

Test av Starlink på regionaltåg hos Norrtåg



Revisionslogg

Author	Date	Revision	Description
Filip Rosenbaum	26-03-28	1.00	Första versionen
Håkan Larsson	26-04-08	1.01	Granskning och förtydliganden, runda 1
Håkan Larsson med flera på Oxyfi	26-07-20	1.02	Granskning och förtydliganden, runda 2
Håkan Larsson	26-08-11	1.03	Första extern version - för granskning av samarbetspartners
Håkan Larsson	26-08-21	1.10	Första publik version

Innehållsförteckning

1	SAMMANFATTNING.....	4
2	BAKGRUND.....	5
3	SYFTE	5
4	PROJEKTETS MILSTOLPAR.....	5
5	TESTMILJÖN	6
5.1	BEGRÄNSNINGAR	7
6	UTVÄRDERAD RÄLSSTRÄCKA.....	7
6.1	STORLIEN - SUNDSVALL - UMEÅ, CIRKA 8 TIMMARS RESTID.....	8
6.2	UMEÅ - LULEÅ, CIRKA 4 TIMMARS OCH 20 MIN RESTID.....	9
7	METOD	9
7.1	BANDBREDD.....	9
7.2	FÖRDRÖJNING OCH PAKETFÖRLUST.....	10
7.3	TILLGÄNGLIGHET	10
7.4	MEAN OPINION SCORE	10
8	RESULTAT.....	11
8.1	BANDBREDD.....	11
8.1.1	<i>Tidsseriegraf Storlien - Sundsvall - Umeå.....</i>	<i>12</i>
8.1.2	<i>Tidsseriegraf Umeå - Luleå.....</i>	<i>12</i>
8.1.3	<i>Geografisk Översikt mars 2026.....</i>	<i>13</i>
8.2	FÖRDRÖJNING (ROUND-TRIP TIME - RTT)	15
8.2.1	<i>Tidsseriegraf Storlien - Sundsvall - Umeå.....</i>	<i>15</i>
8.2.2	<i>Tidsseriegraf Umeå - Luleå.....</i>	<i>16</i>
8.2.3	<i>Geografisk Översikt mars 2026.....</i>	<i>17</i>
8.3	PAKETFÖRLUST (LOSS).....	19
8.3.1	<i>Tidsseriegraf Storlien - Sundsvall - Umeå.....</i>	<i>19</i>
8.3.2	<i>Tidsseriegraf Umeå - Luleå.....</i>	<i>20</i>
8.3.3	<i>Geografisk Översikt mars 2026.....</i>	<i>21</i>
8.4	TILLGÄNGLIGHET	23
8.4.1	<i>Tidsseriegraf Storlien - Sundsvall - Umeå.....</i>	<i>23</i>
8.4.2	<i>Tidsseriegraf Umeå - Luleå.....</i>	<i>23</i>
8.5	MEAN OPINION SCORE	23
8.5.1	<i>Geografisk Översikt mars 2026.....</i>	<i>24</i>
9	ANALYS OCH SLUTSATS	25
9.1	SLUTSATS	26
10	KORT OM STARLINK.....	27
11	SLUTORD.....	28
12	FOTOGRAFIER.....	28

1 Sammanfattning

Region Jämtland Härjedalen, Norrtåg AB och Oxyfi AB har utvärderat Starlink som internetuppkoppling på ett regionaltåg i norra Sverige. Testerna genomfördes i reguljär trafik på sträckorna Storlien–Sundsvall–Umeå och Umeå–Luleå. Starlink användes tillsammans med befintliga 4G/5G-uppkopplingar från Telia och Telenor genom teknologi för aggregering av mobila datalänkar på snabbbrörliga fordon.

Resultaten visar att Starlink är ett starkt komplement till mobilnäten och tillför betydande kapacitet längs stora delar av de undersökta sträckorna. På sträckan Storlien–Sundsvall–Umeå tillförde Starlink i genomsnitt cirka 180 Mbps utöver mobilnätets 308 Mbps, vilket motsvarar en kapacitetsökning på cirka 58 procent. På sträckan Umeå–Luleå tillförde Starlink cirka 216 Mbps utöver mobilnätets cirka 278 Mbps, motsvarande en ökning på cirka 78 procent. Den sammanlagda kapaciteten över de två sträckorna uppgick i genomsnitt till närmare 500 Mbps och översteg vid vissa mättillfällen 1 Gbps.

En viktig observation är att Starlink ofta tillför kapacitet där mobilnäten har låg kapacitet. Kombinationen av Starlink, Telia och Telenor ger därmed en jämnare och mer geografiskt heltäckande uppkoppling ombord än vad någon av länkarna kan erbjuda på egen hand.

Den tydligaste begränsningen är tunnlar. Starlink kräver fri sikt mot himlen och förbindelsen bryts därför när tåget befinner sig i tunnel. Även viadukter och andra kortvariga hinder kan orsaka tillfälliga avbrott. På sträckan Storlien–Sundsvall–Umeå användes Starlink aktivt under cirka 89 procent av resan. På den tunnelrika sträckan Kramfors–Umeå var användningen endast omkring 50 procent, medan den på sträckan Umeå–Luleå uppgick till 99,6 procent.

När Starlink var tillgängligt och besvarade mätningen uppgick den genomsnittliga fördröjningen till cirka 46–48 ms, vilket var i nivå med eller lägre än motsvarande värden för de testade mobilnäten. Jämförelsen måste dock tolkas tillsammans med paketförlust och tillgänglighet, eftersom misslyckade Starlink-mätningar inte ingår i detta medelvärde.

Mätningar av användarupplevelsen för Netflix, Microsoft Teams och Google Meet visar god till mycket god upplevd kvalitet längs nästan hela sträckan Storlien–Sundsvall–Umeå. De flesta försämringarna sammanfaller med tunnlar. Ett område söder om Bräcke avviker dock genom att både Telenor och Starlink uppvisar problem, medan Telia fungerar bättre.

En viktig notering är att WiFi-tjänstens kvalitet inte främst avgörs av höga topphastigheter, även om branschen ibland ger det intrycket. Avgörande är i stället stabilitet i hela den kedja som tillsammans och över tid skapar tjänsten. Hög kapacitet i accesslänkarna ger därför inte automatiskt en god användarupplevelse om exempelvis aggregeringsfunktionen, nätverksutrustningen eller WiFi-miljön återkommande störs.

Den installerade satellitmottagaren, inkapslingen och infästningen har fungerat under två vintrar på tågtaget utan observerade problem. Installationen förefaller därmed klara den krävande miljö ett regionaltåg i norra Sverige utgör.

Testresultaten talar starkt för att en kombination av Starlink och anslutningar från flera olika mobiloperatörer är den mest lämpliga tekniska lösningen för de undersökta sträckorna. Starlinks höga kapacitet och låga fördröjning – i nivå med eller bättre än de testade 4G/5G-länkarna – gör satellitförbindelsen till ett mycket värdefullt komplement. Med en snabb och väl fungerande aggregeringsfunktion kan de olika länkarnas styrkor kombineras samtidigt som deras respektive svagheter hanteras.

2 Bakgrund

Starlink har byggt ett omfattande nätverk av satelliter i låg omloppsbana (LEO), betydligt närmare jorden än traditionella geostationära satelliter. Det har gjort satellituppkoppling snabbare, mer kapacitetsstark och gett väsentligt lägre fördröjning. Därmed kan satellitkommunikation i dag användas för fler interaktiva och krävande tjänster, exempelvis videomöten och strömmande video.

Region Jämtland Härjedalen, Norrtåg AB och Oxyfi AB har initierat ett samarbete för att utvärdera hur en Starlink-mottagare fungerar som internetuppkoppling på ett regionalståg i området Storlien–Östersund–Sundsvall–Luleå.

Region Jämtland Härjedalen har finansierat inköp av Starlink-mottagare och de löpande kostnaderna för datatrafik. Norrtåg bidrar med tillgång till ett X62-fordon samt finansierar material och delar av Oxyfi:s arbetstid. AB Transitio, som äger fordonet, och trafikoperatören VR Sverige AB har deltagit i riskvärdering kopplat till den tekniska ändringen av fordonet som installation av Starlink-mottagare inneburit.

Oxyfi har utfört mekanisk integration och nätverksintegration, vidareutvecklat mjukvara för bland annat belastningstester, anskaffat och installerat testutrustning för MOS-mätningar enligt ITU-T Rec. P.1203 samt genomfört tester, analyserat data och sammanställt resultaten i denna rapport.

Rapporten vänder sig i första hand till parterna själva samt i andra hand till andra myndigheter och företag inom järnvägsindustrin.

3 Syfte

Utvärderingen syftar till att bedöma hur väl Starlink fungerar som internetuppkoppling i tågmiljö, vilken faktisk prestanda tjänsten tillför, dess tillgänglighet och hur den kompletterar befintliga 4G/5G-uppkopplingar ombord.

Parterna vill kvantifiera den uppmätta förbättringen och visa var den uppstår geografiskt. Utvärderingen ska också undersöka om Starlink i vissa situationer kan försämra den aggregerade uppkopplingen ombord.

Geopolitiska och etiska aspekter kring att använda teknik och nätverkstjänster från det amerikanska bolaget SpaceX/Starlink ingår inte i denna utvärdering.

4 Projektets milstolpar

Några utvalda milstolpar under projektet:

- Nov 2023 – Starlink-mottagaren anländer till Oxyfi:s kontor
- April 2024 – Starlinkmottagaren monteras mekaniskt på fordon X62011 via skräddarsydd infästningsanordning och skyddande inkapsling i rostfritt stål
- September 2024 – Ny, mer kraftfull strömförsörjning installeras. Mottagaren verifieras online under några turer och uppnår 120–220 Mbps under enkla tester

- September 2025 – En ny testprogramvara från 3:e part har valts fram och anskaffats för att generera last och mäta upplevd kvalitet ur ett användarperspektiv. Programvaran installeras i en separat dator ombord ("test och mätrobot"). Vi vidareutvecklar vårt befintliga analysverktyg så att även detta nya testdata inkluderas i den samlade bilden
- Januari 2026 – Starlink-integrationen stabiliseras tidigt under januari genom noggrannare anpassning av nätverksmiljön ombord. Satellitmottagaren är därefter online nära 100 % av trafiksatt tid med undantag för tunnlär
- Mars 2026 – De belastningstester och mätningar som redovisas i denna rapport utförs

5 Testmiljön

Testmiljön utgörs av ett fyrvagnars X62-regionaltåg med vagns-id 62011 som i testområdet körs i hastigheter upp mot 180 km/h. Den ordinarie "lasten" består främst av datatrafik från resenärernas WiFi-användning. Trafiken fördelas över fordonets tre uppkopplingar via Telia, Telenor och Starlink med hjälp av en teknologi för aggregering särskilt anpassad för mobila datalänkar på snabbbrörliga fordon.

