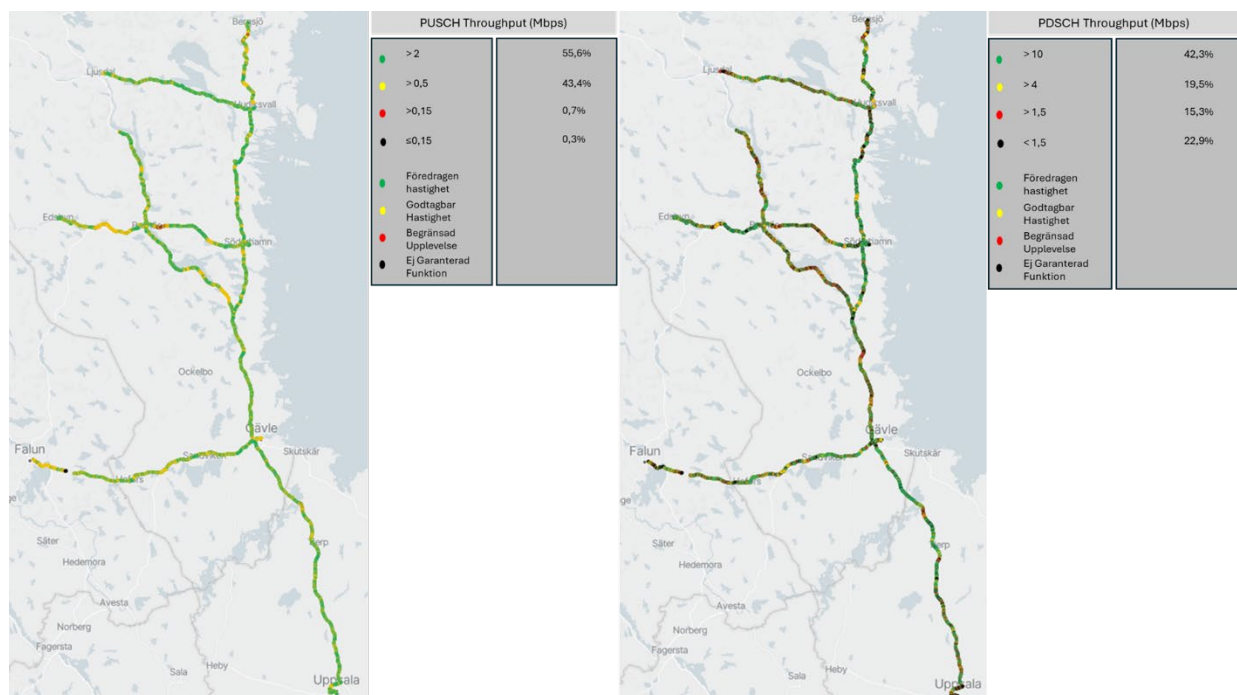
0 – 1,5Mbps	Ej Garanterad Funktion, ingen eller begränsad bildmottagning
1,5 – 4Mbps	Begränsad Upplevelse, låg upplösning (15-30fps, 240-480p)
4 – 10Mbps	Godtagbar Hastighet, full upplösning nås vid 6Mbps (30fps, 1080p)
Mer än 10Mbps	Föredragen Hastighet, full upplösning (30-60fps, minst 1080p)

9.3.1.1 Karta mobiltelefon Upp och Nedlänk , N4M (Buss)

Kartan visar att för de uppmätta sträckorna erbjuds c: a 99% Godtagbar Hastighet eller högre (Föredragen Hastighet) i Upplänk och c: a 62% för Godtagbar Hastighet eller högre (Föredragen Hastighet) i Nedlänk. Stora delar upplever därmed utmaningar med att uppfylla en lägsta nivå för att hantera ett Teamsmöte.

Summerat ger detta att en onlinetjänst och troligen kommer även övriga mobiltjänster vara begränsade inom delar av området när man befinner sig under förflyttning via buss.

Notera sträckorna Sandviken – Falun och Bollnäs – Söderhamn där delar visar nivåer upp datahastighet väl under en lägsta nivå av 0,15Mbps i Upplänk. Vidare är området runt Delsbo samt norra delen av E4an söder om Hudiksvall delar som uppvisar en minst Begränsad Upplevelse med under 1,5Mbps i Nedlänk.

