

Teknisk vägledning för spektrumeffektiv tilldelning för fast radio i frekvensband över 6 GHz

Teknisk vägledning för spektrumeffektiv tilldelning för fast radio i frekvensband över 6 GHz

Rapportnummer

PTS-ER-2024-17

Diarienummer

24-4086

ISSN

1650-9862

Författare

Mikael Stern

Post- och telestyrelsen

Box 6101

102 32 Stockholm

08-678 55 00

pts@pts.se

www.pts.se

Förord

Fast radio ingår i ett ekosystem av elektronisk infrastruktur som erbjuder företag och konsumenter tillgång till elektroniska kommunikationstjänster. Fast radio är en radiokommunikationstjänst som möjliggör snabb infrastrukturtrullning, stor kapacitet, snabb överföring och kostnadseffektiv etablering. Så är t.ex. mobilnäten till övervägande delen uppbyggda med fast radio.

Denna vägledning ger de tekniska förutsättningarna för tilldelning av frekvenser för tillstånd för fast radio (radiolänk). Vägledningen syftar till att ge stöd till sökanden och vid Post-och telestyrelsens (PTS) handläggning av ansökningar om såväl tillstånd för nya radiolänkar som uppdateringar, ändringar eller ombyggnader av befintliga radiolänkar. Det övergripande syftet är att främja en enhetlig handläggning och bidra till en effektiv spektrumanvändning.

Vägledningen är framtagen mot bakgrund av nuvarande situation och kan komma att revideras med hänsyn exempelvis till uppgraderade planeringsverktyg, förändrade vågutbredningsmodeller eller teknikutveckling.

Mikael Stern
Enheten för spektrumtillstånd

Innehåll

Förord	3
1. Tillståndsplikt och undantag	6
1.1 Tillstånd att använda radiosändare inom ett visst frekvensutrymme (blocktillstånd)	6
1.2 Tillstånd att använda en viss radiosändare	6
1.3 Undantag från tillståndsplikt	7
2. Handläggningsrutin	8
3. Tillåten störnivå	10
3.1 Definition av tröskelförsämring	10
3.2 Beräkning av tröskelförsämring	10
3.3 Inverkan av ökad störnivå	11
3.4 Tillståndshavarens störningsberäkning	13
4. HÖG och LÅG-konflikt	14
5. Kanaltilldelning	17
5.1 Alternnerande polarisation	17
5.2 Nuvarande polarisationsanvändning	19
6. Minsta sträcklängd i olika frekvensband	20
7. Koordinering	23
7.1 Koordinering med andra tjänster och användare	23
7.2 Koordinering med grannland	23
8. Standard för fast radio	24
8.1 ETSI EN 302 217-2	25
8.2 ETSI EN 302 217-4	25

9.	Tekniska funktioner	26
9.1	Lägsta tillåten modulation vid fast modulation	26
9.2	ACM (Adaptive Coding Modulation)	27
9.3	ATPC (Automatic Transmitter Power Control)	28
9.3.1	<i>Krav på ATPC i frekvensbandet 10,5 GHz</i>	29
9.4	XPIC (Cross Polar Interference Cancelling)	29
9.5	MIMO (Multiple Input Multiple Output)	29
9.6	BCA (Band and Carrier Aggregation)	30
	Bilaga A. Utveckling av fast radio i Sverige	31
A.1	Prognos antal nya och annullerade radiolänkar	31
	Bilaga B. Aktuell frekvensanvändning för fast radio i Sverige	36
B.1	Låga 6 GHz	36
	Bilaga C. Fördelning sträcklängd	53
C.1	Sträcklängd i 7 GHz	54
C.2	Sträcklängd i 8 GHz	54
C.3	Sträcklängd i 13 GHz	55
C.4	Sträcklängd i 15 GHz	55
C.5	Sträcklängd i 18 GHz	56
C.6	Sträcklängd i 23 GHz	56
C.7	Sträcklängd i 26, 28, 32, 38 och 70/80 GHz	57
C.8	Beräknad tillgänglighet för nuvarande radiolänknät	57
C.9	Slutsatser om beräknad tillgänglighet	60
	Bilaga D. Exempel på användning av BCA	61
D.1	Lägre frekvensband	61
D.2	Högre frekvensband	63
D.3	Uppskattad andel sträckor som kan använda BCA	66

1. Tillståndsplikt och undantag

Tillståndsplikten för radiosändare framgår av 3 kap. lagen (2022:482) om elektronisk kommunikation (LEK). Ett sådant tillstånd kan antingen avse rätt att använda radiosändare inom ett visst frekvensutrymme (blocktillstånd) eller en viss radiosändare (enskilt tillstånd). Det är Post- och telestyrelsen (PTS) som beviljar tillstånd att använda radiosändare. PTS får även meddela föreskrifter om undantag från tillståndsplikten.

1.1 Tillstånd att använda radiosändare inom ett visst frekvensutrymme (blocktillstånd)

Tillståndsgivning för ett visst frekvensutrymme (blocktilldelning) sker som regel genom ett urvalsförfarande, företrädesvis spektrumauktion, om efterfrågan överstiger utbudet i ett visst frekvensutrymme. Tillståndshavaren ansvarar för planeringen av radionätet och nationell koordinering. Blocktilldelningar för fast radio har genomförts i frekvensbanden 10,5 GHz, 26 GHz och 28 GHz i ett urvalsförfarande genom s.k. spektrumauktion.

1.2 Tillstånd att använda en viss radiosändare

Tillstånd att använda en viss radiosändare (enskilt tillstånd) för fast radio beviljas, enligt ”först till kvarn”-principen, i utpekade band i den svenska frekvensplanen; låga 6 GHz, höga 6 GHz, 7 GHz, 8 GHz, 10,5 GHz, 13 GHz, 15 GHz, 18 GHz, 23 GHz, 26 GHz, 28 GHz, 32 GHz, 38 GHz och 70/80 GHz. Den huvudsakliga användningen finns inom förbindelsenät för mobil kommunikation (3G, 4G, 5G), distribution av radio och TV samt andra infrastrukturtjänster. Tillståndsprövningen sker med stöd av 3 kap. 6 § lagen (2022:482) om elektronisk kommunikation (LEK).

PTS beviljar även enskilda sändartillstånd för smalbandiga radiosystem, med huvudsaklig användning i radionät för styrning, övervakning och larmsamling inom samhällsviktig verksamhet. Sådana tillstånd tilldelas i frekvensbanden 370 MHz och 430 MHz. Det kan då gälla både punkt-till-punkt- och punkt-till-multipunkt-system. Radiosystem i frekvensbanden 370 MHz och 430 MHz berörs inte ytterligare i detta dokument.

Tillståndstiden för nya tillstånd är vanligen tio år. Tillstånden förlängs därefter löpande med maximalt fem år i taget givet att förutsättningarna för att bevilja tillstånd enligt 3 kap. 6 § LEK är uppfyllda.

1.3 Undantag från tillståndsplikt

PTS får meddela föreskrifter om undantag från tillståndsplikt för användning av vissa radiosändare. Sådana undantag har meddelats för fast radio utomhus i frekvensbanden 2,4 GHz, 5 GHz, 6,2 GHz, 17 GHz, 24 GHz, och 60 GHz.

Uteffekten är vanligen begränsad i de frekvensband där undantag från tillståndsplikt gäller. De tillståndsfria sändarna kan komma att dela frekvensområde med annan användning på samma geografiska plats och vid samma tidpunkt. Detta innebär en förhöjd risk för störningar, även om risken för skadlig störning som regel är, och ska vara, låg.

2. Handläggningsrutin

En ansökan om tillstånd att använda radiosändare ges in till PTS och ska innehålla uppgifter om sökanden, vad ansökan avser och de uppgifter som behövs för att pröva ansökan. Blanketter tillhandahålls på PTS hemsida.

När ansökan inkommit vidtar tillståndsprövningen i huvudsak enligt följande:

- 1) ID-kontroll av sökanden görs vid behov via en informationsportal, t.ex. organisationsnummer. Uppgifterna noteras i PTS frekvens- och tillståndsregister.
- 2) Angiven koordinat granskas för att avgöra om det är en befintlig antennplats i PTS databas eller en ny. Granskningen sker med hjälp av PTS interna GIS-verktyg (verktyg för geografiskt informationssystem), men kan även ske med stöd av externa karttjänster för kontroll med flygfoto och/eller satellitbilder. Den angivna koordinaten ska avse antennplatsen. Det är önskvärt att sökanden har en hög precision i sina koordinatangivelser (+/- 3m).

I det fall avståndet mellan angiven koordinat och den av PTS befintliga antennplatsen överstiger **10 meter** i tätort eller **50 meter** utanför tätort skapas en ny antennplats i PTS databas. Alternativt kan koordinaterna för en befintlig antennplats korrigeras i samförstånd med sökanden.
- 3) Kontroll att ansökan uppfyller HÖG/LÅG-användning för den aktuella antennplatsen.
- 4) Utvärdering av tekniskt data (sträcklängd, modulationstyp, uteffekt) för att avgöra om användningen kan anses utgöra en effektiv användning av frekvensutrymmet.
- 5) Koordinering med annan användning i delade frekvensband, t.ex. jordstationer (Fixed Satellite Service earth-to-space, FSS) och radioastronomitjänst (RAS).
- 6) Koordinering mot befintliga tillståndsgivna fasta radiosystem.
- 7) I de fall elektrisk fältstyrka eller effekttäthet överstiger gränsvärde vid/bortom Sveriges landsgräns behöver användningen koordineras med det aktuella grannlandets frekvensförvaltning.
- 8) Innan tillstånd kan beviljas ska ärendet samrådas med Säkerhetspolisen och Försvarsmakten (samrådsmyndigheterna).

9) Om samrådsmyndigheterna inte har någon erinran mot ansökan kan tillstånd beviljas.

Generellt hanteras ansökningar enligt principen ”först till kvarn”, dvs. den ansökan som först kommit in och är komplett, behandlas först.

Tillstånden förenas med villkor om bland annat den fasta radiosändarens position, frekvens, kanalbandbredd, polarisation, utstrålad effekt. För punkt-till-punktradiolänk i frekvensband mellan 6 GHz och 80 GHz finns även krav på att radioutrustningen bör uppfylla harmoniserad teknisk standard ETSI EN 302 217¹.

Handläggningstiden för en ansökan som är komplett är maximalt sex veckor enligt LEK.

¹ ETSI EN 302 217, Fixed Radio Systems; Characteristics and requirements for point-to-point equipment and antennas.

3. Tillåten störnivå

Under handläggningen analyseras den störnivå som en ny fast radiosändare kan generera för befintliga tillståndsgivna fasta radiosystem (radiolänkar). Även den störnivå som den nya radiolänken kan orsakas av befintliga radiolänkar analyseras. Vid beräkning av vilken störnivå som är acceptabel, utgår handläggaren från den mottagartröskelförsämring en fast radiosändare kan få på grund av en störsignal.

3.1 Definition av tröskelförsämring

Ett fast radiosystems mottagartröskel är den signalsnivå för den önskade signalen som krävs för en given bitfelshalt (BER, Bit Error Rate) hos den överförda trafiken. Vanligen används mottagartröskel vid BER 10^{-6} (ett fel per en miljon överförda bitar).

Om en mottagare utsätts för en störsignal (I, Interferer) som ligger nära eller ovanför brusgolvet behöver signalnivån öka för den önskade signalen för att upprätthålla samma BER. Ett radiosystems tröskelförsämring (TD, Threshold Degradation) är skillnaden mellan ett radiosystems mottagartröskel utan störsignal och den förhöjda mottagartröskel som uppstår vid förekomsten av störsignal. Vid beräkning av TD antas störsignalen vid mottagaren motsvara vitt brus.

3.2 Beräkning av tröskelförsämring

Vid beräkning av störnivå används ett radioplaneringsverktyg i vilket ingår kartdata. Denna kartdata behövs för att ta hänsyn till terräng-höjddata. Vid beräkningen beaktas inte att signalen kan dämpas av clutter (dvs. byggnader, träd etc.).

Den fasta radiomottagarens störnivå från andra fasta radiosändare beräknas enligt ITU-R Recommendation P.452² i den version som vid varje givet tillfälle finns implementerad i PTS radioplaneringsverktyg. I ITU-R Recommendation P.452 ges en metod, bestående av flera olika vågutbredningsmekanismer som sammanvägs, för att prediktera den störnivå som kan uppstå. Metoden ger möjlighet att ta hänsyn till de olika vågutbredningsfenomen som kan uppstå givet olika tidsandelar.

² ITU-R Recommendation ITU-R P.452-17 (09/2021), Prediction procedure for the evaluation of interference between stations on the surface of the Earth at frequencies above about 0.1 GHz.

Interferensberäkningen inkluderar de vågutbredningsmekanismer som kan antas förekomma under mer än 10% av tiden, vilket i detta sammanhang kan definieras som långtidsstörning (Long Term Interference).

I radioplaneringsverktyget godkänns i nuvarande handläggning generellt upp till 1 dB tröskelförsämring för en radiomottagare som påverkas av långtidsstörning från ett annat radiosystems sändare. Om tröskelförsämringen är mellan 1 dB och 3 dB analyseras den aktuella störsituationen för en bedömning av om den högre tröskelförsämringen ändå, utifrån radiosystemets mål för felprestanda och tillgänglighet, kan godtas.

