2025-02-24 Rapport

Rapportnummer
PTS-ER-2025:4

Analys av framtida användning av frekvensbandet 6425–7125 MHz (höga 6 GHz-bandet)

Med utgångspunkt i nuvarande spektrumbehovsbild

PTS

Rapportnummer
PTS-ER-2025:4

Diarienummer
24-3154

ISSN
1650-9862

Författare
PTS

Post- och telestyrelsen
Box 6101
102 32 Stockholm

08-678 55 00
pts@pts.se
www.pts.se

Förord

Radiospektrum är en värdefull och begränsad gemensam resurs. Visionen för PTS spektrumförvaltning är att samhällsnyttan av radiospektrum i Sverige är maximerad över tid. För PTS är det därför viktigt att spektrumanvändning i olika frekvensband på lång och kort sikt tar sikte på detta.

Höga 6 GHz-bandet (6425–7125 MHz) används i Sverige för radiolänk, som behövs för vissa samhällsviktiga funktioner. Sedan WRC-23 finns möjlighet för frekvensförvaltningar att tillgängliggöra bandet för mobilt bredband och/eller för WiFi, vilket gör höga 6 GHz-bandet attraktivt för såväl mobil- som WiFi-industrin.

Vi har fört dialog med svenska intressenter för att klarlägga spektrumbehoven för nuvarande och potentiella framtida radioanvändningar i höga 6 GHz-bandet. Baserat på vad som framkom i dialogerna och med hänsyn tagen till internationella studier har flera framtida scenarier analyserats, i syfte att identifiera vilket scenario som skulle innebära största möjliga samhällsnytta i bandet i Sverige över tid.

Det är viktigt att notera att den här analysen utgör en ögonblicksblicksbild och är ett relevant och viktigt bidrag till fortsatt diskussion om framtida användning av höga 6 GHz-bandet, såväl i Sverige som internationellt. PTS ser därför fram emot synpunkter på presenterad inriktning och fortsatta dialoger med intressenter kring hur höga 6 GHz-bandet ska användas nu och i framtiden.

Dan Sjöblom

Generaldirektör

Innehåll

Förord 3

Sammanfattning ... 7

Summary ... 11

1. Inledning ... 14

2. Framtida användningar och spektrumbehov ... 15

2.1 Framtida behov av höga 6 GHz-bandet för fast radio ... 15

Fast radio - befintlig användning i höga 6 GHz-bandet, för vissa samhällsviktiga funktioner ... 15

Kapacitet i höga 6 GHz ... 15

Användning av låga resp. höga 6 GHz, 7 GHz och 8 GHz ... 15

Fortsatt befintlig användning ... 17

Betydelsen för samhällsviktig användning (Totalförsvaret) ... 18

Om Public Service och digital tv i UHF bandet (470–694 MHz) ... 19

Vad säger svenska intressenter? ... 21

Preliminär bedömning ... 21

2.2 Framtida behov av höga 6 GHz-bandet för IMT ... 21

Befintlig frekvensmängd för IMT ... 22

Spektrumbehov vs. Datakapacitetsbehov under 4G cykeln åren 2010 till 2019 ... 22

Spektrumbehov vs. Datakapacitetsbehov under 5G cykeln åren 2020 till 2029 ... 27

Spektrumbehov vs. Datakapacitetsbehov under 6G cykeln åren 2030 till 2039 ... 32

Alternativ för att hantera Datakapacitetsbehov för 6G cykeln 2030 till 2039 ... 34

Vad säger svenska intressenter? ... 36

Vad säger IMT-industrin? ... 36

Preliminär bedömning ... 36

2.3 Framtida behov av höga 6 GHz-bandet för RLAN ... 37

Befintlig frekvensmängd för RLAN ... 37

Spektrumbehov vs. datakapacitetsbehov ... 38

Alternativt RLAN spektrum? ... 40

Vad kan påverka utvecklingen av spektrumbehovet för RLAN? ... 40

Vad säger svenska intressenter? ... 41

Vad säger RLAN-industrin? ... 42

Preliminär bedömning ... 43

3. Internationell arena ... 44
3.1 CEPT ... 44
Om fast radio ... 44
Delning fast radio, IMT och RLAN i 6 GHz banden (CEPT) ... 45
3.2 Utfall av WRC-23 ... 46
ITU WP5D ... 46
3.3 WRC-27 ... 47
3.4 RSPG – Radio Spectrum Policy Group ... 47
3.5 RSC – The Radio Spectrum Committee ... 47
3.6 Utveckling i Europa och världen ... 48
4. Möjliga scenarier ... 49
4.1 Scenario 0: ”Enbart FS” ... 49
4.2 Scenario 1: ”Delning mellan FS, RLAN och IMT i höga 6” ... 50
4.3 Scenario 2: ”Delning mellan FS och IMT” ... 51
4.4 Scenario 3: ”Delning mellan FS och RLAN” ... 52
4.5 Scenario 4: ”Delning mellan RLAN och IMT” ... 53
Delning i frekvens ... 53
Delning i tid och/eller geografi ... 53
4.6 Scenario 5: ”Enbart IMT” ... 54
4.7 Scenario 6: ”Enbart RLAN” ... 54
5. Metod och val av scenarier ... 56
5.1 Multikriterieanalys ... 56
5.2 Känslighetsanalys ... 58
5.3 Val av scenarier som potentiellt ger störst nytta ... 58
5.4 Kriterier ... 59
Konsumentnytta ... 59
Totalförsvarsnytta ... 59
Spektrumnytta ... 59
Kostnad 60
Komplexitet för svensk administration ... 60
Miljöpåverkan ... 60
Kriterieviktning ... 61
6. Multikriterieanalys för utvalda scenarier ... 62
6.1 Scenario 1: för FS, IMT och RLAN i H6 GHz ... 62
Scenario 1a: FS, IMT och RLAN i H6 GHz, med geografisk uppdelning ... 62
Scenario 1b: FS, IMT och RLAN i H6 GHz, med spektrumsplit ... 63

Scenario 1c: FS, IMT och RLAN i H6 GHz, med low power MFCN och RLAN indoor. *64*

Scenario 1d: FS, IMT och RLAN i H6 GHz, med full power MFCN och RLAN indoor with additional sharing mechanism. *65*

6.2 Scenario 2: FS och IMT i H6 GHz 66

6.3 Scenario 3: FS och RLAN i H6 GHz 66

6.4 Scenario 4: FS i andra band, IMT och RLAN i H6 GHz 68

Scenario 4a: FS i andra band, IMT och RLAN i H6 GHz, med geografisk uppdelning *68*

Scenario 4b: FS i andra band, IMT och RLAN i H6 GHz, med spektrumsplit *69*

Scenario 4c: FS i andra band, IMT och RLAN i H6 GHz, med low power MFCN och RLAN indoor *69*

Scenario 4d: FS i andra band, IMT och RLAN i H6 GHz, med full power MFCN och RLAN indoor with additional sharing mechanism *70*

6.5 Resultat av multikriterieanalysen 71

6.6 Resultat av känslighetsanalysen 74

7. Bedömning 75

Spektrumbehov 75

Framtida scenarier 75

Sammanfattning

Eftersom radiospektrum är en värdefull och begränsad gemensam resurs behöver den användas där den gör mest nytta för samhället. Denna rapport presenterar en analys av vilket scenario eller vilka scenarier som skulle innebära största möjliga samhällsnytta i Sverige över tid, med avseende på nuvarande radioanvändning för fast radiolänk (FS[1]) och potentiella framtida radioanvändningar (IMT[2]och RLAN[3]), i höga 6 GHz-bandet (6425–7125 MHz). Den ger vidare en uppskattning av hur olika spektrumbehov kommer att te sig och när i tid behoven kommer att materialiseras.

Med utgångspunkt i *nuvarande* spektrumbehovsbilder av de tre radioanvändningarna (FS, IMT och RLAN), samt resultaten av *hittills tillgängliga* nationella och internationella delnings- och kompatibilitetsstudier, diskuteras olika delningsmöjligheter i höga 6 GHz-bandet. Ett antal scenarier för framtida användning av höga 6 GHz-bandet beskrivs för fördjupad scenarioanalys, där både multikriterieanalys och känslighetsanalys tillämpas.

När det gäller fast radio som behövs för vissa samhällsviktiga funktioner, finns det idag inget fullgott substitut till höga 6 GHz-bandet för denna radioanvändning. Även om det sker en snar avveckling av Boxers betal-tv kanaler i DTTV-marknätet är bedömningen att detta inte har en avgörande betydelse för det kvarvarande kapacitetsbehovet i Teracoms 6 GHz-radiolänknät. I en enkätundersökning som PTS genomförde våren 2024 uppgav Teracom att det finns ett fortsatt och även utökat behov av höga 6 GHz-bandet för fast radio, dels för distribution av marksänd radio och tv, och dels för annan samhällsviktig användning för vilken inga detaljer kunde ges till PTS vid det tillfället.

Gällande spektrumbehov för IMT, visar analysen i första hand att det finns skillnader i spektrumbehoven utanför respektive i större städer[4]. Utanför större städer är det mer lämpligt att bygga ut täckning genom användning av frekvenser under 1 GHz. Därför är bedömningen att mer frekvenser under 1 GHz kan behövas för IMT främst utanför större städer medan mer frekvenser över 1 GHz och upp till 10 GHz kan behövas för IMT i större städer runt år 2030. Inom frekvensområdet 1–10 GHz är höga 6 GHz det band som bäst skulle kunna motsvara behoven i större städer.

Den mest intressanta delen av spektrum för RLAN är 5–10 GHz eftersom bedömningen är att spektrumet mellan 10–80 GHz, dvs. 60 GHz-bandet bör räcka till, givet att det kommer utrustning för dessa frekvensband. Frågan är om de senast tillgängliggjorda ”nya” 480 MHz i 5945-6425 MHz-bandet för RLAN kommer att täcka behoven. För att få svar på denna fråga behöver marknadsutvecklingen följas under några år framöver för att se effekten/nyttan av att de ”nya” 480 MHz tas i bruk i större utsträckning.

[1] A radiocommunication service between specified fixed points (FS). I den här texten används FS som en gemensam beteckning för ”fast radiolänk, ”fast radio”, ”radiolänk”, som behövs för vissa samhällsviktiga funktioner.

[2] International Mobile Telecommunications (IMT) är den term som används av ITU för att beskriva mobila bredbandssystem. IMT-2000 förknippas vanligtvis med 3G-teknik, IMT-2020 med 5G och IMT-2030 med 6G.

[3] RLAN är en del av en bredare kategori som kallas Wireless Access System som definieras som slutanvändares radioanslutningar till offentliga eller privata core-nätverk. Teknik som används idag för att implementera trådlös åtkomst inkluderar mobil, trådlös telekommunikation och trådlösa lokala nätverkssystem. Offentliga och privata WLAN-system (eller RLAN) etableras snabbt som en föredragen åtkomstteknologi (ITU-R).

[4] Större stad: Kommuner med minst 50 000 invånare varav minst 40 000 invånare i den största tätorten. (SKR).

Under WRC[5]-23 identifierades 6425–7025 MHz-bandet för IMT inom ITU[6] Region 1, och 7025–7125 MHz för IMT globalt. Denna identifiering utesluter inte användningen av detta frekvensband för annan radiotjänst som bandet har allokering för och fastställer ingen prioritet i radioreglementet.

Inom CEPT[7] projektgrupp 1 ECC PT1 startades under 2023 en ny arbetspunkt (WI) som ska utreda potentiell delning mellan IMT och WAS[8]/RLAN i höga 6 GHz-bandet, med målet att ta fram en ECC-rapport. Fokus för denna arbetspunkt är endast att utreda potentiell delning mellan IMT och RLAN i höga 6 GHz-bandet och arbetet omfattar inte samexistensstudier med andra tjänster (incumbents) som t.ex. fast radio (FS). Samexistensstudier mellan RLAN och FS har gjorts inom CEPT arbetsgrupp ECC SE45.

Inom EU arbetar Radio Spectrum Policy Group (RSPG) med spektrumrelaterade frågor. I arbetsprogrammet för 2024 och framåt enades RSPG om en arbetspunkt som ska ge en långsiktig vision (2030 och framåt) för höga 6 GHz-bandet.

Radio Spectrum Committee (RSC) arbetade under 2024 med framtagandet av ett mandat till CEPT för att studera effektiv användning av frekvensbandet 6425–7125 MHz på delad basis.

Inom Europa har inget land beslutat än om hur och när höga 6 GHz-bandet ska tillgängliggöras för nya användningar, vilket troligen är en konsekvens av att länderna redan har olika befintliga användningar i bandet. Starka förespråkare av IMT i höga 6 GHz-bandet är bl.a. Kina och Ryssland. Det finns även flera länder inom CEPT som har visat stort intresse för IMT i höga 6 GHz-bandet medan en del CEPT-länder även visar intresse för att dela bandet mellan IMT och WAS/RLAN.

I Europa är låga 6 GHz-bandet (5925/5945–6425 MHz) harmoniserat för tillståndsfri användning för WAS/RLAN. I övriga ITU-R Region 1 i Afrika har t.ex. Nigeria gjort samma val medan Saudi Arabien och Qatar planerar att öppna hela 6 GHz-bandet för RLAN. Förutom USA har också t.ex. Sydkorea, Brasilien och Chile beslutat om att tillgängliggöra höga 6 GHz-bandet för WAS/RLAN, dock med olika regler och begränsningar om användning. Colombia, Mexiko, Honduras, Costa Rica, Kanada, Peru och Argentina har meddelat att de kommer att följa i samma spår.

Ett antal scenarier för en möjlig kommande användning av höga 6 GHz-bandet i Sverige beskrivs i rapporten. Samtliga scenarier samt troliga konsekvenser, som redogörs för i rapporten, är baserade på bedömningen att någon förändring av spektrumbehov för IMT eller för RLAN, och därmed en förändring av användning av detta band, inte kommer att ske under de närmaste fem åren.

Bland de möjliga scenarierna görs en fördjupad analys av ett urval av scenarier som bedöms kunna möta spektrumbehoven efter år 2030 för de olika användningarna och samtidigt potentiellt kunna ge störst samhällsnytta. De utvalda scenarierna (1 – 4 nedan) är de där delning mellan flera användningar möjliggörs på ett sätt som potentiellt är tekniskt effektivt och lönsamt för de som använder frekvenserna. Scenario 1 och 4 har båda ett antal underscenarier, vilka framgår nedan. Dessa underscenarier kommer av att det är de tekniska delningsmöjligheter som diskuterats i delningsstudierna inom CEPT.

---

[5] WRC - World Radiocommunication Conference. Världsradiokonferens hålls vart tredje till vart fjärde år. Det är WRC:s uppgift att se över och vid behov revidera radioreglementet. Radioreglementet (RR) är det internationella fördraget som reglerar användningen av radiofrekvensspektrum och de geostationära satellit- och icke-geostationära satellitbanorna.

[6] ITU – International Telecommunications Union. Internationella teleunionen är ett specialorgan inom Förenta nationerna som ansvarar för samordningen av spektrumförvaltningen på global nivå, bland annat genom WRC-processerna.

[7] CEPT - European Conference of Postal and Telecommunications Administrations. Europeiska post- och telesammanslutningen är en samarbetsorganisation mellan de europeiska post- och teleregulatörerna.

[8] WAS - Wireless Access Systems definieras som slutanvändares radioanslutningar till offentliga eller privata core-nätverk. Teknik som används idag för att implementera trådlös åtkomst inkluderar mobil, trådlös telekommunikation och trådlösa lokala nätverkssystem (ITU-R).

En multikriterieanalys används för att utvärdera vilket scenario som potentiellt kan ge största samhällsnytta.

Följande scenarier har valts ut för utvärdering i en multikriterieanalys:

1. Scenario 1: FS, IMT och RLAN i H6 GHz[9]
- *Scenario 1a: FS, IMT och RLAN i H6 GHz, med geografisk uppdelning.*
- *Scenario 1b: FS, IMT och RLAN i H6 GHz, med spektrumsplit.*
- *Scenario 1c: FS, IMT och RLAN i H6 GHz, med low power MFCN och RLAN indoor.*
- *Scenario 1d: FS, IMT och RLAN i H6 GHz, med full power MFCN och RLAN indoor with additional sharing mechanism.*

2. Scenario 2: FS och IMT i H6 GHz

3. Scenario 3: FS och RLAN i H6 GHz

4. Scenario 4: FS i andra band, IMT och RLAN i H6 GHz
- *Scenario 4a: FS i andra band, IMT och RLAN i H6 GHz, med geografisk uppdelning.*
- *Scenario 4b: FS i andra band, IMT och RLAN i H6 GHz, med spektrumsplit.*
- *Scenario 4c: FS i andra band, IMT och RLAN i H6 GHz, med low power MFCN och RLAN indoor.*
- *Scenario 4d: FS i andra band, IMT och RLAN i H6 GHz, med full power MFCN och RLAN indoor with additional sharing mechanism.*

Multikriterieanalys kan ge en helhetsbild inför beslutsfattandet om framtida användning av frekvenser och kan användas som beslutstöd. Mjuka parametrar kan jämföras med hårda och mätbara parametrar, oavsett om kriterierna i sig inte har en gemensam enhet eller skala. Analysen kan också göra det möjligt att lyfta fram olika områden och balansera kriterierna så att de ställs i rätt proportion till varandra.

I arbetet med multikriterieanalys har fem kriterier valts ut. Dessa är konsumentnytta, totalförsvarsnytta, spektrumnytta, kostnad samt komplexitet för administrationen. De två första kriterierna har givits högst vikt och den sista lägst.

Det scenario som får högst poäng i multikriterieanalysen och därför antas ge störst samhällsnytta är det scenario där bandet delas mellan FS och RLAN (scenario 3), tätt följt av två scenarier där bandet i det ena scenariot delas mellan FS och IMT (scenario 2) och i det andra mellan FS, IMT low power och RLAN (scenario 1c).

Eftersom det endast är ett fåtal poäng som skiljer mellan delad användning mellan FS och RLAN respektive delad användning mellan FS och IMT så kan inte några säkra slutsatser dras, om vilken av dessa nya användningar som är att föredra. Multikriterieanalysen visar dock tydligt att ett scenario där frekvensbandet används för FS ger en högre samhällsnytta än scenarier där FS inte använder frekvensbandet.

Några slutsatser som följer av denna analys är att:

- Någon större förändring av spektrumbehoven jämfört med idag och någon akut spektrumbrist för RLAN och IMT kan inte förväntas inom de närmaste fem åren.

- Så länge totalförsvarsnyttan av användning av höga 6 GHz-bandet för FS väger tungt är alla framtida scenarier med FS tydligt överlägsna i jämförelse med scenarier utan FS. Ingen

[9] H6 GHz – Höga 6 GHz-bandet

avveckling av FS bedöms vara aktuell i nästkommande tillståndsperiod, dvs. inte innan 1 januari 2033.

- Eftersom skillnaderna mellan de scenarier som kommer ut som ”vinnare” är relativt små och osäkerheterna är stora kan såväl RLAN som IMT övervägas som relevanta kandidater för framtida användning av höga 6 GHz-bandet tillsammans med FS, efter år 2030.

Det är fortsatt viktigt för PTS att ha en tydlig uppfattning i frågan om höga 6 GHz-bandet. Detta innebär dock inte att man måste ha en position för eller mot den ena eller den andra tekniken. Med hänsyn till ovanstående analys är det fortsatt en fördel för Sverige att hålla dörren öppen för såväl IMT som RLAN i höga 6 GHz, förutsatt att nuvarande FS-användning skyddas även efter nuvarande tillståndsperiod, dvs. fram till 1 januari 2033. En bedömning av spektrumbehoven för RLAN och IMT i höga 6 GHz-bandet bör göras på nytt och vara genomförd senast år 2030 för att ge rimlig tid för eventuell utrymning (eller ändring av tillståndsvillkor) av FS i bandet.

Summary

Since radio spectrum is a valuable and scarce common resource, it must be utilized where it provides the greatest benefit to society. This memorandum presents an analysis of which scenario or scenarios would generate the greatest societal benefit in Sweden over time, with regard to current radio use for fixed radio links (FS) and potential future radio applications (IMT and RLAN) in the upper 6 GHz band (6425–7125 MHz). It also provides an estimate of how spectrum needs will evolve and when these needs are likely to be materialized.

Based on current spectrum demand profiles for the three radio applications (FS, IMT, and RLAN) and the results of available national and international sharing and compatibility studies, various sharing possibilities in the upper 6 GHz band are discussed. Several scenarios for future use of the upper 6 GHz band are described to facilitate a detailed scenario analysis, applying both multi-criteria and sensitivity analyses.

For FS, used for certain societal functions, there is currently no adequate alternative in other frequency bands to replace the existing use of the upper 6 GHz band. Even though Boxer's pay-TV channels in the DTTV terrestrial network are being phased out, this is not expected to significantly impact the remaining capacity needs of Teracom's 6 GHz radio link network. In a survey conducted by PTS in spring 2024, Teracom indicated a continued and even increased need for the upper 6 GHz band for fixed radio, both for terrestrial broadcasting of radio and television and for other critical societal applications, although details could not be provided to PTS at the time.

Regarding spectrum needs for IMT, the analysis primarily shows variations in spectrum needs between different areas. Outside city areas, coverage expansion is better supported by frequencies below 1 GHz. The preliminary assessment, therefore, is that additional sub-1 GHz frequencies may be needed mainly outside city areas, while frequencies in the 1–10 GHz range may be required in city areas by around 2030. Within this range, the upper 6 GHz band appears to best meet urban demands.

For RLAN, the most relevant spectrum lies between 5–10 GHz, as it is anticipated that the spectrum between 10–80 GHz, particularly the 60 GHz band, should suffice, assuming equipment becomes available for these bands. The question is whether the newly allocated 480 MHz in the 5945–6425 MHz band for RLAN will meet future demand. Market development must be monitored over the coming years to assess the utility and impact of increased usage of the "new" 480 MHz.

At WRC-23, the 6425–7025 MHz band was identified for IMT within ITU Region 1, and the 7025–7125 MHz band was identified for IMT globally. This identification does not preclude the use of this frequency band for other radio services allocated in the band and does not establish any priority in the Radio Regulations.

Within CEPT Project Team 1 ECC PT1, a new work item was initiated in 2023 to investigate potential sharing between IMT and WAS/RLAN in the upper 6 GHz band, aiming to produce an ECC report. This work item focuses solely on IMT and RLAN sharing, excluding coexistence studies with other services (incumbents), such as fixed radio (FS). Coexistence studies between RLAN and FS have been conducted within CEPT working group ECC SE45.

The EU Radio Spectrum Policy Group (RSPG) is working on spectrum related issues. For its 2024 work program and beyond, RSPG agreed on a work item to develop a long-term vision (2030 and beyond) for the upper 6 GHz band.

The Radio Spectrum Committee (RSC) worked in 2024 to draft a mandate for CEPT to study the efficient use of the 6425–7125 MHz band on a shared basis.

No European country has yet decided how and when to make the upper 6 GHz band available for new uses, likely due to varying existing applications in the band. Strong proponents of IMT in the upper 6 GHz band include China and Russia. Several CEPT countries have shown significant interest in IMT for the band, while some favour sharing the band between IMT and WAS/RLAN.

In Europe, the lower 6 GHz band (5925/5945–6425 MHz) is harmonized for license-exempt WAS/RLAN use. Other ITU Region 1 countries, such as Nigeria, have made similar decisions, while Saudi Arabia and Qatar plan to open the entire 6 GHz band for RLAN. Outside Europe, the U.S., South Korea, Brazil, and Chile have made the upper 6 GHz band available for WAS/RLAN under varying rules and restrictions. Colombia, Mexico, Honduras, Costa Rica, Canada, Peru, and Argentina have announced plans to follow suit.

This report describes several scenarios for possible future use of the upper 6 GHz band in Sweden. All scenarios and their likely consequences are based on the assessment that there will be no significant change in spectrum needs for IMT or RLAN, nor any change in band use, within the next five years.

Among the possible scenarios, a detailed analysis is conducted on selected scenarios that are expected to meet spectrum needs after 2030 for various applications while potentially providing the greatest societal benefit. The selected scenarios (1–4 below) involve shared use among multiple applications, enabling technical efficiency and economic feasibility for users. Scenarios 1 and 4 include sub-scenarios based on technical sharing possibilities discussed in CEPT sharing studies.

A multi-criteria analysis evaluates which scenario could potentially yield the greatest societal benefit:

1. Scenario 1: FS, IMT, and RLAN in the upper 6 GHz band
- *1a: FS, IMT, and RLAN with geographic separation.*
- *1b: FS, IMT, and RLAN with spectrum split.*
- *1c: FS, IMT with low-power MFCN, and RLAN indoor.*
- *1d: FS, IMT with full-power MFCN, and RLAN indoor with additional sharing mechanisms.*

2. Scenario 2: FS and IMT in the upper 6 GHz band.

3. Scenario 3: FS and RLAN in the upper 6 GHz band.

4. Scenario 4: FS in other bands, IMT, and RLAN in the upper 6 GHz band
- *4a: FS in other bands, IMT, and RLAN with geographic separation.*
- *4b: FS in other bands, IMT, and RLAN with spectrum split.*
- *4c: FS in other bands, IMT with low-power MFCN, and RLAN indoor.*
- *4d: FS in other bands, IMT with full-power MFCN, and RLAN indoor with additional sharing mechanisms.*

The multi-criteria analysis provides a comprehensive view to support decision-making on future frequency use. It allows for balancing soft and measurable parameters, regardless of differences in units or scales. The analysis can also enable the highlighting of different areas and balance the criteria so that they are set in the correct proportion to each other.

Five criteria are used: consumer benefit, total defence benefit, spectrum utility, cost, and administrative complexity. The first two criteria are given the highest weight, and the last the lowest.

The scenario with the highest score in the analysis, and thus assumed to provide the greatest societal benefit, is the one where the band is shared between FS and RLAN (Scenario 3), closely followed by scenarios with FS and IMT sharing (Scenario 2) or FS, low-power IMT, and RLAN sharing (Scenario 1c).

Since there is only a small difference in scores between shared use of FS and RLAN and shared use of FS and IMT, we cannot draw any definitive conclusions about which of these new uses that is preferable. However, the multi-criteria analysis clearly indicates that a scenario where FS uses the frequency band provides greater societal benefits than scenarios where FS does not use the frequency band.

Key conclusions from the memorandum include:

- No major change in spectrum needs or immediate spectrum shortage for RLAN and IMT is expected within the next five years.
- As long as the total defence benefit of FS use in the upper 6 GHz band is significant, scenarios involving FS are clearly superior to those without FS. No FS phase-out is expected before January 1, 2033.
- Given the small differences and uncertainties among the "winning" scenarios, both RLAN and IMT remain relevant candidates for future use of the upper 6 GHz band alongside FS after 2030.

It is further important for PTS to have a clear view regarding the upper 6 GHz band. However, this does not mean that one must have a position for or against one or the other technology. With regard to the above analysis, it is still an advantage for Sweden to keep the stance open for both IMT and RLAN in upper 6 GHz band, provided that current FS use is protected even after the current license period, i.e. until January 1, 2033. An assessment of the spectrum needs for RLAN and IMT in the upper 6 GHz band should be performed again and completed by 2030 at the latest to allow reasonable time for possible refarming (or changing license conditions) of FS use in the band.

1. Inledning

Syftet med denna analys är dels att ge en uppdaterad uppfattning[10] av spektrumbehov i frekvensbandet 6425–7125 MHz för fast radiolänk (FS) som behövs för vissa samhällsviktiga funktioner, vilken är befintlig radioanvändning i bandet, samt för IMT och RLAN som är potentiella framtida radioanvändningar, och dels att bidra till en inriktning för framtida användning av frekvensbandet i Sverige.

Eftersom radiospektrum är en värdefull och begränsad gemensam resurs behöver den användas där den gör mest nytta för samhället.

Analysen utgår ifrån en tydligt sammanställd bild av hur olika spektrumbehov skulle komma att te sig och när i tid behoven skulle kunna komma att förverkligas med hänsyn till aktuella och framtida regulatoriska och tekniska förutsättningar. För det ändamålet studerades bland annat ett större antal relevanta rapporter, presentationer och dokument från industrier, internationella organisationer och företag samt PTS egna referensdokument, förstudier och analyser. En enkätundersökning bland svenska aktörer genomfördes också under våren 2024 och resultatet av enkäten vävs in i denna analys.

Med utgångspunkt i *nuvarande* spektrumbehovsbilder av de tre radioanvändningarna (FS, IMT och RLAN) samt resultaten av *hittills tillgängliga* nationella och internationella delnings- och kompatibilitetsstudier, diskuteras olika delningsmöjligheter i höga 6 GHz-bandet. Ett antal scenarier för framtida användning av höga 6 GHz-bandet beskrivs för närmare scenarioanalys, där både multikriterieanalys och känslighetsanalys tillämpas.

Det är viktigt att notera att den här rapporten endast utgör en ögonblicksblicksbild och utgör ett relevant och viktigt bidrag till fortsatt diskussion om framtida användning av höga 6 GHz-bandet både i Sverige och internationellt.

[10] En intern analys av frekvensbandet 6425–7125 MHz genomfördes år 2021.

2. Framtida användningar och spektrumbehov

I detta kapitel beskrivs framtida spektrumbehov för FS samt för IMT och RLAN på ett övergripande sätt, dels genom att även andra relevanta frekvensband utöver höga 6 GHz-bandet tas med i analysen och dels genom analys i ett längre tidsperspektiv.

Under våren 2024 genomfördes en undersökning om framtida spektrumbehov bland följande svenska aktörer: Teracom, Atea, Cisco, Cygate, H&M, Scania, Stockholm Stad (S:t Erik Kom), Sunet, Telia och Tre. Resultaten av denna undersökning presenteras också.