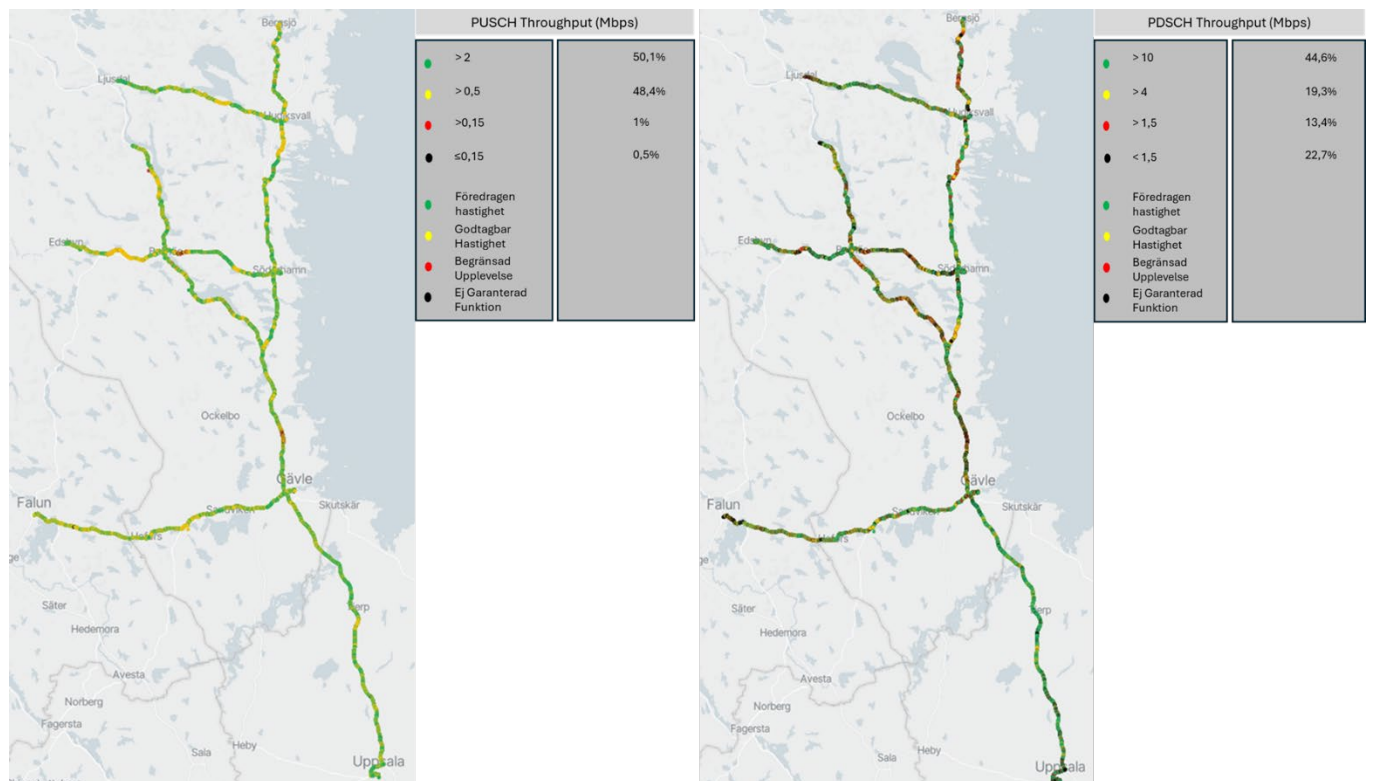


9.3.1.2 Karta mobiltelefon Upp och Nedlänk, Telia (Buss)

Kartan visar att för de uppmätta sträckorna erbjuds c: a 99% Godtagbar Hastighet eller högre (Föredragen Hastighet) i Upplänk och c: a 54% för Godtagbar Hastighet eller högre (Föredragen Hastighet) i Nedlänk. Dvs. stora delar upplever utmaningar med att till och med uppfylla en lägsta nivå för att hantera ett Teamsmöte.

Summerat ger detta att en onlinetjänst och troligen kommer även övriga mobiltjänster vara begränsade inom stora delar av området när man befinner sig under förflyttning via buss.

Notera sträckan Sandviken – Gävle och Öster om Bollnäs, Hudiksvall – Delsbo har delar som visar nivåer för datahastighet under en lägsta nivå av 0,150Mbps i Upplänk. Gällande Nedlänk är det lite fler sträckor som berörs och notera området runt E4 Tönnebro samt sträckan Hudiksvall – Bergsjö där stora områden uppvisar en datahastighet under 1,5Mbps i Nedlänk.

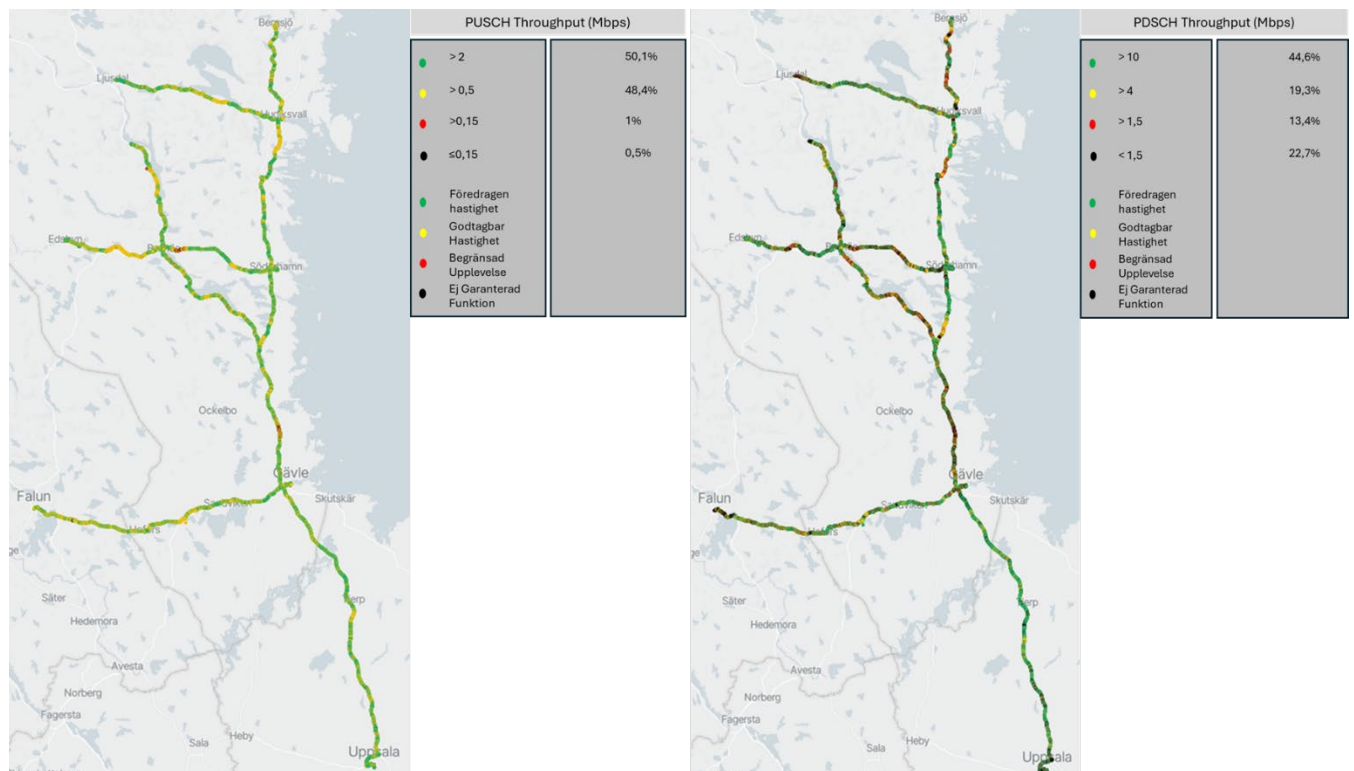


9.3.1.3 Karta mobiltelefon Upp och Nedlänk, Hi3G (Buss)

Kartan visar att för de uppmätta sträckorna erbjuds c: a 97% Godtagbar Hastighet eller högre (Föredragen Hastighet) i Upplänk och c: a 72% för Godtagbar Hastighet eller högre (Föredragen Hastighet) i Nedlänk. Detta innebär att på stora delar upplevs utmaningar med att uppfylla en lägsta nivå för att hantera ett Teamsmöte.

Summerat ger detta att en onlinetjänst och troligen även övriga mobiltjänster kommer vara begränsade inom delar av området när man befinner sig under förflyttning via buss.

Notera att de vissa sträckor visar nivåer för datahastighet under en lägsta nivå av 0,150Mbps i Upplänk men ett fåtal områden ex.vis Norr om Bollnäs, RV 83 mellan Tönnebro och Bollnäs samt området runt Hudiksvall påvisa en lägre nivå än under 1,5Mbps i Nedlänk.