De mobila 4G/5G-näten (Telia och Telenor) ansluts via OxBox som i korthet innebär ett koncept där WWAN-antennerna och kommunikationsgateway sitter tillsammans i en takmonterad box på fordonets yttre tak. En stor fördel med detta koncept är att de åtta antennkablar kan hållas mycket korta vilket innebär låg signaldämpning och därmed goda förutsättningar för höga datahastigheter. Kommunikationsgateway:en i OxBox är utrustad med 2x 5G-moduler av typen Semtech (Sierra Wireless) EM9291.

Den under testerna använda Starlink-mottagaren är av typen Performance Gen 2 (Starlink har ändrat namngivningen över tid). Den har försetts med en skräddarsydd inkapsling och infästning i rostfritt stål och är monterad i fordonets befintliga längsgående monteringsskena på yttertaket. Mottagaren är ansluten direkt mot OxBox via ström- och LAN-kablage (PoE). Se vidare fotografier kapitel 12.

En mer kraftfull DC/DC-omvandlare har installerats ombord eftersom satellitmottagaren innehåller värmeelement för is- och snösmältning och därmed kräver högre effekt.

Utöver resenärernas WiFi-datatrafik skapas två andra laster på konstgjord väg:

- Test och mätroboten ombord skapar last genom att "live" använda breda kommersiella tjänster för videoströmning av film samt videomöten, varpå utfallets kvalitet mäts, se vidare kapitel 7.4.
- Belastningsprogramvaran skapar last genom att "provtrycka" respektive uppkoppling (Telia, Telenor, Starlink) en i taget genom att maximera vad anslutning klarar av att transportera

En viktig notering är att ingen av de två lasterna ovan ansluter via WiFi-nätet ombord. Vi vill isolera mätningen till att undersöka 4G/5G/Starlink och inte påverka resultatet av WiFi-nätets kvalitet ombord.

Det bör noteras att detta är en testmiljö med ordinarie resenärer och verklig WiFi-användning under normala driftsförhållanden för ett regionaltåg, kompletterat med en test och mätrobot samt verktyg för belastningstester.

5.1 Begränsningar

Testförutsättningarna begränsas delvis av äldre utrustning ombord:

- WiFi-accesspunkterna är föråldrade av typen WiFi4
- LAN-infrastrukturen är föråldrad och erbjuder maximalt 100 Mbps
- Lösningen är konfigurerad så att varje klientenhet (resenärers laptop/smartphone) är begränsad till maximalt 5 Mbps. Under testerna höjdes dock denna begränsning till 20 Mbps i början av mars 2026

Dessa faktorer begränsar hur stor last som naturligt kan skapas ombord.

6 Utvärderad rälssträcka

Resultatet i denna rapport presenteras på olika vis beroende på vilken parameter som studeras, ibland presenteras mätdata för en enskild tur och ibland för alla turer med testfordonet under mars månad 2026.

Under detta kapitel redovisar vi dels utmed vilka rälssträckor som tester och mätningar har utförts, dels vilka enskilda avgångar som har används i de fall vi studerar data från ett unikt tågnummer en viss dag.

När olika genomsnittsvärden har räknats fram i denna rapport har stillestånd vid stationer och liknande räknats med i totalt tid som respektive resa pågår.

6.1 Storlien - Sundsvall - Umeå, cirka 8 timmars restid

Trafiksträckan mellan Storlien, Sundsvall och Umeå delas i två tågnummer, se Figur 1 nedan. Det detaljredovisade resultatet i tidsseriegraferna är genererat 2026-03-27 från tågnummer 7507 Storlien - Sundsvall och 7412 Sundsvall - Umeå.



Figur 1 - Sträckning Storlien - Sundsvall - Umeå

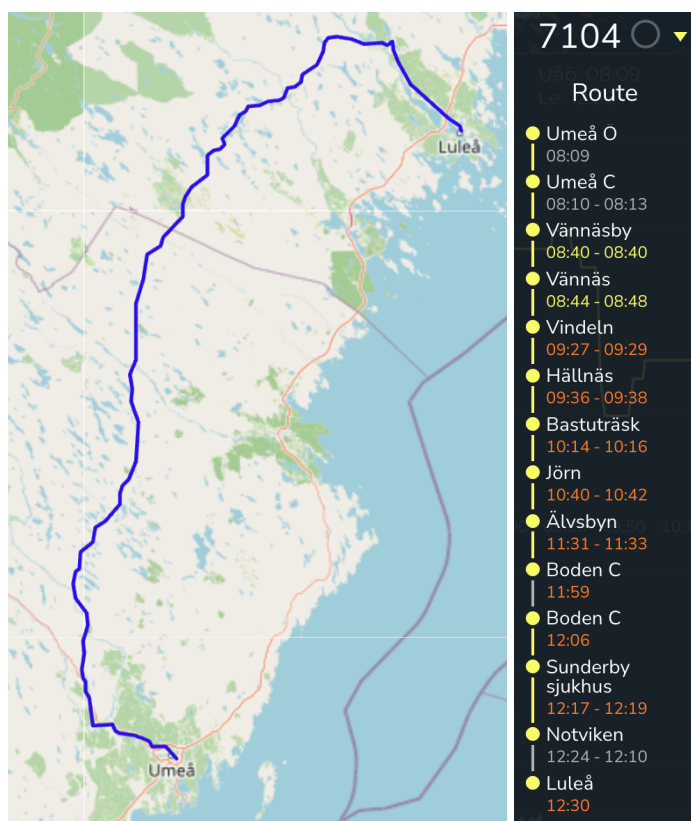
Detaljerade ankomst och avgångstider presenteras i Figur 2 nedan. Observera att dessa klockslag anges i lokal svensk tid (UTC+1h).

7507	Route	7412	Route
● Brunflo	11:35 - 11:38	● Sundsvall C	14:14
● Pilgrimstad	11:47 - 11:49	● Sundsvall V	14:18 - 14:18
● Gällö	11:59 - 12:00	● Timrå	14:40 - 14:41
● Stavre	12:07 - 12:09	● Härnösand C	15:18 - 15:19
● Bräcke	12:15 - 12:17	● Kramfors	15:44 - 15:45
● Ånge	12:36 - 12:38	● Västeråsby	15:56 - 15:58
● Erikslund	12:46 - 12:47	● Örnsköldsvik C	16:24 - 16:26
● Ljungavik	12:53 - 12:53	● Örnsköldsvik N	16:27 - 16:30
● Fränsta	12:57 - 13:14	● Husum	16:40 - 16:41
● Torpshammar	13:19 - 13:20	● Nordmaling	16:54 - 16:56
● Stöde	13:30 - 13:31	● Hörnefors	17:05 - 17:06
● Sundsvall V	13:57 - 13:50	● Umeå Ö	17:20 - 17:25
● Sundsvall C	14:01	● Umeå C	17:26
● Storlien	09:28		
● Enafors	09:36 - 09:40		
● Ånn	09:46 - 09:48		
● Duved	10:03 - 10:04		
● Åre	10:10 - 10:11		
● Undersåker	10:20 - 10:22		
● Järpen	10:31 - 10:32		
● Mörsil	10:38 - 10:40		
● Näliden	10:59 - 11:01		
● Krokom	11:09 - 11:10		
● Östersund V	11:21 - 11:22		
● Östersund C	11:23 - 11:28		

Figur 2 - Utvärderade tågnummer 7507 Storlien - Sundsvall samt 7412 Sundsvall - Umeå, båda inkl. avgångs- och ankomsttider

6.2 Umeå - Luleå, cirka 4 timmars och 20 min restid

Det detaljredovisade resultatet i tidsseriegraferna är genererat 2026-03-19 från tågnummer 7104 Umeå - Luleå, se Figur 3. Detaljerade ankomst och avgångstider presenteras i bilden intill. Observera att dessa tider anges i lokal svensk tid (UTC+1h).



Figur 3 - Sträckningen Umeå - Luleå för tågnummer 7104 inkl. avgångs- och ankomsttider

7 Metod

Detta kapitel redovisar vad vi har testat och hur vi har mätt de uppnådda resultaten. Texten ger en övergripande bild, alla detaljer är inte redovisade.

Notera att vi i denna undersökning behandlar Telia, Telenor och Starlink som tre helt oberoende och separata datalänkar. Vi har dock inte kartlagt i vilken utsträckning operatörerna eventuellt delar bakomliggande infrastruktur. Telia och Telenor kan exempelvis dela fiberbaserade transmissionsträckor i vissa områden, och Starlinks markstationer kan utnyttja samma samtrafikpunkter som de svenska mobiloperatörerna. Det är till och med sannolikt att de delar infrastruktur på ett eller flera sätt.

7.1 Bandbredd

Den faktiska bandbredd som respektive datalänk kan leverera vid maximal belastning testas var femte minut. Under testet injicerar belastningsmjukvaran data i cirka 10 sekunder i en länk i taget (Telia, Telenor eller Starlink). Testet

är medvetet försiktigt för att inte påverka resenärerna ombord, och genomförs parallellt med den ordinarie datatrafiken.

Total bandbredd per datalänk beräknas genom att antalet överförda bytes divideras med intervallets tidslängd, resultatet återges i megabit per sekund (Mbps). Belastningsprogramvara och dess mätare är implementerad i omborddatorn och de testar down-link (DL) det vill säga länkens prestanda i riktning ner mot fordonet. Up-link (UL) har inte undersökts men är viktig för tjänster som videosamtal, se vidare kapitel 7.4.

Läsaren bör notera att datalänkarna testas var för sig. När total kapacitet redovisas i dokumentet summeras dessa mätningar som om de hade utförts i samma ögonblick, vilket är en förenkling.

Klockslagen i tidsseriegraferna anges i UTC. Vid mättillfällena var svensk lokal tid UTC+1, vilket innebär att lokal tid låg en timme före den tid som visas i graferna.

7.2 Fördröjning och paketförlust

Fördröjning (Round-trip Time - RTT) beräknas genom att skicka en "ping"-svärm till en server på internet över respektive datalänk. RTT beräknas genom att ta snittet på respektive pings svarstid, det vill säga tiden från att pingen skickats tills dess att svaret från servern har mottagits.

Olika tjänster har olika känslighet för RTT. Streamingtjänster är inte speciellt känsliga och klarar sig bra med en RTT på 250 ms, videokonferens är känsligare och levererar bra kvalitet upp till 150 ms samtidigt som det är acceptabelt med RTT upp emot 250 ms. Ju högre RTT desto större risk att man börjar prata i munnen på varandra vid videosamtal. Enheten för RTT är millisekunder (ms) om inte annat anges. Ovan siffror i detta stycke ska ses som tumregler.

Paketförlust (loss) beräknar hur stor andel av ping-svärmen som inte får något svar alls. Anges i procent (%). Loss bör ligga på eller mycket nära 0 % för att tjänsterna ska fungera utan störningar men olika tjänster är olika känsliga, till exempel streaming av film har högre tolerans än videokonferenstjänster.