Tröskelförsämring TD beräknas genom att linjärt summera störsignalen och brusnivån:

$$TD = 10 \log (1 + 10^{(I - N)/10}) \quad (\text{ekvation 1})$$

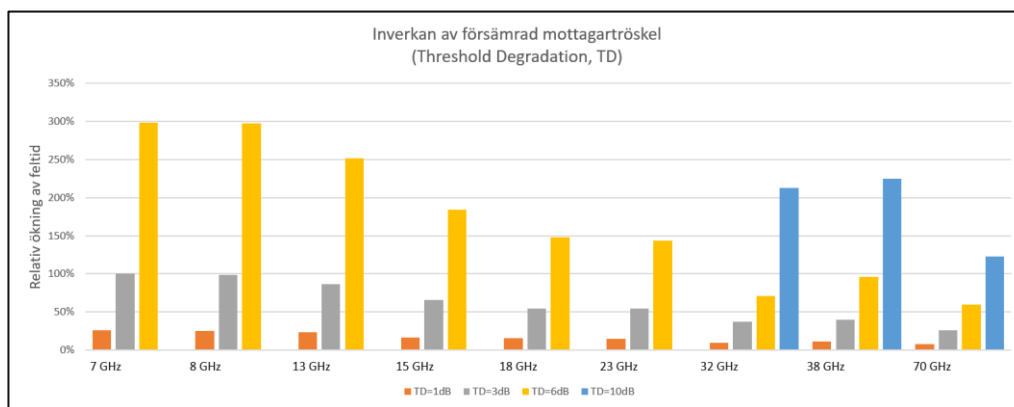
Där I är störsignal hos mottagaren från ett annat radiosystems sändare i dBm, beräknad enligt ITU-R Recommendation P.452, och N = radiomottagarens termiska brusnivå inklusive mottagarens egen brusfaktor i dBm.

3.3 Inverkan av ökad störnivå

En tröskelförsämring är acceptabel med upp till 3 dB i frekvensband mellan 6–13 GHz och upp till 6 dB i frekvensband 15–80 GHz.

I områden med högt spektrumutnyttjande kan det vara nödvändigt att tillåta en förhöjd störnivå för att möjliggöra kanaltilldelning, under förutsättning att störningarna inte antas medföra risk för skadlig störning.

I Figur 1 nedan visas exempel på beräknad (relativ) ökning av feltid som funktion av mottagarens TD. Beräkning har genomförts genom att för varje frekvensband göra en kvalitetsberäkning vid olika fädningsmarginaler hos ett för frekvensbandet typiskt radiosystem. En ökning av TD motsvaras i beräkningarna av en lika stor minskning av radiosystemets fädningsmarginal.



Figur 1: Inverkan av försämrad mottagartröskel.

De lägre frekvensbanden under 13 GHz uppvisar en högre ökning av relativ feltid som funktion av försämrad mottagartröskel jämfört med de högre frekvensbanden över 32 GHz.

De lägre frekvensbanden används ofta i en transmissionskedja av flera olika radiolänksträckor. En försämring av prestanda på en radiolänksträcka i lägre frekvensband påverkar därför generellt hela transmissionskedjan. De högre frekvensbanden används däremot oftare för enskilda radiolänksträckor, från t.ex. en mobilbasstation till en aggregeringspunkt, där försämring av prestanda endast påverkar den enskilda förbindelsen.

PTS bedömning är att det i en del fall, under förutsättning att radiosystemets individuella och relevanta mål för felprestanda och tillgänglighet ändå uppfylls, kan vara möjligt att acceptera en tröskelförsämring på 3 dB för frekvensband mellan 6–13 GHz och 6 dB för frekvensbanden mellan 15–80 GHz.

I de fall det bedöms nödvändigt med förhöjd störnivå kontaktas den sökande, för att PTS och sökanden gemensamt ska kunna göra en bedömning av eventuella konsekvenser för aktuell radiolänks prestanda och tillgänglighet, samt om den sökanden accepterar den förhöjda nivån.

3.4 Tillståndshavarens störningsberäkning

Tillståndshavaren ansvarar för sin egen frekvensplanering och rekommenderas därför att alltid kontrollera innehållet i tillståndet.

Utgångspunkten vid handläggningen är att sökanden har utfört en frekvensplanering och störningsberäkning för nya radiosystem i förhållande till sina egna befintliga radiolänkar.

I störningsanalysen accepteras därför, oavsett nivå, eventuell störning mellan det sökta (nya) radiosystemet och tillståndshavarens befintliga radiosystem. Sökanden får därmed möjlighet att bestämma vilken störnivå som kan vara acceptabel under en övergångsperiod vid t.ex. ombyggnad och/eller modernisering.

4. HÖG och LÅG-konflikt

Med syftet att upprätthålla hög spektrumeffektivitet bör så kallade HÖG/LÅG-konflikter undvikas. Tillstånd beviljas som regel inte vid en HÖG/LÅG-konflikt på en antennplats.

En HÖG/LÅG-konflikt kan uppstå om tillstånd beviljas för en ansökan som innebär att höga och låga duplexkanaler blandas på en och samma antennplats. En HÖG/LÅG-konflikt medför risk för att en radiomottagare störs av en radiosändare på samma plats och i denna situation behövs ett ”skyddsband” för att förhindra att skadlig störning uppkommer. Skyddsbandet medför ett sämre utnyttjande av frekvensbandet och därmed färre antal lediga kanaler för efterföljande tillståndssökande.

För att undvika HÖG/LÅG-konflikter eftersträvas ”rena” antennplatser och antennplatsen bör vara antingen HÖG eller LÅG inom samma frekvensband. En antennplats kan ha olika HÖG/LÅG-användning i olika frekvensband (t.ex. LÅG i 15 GHz och samtidigt HÖG i 18 GHz). I de fall en befintlig antennplats är blandad HÖG/LÅG inom samma frekvensband eftersträvas att på sikt renodla HÖG/LÅG-användning på antennplatsen enligt följande:

- *Nya sändare som inplaceras på en befintlig antennplats får (paritet) HÖG eller LÅG enligt flertalet befintliga sändares användning på antennplatsen, dvs. finns det två befintliga HÖGA sändare och en LÅG sändare så tilldelas en ny sändare HÖG paritet.*

Sökanden rekommenderas att använda HÖG/LÅG-blanketten på PTS hemsida för att få bra planeringsunderlag för den egna frekvensplaneringen.

Kontrollen av HÖG/LÅG görs i följande steg:

För nya antennplatser avgörs HÖG- eller LÅG-tillhörigheten för den nya antennplatsen baserat på befintlig situation, t.ex. den befintliga radiolänksträckans motstation i det aktuella frekvensbandet. Prövningen av ansökan kommer därefter att följa den fastlagda definitionen av antennplatsen/sändarplatsen.

Om ansökan gäller HÖG på en befintlig plats som är LÅG, eller tvärtom, sker prövningen efter följande utgångspunkter:

På en antennplats med ett fåtal fasta radiosystem kan en blandning av HÖG/LÅG förekomma om handläggaren bedömer att det framtida utbyggnadsbehovet vid

antennplatsen sannolikt är lågt och att nyttan av den föreslagna användningen antas större än den försämrade lokala spektrumeffektiviteten.

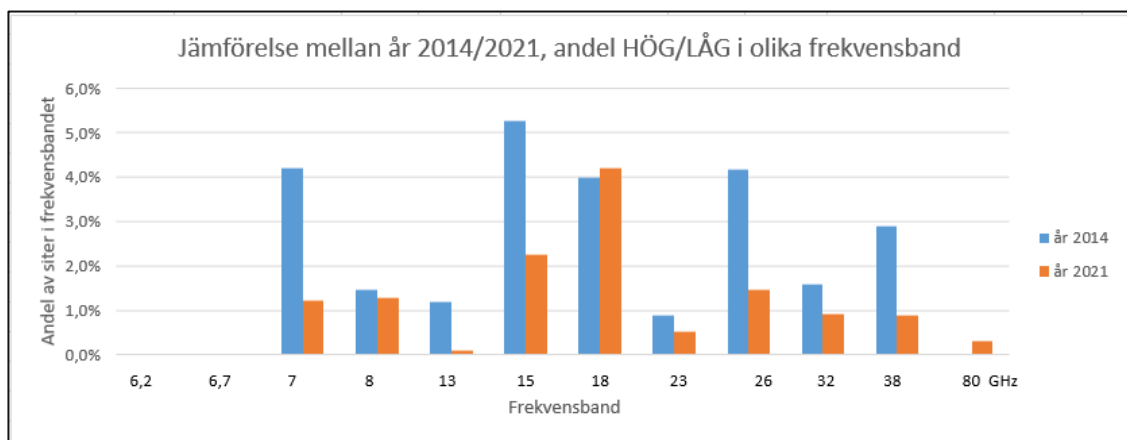
En ytterligare förutsättning för att bevilja ett tillstånd som medför att HÖG/LÅG blandas är att det på den geografiska platsen finns frekvensutrymme för en fortsatt utbyggnad av fast radio. I undantagsfall tas hänsyn till planerad avveckling av befintliga radiolänkar.

I PTS radioplaneringsverktyg definieras en sökradie runt en antennplatskoordinat enligt nedanstående Tabell 1. Inom sökradien är målsättningen att alla sändare i samma frekvensband ska ha samma paritet HÖG eller LÅG.

Tabell 1, HÖG/LÅG-sökradie

Frekvensband (GHz)	HÖG/LÅG sökradie (m)
6,2, 6.7, 7, 8	150
10.5, 13, 15, 18	80
23	60
26, 28	40
32, 38, 70/80	30

I Figur 2 nedan visas för olika frekvensband respektive andel antennplatser med HÖG/LÅG-konflikt vid år 2014 respektive år 2021.



Figur 2: Jämförelse år 2014/2021, andel HÖG/LÅG konflikter i olika frekvensband. Vid framtagande av ovanstående bild fanns inga enskilda tillstånd i frekvensbanden 10,5 GHz eller 28 GHz.

Antalet HÖG/LÅG-konflikter har minskat över tid i samtliga frekvensband utom i 18 GHz.

En analys av befintliga HÖG/LÅG-konflikter i 18 GHz visar att de ofta förekommer på antennplatser med få sändare i frekvensbandet. Frekvensbandet 18 GHz omfattar ett, i jämförelse med andra frekvensband för fast radio, stort frekvensutrymme och därmed generellt goda utbyggnadsmöjligheter på dessa antennplatser med få sändare.

5. Kanaltilldelning

Utgångspunkten är att i varje frekvensband tilldela den första tillgängliga kanalen nerifrån-och-upp med början från kanal 1, där så är möjligt. I en del fall - således undantagsvis - kan det, beroende på den lokala situationen, vara lämpligt och mer spektrumeffektivt att i stället tilldela kanaler uppifrån-och-ner med början från den högsta kanalen i frekvensbandet.

Sökanden bör ange radioutrustningens frekvensomfång (sub-bandstäckning) så att möjliga alternativa kanaler kan undersökas.

5.1 Alternerande polarisation

Alternerande polarisation bör användas i möjligaste mån.

Radiosystem som använder H-pol har bättre förutsättningar att beviljas tillstånd än motsvarande radiosystem som använder V-pol.

I Tabell 2 nedan visas exempel på vilken antennseparationsvinkel som är nödvändig för att återupprepa en radiokanal på samma antennplats. De antendiagram som används i beräkningen är enligt ETSI EN 302 217-4³ Class 3 och Class 4. I exemplet antas att det är nödvändigt med 50 dB antenndiskriminering för tillräcklig undertryckning av störsignal.

Tabell 2, Exempel frekvensåteruppreping

Frekvens (GHz)	ETSI antennklass	Störsituation	Antenn-vinkelskillnad vid 50 dB
18	3	V-till-V	70 grader
18	3	V-till-H	15 grader
18	4	V-till-V	30 grader
18	4	V-till-H	10 grader

³ ETSI EN 302 217-4, Fixed Radio Systems; Characteristics and requirements for point-to-point equipment and antennas; Part 4: Antennas.

Med en alternerande polarisationsanvändning (t.ex. V-till-H) kan samma frekvens återanvändas betydligt oftare, än vad som är fallet då endast en och samma polarisation används (t.ex. V-till-V).

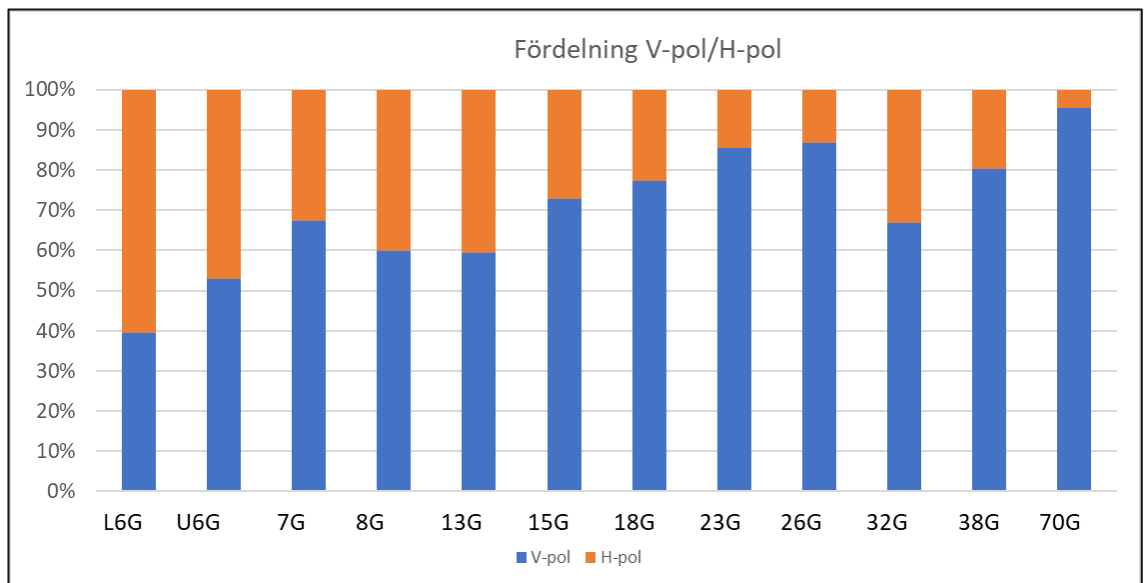
Med ETSI class 3 antenn kan samma frekvens med alternerande polarisation återanvändas var 15:e grad istället för var 70:e grad när samma polarisation används. Med ETSI class 4 antenn kan samma frekvens återanvändas vid 10 grader vid olika polarisation respektive 30 grader vid samma polarisation.