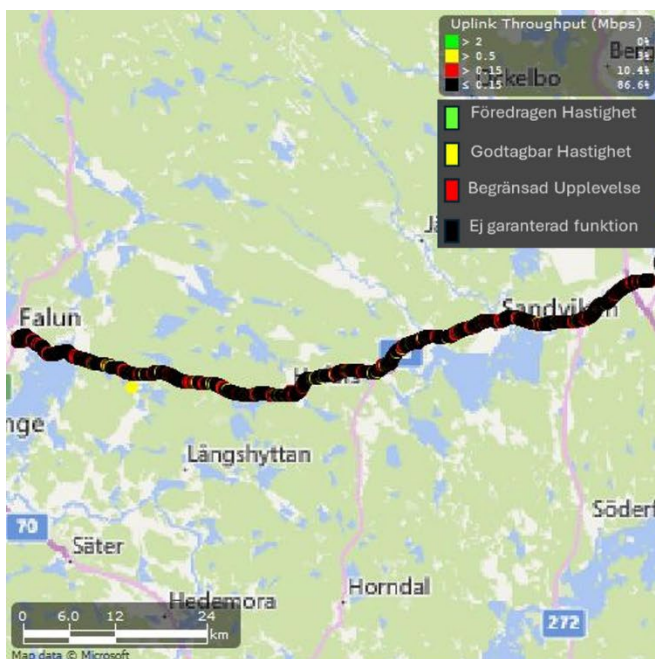


9.3.1.4 Karta mobiltelefon Upp och Nedlänk, Wi-Fi (Buss)

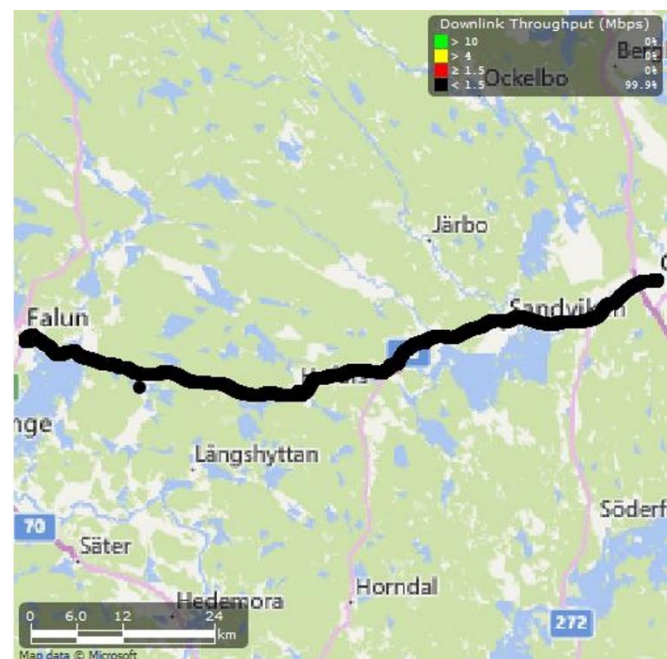
Kartan visar enbart sträckan Gävle- Falun där kompletterande mätningar genomfördes vid ett senare tillfälle jämfört med övriga datainsamling. Sträckan är vald då detta är den enda utpekade mätsträcka där Wi-Fiuppkopplingen ombord på bussen inte har en begränsning i mängden data man som passagerare har att tillgå och där man således kan genomföra ett test för hela mätsträckan, övriga utpekade linjer uppvisar bandbredds begränsningar som gör att tillräcklig mängd data inte kan samlas in.

För den uppmätta sträckan erbjuds enbart c: a 3% Godtagbar Hastighet eller högre (Föredragen Hastighet) i Upplänk och c: a 0,1% för Godtagbar Hastighet eller högre (Föredragen Hastighet) i Nedlänk. Detta innebär att på stora delar upplevs utmaningar med att uppfylla en lägsta nivå för att hantera ett Teamsmöte.

Summerat ger detta att en onlinetjänst och troligen även övriga mobiltjänster kommer vara begränsade inom delar av området när man befinner sig under förflyttning via buss.



UPPLÄNK



NEDLÄNK

9.3.2 Förslag åtgärder Mobilnät

Dialogen med mobilnätägarna bör fortsätta, där nätägarna bör prioritera en fortsatt förtätning av nätet i de fall där näten behöver kapacitets och förstärkningsåtgärder.

En stor kapacitetsförbättring behöver ske i framför allt av Upplänken, men även en tillförsel av med datahastighet i Nedlänk är behövlig. Inga specifika sträckor eller områden pekas ut, utan en generell datahastighetshöjning erfordras inom hela området.

9.3.3 Täckningsanalys Wi-Fi, buss

Wi-Fi mottagningen på bussen visade generellt stora begränsningar. Den tilldelade mängden data per uppkopplad mobiltelefon tog slut efter bara ett par minuter, så uppkopplingen mot själva Wi-Fi bröts ständigt. Därav blev det inte möjligt att samla in större mängd mätdata för att

kunna presentera en djupare analys under ordinarie mättillfället mars 2025. Därför beslutades det att genomföra en kompletterande mätning på specifikt sträckan Gävle-Falun under juni 2025, allt skapa sig en bättre uppfattning för Wi-Fi då denna specifika mätsträcka erbjuder Wi-Fiuppkopplingen med erbjuder obegränsad datamängd.

Gällande mätningarna genomförda under testtillfälle ordinarie samt under kompletterande mätning kunde ett teamsmöte via Wi-Fi ombord på bussen oavsett om det var under de tillfällen då korta perioder med datamängd erbjöds eller i det fall obegränsad data erhöles visa stora begränsningar som gjorde det svårt att nyttja tjänsten. Detta hänger troligen samman med en mix av tillgänglig mobilnätdata och erbjuden Wi-Fi-hastighet som erhöles.

Konsulten kunde dock se att signalnivåerna på själva WiFi-signalen höll sig relativt konstanta då täckningsnivån inte fluktuerar så som för en mobiluppkoppling utan är mer eller mindre konstant då man sitter på en plats i bussen och inte rör sig när man är ombord.

Den erbjudna bandbredden från utrustningen ombord kunde visserligen förändras under tid, men påverkade upplevelsen endast i mindre omfattning i och med ovan begränsning av tilldelad datamängd.

Det som sannolikt påverkar upplevelsen mer är den tillgängliga bandbredden som tillförs Wi-Fi routern från omkringliggande mobilnät.

I och med att dagens X-trafik Wi-Fi router endast stödjer en tidig version av ex.vis 4G och har en begränsning i att dels inte kunna hantera flera parallella dataströmmar för aktuell operatör (Carrier Aggregation (CA)), dels ha en begränsning i en maximal erbjuden total bandbredd av 100Mbps i Nedlänk och 50 Mmps i Upplänk medför detta ett hinder. Dessa bandbredder är dessutom gemensamma för alla ombord, så är de fler som nyttjar tjänsten desto mindre bandbredd per passagerare och mobiltelefon.