Klockslagen i tidsseriegraferna anges i UTC. Vid mättillfällena var svensk lokal tid UTC+1, vilket innebär att lokal tid låg en timme före den tid som visas i graferna.

7.3 Tillgänglighet

Tillgänglighet anger om datalänken bedöms tillräckligt bra för att användas av aggregeringsfunktionen, det vill säga om den bedöms kunna bidra positivt till kapaciteten som används av resenärer, personal och andra IT-system ombord.

Bedömningen utförs av den algoritm som i realtid styr om datalänken ska användas av aggregeringsfunktionen eller inte. Bedömningen görs en gång i sekunden. Tillgänglighet mäts som tillgänglig (1) och otillgänglig (0).

Klockslagen i tidsseriegraferna anges i UTC. Vid mättillfällena var svensk lokal tid UTC+1, vilket innebär att lokal tid låg en timme före den tid som visas i graferna.

7.4 Mean Opinion Score

Oxyfi har investerat i en ny typ av testprogramvara/tjänst från tredje part som bygger på Mean Opinion Score (MOS), ett numeriskt mått (1-5) som används för att bedöma upplevd ljud- och videokvalitet hos strömmande video enligt

standard ITU-T Rec. P.1203. Vår leverantör har anpassat sin lösning och mäter efter liknande principer även videosamtal.

Mjukvaran har installerats i en separat dator ombord på testfordonet, vi kallar denna enhet för en "test och mätrobot".

Programvaran kan automatiskt köra olika tester periodiskt, i den här utvärderingen har vi använt följande testmoduler och periodicitet:

- videostreaming: Netflix, 20 min intervall
- videomöten: MS Teams, 30 minuters intervall
- videomöten: Google Meet, 30 minuters intervall

Verktygets mjukvara startar upp riktiga filmvisningar via Netflix och sätter upp faktiska videosamtal via MS Teams respektive Google Meet som mjukvaran sedan utvärderar.

Syftet med verktyget är att mäta kvalitet ur ett användarperspektiv, alltså hur en människa skulle uppleva tjänsterna. Resultaten sammanställs som ett betyg kallat MOS på skalan 1–5, där:

- 1 = mycket dålig upplevelse
- 3 = fullgod upplevelse
- 5 = utmärkt upplevelse

MOS-mätningarna utvärderar den aggregerade internetanslutningen ombord. Resultatet visar således den upplevda tjänstekvaliteten under testperioden, men isolerar inte Starlinks enskilda bidrag. För att kvantifiera det enskilda bidraget från Starlink skulle ett kontrollerat jämförelsetest med och utan Starlink krävas men detta har inte ingått i denna utvärdering.

8 Resultat

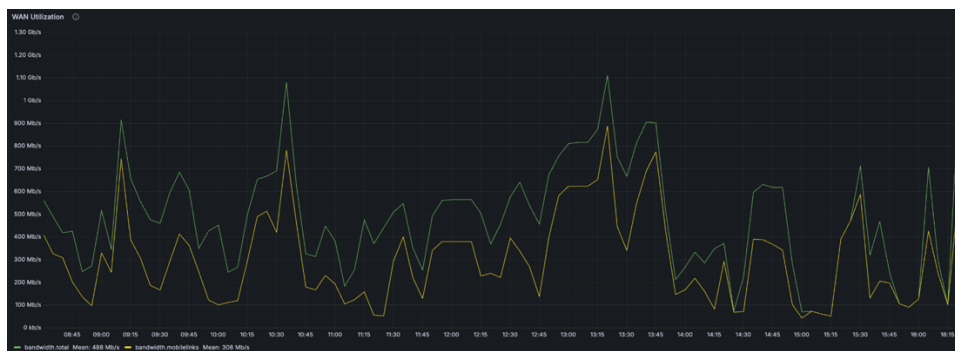
I samband med dessa tester har Oxyfi vidareutvecklat vårt befintliga analysverktyg genom att lägga med och korrelera den nya test och mätrobotens data tillsammans med befintligt inhämtat nätverksdata. Allt insamlat data kopplas till geografisk position på karta och visualiseras samlat i ett interaktivt användargränssnitt med filtreringsmöjligheter. Analysverktyget stödjer analys av enskilda avgångar eller av flera avgångar över valfri tidsperiod.

Nedan bilder är inklippta från detta uppdaterade analysverktyg.

8.1 Bandbredd

Notera att belastningstesterna/mätningarna sker direkt i omborddatorn på WAN-sidan och begränsas därför inte av ombord-LAN:ets 100 Mbps infrastruktur.

8.1.1 Tidsseriegraf Storlien - Sundsvall - Umeå



Figur 4 - Bandbredd tågnummer 7507 och 7412

Den gula kurvan i Figur 4 ovan visar summan av bandbredden från de två mobillänkarna (Telia + Telenor) ombord, den gröna övre kurvan anger den totala bandbredden, det vill säga de två mobillänkarna + Starlink. Gapet mellan de två kurvorna utgörs med andra ord av Starlinks tillförda kapacitet.

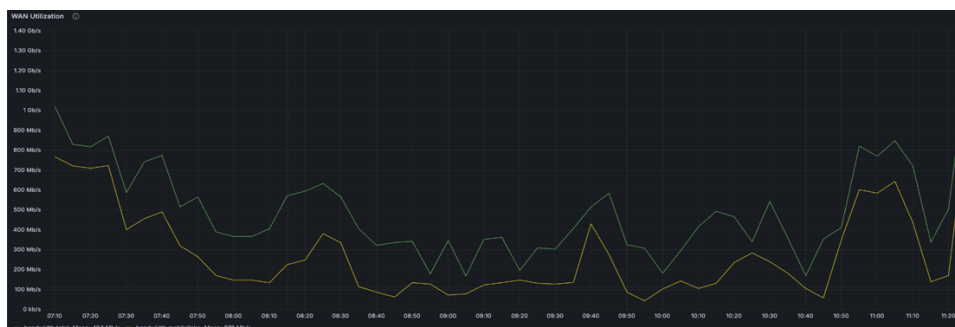
Det är tydligt i grafen att Starlink tillför väsentlig kapacitet längs stora delar av resan.

En notering är att Starlinks tillförda kapacitet kan anses ha ett större värde ju lägre kapacitet som de två mobillänkarna tillhandahåller.

Som mest uppmäts cirka 1,1 Gbps samlad kapacitet medan genomsnittet på hela sträckan ligger på 488 Mbps varav 308 Mbps utgörs av mobillänkarna och cirka 180 Mbps av Starlink.

Vid flera tillfällen efter kl. 14 (UTC) går den gröna kurvan i den gula, det är i områden med tunnlar och andra hinder som gör att Starlink tappar sin länk.

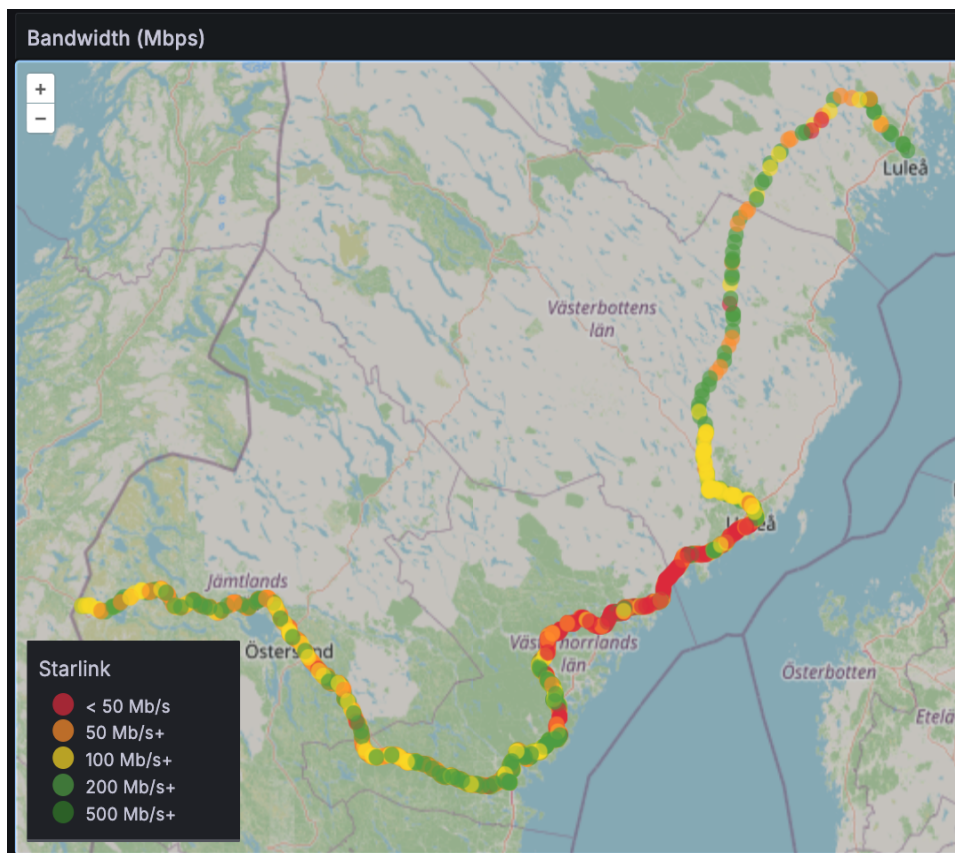
8.1.2 Tidsseriegraf Umeå - Luleå



Figur 5 - Bandbredd tågnummer 7104

På sträckan Umeå - Luleå, se Figur 5 ovan, framträder en liknande bild, det vill säga att Starlink tillför en betydande kapacitet längs hela sträckan. Tillsammans ger alla länkar en toppkapacitet på drygt 1 Gbps och i genomsnitt 494 Mbps, varav Starlink bidrog med 216 Mbps i genomsnitt mätt över hela teststräckan den aktuella testdagen.