2.1 Framtida behov av höga 6 GHz-bandet för fast radio

Fast radio - befintlig användning i höga 6 GHz-bandet, för vissa samhällsviktiga funktioner

Höga 6 GHz-bandet används idag, tillsammans med ett nationellt optiskt fibernät, i huvudsak som stamnätsradiolänk mellan utsändningsplatser för FM-radio och marksänd tv. Förutom distribution av FM-radio- och marksänd tv-trafik utgörs trafiken till viss del av kapacitet för mobile backhaul[11] (t.ex. RAKEL). För närvarande finns omkring 1100 radiolänkar (2 sändare per radiolänk), fördelat på cirka 130 olika radiolänksträckor, enskilt tillståndsgivna i Sverige, av vilka majoriteten har tillståndstiden t.o.m. 2027-12-31. Användningen sker i tätort, tätortsnära och i glesbygdsområden. Den enda tillståndshavaren är Teracom AB.

Kapacitet i höga 6 GHz

Kapacitet över en 40 MHz radiokanal är med nuvarande utrustning omkring 320 Mbit/s (1024QAM[12]). I frekvensbandet finns 8 olika radiokanaler vilket tillsammans kan ge en kapacitet på cirka 2,5 Gbit/s. Med polarisationsmultiplexering (XPIC[13]) kan kapaciteten fördubblas till cirka 5 Gbit/s. Användning av spatial multiplexering, så kallad LOS-MIMO[14], kan öka överförbar kapacitet ännu mer. Detta i kombination med ytterligare högre avancerad modulation bör kunna medföra en övre kapacitetsgräns för en punkt-till-punkt radiolänk på 10 Gbit/s i höga 6 GHz bandet.

Användning av låga resp. höga 6 GHz, 7 GHz och 8 GHz

Utveckling av användningen för fast radio i Sverige i frekvensbanden låga 6 GHz och höga 6 GHz, samt frekvensbanden 7 GHz och 8 GHz, vilka också kan användas för radiolänk med långa hopplängder, visas i Figur 1.

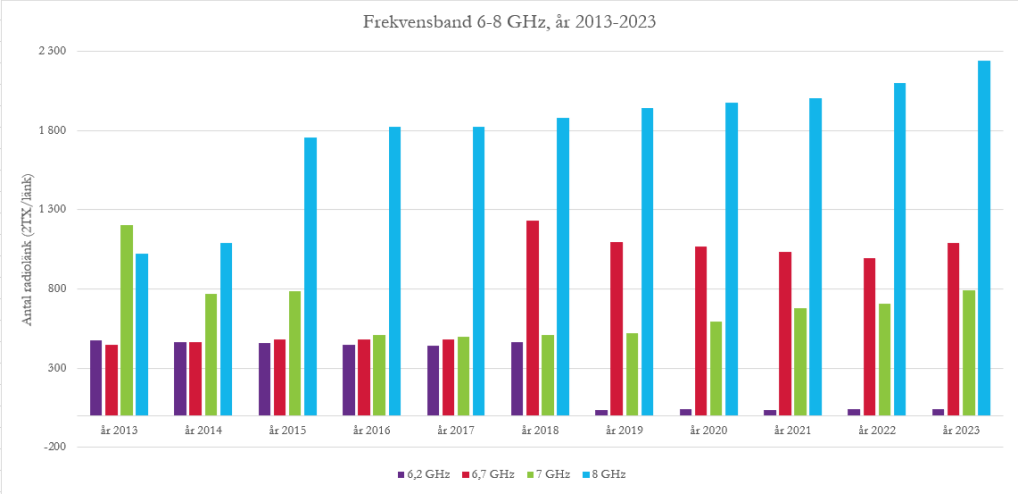
[11] Backhaul - Förbindelsen mellan ett stamnät och det accessnät som abonnenten är direkt ansluten till.

[12] QAM-Quadrature Amplitude Modulation, QAM är ett sätt att modulera radiosignaler så att man kan sända två av varandra oberoende signaler på samma bärvåg (alltså på samma frekvens).

[13] XPIC - Cross-polarization interference cancelling technology

[14] LOS-MIMO - Line-of-sight MIMO

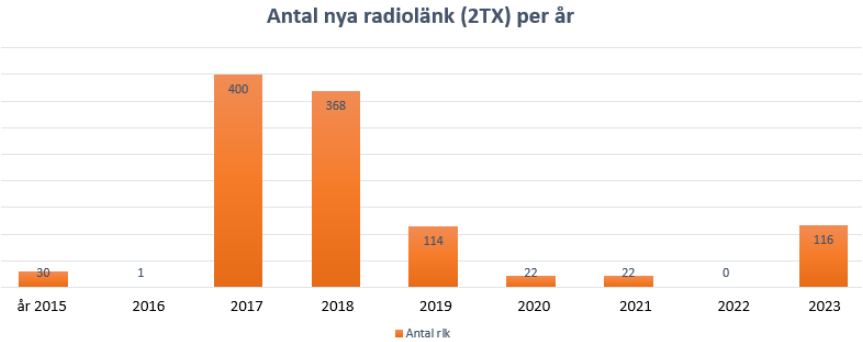
Figur 1. Frekvensanvändning för fast radio i låga 6 GHz-, höga 6 GHz-, 7 GHz- och 8 GHz- banden, rev 2024-02-06



6,2 GHz- (låga 6 GHz) och 6,7 GHz- (höga 6 GHz) banden användes i ungefär lika stor utsträckning fram till år 2018. Därefter har användning i 6,2 GHz minskat kraftigt och är nu på en låg nivå.

Antalet sändare i 6,7 GHz-bandet ökade kraftigt mellan år 2017 och år 2018 i samband med reinvestering och utbyggnad. Mellan år 2018 och år 2019 minskade antalet sändare pga. att äldre utrustning togs ur drift, men under år 2023 ökade användningen och antalet sändare ökade med cirka 230 st., se Figur 2.

Figur 2 Antal nya radiolänk i höga 6 GHz-bandet per år i perioden 2015–2023



Syftet med de nya sändarna som fått tillstånd under år 2023 förefaller vara ombyggnad av nät för att minimera utplacering hos annan mast/stationsägare och istället i än högre grad använda egen infrastruktur. Eventuellt kommer ett motsvarande antal sändare annulleras under år 2024 när ombyggnaden är klar.

Antalet sändare i 7 GHz-bandet har varit förhållandevis konstant över tid, men har ökat de senaste tre åren. Det lägre intresset, jämfört med 8 GHz-bandet, beror troligen på att 7 GHz bandet endast medger två 56 MHz kanaler jämfört med fem 56 MHz kanaler i 8 GHz-bandet.

Antalet sändare i 8 GHz-bandet har fördubblats sedan utbyggnad av mobil 4G (år 2013/2014). Även kanalbandbredden för varje sändare har ökat kraftigt under tidsperioden vilket tillsammans med det ökade antalet sändare resulterat i högt nyttjande av 8 GHz-bandet. Tillgängligt frekvensutrymme i respektive band visas i Tabell 1.

Tabell 1 Frekvensutrymme för fast radio i frekvensband under 10 GHz

Frekvensband (GHz)	Kanalbandbredd (MHz)	Antal kanaler (st)	Frekvensutrymme (MHz)	Andel av totalt frekvensutrymme under 10 GHz
6,2	29,65	8	2x237,2	24%
6,7	40	8	2x320	33%
7	28	5	2x140	14%
8	56	5	2x280	29%

Fortsatt befintlig användning

Användning av traditionell fast punkt-till-punkt radio i låga 6 GHz-bandet antas med nuvarande förutsättningar på sikt vara låg eftersom låga 6 GHz-bandet är harmoniserat för RLAN enligt kommissionens genomförandebeslut av den 17 juni 2021 om harmoniserad användning av radio-spektrum i frekvensbandet 5945–6425 MHz för införande av Wireless Access System med Radio Local Area Network (WAS/RLAN). Terminalerna för RLAN är undantagna från tillståndsplikt i enlighet med PTS föreskrifter om undantag för tillståndsplikt.

Förutsättningarna för delning mellan fast radio och RLAN framgår av CEPT Report 73[15] och CEPT Report 75[16] och kommissionsbeslutet (EU) 2021/1067[17]. Det tekniska annexet i beslutet styr harmoniseringen inom EU, med skilda effektnivåer inomhus respektive utomhus. De tekniska villkoren för delning anses i praktiken av oss (PTS) inte kunna skydda fast radio som använder adaptiva funktioner (ATPC[18], ACM[19]) med höga kapacitets, kvalitets och tillgänglighetskrav (se arbetet inom ECC PT1, SE19, SE45).

PTS noterar ett ökande intresse av låga 6 GHz för fast bredbandsanslutning, t.ex. till arbetsställen och hushåll i geografiska områden som saknar uppkoppling med optisk fiber. Typisk sett är denna FWA[20]-radioutrustning baserad på Wi-Fi[21]-hårdvara, men med eget fleranvändaraccessprotokoll som medger nyttjande av olika trafikklasser och användarprioritet. För denna fasta FWA-användning kan radioplanering och tillståndsvillkor anpassas för delning med RLAN och traditionell punkt-till-punkt radiolänk.

Den befintliga, huvudsakliga tillståndshavaren i höga 6 GHz-bandet har också nationellt tillstånd/blocktillstånd att använda radiosändare i 2,3 GHz bandet till år 2045. Ett radiolänkstamnät i höga 6 GHz-bandet med avbrottsfri reservkraft kan därför även fortsättningsvis vara en viktig komponent för deras verksamhet.

Alternativa frekvensband, 7 GHz och 8 GHz, har redan hög grad av användning av blanda annat mobiloperatörer i befintlig infrastruktur och bedöms inte kunna erbjuda tillräckligt frekvensutrymme,

[15] CEPT Report 73, Report A: Assessment and study of compatibility and coexistence scenarios for WAS/RLANs in the band 5925-6425 MHz. Approved on 6 March 2020 by the ECC

[16] CEPT Report 75, Report B: Harmonised technical parameters for WAS/RLANs operating on a coexistence basis with appropriate mitigation techniques and/or operational compatibility/coexistence conditions, operating on the basis of a general authorisation. Approved on 20 November 2020 by the ECC.

[17] KOMMISSIONENS GENOMFÖRANDEBESLUT (EU) 2021/1067 av den 17 juni 2021 om harmoniserad användning av radiospektrum i frekvensbandet 5 945–6 425 MHz för införande av Wireless Access System med Radio Local Area Network (WAS/RLAN)

[18] ATPC - Automatic Transmit Power Control

[19] ACM -Adaptive Coding and Modulation

[20] FWA - Fixed Wireless Access är en variant av trådlöst bredband, man använder radiolänk för överföring av tal, data och video. FWA kan med fördel användas för bredbandaccess i områden där det på grund av stora avstånd blir kostsamt att dra fiber.

[21] Wi-Fi, Wireless Fidelity – ett system för trådlös datakommunikation i hem och på arbetsplatser. Wi-fi är en märkning för teknisk utrustning som följer standarden 802.11 i någon form, och som är certifierad av branschorganisa-tionen Wi-fi alliance.

särskilt inte till/från ”högmaster” med redan högt lokalt spektrumnyttjande, för att även kunna rymma den befintliga användningen i höga 6 GHz-bandet.

Troligen finns framtida behov för utökning av användning i höga 6 GHz-bandet för att etablera nya radiolänkförbindelser till fibernoder. Ett annat behov kan vara att bygga om befintliga radiolänkförbindelser i nya sträckningar för att möjliggöra etablering av vindkraftsparker.

I diskussion med tillståndshavaren uppgavs att om även höga 6 GHz-bandet behöver delas med RLAN finns risk att det inte går att upprätthålla tillräcklig överföringskvalitet för den transmissionskapacitet som idag uppnås med användning av hög modulation i radiosystemen. En konsekvens för tillståndshavaren kan därför vara ökade kostnader på grund av nyinvestering av radioutrustning i låga 6 GHz-bandet, för att tillsammans med utrustning i höga 6 GHz-bandet och användande av lägre modulationsgrad, upprätthålla motsvarande kapacitet, kvalitet och tillgänglighet som idag.

7 GHz- och 8 GHz-banden används även av mobiloperatörer för radiolänkförbindelser med längre sträcklängd. I de fall frekvensutrymme i 7 GHz- och 8 GHz-banden inte är tillgängligt på grund av lokal spektrumbrist, kan alternativet vara att använda höga 6 GHz-bandet eller bygga fler radiolänkhopp i ännu högre frekvensband (>10 GHz) – men i en annan sträckning. Efterfrågan på användning i 7 GHz- och 8 GHz-banden förväntas öka i samband med utbyggnad av mobil 5G *backhaul*.

I frekvensbanden 7 GHz och 8 GHz medger harmoniserad kanalplan upp till 56 MHz kanalbandbedd, men i samband med utbyggnad av mobil 5G efterfrågas från mobiloperatörer även möjlighet att använda 112 MHz kanalbandbredd, vilket i så fall snabbt ökar ”spektrumbeläggningen” i respektive frekvensband. För en mobiloperatör kan införande av 80 MHz kanalbandbredd i höga 6 GHz vara ett alternativ där användning med 112 MHz kanalbandbredd i 7 GHz- och 8 GHz-banden inte är möjligt.

Det kan finnas efterfrågan på att använda höga 6 GHz-bandet tillsammans med t.ex. 18 GHz i så kallade BCA[22]-lösningar. I detta fall etableras t.ex. en 18 GHz (2+0) radiolänk med 220 MHz kanalbandbredd (med XPIC vilket ger kapacitet ca 4 Gbit/s) med sträcklängd uppemot 20 km. Denna radiolänk kan samverka med en annan radiolänk i ett lägre frekvensband (t.ex. 6 GHz XPIC med kanalbandbredd 80 MHz vilket ger ca 1.5 Gbit/s) och tillsammans möjliggöra hög kapacitet (4 Gbit/s + 1.5 Gbit/s) under normal vågutbredning. Under normal vågutbredning samverkar radiosystemen i de två olika frekvensbanden. Vid onormal vågutbredning, t.ex. kraftigt regn som påverkar högre frekvens eller flervägsutbredning vid lägre frekvens, erbjuder typiskt sett alltid ett av de två radiosystemen sin fulla kapacitet. Även 7 GHz- och/eller 8 GHz-banden kan användas i denna tillämpning, men för dessa frekvensband kan det vara svårare att finna ledigt frekvensutrymme pga. geografiskt spridd befintlig användning med många sträckor hos flera olika tillståndshavare, jämfört med höga 6 GHz-bandet som används av en tillståndshavare på relativt få sträckor.

Användning av radiolänk i de lägre frekvensbanden, 6–8 GHz, finns över hela Sveriges geografiska yta. Frekvensutrymme för längre sträcklängder är särskilt viktigt i glesbygdsområden eftersom tillgång på infrastruktur ofta är sämre utanför tätort och tätortsnära områden (exempelvis svårare att finna lämpliga antennplatser som erbjuder fri sikt).

Betydelsen för samhällsviktig användning (Totalförsvaret)

Enligt inkommen skrivelse från tillståndshavaren (Teracom AB) är fortsatt användning av fast radio i höga 6 GHz-bandet en viktig komponent i deras verksamhet. Det är ur deras synvinkel mycket viktigt med egen rådighet, dvs eget ägande och kontroll och påverkansmöjlighet över alla de delar t.ex. byggnad, mast, avbrottsfri kraft (batteri), reservkraft (dieselaggregat), övervakningscentral, drift- och felavhjälpningspersonal, teknisk utrustning inklusive radiolänksystem som tillsammans utgör den

[22] BCA - Band and Carrier aggregation

funktion i vilket viss trafik med kapacitet upplåts till samhällsviktig användning (Rakel, FM-radio, VMA m.m.)

I det fall höga 6 GHz-bandet inte längre kan användas av fast radio är (rimlig/lång) tid nödvändig för ordnad evakuering av frekvensbandet och migrering av prioriterad trafik till annat transmissionsmedium eller annat nät eller teknisk lösning.

Användande av fast radio i frekvensområdet mellan 6–8 GHz kan vara viktigt för att erbjuda robusthet, till exempel som redundans till fiberoptisk (sjö)kabel från fastland.

Om Public Service och digital tv i UHF bandet (470–694 MHz)

Fast radio användning i höga 6 GHz-bandet är delvis kopplad till användningen av 470–694 MHz för marksänd tv, som beskrivs ovan. Därför är det angeläget att i den här analysen ta hänsyn till fakta och planerna för marksänd tv i Sverige och i Europa.

Marksänd tv i Sverige används i detta frekvensutrymme enligt regeringens beslut om sändningstillstånd. Regeringen beslutar vilket sändningsutrymme som i olika delar av landet får upplåtas för marksänd tv. Regeringens nuvarande beslut om sändningsutrymme för marksänd tv löper ut den 31 december 2025. Public service-företagen (SVT, SR, UR) har sändningstillstånden[23] som beslutas av regeringen och de gäller endast för sändningarna i marknätet. Nuvarande period började den 1 januari 2020 och pågår till den 31 december 2025. Sändningstillstånden innehåller särskilda villkor för public service som till exempel vilken typ av program de ska sända. Enligt villkor för sändningsrätten, allmänna bestämmelser 5 § i beslutet om sändningstillståndet för SVT står det att SVT ska använda digital utsändningsteknik för marksändningar.

Med nuvarande reglering är det möjligt att under en tillståndsperiod lägga till eller ta bort villkor i ett sändningstillstånd, även om det inte uttryckligen framgår av radio- och tv-lagen. Att det finns möjlighet att ändra villkor i sändningstillstånden har ansetts nödvändigt för att public service-företagen inte ska riskera att bli bundna av villkor som på grund av till exempel teknikutvecklingen blivit irrelevanta eller otidsenliga.

I maj 2024 överlämnade ”2023 års parlamentariska public service-kommittén” sitt betänkande ”Ansvar och oberoende – public service i oroliga tider” (SOU 2024:34) till regeringen. Kommitténs uppdrag var att föreslå hur public service-uppdraget ska regleras från och med 2026 och föreslå vad som ska ingå i uppdraget under nästa tillståndsperiod, dvs. 2026–2033.

I betänkandet lämnas förslag till en lag om public service som innehåller bestämmelser om public service-uppdraget och om finansieringen av detta uppdrag. Därutöver lämnas förslag om regeringens beslut om uppdragen – public service-besluten – som kopplas till lagen.

Bland annat föreslår kommittén att villkoren som gäller för innehållet i public service ska vara teknikneutrala och gälla oavsett vilken form innehållet har och hur det distribueras till allmänheten. Vidare föreslås det att Public service-företagens sändningar bör även under kommande tillståndsperiod kunna tas emot av minst 99,8 procent av den fast bosatta befolkningen och att nuvarande krav på antal programtjänster och sändningarnas omfattning ska göras mer flexibla. SR ska samtidigt sända minst två och högst fyra samtidiga programtjänster i hela landet, varav en även ska ha ett regionalt uppdelat innehåll. SVT ska sända SVT1 och SVT2 samt högst två ytterligare programtjänster till hela landet. Den eller de ytterligare programtjänster som SVT väljer att sända, förutom SVT1 och SVT2, ska skilja sig såväl från varandra som från SVT1 och SVT2 med avseende på innehåll eller sändningstider. Gällande innehållsuppdrag föreslås det att kravet på ”att innehållsuppdraget i huvudsak ska uppfyllas i marknätet ska inte längre ställas upp”. Det ska i stället

[23] Tillstånd för Sveriges Television AB att sända tv och sökbar (regeringen.se)

ställas krav på public service-företagen att se till att hela befolkningen har möjlighet att ta del av ett mångsidigt programutbud.

Det föreslås också att det ska ställas upp ett krav på att public service-företagens egna plattformar ska vara prioriterade vid distribution på internet, samt att all distribution på internetplattformar som inte är public service-företagens egna ska föregås av en bedömning av tänkbara konsekvenser och risker. I bedömningen ska särskilt beaktas hur närvaron påverkar kommersiella aktörer på den svenska mediemarknaden.

Det bör inte införas något krav på utbyggnad av SR:s DAB-sändningar (i s.k. VHF-bandet 174–240 MHz). SR och UR bör fortsatt ha möjlighet att bedriva DAB-radiosändningar och själva avgöra om sändningarna ska byggas ut efter ansökan om tillstånd hos regeringen.

Gällande säkerhet vid produktion och distribution föreslår kommittén att nuvarande villkor som gäller säkerhet för produktion och distribution ska göras teknikneutrala och gälla även nästa tillståndsperiod. Det ska ställas krav på SR och SVT att kostnadsfritt 1. sända meddelanden enligt lagen om viktigt meddelande till allmänheten i ljudradio respektive tv, och 2. på andra sätt sända sådana meddelanden, samt 3. om en myndighet begär det, sända andra meddelanden som är av vikt för allmänheten i ljudradio respektive tv.

Den 17 maj 2017 togs Europaparlamentets och Rådets beslut (EU) 2017/899[24] om användningen av frekvensbandet 470–790 MHz i unionen. Enligt Artikel 4 av det beslutet ska ”medlemsstaterna säkerställa att frekvensbandet 470–694 MHz, åtminstone till och med 2030, är tillgängligt för markbundet tillhandahållande av rundradiotjänster, inklusive okodad television, och för användning av trådlös PMSE utrustning för ljudöverföring, baserat på de nationella behoven med beaktande av principen om teknikneutralitet. Medlemsstaterna ska se till att varje annan användning av frekvensbandet 470–694 MHz på deras territorium är förenlig med de nationella rundradiobehoven i den berörda medlemsstaten och inte orsakar skadlig störning för eller kräver skydd från det markbundna tillhandahållandet av rundradiotjänster i angränsande medlemsstater. Sådan användning får inte påverka de skyldigheter som följer av internationella överenskommelser och unionsrätten, såsom gränsöverskridande frekvenskoordineringsavtal.” Det betyder att en förändring av användning i 470–694 MHz i ett EU-land före 2030 är möjlig men den kan i praktiken endast ha en ”sekundär” status, begränsad av rundradioanvändning i grannländerna som har ”primär” status fram tom år 2030.

Under WRC-23-studieperioden gjordes en översyn av användning och behov av frekvenserna i 470–960 MHz-bandet i ITU-R Region 1. Ett stort antal olika förslag på regulatoriska åtgärder i 470–694 MHz-bandet togs också fram då. WRC-23 förhandlade fram en kompromisslösning i form av en sekundär fotnotsallokering av 470–694 MHz-bandet för mobila tjänster, utan IMT-identifiering, för de flesta europeiska länder, inklusive Sverige[25]. WRC-23 beslutade också om att ha detta band på agendan för WRC-31, för uppdaterade studier av spektrumbehov- och användning och en ny översyn. Det innebär att en väsentlig förändring av regulatoriska förutsättningar inom ITU-R Region 1 för det här frekvensbandet inte ska kunna ske före år 2031.

Sammanfattningsvis kan man konstatera att en förändring av användningen av 470–694 MHz-bandet i Sverige är möjlig men det är mycket svårt och komplicerat att genomföra den innan år 2030 med tanke på de begränsade rättigheterna för annan användning som är givna av beslutet (EU) 2017/899 och ovan nämnda beslut från WRC-23.

---

[24] EUROPAPARLAMENTETS OCH RÅDETS BESLUT (EU) 2017/ 899 - av den 17 maj 2017 - om användningen av frekvensbandet 470–790 MHz i unionen

[25] WRC-23 Final Acts, Articel 5, FN 5.295A

Vad säger svenska intressenter?

I enkätundersökningen våren 2024 uppgav Teracom att det finns ett fortsatt och även utökat behov av höga 6 GHz-bandet för fast radio, dels för distribution av marksänd radio och tv, och dels för en annan samhällsviktig användning för vilken inga detaljer kunde ges till PTS då.

Under år 2024 påannonserades dock viktiga förändringar i marknätet från och med år 2025.

I augusti 2024 gick Mediemyndigheten ut med följande nyhet:

> ”Boxer kommer - efter den 31 december 2024 - inte längre distribuera betal-TV-kanaler via marknätet.
>
> *I marknätet sänds vissa tv-kanaler ut utan kostnad, de kallas för fri-tv-kanaler. Det gäller SVT1, SVT2, Kunskapskanalen, SVT24, SVT Barn, TV Finland och TV4.*
>
> *Boxer är betal-tv-operatör i marknätet. Boxer kommer nu att byta ut programkorten för betal-TV-kanalerna till annan hårdvara vilket betyder att kunder inte kommer kunna se betal-TV-kanaler i marknätet efter årsskiftet. Fri-tv-kanalerna kan ses utan kostnad eller abonnemang. Det är Teracom som distribuerar fri-tv-sändningarna”.*

I november 2024 informerade Teracom tittare på marksänd tv om kommande förändringar i marknätet:

> *”Från kl. 10.00 Torsdagen den 2 januari 2025 upphör Teracom att sända betal-TV-kanalerna som ingår i Boxers utbud. Detta innebär att dessa kanaler inte längre kommer att vara tillgängliga via en vanlig TV-antenn.*
>
> *SVT:s fyra kanaler, TV4 och TV Finland påverkas inte. Dessa kanaler kan fortsatt ses med en vanlig tak- eller bordsantenn som är ansluten till en TV-apparat eller en tv-box.”*

Även efter årsskiftet 2024/2025 kommer distribution av fri-tv-kanaler ske över radiolänk i 6 GHz-bandet, tillsammans med ljudradio och andra samhällsviktiga tjänster. Bedömningen är därför att avveckling av Boxers betal-TV kanaler i DTTV-marknätet inte har en avgörande betydelse för det kvarvarande kapacitetsbehovet i Teracoms radiolänknät i 6 GHz-bandet.

Preliminär bedömning

Det finns idag ingen fullgod ersättning i annat frekvensband för nuvarande användning/ frekvensutrymme i höga 6 GHz-bandet för fast radio.

Ett alternativ är att återgå till låga 6 GHz-bandet. Det bandet delas med WAS/RLAN undantagen från tillståndsplikt sedan år 2021 och fast radio-användning i detta band får inte samma skydd från störning som tidigare. Det minskade skyddet från störning kan få som konsekvens att fast radio inte kan använda hög modulation och kapacitet över långa sträckor med tillräcklig överföringskvalitet.

Andra alternativa band, 7 GHz- och 8 GHz-banden, har redan idag hög nyttjandegrad, som förväntas fortsätta att öka i samband med utbyggnad av mobil 5G backhaul. En eventuellt flytt till ännu högre frekvenser innebära flera radiolänkhopp, ökade kostnader och försämrad tillgänglighet och robusthet.

Ett annat möjligt alternativ är optisk fiber som byggs ut i glesbygden, men det bedöms inte vara en passande lösning för en operatör som högst troligt vill ha sin helt egna infrastruktur.

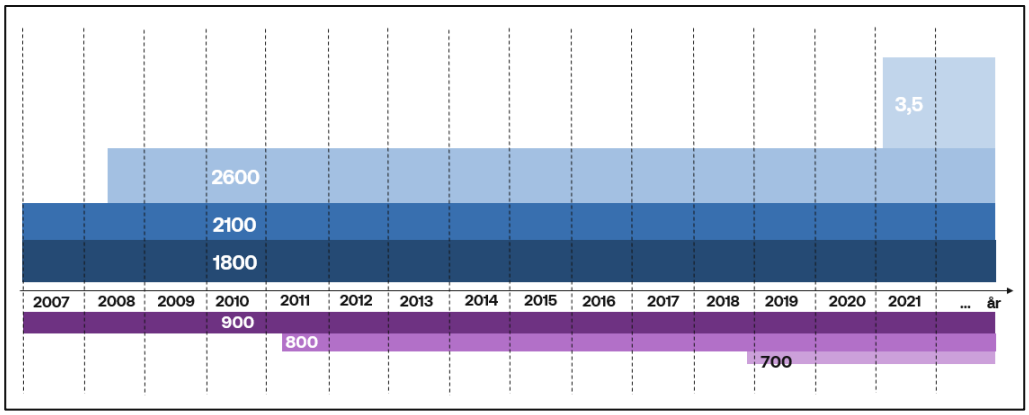
2.2 Framtida behov av höga 6 GHz-bandet för IMT

Behovet av att möjliggöra IMT i höga 6 GHz-bandet är en fråga som kan analyseras dels genom en tillbakablick på hur spektrum för IMT har tagits i bruk historiskt och dels genom en överblick av den sammanlagda spektrumanvändningen för IMT i Sverige, för att med utgångspunkt i detta följaktligen göra en prognos om kommande spektrumbehov.

Befintlig frekvensmängd för IMT

Här nedan visas en illustration av frekvensmängder som tillfördes IMT i Sverige från år 2007 fram till idag, se Figur 3.

Figur 3 IMT frekvenstillförsel i Sverige över tid



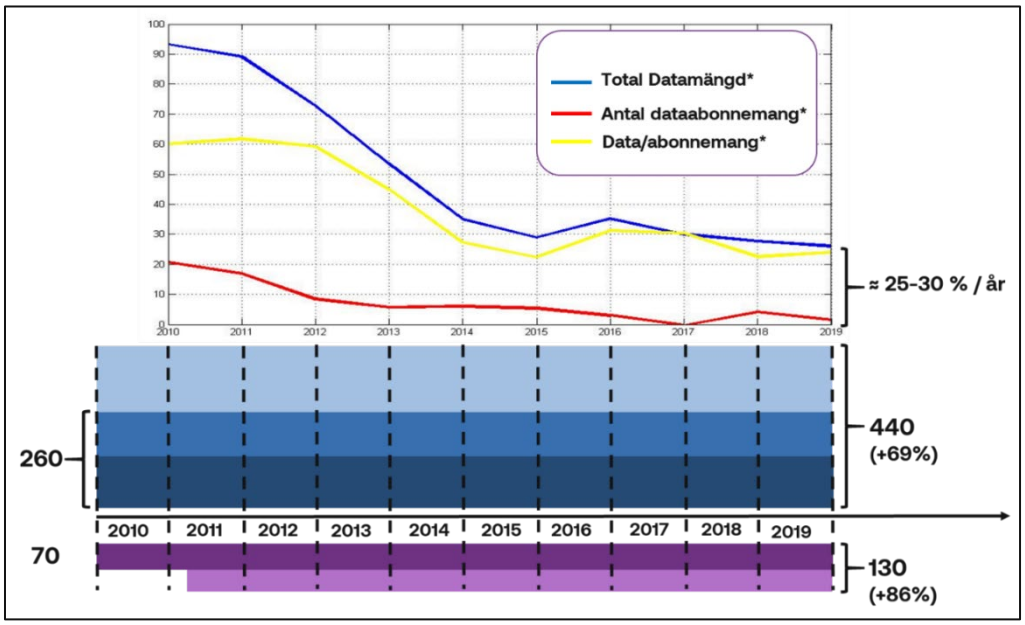
I jämförelsen ovan ingår inte 2,3 GHz-bandet eftersom detta frekvensband inte nyttjas av de traditionella mobiloperatörerna i Sverige.