Konsultens uppfattning är att jämfört med uppkoppling mot mobilnät, ger systemet i dess nuvarande utformning en mycket försämrad upplevelse som gör att ett Teamsmöte kan upplevas som svårt att genomföra längs med hela sträckor.

9.3.4 Förslag åtgärder Wi-Fi, buss

Generellt verkar dagens utrustning ombord innehålla ett enda SIM-kort (Telia) med stöd för endast en operatör. Detta innebär att uppkopplingen och bandbredden är beroende av just den operatörens nät utanför bussen och att denna operatörs tillgängliga spektrum är den mest dimensionerade faktorn för påverkan på datauppkopplingen.

Ett förslag är att tillföra ytterligare minst en operatör. Dels skulle täckningen komma att generellt förbättras då de olika tillgängliga mobilnäten ofta kompletterar varandra rent täckningsmässigt, dels kommer mängden bandbredd att utökas då man kan sända data via flera parallella kanaler. Detta skulle upplevas som en stor vinst för passagerarna och deras uppkoppling ombord.

Vid kontroll av installerade Wi-Fi routers ombord på bussarna, visade det sig att dessa är av en äldre modell och har begränsningar i vilka nätelement dvs frekvenser de kan nyttja idag. Äldre routers stödjer enbart frekvensband 2G (GSM), 3G(UMTS) och 4G(LTE). Nya modeller av routers som stöder fler frekvenser så som 700, 800Mhz samt även 5G (NR) bör införskaffas och installeras. Dessa kommer erbjuda en kraftigt förbättrad upplevelse än dagens routers, framför allt om man även utöka med antalet operatörer.

Arbete med att påbörja ett skifte bör intensifieras för att bättre kunna erbjuda en stabilare och bättre datauppkoppling ombord på bussar där annars den generella täckningsnivån från mobiloperatörerna får anses som bra, se kap 9.2.3.

Om surfpotten dessutom ökas från dagens 100 Mbit till flera Gbit eller obegränsat per uppkoppling, blir möjligheten att hålla exempelvis Teamsmöten inklusive både röst och video utan begränsningar större. Idag räcker tilldelad surfpott bara till cirka max 4–5 minuters Teamsmöte och det får anses vara i minsta laget.

Slutsats

Region Gävleborg önskade en kartläggning av befintligt mobilnät i regionen med fokus på större pendlarsträckor för tåg och buss. Man ville veta hur väl utbyggda mobilnäten är på dessa sträckor, dels tillsammans som en aggregerad täckning, dels per respektive nätägare.

Man ville också kartlägga hur väl mobilnätet och de mobila tjänsterna ombord på tåg och bussar fungerar. Vilka hinder finns idag med existerande utrustning ombord, och hur kan regionen arbeta framöver för att öka kundupplevelsen för sina invånare när de pendlar? Hur upplever en slutkund själva uppkopplingen via Wi-Fi eller mobiltelefon, kan man genomföra ett Teams-möte utan störningar inkl. både bild och video, är täckningen tillräcklig?

Resultaten visar att den i uppdraget testade tjänsten Teams-möte med video inte har fungerat klanderfritt vare sig ombord på tåg eller buss, varken via mobiloperatörernas nät eller Wi-Fi.

Konsulten kom fram till att den aggregerade täckningen, dvs den sammanslagna täckningen för alla nätägare tillsammans inklusive alla tillgängliga frekvenser och kanaler tillgängliga för 4G (LTE) samt 5G (NR), är att anse som tillfredställande då täckningsgraden utomhus är hög.

Analyserar man vidare per nätägare i stället för aggregerat alla nät blir dock bilden en annan. Då sjunker den faktiska täckningen för att kunna nyttja nätet kraftigt.

Man kan via kartläggningen och kartpresentationerna se att även om täckning finns och datahastighet i Nedlänk (DL) är godkänd i alla fall för buss, men där man ombord tåg däremot upplever större sammanhängande områden med brister så har man gemensamt för tåg och buss ändå svart att upprätta ex. vis ett Teamsmöte. De problemen kan i många fall härledas till bristande tillgänglig datahastighet i Upplänken (UL). Här måste operatörerna påföra mer täckning och kapacitet, så att inte hindret utgörs av signalen mellan mobilen och basstationen är för låg eller att datahastigheten är den begränsade faktorn.

Ombord på tåg och buss dämpas signalen ytterligare pga. hinder som kaross och solskyddade fönster. Sammantaget upplever således passagerare framför allt ombord på tåg, men även på buss att näten inte är tillfredställande.

För att ta vara på den aggregerade täckningen bättre bör Wi-Fi-enheterna (hotspot) ombord på tåg och bussar uppgraderas till att kunna ta emot alla i området aktuella kanaler och frekvenser. Man behöver ha SIM-kort för fler operatörer om man inte redan har detta etablerat. Samtidigt bör man öka tillgänglig surfmängd för Wi-Fi ombord framför allt på bussarna.

För resenärer som av olika skäl inte använder Wi-Fi ombord är alternativet att förlita sig på sin valda mobiloperatörs nätutbyggnad. För att möjliggöra bättre uppkoppling för dessa resenärer kan regioner se över sin repeaterlösning ombord på tågen och även se på möjligheten med RF-fönster på tåg och buss.

På tågen bör man utvärdera att uppgradera repeaters till moderna digitala sådana, så utrustningen har möjlighet att förstärka alla i området aktuella nät och frekvenser. Detta kommer i sin tur leda till ökad bandbredd vilket skulle upplevas positivt för resenärerna, samt för operatörerna som får samma förutsättningar för förstärkta nät som sina branschkollegor.

Viktigt att ha i åtanke är att all förbättring som kan göras på tåg och buss genom uppgradering av Wi-Fi och repeaters grundar sig att ta vara på och förstärka mobiltäckningen som redan finns. Där täckning saknas kan ingen förbättring ske såvida inte nätägarna tar sitt ansvar och täpper till

eventuella hål. Här kan regionen spela en viktig roll med att hjälpa till och stötta samt kartlägga mobilnäten.

Sammantaget behöver berörda aktörer (regionen, nätägarna, tågbolagen osv.) alla var för sig och tillsammans genomföra förbättringsåtgärder, så att alla kunderna och resenärer erhålls den uppkopplingen man idag förväntar sig av ett modernt Wi-Fi eller mobilnät. Allt för att fler skall kunna arbetspendla och kunna hantera sina digitala ärenden vid resa ombord på tåg och buss, vart man än befinner sig i regionen.

En resa skall inte utgöra ett hinder för digital kommunikation! Att resa på ett effektivt, miljömässigt och samhällsekonomisk hållbart färdssätt via regiontrafik skall ses som ett första val. Man ska kunna sköta sina privata digitala ärenden, sina arbetsrelaterade uppgifter eller bara kunna ta del av en strömmad tjänst utan hackigt ljud och bild eller tappad uppkoppling. Med kunskap och rätt insatser blir det möjligt.