Vid frekvenstilldelningen för nya radiolänkar eftersträvas en optimerad frekvensanvändning med turordningen: kanal 1V, kanal 1H, kanal 2V, kanal 2H osv.

För befintliga radiolänkar som uppgraderas, t.ex. till bredare kanalbandbredd eller en mer avancerad modulation, tas i den utsträckning det är möjligt hänsyn till de kostnader som skulle kunna uppstå vid polarisationsbyte. En förutsättning är att hög spektrumeffektivitet kan vidmakthållas utan polarisationsbytet.

5.2 Nuvarande polarisationsanvändning

Den nuvarande polarisationsanvändningen i respektive frekvensband visas i Figur 3.



Figur 3: Fördelning av polarisation (V-blå, H-röd) år 2021. Vid framtagande av ovanstående bild fanns inga enskilda tillstånd i frekvensbanden 10,5 GHz eller 28 GHz.

För frekvensband över 15 GHz använder majoriteten av radiosystemen vertikal polarisation (V-pol).

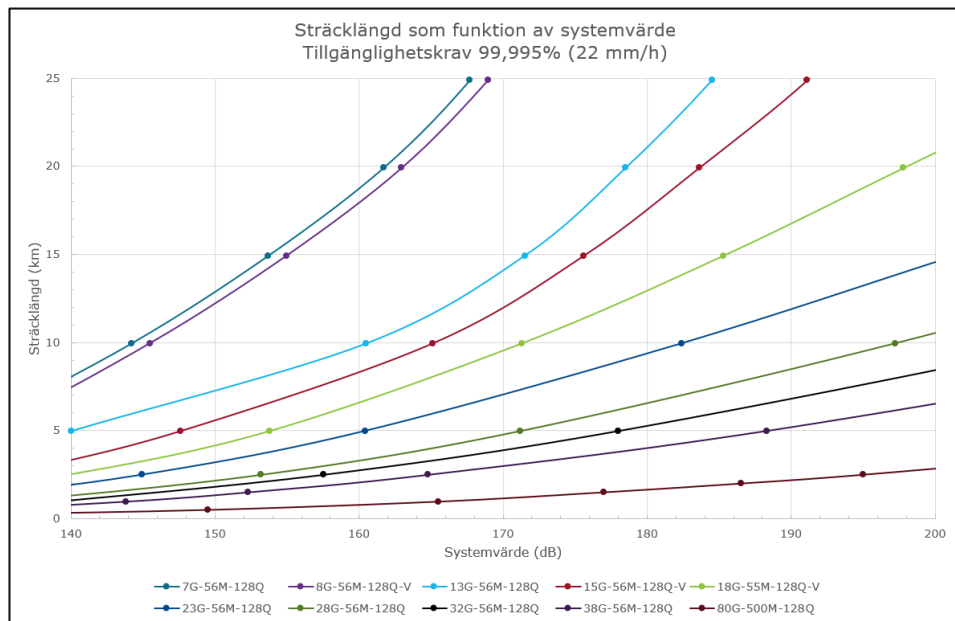
Generellt är förutsättningarna för att bevilja tillstånd för radiosystem som använder H-pol bättre än för motsvarande radiosystem som använder V-pol.

6. Minsta sträcklängd i olika frekvensband

Minsta sträcklängder som inte bör underskridas för en effektiv frekvensanvändning har beräknats för de olika frekvensbanden med hänsyn till en typisk fast radioanvändning med tillhörande kvalitets- och tillgänglighetsmål. Med typisk användning avses normalt förekommande kombinationer av radioutrustning, antenner, bärfrekvens, kanalbandbredd och modulationsgrad.

I Figur 4 visas exempel på sträcklängd som funktion av systemvärde där radioförbindelsen med avseende på vågutbredning ska ha en tillgänglighet som är högre än 99,995 % av tiden givet regnintensitet 22 mm/h. Beräkningen är gjord i enlighet med rekommendation ITU-R Recommendation P.530⁴ som funktion av radiosystemets systemvärde (system gain). Sträcklängderna har reducerats jämfört med tidigare sträcklängder för att medge användning av bredare radiokanaler och högre modulationsgrad.

⁴ ITU-R Recommendation ITU-R P.530-18 (09/2021), Propagation data and prediction methods required for the design of terrestrial line-of-sight systems.



Figur 4: Sträcklängd som funktion av systemvärde vid regnintensitet $A_{0,01} = 22$ mm/h med vertikal polarisation, tillgänglighetskrav 99,995% för BER 10⁻⁶.

Med systemvärde avses här summan av sändarens uteffekt och antennvinst hos sändarantenn och mottagarantenn minus mottagarens tröskelnivå. Systemvärde för typiska radioutrustningar för fast radio är i storleksordningen 145–180 dB.

Som ett exempel har en typisk konfiguration i 18 GHz-frekvensbandet med 55 MHz kanalbandbredd, 128 QAM modulation och 0,6 m diameter för antenner ett systemvärde på 163,5 dB, vilket motsvarar en sträcklängd på cirka 8 km vid 99,995 % tillgänglighet.

Riktlinjerna för minsta sträcklängd i olika frekvensband anges i Tabell 3.

Tabell 3, Tidigare och aktuella sträcklängder

Frekvensband (GHz)	Tidigare riktlinje sträcklängd (km)	Aktuell sträcklängd (km)
6,2	25	18
6,7	25	18
7	15	12
8	15	12
10,5	-	9
13	10	9
15	10	7
18	5	3
23	3	2
26	2	-
28	-	-
32	-	-
38	-	-
70/80	-	-

För frekvensbanden 26 GHz, 28 GHz, 32 GHz, 38 GHz och 70/80 GHz finns för närvarande inga rekommendationer på minsta sträcklängd.

7. Koordination

7.1 Koordination med andra tjänster och användare

Vissa frekvensband delas med andra tjänster och användare, t.ex. jordstationer (FSS) och radioastronomitjänster (RAS).

För FSS rör det sig i huvudsak om tillstånd för sändning från jordstation-till-satellit (upplänk) i frekvensbanden 6,2 GHz, 8 GHz, 13 GHz och 18 GHz.

RAS skyddas enligt ITU:s radioreglemente, ITU RR fotnot 5.149 och ITU RR fotnot 5.340. RAS har användning i flera olika frekvensband och för fast radio gäller det särskilt användning i frekvensbanden höga 6 GHz, 10,5 GHz, 23 GHz, 32 GHz och 70/80 GHz i områden nära Onsala sydväst om Göteborg.

Koordination behöver även ske i flera olika frekvensband i samband med etablering av fast radio inom Kiruna Esrange närområde inom vilket det sker bland annat jordstationskommunikation med stationära och icke-stationära satellitsystem.

7.2 Koordination med grannland

För att avgöra om koordination är nödvändig med grannländerna (Danmark, Finland och Norge), beräknas elektrisk fältstyrka eller effekttäthet vid landsgräns samt ytterligare ett tiotal kilometer bortom Sveriges landsgräns.

För fast radio i frekvensband mellan 6 GHz och 80 GHz används vågutbredningsmetoden ITU-R Recommendation P.452 med tidsfaktor 10%. Triggernivån för koordination är effekttäthet högre än $-122 \text{ dBW/m}^2/\text{MHz}$. Detta är den gräns som används i t.ex. olika koordineringsavtal med grannländer rörande blocktillstånd, exempelvis i 10,5 GHz- och 28 GHz-banden.

8. Standard för fast radio

Frekvenskoordinering och frekvenssamordning genomförs på grundval av det aktuella radiosystemets utrustningsparametrar, dvs. egenskaperna hos sändare (TX), mottagare (RX) och antenn.

Vid störningsberäkningarna används i radioplaneringsverktyget ett utrustningsbibliotek där det modellerats flera olika leverantörsspecifika radioutrustningar och antenner. Syftet är att därmed få så verklighetsnära beräkningsresultat som möjligt med hänsyn till att verklig utrustningsprestanda, främst TX-emission och RX-selektivitetsspektrummasker, vilka som regel överträffar kraven enligt ETSI EN 302 217.

Det är lämpligt att ansökan, förutom information om antennplatser och önskad frekvens, även innehåller leverantörsspecifika uppgifter om radioutrustningen enligt nedan:

- Sändarens TX-emissionsmask
- Sändarens uteffekt
- Mottagarens RX-selektivitetsmask
- Mottagarens tröskel vid BER 10^{-6}
- C/I-krav för 3 dB försämring av mottagartröskel
- Referensmodulation
- Antennernas antennvinst
- Antennernas antenndiagram vilket beskriver dess riktverkan

Om det är nödvändigt, kan befintliga tillståndsvillkor för tillståndet och tillhörande sändarspecifikation behöva kompletteras med villkor om antenneriktverkan, referensmodulation och accepterad störnivå (tröskeldegradering).

I avsaknad av en leverantörsspecifik information om radioutrustningen används standardparametervärden från ETSI EN 302 217. Radioutrustning uppfyller som regel standarden med viss marginal och därför kan standardparametervärden resultera i konservativa beräkningsresultat.

De konservativa beräkningsresultaten riskerar att ge ett högre skydd än nödvändigt för att förhindra risken för skadlig störning vilket sänker tröskeln för antaganden om att risk för skadlig störning kan uppkomma.

8.1 ETSI EN 302 217-2

Egenskapskraven på radioutrustning för fast radio ges i aktuell version av harmoniserad teknisk standard ETSI EN 302 217-2. Modern radioutrustning har utvecklats mot att precis uppfylla de spektrummasker som anges i harmoniserad teknisk standard för fast radio.

Som en konsekvens kan det därför över tid bli en minskad skillnad i störningsberäkningsresultat vid användande av radioutrustningsparametrar enligt harmoniserad teknisk standard jämfört med leverantörsspecifika radioutrustningsparametrar.

För att handläggningsprocessen vid PTS ska bli effektivare kan det på sikt bli aktuellt att frångå modellering av leverantörsspecifika radioutrustningar och antenner, och i stället övergå till att helt modellera radioutrustningsegenskaper enligt den harmoniserade tekniska standarden för fast radio.

8.2 ETSI EN 302 217-4

Antennernas antenndiagram bör uppfylla krav enligt ETSI EN 302 217-4, class 3.

Det är viktigt att de antenner som används för fast radio har en god riktverkan för att stödja en effektiv användning av radiospektrum. Antenndiagram har utvärderats för flera av de antenner som modellerats i PTS radioplaneringsdatabas. Resultatet från utvärderingen är att de allra flesta parabolantenner uppfyller antennstrålningsdiagram ETSI EN 302 217-4 class 3 sedan flera år tillbaka. Slutsatsen är därför att antennstrålningsdiagram för radiosystem i frekvensområdet mellan 6 GHz och 80 GHz bör därför uppfylla minst ETSI class 3.

I geografiska områden och platser med spektrumbrist kan antenner av ETSI class 4 med högre riktverkan (lägre sidlober) aktualiseras för ytterligare högre spektrumnyttjande och större möjlighet till frekvenstilldelning. I de fall det bedöms att användande av antenn enligt ETSI class 4, jämfört med ETSI class 3, kan vara nödvändigt för kanaltilldelning kontaktas den sökande för att undersöka den sökandes möjlighet.

9. Tekniska funktioner

I detta kapitel ges vägledning för:

- Lägsta tillåten modulation
- ACM (Adaptive Coding and Modulation, adaptiv modulation)
- ATPC (Automatic Transmitter Power Control, automatisk sändareffektreglering)
- XPIC (Cross Polar Interference Cancelling, polarisationsmultiplexering)
- MIMO (Multiple Input Multiple Output, spatial multiplexering)
- BCA (Band and Carrier Aggregation, aggregering av frekvensband)

I sändartillstånden för användning av fast radio anges inte några villkor för hur funktionerna ACM, ATPC, XPIC, MIMO, BCA eller annan teknik bör användas.

9.1 Lägsta tillåten modulation vid fast modulation

I frekvensbanden 6–38 GHz med kanalbandbred t.o.m. 14 MHz är den lägsta modulationen QPSK (motsvarande ETSI SEC 2).

I frekvensbanden 6–38 GHz med kanalbandredd över 14 MHz är den lägsta modulationen 16QAM (motsvarande ETSI SEC 4L).