Det kan konstateras att tillförsel av nytt spektrum för IMT har skett kontinuerligt, vilket har lett till att någon frekvensbrist för IMT i Sverige över tid inte har skett. Frekvensbrist i sig kan inte heller ses som främsta och enda motivering till den kontinuerliga tillförseln av nya frekvenser till IMT-användning i Sverige. Ett exempel är den tilldelningen av 2,3 GHz- och 3,5 GHz bandet år 2021 som genomfördes till följd av politiska beslut på EU-nivå och inte till följd av en konstaterad frekvensbrist.

Spektrumbehov vs. Datakapacitetsbehov under 4G cykeln åren 2010 till 2019

Utifrån uppgifter från Svensk telekommarknad 2023 illustreras datatillväxten under 4G-cykeln (2010 till 2019) i Figur 4.

Figur 4 Datatillväxt i procent per år i näten under 4G-cykeln åren 2010 till 2019

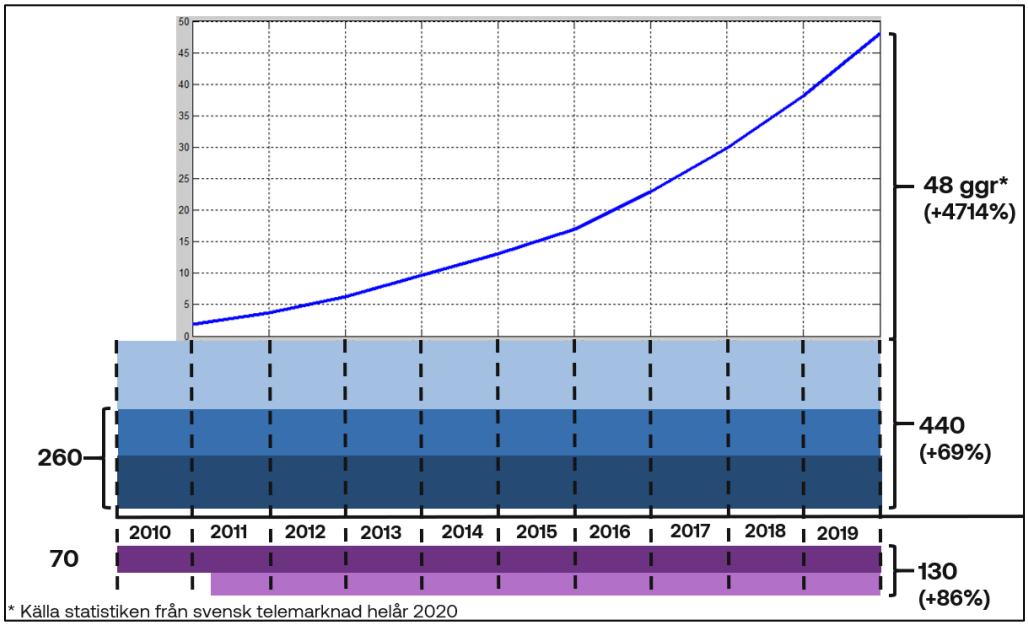


Källa: Svensk telekommarknad och PTS frekvenstillstånd

I början av den här perioden var tillväxten extremt hög och drevs av en kombination av hög datatillväxt per abonnemang och tillväxt av antalet dataabonnemang. Sedan började tillväxten i datamängd tydligt avta och likaså tillväxten för antalet dataabonnemang. Detta gjorde att ökningstakten av den totala datamängden per år, i slutet av perioden, hade sjunkit till 25–30 procent (se Figur 4 ovan). De blåa och lila fälten kommer från Figur 3 där det går att läsa vilka olika frekvensband som de olika nyanserna av blått respektive lila symboliserar och när banden tilldelats.

Det är dock mer illustrativt att fokusera på hur den levererade datamängden från mobilnäten ökat över tid och diskutera hur man har kunnat hantera denna ökning i mobilnäten. I Figur 5 visas hur mycket trafik som mobilnäten hanterat per år jämfört med den datamängd som nätet hanterade helåret 2009.

Figur 5 Datatillväxt i gånger under 4G-cykeln, jämförelse år 2009



Helåret 2019 hanterade mobilnäten ca 48 ggr så mycket trafik som 2009, vilket är en ökning med 4 714 procent. Om man jämför denna ökning med den tillförda frekvensmängden under samma tidsperiod så var den för mellanhöga frekvensband (1800–2600 MHz) +69 procent och för låga frekvensband +86 procent vilket är en faktor 1/68 och 1/54 av datatillväxten om 4 714 procent. Man kan därmed enkelt dra slutsatsen att majoriteten av behov av att möjliggöra datatillväxten hanterats på andra sätt, än att bara ta mer och nytt frekvensutrymme i bruk.

I realiteten handlade detta om en kombination av olika faktorer: teknikuppgraderingar i befintligt frekvensutrymme (övergång från 2G/3G till 4G i redan tilldelade frekvensband), viss förtätning och tillgång till nytt helt oanvänt frekvensutrymme.

Det blir därför intressant att studera noggrannare hur dessa olika delkomponenter har använts för att bidra till den exceptionella kapacitetsökningen i mobilnäten.

För att fördjupa oss i denna diskussion börjar vi med att titta närmare på den faktiska användningen av frekvensbanden år 2009 (referensåret) och år 2019.

Frekvenstillgången år 2009 bestod av frekvensutrymme i 900 MHz- och 1800 MHz- banden samt i 2,1 GHz- och 2,6 GHz-banden. 900 MHz- och 1800 MHz-banden användes för 2G/GSM medan 2,1 GHz-bandet användes för 3G/UMTS. Även om 2,6 GHz-bandet tilldelades redan i maj 2008 så fanns det i praktiken ingen användning i bandet under år 2009. Först i december 2009 drog Telia igång det första 4G/LTE nätet i Sverige. Detta gör att trafikbidraget för helåret 2009 kan antas varit försumbart och att det bandet kan anses varit oanvänt för denna jämförelse.

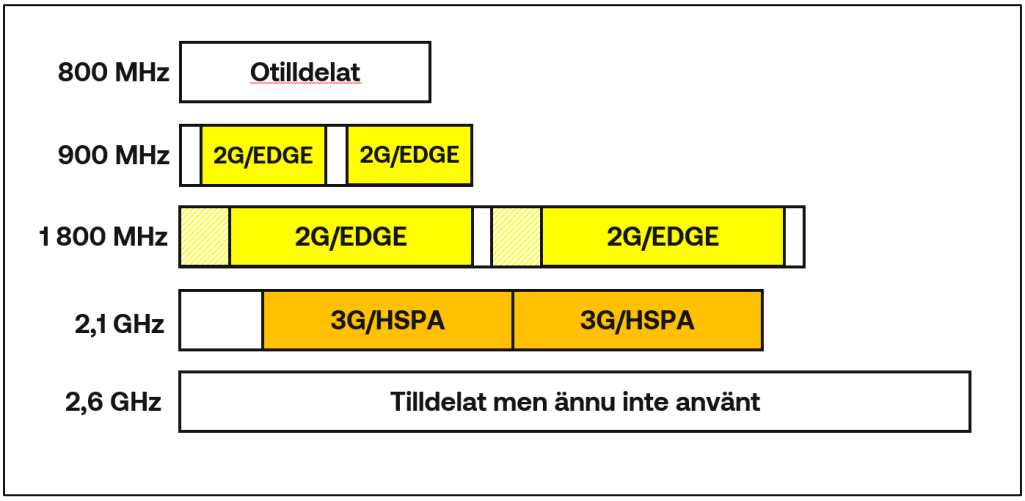
Eftersom detta är en analys om eventuell frekvensbrist så kommer resonemangen fokusera på situationen i de mest tätbefolkade områdena i Sverige, där datakonsumtionen per km^2 är som högst och mobilnäten därför normalt använder störst frekvensmängd.

800 MHz-bandet tilldelades först under år 2011 så inte heller detta band stod för något bidrag till dataöverföringen år 2009.

900 MHz-bandets tilldelning innebar en utökning av frekvensutrymmet. Även om överlåtelse till Tre var klar innan år 2009, så började den nya frekvenstilldelningen gälla i maj 2011. Följaktligen hade mobiloperatörerna under år 2009 endast tillgång till 2x30 av de 2x35 MHz i 900 MHz-bandet.

Samtliga tillståndshavare använde vid denna tidpunkt 900 MHz-bandet uteslutande för 2G i form av GSM med förhöjd datafunktionalitet via EDGE. Användningen år 2009 illustreras i Figur 6 nedan.

Figur 6. Användning av frekvensband under 2009



År 2009 var tillstånden i 1800 MHz-bandet fortfarande teknikbegränsade till 2G. Av de totalt 2x75 MHz som finns tillgängliga i bandet så hade 2x12 MHz en begränsning till lågeffektsanvändning inomhus, medan 2x53,4 MHz kunde användas för högeffekts makronät utomhus och 2x4,6 MHz var otilldelat. För jämförelsen är det därför lämpligt att beskriva användningen som 2x53,4 MHz, där tillståndshavarna använde frekvensmängden för 2G i form av GSM med förhöjd datafunktionalitet via EDGE.

I 2,1 GHz-bandet hade mobiloperatörerna tillgång till totalt 2x60 MHz FDD samt 15 MHz TDD. Av dessa användes inte TDD delarna av tillstånden. Däremot så användes hela frekvensinnehavet i FDD delen av bandet i storstadsmiljö, främst för att producera datatjänster via 3G i form av HSPA.

Sammanfattningsvis kan man konstatera att majoriteten av datatrafiken i storstadsmiljö vid denna tidpunkt producerades via 3G/HSPA näten i 2,1 GHz bandet, i de 2x60 MHz som användes i detta band. Det är ändå viktigt att tänka på att en majoritet av taltrafiken (63 %) fortfarande hanterades av GSM näten, varför man måste ta med även 2G-användningen i beräkningen av för mobiltjänsterna använt frekvensutrymme.

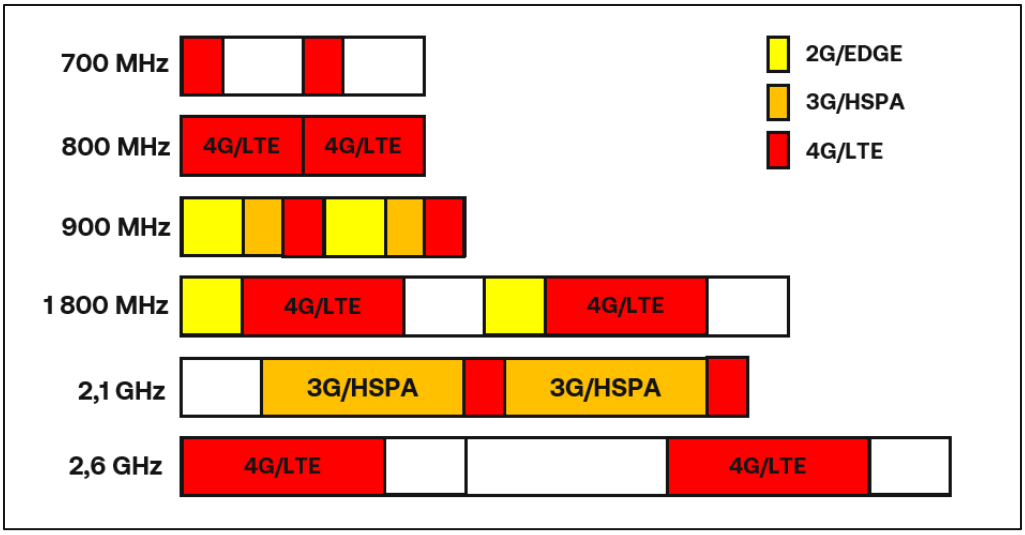
En rimlig beskrivning av mobilnäts användningen i storstadsmiljö år 2009 bör därmed bli:

- Majoriteten av datatrafiken hanterades via 120 MHz i 3G/HSPD näten i 2,1 GHz bandet.
- Majoriteten av taltrafiken (nära 2/3) hanterades via 166,8 MHz i 2G-näten i 900 MHz- och 1800 MHz-banden.

Man kan även notera att taltrafiken omräknat till datovolym stod för ca 1/5 av den totala datavolymen detta år.

Användningen år 2019 illustreras i Figur 7.

Figur 7 Användning av frekvensband under år 2019



Till år 2019 hade ett antal ny och omtilldelningar skett som både tillfört mer frekvensutrymme men också till viss del omfördelat och till viss del förändrat förutsättningarna att använda frekvensutrymmet i framförallt 1800 MHz bandet.

I 700 MHz-bandet hade 2x20 MHz tilldelats, i 800 MHz-bandet hade 2x30 MHz tilldelats, i 1800 MHz-bandet hade två auktioner hållits, i samband med detta togs även begränsningen till lågeffektsanvändning inomhus bort. 2x4,9 MHz avsattes även för lågeffektsanvändning inomhus med undantag från tillståndsplikt.

År 2019 var alla tillstånden fullt teknikneutrala vilket gjort att samtliga operatörer börjat migrera till nyare teknologier i delar av de frekvensband som tidigare använts för 2G och 3G. Samtidigt kan man i den data som inrapporterats till PTS se att allt tilldelat frekvensutrymme inte användes, om vi bortser från 2,1 GHz TDD och räknar 2,6 GHz TDD som 40 MHz så saknades användning i totalt 130 av de 620 MHz (21 procent) som var tilldelade.

Om man sammanställer informationen för åren 2009 och 2019 i en jämförande tabell får man följande resultat. Tabell 2 återger endast frekvensmängden som används för att producera kapacitet i nedlänk. Detta eftersom majoriteten av trafiken går i nedlänk och den blir därför begränsande för kapacitetsproduktionen i storstadsområden.

Tabell 2 Jämförande tabell för åren 2009 och 2019

Frekvensmängd (MHz)	2009	2019
2G/EDGE	53,4	30
3G/UMTS	60	60
4G/LTE	-	150

Om vi ska beräkna effekten av den ökade frekvensanvändningen behöver vi göra vissa antaganden. År 2009 stod taltrafiken för ca 1/5 av lasten i nätet medan datatrafiken stod för 4/5. År 2019 när datatrafiken i näten var totalt 48 ggr så hög kan man anta att taltrafikens andel var försumbar.

För att underlätta jämförelsen antar vi för år 2009 att 100 procent av datatrafiken går i 3G-näten och för modelleringen att 100 procent av taltrafiken gick i 2G nätet. Medan datatrafiken år 2019 antas gå i 3G- och 4G-näten. Även om 48 procent av taltrafiken år 2019 gick via VoLTE kan denna anses utgöra en försumbar andel av lasten i 4G nätet vid denna tidpunkt på samma sätt som för år 2009 antar vi att resterande taltrafik går i 2G nätet (i realiteten gick både tal- och datatrafik fortfarande i både 2G- och 3G-näten).

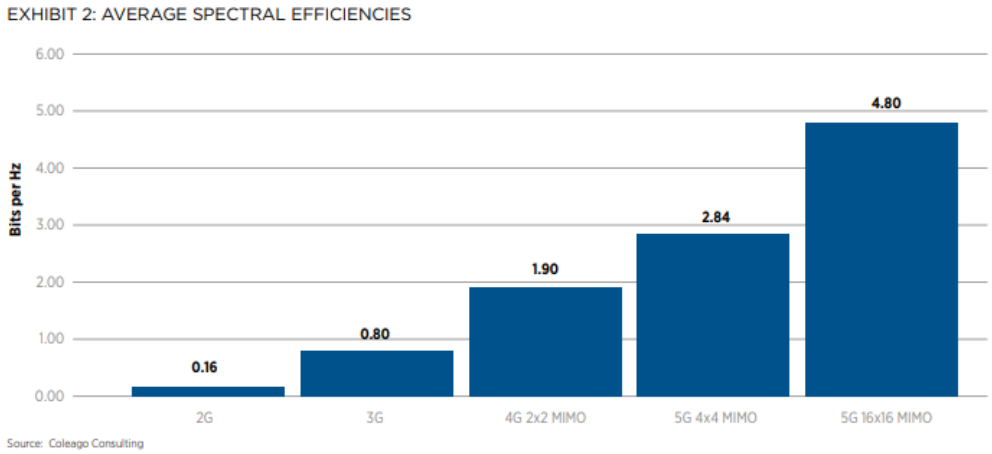
För datatrafiken blir då jämförelsen som följande:

- År 2009: Datavolymen hanteras med 60 MHz 3G/HSPA.
- År 2019: Datavolymen hanteras med 60 MHz 3G/HSPA och 150 MHz 4G/LTE.

Man kan anta att man år 2009 i tätbefolkade områden hade relativt uppdaterade 3G-nät, effektivitetsökningen i form av bit/Hz i 3G näten fram till år 2019 antas därför vara försumbar. Detta gör att den frekvensmängd som användes för 3G borde kunna producera samma kapacitet (om man inte tar hänsyn till ev. förtätning) vid bägge årtalen.

Hur mycket mer kapacitet bör då de 150 MHz som tagits i bruk för 4G/LTE kunna ge? För att göra denna beräkning måste man göra antaganden om kapaciteten i form av spektraleffektivitet i genomsnitt bit/Hz för 3G och 4G. I Figur 8 visas ett estimat som tagits fram av Colegio consulting och har använts i ett flertal av de rapporter man utvecklat för GSMA. Man bör notera att denna typ av snitt är starkt beroende av antaganden om hur nätet och den fysiska miljön som nätet arbetar i ser ut, andra siffror presenteras därför i andra källor.

Figur 8 Spektraleffektivitet för olika mobil tekniker



Siffran 1,90 för 4G/LTE som presenteras ovan anges för 2x2 MIMO. Detta är dock en relevant siffra i ett svenskt sammanhang då mobilnäten i Sverige 2019 framförallt använde 2x2 MIMO, även i mellanhöga frekvensband (1800 MHz, 2,1 och 2,6 GHz). Detta på grund av att man inte uppgraderat de svenska näten för att stödja 4x4 MIMO i mellanhöga frekvensband där detta var en option i standarden.

Detta ger att 4G/LTE kan antas kunna producera 1,9/0,8 = 2,375 ggr mer kapacitet inom samma frekvensutrymme jämfört med 3G.

De 150 MHz för 4G borde därmed kunna producera 150*2,375/60 = 6 ggr mer kapacitet än 3G-nätet kan göra i 60 MHz. Den totala kapaciteten 2019 borde med dessa antagandena vara 1+6 = 7ggr så hög kapacitet som i 3G-nätet år 2009.

Så via ibruktagande av modernare teknik i mer frekvensutrymme borde man kunnat hantera ca 7 ggr så mycket kapacitet, dock säger statistiken att man 2019 hanterade 48 ggr så hög kapacitet. Det fattas alltså ungefär en faktor 7 ggr för att nå upp i 48 ggr.

Det finns då två andra enkla förklaringar till hur detta kunnat uppnås:

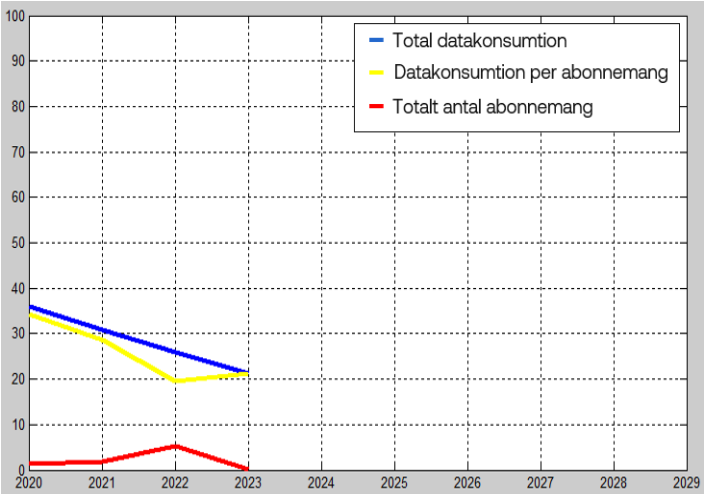
1: Man har kraftigt förtätat nätet i storstadsmiljö under perioden 2009 till 2019.

2: Näten gick år 2009 med stor överkapacitet medan de år 2019 gick nära kapacitetsgränsen.

Spektrumbehov vs. Datakapacitetsbehov under 5G cykeln åren 2020 till 2029

Denna rapport skrivs år 2024 vilket gör att vi redan vet utfallet för ökningen i förbrukad datamängd för de fyra första åren (2020–2023) av 5G-cykeln, vilket visas i Figur 9. Man kan se att den avtagande ökningstakten gällande datakonsumtion per år fortsätter under dessa år. År 2023 var ökningstakten ”endast” 21 procent. Man kan även se att det varit en uppgång i antalet abonnemang med en topp under år 2022. Denna uppgång har främst drivits av ökad försäljning av FWA-abonnemang.

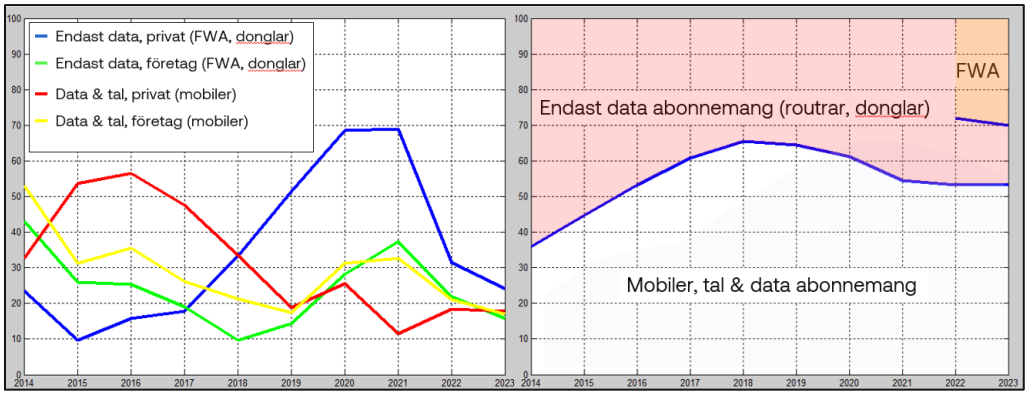
Figur 9 Datatillväxt i procent per år i näten de första åren av 5G-cykeln



Figur 10 nedan visar ökningstakten per år för ett antal delområden på marknaden och man kan här se att olika tillämpningar/användningar har drivit tillväxten under olika år.

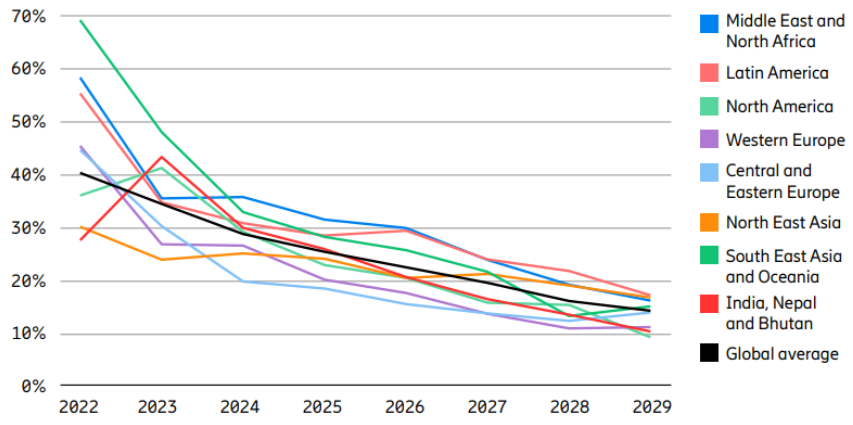
Under perioden 2014–2018 drevs tillväxten av den kraftigt ökande användningen av datatjänster på privata mobiltelefoner. Därefter kom en period då tillväxten främst drevs av datatillväxt för rena dataabonnemang. Den senare perioden sammanfaller med en period då många av operatörerna aktivt marknadsfört FWA-abonnemang. Det är viktigt att notera att olika användare/tillämpningar på detta sätt kunde påverka den totala ökningstakten per år, under förutsättning att användningen är tillräckligt omfattande för att kunna ha verkan på den totala levererade datamängden per år.

Figur 10 Datatillväxt i procent per år och andel av totalen för olika kundkategorier



För att kunna prata om hela perioden 2020–2029 så måste en eller flera prognoser av den framtida ökningstakten användas. I Ericssons Mobility report publicerad i november 2023 visas prognoser för den årliga datatillväxten för ett antal olika geografiska regioner, se Figur 11 nedan. För Västeuropa som Sverige tillhör prognostiseras en avtagande tillväxttakt som går från ca 28 procent 2023 fallandes till ca 11 procent under 2028/2029. För prognosen bör man notera två saker, 1) tillväxttakten på 22 procent i Sverige ligger redan under Ericssons prognos för 2023, 2) Ericsson har historiskt alltid överskattat tillväxttakten i sina prognoser.

Figur 11 Datatillväxt i procent per år



Källa: Ericsson Mobility report

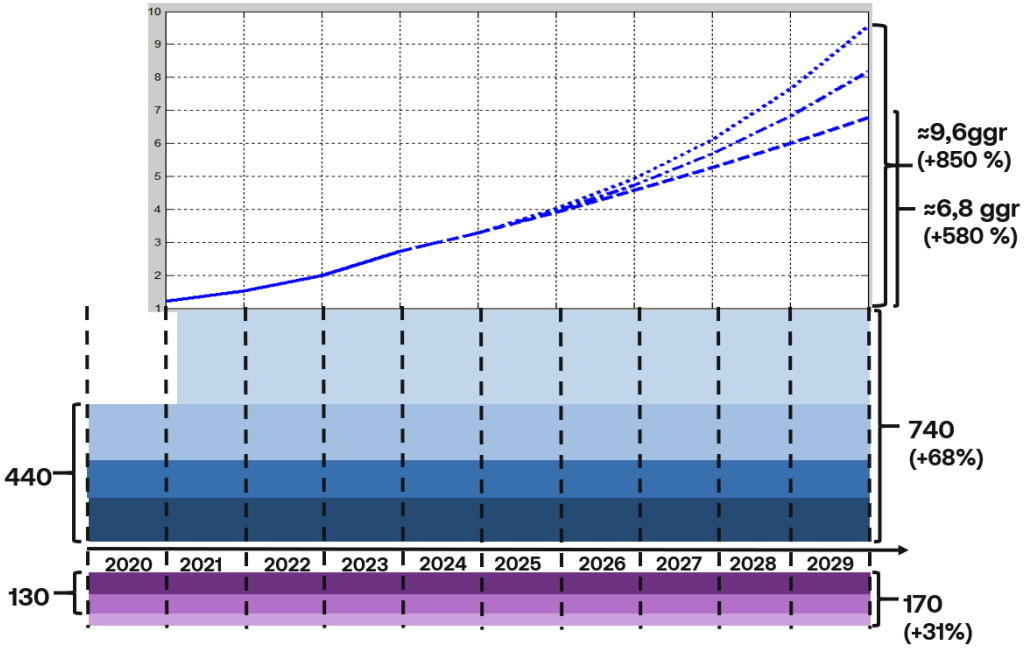
Ericssons prognos fokuserar på mobilanvändningen och inkluderar även en förväntad datakonsumtionsökning relaterat till AR/VR/XR, men man noterar att det finns en uppsida i det fall användandet skulle ta fart snabbare än förväntat. Det samma gäller om det skulle tillkomma nya användare som generera en datavolym som påverkar totalen, man bör då tänka på att antalet användare och konsumtionen per användare måste vara hög för att ha en påverkan på den totala datakonsumtionsökningen. Ett exempel vore om FWA användningen skulle börja få en större marknadsandel än förväntat på fastnätsmarknaden.

För att kunna diskutera olika utfall presenteras utfall för tre olika prognoser som alla utgår från utfallet 2020–2023.

1. Bas: med start på 21 procent 2023 så antas ökningstakten falla 2 procentenheter per år 2024–2026 och 1 procentenhet 2027–2029 för att nå 12 procent 2029, man kan notera att denna prognos ligger under Ericssons Västeuropa prognos i början av perioden och över för de sista åren.
2. Tillväxt: med start på 21 procent 2023 så antas ökningstakten falla till 20 procent 2024 för att stanna på denna nivå fram till 2029. Denna prognos får anses bygga på att tillväxten blir högre än förväntat, t.ex. på grund av en högre tillväxt för FWA i början av perioden följt av kraftig tillväxt för nya användningar under den senare delen av perioden.
3. Tillväxt+: med start på 21 procent 2023 så antas ökningstakten öka 1 procentenhet per år 2024–2027 och sedan stanna på 25 procent 2028–2029. Denna prognos får anses bygga på att tillväxten blir avsevärt högre än förväntat, t.ex. på grund av en kraftig tillväxt för FWA i början av perioden följt av mycket kraftig tillväxt för nya användningar under den senare delen av perioden.

Genom att kombinera det kända utfallet fram till år 2023 med de tre prognoserna fram till år 2029 så får vi en utfallsrymd för ökning i levererad datamängd per år som redovisas i Figur 12.