Bilaga 1, Komponentregister

Komponentregister

Splitter: Katherin K86020019 **Frekvens 697-3800Mhz**

Antenn X-trafik tåg: Huber+Suhner, Sensivity Rail SWA, 0859_360_4_0_V **Frekvens 870-5875Mhz**

Antenn Mälartåg: SENCITY® Rail Low Profile Antenna with GNSS/LNA **Frekvens 790-6425Mhz**

Externantenn PCtel scanner, Bil/buss: PcTel OP278H **Frekvens 698-3800Mhz**

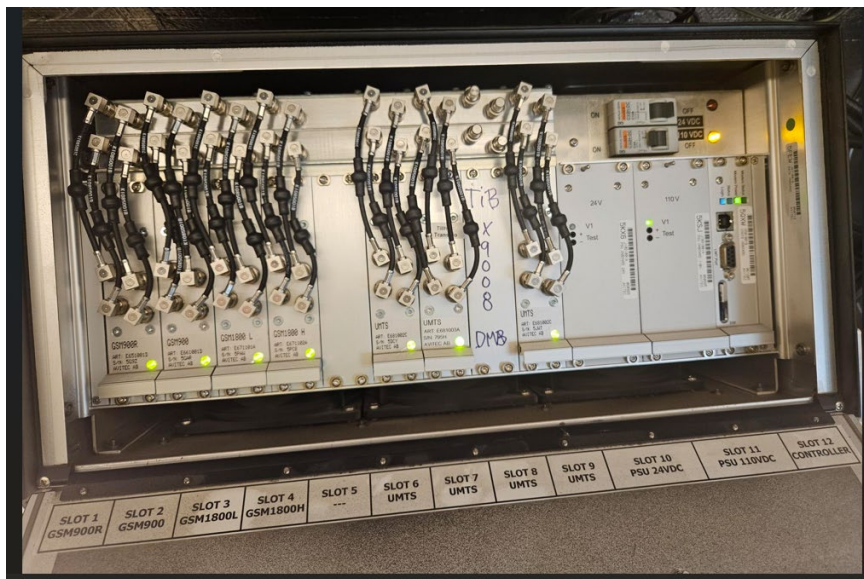
Bilaga 2, Repeater

Repeater ombord på tåg

På de flesta tågen inom regionen är det idag monterat en repeater för att förstärka mobilsignalen utanför tåget för passagerare som befinner sig ombord på tåget.

Vanligt förekommande modell är en äldre analog repeater av typen Avitec OnBoard Repeater, figur 9, med stöd för följande system och frekvenser:

- GSM-R 900, UL 876-880 Mhz, DL 921-925 Mhz
- GSM 900, LTE 900, UL 890-915 Mhz, DL 935-960 Mhz
- GSM 1800, LTE 1800, UL 1710-1785 Mhz, DL 1805-1880 Mhz
- UMTS 2100, LTE 2100, UL 1920-1980, DL 2110-2170 Mhz



Figur 2, Ombordrepeater Avitec

En analog repeater av denna modell bör bytas ut till en mer modern digital repeater som har stöd för fler frekvenser och nät, samt har ett likvärdigt stöd för alla operatörer då ovan repeater idag utesluter vissa frekvenser som används av dagens mobiloperatörer. Ett exempel på vad detta leder till är att 3s kunder inte har tillgång till deras del av 900Mhz bandet, där de idag innehar en licens på 900 MHz (DL) inom frekvensområdet 925-930 MHz. Dagens repeater har ej heller stöd för 700 MHz och 800 MHz där flera nätägare idag har etablerat mobiltäckning inom området som hade kommit passagerare till godo med en modern repeater. 800 MHz-bandet är dessutom det som generellt kan ses som bäst då det har en god utbredning och täckningsgrad, samt är etablerat för alla tre nätägare.

Summerat bör en ny repeater ombord stödja följande frekvensband:

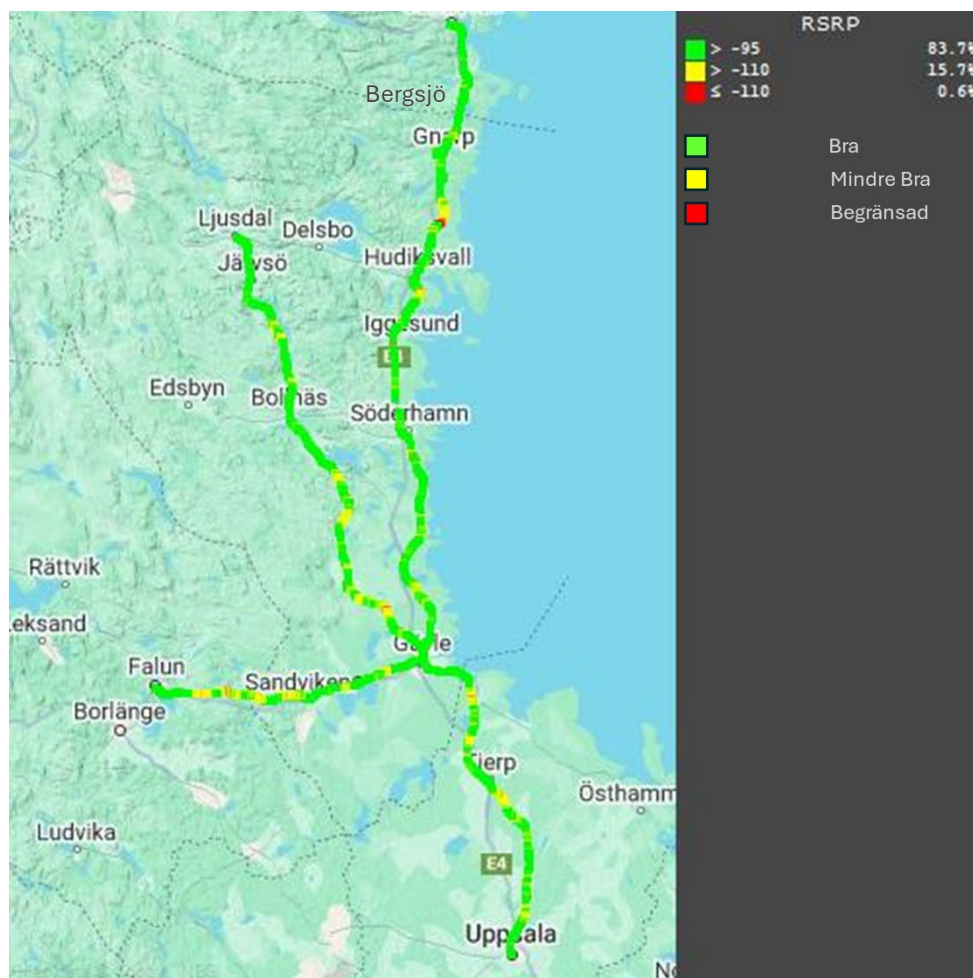
- 700 MHz, 4G (LTE) och 5G (NR)
- 800 MHz, 4G (LTE) och 5G (NR)
- 900 MHz, 2G (GSM) (fram till 2027 Telia) och 4G (LTE)
- 1800 MHz, 4G (LTE) och 5G (NR)
- 2100 MHz, 4G (LTE) och 5G (NR)
- Ev. 2600 MHz, 4G(LTE)

Specifikt på tågsträckan Uppsala - Gävle anses repeater (ombord-utrustningen) vara Bra, då en modern digital repeater är monterad och tillhandahåller en god uppkoppling med stöd för minst 800, 900, 1800, 2100 MHz samt 2600 MHz.