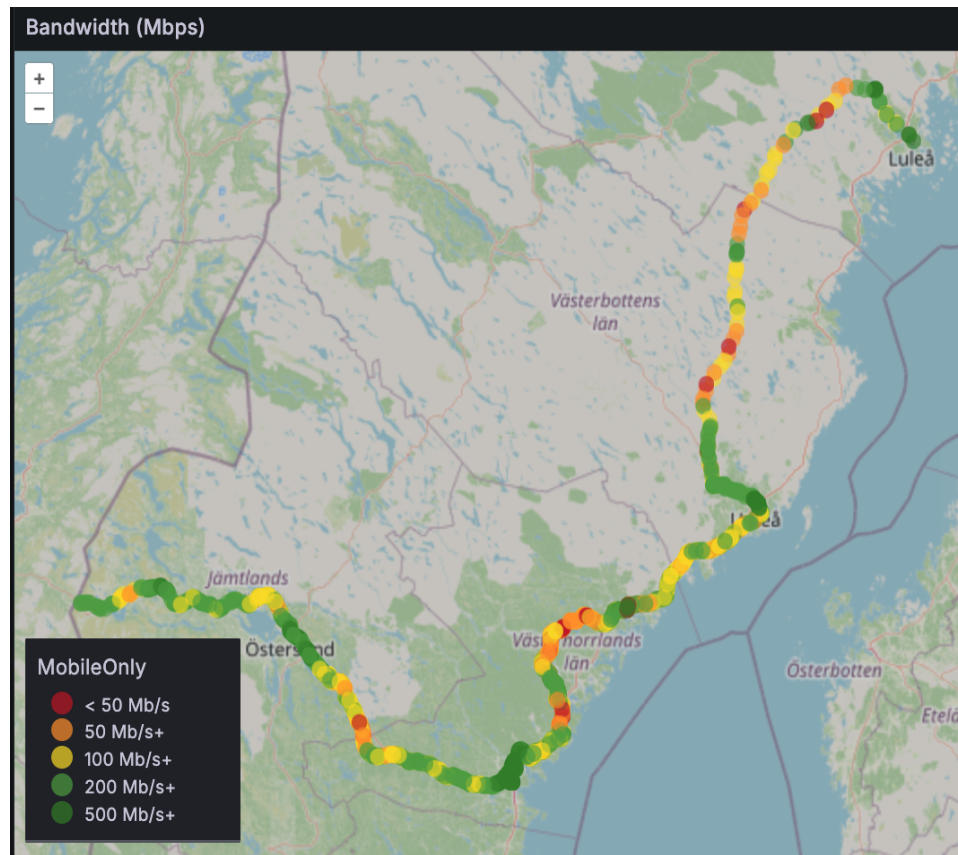
8.1.3 Geografisk Översikt mars 2026



Figur 6 - Bandbredd Starlink mars 2026

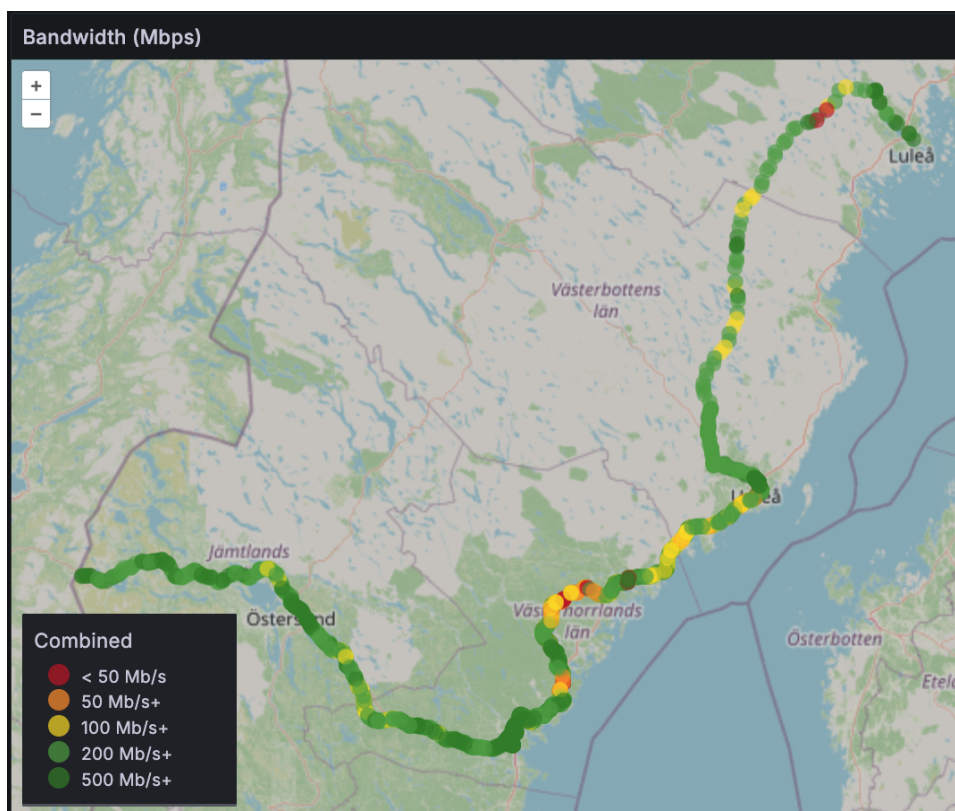
Figur 6 ovan visar den kapacitet som Starlink tillför under alla utförda turer mars månad 2026, färgkodningen framgår av teckenförklaringen. Det syns tydligt att Starlink ger 100+ Mbps längs stora delar av sträckan förutom i tunnelsystemen som har en stark negativ effekt på dess prestanda, vilket inte är förvånande då satellitmottagare är beroende av fri sikt mot himlen.

I Figur 7 nedan visas hur de två 4G/5G-mobillänkarna presterar geografiskt under alla turer under mars månad, här framträder en något annorlunda bild, de ger tillsammans bättre uppkoppling kring tunnlarna än Starlink men specifikt på sträckan Umeå - Luleå bidrar de med tydligt lägre kapacitet än Starlink.



Figur 7 - Bandbredd mobillänkarna tillsammans (Telia + Telenor) mars 2026

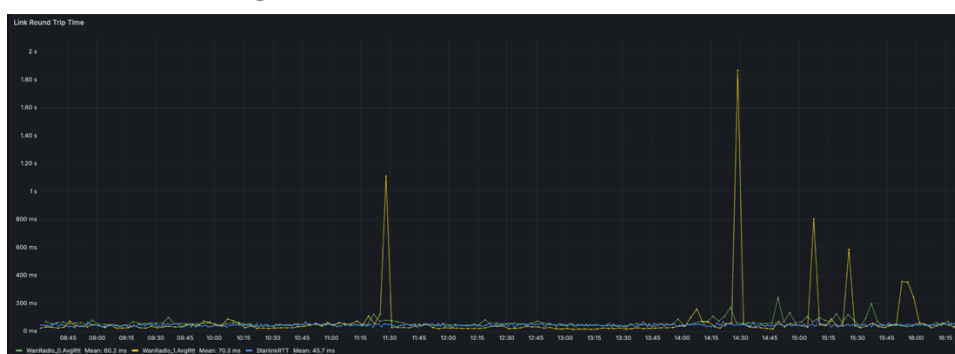
Om man lägger ihop kapaciteten från de två mobillänkarna och Starlink blir prestandan mycket god i princip utmed hela sträckningen från Storlien till Luleå, se Figur 8 nedan. Det är endast i områden med tunnlar som saknar mobiltäckning som total kapacitet blir lägre än 100 Mbps.



Figur 8 – Bandbredd, Starlink och mobillänkar tillsammans under mars 2026

8.2 Fördröjning (Round-trip Time - RTT)

8.2.1 Tidsseriegraf Storlien - Sundsvall - Umeå



Figur 9 - Round-trip Time per länk (Telia, Telenor och Starlink)

I Figur 9 ovan visas RTT för Telia (grön), Telenor (gul) och Starlink (blå). Sett i snitt över hela sträckan ger Starlink lägst RTT med ett snitt på cirka 46 ms, jämfört med Telia på 60 och Telenor på 70 ms.

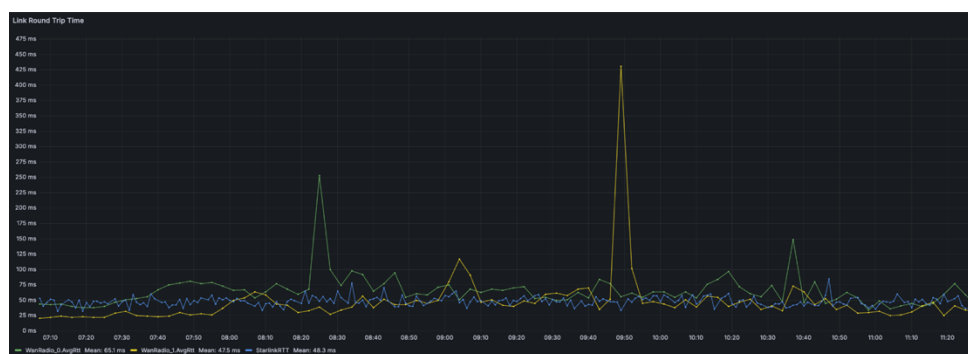
När Starlink-länken var tillgänglig och besvarade mätningen hade den en genomsnittlig RTT på cirka 46–48 ms. Detta var i nivå med eller lägre än motsvarande RTT för de testade mobilnäten.

Observera att Starlinks resultat för RTT måste tolkas tillsammans med paketförlust (loss) och tillgänglighet, eftersom misslyckade mätningar inte ingår i RTT-medelvärde, se även kapitel 8.3. I annat fall jämförs Starlinks bästa delmängd med mobilnätets större och mer varierade underlag.

Mobillänkarna är "segare" i den bemärkelsen, det vill säga de "håller i" sina anslutningar trots att förutsättningarna degraderas. Det finns tydliga toppar i RTT för både Telia och Telenor, de markerar typiskt tunnlar eller tunnelskärningar längs med rälsbanan.

Värt att notera är att RTT-kurvorna generellt ligger under 150 ms med god marginal. Det är huvudsakligen endast utmed rälssträckor med tunnlar som högre RTT mäts upp.

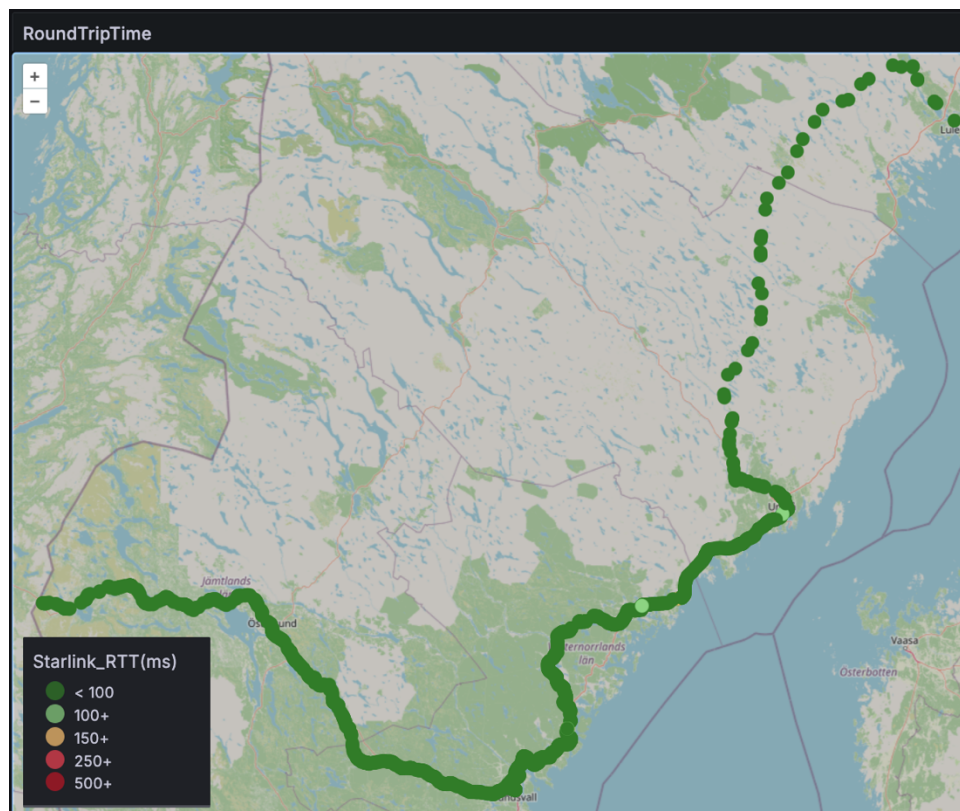
8.2.2 Tidsseriegraf Umeå - Luleå



Figur 10 - Round-trip Time per länk (Telia, Telenor och Starlink)