I frekvensbandet 70/80 GHz är den lägsta modulationen QPSK (motsvarade ETSI SEC 2)

För att upprätthålla en effektiv frekvensanvändning är det viktigt att radioutrustningen använder en så hög modulationsgrad som möjligt, med hänsyn till den aktuella sträckans förutsättningar, för den information som ska överföras vilket därmed minimerar kanalbandbreddsbehovet.

I den harmoniserade tekniska standarden för fast radio ETSI EN 302 217–2 ges, baserat på överföringskapacitet (Mbit/s) i en given kanalbandbredd (MHz), olika spektrumeffektivitetsklasser (Spectral Efficiency Class, SEC).

Framförallt för breda kanaler främjar krav på en lägsta modulation en effektiv frekvensanvändning. Nedanstående Tabell 4 visar lägsta modulationsgrad vid användande av fast modulation i olika frekvensband.

Tabell 4, Krav på lägsta modulationsgrad vid användande av fast modulation

Frekvensband	Kanalbandbredd	Lägsta modulationsgrad	Spectral Efficiency Class
6–38 GHz	3,5–14 MHz	QPSK	ETSI SEC 2
6–38 GHz	28–224 MHz	16QAM	ETSI SEC 4L
70/80 GHz	62,5–2500 MHz	QPSK	ETSI SEC 2

I frekvensbandet 70/80 GHz kan QPSK godtas som lägsta modulationsgrad oavsett kanalbandbredd, detta för att frekvensbandet ska kunna användas fullt ut i BCA-konfigurationer (se avsnitt 9.6).

9.2 ACM (Adaptive Coding Modulation)

När ACM används behöver spektrumegenskaperna för radiosystemet vid referensmodulation vara uppfyllda för alla andra modulationsgrader.

I frekvensband 6-38 GHz är den lägsta referensmodulationen 128 QAM (motsvarande ETSI SEC 5HB).

I frekvensbandet 70/80 GHz är den lägsta referensmodulationen 16QAM (motsvarade ETSI SEC 4L)

När radioutrustningen använder ACM (Adaptive Coding and Modulation) är det viktigt att göra korrekta antaganden för störningsberäkning till och från andra radiosystem. Antaganden om radioutrustningens TX-emissionsmask och RX-selektivitetsmask samt sändarens uteffekt baseras på referensmodulation. Vid användande av ACM är det tillåtet att använda en högre modulation (för högre kapacitet under normal vågutbredning). Det är även tillåtet att använda en lägre modulation (för hög tillgänglighet för prioriterad trafik vid onormal vågutbredning) givet att sändareffekten inte är högre än vid referensmodulation.

Radioutrustningens spektrumegenskaper får inte ändras beroende på modulation. En ändring av spektrumegenskaper skulle kunna leda till att koordineringsantagandet (Net Filter Discrimination, NFD) baserat på referensmodulation försämras och att interferensberäkningsresultat inte längre är giltigt.

Vid användning av ACM lämnas uppgift om det aktuella radiosystemets referensmodulation (eller Spectral Efficiency Class, SEC, se även ETSI EN 302 217). Nedanstående Tabell 5 visar lägsta referensmodulation vid användande av ACM i olika frekvensband

Tabell 5, Krav på lägsta referensmodulation vid användande av ACM

Frekvensband	Kanalbandbredd	Lägsta referensmodulation	Spectral Efficiency Class
6–38 GHz	3,5–224 MHz	16QAM	ETSI SEC 4L
70/80 GHz	62,5–2500 MHz	16QAM	ETSI SEC 4L

9.3 ATPC (Automatic Transmitter Power Control)

Störberäkningen sker med nominell sändareffekt utan hänsyn till ATPC.

Om ATPC används vid tillståndsgivning för en ny radiolänkansökan kan det finnas en koordineringsfördel gentemot befintliga radiolänkar. För den nya radiolänken kan det till exempel antas en, under normala vågutbredningsförhållanden, ATPC-nedreglerad sändareffekt (storleksordning 10–30 dB) i störningsberäkning mot befintliga radiosystems mottagare. Däremot ges inte samma koordineringsfördel för det nya radiosystemets mottagare eftersom de befintliga radiosystemen är tillståndsgivna med sin nominella (maximala) sändareffekt.

Vid mer avancerade modulationsgrader, upp till t.ex. 4096 QAM, är det generellt nödvändigt att använda en högre sändareffekt under en större del av tiden än vad som tidigare varit fallet med enklare modulationsmetoder, t.ex. 16 QAM. Vidare kan det även - när Band and Carrier Aggregation (BCA, se även avsnitt 9.6) används - krävas en högre sändareffekt än vad som tidigare varit fallet med traditionella sträcklängder för frekvensbandet.

Det finns därför i dag, med undantag för tillståndsvillkor i 10.5 GHz-bandet (se avsnitt 9.3.1 nedan), inte krav på att ATPC ska användas. Störningsberäkningen sker även fortsättningsvis med nominell (maximal) tillståndsgiven sändareffekt för radiosystemet.

För tillståndshavare av fast radio är det dock fortsatt tillåtet att på frivillig basis använda ATPC-funktionen i sina radioutrustningar, vilket även är önskvärt för att bidra till en fortsatt hög spektrumeffektivitet.

9.3.1 Krav på ATPC i frekvensbandet 10,5 GHz

Frekvensutrymmet 10600–10680 MHz delas med passiv jordutforskning (EESS). I enlighet med beslut ECC/DEC/(10)01⁵ begränsas tillståndshavarens användning i frekvensbandet 10600–10680 MHz enligt följande.

- Sändareffekt på antennutgång får vara maximalt -15 dBW (15 dBm) om automatisk sändareffektreglering (ATPC) saknas.
- Om utrustningen har sändareffektreglering (ATPC) får den maximala sändareffekten på antennutgången öka med ett värde motsvarande det reglerområde som den automatiska sändareffekten har, dock maximalt upp till sändareffekt -3 dBW (27 dBm).
- Sändarens antenn får maximalt ha 20° elevationsvinkel (höjdvinkel över horisontalplanet).

9.4 XPIC (Cross Polar Interference Cancelling)

En ansökan om tillstånd för fast radio med XPIC hanteras som två parallella sändare- och mottagarpar med samma frekvens men olika polarisation. Vid störningsberäkningen ignoreras den systeminterna störningen i XPIC-radioutrustningen.

9.5 MIMO (Multiple Input Multiple Output)

En ansökan om tillstånd för fast radio med MIMO hanteras som två olika parallella sändare- och mottagarpar med samma frekvens och polarisation men i olika antennpar. Antennparen kan vara horisontellt eller vertikalt spatialt separerade. Vid störningsberäkningen ignoreras den systeminterna störningen i MIMO-radioutrustningen.

Bedömningen är att MIMO-användning, förutom att den ökar spektrumeffektiviteten, är bra i ett geografiskt område där det råder lokal spektrumbrist, t.ex. i fall där det inte är möjligt att uppgradera en befintlig (1+0) radiolänk till (2+0) radiolänk genom att lägga till ytterligare en radiokanal eller använda XPIC. Här kan MIMO i en del fall användas för utökad kapacitet genom två ”MIMO-frekvenspar” (1V+0) i de övre antennparen och (1V+0) i de undre antennparen.

Se ECC report 258⁶ för mer detaljer om MIMO.

⁵ ECC/DEC/10(01), ECC Decision of 12 November 2010 on sharing conditions in the 10.6-10.68 GHz band between the fixed service, mobile service and Earth exploration satellite service (passive)

⁶ ECC report 258, Guidelines on how to plan LoS MIMO for Point-to-Point Fixed Service Links, 27 January 2017

9.6 BCA (Band and Carrier Aggregation)

BCA är ett radiosystem som kombinerar ett högt och ett lägre frekvensband. Det högre frekvensbandet, t.ex. 80 GHz, används för att uppnå hög kapacitet under normala vågutbredningsförhållanden. Det lägre frekvensbandet, t.ex. 18 GHz, används för att upprätthålla hög tillgänglighet för prioriterad trafik under onormala vågutbredningsförhållanden.

Användning av BCA gör det möjligt att öka räckvidden för t.ex. användning i 70/80 GHz-frekvensbandet från t.ex. 2 km med 99,995% tillgänglighet upp till 7 km med 99,9% tillgänglighet.

För det högre av de nyttjade frekvensbanden görs bedömningen att det med BCA kan vara nödvändigt att använda en högre sändareffekt än vad som tidigare varit fallet med traditionella sträcklängder för frekvensbandet. Nyttan av ATPC i störningsberäkning kan därför antas minska då radiosystemet oftare än tidigare använder nominell sändareffekt.

En ansökan om fast radio med BCA handläggs med utgångspunkt från att det gäller två olika parallella fast radiosystem i två olika frekvensband. Ett tillstånd beviljas i förekommande fall för det högre frekvensbandet och ett annat tillstånd för det lägre frekvensbandet.

Se ECC report 320⁷ för mer detaljer om BCA.

Exempel på BCA-användning i olika frekvensband ges i bilaga D.

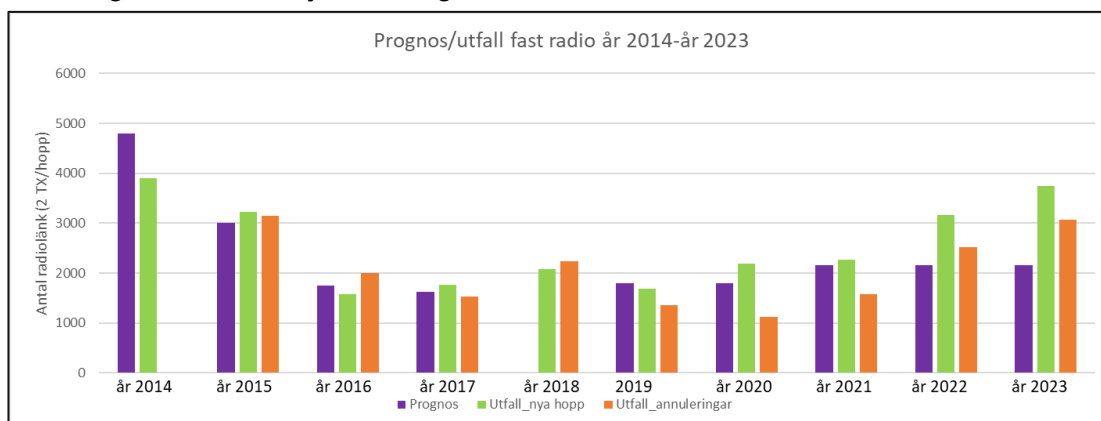
⁷ ECC report 320, Guidelines on Band and Carrier Aggregation in fixed point-to-point systems, 2 October 2020

Bilaga A. Utveckling av fast radio i Sverige

I följande avsnitt ges en beskrivning av hur frekvensanvändning för fast radio i Sverige har utvecklats mellan åren 2013 och 2023. Information om utveckling av fast radio i Europa finns i ECC rapport 173⁸.

A.1 Prognos antal nya och annullerade radiolänkar.

PTS har sedan år 2013 haft årliga operatörmöten med de större tillståndshavarna för fast radio, vilka tillsammans har mer än 90 % av alla tillstånd för fast radio. Ett syfte med operatörmöten är att få en prognos avseende utbyggnad av fast radio, se Figur 5. Med nya hopp avses här både utökning av kapacitet för befintliga radiolänkar samt etablering av radiolänk i ny sträckning.



Figur 5: Prognos från operatörer (blå), antal nya tillstånd (grön) och uppsagda tillstånd (röd).

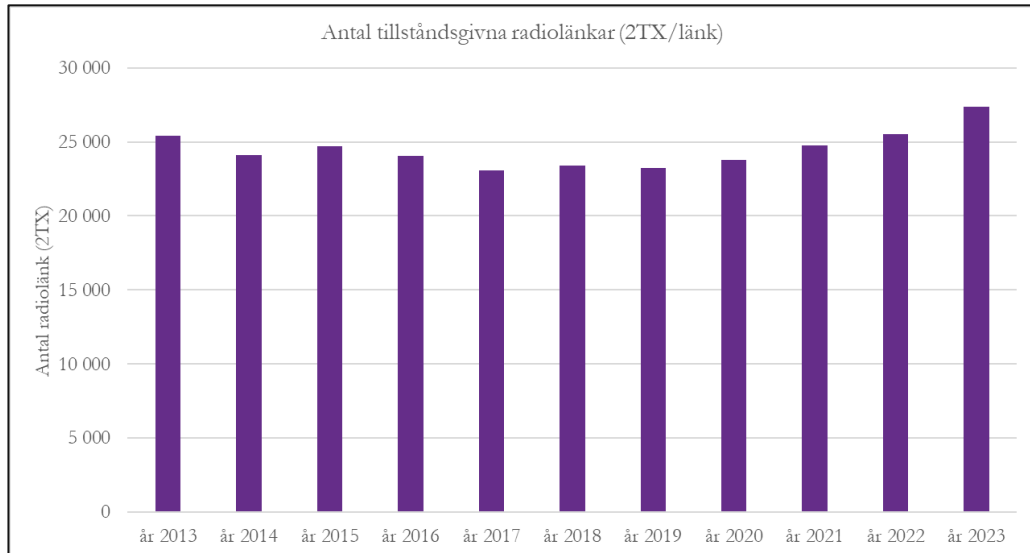
Antalet nya tillstånd som utfärdades under år 2022 **ökade med cirka 40%** jämfört med det antal nya tillstånd som utfärdades under år 2021, ökningen mellan år 2022 och år 2023 är 18%. Ökningen av antal nya tillstånd mellan år 2021 till år 2023 antas bero på utbyggnad av mobil 5G.