Figur 12 Datatillväxt i gånger under 5G-cykeln, jämförelse år 2019, utfall och prognos

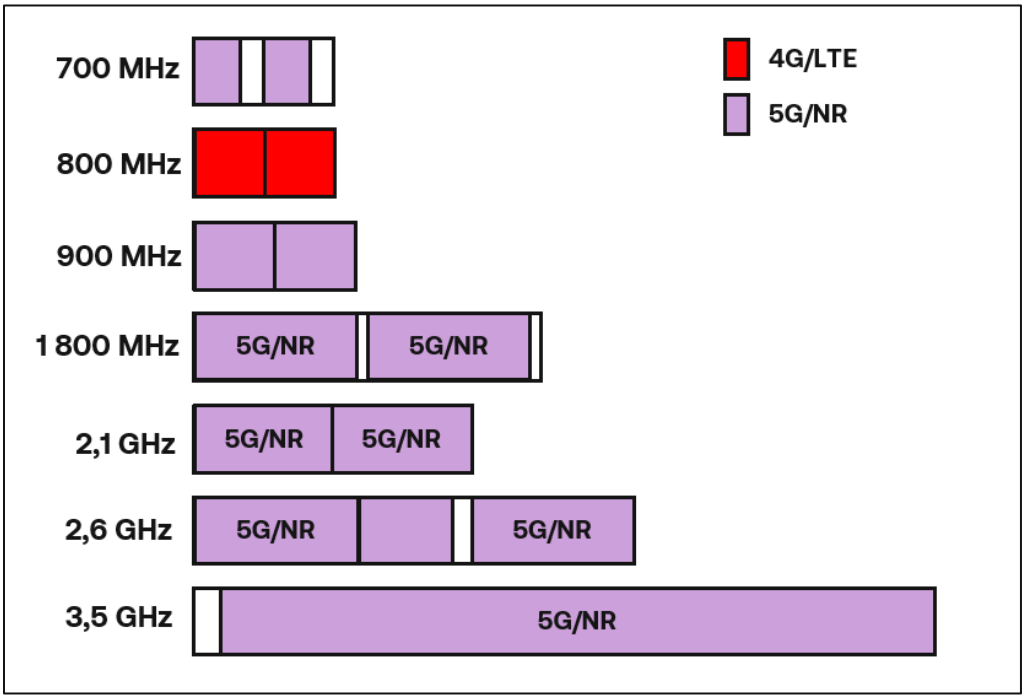


- Utfallet för 'bas'-fallet under 5G cykeln skulle enligt detta bli att mobilnäten skulle leverera en datamängd som är 6,8 ggr den som levererades av mobilnäten år 2019.
- Utfallet för 'tillväxt'-fallet under 5G cykeln skulle enligt detta bli att mobilnäten skulle leverera en datamängd som är 8,2 ggr den som levererades av mobilnäten år 2019.
- Utfallet för 'tillväxt+'-fallet under 5G cykeln skulle enligt detta bli att mobilnäten skulle leverera en datamängd som är 9,6 ggr den som levererades av mobilnäten år 2019.

Första frågan blir då om detta bör gå att hantera med den frekvensmängd som redan finns tilldelad.

År 2029 antas 2G och 3G näten vara fullt avvecklade. Vidare så bör majoriteten av 4G trafiken ha migrerats till 5G. För att fortfarande kunna stödja 4G baserade IoT/M2M användare antas vardera av de tre nätägarna använda 2x10 MHz i ett lågt frekvensband, i Figur 13 illustrerat med att 800 MHz-bandet fortfarande används för 4G. Vidare antas de 2x10 MHz i 700 MHz-bandet som undanhållits för ett framtida Rakel2/PPDR nät tilldelats för denna tillämpning och antas inte att användas av mobiloperatörerna. Vi antar även att 40 MHz av det 50 MHz breda TDD delbandet i 2,6 GHz-bandet kan användas effektivt. På samma sätt antas 300 MHz av de 320 MHz som tilldelats i 3,5 GHz-bandet kunna användas effektivt i mobilnäten. Om allt frekvensutrymme som finns tilldelat till mobiloperatörerna används så skulle det ge den presumtiva frekvensanvändningen för år 2029 som visas i Figur 13.

Figur 13 Antagen användning av frekvensband 2029



Vidare kan man notera att de 15 MHz TDD som tidigare funnits i 2,1 GHz-bandet nu inte räknas in i frekvensmängden för mobiloperatörernas användning. Samt att 2x5 MHz i 1800 MHz-bandet fortsatt antagits användas under undantag från tillståndsplikt med låg effekt och inte användas för de publika mobilnäten.

Baserat på detta kan man ta fram en ny jämförelsetabell mellan frekvensanvändningen för åren 2019 och 2029. I Tabell 3 har 2G användningen tagits bort då denna redan år 2019 kunde anses försumbar. Man bör även notera att för användningen av TDD-banden (2,6 GHz TDD delband och 3,5 GHz-banden), antas en 3:1 tidfördelning mellan ned- och upplänk vilket, för beräkningen, gör att 75 procent av TDD frekvensutrymmet antas användas för nedlänk.

Tabell 3 Jämförande tabell för åren 2019 och 2029

Frekvensmängd (MHz)	2019	2029
3G/UMTS	60	-
4G/LTE	150	30
5G/NR	-	510

På denna frekvensmängd kan man sedan applicera de spektrumeffektivitets siffror från Colegio Consulting som angavs i Figur 8. För att kunna använda dessa fullt ut behöver de dock kompletteras med en siffra för 5G i låga frekvensband där man använder 2x2 MIMO. 5G har ca 10 procent högre spektrumeffektivitet jämfört med 4G vilket skulle ge 2,1 bit/Hz. Vidare antas basstationerna i 1800 MHz-, 2,1 GHz- och 2,6 GHz-banden använda 5G med 4x4 MIMO. Totalt ger detta följande spektrumeffektivitets antaganden för frekvensutrymmet som används för nedlänk i mobilnäten 2029:

- 4G i 800 MHz bandet = 1,9 bit/Hz
- 5G i 700 och 900 MHz banden = 2,1 bit/Hz
- 5G i 1800 MHz, 2,1 och 2,6 GHz banden = 2,84 bit/Hz
- 5G i 3,5 GHz bandet = 4,8 bit/Hz

Om man multiplicerar dessa med respektive frekvensmängd och jämför det med siffran för nätet år 2019 kommer man fram till att ett nät med denna konfiguration med samma basstationstäthet bör kunna hantera 5,7 ggr mer trafik. Detta kan dock vara lågt räknat.

Om man jämför detta med de tre prognosfallen för år 2029, räcker inte detta till för att hantera ökningen ens i det lägsta 'Bas'-fallet. Det fattas för de olika prognosfallen:

- Bas: 6,8/5,7 = 1,2 ggr
- Tillväxt: 8,2/5,7 = 1,4 ggr
- Tillväxt+: 9,6/5,7 = 1,7 ggr

För att hantera kapacitetsskillnaden skulle man alltså behöva öka kapaciteten i mobilnäten med 20, 40 eller 70 procent utöver den nuvarande uppgraderingen fram till år 2029. Det finns ett antal verktyg som skulle kunna användas för att producera denna extra kapacitet: förtätning av makronätet i befintliga frekvensband, avlastning av utomhusnäten till 5G inomhusnät i byggnader och utbyggnad av ny kapacitet och täckning via nya tillstånd i 26 GHz-bandet.

Man kan även notera att den breda nätuppgraderingen inte startade förrän efter 3,5 GHz auktionen som slutfördes i början av 2021 och att de 5G nät som fanns på plats helåret 2021 förmedlade endast 0,1 procent av datatrafiken.

Det vore därför rimligare att använda år 2021 istället för år 2019 som referensår för att resonera hur långt kapacitetsökningen bör räcka. Man måste dock i detta fall ta hänsyn till den förändrade/ökade frekvensanvändningen för 4G mellan åren 2019 och 2021 då N4M hade tagit 2x10 MHz i bruk i 700 MHz-bandet och TRE åter började använda frekvenser i 2,6 GHz TDD-bandet. År 2021 hade trafiken redan växt till 1,78 ggr jämfört med år 2019, samtidigt som den tillkommande frekvensanvändningen beräknades generera ett kapacitetslyft av 14 procent.

Om man istället jämför den prognostiserade datatillväxten under åren 2021 till 2029 med den kapacitetsökningen som uppstod tack vare 5G-uppgraderingen av näten får man kapacitetsökning av 5 ggr. Denna ska då jämföras med prognoserna för kapacitetsökning under perioden 2021–2029 som är:

- Bas: 3,8
- Tillväxt: 4,6
- Tillväxt+: 5,4

Av dessa är det bara 'Tillväxt+' som med denna beräkning inte bör gå att hantera med den nuvarande tilldelade frekvensmängden och utan förtätning. Men även 'Tillväxt+' ligger relativt nära och skulle endast kräva en ytterligare kapacitetsökning om 8 procent.

Det sammanvägda resultatet av de olika beräkningarna blir att kapacitetstillväxten i mobilnäten bör kunna hanteras fram till år 2030 med den nuvarande tilldelade frekvensmängden. Beroende på utfallet kan vissa åtgärder i form av förtätning och/eller ökad användning av 5G inomhusnät att behövas. Endast i de mest extrema fallen ser det ut att lokalt behöva använda frekvenser i 26 GHz-bandet för att hantera kapacitetsökningen.

Spektrumbehov vs. Datakapacitetsbehov under 6G cykeln åren 2030 till 2039

Tidsperioden 2030 till 2039 ligger så långt bort i tiden så att alla prognoser blir extremt osäkra. För att kunna diskutera en utfallsrymd så definierar vi precis som för perioden 2024–2029 tre olika utvecklingsgrader:

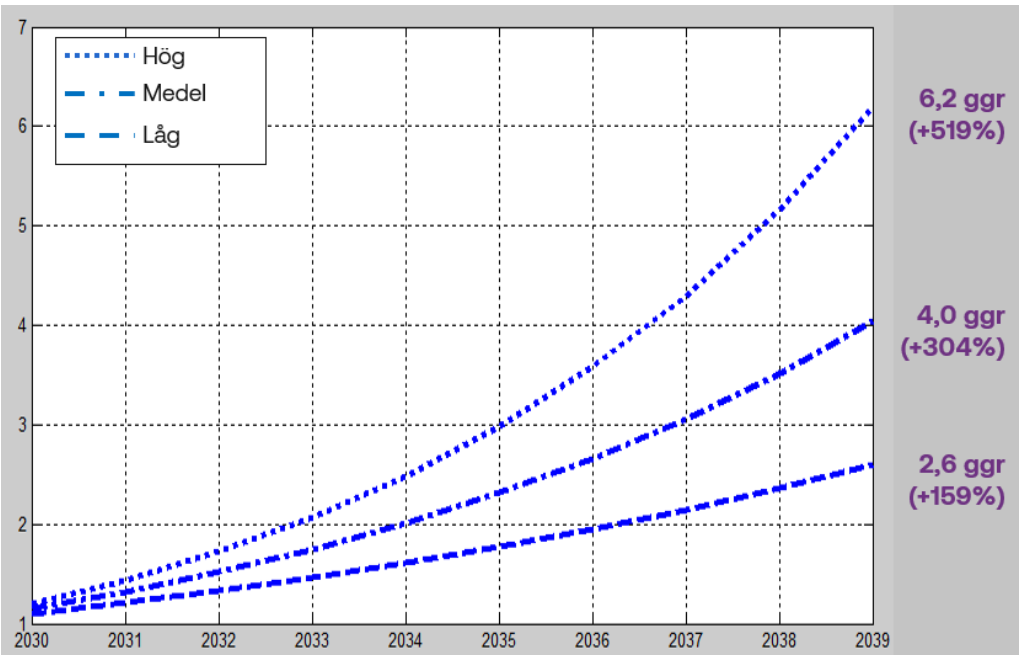
1. Låg: 10 procent tillväxt per år 2030–2039

2. Medel: 15 procent tillväxt per år 2030–2039

3. Hög: 20 procent tillväxt per år 2030–2039

Dessa tre modeller ger följande utveckling relativt referensåret 2029, se Figur 14 nedan.

Figur 14 - Datatillväxt i gånger under 6G-cykeln, jämförelse helår 2029

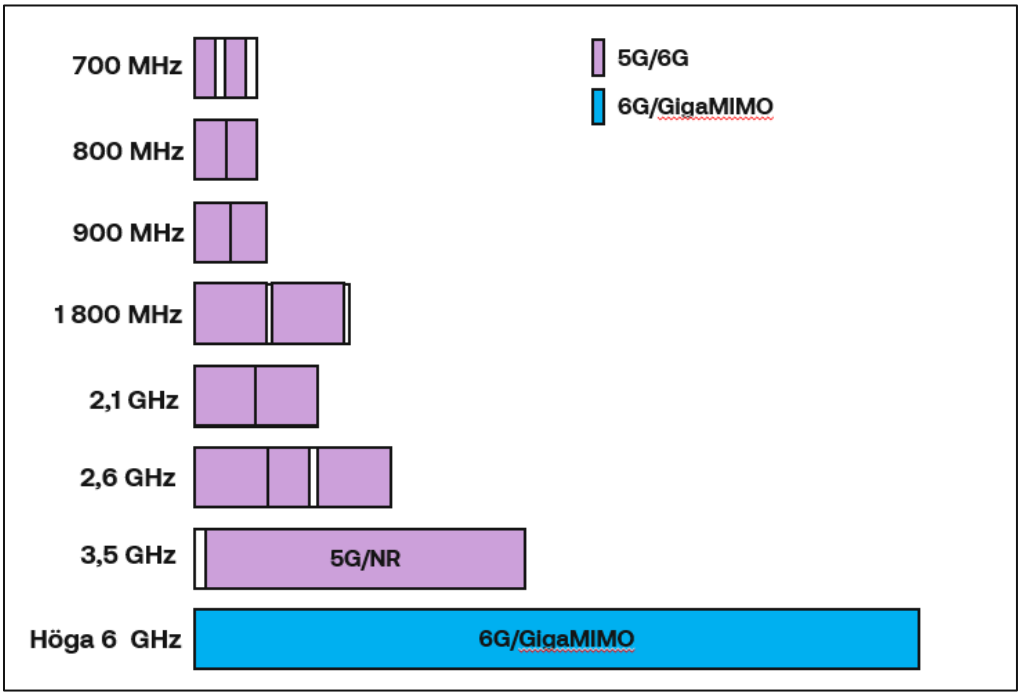


Skulle man kunna hantera denna tillväxt genom att tilldela 700 MHz i höga 6 GHz-bandet till IMT?

Om vi antar att 6G radiointerfacet (jämfört med 5G) på samma sätt som 5G radiointerfacet (jämfört med 4G) endast kommer att ge marginella förbättringar av spektrumeffektiviteten i samma frekvensutrymme med samma konfiguration så bör spektrumeffektivitetssiffrorna för 5G kunna återanvändas för samtliga frekvensband under 3,5 GHz.

För höga 6 GHz-bandet antas en fortsatt förbättring kunna uppnås eftersom den kortare våglängden tillåter fler antennelement inom samma yta och elektronikutvecklingen möjliggör flera Tx/Rx-kedjor. Detta medför att man kan anta få ytterligare vinster genom att skedjulera flera användare samtidigt i samma frekvensmängd (ytterligare förbättringar för Multi user MIMO). Baserat på detta antar vi vidare att 6G i höga 6 GHz-bandet kan fördubbla spektrumeffektiviteten jämfört med 5G/6G i 3,5 GHz-bandet. För höga 6 GHz-bandet används därmed en spektrumeffektivitet om 9,6 bit/Hz i beräkningen. Figur 15 beskriver antagen användning av frekvensband exklusive mm-vågsband år 2039.

Figur 15 Antagen användning av sub mmW-frekvensband år 2039



Med dessa antagande kommer man fram till att mobilnäten utan förtätning skulle kunna hantera en trafik som är 3,6 ggr den trafik som tidigare beräknat för nätet 2029.

En sådan tilldelning skulle alltså kunna hantera prognosen ”låg” utan förtätning. För ”medel” skulle kapaciteten behöva ökas med ytterligare 11 procent och för ”hög” med 65 procent.

Det är därför lätt att inse varför tillgång till 700 MHz i höga 6 GHz-bandet skulle vara en mycket attraktiv väg för att hantera en framtida 6G-utbyggnad i mobilnäten från 2030 och framåt.

Alternativ för att hantera Datakapacitetsbehov för 6G cykeln 2030 till 2039

Ur detta perspektiv är det också intressant att resonera om alternativa vägar att hantera det framtida datakapacitetsbehovet.

De uppenbara verktygen att arbeta med i den typ av storstadsmiljö där kapacitetsbristen troligen uppstår är följande:

- Fortsatt förtätning av makronätet på taknivå,
- Långtgående utbyggnad av mobilnät inomhus,
- Utbyggnad av ett nytt nät-lager på gatunivå i mmW band (26 GHz- och 42 GHz-banden),
- Ibruktagande av andra frekvensband mellan 7 och 15 GHz som ett ytterligare frekvenslager på befintliga makrositer.

Fortsatt förtätning av makronätet på taknivå:

Som en del i framtagandet av denna rapport har PTS undersökt hur en kraftig förtätning av makronätet som alternativ till att använda mer frekvensutrymme skulle påverka antalet sändare i mobilnäten. Grundantagandet var att man i de tätast befolkade områdena (mer än 3000 inv/km^2) skulle behöva förtäta makronätet för att fortsätta hantera ökande kapacitetsbehov. För övriga geografiska områden antogs oanvända frekvenser i redan tilldelade frekvensband även under denna period kunna hantera det växande kapacitetsbehovet. Inom det på detta sätt utpekade området

(med mer än 3000 inv/km^2) som var 620 km^2 (0,15 procent av Sveriges yta) fanns 3 336 865 invånare (32 procent av Sveriges befolkning).

Förtätningen modellerades i två steg där varje steg adderade 200 procent mer kapacitet genom att två nya sändarplatser/basstationer per befintlig site adderades i varje steg. Efter det första steget skulle därmed kapaciteten i nätet inom det undersökta geografiska området öka med 200 procent och efter att även det andra steget har implementerats så skulle kapaciteten totalt ha ökat med 800 procent.

Om man ställer detta i relation till den prognostiserade datakonsumtionstillväxten åren 2030–2039 från avsnittet innan så skulle ett förtätningssteg (+200 procent) kunna hantera prognosen låg (+159 procent) fram till 2039. För prognoserna medel (+304 procent) och hög (+519 procent) skulle även det andra steget som möjliggör en kapacitetsökning av 800 procent krävas. Man bör notera att en förtätning enligt steg 2 med stor sannolikhet överskattar antalet nya sändarplatser/basstationer som behövs för att uppfylla även den högsta prognosen från avsnittet innan. Det är viktigt att tänka på att denna modellering bygger på ett antagande om att det inte sker någon nytilldelning av ett större frekvensutrymme i mellanhöga frekvensband under perioden 2021–2039. 3,5 GHz-bandet kommer därmed stå för en mycket stor andel av kapacitetsproduktionen under hela denna tidsperiod.

Resultaten visar att steg 1 med 200 procent fler basstationer inom de 0,15 procent av Sveriges yta där 32 procent av Sveriges befolkning bor skulle leda till att antalet sändarplatser/basstationer i respektive mobilnät ökar med ca 40 procent. En förtätning i två steg leder dock totalt till mer än en fördubbling av antalet sändarplatser/basstationer (+150 procent) i respektive operatörs nät och kommer leda till en kraftig koncentration av sändarplatser/basstationer inom de tätast befolkade områdena. Efter steg 2 skulle två tredjedelar av det totala antalet sändarplatser/basstationer i hela Sverige vara koncentrerade till dessa 0,15 procent av Sveriges geografiska yta. Samtidigt börjar Inter Site-avståndet, särskilt i områden med högst befolkningstäthet, bli så lågt att det kan vara svårt att utnyttja takmonterade antenner och samtidigt uppnå en rimlig nätplanering med traditionella basstationskonfigurationer.

Man bör notera att en 40 procent ökning (genom steg 1) inte betyder att kostnaderna för att driva mobilnätet nödvändigtvis ökar med 40 procent, i driftskostnaderna ingår normalt andra kostnader som inte är kopplade till antalet basstationer i nätet. Vidare bör man notera att kostnaderna för mobilnätet endast är en del i mobiloperatörernas totala kostnader, andra kostnader som t.ex. marknadsföringskostnader påverkas inte av en ökning av antalet basstationer. Man bör även tänka på att alternativet, att delta i en auktion och köpa frekvensresurser i ett nytt frekvensband samt uppgradera basstationerna i det utpekade området så att de kan sända i ett nytt frekvensband även detta medför kostnader.

Ur ett samhällsekonomiskt perspektiv skulle en måttligt ökad kostnad för mobiloperatörerna i form av fortsatt förtätning av nätet i tätbefolkade områden vara acceptabel under förutsättning att den användning som istället sker i frekvensbandet som inte tilldelas för mobilnätsanvändning har ett högt samhällsekonomiskt värde. Man bör dock notera att det kommer finns en gräns när vidare förtätningen får anses vara ekonomiskt och tekniskt problematisk. I scenariot som beskrivs ovan skulle steg 1 antagligen kunna motiveras om alternativanvändningen för expansionsbandet har högt samhällsekonomiskt värde. Medans en ytterligare förtätning enligt steg 2 troligen är svår att motivera både utifrån ett ekonomiskt och tekniskt perspektiv.

Långtgående utbyggnad av mobilnät inomhus:

Det pekas ofta ut att ca 80 procent+ av trafiken i mobilnäten genereras inomhus. Beroende på vilka nya användningar som uppstår kan denna siffra antingen öka eller minska över tid. I dag börjar man

närma sig läget där mobiloperatörerna ser nytta med en sådan utbyggnad för kommersiella fastigheter. Proptivity skrev nyligen sitt första större avtal med Tre, där Tre kommer att börja ansluta sig till de fastighetsnät som Proptivity bygger i kommersiella fastigheter. För bostadsfastigheter har dock så här långt intresset för att bygga inomhusnät varit lågt, i fallet med kommersiella fastigheter så förväntas fastighetsägaren stå för majoriteten av kostnaderna relaterat till utbyggnad och drift av inomhusnätet. För bostadsfastigheter som oftast redan har ett fast accessnät fram till varje lägenhet har intresset för att ta ytterligare kostnader för att även bygga ett mobilnät i fastigheten varit lågt. I områden med mycket bostäder kan dock lasten från hemmaanvändningen under ”busy hour” vara det som är kapacitetsdimensionerande. Om man inte löser ut problem relaterade till affärsmodellen för bostadsfastigheter skulle det därför kunna leda till att spektrumbehovet inte påverkas. Det finns även en utveckling som skulle kunna förvärra kapacitetssituationen i bostadsområden. I USA (och troligen också Sverige) finns det en ny generation abonnenter som aldrig har tecknat ett fast bredbandsabonnemang (även om dom kanske delvis använt föräldrarnas). När dessa personer flyttar hemifrån väljer en allt högre andel att inte teckna abonnemang och betala för en fast bredbandsanslutning till sin bostad. Dessa personer hanterar istället hela sitt bredbandsbehov via mobilabonnemanget, detta är en utveckling som över tid skulle kunna leda till en flytt av delar av trafiken från de fasta näten till mobilnäten i bostadsområden.

Utbyggnad av ett nytt nät lager på gatunivå i mmW band (26 och 42 GHz):

Även om simuleringar visar att man kan få delvis täckning både på gatunivå och inomhus med en utbyggnad med 26 GHz-nät på befintliga siter på taknivå i centrala tätortsområden så är det i dagsläget tveksamt om detta är ett effektivt sätt att bygga ut ny kapacitet för mobila tjänster.

Vad säger svenska intressenter?

Svenska intressenter förväntar en fortsatt ökningstakt av trafiken på 15 – 20 procent årligen i alla fall det kommande decenniet. De ser en utveckling mot abonnemang med obegränsad datamängd, som ökar användningen signifikant. Även FWA driver på dataanvändningen i hög grad och förväntas fortsätta öka både i antal och i volym per anslutning. Nya tjänster och användningsområden kan addera ytterligare trafik som t.ex. VR/AR relaterade tjänster. Det är också troligt att näten 5–10 år fram i tiden är fyllda av trafik från tjänster som är kända idag. De skulle gärna ta höga 6 GHz i bruk så fort som möjligt; helst under 2026 eller snart därefter, då det kommer att gå att återanvända basstationsplaceringarna från 3 500 MHz bandet. Höga 6 GHz-bandet kommer kunna tas i bruk så fort det regulatoriska arbetet inom EU är klart och kommer då utgöra ett mycket välkommet tillskott för att hantera trafikutvecklingen, menar de.

Vad säger IMT-industrin?

IMT-industrin har redan tydligt utryckt att de menar att det kommer att behövas mer spektrum i midband för att bibehålla 5G-tjänstekvaliteten och möta växande efterfrågan på längre sikt med 6G-tjänstekvaliteten (t.ex. 3,3–4,2 GHz, 4,8 GHz och höga 6 GHz). De frekvenserna är bra utifrån både täcknings- och kapacitetsaspekter. Vidare pekar de på behov av att tillgängliggöra minst 2 GHz midband spektrum i perioden 2025–2030. Utan det spektrumet finns det en risk att 5G-nät i trafikerade områden som t.ex. i mycket tätbefolkade städer inte kommer att kunna leverera pålitliga nedladdningshastigheter på 100 Mbit/s. Det bör dock noteras att sådana användarscenarier generellt sätt motsvarar svenska städer i ganska liten utsträckning.

Preliminär bedömning

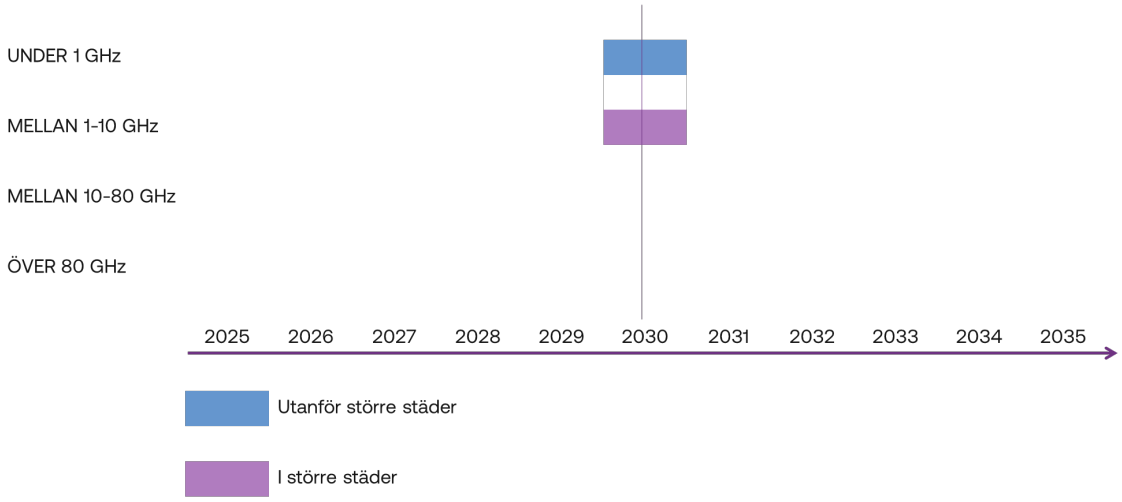
I det här avsnittet ges en preliminär bedömning om mer IMT spektrum behövs i Sverige och om ja när. För det syftet delades spektrum in på följande sätt:

- Under 1 GHz

- Mellan 1–10 GHz
- Mellan 10–80 GHz
- Över 80 GHz

Det som analysen visar i första hand är att det finns skillnader i spektrumbehoven utanför respektive i större städer. Utanför större städer är det mer lämpligt att bygga ut täckning genom användning av frekvenser under 1 GHz. Därför är den preliminära bedömningen att mer frekvenser under 1 GHz kan behövas främst utanför större städer, medan mer frekvenser i frekvensområdet 1–10 GHz kan behövas i större städer runt år 2030. I frekvensområdet 1–10 GHz är höga 6 GHz det band som bäst skulle kunna motsvara behoven i större städer. Ett annat alternativ för IMT i midband spektrum som tidigare övervägts är 3,8-4,2 GHz-bandet. Det frekvensbandet används idag av Försvarsmakten och någon ny IMT-baserad användning kan inte medges enligt Försvarsmakten. 3,8-4,2 GHz-bandet skulle endast kunna erbjuda möjlighet till begränsad täckning för lokala IMT-accessnät i vissa delar av landet, men samtidigt begränsa Försvarsmaktens användning. Figur 16 visar när behov av IMT-spektrum bedöms kunna ändras i Sverige, utifrån ovanstående resonemang.

Figur 16. När i tid kan behov av mer spektrum för IMT uppstå?



Det finns ett relativt stort glapp mellan tillgänglig IMT-spektrum på 3,5 GHz och 26 GHz och det är en anledning till att behoven av s.k. midband spektrum har framförts av IMT-industrin. I frekvensområdet 10–80 GHz finns det idag inget utryckt behov för IMT och detsamma gäller för frekvenser över 80 GHz. För 6G har tidiga diskussioner indikerat tankar på användning av frekvensband över 80 GHz. Refarming[26] av lägre frekvensband kan också förmodas bli aktuellt när 5G med tiden övergår till 6G. Det är därför sannolikt att behov av nya frekvensband i alla dessa frekvensområden – low, mid, high – blir aktuella för 6G, dock inte före år 2030.

2.3 Framtida behov av höga 6 GHz-bandet för RLAN

Befintlig frekvensmängd för RLAN

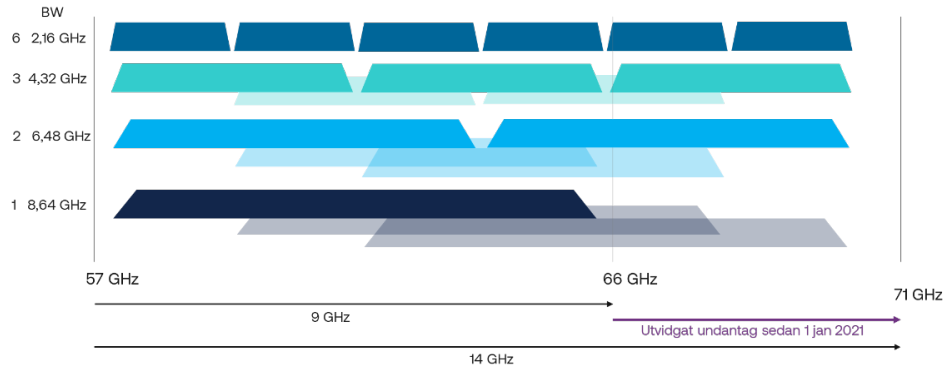
I Figur 17 nedan visas en illustration av frekvensband som används eller kommer att användas inom en snar framtid i Sverige för RLAN: 2,4 GHz- och 5 GHz-bandet samt i lägre delen av 6 GHz-bandet. Figur 17 visar också enskilda kanaler och kanalbandbredder.