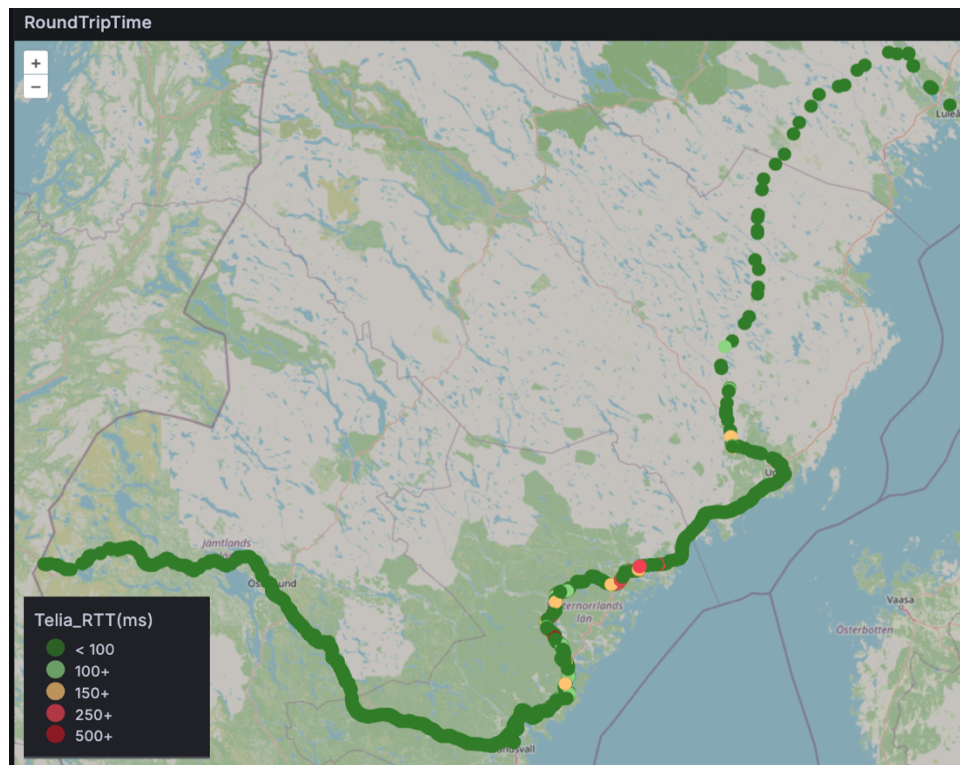
På sträckan Umeå - Luleå framträder en liknande bild, RTT för Starlink ligger här i snitt på 48 ms medan Telia ligger på 65 ms och Telenor på 48 ms, se Figur 10 ovan. Med några få undantag ligger RTT under 150 ms med god marginal.

8.2.3 Geografisk Översikt mars 2026

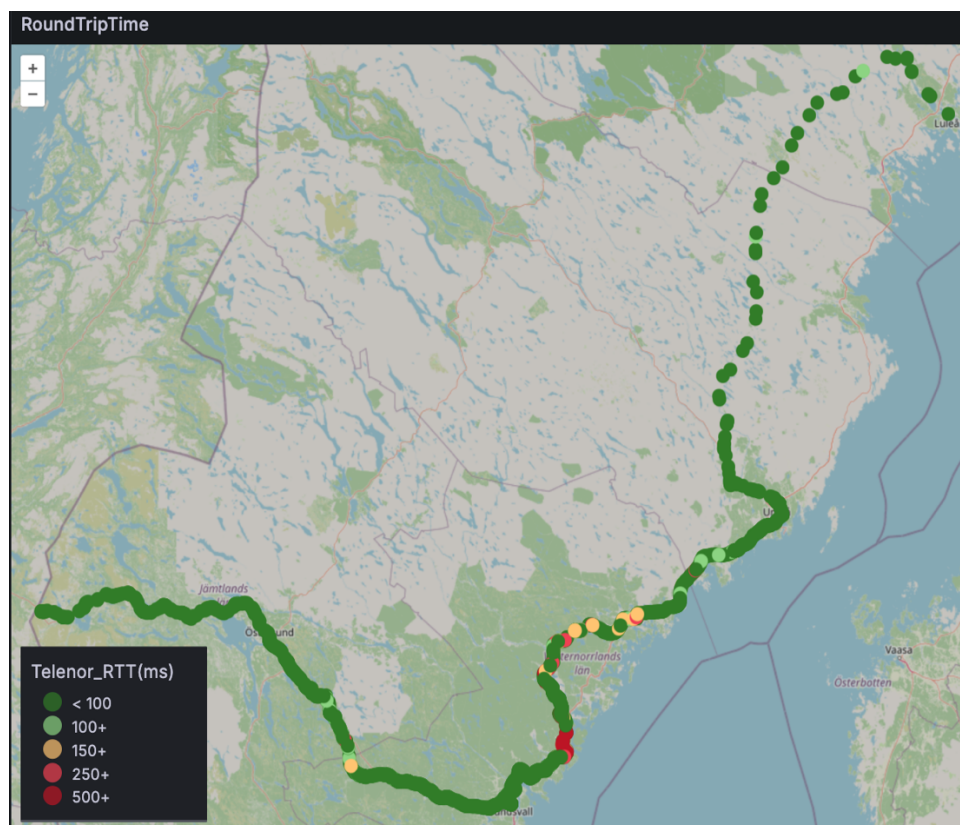


Figur 11 - Round-trip Time Starlink - geografisk översikt, mars 2026

RTT för Starlink ser vid en första anblick perfekt ut, under 100 ms längs med hela sträckan, se Figur 11 ovan som redovisar ett genomsnitt för alla turer under mars månad. Men som nämnts tidigare uppvisar Starlink en mer svartvit karaktär vilket leder till att en RTT-mätning antingen går igenom med gott resultat eller så går mätningen inte igenom, det vill säga den räknas som loss, se vidare Figur 17. Som tidigare nämnts är det viktigt att beakta RTT tillsammans med loss för att få en rättvisande uppfattning om Starlink-uppkopplingens karaktär.



Figur 12 - Round-trip Time Telia - geografisk översikt, mars 2026

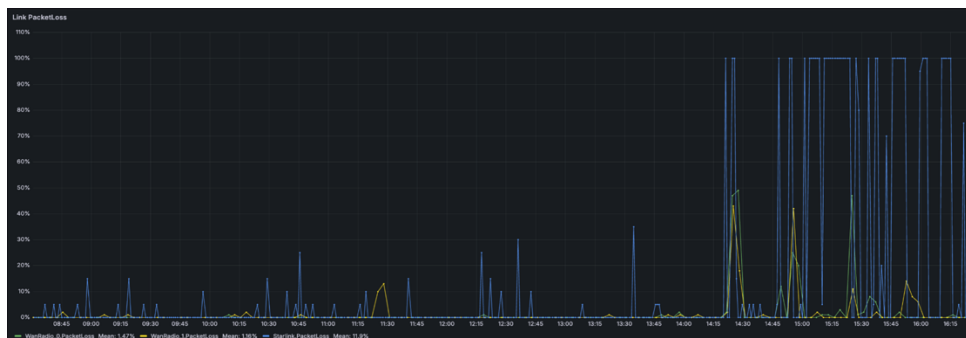


Figur 13 - Round-trip Time Telenor - geografisk översikt, mars 2026

RTT för Telia och Telenor är snarlika, se Figur 12 och Figur 13 ovan, de ger låga RTT värden längs med hela sträckan men stiger i framför allt tunnarna. Telenor visar även förhöjd RTT i ett område strax söder om Bräcke.

8.3 Paketförlust (loss)

8.3.1 Tidsseriegraf Storlien - Sundsvall - Umeå



Figur 14 - Loss Telia, Telenor och Starlink

Under merparten av resan ligger paketförlusterna (loss) för 4G/5G-länkarna nära 0 % och det är i huvudsak bara i tunnelsystem som förluster uppstår. Figur 14 ovan visar uppmätt loss längs den långa sträckan Storlien – Umeå. Resultatet pekar på måttliga men inte försumbara förluster för både Telia (grön) och Telenor (gul), med ett genomsnitt på 1,5 % respektive 1,16 %.

Telenor har en märkbar störning vid cirka. 11:30 då fordonet passerar strax söder om Bräcke.

Starlink (blå) har en tydligt annorlunda kurva. Mellan Sundsvall och Umeå hoppar kurvan för loss upp och ner mellan 0 och 100 %, och återigen är det tunnelsystemet som ligger bakom. Ett genomsnittligt värde blir därför svårt att tolka och beskriver inte länkens tydliga på/av-karaktär. För den betydligt mindre tunnelrika sträckan Umeå – Luleå är en genomsnittssiffra mer representativ, se vidare kapitel 8.3.2.

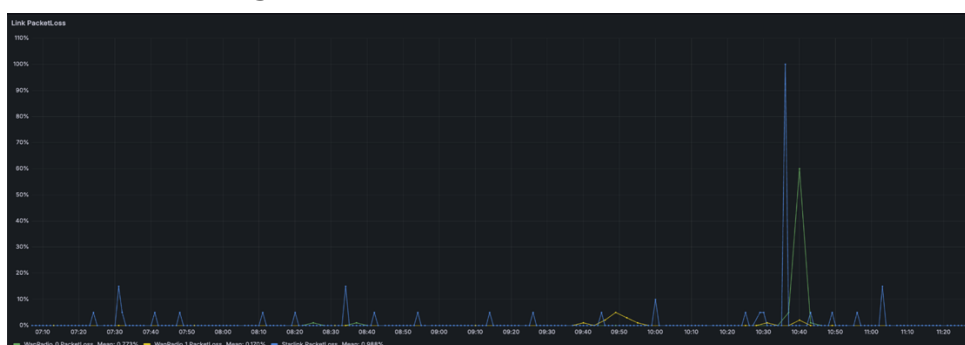
Uppenbarligen finns viss radiotäckning i tunnarna idag, i annat fall skulle de mobila länkarna uppvisa liknande kurvor som Starlink.