Antalet nya tillstånd år 2022/2023 var ungefär på samma nivå som antalet nya tillstånd år 2015, med skillnaden att de nya ansökningarna i genomsnitt avsåg bredare kanalbandbredd än tidigare (se avsnitt A.3).

⁸ ECC rapport 173, Fixed Service in Europe Current use and future trends post 2016

A.2 Antal radiolänkar

Efter något minskat antal radiolänkar under år 2016 och år 2017 har trenden därefter varit ökande, se Figur 6.



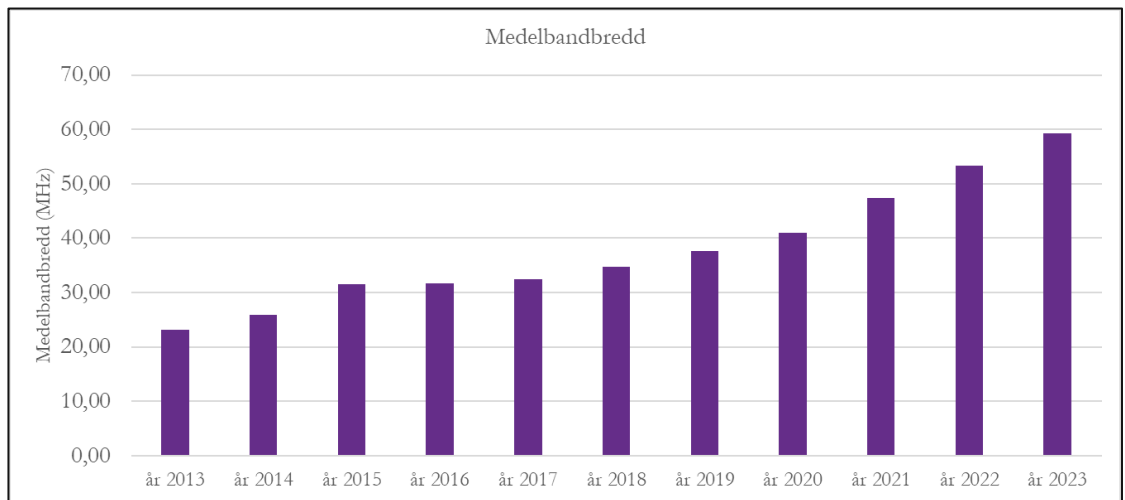
Figur 6: Antal enskilt tillståndsgivna radiolänkar 2013 – 2023.

PTS förväntar sig kommande år ett ökat antal tillståndsansökningar, främst i samband med utbyggnaden av transmissionsnät för mobilt 5G. Bedömningen är att det även kommer ske flera annulleringar av befintliga tillstånd i samband med avvecklingen av transmissionsnät för mobila 3G-nät.

A.3 Medelbandbredd

Medelbandbredden i det svenska fasta radiolänknätet har haft en betydande ökning mellan åren 2013 och 2023, se Figur 7.

År 2013 var medelbandbredden för alla enskilt tillståndsgivna radiolänkar i frekvensbanden mellan 6 GHz och 38 GHz cirka 23 MHz per radiolänk. Under år 2018 var medelbandbredden för alla radiolänkar cirka 34 MHz och år 2023 är medelbandbredden för alla radiolänkar nästan 60 MHz.



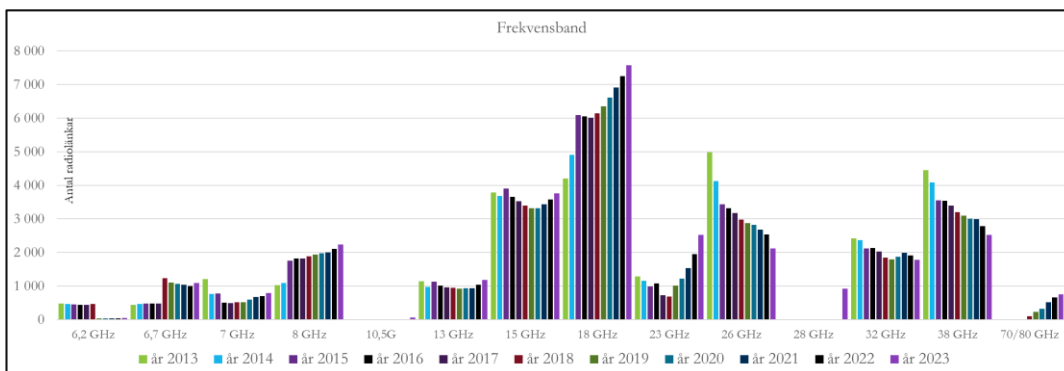
Figur 7: Medelbandbredd för fast radio (radiolänk) i frekvensband 6–38 GHz i Sverige.

Frekvensbandet 70/80 MHz ingår inte vid beräkning av medelbandbredd eftersom de mycket breda kanalbandbredderna 250/500/1000/2000 MHz annars får en kraftig inverkan på resultatet.

För de radiolänkar som fått enskilda tillstånd under år 2023 var medelbandbredden cirka 90 MHz. Tillgång till breda kanaler, t.ex. 220/224 MHz i frekvensband från 18 GHz och uppåt, gör att PTS, i samband med kommande utbyggnad för transmission till mobilt 5G, förväntar att medelbandbredden för fast radio kommer att fortsätta att öka.

A.4 Fördelning på frekvensband

I Figur 8 visas utvecklingen mellan åren 2013 och 2023 avseende antal fasta radio-länkar (2 st. sändare/fast radio) i respektive frekvensband för fast radio mellan 6 GHz och 80 GHz. För mer information om kanalplaner se frekvensbandslistan på www.pts.se.



Figur 8: Antal fast radioförbindelser fördelat per frekvensband och år.

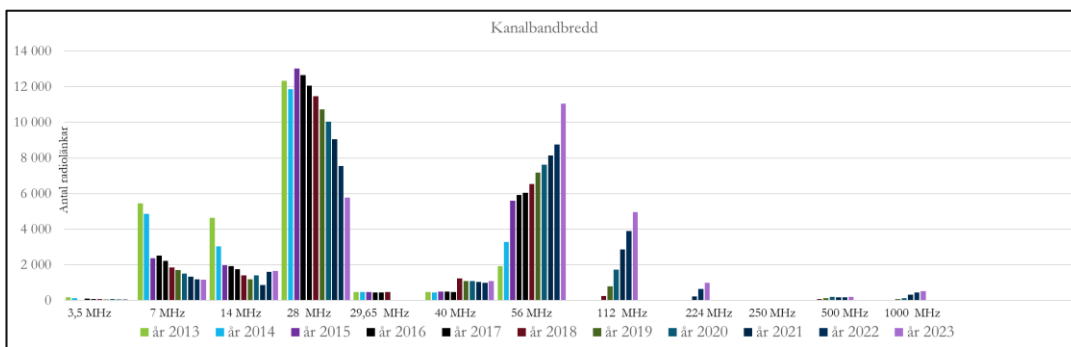
För frekvensbanden 6,2 GHz (låga 6 GHz) och 6,7 GHz (höga 6 GHz) har en stor del av användningen flyttat från låga 6 GHz till höga 6 GHz. Antalet radiosändare i låga 6 GHz har varit lågt sedan 2019.

Användningen i de högre frekvensbanden 26 GHz och 38 GHz har under flera år haft en nedåtgående trend och även ett minskade antal nyansökningar. PTS bedömning är att det dels beror på att det i Sverige finns god tillgång på optisk fiber i tätort, och dels på att flera mobiloperatörer valt att nyttja blocktillstånd i 10,5, 26 och 28 GHz för fast radio i stället för att söka enskilda tillstånd i frekvensbanden 26 till 38 GHz.

PTS ser en ökad användning i flera olika frekvensband, främst i 8 GHz, 18 GHz, 23 GHz och 70/80 GHz. I 10,5 GHz och 28 GHz banden finns även ytterligare radiolänkar inom blocktillstånd.

A.5 Fördelning av kanalbandbredd

I Figur 9 nedan visas utvecklingen mellan åren 2013 och 2022 avseende kanalbandbredd för fast radio mellan 6 GHz och 80 GHz.



Figur 9: Tilldelad kanalbandbredd fördelat per år.

De smala kanalbandbredderna mellan 3,5 MHz och 14 MHz används i allt mindre omfattning, medan användning av de breda kanalbandbredderna 56 MHz och 112 MHz ökar. PTS har våren 2021 öppnat för möjligheten att söka tillstånd för bredare kanaler (220/224 MHz) i frekvensbanden 18, 23, 32 och 38 GHz. I 70/80 GHz-frekvensbandet finns möjlighet att söka kanalbandbredd upp till 2500 MHz.

Av de enskilda tillstånd som beviljades under år 2023 var det omkring 53% som hade en kanalbandbredd om 55/56 MHz, medan omkring 40% av de beviljade enskilda tillstånden under år 2023 hade en kanalbandbredd större än 110/112 MHz.

Bilaga B. Aktuell frekvensanvändning för fast radio i Sverige

I följande avsnitt ges en beskrivning av aktuell frekvensanvändning för fast radio i Sverige. I följande figurer har Y-axeln enhet ”Antal”. Med ”Antal” avses här en fast radio/radiolänk med en sändare (TX) på varje sida, dvs 2 TX/radiolänk.

B.1 Låga 6 GHz

Låga 6 GHz (5925–6425 MHz) frekvensbandet delas med FSS-upplänk (jordstation) på ett tiotal geografiska platser i Sverige. Då det är få tillståndshavare och få radiolänkar i låga 6 GHz visas inte aktuell kanalfördelning i detta dokument. I frekvensbandet låga 6 GHz (5925–6425 MHz) används harmoniserad kanalplan enligt CEPT/ERC/REC 14–01⁹.

Frekvensbandet är även harmoniserat för RLAN enligt kommissionens genomförandebeslut 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). Terminalerna för RLAN är undantagna från tillståndsplikt i enlighet med PTS föreskrifter.

Förutsättningarna för delning mellan fast radio och RLAN framgår av CEPT Report 73 och CEPT report 75¹⁰ och kommissionsbeslutet (EU) 2021/1067. Det tekniska annexet i beslutet styr harmoniseringen inom EU, med skilda effektnivåer inomhus respektive utomhus.

⁹ CEPT/ERC/REC 14-01 (2014): Radio-frequency channel arrangements for high capacity analogue and digital radio-relay systems operating in the band 5925 MHz - 6425 MHz.

¹⁰ Rapport A (CEPT-rapport 73): Assessment and study of compatibility and coexistence scenarios for WAS/RLANs in the band 5 925–6 425 MHz (6 mars 2020) och ii) Rapport B (CEPT-rapport 75): 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 (20 november 2020).

B.2 Höga 6 GHz

Frekvensbandet höga 6 GHz (6425–7125 MHz) har få tillståndshavare och därför visas inte aktuell kanalfördelning. I frekvensbandet höga 6 GHz (6425–7125 MHz) används harmoniserad kanalplan enligt CEPT/ERC/REC 14–02¹¹.

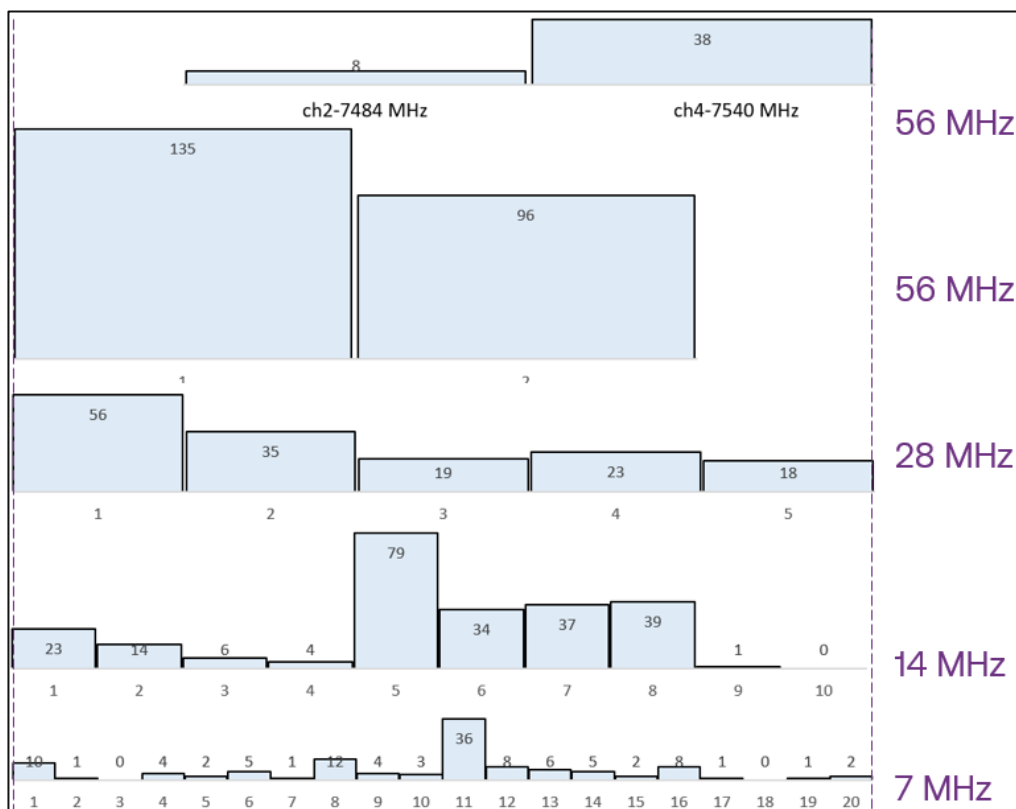
Höga 6 GHz-bandet är föremål för studier inom CEPT rörande delning och kompatibilitet med andra användningar.