[26] Refarming avser omfördelning av ett frekvensband till effektivare teknik och/eller nya tjänster.

Figur 17. Frekvensband under 10 GHz som används för RLAN i Sverige

RLAN kan också ha tillgång till frekvensområdet 57/66–71 GHz[27], som visas i Figur 18.

Figur 18. Frekvensband över 10 GHz som är standardiserade för RLAN



Även för RLAN kan man konstatera att någon frekvensbrist inte har rått i Sverige hittills. Sverige har möjliggjort tillgång till lämpligt spektrum för RLAN kontinuerligt, i god tid och i samklang med behoven. Det senaste beslutet om att öppna upp 5945-6425 MHz-bandet för RLAN är ytterligare ett steg i samma riktning. Den sammanlagda frekvensmängden, tillgänglig för RLAN, visas i Tabell 4.

Tabell 4 Den sammanlagda frekvensmängden tillgänglig för RLAN i Sverige

	Under 10 GHz	Över 10 GHz
Frekvensmängd tillgänglig för RLAN i Sverige	1 040 MHz	14 000 MHz[28]

Spektrumbehov vs. datakapacitetsbehov

Tillgång till en viss frekvensmängd är en grundläggande förutsättning för RLAN men inte det enda som avgör i slutändan om behovet av datakapacitet kommer att bli tillfredsställt eller inte.

Hög datahastighet (> 1 Gbit/s) kan åstadkommas i områden med få användare och låg densitet av RLAN-nät. När antalet användare och accesspunkter, t.ex. i ett Wi-Fi nät, blir fler ökar risken för att

[27] Undantagsförskriften: Radiosändare för dataöverföring i 202 § 57–71 GHz, 203 § 57–71 GHz, 204 § 57–71 GHz.

[28] Kommissionens beslut 2006/771/EG av den 9 november 2006 om harmonisering av radiospektrum för användning av kortdistansutrustning, senast ändrat genom kommissionens genomförandebeslut (EU) 2019/1345 av den 2 augusti 2019 om ändring av beslut 2006/771/EG vad gäller uppdatering av harmoniserade tekniska villkor på området radiospektrumanvändning för kortdistansutrustning.

den gemensamma radiokanalen är upptagen (*Listen-before-Talk*) och därmed minskar den användbara överföringshastigheten. Mer frekvensutrymme, förtätning av accesspunkter, eller mer avancerade fleranvändarprotokoll, behövs då för att kunna möjliggöra användningen. Även bredare kanaler är önskvärda för att möjliggöra högre överföringshastighet och därmed minska tiden då radiokanalen ockuperas av en användare.

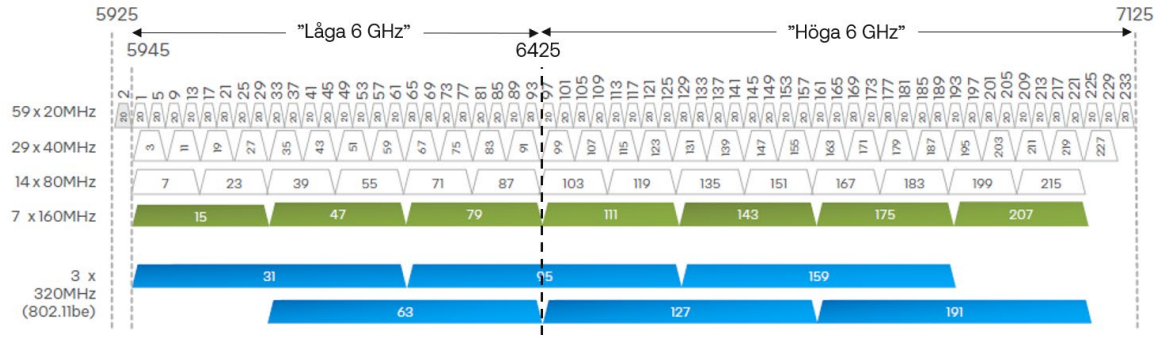
I tidigare standard/användning i 2,4- och 5 GHz-banden förefaller det i många fall som att det saknas funktioner (inte implementerade av tillverkarna) för (automatisk) optimering av val av radiokanal, varför störnivån ofta är högre än vad den skulle kunna vara. I samband med version Wi-Fi 6E togs låga 6 GHz-bandet i bruk vilket för denna användning har en lägre störnivå och därmed en större chans att uppnå maximal prestanda enligt standard.

Wi-Fi 7 är den senaste versionen av Wi-Fi, baserad på IEEE 802.11be-tillägget, även känt som "Extremely High Throughput (EHT)". Wi-Fi 7 kommer att delas upp i två versioner. Lanseringen av den första versionen av Wi-Fi 7 sker under år 2024 och den andra versionen förväntas i början på år 2026.

Wi-Fi 7 kommer att fungera i 2,4 GHz-, 5 GHz- och 6 GHz-band och erbjuda högre datahastighet med 320 MHz kanalbredd (med 1200 MHz spektrumutrymme i hela 6 GHz-bandet är det möjligt att uppnå 3x320 MHz kanaler). I Wi-Fi 7 möjliggörs aggregering av flera band eller kanaler och distribuering av trafik över olika band, vilket ökar den totala hastigheten, minskar svarstiden och förbättrar tillförlitligheten genom att använda den bästa tillgängliga länken. Wi-Fi 7 introducerar också ett nytt fleranvändarprotokoll för att reservera och skydda kanalresurser vid specificerade tidpunkter. Wi-Fi 7 ger också säkerhetsförbättringar med hjälp av avancerade krypteringsalgoritmer för att säkra dataöverföringar och skydda mot cyberattacker.

Tillgången till frekvenser i höga 6 GHz är inte ett krav för att Wi-Fi 7 ska kunna användas, dock så blir det bara möjligt med en 320 MHz-kanal om inte den höga delen av 6 GHz bandet tillgängliggörs för RLAN, se Figur 19.

Figur 19. Wi-Fi 7 jämfört med Wi-Fi 6 – multipla 320 MHz kanaler (blåa) endast möjliga med Wi-Fi 7



Det är uppenbart att den största bidragande faktorn för att kunna öka kapaciteten för RLAN är tillgången till hela 6 GHz-spektrum för olicensierad användning. Frågan är om de 480 MHz i den lägre delen av 6 GHz bandet som tillgängliggjordes i Sverige år 2021 kommer att räcka för att möta de framtida behoven?

Wi-Fi 8 (IEEE 802.11bn) har förväntad release år 2028 och avser erbjuda flera nya funktioner och ytterligare prestandaförbättringar. Förutom befintliga frekvensband som är undantagna från tillståndsplikt under 7 GHz är planen att stödja ”mmWave” frekvensband som ett tillägg (IEEE 802.11bq), vilket i Europa ges möjlighet i frekvensområdet 57–71 GHz (se PTS undantagsföreskrift), och därmed tillgång till stort sammanhängande spektrum (14 GHz) för att kunna använda mycket breda kanaler/hög kapacitet.

Alternativt RLAN spektrum?

Angående möjligheterna att använda, det sedan länge för undantagen användning tillgängliga, 57–71 GHz-spektrum så svarade samtliga intressenter i enkätundersökningen att de inte trodde det skulle vara ett attraktivt alternativ. Dels p.g.a. behovet av fri sikt mellan RLAN accesspunkt och klienter på dessa frekvenser, dels p.g.a. att det saknades utrustning för dessa band. Man såg dock att detta band kunde komma att användas för korthållskommunikation ”sladd-ersättare” t ex för HDMI-överföring till bildskärmar, eller för kommunikation på nära håll inom industriella maskiner.

För frekvensband 57–71 GHz kan standard IEEE 802.11ad eller IEEE 802.11ay vara tillämplig. För standard IEEE 802.11ad är maximal kanalbandbredd 2,16 GHz och med standard IEEE 802.11ay ges möjlighet att samtidigt använda fyra stycken 2,16 GHz kanaler. Standard IEEE 802.11ad har funnits sedan år 2012, men benämndes tidigare som WiGig med standard sedan år 2009. De produkter som finns på marknaden är i huvudsak punkt-till-punktradiolänk för utomhusbruk, även om det finns utrustning för inomhusbruk. Teknisk information finns i t.ex. ETSI TR 103 583.

Vad kan påverka utvecklingen av spektrumbehovet för RLAN?

Uppåt?

Teknik i hushållen går mot trådlös uppkoppling men det är överföring av högupplöst video (4K, 8K) som främst driver behovet av mer datakapacitet för RLAN. Det ska noteras att det finns en fysikalisk gräns för hur mycket det är nödvändigt att öka upplösning p.g.a. ögats förmåga att särskilja detaljer och att behov av mer datakapacitet för videoöverföring i hemmen därför kan komma att plana ut på sikt.

AR/VR och spel är andra exempel på tillämpningar med videoöverföring som kan komma att driva på behoven för högre datahastigheter och kort tidsfördröjning med liten tidsvariation.

Smarta hem med möjlighet att styra enheter trådlöst i hemmen är en annan växande användning men som nog inte kräver så höga datahastigheter. Övervakningskameror t ex dörrklockor med inbyggda videokameror är andra exempel på växande användningar för videoöverföring i hemmen, (som kan vara en del av ”smarta hem”) som kräver höga datahastigheter.

En möjlig utveckling som kan komma att påverka behovet av RLAN-spektrum i framförallt flerfamiljshus är om operatörer som idag distribuerar tv via kabelnät går över till fiber och väljer att lösa det sista steget mellan fibernät och TV med RLAN.

Nedåt?

Behov av datakapacitet och därmed behov av spektrum kan också påverkas i den motsatta riktningen. RLAN-tekniken utvecklas och effektiviseras med nya standarder så att tillgängligt spektrum används effektivare. Inomhustäckning från IMT-nät och uppkoppling via dessa nät istället för via RLAN-nät kan också motverka spektrumbehov för RLAN på vissa platser.

Utvecklingen inom bildkodning motverkar också behovet av datakapacitet för högupplöst video. Företaget Harmonic anger att bithastigheten som krävs för överföring av 8K video med HEVC kodning är 65–85 Mbit/s. Försök som företaget gjort med Content Aware Encoding indikerar att bithastigheten som krävs för distribution av 8K video kan reduceras ytterligare och ligger då mellan 25 och 35 Mbit/s. Detta är datahastigheter (även för multipla 8K-skärmar inom ett hushåll) som kan tillhandahållas med RLAN kapaciteten i befintliga RLAN-band (2,4 GHz, 5 GHz och låga 6 GHz-bandet).

I nya hus installeras bredbandsinkopplingspunkt i varje rum och då kan man med lägre effekt och användning av frekvenserna 57/66–71 GHz uppnå mindre täckningsområde vilket kan göra att möjligheter för användning av de frekvenserna ökar.

När?

Som nämnts ovan har 480 MHz tillgängliggjorts för RLAN i Sverige, vilket resulterar i en fördubbling av spektrum för RLAN. För att kunna se den fulla effekten av den tillförda frekvensmängden kommer det att ta några år. Bedömningen är att den sammanlagda frekvensmängden som visas i Tabell 4 kommer att kunna matcha datakapacitetsbehoven i RLAN-nät under åtminstone de kommande fem åren.

Hur länge räcker utpekade ”RLAN frekvenser” i Sverige?

Man kan förvänta sig att RLAN-användningen gradvis kan öka i Sverige, tack vare att nya frekvenser tillgängliggjorts för RLAN i låga 6 GHz, och att ännu används inte 57/66–71 GHz i någon större utsträckning. RLAN-industrin har i teorin intresse för båda frekvensområdena då de kan komplettera varandra, men i dagsläget finns ingen utrustning framtagen för det högre frekvensbandet och i sin kommunikation hävdar RLAN-industrin att det enbart är 6 GHz bandet som är praktiskt användbart. Som sagts ovan krävs det några år för att utvärdera effekterna av den senaste frekvenstillförseln och utan den utvärderingen är det svårt att veta med säkerhet hur länge RLAN-spektrumet kommer att räcka.

Vad säger svenska intressenter?

Under våren 2024 skickade PTS ut en enkät för att inventera hur några svenska RLAN intressenter såg på kommande spektrumbehov för RLAN. Följande företag och organisationer besvarade enkäten: Atea, Cygate, Cisco Sverige, HM, SUNET, Scania samt Stockholms stad (genom S:t Erik Kommunikation AB).

En sammanställning av enkätsvaren visas i Tabell 5 nedan.

Tabell 5 Sammanställning av enkätsvaren om spektrumbehov för RLAN

Företag som svarade	Miljöer med höga kapacitesbehov	Vad driver på spektrumbehoven	Användning i låga 6 GHz
ATEA	Skolor, industri	Central dataprocessning pga AI. Videostreaming. Många samtidiga användare på samma plats. SLA-krav i industrin.	-
CYGATE	Kontor, industri, sjukvård	Trådburna anslutningar ersätts med WiFi. Allt fler klienter med större behov av bandbredd.	Kunderna som börjat köra på 6 GHz upplever en klar förbättring av prestanda.
CISCO Sverige	Kontor, föreläsningssalar (auditorium), kongress/konferens, flygplatser och stadium/arenor, sjukvård, flerfamiljshus	Cisco bedömer att klienttillströmningen och användandet av WiFi som primär accessteknik för företag och organisationer kommer öka i oförminskad utsträckning under de kommande 5–10 åren. Många samtidiga användare på samma plats, och möjligheten att använda 80 MHz kanaler istället för 40 MHz kanaler i nätverk med flera accesspunkter medför att även det höga 6 GHz-bandet behöver användas för WiFi.	-
HM	Butiker och kontor i stadskärnor, höghus, företagshotell och köpcentrum. Lager.	Bandbredden per klient ökar, antalet klienter ökar och graden av trådade klienter sjunker. Generellt går videokonferenser och presentationsskärmar mot högre och högre upplösning, vilket driver bandbredd. AR för plockpersonal. Transportrobotar i lager.	-
SUNET	Skolor, kontor och lärosäten. Flerfamiljshus. Arenor.	Vi kan se en konstant ökande trend med c:a 10-20% per år [av WiFi-klienter] på svenska lärosäten. Hemma utrustning vill nyttja maximalt spektrum (typiskt 80MHz eller 160MHz är default inställning) vilket gör att effektiv kanalåtervinning är problematisk. Inom större installationer som skolor, kontor och lärosäten mm är som sagt behov kanske inte akut men inom 2-3 år kommer behovet (framför allt inomhus med LPI) vara påtagligt. I arenor ser jag att det är där som behovet av 6GHz (inomhus och utomhus) först kommer på grund av den höga densiteten (i kombination med 5G naturligtvis).	-
St:Eriks Kommunikation (Stockholms stad)	Skolor, kontor, bibliotek, vårdverksamheter	AR, VR driver den utvecklingen men även de pedagogiska verksamheterna. De är ur ett nätverksperspektiv ganska extrema, dels samlar man många klienter väldigt tätt, dels får man synkroniserade beteenden.	Vi har ännu inte börjat nyttja trådlösa accesspunkter av typen wifi6e som skulle stödja låga 6 GHz frekvenser men kommer att göra så i närtid.
SCANIA	Fabriker och kontor	I våra öppna fabriker är ett av de största bekymren kanalåtervinning. I våra utvecklingsenheter (kontor), är det snarare den ökade kapaciteten vi behöver. Vi har högre krav på överföringshastighet, och vi skulle gärna vilja använda bredare kanaler, till exempel 80 MHz eller högre, men vi kan inte göra det på grund av begränsad tillgång till användbart spektrum. Vi ser en stor ökning av till exempel självgående truckar (AGV:er), plocksystem som ”pick to light” eller ”pick to voice”, samt starka indikationer på att augmented reality (AR) snart kommer att användas på produktionsgolvet. Det pågår en allmän digitaliseringsvåg där trådbunden kommunikation inte är möjlig.	Har inte märkt någon större skillnad än [av tillgången till låga 6 GHz spektrum] då det tar lite tid att rulla över teknologiskiften, då nätverkskort/klienter samt stora delar av infrastrukturen behöver bytas ut. Stora investeringar görs löpande för att uppgradera det befintliga radionätet för att stödja Wi-Fi 6E, denna investering kan med dagens tillgängliga spektrum enbart utnyttjas till motsvarande 50% jämfört med våra identiska installationer i Sydamerika

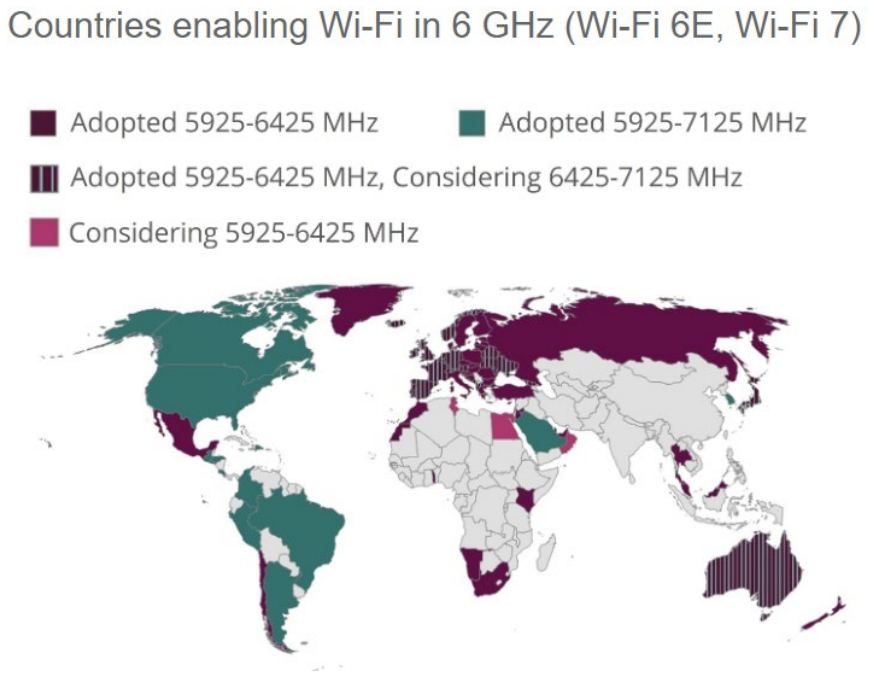
Vad säger RLAN-industrin?

RLAN-industrin hävdar att hela 1200 MHz (5925–7125 MHz), både låga och höga 6 GHz-banden, behövs för att nya tekniker ska kunna stödja framtida avancerade användarscenarier, för enskilda konsumenter och för företag. 6 GHz Wi-Fi-teknik är klar och tillgänglig nu och den kan även stödja 5G-näten utan att befintlig användning behöver begränsas eller avvecklas (t.ex. 5G backhaul), enligt dem, och som nämnts ovan är Wi-Fi 7 växande.

Man kan konstatera att flera länder redan öppnat hela 6 GHz-bandet (5925–7125 MHz) för RLAN. I USA kan RLAN användas i både låga 6 GHz och höga 6 GHz frekvensbanden, dock med olika reglering i olika sub-band som t.ex. effektnivå, krav på AFC osv, se Figur 20.[29]

[29] https://www.wi-fi.org/sites/default/files/public/images/blog_20220118.png

Figur 20. Länderna som tillgängliggör eller överväger låga eller hela 6 GHz-bandet för Wi-Fi



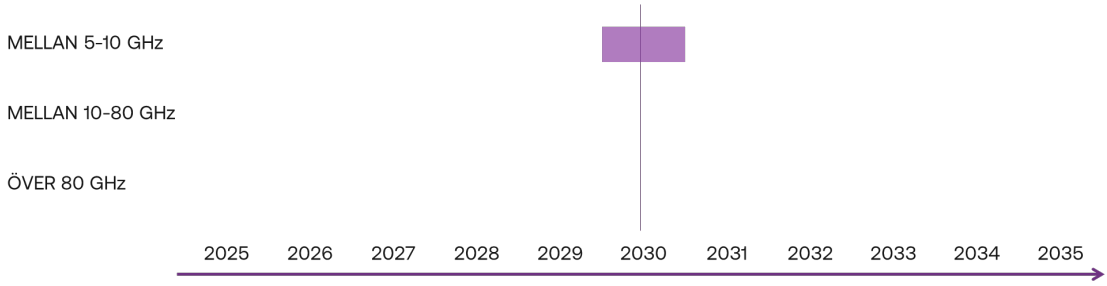
Preliminär bedömning

I det här avsnittet ges en preliminär bedömning om mer RLAN spektrum behövs i Sverige och om ja, när. För det syftet delas spektrum in på följande sätt:

- Mellan 5–10 GHz
- Mellan 10–80 GHz
- Över 80 GHz

Den mest intressanta delen av spektrum för RLAN är 5–10 GHz eftersom bedömningen är att spektrumet mellan 10–80 GHz, dvs. 60 GHz-bandet bör räcka till givet att det kommer utrustning för dessa frekvensband. Frågan är om de tillgängliggjorda ”nya” 480 MHz i 5945-6425 MHz-bandet för RLAN kommer att täcka behoven. För att få svar på denna fråga behöver marknadsutvecklingen följas under några år framöver för att se effekten/nyttan av att de ”nya” 480 MHz tas i bruk i större utsträckning. I Figur 21 visas när behov av RLAN-spektrum skulle kunna ändras i Sverige, utifrån ovanstående resonemang. En preliminär bedömning är att det inte finns behov i Sverige av att tillgängliggöra mer spektrum[30] för RLAN innan år 2030.

Figur 21. När i tid kan behov av mer spektrum för RLAN uppstå?



[30] Befintliga och använda 2,4 GHz- och 5 GHz-banden samt 5945–6425 MHz. 57–71 GHz-bandet är standardiserat men oanvänt.

3. Internationell arena

Höga 6 GHz-bandet är föremål för studier i flera internationella organisationer och arbetsgrupper. Här nedan görs en överblick av och status i detta arbete, samt en kort beskrivning av nuvarande utveckling i Europa och världen.

3.1 CEPT

Om fast radio

Enligt ECC Report 173[31] från år 2016 (som uppdaterats vid två tillfällen efter 2016, senast den 9 juni 2023) fanns vid dåvarande tidpunkt omkring 20 000 radiolänkar (huvudsakligen enskilt tillståndsgivna) i Europa i frekvensområdet 5925–7125 MHz. Blocktilldelning förekommer i Norge och Slovenien.

De länder som år 2016 hade flest antal radiolänkar var Frankrike, Tyskland och Ryssland.

I dokument ECC PT1(21)067rev2[32] från 2021-01-19 återfinns en sammanställning av ett 6 GHz-frågeformulär. Sammanställningen omfattar svar från 24 administrationer och 8 andra organisationer. Fast radio användning i frekvensområdet 6425–7125 MHz vid 2021-01-19, sammanställd i detta dokument, visas i Tabell 6.

Tabell 6 Fast radio användning i frekvensområdet 6425–7125 MHz vid 2021-01-19

Administration	Number of links			Average link distance (km)
	6425–7025 MHz	7025–7125 MHz	Entire range (6425–7125 MHz)	
Finland	685	265	950	17.5
Switzerland	-	-	100	20–104
Croatia	-	-	210	23.72
Turkey	801	55	856	34
Lithuania	-	-	201	17
Ireland	-	-	210	22
Norway	-	-	780	-
Bosnia and Herzegovina	-	-	29	61
Sweden	-	-	1066	43.5
Germany	-	-	2567	26.6
Austria	130	11	141	26

[31] ECC Report 173, Fixed Service in Europe Current use and future trends post 2016
[32] WRC-23 AI1.2 6GHz questionnaire summary

Netherlands	70	9	79	36
Latvia	14	2	16	52.1
Serbia	-	-	57	37.35
Denmark	-	-	8	55
Portugal	-	-	21	51
Italy	-	-	1499	34.4
France	2600	500	3100	20–40
United Kingdom	-	-	570	35
TOTAL	**4300**	**842**	**12 460**	

Källa: ECC PT1(21)067rev2 från 2021-01-19

Delning fast radio, IMT och RLAN i 6 GHz banden (CEPT)

Frekvensbandet 5945–6425 MHz (låga 6 GHz) är i enlighet med kommissionens genomförandebeslut av den 17 juni 2021 harmoniserat för införande av Wireless Access System med Radio Local Area Network (WAS/RLAN). Terminalerna för RLAN är undantagna från tillståndsplikt i enlighet med PTS föreskrifter. Harmoniserings-beslutet i låga 6 GHz föregicks av delningstudier mellan WAS/RAN och fast radio inom CEPT. PTS tekniska studier inom SE45 (och Frankrikes) visade på att en viss risk för störning fanns, men Sverige valde ändå att acceptera harmonisering av låga 6 GHz bandet för WAS/RLAN då samhällsnyttan av mer frekvensutrymme för WAS/RLAN ansågs vara stor i förhållande till att användningen av låga 6 GHz för FS är låg i Sverige med endast ett 20-tal länkstråk.

Förnyade studier genomförs inom CEPT gällande delning mellan WAS/RLAN och fast radio, nu i frekvensbandet 6425–7125 MHz (höga 6 GHz). Delning mellan fast radio och WAS/RLAN har varit föremål för arbete inom SE19 där utrustningstillverkare har bidragit med mätningar i labbmiljö för utvärdering. PTS har medverkat i ett fältprov, tillsammans med en tillståndshavare och en utrustningstillverkare, för att undersöka WAS/RLAN påverkan på fast radio under verkliga förhållanden. Inom SE45 har PTS aktivt medverkat i fördjupade delningsstudier mellan fast radio och WAS/RLAN i höga 6 GHz och särskilt framhållit och påvisat att det trots att det är möjligt att visa att sannolikhet för att överstiga störningskriterier statistiskt generellt är låg, så kan störkriterierna ändå överstigas i verklighetsbaserade situationer. Slutsatserna av arbetet inom SE45, vilket publiceras i ECC rapport 364, är viktiga att hantera/analysera för svenska förhållanden innan Sverige kan ställa sig bakom ett eventuellt harmoniseringsbeslut för WAS/RLAN i höga 6 GHz.

Det saknas utvärdering av hur samexistens mellan fast radio och WAS/RLAN i låga 6 GHz har fungerat i praktiken i Europa från och med år 2021. Information om hur många WAS/RLAN i låga 6 GHz som sålts på den svenska marknaden saknas och givet den låga användningen av fast radio är det för tidigt att med någon säkerhet avgöra hur samexistensen fungerar. Erfarenheter bör även finnas i USA, Brasilien m.fl. länder vilka öppnat hela 6 GHz bandet (såväl låga 6 GHz som övre 6 GHz) för delning mellan fast radio och WAS/RLAN, med olika tillåtna effektnivåer för WAS/RLAN beroende på sub-band, men även här saknas utvärderingsresultat.

CEPT projektgrupp 1 (ECC PT1) startade under 2023 en ny arbetspunkt (WI), PT1_50, som ska utreda potentiell delning mellan IMT och WAS/RLAN i höga 6 GHz-bandet. Det nuvarande arbetet omfattar inte samexistensstudier med andra befintliga tjänster som fast radio (FS) eller satellitanvändning (FSS). Samexistensstudier mellan IMT och FSS samt mellan IMT och FS genomfördes under studieperioden inför WRC-23 (inom agendapunkt 1.2).

IMT-intressenter argumenterar inom PT1_50 för att IMT-utbyggnad i höga 6 GHz-bandet kan återanvända radioplaneringen i 3,5 GHz-bandet och även skapa samma täckningsområde, utan behov av förtätning. Detta ger potentiellt en ökad kapacitet i 5G-näten till en begränsad kostnad. IMT-intressenter hävdar vidare att höga 6 GHz-bandet är särskilt fördelaktigt i täta stadsmiljöer där det inte är möjligt att förtäta befintliga 5G-siter i 3,5 GHz-bandet. Dessutom understryker IMT-intressenter, och vissa CEPT-administrationer, att det ur ett europeiskt perspektiv, inte finns några andra lovande midbandsalternativ för framtida IMT-allokeringar. Under WRC-23 var det lågt stöd inom CEPT för de övriga potentiella IMT-frekvensband som är på agendan inför WRC-27.

RLAN-intressenter betonar vikten av det övre 6 GHz-bandet för att möta efterfrågan i täta stadsmiljöer och stödja den pågående RLAN-utvecklingen. Höga 6 GHz-bandet ger tillgång till ett större antal bredare kanaler (dvs. 160 MHz eller 320 MHz bandbreddskanaler) som medger högre kapacitet, och ger möjlighet till nya användningsområden (t.ex. AR/VR). RLAN-intressenter ser höga 6 GHz-bandet som en logisk utökning av låga 6 GHz-bandet, särskilt med tanke på den senaste utvecklingen i USA, där hela 6 GHz-bandet har allokerats för WAS/RLAN. Ett annat argument som hörs från RLAN-intressenter, är att höga 6 GHz-bandet, kan bidra till EU:s mål, inom digital decade policy program, med avseende på Gigabit society (se även avsnitt om RSPG-arbetet nedan). Samtidigt kan man konstatera att WAS/RLAN är en accessteknik som inte kan anses själv bidra till något bredbandsmål, eftersom WAS/RLAN är helt beroende av Gigabitkonnektivitet som möjliggörs genom fiber, IMT, satellit eller fast radio.