En annan iakttagelse är att Starlink tenderar att tappa sin uppkoppling under korta perioder, till synes spontant. Vid närmare undersökning bedöms detta sannolikt orsakas av hinder, till exempel en viadukt. Vid cirka kl. 10.45 (UTC) syns en spik i Starlinks loss, se Figur 14 ovan. Vid in-zoomning i kartan framträder en viadukt vid den aktuella positionen, se Figur 15. Observationer tyder på att Starlink är känsligt för denna typ av hinder. Även ett mycket kortvarigt avbrott förefaller påverka länken under allt från tiotals sekunder upp till en minut. Det krävs dock mer frekventa mätningar, med fokus på avbrott och återställning, för att säkert slå fast detta mönster.



Figur 15 - Viadukt över järnvägen

8.3.2 Tidsseriegraf Umeå - Luleå

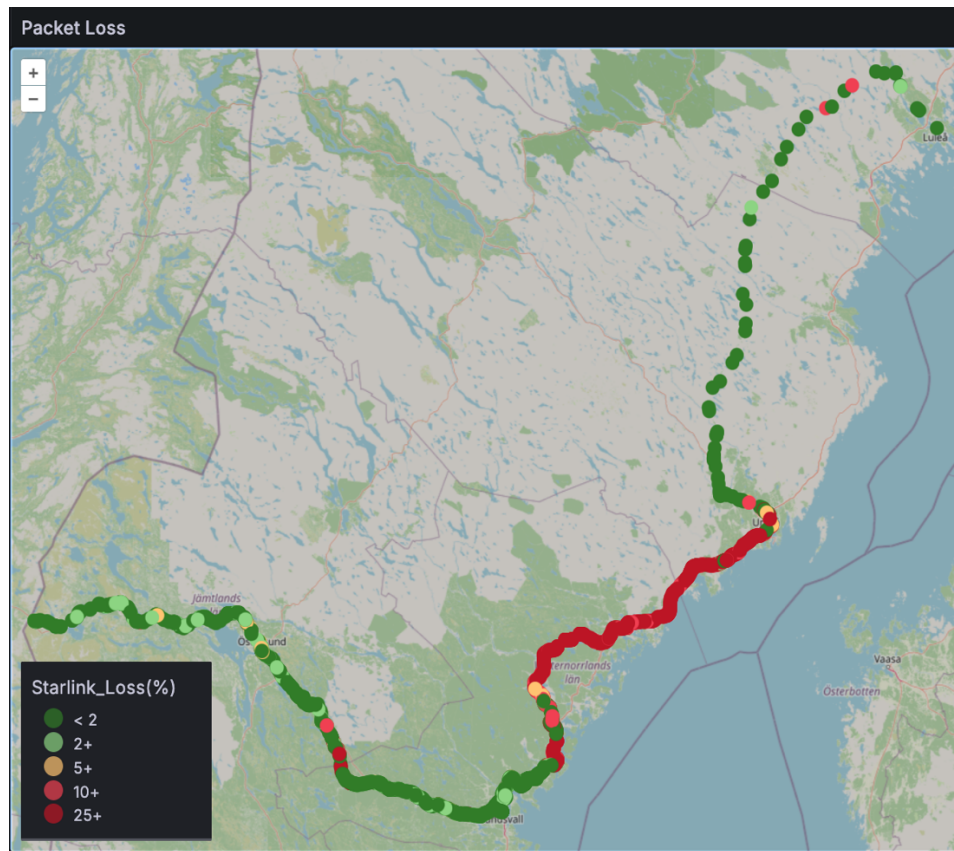


Figur 16 - Loss Telia, Telenor och Starlink

Även på sträckan Umeå - Luleå syns ett liknande mönster som på sträckan Storlien - Umeå, se Figur 16. De höga spikarna för loss sammanfaller med tunnlar, de lägre spikarna sannolikt från viadukter.

I snitt ligger loss på 0,8 % för Telia, 0,2 % för Telenor och 1 % för Starlink mätt över hela sträckan. Men vid en närmare granskning framgår att loss ligger på 0 % i princip hela sträckan för mobilnätet så när som på kortare partier som typiskt utgörs av tunnlar. Telenor uppvisar hög loss mellan klockan 9:38 och 9:58, detta avsnitt går inte att härleda till någon tunnel utan beror troligen på bristande radiotäckning i aktuellt område.

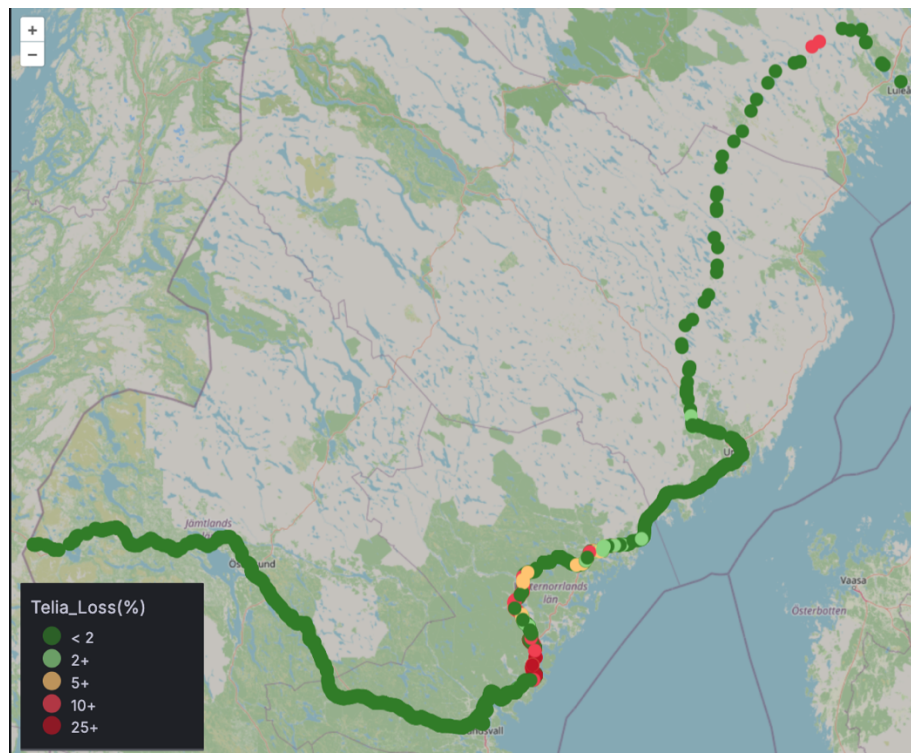
8.3.3 Geografisk Översikt mars 2026



Figur 17 - Loss Starlink - geografisk översikt mars 2026

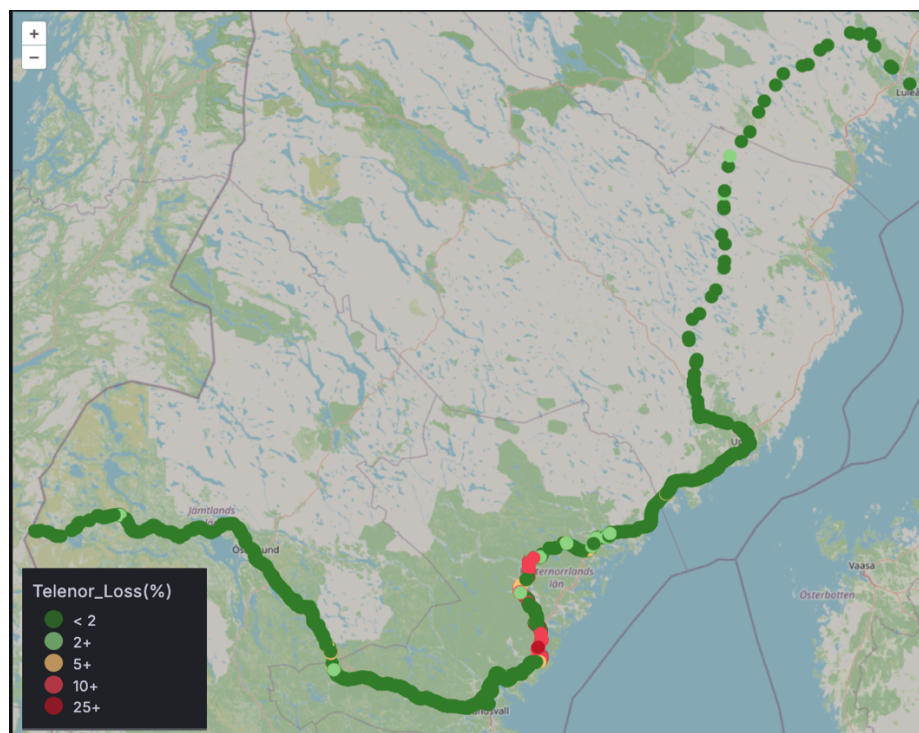
Starlink uppvisar stor loss på sträckan Övik – Umeå vilket beror på tunnelsystemet i detta område, se Figur 17.

Starlink, precis som Telenor, har bitvisa problem med loss söder om Bräcke.



Figur 18 - Loss Telia - geografisk översikt mars 2026

Telia uppvisar i princip bara loss i tunnlar, se Figur 18 ovan, i övrigt uppvisar nätet en mycket stabil uppkoppling utan loss.



Figur 19 - Loss Telenor - geografisk översikt mars 2026

Även Telenor uppvisar en mycket stabil länk sett till loss, se Figur 19 ovan. Loss är mycket låg längs hela sträckan så när som i vissa tunnlar samt i ett avsnitt strax söder om Bräcke.

8.4 Tillgänglighet

Under detta kapitel redovisas aggregeringsfunktionens uppfattning om de olika datalänkarnas tillgänglighet.

8.4.1 Tidsseriegraf Storlien - Sundsvall - Umeå



Figur 20 - Tillgänglighet. Överst: Telia och Telenor. Underst: Starlink

Mobillänkarna uppvisar en mycket hög tillgänglighet där Telia (grön) har använts aktivt av systemlösningen 98.7 % av tiden och Telenor (gul) under 99.1 % av tiden mätt över hela sträckan, se Figur 20. De djupa dipparna vid kl. 14:25, 14:55 samt 15:20 (UTC) utgörs av tunnlar. Telenors dipp vid cirka 11:20 (UTC) sker strax söder om Bräcke.

Starlink används aktivt under cirka 89 % av tiden sett över hela resan. Som redan nämnts så är tunnlar det stora problemet för Starlink. Det tar relativt lång tid för Starlink-uppkopplingen att återhämta sig efter en tunnel vilket syns tydligt i grafen. På sträckan Kramfors - Umeå med mycket tunnlar ligger tillgängligheten endast runt 50 %.

8.4.2 Tidsseriegraf Umeå - Luleå



Figur 21 - Tillgänglighet. Överst: Telia och Telenor sedan Starlink

På sträckan Umeå - Luleå bedömdes mobillänken från Telia vara tillgänglig 99,2 % av tiden och motsvarande för Telenor är 99,6 %, se Figur 21. De dippar som finns är vid kl. 9:45 (UTC) för Telenor och kl. 10:38 (UTC) för Telia. Telenors dip härleds till bristande radiotäckning och Telias till en tunnel.