Förlusten av flertalet tillgängliga frekvensband innebär en begränsning som leder till att man inom regionen inte kan erbjuda den bästa tjänsten för sina resenärer och kunder. De är begränsade till ett mindre spektrum som således fler skall dela på, eller till radiosystem som ej är helt optimerade för ändamål och sträcka.

Filtrerad täckningskarta ombord tåg

När filtrering tillämpas, av täckningsdata uppmätt med skanner, för att enbart visa de frekvensband för 4G som stöds av befintliga repeaters (X-trafik) ombord på tågen, ser vi att tillgänglig täckning minskar markant jämfört med kap. 8.1.1 och områden där passagerare riskerar att uppleva täckningsbrister (Mindre Bra eller Begränsad täckning) ökar från 5% till ca 17%.



Tabell 1 Täckningskarta aggregerat, endast kanaler Avitec repeater

Bilaga 3, Eventuell störkälla på mobilsignaler

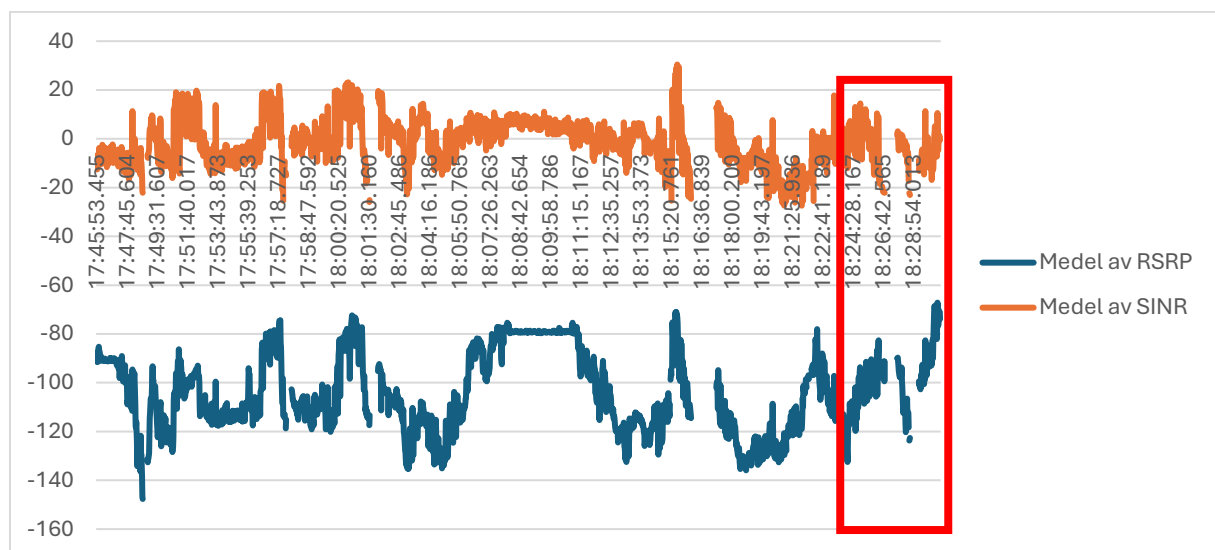
Radiostörningar vid inbromsning, skanner

Under mätningen inkom det en fundering från en resenär som pendlar dagligen inom regionen. Frågan som ställdes var; ”Varför försämras eller tappar jag signalen i samband med acceleration eller inbromsning ombord på tåget?”

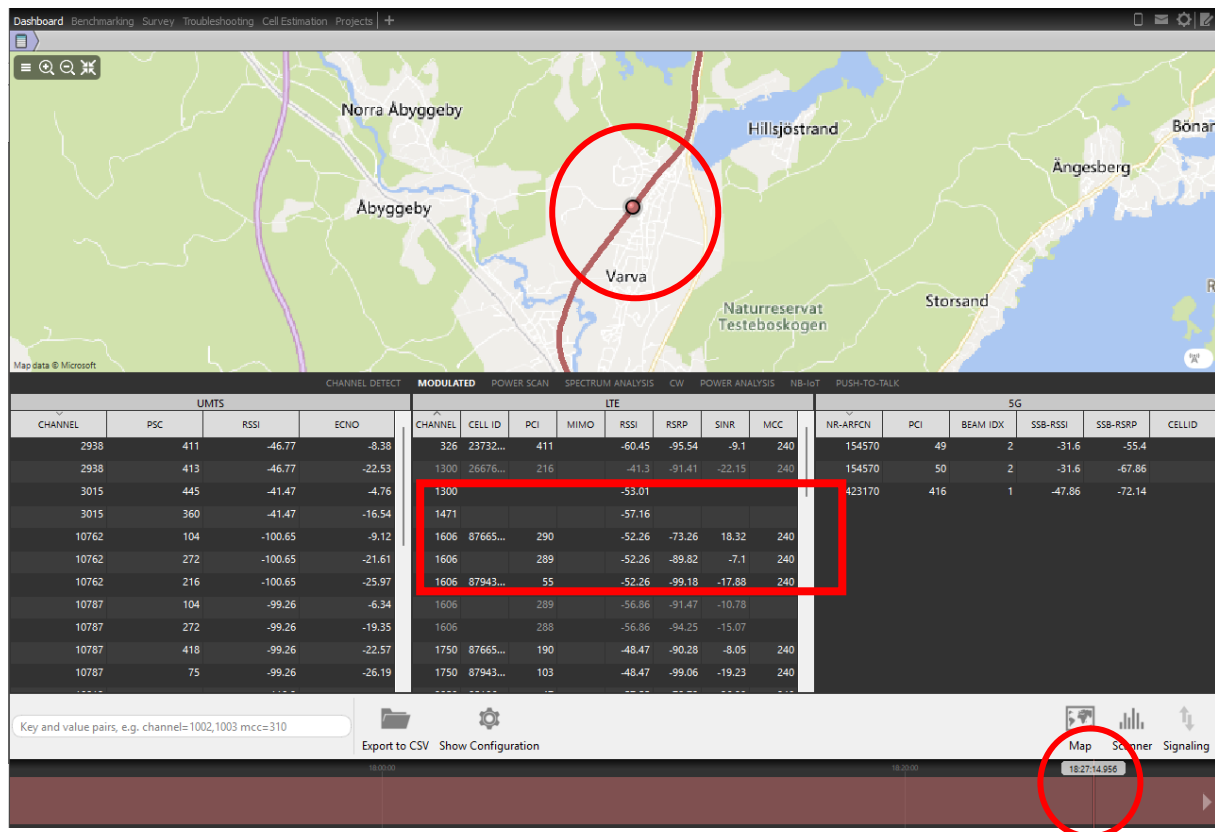
Konsulterna ställde sig själva frågan och tänkte tillbaka mot tidigare mätningar som genomförts på Stockholms tunnelbana 2023, där kraftiga störningar påvisades i samband med att ett tåg anlände perrongen och konsulten hade ett aktivt samtal uppkopplat. Av denna anledning påbörjade konsulterna själva fundera om det är samma fenomen i Gävleborg och om det faktiskt kan förekomma och påvisas via mätningar.