Båda sidorna hävdar att de behöver kapaciteten i samma typ av geografiska områden, framförallt i tät stadsmiljö. Många studier analyserar potentiell delning mellan IMT macro användning utomhus och RLAN användning inomhus i samma geografiska område. Mycket tyder på att det krävs nya delningsmekanismer (och ny standardisering), där de båda teknikerna kan lyssna på varandra, för att kunna få till en möjlig och effektiv frekvensdelning i höga 6 GHz bandet. Även en uppdelning av frekvensbandet (segmentering av spektrum) där den lägre delen används för RLAN och den övre delen för IMT diskuteras.

3.2 Utfall av WRC-23

Under WRC-23 identifierades, genom fotnot 5.6A12, 6425–7025 MHz-bandet för IMT inom ITU Region 1, och 7025–7125 MHz (dvs. tillsammans höga 6 GHz-bandet) för IMT globalt. Denna identifiering utesluter inte användningen av höga 6 GHz-bandet för annan radiotjänst som bandet har allokering för och fastställer ingen prioritet i radioreglementet. Tekniska villkor har definierats i ITU-R Resolution 220 (WRC-23), speciellt genom en ”expected e.i.r.p. mask” för IMT basstationer för att skydda FSS upplänk.

Fotnot 5.457E i radioreglementet som är kopplad till IMT identifiering i höga 6 GHz-bandet, anger att detta frekvensband också används för implementering av wireless access systems (WAS), vilket inkluderar ”radio local area networks” (RLAN).

ITU WP5D

I studieperioden inför WRC-23 var ITU-R WP5D-arbetsgrupp ansvarig för att ta fram relevanta parametrar för IMT i syfte att studera samexistens mellan IMT och ”incumbent services” i höga 6 GHz-bandet samt i angränsande frekvensband.

Under studieperioden utfördes mängder av studier för att analysera samexistens mellan IMT och ”incumbent services” i höga 6 GHz-bandet, och angränsande band t.ex. samexistens mellan IMT och FSS, IMT och FS, IMT och RAS[33], m.fl.

Utfallet av dessa studier ledde bl.a. till ovan nämnd ITU-R Resolution 220 (WRC-23), där villkor för att skydda FSS upplänk anges explicit. I denna resolution finns även skrivningar som uppmanar till att utveckla rekommendationer för vägledning till samexistens med andra ”incumbent services” t.ex. mellan IMT och RAS.

Inför WRC-23 studerades, speciellt, även samexistens mellan IMT och FS, vilket var av intresse för Sverige som har mycket FS i detta band.

3.3 WRC-27

WRC-23 beslutade om nya agendapunkter inför WRC-27. Agendapunkt 1.7 handlar om potentiell identifiering av nya frekvensband för MFCN/IMT. Denna agendapunkt beskrivs som: ”Sharing and compatibility studies and development of technical conditions for the use of International Mobile Telecommunications (IMT) in the frequency bands 4400-4800 MHz, 7 125-8 400 MHz (or parts thereof), and 14.8-15.35 GHz for the terrestrial component of IMT.”

Frekvensområdet 7427–7722 MHz (7G) och 7900–8495 MHz (8G) används av fast radio i Sverige och har omfattande användning.

När det gäller bandet 7125–8400 MHz så omfattas endast, 7125–7250 MHz och 7750–8400 MHz, inom ITU-R Region 1.

Större delen av ovan frekvensband är av stort intresse för försvaret och NATO. Försvarsmakten i Sverige har preliminärt indikerat att de förordar No Change (NOC) i större del av ovan nämnda frekvensband.

3.4 RSPG – Radio Spectrum Policy Group

Inom EU arbetar Radio Spectrum Policy Group (RSPG) med spektrumrelaterade frågor. I arbetsprogrammet för 2024 och framåt enades RSPG om en arbetspunkt som ska ge en långsiktig vision (2030 och framåt) för höga 6 GHz-bandet. Arbetspunkten handlar om hur man bäst kan utnyttja den framtida användningen av detta frekvensband i Europa med målet att maximera bidraget från detta band till att uppnå det digitala anslutningsmålet för Europa, som fastställts i Digital Decade Policy Program 2030 (DDPP)[34].

I arbetsprogrammet för 2024 och framåt enades RSPG också om att fortsätta övervaka EU:s medlemsstaters initiativ om den framtida användningen av frekvensband 470–694 MHz. RSPG bör bland annat göra en bedömning av utsikterna för användningen av 470–694 MHz-bandet under decenniet 2030–2040.

3.5 RSC – The Radio Spectrum Committee

Radio Spectrum Committee (RSC) arbetade under 2024 med framtagandet av ett mandat till CEPT för att studera effektiv användning av frekvensbandet 6425–7125 MHz på delad basis.

Syftet med detta mandat är att studera genomförbarheten av och utveckla harmoniserade tekniska villkor för en hållbar och effektiv användning på delad basis av frekvensbandet 6425–7125 MHz för de senaste och framtida markbundna system som kan tillhandahålla trådlösa bredbandstjänster (WBB)

[33]RAS – ”radio astronomy”, den term som används av ITU för att beskriva en del av astronomin som studerar radiovågor som kommer till jorden från processer i universum.

[34] https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SV/TXT/PDF/?uri=CELEX:32022D2481

elektroniska kommunikationstjänster (ECS) och för *wireless access systems* inklusive *local area networks* (WAS/RLAN).

Det *preliminära* mandatet påpekar även att dessa trådlösa bredbandstjänster, elektroniska kommunikationstjänster (ECS) och WAS/RLAN tjänster, ska behandlas lika och utan inbördes prioritet, och att hänsyn ska tas till befintlig användning i bandet.

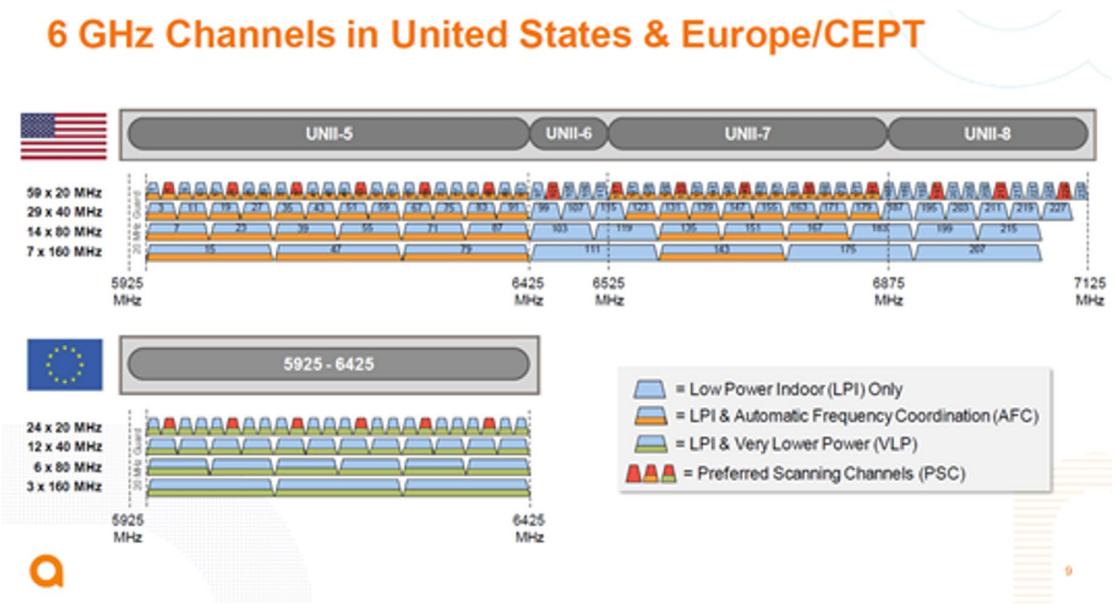
3.6 Utveckling i Europa och världen

Inom Europa har inget land beslutat än om hur och när höga 6 GHz-bandet ska tillgängliggöras för nya användningar, vilket troligen är en konsekvens av att länderna redan har olika befintliga användningar i bandet. Starka förespråkare av IMT i höga 6 GHz är bl.a. Kina och Ryssland. De anser att bandet kan stödja utökad framtida kapacitet för 5G/6G. 3GPP har redan tagit fram ett 5G NR band n96: 5925–7125 MHz. De finns även flera länder inom CEPT som har visat stort intresse för IMT i höga 6 GHz-bandet, en del CEPT länder visar även intresse för att dela bandet mellan IMT och WAS/RLAN (framförallt om analysen inom CEPT hittar ett lämpligt delningsscenario).

I Europa är låga 6 GHz-bandet harmoniserat för tillståndsfri användning för WAS/RLAN. I övriga Region 1 i Afrika har t.ex. Nigeria gjort samma val medan Saudi Arabia och Qatar planerar att öppna hela 6 GHz-bandet för RLAN.

Förutom USA har t.ex. Sydkorea, Brasilien och Chile beslutat om att tillgängliggöra höga 6 GHz för RLAN, dock med olika regler och begränsningar om användning. Colombia, Mexiko, Honduras, Costa Rica, Kanada, Peru och Argentina har meddelat att de kommer att följa i samma spår. I Figur 22 visas en översiktsbild från ”Wi-Fi alliance” i februari 2024[35]. För Europa gäller 5945–6425 MHz, inte 5925–6425 MHz.

Figur 22 RLAN kanaler i USA och Europa



[35] https://www.wi-fi.org/countries-enabling-wi-fi-in-6-ghz-wi-fi-6e, 2024-02-06

4. Möjliga scenarier

Bedömningen är att det i höga 6 GHz-bandet i Sverige inte finns akuta behov av mer spektrum varken för IMT eller RLAN inom de närmaste fem åren är och att den omfattande FS-användningen som behövs för vissa samhällsviktiga funktioner fortsätter att finnas under samma period.

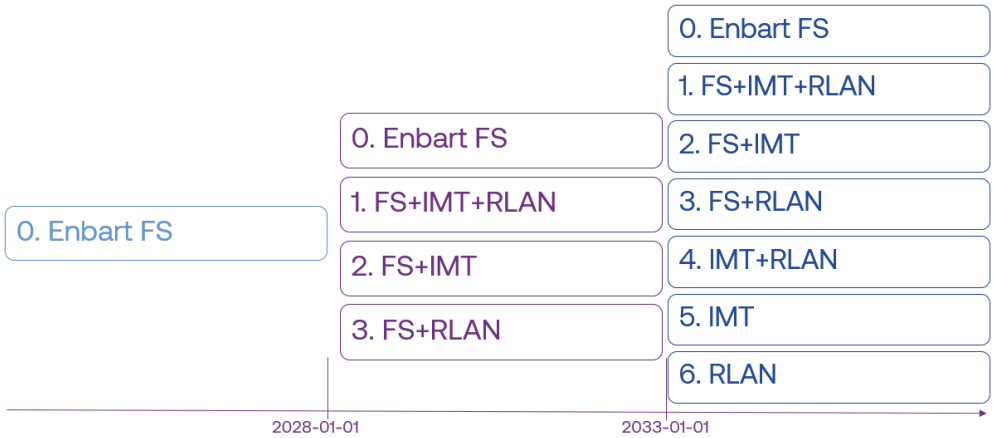
Utgångsdatum för nuvarande tillståndstidsperiod för FS är den 31 december 2027 och efterföljande tillståndsperiod för FS skulle, enligt gällande regelverk, upphöra den 31 december 2032.

Här nedan beskrivs ett antal teoretiskt möjliga scenarier för en kommande användning av höga 6 GHz-bandet i Sverige, utifrån det som redovisats i tidigare avsnitt.

De möjliga scenarierna, vilka redogörs för nedan, är baserade på bedömningen att någon förändring av spektrumbehov för IMT eller för RLAN, och därmed en förändring av användning av detta band, inte kommer att ske under närmaste fem åren. Det innebär att nya scenarier kan ha starttidpunkt den 1 januari 2028 eller den 1 januari 2033, vilket visas i Figur 23.

Det ska noteras att PTS behöver besluta om en eventuellt ändrad användning, senast två år innan tillståndstidens utgång.

Figur 23. Möjliga scenarier för framtida användning av höga 6 GHz-bandet



Ett urval av scenarierna kommer, i avsnitt 5, genomgå en fördjupad analys i syfte att bedöma vilket scenario eller vilka scenarier som skulle innebära största möjliga samhällsnytta i Sverige över tid med avseende på nuvarande radioanvändning för fast radiolänk (FS) och potentiella framtida radioanvändningar (IMT och RLAN) i höga 6 GHz-bandet.

4.1 Scenario 0: ”Enbart FS”

Befintlig FS (traditionell punkt-till-punkt-radiolänk) i höga 6 GHz används i infrastruktur för Teracoms transmissionsnät. På sikt finns behov från andra intressenter av att använda (låga och höga) 6 GHz-banden för t.ex. infrastruktur för bredbandsutbyggnad och mobile back haul för längre sträckor i geografiska områden/platser med spektrumbrist i 7 och 8 GHz banden, i inget av dessa fall finns direktkontakt med konsument.

En FS-tillämpning kan vara FWA (punkt-till-multipunkt radiolänk) i (låga och höga) 6 GHz-banden för att möta utbyggnad för att möta bredbandsmål, med radioteknik baserat på WI-FI eller IMT-teknik,

men anpassad till fast användning (användarprotokoll, MIMO etc.). Denna användning behöver inte genomföras som ”FS” utan kan realiseras som ”högeffekt RLAN” eller ”FWA-IMT” i något av övriga scenarier. Denna FS användning kan vara direkt till konsument.

Befintlig FS (traditionell punkt-till-punkt-radiolänk) i höga 6 GHz används i infrastruktur för samhällsviktiga aktörer. Det kan även finnas ytterligare behov av mer användning av (låga och höga) 6 GHz-banden för högkapacitetsradiolänk över längre sträckor som t.ex. redundans till optisk fiber, eller i områden där optisk fiber inte av något skäl anses vara ett alternativ, eller kritiska förbindelser där det är lokal spektrumbrist i 7 och 8 GHz banden. VMA, som idag till stor del realiseras via radio och tv-utsändning, kan komma att bäras som en ”app” oberoende av transmissionsmedium, fast bredband via optisk fiber, IMT, RLAN, (LEO)satellit.

Bandet används av cirka 2200 sändare/1100 radiolänkar, vardera med 40 MHz kanalbandbredd, med upp till 10bit/Hz, fördelat på 130 radiolänkstråk (med sträcklängd 43 km) över hela landets yta. Det finns lokal spektrumbrist till/från vissa antennplatser/högmaster, men även om användningen fördubblas bör den vara fortsatt låg sett till det maximala spektrumnyttjande som skulle kunna uppnås i bandet.

Scenariobeskrivning: FS har även fortsättningsvis behov av bandet för distribution av marksänd tv och transmission av annan befintlig och kommande datatrafik. Sändningstillstånd för marksänd tv i UHF-bandet gäller t.o.m. 31 december 2033, och enligt beslutet, (EU) 2017/899, av det europeiska parlamentet och rådet om användning av 470–790 MHz-bandet i EU ska frekvensbandet 470–694 MHz vara tillgänglig för marksänd tv t.o.m. år 2030. Delning med IMT eller RLAN anses inte vara nödvändig i detta scenario pga. att andra band antas bli tillgängliga för IMT och RLAN som bedöms kunna uppfylla deras spektrumbehov. För IMT antas 26 GHz-bandet kunna användas efter år 2028 och för RLAN antas 57–71 GHz-bandet kunna vara ett alternativ. Ett alternativ för IMT i midband spektrum som tidigare övervägts är 3,8-4,2 GHz-bandet. Det frekvensbandet används idag av Försvarsmakten och någon annan IMT-baserad användning tillåts inte. Dialogen mellan PTS och Försvarsmakten om en eventuell flytt till ett annat frekvensband har inte gett något resultat än och även om den gör det, kan det ta upp till tio år att realisera flytten. För svensk del är Försvarsmaktens användning kvar i 3,8–4,2 GHz bandet tills vidare. Gällande RLAN finns det idag inte något alternativ i annat midband spektrum, men frågan är om ytterligare spektrum för RLAN behöver möjliggöras innan effekterna av senast tillförda frekvensmängden av 480 MHz är synliga. Till det ska det läggas till att frekvensområdet 57–71 GHz är möjligt att använda för RLAN i Sverige, men användningen av dessa frekvenser för RLAN har inte fått fäste än.

Bedömning: Samhällsnyttan med detta scenario bedöms vara liknande som idag. Antagandet bygger på att användandet av höga 6 GHz-bandet för FS är oberoende av huruvida marksänd radio och tv behöver bandet för sin transmission. Om dessa tjänster inte längre skulle ha (samma) behov av transmission i bandet så kommer transmissionsbehoven från andra tjänster att ta deras plats. Om så inte är/skulle bli fallet så bör samhällsnyttan minska över tid. Samtidigt skulle kapacitetsbehov från IMT och RLAN tillfredsställas i andra frekvensområden eller i fall av IMT genom förtätning av befintliga nät, vilket också påverkar samhällsnyttan med detta scenario.

4.2 Scenario 1: ”Delning mellan FS, RLAN och IMT i höga 6”

Scenariobeskrivning: Fortsatt FS användning i bandet och delning med IMT och RLAN. Det antas att IMT-basstationernas frekvensanvändning koordineras av PTS och att FS därmed kan fortsatt skyddas från störning. Frekvensanvändningen i detta scenario antas vara geografisk delad, där FS används mestadels utanför tätbebyggda områden (som idag) och IMT och RLAN används främst i tätbebyggda områden. IMT användningen kan möjliggöras genom att basstationernas frekvensanvändning koordineras av PTS, antingen som enskilda sändare eller genom tilldelning av blocktillstånd. RLAN användningen antas bli begränsad till inomhus med låg effekt eller utomhus med

mycket låg effekt och kan implementeras genom undantag från tillståndsplikt, på samma eller liknande sätt, som för låga 6 GHz. Detta scenario kan realiseras genom geografisk delning mellan IMT och RLAN eller frekvensdelning mellan IMT och RLAN. De delningsmöjligheterna beskrivs närmare i scenario 4. Potentiell delning mellan IMT och WAS/RLAN utreds även inom PT1 i arbetspunkt PT1_50 (se avsnitt Internationell arena, Delning fast radio, IMT, RLAN ovan).

Scenario 1 är som scenario 4 (nedan) men med hänsyn tagen till befintliga system och användare i bandet.

Ur texten av EC-mandat till CEPT:

> ”Målet med mandatet är att studera genomförbarheten av och att ta fram harmoniserade tekniska villkor för en effektiv användning, på delad basis, av frekvensbandet 6425–7125 MHz (”höga 6 GHz”) för de senaste och framtida teknologierna för markbundna system som kan tillhandahålla trådlösa bredbandiga elektroniska kommunikationstjänster (WBB ECS) och för trådlösa accesssystem, inklusive lokala radionätverk (WAS/RLAN). Förutsatt att minst ett föredraget scenario för delad användning av det övre 6 GHz-bandet av WBB ECS och WAS/RLAN (hädanefter "båda systemen") bedöms vara genomförbart, vilket också inkluderar deras samexistens med relevanta befintliga system inom detta band och i angränsande frekvensband, såväl som den framtida utvecklingen av de senare, bör motsvarande harmoniserade tekniska villkor tas fram för genomförandet av det/dessa scenarion. Om delad användning inte visar sig vara genomförbar bör harmoniserade tekniska villkor tas fram för ett alternativt scenario för användning av bandet (eller delar därav) av båda systemen. Inom ramen för detta mandats studier bör markbundna system som kan tillhandahålla WBB ECS och WAS/RLAN behandlas lika och utan några onödiga begränsningar eller preferensordning.
>
> Uppgift 1 – Studera och utvärdera samexistens och kompatibilitet för (i) markbundna system som tillhandahåller WBB ECS med befintliga spektrumanvändare och (ii) WAS/RLAN med befintliga spektrumanvändare.
>
> Uppgift 2 – Studera genomförbarhet och scenarier för delad användning mellan markbundna system som tillhandahåller WBB ECS och WAS/RLAN.
>
> Uppgift 3 – Ta fram harmoniserade tekniska villkor.”

Bedömning: Detta scenario är det mest komplexa scenariot, både tekniskt och regulatoriskt, pga. krav på fortsatt skydd av FS och krav på hållbar delning mellan FS, IMT och RLAN - i geografi och i frekvens. Scenariot kan delvis tillfredsställa kapacitetsbehov för IMT och RLAN i tättbebyggda områden men nyttan beror på vilka delningsmekanismer som tillämpas.

4.3 Scenario 2: ”Delning mellan FS och IMT”

Scenariobeskrivning: Fortsatt FS användning i bandet och delning med IMT. Det antas att IMT-basstationernas frekvensanvändning koordineras av PTS och att FS därmed kan fortsatt skyddas från störning. Frekvensanvändningen i detta scenario antas vara geografisk delad, där FS används mestadels utanför tätbebyggda områden, som idag, och IMT används främst i tätbebyggda områden. IMT användningen kan möjliggöras genom att basstationernas frekvensanvändning koordineras av PTS, antingen som enskilda sändare eller genom tilldelning av blocktillstånd.

I dagsläget finns inte tillgänglig IMT-utrustning i detta band, men standardiseringsarbete inom 3GPP med *3GPP Rel. 17 specification NR Band 104: 6425–7125 MHz* blev klar sommaren 2022. Prognoserna för när IMT-utrustning finns att tillgå för detta frekvensband anges av GSMA till år 2024–2025[36], i en skala som motsvarar spektrumtillgång och marknadens efterfrågan.

[36] 6-GHz-IMT-Ecosystem-Demand-Drives-Scale.pdf

Några slutsatser om utfallen av delning och kompatibilitet mellan IMT och FS är inte tillgängliga än. En delningsstudie[37] som presenterats inom ITU-R WP 5D indikerar att delning mellan FS och IMT är möjlig om vissa separationsavstånd används (se ovanstående avsnitt 3. ITU WP5D). Delning IMT och FS underlättas om IMT använder lägre eirp (medium power, micro) samt monteras på byggnadsfasad med lägre antennhöjd.

Bedömning: Generellt kan sägas att om fler användningar kan dela spektrum så ger det en effektivare frekvensanvändning och därmed en förutsättning för större samhällsnytta, förutsatt att tekniska studier visat att delning är hållbar. I det här scenariot möjliggörs delning både genom separationsavstånd och effektbegränsningar, vilket i sig utgör begränsningar för inkommande användning dvs. för IMT. Samtidigt skulle kapacitetsbehov av RLAN behöva tillfredsställas i andra frekvensband vilket kan påverka samhällsnyttan med detta scenario.

4.4 Scenario 3: ”Delning mellan FS och RLAN”

Scenariobeskrivning: Fortsatt FS användning i bandet och delning med RLAN. RLAN användningen antas bli begränsad till inomhus med låg effekt eller utomhus med mycket låg effekt och kan implementeras genom undantag från tillståndsplikt, på samma eller liknande sätt, som för låga 6 GHz.

Frekvensanvändningen i detta scenario antas vara geografiskt delad, där FS används mestadels utanför tätbebyggda områden, som idag, och RLAN främst används i tätbebyggda områden: inomhus med låg effekt eller utomhus med mycket låg effekt.

Tekniska studier har utförts i CEPT (ECC SE 45), för att utröna om en delning mellan FS och RLAN i höga 6 GHz riskerar att orsaka skadlig störning på FS. Resultatet av dessa studier har sammanställts och publicerats i ECC report 364. Fyra site-generella studier har gjorts, där studier från Tyskland respektive Sagemcom visar på låg risk för störning, medan studier från Nokia och Ericsson visar på viss risk för störning under vissa förutsättningar (kombination av parametrar). En site specifik studie har också gjorts av Wi-Fi-industrin som studerat 7 länkar i UK, 6 länkar i Frankrike, 7 länkar i Litauen och 6 länkar i Tjeckien. Studien visade att det inte fanns risk för störning på dessa länkar. PTS har dock under remissperioden genomfört en site specifik studie under verklighetsnära förhållanden på två riktiga FS-radiolänkar i Sverige. Simuleringarna visade att det för dessa länkar finns en signifikant risk för störning om RLAN befinner sig i vissa identifierade byggnader som ligger mycket nära FS antennernas huvudlober. Den svenska site specifika studien är inte inkluderad i ECC report 364. Istället beskrivs problematiken på ett mer generellt sätt i rapportens sammanfattning.

Eftersom det finns ca 12 000 länkar i detta band i Europa, så behöver sitespecifika ”stickprovssimuleringar” kompletteras med sitegenerella studier för att dra allmänna slutsatser. Vissa studier i SE45 visar på att risken för skadlig störning från RLAN mot FS är mycket låg, eftersom det krävs att flera parametrar (såsom byggnadsdämpning, antennhöjder, fädning och utstrålad effekt från RLAN i riktning mot FS antennen) samvarierar åt det ofördelaktiga hållet, för att skadlig störning av FS ska kunna uppstå. PTS sitespecifika studie pekar dock på att det snarare är avståndet till FS antennens huvudlob, under förutsättning att en byggnad med RLAN har *line of sight* till en FS antenn, som är det mest kritiska, och att sådana geometrier i praktiken kan uppstå för verkliga FS länkar.

Ett annat orosmoln i sammanhanget är att inverkan av korta pulsstörningar (som skickas ut även av RLAN utan trafik) inte tagits med i SE45s studier. Inverkan kan bli att antalet RLAN som kan störa behöver justeras upp med ungefär en faktor 50, vilket ju påverkar risken för att ”dåliga platser” (där RLAN befinner sig nära en FS antenn och i dess huvudriktning) i de generella simuleringarna blir fler, och därmed ökar risken för störning. Arbete med denna fråga pågår i SE19 men har inte konkluderat några resultat ännu.

[37] WP 5D, september 2021, Document 5D/778-E

PTS behöver fortsatt följa upp dessa resultat, och eventuellt genomföra fler mätningar tillsammans med Teracom och Ericsson, för att konkludera hur vi ser på störningsrisken mellan RLAN och FS i Sverige.

Bedömning: Generellt kan sägas att om fler användningar kan dela spektrum så ger det en effektivare frekvensanvändning och därmed en förutsättning för större samhällsnytta, förutsatt att tekniska studier visat att delning är hållbar. RLAN med låg effekt placerade inomhus eller mycket låg effekt utomhus, ser ut att ha lättare att samexistera med FS än vad IMT basstationer har. Dock så kan IMT basstationernas läge kontrolleras på ett annat sätt än vad RLAN accesspunkter kan (där ju PTS inte vet var de kommer att placeras). Samtidigt skulle kapacitetsbehov av IMT i detta scenario tillfredsställas i andra frekvensområden eller genom förtätning av befintliga nät, vilket också påverkar samhällsnyttan med detta scenario.

4.5 Scenario 4: ”Delning mellan RLAN och IMT”

Scenariobeskrivning: Delad användning av 6425–7125 MHz mellan MFCN och WAS/RLAN för att uppnå högt spektrumnyttjande i syfte att möta en ökad efterfrågan på datatjänster till konsumenter och företag.

WAS/RLAN-accesspunkter betjänar vanligtvis trafik lokaliserad inomhus kopplad till fasta bredbandstjänster medan MFCN-basstationer erbjuder yttäckning utomhus, inklusive uppkoppling inomhus. Scenariot syftar till att utforska delningen mellan WAS/RLAN inomhus tillsammans med MFCN, inklusive makrobasstationer. En effektiv delningsmekanism bör ge ytterligare överföringskapacitet för MFCN i områden med höga trafikvolymer och samtidigt utöka 6 GHz-bandets kapacitet för WAS/RLAN.

Efterfrågan i 6 GHz-bandet kan kategoriseras inom nedanstående områden:

1. Områden där MFCN har ytterligare kapacitetsbehov men inte WAS/RLAN,
2. Områden där WAS/RLAN har ytterligare kapacitetsbehov men inte och MFCN,
3. Områden där både MFCN och WAS/RLAN har ytterligare kapacitetsbehov.

Inom områden, enligt punkt 3, där det finns en efterfrågan från både MFCN och WAS/RLAN kan mekanismer, som inte finns i dagens standarder för MFCN respektive WAS/RLAN, behöva införas. Delning genom införande av sådana mekanismer kräver, ur ett standardiseringsperspektiv, att det tekniska ramverket för MFCN och/eller WAS/RLAN uppdateras i enlighet med detta.

Delning utan införande av ytterligare mekanismer innebär ur ett standardiseringsperspektiv att MFCN och RLAN använder sina respektive befintliga tekniska ramverk och delningsmekanismer, som ”Listen Before Talk” (LBT) för RLAN. Delning utan införande av ytterligare mekanismer kan potentiellt stödja delning i geografi, i frekvens eller i tid. Detta skulle kunna realiseras om MFCN respektive WAS/RLAN inte samtidigt använder spektrumet på samma plats.

Delning i frekvens

Den vanligaste mekanismen är en uppdelning av ett frekvensband så att varje del är exklusivt tillgängligt för en teknik.

Delning i tid och/eller geografi

Andra alternativ är stads- och landsbygdsdelning eller att använda spektrumet under olika tidsperioder, t.ex. dag/natt eller under en viss tid under ett evenemang.

Exempel på områden att utforska delningsmöjligheter inom är kontor i stadsmiljö, bostäder och företag i stadsmiljö eller företag i förortsmiljö. Troligt är dock att både MFCN och WAS/RLAN

efterfrågar ytterligare spektrum inom samma geografiska områden (t.ex. stadsmiljö). Om frekvensbandet inte ska delas upp mellan MFCN och WAS/RLAN kommer ytterligare mekanismer behöva införas för att minska – och helst undvika – risken för störning mellan dem.

Bedömning: Den tekniska och regulatoriska komplexiteten av detta scenario ligger i krav på hållbar delning mellan IMT och RLAN, - i geografi och i frekvens. Det scenariot kan i större utsträckning tillfredsställa kapacitetsbehov för IMT och RLAN men nyttan beror även här på vilka delningsmekanismer som tillämpas.