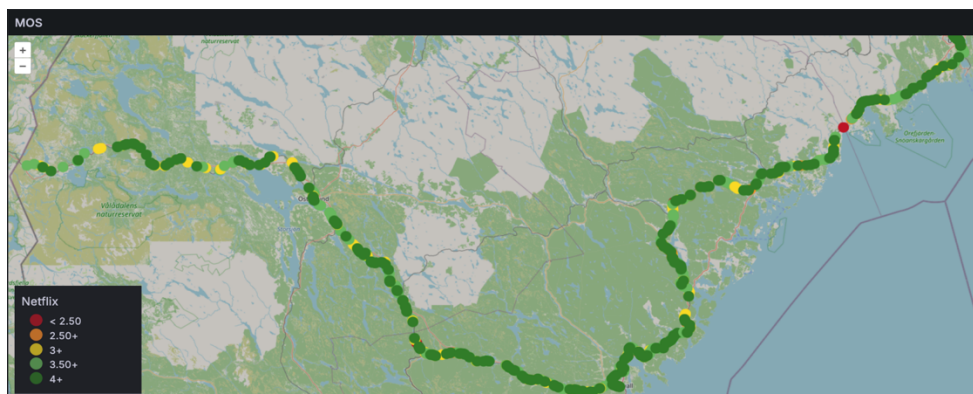
Starlink har använts aktivt 99,6 % av tiden utmed denna sträcka. Starlink tappar sin länk i samma tunnel som Telia vid kl. 10:38 (UTC).

8.5 Mean Opinion Score

Test och mätroboten utför sina streaming- och videokonferenstester med så pass långa intervall att det inte blir relevant att titta på tidsseriegrafer för enskilda turer. Vi redovisar därför resultatet endast på den geografiska översikten för alla turer under mars månad 2026.

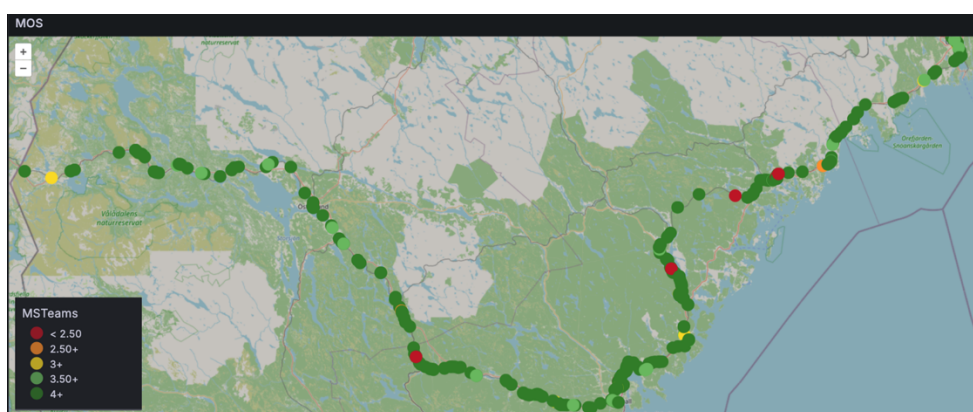
Fordonet utrustat med Starlink har endast gjort någon sporadisk tur mellan Umeå och Luleå, därför har inte tillräckligt med mätpunkter samlats in för att kunna genomföra en rättvisande sammanställning på denna sträcka. Nedan visas resultat därför endast för sträckan Storlien - Sundsvall - Umeå.

8.5.1 Geografisk Översikt mars 2026



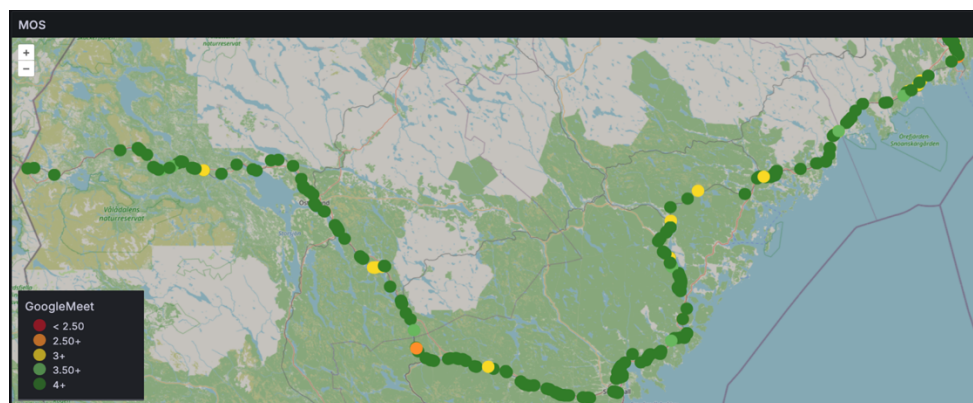
Figur 22 - Netflix streaming av film – MOS-tester mars 2026

Netflix levereras med god till mycket god kvalitet längs hela sträckan med ett undantag, se röd prick uppe till höger på kartan i Figur 22 ovan.



Figur 23 - MS Teams videokonferens – MOS-tester mars 2026

Videokonferenstjänsten Teams från Microsoft levereras även den med god till mycket god kvalitet längs i princip hela sträckan, se Figur 23 ovan. Det förekommer dock ett antal punkter då kvaliteten ligger under 3 (orange och röd). Dessa är i tunnlar med ett undantag strax söder om Bräcke.



Figur 24 - Google Meet videokonferens – MOS-tester mars 2026

Google Meet levererar liknande kvalitet som MS Teams, platserna där problem observerats är snarlika de för MS Teams, se vidare Figur 24.

9 Analys och slutsats

Testresultaten visar att Starlink är ett starkt komplement till de befintliga 4G/5G-länkarna från Telia och Telenor. På sträckan Storlien–Sundsvall–Umeå tillförde Starlink i genomsnitt cirka 180 Mbps utöver mobilnätets 308 Mbps. Det motsvarar en kapacitetsökning på cirka 58 procent. På sträckan Umeå–Luleå tillförde Starlink cirka 216 Mbps utöver mobilnätets cirka 278 Mbps, vilket motsvarar en ökning på cirka 78 procent.

Från den geografiska visualiseringen drar vi slutsatsen att Starlink på flera platser tillför kapacitet där mobilnätets samlade kapacitet är låg. Kombinationen av Starlink, Telia och Telenor ger därför en jämnare och mer geografiskt heltäckande uppkoppling än vad någon av länkarna kan erbjuda på egen hand. Den sammanlagda kapaciteten uppgick i genomsnitt till närmare 500 Mbps över de undersökta sträckorna och översteg vid vissa mätillfällen 1 Gbps.

Testerna visar att Starlink dessutom erbjuder låg fördröjning (RTT). Den genomsnittliga svarstiden låg på cirka 46–48 ms och var därmed i nivå med eller bättre än de testade 4G/5G-länkarna. Observera dock att Starlinks låga fördröjning måste tolkas tillsammans med paketförlust (loss) och tillgänglighet, eftersom misslyckade mätningar inte ingår i RTT-medelvärdet, se vidare kapitel 8.2.1.

Den tydligaste begränsningen för Starlink är tunnlar. Starlink kräver fri sikt mot himlen och förbindelsen bryts därför när tåget befinner sig i tunnel. För områden där järnvägstunnlar saknas, som till exempel i Jämtlands län, är detta givetvis inget problem. Även viadukter och andra kortvariga hinder kan orsaka avbrott. Observationer indikerar att återställningen i vissa fall kan ta från tiotals sekunder upp till omkring en minut.

På sträckan Storlien–Sundsvall–Umeå användes Starlink aktivt under cirka 89 procent av resan. På den tunnelrika sträckan Kramfors–Umeå sjönk tillgängligheten till omkring 50 procent. På sträckan Umeå–Luleå, där tunnlar är få, var tillgängligheten 99,6 procent. Skillnaden visar tydligt att nyttan av Starlink påverkas av rälsträckans utformning. Det är samtidigt viktigt för uppkopplade tåg att tunnlar utrustas med läckkabel eller annan teknik för att erhålla radiotäckning för 4G/5G.

Starlink har en mer binär karaktär jämfört med mobilnäten, satellit-uppkopplingen är antingen på eller av. En 4G/5G-länk fortsätter ofta att vara ansluten när mottagen radiosignal försämras och konsekvensen blir högre fördröjning (RTT) och högre paketförlust (loss). Starlink fungerar normalt mycket bra när länken är tillgänglig, men kan försvinna helt och plötsligt när sikten mot satelliterna skymms. Detta ställer krav på aggregeringsfunktionen, som snabbt måste upptäcka avbrottet och snabbt styra om trafiken till fungerande länkar. I annat fall kan en instabil Starlink-länk tillfälligt försämma den aggregerade uppkopplingen ombord.

En viktig notering för läsaren är att WiFi-tjänstens upplevda kvalitet inte är fullt så beroende av höga topphastigheter som branschens aktörer ibland ger intryck av. Stabilitet i alla delar av den långa kedja som tillsammans och över tid skapar WiFi-tjänsten är än viktigare för slutresultatet, enligt Oxyfi. Hög kapacitet i accesslänkarna ger inte automatiskt en bra användarupplevelse om exempelvis aggregeringsfunktionen, nätverksutrustningen, ombordportalen eller WiFi-nätverket uppvisar återkommande störningar.

MOS-mätningarna av Netflix, Microsoft Teams och Google Meet visar god till mycket god upplevd kvalitet längs nästan hela sträckan Storlien–Sundsvall–Umeå. De flesta försämringarna sammanfaller med tunnlar. Ett område söder om Bräcke avviker genom att både Telenor och Starlink uppvisar problem, medan Telia fungerar bättre. Orsaken till problemen i detta område har inte kunnat fastställas inom ramen för utvärderingen.

MOS-resultaten indikerar att kombinationen av satellit- och mobiluppkoppling ger god eller mycket god kvalitet vid merparten av de genomförda testerna i det analyserade området.

Satellitmottagaren och dess mekaniska infästning har varit monterade på fordonet under två vintrar i norra Sverige. Inga problem har observerats och satellitmottagaren förefaller därmed ha klarat den krävande miljön på tågtaket. Den robusta inkapslingen, infästningen och strömförsörjningen har därmed fungerat väl under provperioden.

9.1 Slutsats

Starlink kan inte ersätta mobilnäten i testområdet, framför allt eftersom satellitförbindelsen inte fungerar i tunnlar och andra platser med skydd eller störd fri sikt mot himlen. Däremot ger Starlink ett betydande tillskott av kapacitet, geografisk täckning samt redundans gällande använda accessnät.