Radioastronomi (RAS) i Onsala, sydväst om Göteborg, mäter i bandet 6650,0- 6675,2 MHz med skydd enligt ITU RR fotnot 5.149. Vid skydd av RAS gäller inte en viss tröskeldegradering (se avsnitt 3), utan krav på spektral effekttäthet vid RAS mottagare.

¹¹ CEPT/ERC/REC 14-02 (2015): Radio-frequency channel arrangements for medium and high capacity analogue or high capacity digital radio-relay systems operating in the band 6425 MHz - 7125 MHz.

B.3 7 GHz

I frekvensbandet 7 GHz (7425–7725 MHz) används harmoniserad kanalplan enligt ERC/REC/(02)06¹². Den bredaste kanalbredd som medges uppgår till 56 MHz. Kanalfördelning vid slutet av år 2023 visas i Figur 10.



Figur 10: Kanalfördelning i 7 GHz (7425–7725 MHz).

För breda kanaler, 28 MHz och 56 MHz, är fördelningen relativt jämn över frekvensbandet. För smala kanaler, 7 MHz, är det förhållandevis stor användning på kanal 11, vilket bedöms bero på att det är den lägsta kanalen i subband B för en viss utrustningstyp.

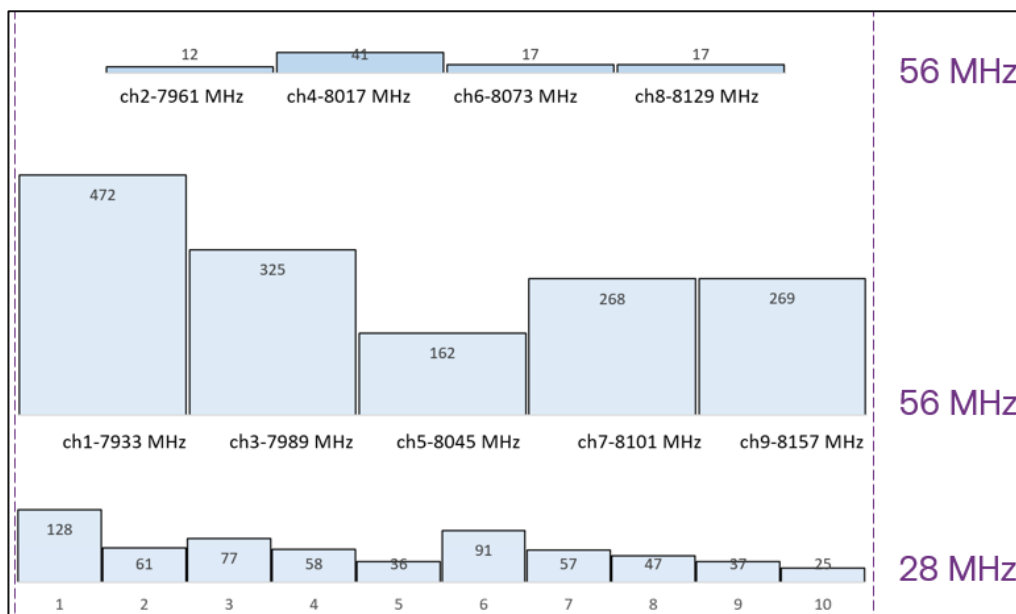
¹² CEPT ECC/REC (02)06 (2015): "Preferred channel arrangements for digital fixed service systems operating in the frequency range 7125–8500 MHz".

Bedömningen är dock att det över tid kommer att vara en mer likformig kanal-fördelning i frekvensbandet i takt med att den smalbandiga användningen uppgraderas till bredare kanaler eller ersätts genom användning i andra frekvensband. Under våren 2021 har en överlappande kanalplan införts för de bredaste kanalerna i frekvensbandet.

B.4 8 GHz

I 8 GHz (7900–8500 MHz) frekvensbandet används harmoniserad kanalplan enligt ERC/REC/(02)06. Kanalbredden som medges uppgår till 56 MHz. Kanalfördelning i slutet av år 2023 visas i Figur 11. Då det i frekvensbandet är låg användning av de smala kanalbandbredderna 7 MHz och 14 MHz, visas de inte i nedanstående figur.

Frekvensbandet delas med FSS-upplänk (jordstationer) på ett tiotal geografiska platser i Sverige.



Figur 11: Kanalfördelning i 8 GHz (7900–8500 MHz).

I 8 GHz-frekvensbandet är fördelningen relativt likformig över frekvensbandet med viss tyngdpunkt för de lägre kanalerna.

Under våren 2021 har en överlappande kanalplan införts för de bredaste kanalerna i frekvensbandet.

B.5 10,5 GHz

I 10,5 GHz frekvensbandet (10210–10672 MHz) används en harmoniserad kanalplan enligt ERC/REC 12–05¹³ utökad med ytterligare frekvensutrymme, se nedanstående Figur 12.

Geografiskt område	Harmoniserad bandplan						Utökning av bandet		
	10210 - 10224 MHz 10560 - 10574 MHz	10224 - 10238 MHz 10574 - 10588 MHz	10238 - 10252 MHz 10588 - 10602 MHz	10252 - 10266 MHz 10602 - 10616 MHz	10266 - 10280 MHz 10616 - 10630 MHz	10280 - 10294 MHz 10630 - 10644 MHz	10294 - 10308 MHz 10644 - 10658 MHz	10308 - 10322 MHz 10658 - 10672 MHz	
Falkenberg, Halmstad, Hylte, Laholm, Varberg	HI3G 2 x 14 MHz 2035-12-31	Enskilda tillstånd 2 x 98 MHz							
Kungsbacka		Enskilda tillstånd 2 x 98 MHz							
Gotland		Enskilda tillstånd 2 x 98 MHz							
Övriga Sverige	HI3G 2 x 56 MHz 2035-12-31			Enskilda tillstånd 2 x 56 MHz					

Figur 12: Frekvensutrymme i 10,5 GHz bandet

Den kanalbredd som medges uppgår till 56 MHz.

Tillstånden att använda radiosändare inom ett visst frekvensutrymme (blocktillstånd) i Gotlands kommun löpte ut den 31 december 2022. Blocktillstånd i Halland (Falkenberg, Halmstad, Hylte, Kungsbacka, Laholm och Varberg) löpte ut den 31 mars 2023. Ett antal kommunindelade blocktillstånd löper ut den 31 december 2035. Samtliga tillstånd är teknik- och tjänsteneutrala, men används huvudsakligen för fast radio.

I samband med att blocktillstånden löpt ut kan frigjort utrymme tilldelas enskilda sändare.

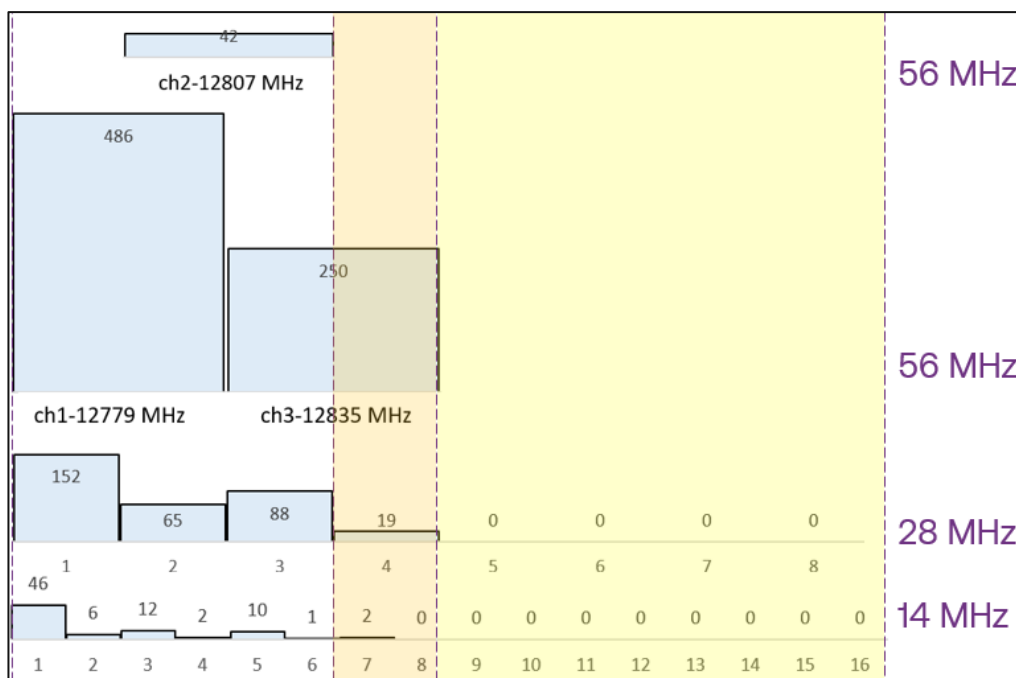
Ansökningar om nya tillstånd behöver koordineras med befintlig blocktillståndsinnehavare (HI3G).

Radioastronomi (RAS) i Onsala, sydväst om Göteborg, mäter i bandet 10,60–10,68 GHz med skydd enligt ITU RR fotnot 5.149. Vid skydd av RAS gäller inte en viss tröskeldegradering (se avsnitt 3), utan krav på spektral effekttäthet vid RAS mottagare.

¹³ CEPT/ERC/REC 12-05 (2007): Harmonized radio frequency channel arrangements for digital terrestrial fixed systems operating in the band 10.0 - 10.68 GHz.

B.6 13 GHz

I frekvensbandet 13 GHz (12750–13250 MHz) används harmoniserad kanalplan enligt ERC/REC 12–02¹⁴. Kanalbredd som medges uppgår till 56 MHz. Kanalfördelning i slutet av år 2023 visas i Figur 13. Då det är låg användning av smala kanalbandbredder 3,5 MHz och 7 MHz i frekvensbandet, visas de inte i nedanstående figur.



Figur 13: Kanalfördelning i 13 GHz (12750–13250 MHz).

Frekvensbandet har delad användning. Användning av den högsta 28 MHz-kanalen och den högsta 56 MHz-kanalen (orangemarkerade området) kan medges efter godkänd koordinering. Inom gulmarkerade områden medges inte användning av fast radio. Frekvensbandet delas även med FSS-upplänk (jordstationer) på ett fåtal geografiska platser i Sverige.

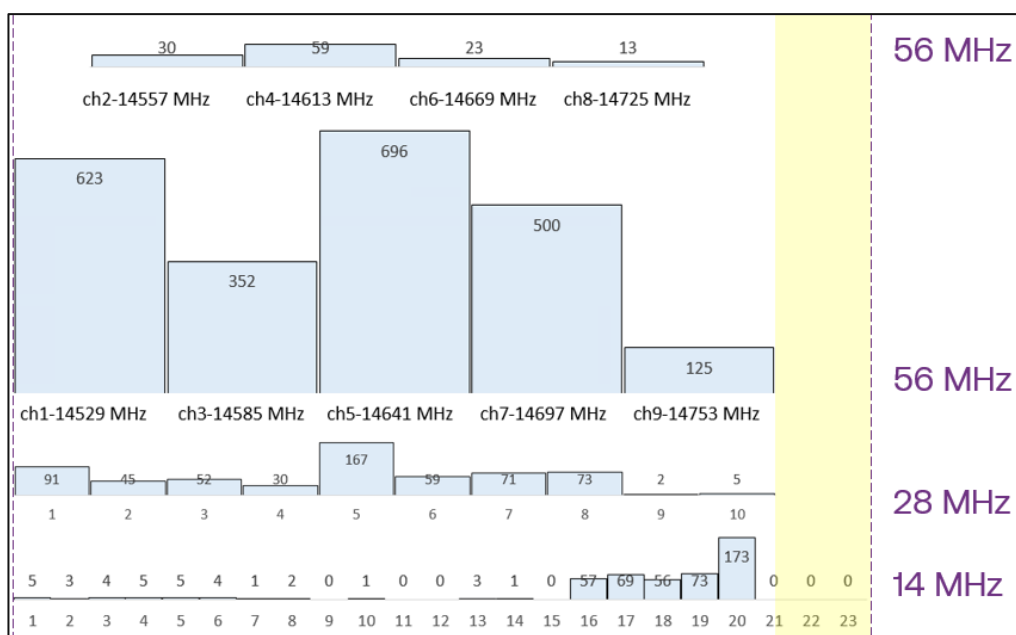
I frekvensbandet 13 GHz är fördelningen relativt likformig över frekvensbandet med viss tyngdpunkt för de lägre kanalerna.

Under våren 2021 har en överlappande kanalplan införts för de bredaste kanalerna i frekvensbandet.

¹⁴ CEPT/ERC/REC 12-02 (2007): Harmonized radio frequency channel arrangements for analogue and digital terrestrial fixed systems operating in the band 12.75 GHz to 13.25 GHz.

B.7 15 GHz

I frekvensbandet 15 GHz (14500–15250 MHz) används svensk kanalplan, se frekvensbandlistan på www.pts.se. Kanalbredd som medges uppgår till 56 MHz. Kanalfördelning i slutet av år 2023 visas i Figur 14. Då det är låg användning av smala kanalbandbredder 3,5 MHz och 7 MHz i frekvensbandet, visas de inte i nedanstående figur.