4.6 Scenario 5: ”Enbart IMT”

Scenariobeskrivning: Höga 6 GHz blir IMT-band som tillgängliggörs genom tilldelning av nationella blocktillstånd utan geografiska inskränkningar. I detta scenario är bedömningen att delning mellan FS och IMT i höga 6 GHz inte är möjlig över hela Sveriges geografiska yta utan att riskera skadlig störning på FS. I detta scenario måste därför FS i höga 6 GHz ersättas med optisk fiber, avvecklas eller migreras från höga 6 GHz till andra frekvensband.

Användningen för IMT i detta scenario förväntas främst vara i tätorter. I detta scenario antas ändå en något större utbyggnad kunna uppnås, jämfört med i scenario 2.

Hur transmissionsbehoven för de ca 1100 radiolänkar, fördelade på cirka 130 olika sträckor, som använder bandet idag ska lösas är inte utrett. Förutom stora kostnader som en flytt till andra frekvensband skulle medföra är bedömningen att det troligen inte är möjligt att, utan omfattande ombyggnad av befintligt radiolänknät, finna tillräckligt mycket ersättningsfrekvensutrymme i andra lämpliga frekvensband för att möta efterfrågan.

Bedömning: Spektrumeffektiviteten och samhällsnyttan i detta scenario kan uppskattas vara lägre än vad som är fallet om flera olika användningar delar bandet. Utbyggnad av mobila nät kan främst förväntas i tätorter. Samtidigt skulle kapacitetsbehov av RLAN i detta scenario tillfredsställas i andra frekvensområden eller genom förtätning av befintliga nät, vilket också påverkar samhällsnyttan med detta scenario.

4.7 Scenario 6: ”Enbart RLAN”

Scenariobeskrivning: Höga 6 GHz blir enbart WAS/RLAN-band som förväntas implementeras genom undantag från tillståndsplikt. I detta scenario är bedömningen att delning mellan RLAN och FS i höga 6 GHz inte är möjlig över hela Sveriges geografiska yta utan att riskera skadlig störning på FS. I detta scenario måste därför FS i höga 6 GHz ersättas med optisk fiber, avvecklas eller migreras från höga 6 GHz till andra frekvensband, om möjligt.

I detta scenario, där ingen hänsyn behöver tas till annan befintlig användning i bandet kan högre effektnivåer medges genom nationella beslut, för att använda RLAN som FWA system på vissa orter eller geografiska områden. Om det finns en verklig efterfrågan på nya frekvensband för FWA-lösningar i Sverige har inte utretts här.

Hur transmissionsbehoven för de ca 1100 radiolänkar, fördelade på cirka 130 olika sträckor, som använder bandet idag ska lösas är inte utrett. Förutom stora kostnader som en flytt till andra frekvensband skulle medföra är bedömningen att det troligen inte är möjligt att finna tillräckligt mycket ersättningsfrekvensutrymme i andra lämpliga frekvensband för att möta efterfrågan.

Bedömning: Spektrumeffektiviteten och samhällsnyttan i detta scenario kan uppskattas till något lägre än vad som är fallet om flera olika användningar kan dela spektrum. Det ska dock noteras att en eventuell användning av FWA i detta scenario kan bidra till bredbandsutbyggnaden. Användningen kan främst förväntas inomhus och delvis med låg effekt utomhus. Samtidigt skulle kapacitetsbehov

av IMT i detta scenario tillfredsställas i andra frekvensområden eller genom förtätning av befintliga nät, vilket också påverkar samhällsnyttan med detta scenario.

5. Metod och val av scenarier

I det här avsnittet beskrivs underlaget för multikriterieanalysen (se avsnitt 6). Med utgångspunkt i beskrivning av den tillämpade analysmetoden redovisas valet av scenarier för grundlig genomgång, samt definition av kriterierna relevanta för utvärdering av scenarier för höga 6 GHz-bandet.

5.1 Multikriterieanalys

PTS vision för spektrumförvaltningen är att samhällsnyttan av radiospektrum är maximerad över tid. Samhällsnytta från radiospektrum är den nytta samhället i stort åtnjuter från användning av resursen radiospektrum. En maximerad samhällsnytta av radiospektrum över tid uppnås när användningen av resursen är sådan att största möjliga nytta sammantaget skapas för samhället över tid.

Multikriterieanalys[38] (MCA) är en metod som används för att analysera och fatta beslut när flera olika faktorer eller kriterier behöver beaktas. Det är särskilt användbart i situationer där beslut inte kan baseras på ett enda mått (som pris eller tid), utan där olika aspekter måste vägas mot varandra för att hitta den bästa lösningen. MCA används alltså för att skapa en strukturerad och transparent beslutsprocess, särskilt när beslutet involverar många motstridiga intressen eller komplexa problem.

Metoden har följande definierade steg.

- Identifiera mål

Alla eventuella alternativ/scenarier bör uppnå vissa mål. Utan välformulerade mål riskerar analysen att bli otydlig och osystematisk, vilket kan leda till beslut som inte är i linje med vad man faktiskt vill uppnå. Målet bestämmer vilka kriterier som ska användas för att utvärdera alternativen. Till exempel, om ett mål är att minimera kostnader, kommer kostnad att vara ett centralt kriterium. Om ett annat mål är att maximera hållbarhet, behöver detta mål reflekteras i kriterier relaterade till miljöpåverkan och sociala faktorer. Utan tydliga mål kan det vara svårt att identifiera vilka kriterier som är relevanta.

Mål hjälper också till att avgöra hur mycket vikt olika kriterier ska ha. När målen är tydliga kan beslutstagare lättare prioritera kriterier och sätta vikter baserade på hur väl varje kriterium stämmer överens med målen. Om ett specifikt mål är särskilt viktigt, kommer de kriterier som relaterar till detta att få en högre vikt i analysen. Exempelvis om målet med ett byggprojekt är att bygga snabbt och billigt, kan tid och kostnad tilldelas högre vikt än estetiska värden eller miljöpåverkan.

- Identifiera alternativ/scenarier

Scenarioanalys innebär att undersöka potentiella framtida situationer och förutsäga möjliga utfall eller scenarier av viktiga beslut baserat på olika variabler och antaganden. Det är viktigt att komma ihåg att dessa scenarier inte är avsedda att fungera som förutsägelser, utan snarare representerar hypotetiska konstruktioner för att styra beslutsfattande.

I det hör steget identifieras de olika alternativ/scenarier som finns tillgängliga. Dessa alternativ/scenarier är de val eller strategier som ska jämföras och utvärderas. Dessa alternativ/scenarier representerar alla olika sätt att välja från för att uppnå de målen.

- Bestämma kriterier

[38] Multi-criteria analysis

De kriterier som är viktiga för beslutet definieras. Kriterier kan vara kvantitativa (mätbara) eller kvalitativa (subjektiva). Exempel på kriterier kan vara kostnad, hållbarhet, tidseffektivitet, risknivå, social påverkan etc.

Kriterier i en multikriterieanalys (MCA) måste vara oberoende av varandra, vilket innebär att varje kriterium ska bedöma en unik aspekt av de olika alternativen utan att överlappa eller påverka varandra. Detta är viktigt för att säkerställa att varje kriterium bidrar med separat och relevant information till analysen, och att det inte sker någon dubbelräkning eller snedvridning av resultaten. Exempelvis om två kriterier i en analys är "energiförbrukning" och "miljöpåverkan" kan de i vissa sammanhang överlappa, eftersom lägre energiförbrukning ofta innebär lägre miljöpåverkan. Om båda dessa kriterier används utan att de är tydligt avgränsade, kan samma faktor (energiförbrukning) få för stor vikt i analysen.

Värdet av ett kriterium ska inte påverka värdet av ett annat. Om kriterier är beroende av varandra riskerar de att korrelera, vilket innebär att förändringar i ett kriterium automatiskt påverkar ett annat. Det kan leda till att vissa alternativ blir över- eller undervärderade. Exempelvis om ett kriterium är "initial kostnad" och ett annat är "underhållskostnad", kan dessa vara beroende av varandra om höga initiala kostnader leder till lägre underhållskostnader i framtiden. I en sådan situation skulle dessa kriterier inte vara oberoende, eftersom de påverkas av samma underliggande faktorer.

Oberoende kriterier är nödvändiga för att viktningsprocessen ska vara korrekt. Om två beroende kriterier viktas var för sig, kan ett visst kriterium i praktiken få en större vikt än vad som var avsett, eftersom det "dyker upp" i flera olika former. Exempelvis om både "leveranstid" och "kundnöjdhet" används som kriterier, och kundnöjdheten till stor del påverkas av leveranstiden, innebär det att leveranstiden får större inflytande än vad som var tänkt. Det skulle kräva en justering för att undvika att samma aspekt påverkar analysen dubbelt.

Om det visar sig att vissa kriterier inte är helt oberoende kan man sammanfoga kriterierna till ett nytt sammansatt kriterium som fångar upp båda aspekterna.

Kriterierna i mallen har bland annat utgångspunkt i PTS spektrumpolicy, vision och mål, men kan behöva kompletteras för varje enskilt scenario. PTS vision för spektrumförvaltningen är att samhällsnyttan av radiospektrum i Sverige är maximerad över tid. Dessutom behöver man göra anpassningar beroende på det problem eller val som ska utföras så att analysen tar upp relevanta kriterier.

- Värdera kriterier

Kriterierna kan värderas på olika sätt. Det kan finnas kriterier som är kvantifierbara men de som inte är kan kvantifieras efter en viss skala. Alternativen kan ha olika måttenheter för olika kriterier (t.ex. kostnad i kronor, tid i dagar, energieffektivitet i kilowattimmar). För att kunna jämföra dessa direkt måste de normaliseras till en gemensam skala.

- Vikta kriterier

De olika kriterierna tilldelas vikter baserade på deras relativa betydelse i beslutet. Vissa kriterier kan vara viktigare än andra och ska därmed få högre vikt. Detta steg är viktigt för att reflektera prioriteringarna och målen hos dem som fattar beslutet.

- Beräkna det totala resultatet för varje alternativ

När poäng har tilldelats till varje kriterium och vikterna har bestämts, multipliceras poängen med de tillhörande vikterna för varje alternativ. Detta skapar vägda nyckeltal som används för att jämföra alternativen.

- Jämföra och analysera resultatet

Alternativen jämförs baserat på deras totala poäng. Det alternativ med högst poäng anses vara det mest fördelaktiga enligt de definierade kriterierna och vikterna för att uppnå målet. Dock kan känslighetsanalyser genomföras för att undersöka hur robusta resultaten är om vikterna eller bedömningarna förändras.

5.2 Känslighetsanalys

Multikriterieanalysen är en levande och iterativ process. Detta innebär att man kan gå tillbaka till olika steg efter man fått resultaten och försöka ändra eller förbättra mål, alternativ/scenarier, kriterier, värdering eller viktat. Syftet är att försöka undvika otydligheter och samtidigt hitta ett mer robust resultat.

Ett viktigt steg i den här processen är känslighetsanalysen. En känslighetsanalys syftar till att ändra utvärdering av kriterier eller viktningen för att identifiera stora förändringar i resultaten.

5.3 Val av scenarier som potentiellt ger störst nytta

Bland de möjliga scenarierna görs en fördjupad analys av ett urval av scenarier som bedöms kunna möta spektrumbehoven efter år 2030 för de olika användningarna och samtidigt potentiellt kunna ge störst samhällsnytta. De utvalda scenarierna (1–4 nedan) är de där delning mellan flera användningar möjliggörs på ett sätt som potentiellt är tekniskt effektivt och lönsamt för de som använder frekvenserna. Eftersom delning förutsätts i scenarierna 1, 2, 3 och 4 fokuserar vi på dem, medan scenarier med en enskild användning inte analyseras. Detta för att möjligheten till delning mellan olika användningar av radiospektrum alltid ska övervägas (PTS Spektrumpolicy). Scenario 1 och 4 har båda ett antal underscenarier, vilka framgår nedan. Dessa underscenarier kommer av att det är de tekniska delningsmöjligheter som diskuterats i delningsstudierna inom CEPT.

En potentiell fördel med scenarierna 1, 2 och 3 är att FS inte behöver avvecklas. För att göra en helhetsbedömning behöver konsekvenser som en delning kan medföra tas i beräkning, som t.ex. risk för störning mot FS. I scenario 2 kan den risken minimeras, genom koordinering mellan FS och IMT-användning. I scenario 3 kan däremot risken för störning mot FS vara svår att kontrollera eftersom RLAN-användningen i detta scenario skulle möjliggöras genom undantag från tillståndsplikt. Risk för störning mot FS skulle kunna hållas på en rimlig nivå, om RLAN får effektrestriktioner och i huvudsak används inomhus eller om man tillämpar AFC[39]-liknande lösningar.

Scenarierna 4, 5 och 6 förutsätter avveckling av FS och preliminära bedömningen är att detta är mycket svårt att genomföra, delvis för att ingen ersättning i annat frekvensband för nuvarande användning i höga 6 GHz-bandet finns och delvis för att ett eventuellt flytt till högre frekvenser innebär flera radiolänkhopp, ökade kostnader och försämrad tillgänglighet och robusthet.

Följande scenarier väljs för utvärdering:

1. Scenario 1: FS, IMT och RLAN i H6 GHz[40]

- *Scenario 1a: FS, IMT och RLAN i H6 GHz, med geografisk uppdelning.*
- *Scenario1b: FS, IMT och RLAN i H6 GHz, med spektrumsplit.*
- *Scenario 1c: FS, IMT och RLAN i H6 GHz, med low power MFCN och RLAN indoor.*
- *Scenario 1d: FS, IMT och RLAN i H6 GHz, med full power MFCN och RLAN indoor with additional sharing mechanism.*

[39] AFC - Automated Frequency Coordination
[40] H6 GHz – Höga 6 GHz-bandet

2. Scenario 2: FS och IMT i H6 GHz

3. Scenario 3: FS och RLAN i H6 GHz

4. Scenario 4: FS i andra band, IMT och RLAN i H6 GHz
- *Scenario 4a: FS i andra band, IMT och RLAN i H6 GHz, med geografisk uppdelning.*
- *Scenario 4b: FS i andra band, IMT och RLAN i H6 GHz, med spektrumsplit.*
- *Scenario 4c: FS i andra band, IMT och RLAN i H6 GHz, med low power MFCN och RLAN indoor.*
- *Scenario 4d: FS i andra band, IMT och RLAN i H6 GHz, med full power MFCN och RLAN indoor with additional sharing mechanism.*

5.4 Kriterier

I det här avsnittet presenteras ett urval av kriterierna relevanta för utvärdering av scenarier för höga 6 GHz-bandet, deras definition, enkel kvantitativ illustration av värdering samt förslag på vikt.

Konsumentnytta

1. Definition:

Tillgång till mer kapacitet för trådlösa bredbandstjänster till konsumentutrustning (t ex smartphones) när behovet uppstått (2030/2033?). När vi gör denna utvärdering bör vi särskilja mellan kapacitet och täckning utomhus och kapacitet och täckning inomhus för respektive scenario och användning.

2. Värdering:
- Alternativ som får MIN

Mer kapacitet/täckning endast inomhus eller mer kapacitet/täckning endast utomhus.
- Alternativ som får MAX

Mer kapacitet/täckning både inom- och utomhus.

3. Förslag på vikt: 0,4–0,5.

Totalförsvarsnytta

1. Definition:

Ett nät som kan leverera tjänster för ett mer robust samhälle mot samhällsstörningar. Detta kan t.ex. innebära ett redundant kontrollerat nät med kontroll end-to-end. På så sätt ger FS i höga 6 GHz generellt en mycket hög totalförsvarsnytta. Totalförsvarsnyttan för IMT och RLAN i höga 6 GHz är generellt låg eftersom detta är ett kapacitetsband för respektive teknik. IMT ger dock en något högre totalförsvarsnytta vs RLAN eftersom IMT antas baseras på en tillståndbunden användning och möjlighet till ett mer kontrollerat nät (jämfört med RLAN).

2. Värdering:
- Alternativ som får MIN

Ett nät som har låg kontroll end-to-end och/eller som är dåligt lämpat för samhällsviktig kommunikation. Sämre redundans/kapacitet för samhällsviktiga nät.
- Alternativ som får MAX

Ett nät som har hög kontroll end-to-end och/eller som är bra lämpat för samhällsviktig kommunikation. Bättre redundans/kapacitet för samhällsviktiga nät.

3. Förslag på vikt: 0,3–0,5.

Spektrumnytta

1. Definition:

Användning av bandet över hela landet: kvot mellan ”Spektrumnyttjande MHz x km2” och exkluderingszoner där ingen annan tjänst kan förekomma”. Eftersom en hög/låg spektrumeffektivitet (i tätbebyggda områden) kommer att avspeglas i konsumentnyttan kan vi sätta relativt låg vikt på detta kriterium. I synnerhet för höga 6 GHz som inte förväntas ge täckning på landsbygd (marginalnyttan är låg för höga 6GHz på landsbygd för både IMT/RLAN).

2. Värdering:
- Alternativ som får MIN

Lågt spektrumnyttjande MHz x km2 och stora exkluderingszoner.

- Alternativ som får MAX

Högt spektrumnyttjande MHz x km2 och små exkluderingszoner.

3. Förslag på vikt: 0,1–0,2.

Kostnad

1. Definition:

Denna kostnad är kostnad som krävs till att få tillgång till höga 6 GHz-bandet Därför definierar vi detta kriterium som kostnad för flytt av FS. Kostnad för flytt av FS är en utgift, ”*nyttiga resurser som förbrukas, icke önskvärda effekter eller det som ges upp för att få något annat*”.

Kostnad för utbyggnad av IMT och RLAN i H6 GHz är en investering, ”*en satsning av tid, pengar eller energi för att öka tillgångarna, intäkterna eller främja utvecklingen*”. Kostnader för driftsättning av IMT i andra frekvensband bör inte tas med här, eftersom analysen görs för scenarier för H6 GHz, inte för andra frekvensband. Däremot kan avsaknad av IMT i H6 GHz speglas i konsumentnytta och totalförsvarnytta. Samma logik bör gälla för de scenarierna som inte inkluderar RLAN. Baserat på detta resonemang kan vi sätta en relativt låg vikt på detta kriterium.

2. Värdering:
- Alternativ som får MIN

Total kostnad hög.

- Alternativ som får MAX

Total kostnad låg.

3. Förslag på vikt: 0,2–0,3.

Komplexitet för svensk administration

1. Definition:

För att förbereda/möjliggöra verktyg för att möjliggöra delad användning.

2. Värdering:
- Alternativ som får MIN

Hög kostnad och hög arbetsinsats.

- Alternativ som får MAX

Låg kostnad och låg arbetsinsats.

3. Förslag på vikt: 0,05.

Miljöpåverkan

1. Definition:

Tillkommande elförbrukning som uppstår av alternativet.

2. Värdering:
- Alternativ som får MIN

Högst elförbrukning.

- Alternativ som får MAX

Lägst elförbrukning.

3. Förslag på vikt: 0,1.

Kriterieviktning

Summa av vikter för alla kriterier ska vara 1. Därför sätts ovanstående förslag på vikterna i relation till varandra och därefter räknas vikterna om. Kriterieviktning finns nedan i Tabell 7.

Tabell 7 Kriterieviktning

Kriterium	Förslag på vikt	Vikt
Konsumentnytta	0,4–0,5	**0,4**
Totalförsvarsnytta	0,3–0,5	**0,4**
Spektrumnytta	0,1–0,2	**0**
Kostnad	0,2–0,3	**0,2**
Komplexitet för administration	0,05	**0**
Miljöpåverkan	0,1	**0**

6. Multikriterieanalys för utvalda scenarier

I detta kapitel genomförs multikriterieanalys för utvalda scenarier.

6.1 Scenario 1: för FS, IMT och RLAN i H6 GHz

- *Scenario 1a: FS, IMT och RLAN i H6 GHz, med geografisk uppdelning.*
- *Scenario1b: FS, IMT och RLAN i H6 GHz, med spektrumsplit.*
- *Scenario 1c: FS, IMT och RLAN i H6 GHz, med low power MFCN och RLAN indoor.*
- *Scenario 1d: FS, IMT och RLAN i H6 GHz, med full power MFCN och RLAN indoor with additional sharing mechanism.*

Delning (FS+IMT) är generellt inte möjlig i tätort/tätortsnära områden, efterfrågan på höga 6 GHz IMT i glesbygd bedöms vara låg varför FS kan vara kvar med geografisk separation, nationella IMT-tillstånd är inte möjliga utan krav på emissionsmask för skydd av FS.

Delning (FS+RLAN) är begränsad för FS i tätort, men utgör ingen begräsning för RLAN. FS kan bli (oväntat) tillåtet störd av RLAN på kritiska förbindelser.

Delning (IMT+RLAN) i samma geografiska område riskerar vara komplex., FS drabbas samtidigt av negativa effekter från båda tillkommande användningarna, även efter en bandsplit mellan RLAN och IMT.

Den tillkommande totalförsvarsnyttan av höga 6 GHz-bandet för IMT och/eller RLAN bedöms här vara låg, men för FS kan delad användning med IMT+RLAN vara allvarligt begränsande.

I ett scenario med bandsplit av frekvensområdet 6425–7125 MHz kan det vara lämpligt att RLAN nyttjar den lägre delen av bandet då den angränsar till frekvensområdet 5945–6425 MHz där RLAN - genom undantag från tillståndsplikt - redan medges i delning med FS. Användning av FS är begränsad till områden utan behov av IMT och/eller RLAN behov och är obetydlig i relation till IMT och RLAN.

Scenario 1a: FS, IMT och RLAN i H6 GHz, med geografisk uppdelning

Konsumentnytta: Givet att IMT och RLAN efterfrågas i samma geografiska områden riskerar det vara utmanande att avgöra i vilka områden där den ena eller andra användningen ska ges företräde framför den andra. En första uppskattning kan vara att den konsumentnytta för IMT och RLAN som uppnås är 50 procent vardera av vad som annars kan uppnås om antingen IMT eller RLAN var den enda användningen i bandet.

Uppskattad konsumentnytta: FS=0%, IMT=50%, RLAN=50%

Totalförsvarsnytta: I delning med IMT kan det medges fortsatt skydd av kritisk FS (med krav på emissionsmask för IMT), medan RLAN riskerar att försämra kritiska FS-förbindelser. Marginaltotalförsvarsnytta av mer spektrum i höga 6 GHz-bandet till IMT och RLAN kan, i relation till nyttan av befintligt spektrum för samma användning i lägre band, anses vara låg, och kanske i än högre grad om tjänster i den ena eller andra användningen inte kan nyttjas beroende på geografisk position.

Uppskattad totalförsvarsnytta: FS=60% (kritiskt skyddad från IMT i hela bandet, men begränsad av RLAN) i hela bandet, IMT=15%, RLAN=5%

Spektrumnytta: För att uppnå störningsfrihet mellan de olika användningar (IMT och RLAN) vid geografisk delning kan det vara nödvändigt med exkluderingszoner, områden där vare sig IMT eller RLAN kan medges. En geografisk uppdelning av IMT och RLAN-områden med kommersiell efterfrågan resulterar i att respektive användning begränsas och endast kan verka i t.ex. 45 procent (där 5 procent exkluderingszon ingår) av det totala kommersiellt efterfrågade området, dock när användningen medges sker den med 100 procent av höga 6 GHz-frekvensutrymmet.

FS drabbas av negativa effekter samtidigt från båda de tillkommande användningarna. IMT ges prioritet över (icke-kritisk) FS och FS kan inte samexistera med IMT i samma geografiska områden. En reducerad IMT-utbyggnad medför att FS uppskattas kunna vara kvar till 65 procent (100 procent IMT gav FS kvar på 30 procent enligt tidigare intern studie) där endast delning med RLAN sker. I områden med endast RLAN kan det vara nödvändigt att reducera maximalt användbar modulationsgrad under onormal vågutbredning (uppskattastill 75 procent av kapaciteten), FS-nyttjande blir motsvarande 65%x75%=49%.

Uppskattad spektrumnytta: FS=49% (av nuvarande användning), IMT=45% (får prio över icke-kritisk FS), RLAN=45% (men procentsatserna för respektive användning behöver viktas).

Kostnad:

Uppskattad kostnad: FS+IMT+RLAN bedöms vara medel i förhållande till övriga scenarier: FS=30%, IMT=0%, RLAN=0%.

Komplexitet för administration:

Uppskattad komplexitet: FS=80%, IMT=20% (får prio över icke-kritisk FS), RLAN=20%.

Miljöpåverkan:

Uppskattad miljöpåverkan: FS=90%, IMT=85%, RLAN=99%.

Scenario 1b: FS, IMT och RLAN i H6 GHz, med spektrumsplit

Konsumentnytta: IMT och RLAN kan antas dela upp 6 GHz-frekvensutrymmet i lika delar, men för att uppnå störfrihet mellan användningar kan det vara nödvändigt med ett skyddsband, och därför uppnås endast 45 procents nyttjande för respektive användning. Reducerad tillgång på spektrum för respektive användning medför att begränsat antal mobiloperatörer med vardera 100 MHz, färre breda kanaler för RLAN.

En första uppskattning kan vara att den konsumentuppnytta för IMT och RLAN som uppnås är 45 procent vardera av vad som annars kan uppnås om antingen IMT eller RLAN var den enda användningen i bandet.

Uppskattad konsumentnytta: FS=0%, IMT=45%, RLAN=45%.

Totalförsvarsnytta: I delning med IMT kan det medges fortsatt skydd av kritisk FS (med krav på emissionsmask för IMT), medans RLAN riskerar att försämra kritiska FS-förbindelser. Marginaltotalförsvarsnytta av mer spektrum i höga 6 GHz-bandet till IMT och RLAN kan, i relation till redan nyttan av befintligt spektrum för samma användning i lägre band, anses vara låg, men tjänster tillgängliga i hela landet.

Uppskattad totalförsvarsnytta: FS=65% (kritiskt skyddad från IMT i en del av bandet och bara begränsad av RLAN i den andra delen av bandet - en riktning av länken), IMT=15%, RLAN=5%.

Spektrumnytta: FS drabbas samtidigt av negativa effekter från båda tillkommande användningarna. På grund av IMT reduceras FS till 30 procent (enligt tidigare intern studie) och i dessa områden där det ändå kan delas med RLAN kan det vara nödvändigt att reducera maximalt användbar modulationsgrad under onormal vågutbredning (uppskattar till 75 procent av kapaciteten), FS-nyttjande blir då 30%x75%=22%.

IMT ges prioritet över (icke-kritisk) FS och FS kan inte samexistera med IMT i samma geografiska områden.

IMT och RLAN kan antas dela upp höga 6 GHz-frekvensutrymmet i lika delar, men för att uppnå störfrihet mellan användningar kan det vara nödvändigt med ett skyddsband, och därför uppnås endast 45 procents nyttjande.

Uppskattad spektrumnytta: FS=22%, IMT=45% (får prio över icke-kritisk FS), RLAN=45%.

Kostnad:

Uppskattad kostnad: FS+IMT+RLAN bedöms vara medel i förhållande till övriga scenarier. FS=15%, IMT=0%, RLAN=0%.

Komplexitet för administration:

Uppskattad komplexitet: FS=80%, IMT=100%, RLAN=100%.

Miljöpåverkan:

Uppskattad miljöpåverkan: FS=90%, IMT=80%, RLAN=99%.

Scenario 1c: FS, IMT och RLAN i H6 GHz, med low power MFCN och RLAN indoor.

Konsumentnytta: Det kan vara ett rimligt antagande att IMT-konsumentnyttan minskar när IMT-sändareffekt reduceras, samtidigt som den förbättrade störmiljön för RLAN ökar dess konsumentnytta.

En första uppskattning kan vara att den konsumentuppnytta som uppnås för IMT är 25 procent och för RLAN är 75 procent av vad som annars kan uppnås om antingen IMT eller RLAN var den enda användningen i bandet.

Uppskattad konsumentnytta: FS=0%, IMT=25%, RLAN=75%.

Totalförsvarsnytta: Den minskade sändareffekten skyddar kritisk FS i högre grad, men RLAN, som är undantaget från tillståndsplikt, riskerar att försämra kritiska FS-förbindelser. Marginaltotalförsvarsnytta av mer spektrum i höga 6 GHz-bandet till IMT och RLAN kan, i relation till nyttan av spektrum som redan är tillgängligt för IMT och RLAN i lägre band, anses vara låg. Även om totalförsvarsnyttan av höga 6 GHz för IMT/RLAN är låg generellt så ger IMT relativt RLAN en något högra totalförsvarsnytta. I detta scenario är dock IMT kapaciteten sämre pga. av låg effekt, vilket måste kompenseras i värdet.

Uppskattad totalförsvarsnytta: FS=60% (bättre skyddad från lågeffekt IMT, men fortsatt begränsad av RLAN i hela bandet), IMT=15%, RLAN=5%.

Spektrumnytta: FS drabbas av negativa effekter samtidigt från båda de tillkommande användningarna. På grund av lågeffekt IMT reduceras användning av FS (ännu ej studerat hur stort område) där FS i området endast delar med RLAN.

Lågeffekt IMT ges prioritet över (icke-kritisk) FS, men FS kan inte helt samexistera med lågeffekt IMT i samma geografiska områden. Delningsmöjlighet bör vara betydligt bättre då användning av lågeffekt antas innebära större andel IMT-antenner monterat på husfasad och inte på hustak. För IMT innebär

lågeffektsanvändningen omfattande begränsning, medan RLAN däremot begränsas i mindre mån av IMT.

Uppskattad spektrumnytta**:** FS=60%, IMT=20% (får prio över icke-kritisk FS), RLAN=80%.

Kostnad:

Uppskattad kostnad: FS+IMT+RLAN bedöms vara medel i förhållande till övriga scenarier. FS=75%, IMT=0%, RLAN=0%.

Komplexitet för administration:

Uppskattad komplexitet: FS=80%, IMT=100%, RLAN=100%.

Miljöpåverkan:

Uppskattad miljöpåverkan: FS=90%, IMT=90%, RLAN=99%.

Scenario 1d: FS, IMT och RLAN i H6 GHz, med full power MFCN och RLAN indoor with additional sharing mechanism.