Resultaten talar för att en kombination av Starlink och anslutningar från flera olika mobiloperatörer är den mest lämpliga tekniska lösningen för de undersökta sträckorna. Starlinks höga kapacitet och låga fördröjning – i nivå med eller bättre än de testade 4G/5G-länkarna – gör satellitförbindelsen till ett värdefullt komplement. Med en snabb och väl fungerande aggregeringsfunktion kan de olika länkarnas styrkor kombineras samtidigt som deras respektive svagheter hanteras.

Testerna visar sammantaget att Starlink är tekniskt användbart på regionalståg i norra Sverige och kan förbättra internetuppkopplingen till fordonet väsentligt. Nyttan är störst på sträckor utan hinder mot himlen och i områden där mobilnäten har begränsad kapacitet. Längs med de tunnelrika sträckorna är fortsatt god mobiltäckning (4G/5G) eller annan teknologi avgörande.

10 Kort om Starlink

I juli 2026 hade Starlink cirka 10 800 operativa LEO-satelliter (Low Earth Orbit) i drift, jämfört med cirka 7 000 under samma månad 2025. Satellitnätverket växer således snabbt. En ny, större satellittyp med högre kapacitet planeras att tas i drift under slutet av 2026. Oxyfi:s bedömning är att konkurrerande satellitnätverk och tjänster fortfarande ligger långt efter Starlink.

Prisnivåerna för Starlink justerades ned under 2025 och bedöms nu som mer konkurrenskraftiga än tidigare. En utmaning är dock att Starlink inte vill avtala om pris, de kan därför höja/sänka månadsavgiften med kort varsel. De traditionella 4G/5G-operatörerna erbjuder vanligtvis ett fast pris under 2-3 år givet en viss volym av dataabonnemang.

Det kan vara relevant att notera att Starlinks uppkoppling i vissa avseenden liknar de vanliga mobiloperatörernas. Starlinks nät är också ett delat nätverk, ju fler användare som använder uppkopplingstjänsten, desto fler är med och delar på tillgänglig kapacitet. Nätoperatörer måste därför kontinuerligt investera i kapacitet, exempelvis genom förtätning eller teknologiska uppgraderingar givet att användarbasen växer och/eller vill använda mer och mer dataöverföringskapacitet. Ett alternativt angreppssätt är att begränsa kundbasen, vilket exempelvis TeraCom (före detta Net1) gjorde i sitt "glesbyggs-4G-nät" (450 MHz-nät) när de sa upp alla privatkunder och därefter fokuserade helt på samhällsviktiga funktioner dit också tågtrafik räknas in.

SpaceX/Starlink har bekräftat för Oxyfi att de arbetar med att klassificera sin senaste Performance Generation 3-satellitmottagare enligt järnvägsstandarderna EN45545-2 och EN50155. Enheterna ska därefter säljas via Starlinks ordinarie försäljningskanaler. SpaceX/Starlink har tidigare indikerat att certifieringen skulle vara klar under första kvartalet 2026, men detta har ännu inte skett av okänd anledning.

Enligt Starlink är Performance Gen 3-terminalen tekniskt dimensionerad för nedladdningshastigheter upp till cirka 1 000 Mbps, förutsatt att satellitnätet framöver kan leverera den kapaciteten. I Starlinks offentliga produktspecifikation anges för närvarande en maximal nedladdningshastighet på 475 Mbps.

Andra förbättringar för satellitmottagaren Performance Gen 3 jämfört med Performance Gen 2 (den som använts i testerna i denna rapport) är:

- Cirka 40 % lägre effektförbrukning vid normal drift
- DC-matning inom ett bredare spänningsområde
- Bredare temperaturintervall
- Högre kapslingsklass
- Robustare kontaktdon
- Konstruerad för högre vibrationer

Viss försiktighet ska observeras i detta kapitel 10 gällande information om Starlink och dess tjänster/produkter, det är svårt att få helt tillförlitliga uppgifter trots direktkontakt med Starlinks europeiska organisation.

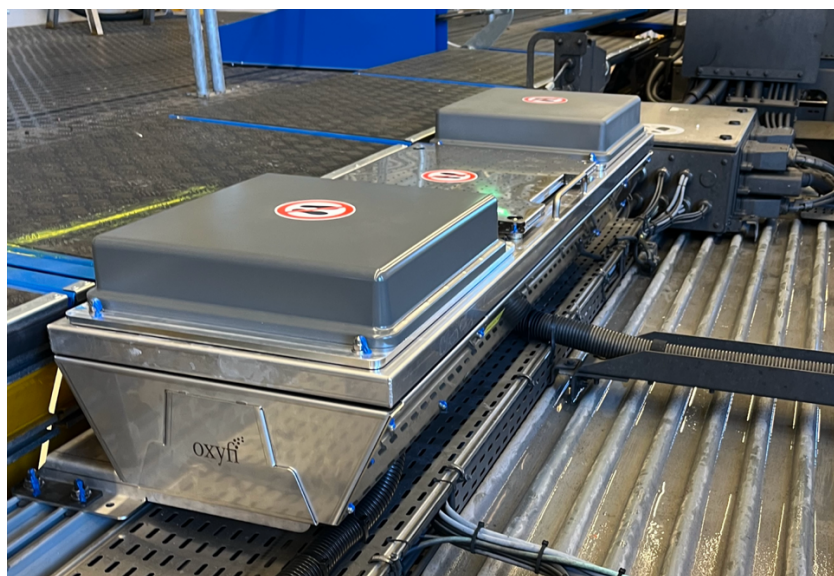
11 Slutord

Vi på Oxyfi vill rikta ett stort tack till Region Jämtland Härjedalen, Norrtåg AB, AB Transitio, och trafikoperatören VR Sverige AB för ett mycket gott samarbete kring spännande tester av ny teknologi för mobil uppkoppling via Starlinks nätverk för LEO-satelliter.

I ett nästa steg har Norrtåg och Oxyfi enats om att uppgradera några befintliga WiFi-APs till moderna WiFi6-enheter. Befintliga WiFi-APs är kraftigt föråldrade och har flera begränsningar, detta leder till att den höga prestanda som OxBox (alla fordon) och Starlink (ett testfordon) bidrar med inte kan tillgodogöras i praktiken ombord. Även någon enstaka switch och LAN-kablage ska uppgraderas för att ge uppgraderade WiFi-APs en snabbare nätverksmiljö. När detta är klart kan nya tester utföras där WiFi-delen också inkluderas.

12 Fotografier

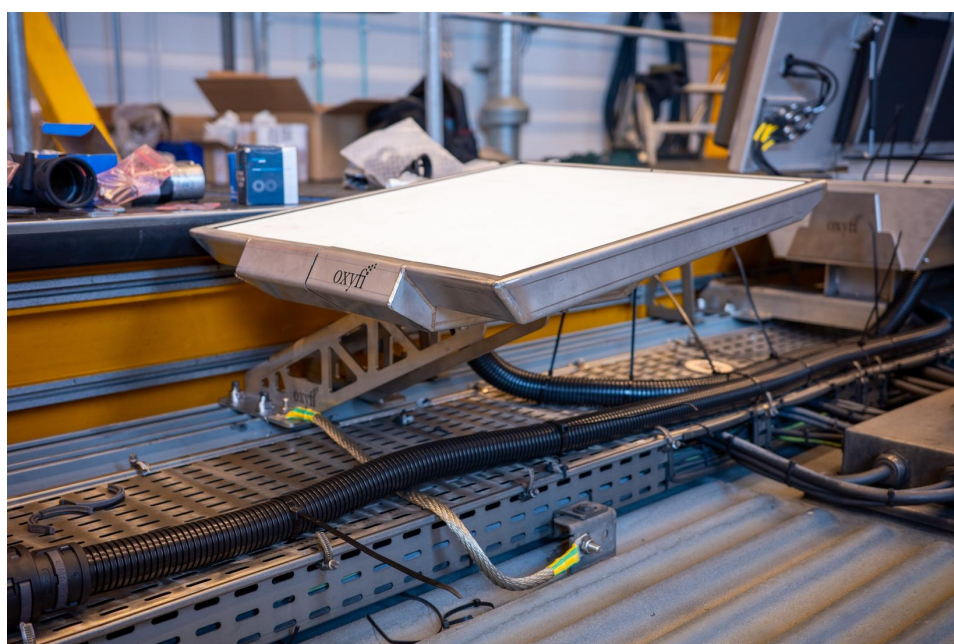
Nedan ett antal fotografier från den mekaniska integrationen med fordonet och OxBox + Starlinks satellitmottagare gen 2.



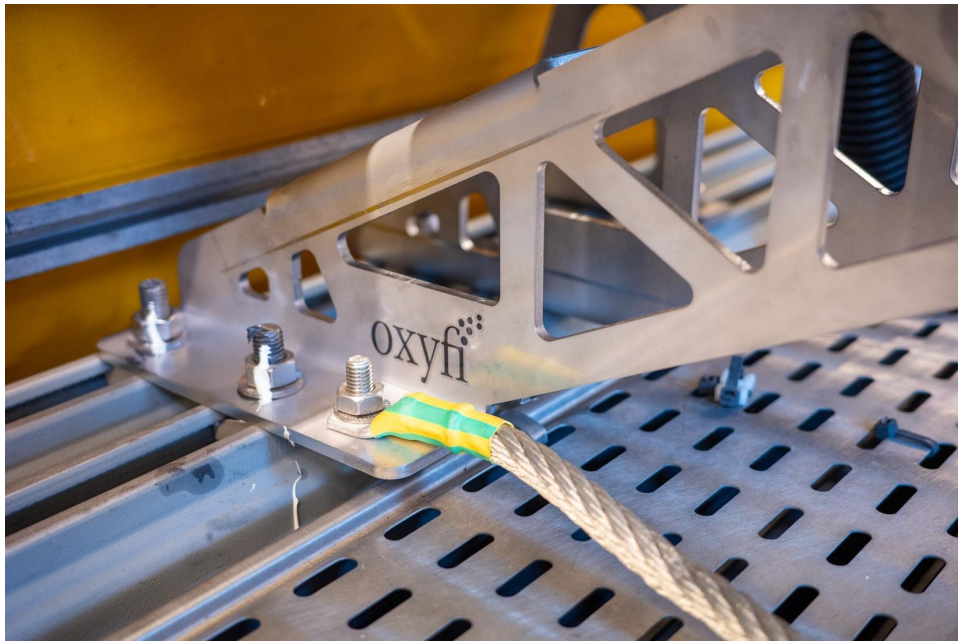
Figur 25 - Takmonterad OxBox (version 1.1) med 2x 5G-anslutningar – eliminerar alla långa antennkablage = hög 5G-prestanda



Figur 26 – Översiktsbild, installation på Coradia fordonstak, OxBox + Starlink



Figur 27 - Infästning och skyddande inkapsling av Starlink-mottagare



Figur 28 - Dedikerad jordfläta



Figur 29 - Skyddande robust inkapsling samt skyddsslang för kablage, sett underifrån



Figur 30 – Starlink ansluts direkt till OxBox som utökas med PoE-injektor för strömmatning av satellitmottagaren