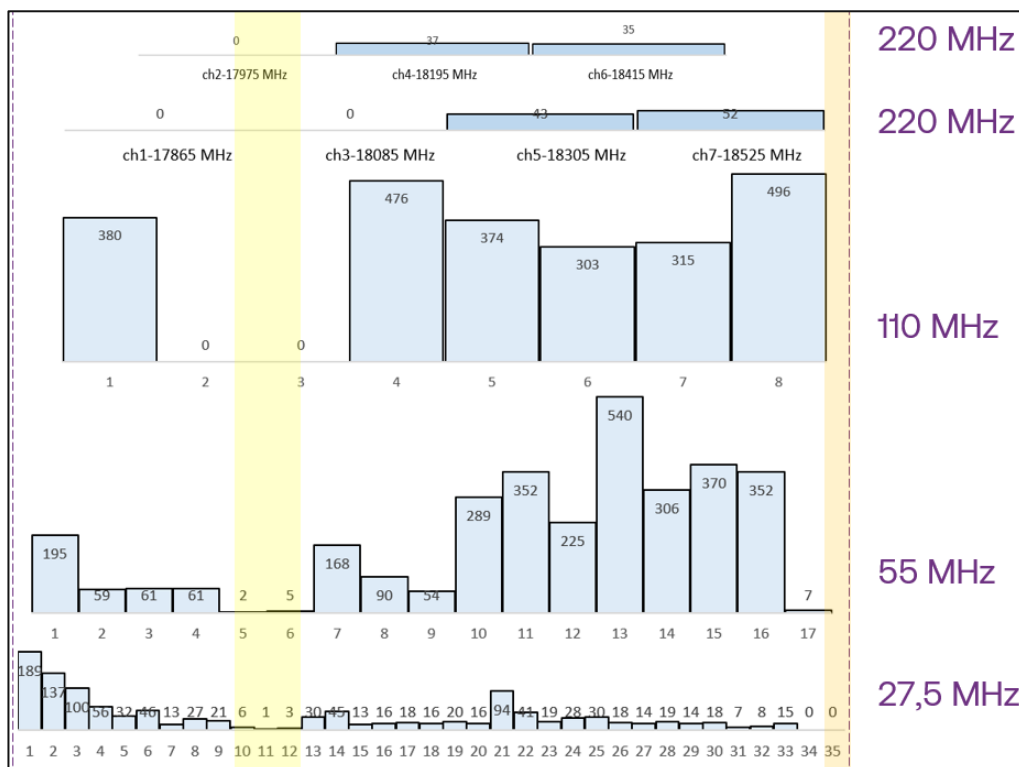
Figur 14: Kanalfördelning i 15 GHz (14500–15250 MHz).

Det är relativt hög användning i mitten av frekvensbandet, vilket bedöms sammanfalla med sub-bandsindelning för en viss utrustningstyp. Frekvensbandet har delad användning och därmed kan inte alla (se gulmarkerat område) radiokanaler enligt svensk kanalplan användas för fast radio. Under våren 2021 har en överlappande kanalplan införts för de bredaste kanalerna i frekvensbandet.

Radioastronomi (RAS) i Onsala, sydväst om Göteborg, mäter i bandet 14,47–14,50 MHz som har skydd enligt ITU RR fotnot 5.149 samt bandet 15,35–15,4 GHz som har skydd enligt ITU RR fotnot 5.340. Vid skydd av RAS gäller inte en viss tröskeldegradering (se avsnitt 3), utan krav på spektral effekttäthet vid RAS mottagare.

B.8 18 GHz

I frekvensbandet 18 GHz (17700–19700 MHz) används harmoniserad kanalplan i enlighet med CEPT/ERC/REC 12–03¹⁵. Kanalfördelning i slutet av år 2023 visas i Figur 15. Då det är låg användning av smala kanalbandbredder upp till 13,75 MHz i frekvensbandet, visas de inte i nedanstående figur.



Figur 15: Kanalfördelning i 18 GHz (17700–19700 MHz).

En del av frekvensbandet delas med annan användning över hela landet. Därmed kan inte alla radiokanaler enligt harmoniserad kanalplan användas för fast radio (se gulmarkerade områden). I den övre delen av frekvensbandet (se orangemarkerat område) kan tillstånd för användning beviljas efter godkänd koordinering.

¹⁵ CEPT/ERC/REC 12-03 (2019): Harmonized radio frequency channel arrangements for digital terrestrial fixed systems operating in the band 17.7 GHz to 19.7 GHz.

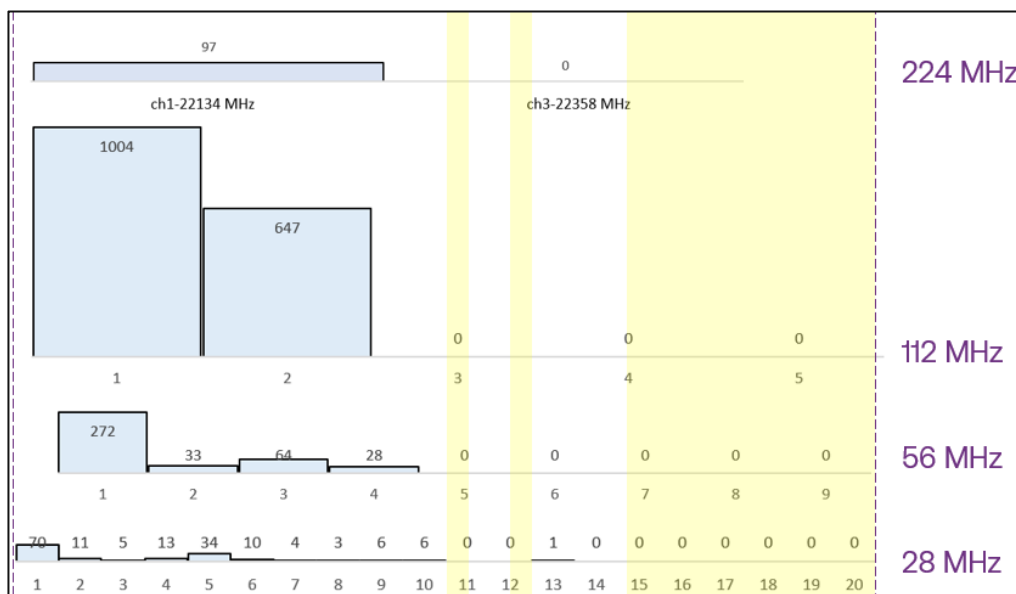
Frekvensbandet delas även i frekvensområdet 17700–18150 MHz med FSS-upplänk (jordstationer) på ett fåtal geografiska platser i Sverige.

Uppfattning är att det över tid kommer att vara en mer likformig kanalfördelning i frekvensbandet i takt med att smalbandig användning uppgraderas till bredare kanal eller ersätts av användning i andra frekvensband.

Under våren 2021 har en överlappande kanalplan införts för de bredaste kanalerna i frekvensbandet.

B.9 23 GHz

I frekvensbandet 23 GHz (22000–23600 MHz) används harmoniserad kanalplan enligt ERC/REC T/R 13–02¹⁶. Kanalbredden som medges uppgår till 224 MHz. Kanalfördelning i slutet av år 2023 visas i Figur 16.



Figur 16: Kanalfördelning i 23 GHz (22000–23600 MHz).

Frekvensbandet har delad användning mellan fast radio och annan användning över hela landet. Därmed kan inte alla radiokanaler enligt harmoniserad kanalplan användas för fast radio (se gulmarkerade områden). Kanalfördelning i frekvensbandet är koncentrerad till den lägre delen av frekvensbandet.

Under våren 2021 har en överlappande kanalplan införts för de bredaste kanalerna i frekvensbandet.

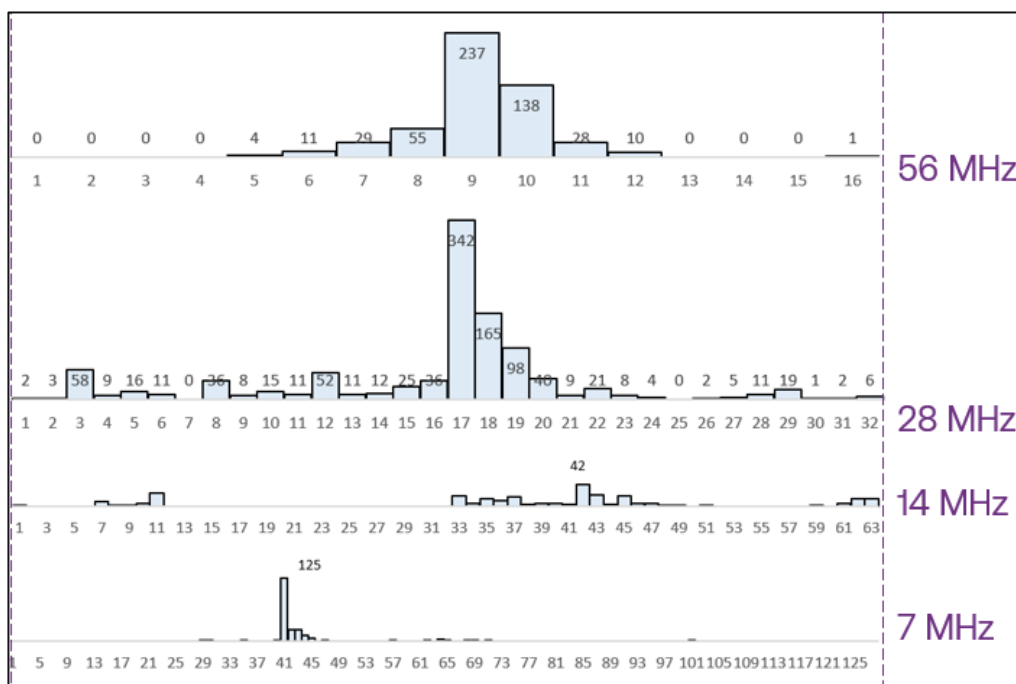
Radioastronomi (RAS) i Onsala, sydväst om Göteborg, mäter i bandet 22,01–22,21, 22,21–22,5, 22,81–22,86, 23,07–23,12 GHz med skydd enligt ITU RR fotnot 5.149, samt bandet 23,6–24,0 GHz med skydd enligt ITU RR fotnot 5.340. Vid skydd av RAS gäller inte en viss tröskeldegradering (se avsnitt 3), utan krav på spektral effekttäthet vid RAS mottagare.

¹⁶ CEPT/ERC/REC T/R 13-02 (2019): Preferred channel arrangements for fixed services systems in the frequency range 22.0 - 29.5 GHz.

B.10 26 GHz

I 26 GHz (24500–26500 MHz) frekvensbandet används harmoniserad kanalplan enligt ERC/REC T/R 13–02. Kanalbredden som medges i den harmoniserade kanalplanen uppgår till 112 MHz. Sändare inom tidigare blocktillstånd har sedan den 31 december år 2020 övergått till enskilda tillstånd.

Kanalfördelning i slutet av år 2023 visas i Figur 17.



Figur 17: Kanalfördelning i 26 GHz (24500–26500 MHz).

Användningen av fast radio i 26 GHz-bandet förenas med förbehåll om avveckling på platser inom hela Sveriges geografiska yta där IMT i 26 GHz bandet (24,25–27,5 GHz)¹⁷ efterfrågas. Ett villkor är att fast radio-användningen får acceptera skadlig störning från IMT-användningen i 26 GHz-bandet (24,25–27,5 GHz). Fast radio-användningen får inte heller orsaka skadlig störning på IMT-användningen.

Rekommendationen är att tillståndshavare själva genomför en bedömning av risk för störning från IMT innan etablering av fast radio i bandet.

¹⁷ Frekvensbandet harmoniserades 2019 inom EU för markbundna system som kan användas för trådlösa bredbandiga elektroniska kommunikationstjänster, (EU) 2019/784 ändrat (EU) 2020/590.

B.11 28 GHz

De nationella tillstånden att använda radiosändare inom ett visst frekvensutrymme (blocktillstånd) löper ut den 31 december 2024. Blocktillstånden är teknik- och tjänsteneutrala, men används för fast radio. I samband med att tillstånden löper ut kommer frigjort utrymme att kunna tilldelas för enskilda sändare.

Befintliga tillståndshavare har dock redan nu möjlighet att återkalla blocktillstånden och samtidigt ansöka om tillstånd för enskilda sändare, vilket två tillståndshavare valt att göra vid årsskiftet 2022/2023 respektive 2023/2024.

Det är nu möjligt att ansöka om tillstånd för enskilda sändare för fast radio inom frekvensutrymmet 28164,5–28444,5/29172,5–29452,5 MHz enligt harmoniserad kanalplan ERC/REC T/R 13–02.

I 28 GHz-bandet finns ett befintligt blocktillstånd kvar, dvs. tillstånd att använda radiosändare inom ett visst frekvensutrymme med egen radioplanering. Nya ansökningar om enskilda tillstånd i 28 GHz frekvensbandet måste därför koordineras med detta befintliga blocktillstånd.