Nedan graf visar Telias första frekvens för LTE 1800Mhz (band 3) kanal 1300 som är en vanlig kanal att nyttja inom de flesta trafikerade områdena i Sverige och Gävleborg.

Vad vi ser nedan är att kanal 1300 helt enkelt försvinner i vissa områden längs med tågsträckan Söderhamn Gävle (start Söderhamn, ändstation Gävle C). Detta självklart bero på normala täckningsförhållande där just denna kanal inte är etablerad, läs glesbygdsområden men vi ser också att kanalen även hastigt försvinner i mer tätbefolkade områden.



Figur 3 Signalstyrka och Signalbrusnivå sträcka Söderhamn Gävle C



Figur2 Skärmbild efterfil skanner, högt RSSI ingen RSRP

Vi kan även se att inmätt RSSI-värde dvs. den totala mängden effekt för en specifik kanal i området. Här syns tydligt att detta värde är högt, men att samtidigt nyttsignalen RSRP inte mäts in alls, då är frågan, varför händer detta?

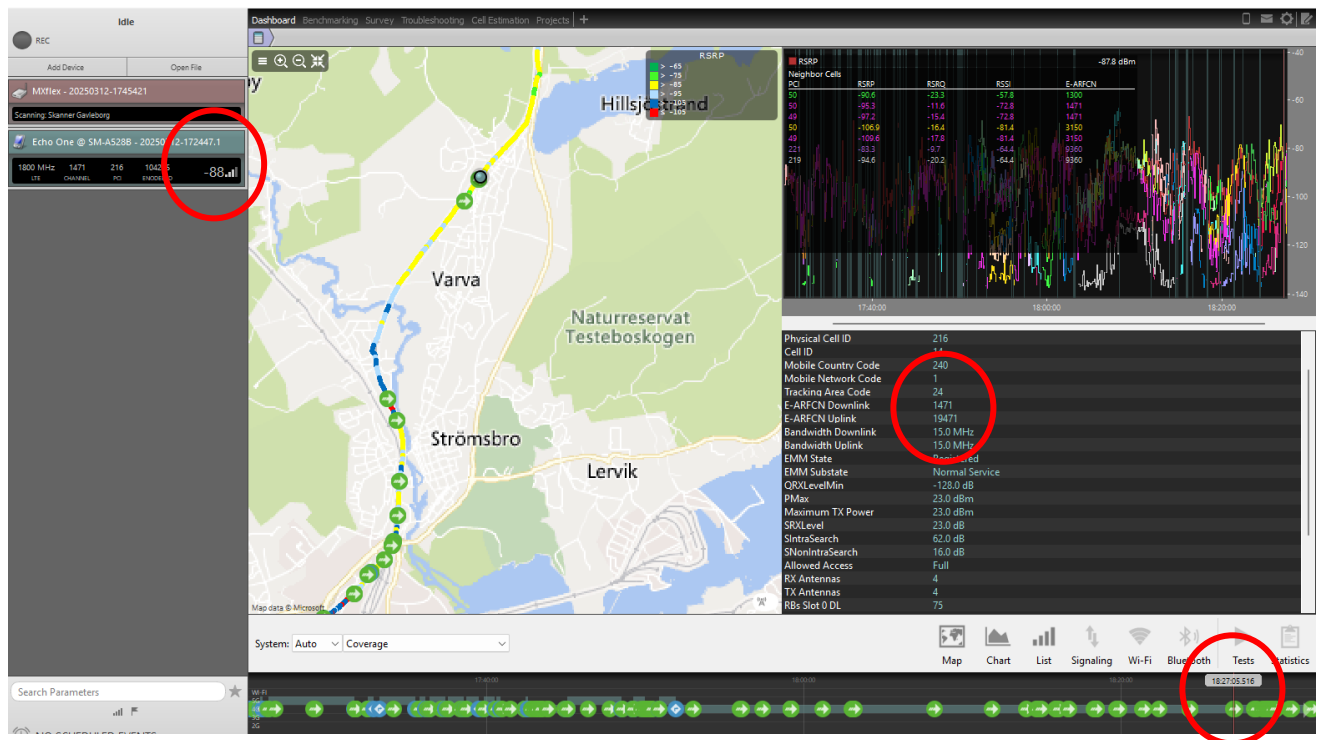
Radiostörningar vid inbromsning, Mobiltelefon

Om vi i stället undersöker mobiltelefonens beteende i samma område, på samma tid och vid samma mättillfälle, kan vi även där urskilja liknande förlopp eller liknande händelser?

Här ser vi på kartan att man kommer in i det tätbebyggda området, figur 12.

Här är mobiltelefonen uppkopplad mot Telia LTE 1800, frekvens 2 (kanal 1471) som är likvärdig och grannkanal till kanal 1300 rapporterad i skannerdata, figur 10.