Konsumentnytta: Fungerande delningsmekanismer bör ge högst konsumentnytta vid samtidig användning av IMT och RLAN, men för RLAN kanske begränsat till vad som kan uppnås genom samexistens med lågeffekt MFCN (75 procent). En första uppskattning kan vara att den konsumentuppnytta som uppnås för IMT är 75 procent och för RLAN är 25 procent av vad som annars kan uppnås om antingen IMT eller RLAN var den enda användningen i bandet.

Uppskattad konsumentnytta: FS=0%, IMT=75%, RLAN=25%.

Totalförsvarsnytta: För FS innebär införande av delning mellan IMT och RLAN ingen större skillnad – bara att både IMT och RLAN kan och får vara där den efterfrågas. Marginaltotalförsvarsnytta av mer spektrum i höga 6 GHz-bandet till IMT och RLAN kan, i relation till nyttan av befintligt spektrum för samma användning i lägre band, anses vara låg. Även om totalförsvarsnyttan av höga 6 GHz för IMT/RLAN är låg generellt så ger IMT relativt RLAN en något högre totalförsvarsnytta.

Uppskattad totalförsvarsnytta: FS=65%, IMT=15%, RLAN=5%.

Spektrumnytta: FS drabbas av negativa effekter samtidigt från båda de tillkommande användningarna. På grund av IMT reduceras FS till 30 procent (enligt tidigare intern studie) och i dessa områden där IMT kan delas med RLAN kan det vara nödvändigt att reducera maximalt användbar modulationsgrad under onormal vågutbredning (uppskattas till 75 procent av kapaciteten), FS-nyttjande blir då 30%x75%=22%.

Delning mellan IMT och RLAN förutsätter prioritet för IMT, IMT kan därför antas få ett högt nyttjande medan RLAN får ett lägre nyttjande, men ändå sammanlagt högre nyttjandegrad än i scenarion 1a - 1c.

Uppskattad spektrumnytta**:** FS=22%, IMT=90% (får prio över icke-kritisk FS), RLAN=30%.

Kostnad:

Uppskattad kostnad: FS+IMT+RLAN bedöms vara medel i förhållande till övriga scenarier. FS=15%, IMT=0%, RLAN=0%.

Komplexitet för administration:

Uppskattad komplexitet: FS=80%, IMT=100%, RLAN=100%.

Miljöpåverkan:

Uppskattad miljöpåverkan: FS=90%, IMT=75%, RLAN=99%.

6.2 Scenario 2: FS och IMT i H6 GHz

Dessa två högeffektsanvändningar kan generellt inte samtidigt dela samma frekvensutrymme inom samma geografiska område – geografisk delning är nödvändig. En kvarvarande FS-användning i delar av landet, t.ex. för samhällsviktiga/kritiska förbindelser eller fortsatt behov av FS där optisk fiber inte är ett fullgott alternativ, begränsar nationella IMT tillstånd (krav på emissionsmask för skydd av befintlig FS), och IMT-användning begränsar möjlighet att etablera ny FS i bandet. Lokala IMT-tillstånd förutsätter avveckling av viss FS.

IMT i 6 GHz medger högkapacitetstjänster, vilka i ännu högre grad även kan realiseras med IMT i 26 GHz-bandet, dock med kortare maximal räckvidd för 26 GHz-bandet jämfört med 6 GHz-bandet.

En IMT-tillämpning kan vara FWA (punkt-till-multipunkt radiolänk) i (låga och höga) 6 GHz-banden för att möta utbyggnad för att uppfylla bredbandsmål. IMT-teknik kan i princip även användas för punkt-till-punkt förbindelse, dvs. motsvarande traditionell FS.

En delning mellan FS och IMT innebär ömsesidiga nackdelar för båda användningar, men kritisk FS-användning bör kunna skyddas i tilldelning (lokala, regionala tillstånd) och tillståndsvillkor för IMT.

Konsumentnytta: IMT kan erbjuda kapacitet både inomhus och utomhus där tjänster efterfrågas, men kan inte byggas i hela landet om kritisk FS ska skyddas.

Uppskattad konsumentnytta: FS=0%, IMT=100%, RLAN=0%.

Totalförsvarsnytta: Tillkommande totalförsvarsnyttan av mer spektrum, i höga 6 GHz-bandet, för IMT bör, i relation till befintligt spektrum för IMT i lägre band, vara begränsad.

Uppskattad totalförsvarsnytta: FS=80%, IMT=15%, RLAN=0%.

Spektrumnytta: Användningen av IMT är beroende av FS, en stor del av FS måste avvecklas för att kunna möjliggöra IMT fullt ut. En delning mellan FS och IMT innebär ömsesidiga nackdelar för båda användningar, men kritisk FS-användning bör kunna skyddas i tilldelning (lokala, regionala tillstånd) och tillståndsvillkor för IMT (emissionsmask).

Uppskattad spektrumnytta: FS=30%, IMT=95% (får prio över icke-kritisk FS), RLAN=0%.

Kostnad:

Uppskattad kostnad: FS+IMT bedöms vara medel i förhållande till övriga scenarier. FS=30%, IMT=0%, RLAN=0%.

Komplexitet för administration:

Uppskattad komplexitet: FS=80%, IMT=80%, RLAN=0%.

Miljöpåverkan:

Uppskattad miljöpåverkan: FS=90%, IMT=75%, RLAN=100%.

6.3 Scenario 3: FS och RLAN i H6 GHz

Lågeffekts RLAN undantagen från tillståndsplikt anses enligt ECC-studier kunna samexistera med FS i låga 6 GHz, det kan anses att samma förutsättningar för samexistens finns för delning i höga 6 GHz. En inte fullt fungerande delning kan för FS få konsekvensen att vissa delsträckor inte uppnår tillräcklig kapacitet och överföringskvalitet för att möta tillståndshavarens krav, typiskt sett över tätbefolkade

områden, men det kan inte uteslutas att kritiska radiolänkförbindelser kan (oväntat) tillåtet påverkas med högre störnivå från RLAN. För RLAN i höga 6 GHz medges, tillsammans med låga 6 GHz, högkapacitetstjänster i lokaler och platser med hög användardensitet/täthet.

Befintligt RLAN-spektrum i 2,4 GHz, 5 GHz och låga 6 GHz bör annars vara tillräckligt utanför tätort/tätortsnära områden med lägre användardensitet/täthet.

Lågeffekts RLAN kan inte ses som en teknik som ensamt bidrar till regeringens bredbandsmål – RLAN är en lokal accessteknik och kräver annan transmission via optisk fiber, IMT, satellit eller fast radio för bredbandsinkoppling.

FS i höga 6 GHz utgör ingen begränsning för RLAN i samma band. Delning med RLAN även i höga 6 GHz kan, pga. behov av att reducera modulationsgrad, driva utbyggnadsbehov av FS även i låga 6 GHz för att möta tillräckligt kapacitetsbehov och överföringskvalitet

Totalförsvarsnyttan av mer RLAN spektrum undantagen från tillståndsplikt bör, med tanke på befintlig möjlighet att använda RLAN i 2,4 GHz, 5 GHz och låga 6 GHz, kunna anses vara LÅG. FS delning med RLAN kan fungera i majoriteten av fall, men det kan inte uteslutas att kritiska radiolänkförbindelser kan (oväntat-men tillåtet) påverkas med reducerad kapacitet och överföringskvalitet som resultat.

Ett mycket stort antal RLAN accesspunkter medges med användning av 160 MHz kanaler och hög kapacitet med en (praktisk) räckvidd på några 10-tals meter.

Användning av RLAN är inte beroende av FS, men FS kan behöva reducera kapacitet för att möta krav på överföringskvalitet.

Konsumentnytta: RLAN kan erbjuda mycket god kapacitet i både låga 6 GHz- och höga 6 GHz-bandet inomhus där tjänster efterfrågas.

Uppskattad konsumentnytta: FS=0%, IMT=0%, RLAN=100%.

Totalförsvarsnytta: Tillkommande totalförsvarsnyttan av mer 6 GHz-spektrum för RLAN bör, i relation till befintlig RLAN i lägre band, vara begränsad.

Uppskattad totalförsvarsnytta: FS=75%, IMT=0%, RLAN=5%.

Spektrumnytta: Användningen av RLAN är oberoende av FS, däremot riskerar en viss andel av FS att inte kunna nyttja maximal kapacitet då det kan vara nödvändigt att begränsa maximal modulation under perioder med onormal vågutbredning. Som en konsekvens kan det vara så att en delning RLAN+FS i höga 6 GHz driver utbyggnadsbehov av FS i låga 6 GHz.

Uppskattad spektrumnytta: FS=75%, IMT=0%, RLAN=100%.

Kostnad:

Uppskattad kostnad: FS+RLAN bedöms vara HÖG i förhållande till övriga scenarier. FS=100%, IMT=0%, RLAN=0%.

Komplexitet för administration:

Uppskattad komplexitet: FS=100%, IMT=100%, RLAN=100%.

Miljöpåverkan:

Uppskattad miljöpåverkan: FS=75%, IMT=100%, RLAN=99%.

6.4 Scenario 4: FS i andra band, IMT och RLAN i H6 GHz

- *Scenario 4a: FS i andra band, IMT och RLAN i H6 GHz, med geografisk uppdelning.*
- *Scenario 4b: FS i andra band, IMT och RLAN i H6 GHz, med spektrumsplit.*
- *Scenario 4c: FS i andra band, IMT och RLAN i H6 GHz, med low power MFCN och RLAN indoor.*
- *Scenario 4d: FS i andra band, IMT och RLAN i H6 GHz, med full power MFCN och RLAN indoor with additional sharing mechanism.*

I dessa scenarier är tillkommande nytta-bidrag från FS-användning 0% för samtliga kriterier då FS använder andra frekvensband.

Användning av RLAN är därmed oberoende av delning med FS i samma frekvensband och begränsas oavsett scenario endast av delningen med IMT. Därför bör det kunna antas samma kriterieparametervärde för RLAN som i scenarier 1a-1d och 3.

IMT-användningen var till viss del begränsad av FS i scenarier 1a-1d och 2, och bör därför få något högre kriterieparametervärde (exempelvis+ 5 procent) om IMT då delar bandet med RLAN.

Scenario 4a: FS i andra band, IMT och RLAN i H6 GHz, med geografisk uppdelning

Konsumentnytta: Givet att IMT och RLAN efterfrågas i samma geografiska områden riskerar det vara utmanande att avgöra i vilka områden där den ena eller andra användningen ska ges företräde framför den andra. En första uppskattning kan vara att den konsumentnytta för IMT och RLAN som uppnås är 50 procent vardera av vad som annars kan uppnås om antingen IMT eller RLAN var den enda användningen i bandet.

Uppskattad konsumentnytta: FS=0%, IMT=50%, RLAN=50%.

Totalförsvarsnytta: Marginaltotalförsvarsnytta av mer spektrum i höga 6 GHz-bandet till IMT och RLAN kan, i relation till nyttan av befintligt spektrum för samma användning i lägre band, anses vara låg, och kanske i än högre grad om tjänster i den ena eller andra användningen inte kan nyttjas beroende på geografisk position.

Uppskattad totalförsvarsnytta: FS=0%, IMT=15%, RLAN=5%.

Spektrumnytta: För att uppnå störningsfrihet mellan de olika användningar (IMT och RLAN) vid geografisk delning kan det vara nödvändigt med exkluderingszoner, områden där vare sig IMT eller RLAN kan medges. En geografisk uppdelning av IMT och RLAN-områden med kommersiell efterfrågan resulterar i att respektive användning begränsas och endast kan verka i t.ex. 45 procent (där 10 procent exkluderingszon tillkommer) av det totala kommersiellt efterfrågade området, dock när användningen medges sker den med 100 procent av höga 6 GHz-frekvensutrymmet.

Uppskattad spektrumnytta: FS=0%, IMT=50%, RLAN=50%.

Kostnad:

Uppskattad kostnad: FS=0%, IMT=0%, RLAN=0%.

Komplexitet för administration:

Uppskattad komplexitet: FS=100%, IMT=20%, RLAN=20%.

Miljöpåverkan:

Uppskattad miljöpåverkan: FS=95%, IMT=85%, RLAN=99%.

Scenario 4b: FS i andra band, IMT och RLAN i H6 GHz, med spektrumsplit

Konsumentnytta: IMT och RLAN kan antas dela upp höga 6 GHz-frekvensutrymmet i lika delar, men för att uppnå störfrihet mellan användningar kan det vara nödvändigt med ett skyddsband, och därför uppnås endast 45 procents nyttjande för respektive användning. Reducerad tillgång till spektrum för respektive användning medför att begränsat antal mobiloperatörer med vardera 100 MHz, färre breda kanaler för RLAN.

En första uppskattning kan vara att den konsumentuppnytta för IMT och RLAN som uppnås är 45 procent vardera av vad som annars kan uppnås om antingen IMT eller RLAN var den enda användningen i bandet.

Uppskattad konsumentnytta: FS=0%, IMT=45%, RLAN=45%.

Totalförsvarsnytta: Marginaltotalförsvarsnytta av mer spektrum i höga 6 GHz-bandet till IMT och RLAN kan, i relation till nyttan av befintligt spektrum för samma användning i lägre band, anses vara låg, men tjänster tillgängliga i hela landet.

Uppskattad totalförsvarsnytta: FS=0%, IMT=15%, RLAN=5%.

Spektrumnytta: IMT och RLAN kan antas dela upp höga 6 GHz-frekvensutrymmet i lika delar, men för att uppnå störfrihet mellan användningar kan det vara nödvändigt med ett skyddsband, och därför uppnås kanske endast 45 procents nyttjande.

Uppskattad spektrumnytta: FS=0%, IMT=50%, RLAN=50%.

Kostnad:

Uppskattad kostnad: FS=0%, IMT=0%, RLAN=0%.

Komplexitet för administration:

Uppskattad komplexitet: FS=100%, IMT=100%, RLAN=100%.

Miljöpåverkan:

Uppskattad miljöpåverkan: FS=95%, IMT=80%, RLAN=99%.

Scenario 4c: FS i andra band, IMT och RLAN i H6 GHz, med low power MFCN och RLAN indoor

Konsumentnytta: Det kan vara ett rimligt antagande att IMT-konsumentnyttan minskar när IMT-sändareffekt reduceras, samtidigt som den förbättrade störmiljön för RLAN ökar dess konsumentnytta.

En första uppskattning kan vara att den konsumentuppnytta som uppnås för IMT är 25 procent och för RLAN är 75 procent av vad som annars kan uppnås om antingen IMT eller RLAN var den enda användningen i bandet.

Uppskattad konsumentnytta: FS=0%, IMT=25%, RLAN=75%.

Totalförsvarsnytta: Marginaltotalförsvarsnytta av mer spektrum i höga 6 GHz-bandet till IMT och RLAN kan, i relation till nyttan av befintligt spektrum för samma användning i lägre band, anses vara låg. Även om totalförsvarsnyttan av höga 6 GHz för IMT/RLAN är låg generellt så ger IMT relativt RLAN en något högra totalförsvarsnytta. I detta scenario är dock IMT kapaciteten sämre pga. av låg effekt vilket måste kompenseras i värdet.

Uppskattad totalförsvarsnytta: FS=0%, IMT=15%, RLAN=5%.

Spektrumnytta: För IMT innebär lågeffektsanvändningen omfattande begränsning, medans RLAN däremot begränsas i mindre mån av IMT.

Uppskattad spektrumnytta: FS=0%, IMT=20%, RLAN=80%.

Kostnad:

Uppskattad kostnad: FS=0%, IMT=0%, RLAN=0%.

Komplexitet för administration:

Uppskattad komplexitet: FS=100%, IMT=100%, RLAN=100%.

Miljöpåverkan:

Uppskattad miljöpåverkan: FS=95%, IMT=90%, RLAN=99%.

Scenario 4d: FS i andra band, IMT och RLAN i H6 GHz, med full power MFCN och RLAN indoor with additional sharing mechanism

Konsumentnytta: Fungerande delningsmekanismer bör ge högst konsumentnytta vid samtidig användning av IMT och RLAN, men för RLAN kanske begränsat till vad som kan uppnås i samexistens med lågeffekt MFCN (75 procent). En första uppskattning kan vara att den konsumentnytta som uppnås för IMT är 75 procent och för RLAN är 25 procent av vad som annars kan uppnås om antingen IMT eller RLAN var den enda användningen i bandet.

Uppskattad konsumentnytta: FS=0%, IMT=75%, RLAN=25%.

Totalförsvarsnytta: Marginaltotalförsvarsnytta av mer spektrum i höga 6 GHz-bandet till IMT och RLAN kan, i relation till nyttan av befintligt spektrum för samma användning i lägre band, anses vara låg. Även om totalförsvarsnyttan av höga 6 GHz för IMT/RLAN är generellt låg så ger IMT relativt RLAN en något högre totalförsvarsnytta.

Uppskattad totalförsvarsnytta: FS=0%, IMT=15%, RLAN=5%.

Spektrumnytta: Delning mellan IMT och RLAN förutsätter prioritet för IMT, IMT kan därför antas få ett högt nyttjande medans RLAN får ett lägre nyttjande, men ändå sammanlagt högre nyttjandegrad än i scenarion 4a - 4c.

Uppskattad spektrumnytta: FS=0%, IMT=95%, RLAN=30%.

Kostnad:

Uppskattad kostnad: FS=0%, IMT=0%, RLAN=0%.

Komplexitet för administration:

Uppskattad komplexitet: FS=100%, IMT=100%, RLAN=100%.

Miljöpåverkan:

Uppskattad miljöpåverkan: FS=95%, IMT=75%, RLAN=99%.

6.5 Resultat av multikriterieanalysen

En sammanställning av de olika scenariernas bedömda/uppskattade nyttor i multikriterieanalysen ges i Tabell 8 och i Figur 24 nedan.

Tabell 8 Sammanställning av resultat av scenarioanalysen

Scenario/Nytta	Scenario 1a: FS, IMT och RLAN, med geografisk uppdelning	Scenario 1b: FS, IMT och RLAN, med spektrumsplit	Scenario 1c: FS, IMT och RLAN, med low power MFCN och RLAN indoor.	Scenario 1d: FS, IMT och RLAN, med full power MFCN och RLAN indoor with additional sharing mechanism.	Scenario 2: FS och IMT
Konsument	FS=0%, IMT=50%, RLAN=50%	FS=0%, IMT=45%, RLAN=45%	FS=0%, IMT=25%, RLAN=75%	FS=0%, IMT=75%, RLAN=25%	FS=0%, IMT=100%, RLAN=0%
Totalförsvar	FS=60%, IMT=15%, RLAN=5%	FS=65% IMT=15%, RLAN=5%	FS=60%, IMT=15%, RLAN=5%	FS=65%, IMT=15%, RLAN=5%	FS=80%, IMT=15%, RLAN=0%
Kostnad	FS=30%, IMT=0%, RLAN=0%	FS=15%, IMT=0%, RLAN=0%	FS=75%, IMT=0%, RLAN=0%	FS=15%, IMT=0%, RLAN=0%	FS=30%, IMT=0%, RLAN=0%
Spektrumnytta	FS=49%, IMT=45%, RLAN=45% Viktad summa: 83%	FS=22%, IMT=45%, RLAN=45%. Viktad summa: 76%	FS=60%, IMT=20%, RLAN=80%. Viktad summa: 94%	FS=22%, IMT=90%, RLAN=30%. Viktad summa: 100%	FS=30% IMT=95%, RLAN=0% Viktad summa: 82%
Komplexitet	FS=80%, IMT=20%, RLAN=20%.	FS=80%, IMT=100%, RLAN=100%.	FS=80%, IMT=100%, RLAN=100%.	FS=80%, IMT=100%, RLAN=100%.	FS=80%, IMT=80%, RLAN=100%.
Miljöpåverkan	FS=90%, IMT=85%, RLAN=99%.	FS=90%, IMT=80%, RLAN=99%.	FS=90%, IMT=90%, RLAN=99%.	FS=90%, IMT=75%, RLAN=99%.	FS=90%, IMT=75%, RLAN=100%.

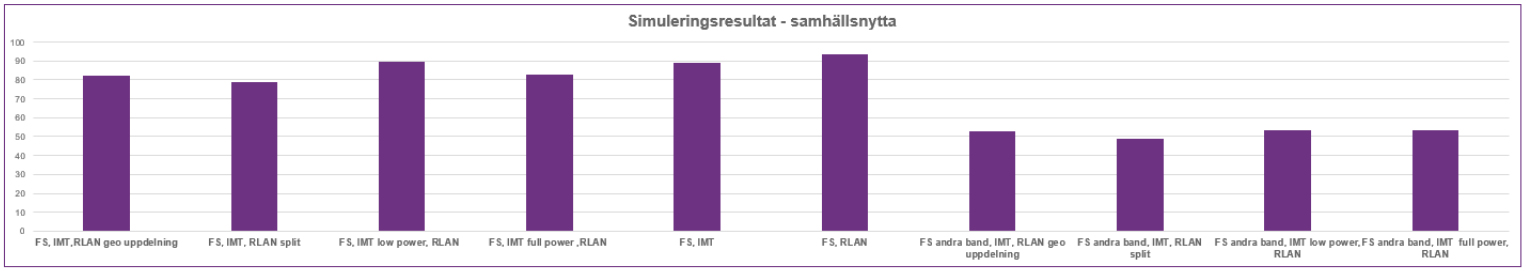
Scenario/Nytta	Scenario 4a: EJ FS. IMT och RLAN, med geografisk uppdelning	Scenario 4b: EJ FS. IMT och RLAN, med spektrumsplit	Scenario 4c: EJ FS. IMT och RLAN, med low power MFCN och RLAN indoor.	Scenario 4d: EJ FS. IMT och RLAN, med full power MFCN och RLAN indoor with additional sharing mechanism.	Scenario 3: FS och RLAN
Konsument	FS=0% IMT=50% RLAN=50%	FS=0% IMT=45% RLAN=45%	FS=0% IMT=25% RLAN=75%	FS=0% IMT=75% RLAN=25%	FS=0% IMT=0% RLAN=100%
Totalförsvar	FS=0% IMT=15% RLAN=5%	FS=0% IMT=15% RLAN=5%	FS=0% IMT=15% RLAN=5%	FS=0% IMT=15% RLAN=5%	FS=75% IMT=0% RLAN=5%
Kostnad	FS=0%, IMT=0%, RLAN=0%	FS=0%, IMT=0%, RLAN=0%	FS=0%, IMT=0%, RLAN=0%	FS=0%, IMT=0%, RLAN=0%	FS=100%, IMT=0%, RLAN=0%
Spektrumnytta	FS=0%, IMT=50%, RLAN=50%. Viktad summa: 79%	FS=0%, IMT=50%, RLAN=50%. Viktad summa: 79%	FS=0%, IMT=20%, RLAN=80%. Viktad summa: 79%	FS=0% IMT=95%, RLAN=30% Viktad summa: 98%	FS=75%, IMT=0%, RLAN=100% Viktad summa: 98%
Komplexitet	FS=100%, IMT=20%, RLAN=20%.	FS=100%, IMT=100%, RLAN=100%.	FS=100%, IMT=100%, RLAN=100%.	FS=100%, IMT=100%, RLAN=100%.	FS=100%, IMT=100%, RLAN=100%.
Miljöpåverkan	FS=95% IMT=85% RLAN=99%	FS=95% IMT=80% RLAN=99%	FS=95% IMT=90% RLAN=99%	FS=95% IMT=75% RLAN=99%	FS=75% IMT=100% RLAN=99%

Det scenario som vinner i multikriterieanalysen är det scenario där bandet delas mellan FS och RLAN (scenario 3), tätt följd av två scenarier där bandet i det ena scenariot delas mellan FS och IMT (scenario 2) och i det andra mellan FS, IMT low power och RLAN (scenario 1c).

Eftersom det endast är ett fåtal poäng som skiljer mellan delad användning mellan FS och RLAN respektive mellan FS och IMT så kan vi inte dra några säkra slutsatser om vilken av dessa nya användningar som är att föredra. Multikriterieanalysen visar dock tydligt att ett scenario där FS använder frekvensbandet ger en högre samhällsnytta än scenarier där FS inte använder frekvensbandet.

Figur 24 Sammanställning av resultat av scenarioanalysen

		SCENARIER									
		1a	1b	1c	1d	2	3	4a	4b	4c	4d
KRITERIER	VIKT	FS, IMT,RLAN geo uppdelning	FS, IMT, RLAN split	FS, IMT low power, RLAN	FS, IMT full power ,RLAN	FS, IMT	FS, RLAN	FS andra band, IMT, RLAN geo uppdelning	FS andra band, IMT, RLAN split	FS andra band, IMT low power, RLAN	FS andra band, IMT full power, RLAN
Konsumentnytta	0,4	100	90	100	100	100	100	100	90	100	100
Totalförsvarsnytta	0,4	84	89	84	89	100	84	21	21	21	21
Spektrumnytta	0,01	83	76	94	100	82	98	79	79	79	98
Kostnad ("straff") för ersättning av FS	0,15	30	15	75	15	30	100	0	0	0	0
Komplexitet för admin.	0,01	40	93	93	93	87	100	47	100	100	100
Miljöpåverkan	0,03	96	95	98	93	93	96	98	96	100	95
RESULTAT	1,00	82	79	90	83	89	94	53	49	53	53



6.6 Resultat av känslighetsanalysen

Känslighetsanalysen används för att undersöka om den tillämpade multikriterieanalysen med valda antaganden och kriterier är pålitlig och ger stabila resultat när utvärdering av kriterierna och deras respektive vikter ändras.

Känslighetsanalys visar att mindre förändringar av olika variabler inte påverkar resultat, se Tabell 9.

Tabell 9 Sammanställning av resultat av känslighetsanalysen

	Konsumentnytta	**Totalförsvarsnytta**	**Kostnad FS**	(1) - poäng	(2) - poäng	(3) - poäng
Benchmark	30%	36%	20%	FS/RLAN - 94	FS/IMTlow/RLAN - 89	FS/IMT - 84
Alt.1	35%	41%	10%	FS/RLAN - 93	FS/IMT - 91	FS/IMTlow/RLAN - 90
Alt.2	38%	38%	10%	FS/RLAN - 94	FS/IMTlow/RLAN - 91	FS/IMT - 91
Alt.3	40%	36%	10%	FS/RLAN - 94	FS/IMTlow/RLAN - 91	FS/IMT - 91
Alt.4	50%	26%	10%	FS/RLAN - 96	FS/IMTlow/RLAN - 93	FS/IMT - 91
Alt.5	30%	46%	10%	FS/RLAN - 92	FS/IMT - 91	FS/IMTlow/RLAN - 90
Alt.6	26%	50%	10%	FS/RLAN - 92	FS/IMT - 91	FS/IMTlow/RLAN - 89
Alt.7	25%	31%	30%	FS/RLAN - 95	FS/IMTlow/RLAN - 87	FS/IMT - 77
Alt.8	30%	26%	30%	FS/RLAN - 96	FS/IMTlow/RLAN - 88	FS/IMT - 77
Alt.9	20%	36%	30%	FS/RLAN - 94	FS/IMTlow/RLAN - 86	FS/IMT - 77

7. Bedömning

Utifrån ovanstående analys görs följande samlade bedömning.

Spektrumbehov

- Någon större förändring av spektrumbehoven och någon akut spektrumbrist för FS, RLAN och IMT kan inte förväntas inom de närmaste fem åren.
- FS användningar som behövs för vissa samhällsviktiga funktioner har fortsatt behov att finnas i höga 6 GHz-bandet, även efter nuvarande tillståndperiod, dvs. åtminstone fram till 1 januari 2033, Behovet skulle eventuellt kunna tillfredsställas genom delning av frekvensbandet med IMT eller RLAN.
- En förändring av de sammanlagda spektrumbehoven för IMT kan förväntas år 2030 och framåt.
- En förändring av sammanlagda spektrumbehoven för RLAN kan behöva bedömas igen tidigast om tre år, eftersom ”nytt” spektrum om 480 MHz i låga 6 GHz-bandet inte har hunnit ge effekt än.
- IMT midband i form av 3,8–4,2 GHz-bandet erbjuder bara möjlighet till begränsad täckning för lokala accessnät och kan endast använda delar av bandet i Sverige pga. försvarets användning. Därför kan detta band inte tillgodose samma behov av täckning och kapacitet som höga 6 GHz-bandet.

Framtida scenarier

- Så länge totalförsvarsnyttan av användning av höga 6 GHz-bandet för FS väger tungt är alla framtida scenarier med FS tydligt överlägsna i jämförelse med scenarier utan FS. Ingen avveckling av FS bedöms vara aktuell i nästkommande tillståndsperiod, dvs. fram till 1 januari 2033[41].
- Det scenario som vinner i multikriterieanalysen och antas ge störst samhällsnytta är det scenario där höga 6 GHz-bandet delas mellan FS och RLAN, tätt följd av två scenarier där bandet delas mellan FS och IMT och mellan FS, IMT low power och RLAN.
- Eftersom skillnaderna mellan de scenarier som kommer ut som ”vinnare” är relativt små och osäkerheterna är stora kan såväl RLAN som IMT övervägas som relevanta kandidater för framtida användning av höga 6 GHz-bandet tillsammans med FS, efter år 2030.

Sammanfattningsvis är det fortsatt viktigt för PTS att ha en tydlig uppfattning i frågan om höga 6 GHz-bandet. Detta innebär dock inte att myndigheten måste ha en position för eller mot den ena eller den andra tekniken. Med hänsyn till denna analys är det fortsatt en fördel att hålla dörren öppen för såväl IMT som RLAN i höga 6 GHz, förutsatt att nuvarande FS-användning skyddas även efter nuvarande tillståndsperiod, dvs. fram till 1 januari 2033.

En bedömning av spektrumbehoven för IMT och RLAN i höga 6 GHz-bandet bör göras på nytt och vara genomförd senast år 2030 för att ge rimlig tid för eventuell utrymning (eller ändring av tillståndsvillkor) av FS i bandet.

[41] Antagen förlängning av tillståndsperiod, om 5 år, enligt PTS praxis, när befintliga tillstånd går ut år 2028.