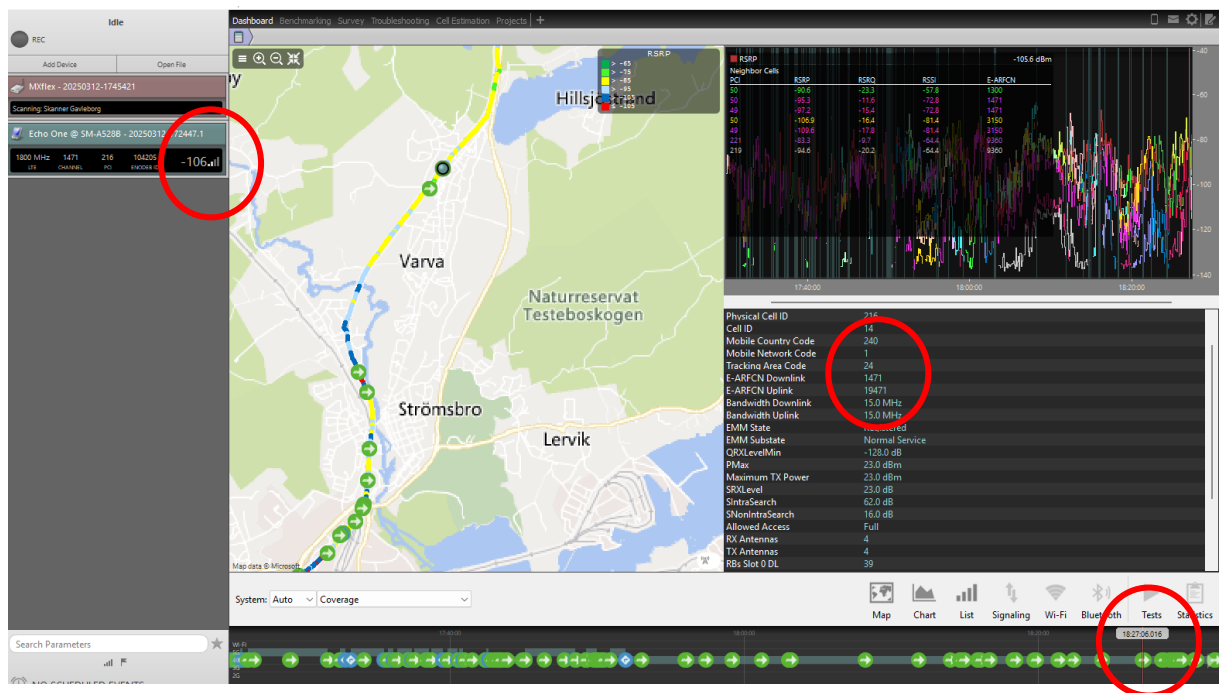
Figurerna (figur 12 och 13) visar att man under den korta tiden av en mätcykel ca 0,5sec går från bra signal, en RSRP-nivå av -88dBm till att snabbt tappa ca 20 dB i RSRP och erhålla en ny signal av -106dBm i nästa mätvärdesinsamling (figur 13).



Figur 4

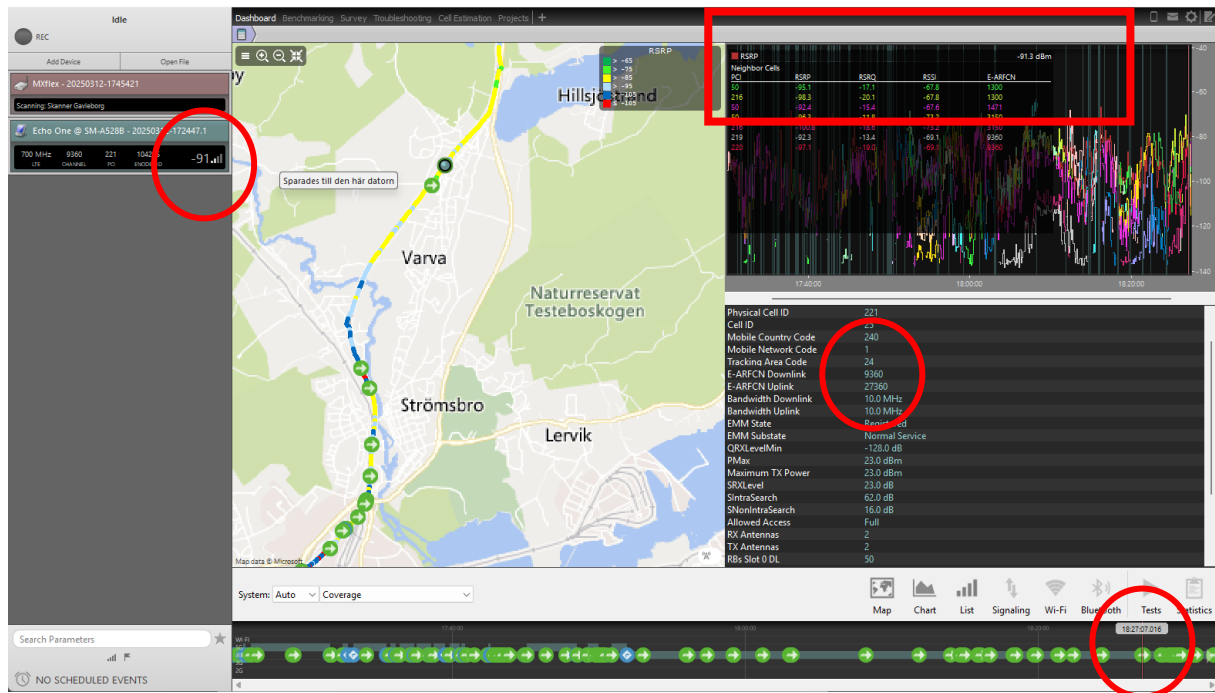
Detta är en mycket snabb dämpning av signalen under ett väldigt kort tidsintervall.

Man ser att mobiltelefonen inom loppet av ytterligare 2 mätcykler dvs ca 1 sek dessutom hinner lämna över uppkopplat Teamssamtal till en cell i form av Telia LTE700, kanal 9360, figur 14.



Figur 3, Fädnig av RSRP

Varför lämna över uppkopplingen/samtalet inom ett område som bör vara välutbyggt, med bra bandbredd och kvalitet på LTE 1800-cellen till en cell med mindre bandbredd 700-cellen?



Figur 4 Fädning av RSRP

Frågor konsulten ställer sig:

Finns det en yttre påverkan som uppkommer och leder detta till att samtalskvaliteten upplevs försämrade och att mobilen hastigt släpper aktuell cell? Finns det ett samband vid en inbromsning eller acceleration som påverkar uppkopplingen negativt?

Vi kan via Google (streetview) se att det inom det aktuella området med största sannolikhet sker en inbromsning av tåget.

Inom spårområdet finns en växel, där man anländer på enkelspår för att övergå till dubbelspår. Vi antar att detta tillsammans med andra faktorer i området leder till en hastighetsnedsättning, dvs bromsverkan där energin från motorbromsen ombord på tåget leds i väg och tas omhand.



Figur 5 Google streetview, spårväxelområde

Huruvida inbromsning påverkar signalkvalité är en fråga som konsulten Network Projectum känner att man behöver undersöka vidare för att kunna komma till en välgrundad slutsats. Om det är så att ren framfart av tågen stör uppkopplingen bör man utreda hur detta kan minimeras, exkluderas eller bara optimeras för bästa möjliga uppkoppling.