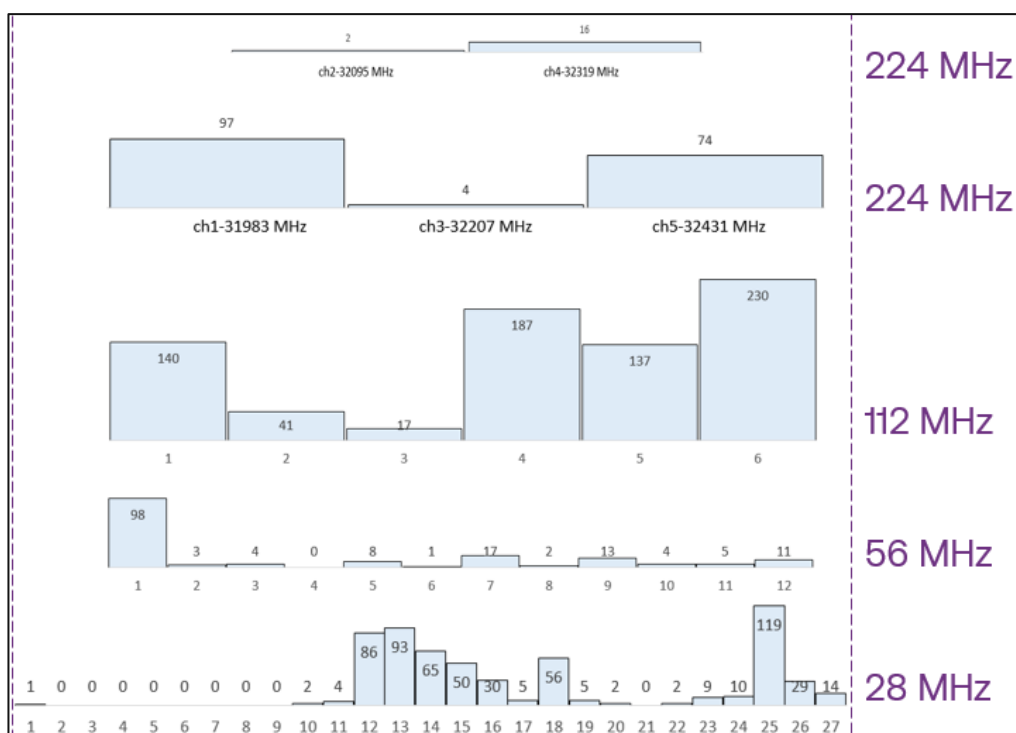
Frekvensutrymmet delas mellan fast radio och okoordinerade jordstationer (FSS) i enlighet med beslut ECC/DEC/(05)01¹⁸.

Frekvensbandet 28 GHz har få tillståndshavare och därför visas inte aktuell kanalfördelning.

¹⁸ ECC/DEC/(05)01, The use of the band 27.5–29.5 GHz by the Fixed Service and uncoordinated Earth stations of the Fixed-Satellite Service (Earth-to-space)

B.12 32 GHz

I frekvensbandet 32 GHz (31800–33400 MHz) används harmoniserad kanalplan enligt ERC/REC(01)02¹⁹. Kanalbredden som medges uppgår till 224 MHz. Kanalfördelning i slutet av år 2023 visas i Figur 18. Eftersom det i frekvensbandet är låg användning av de smala kanalbandbredderna 7 MHz och 14 MHz, visas de inte i nedanstående figur.



Figur 18: Kanalfördelning i 32 GHz (31800–33400 MHz).

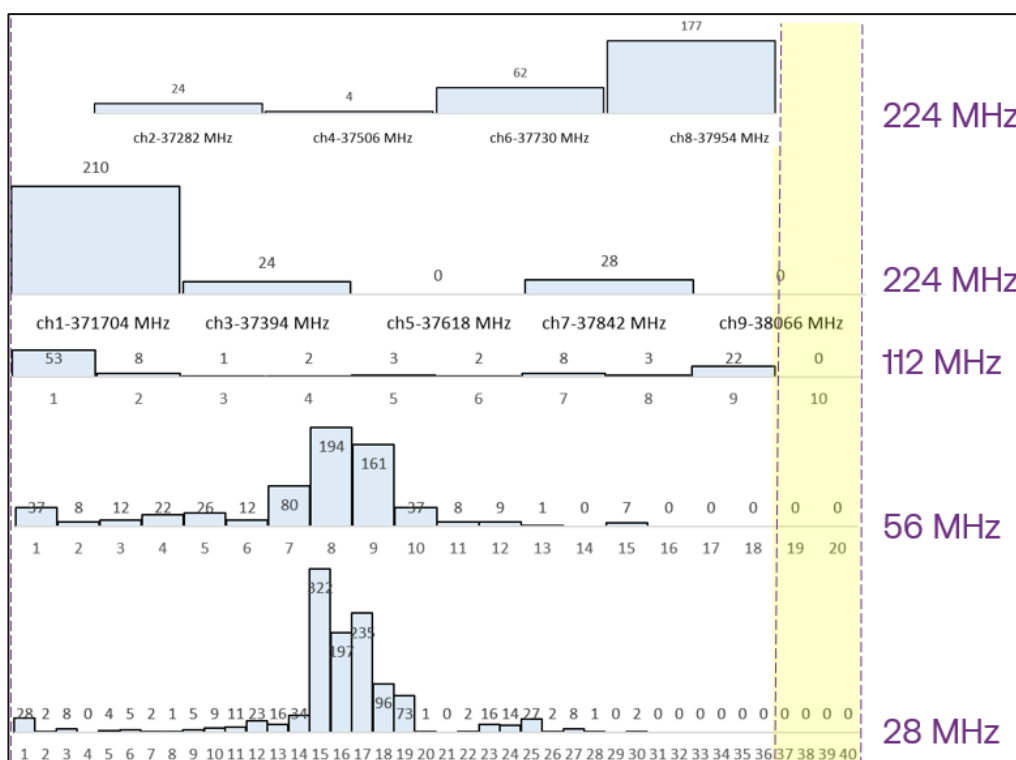
Kanalfördelning i frekvensbandet är koncentrerad till den övre delen av frekvensbandet, sannolikt orsakad av sub-bandsindelning för en viss utrustning. Inriktningen är att över tid optimera kanalfördelningen i frekvensbandet genom att tilldela kanaler i frekvensbandet nerifrån-och-upp med början från kanal 1. Under våren 2021 har en överlappande kanalplan införts för de bredaste kanalerna i frekvensbandet.

¹⁹ ERC/REC(01)02, Preferred channel arrangements for Fixed Service systems operating in the frequency band 31.8–33.4 GHz

Radioastronomi (RAS) i Onsala, sydväst om Göteborg, mäter i bandet 31,2-31,3 GHz med skydd enligt ITU RR fotnot 5.149 samt 31,3-31,5 GHz med skydd enligt ITU RR fotnot 5.340. Vid skydd av RAS gäller inte en viss tröskeldegradering (se avsnitt 3), utan krav på spektral effekttäthet vid RAS mottagare.

B.13 38 GHz

I frekvensbandet 38 GHz (37000–39500 MHz) används harmoniserad kanalplan enligt rekommendation T/R 12–01²⁰. Kanalbredden som medges uppgår till 224 MHz. Kanalfördelning i slutet av år 2023 visas i Figur 19. Eftersom det i frekvensbandet är låg användning av smala kanalbandbredder upp till 14 MHz visas det inte i nedanstående figur.



Figur 19: Kanalfördelning i 38 GHz (37000–39500 MHz).

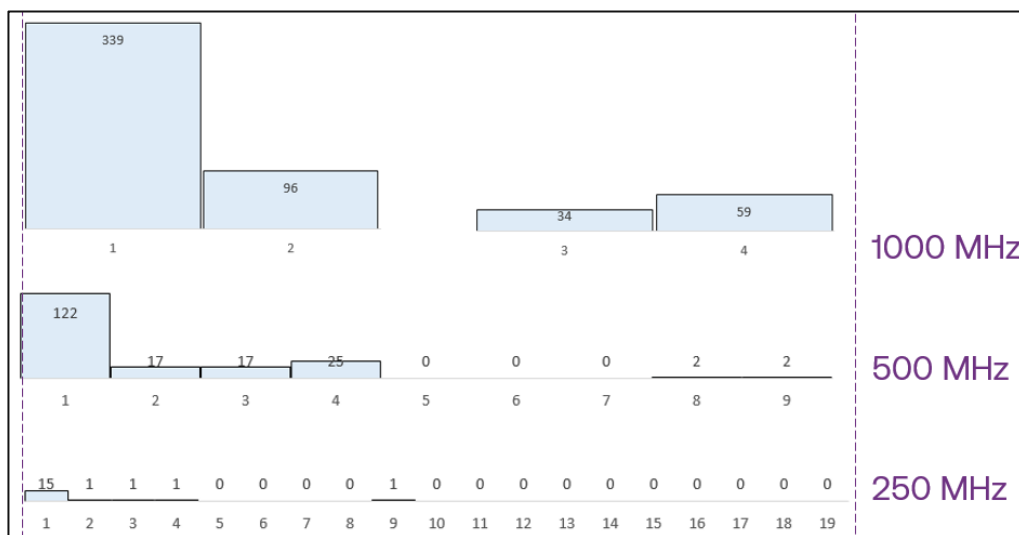
Nya tillstånd medges inte i den övre (gulmarkerade) delen av 38 GHz-bandet. PTS har för avsikt att över tid optimera kanalfördelningen i frekvensbandet genom att tilldela kanaler i frekvensbandet nerifrån-och-upp med början från kanal 1.

Under våren 2021 har en överlappande kanalplan införts för de bredaste kanalerna i frekvensbandet.

²⁰ CEPT/ERC/REC T/R 12-01 (2019): Preferred channel arrangements for fixed service systems operating in the band 37-39.5 GHz.

B.14 70/80 GHz

I frekvensbandet 70/80 GHz (71000–86000 MHz) används harmoniserad kanalplan i enlighet med CEPT/ECC/REC (05)07²¹. Kanalbredden som medges uppgår till 2500 MHz. Kanalfördelning i slutet av år 2023 visas i Figur 20.



Figur 20: Kanalfördelning i 70/80 GHz (71000–86000 MHz).

Kanalfördelning i frekvensbandet är koncentrerad till den lägre delen.

Det finns även några få tillstånd med 2000 MHz eller 2500 MHz kanalbandbredd, vilket inte visas i ovanstående figur.

Radioastronomi (RAS) i Onsala, sydväst om Göteborg, mäter i bandet 76–86 GHz med skydd enligt ITU RR fotnot 5.149 samt bandet 86–92 GHz med skydd enligt ITU RR fotnot 5.340. Vid skydd av RAS gäller inte en viss tröskeldegradering (se avsnitt 3), utan krav på spektral effekttäthet vid RAS mottagare.

²¹ CEPT ECC/REC(05)07 (2013): "Radio frequency channel arrangements for fixed service systems operating in the bands 71–76 GHz and 81–86 GHz".

Bilaga C. Fördelning sträcklängd

Tabell 6 nedan visar aktuell (jan 2024) fördelning av radiosystemens sträcklängd i frekvensband mellan 6 GHz och 80 GHz.

Tabell 6, Fördelning av sträcklängder per frekvensband.

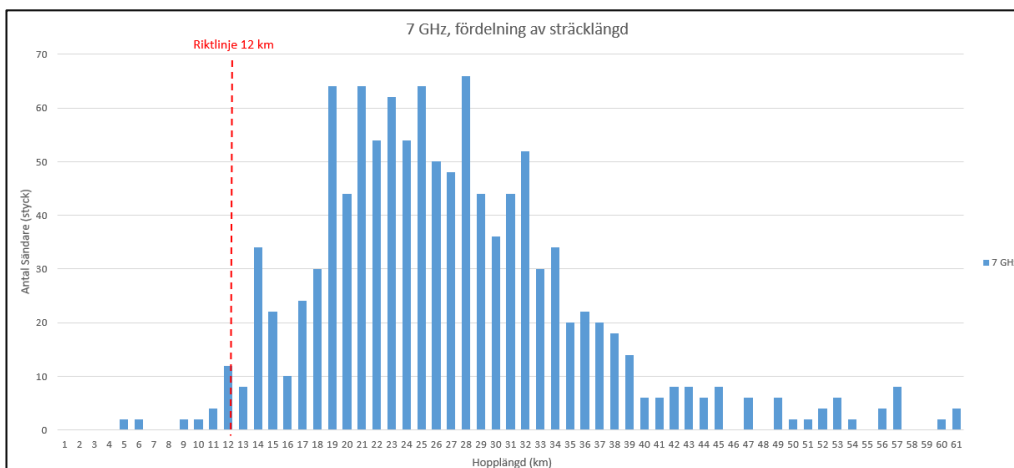
Frekvensband	7 GHz	8 GHz	13 GHz	15 GHz	18 GHz	23 GHz	26 GHz	32 GHz	38 GHz	80 GHz
Max längd (km)	70,5	79,5	49,5	74,9	42,7	31,7	46,4	11,1	23,1	11,7
Min längd (km)	4,1	5,4	2,1	0,1	0,1	0,4	0,2	0,1	0,0	0,1
Medelvärde (km)	26,2	23,8	15,8	14,1	9,3	5,7	6,4	2,3	2,1	1,2
Median (km)	24,8	21,4	14,5	13,4	8,8	5,3	6,2	2,2	1,9	1,1

I följande figurer visas antal fast radio (2 sändare/fast radio) i olika avståndsintervall, 0–1 km, 1–2 km osv. upp till avståndsintervallet 59–60 km. Alla radiolänkar med sträcklängd längre än 60 km är summerade i avståndsintervallet 60–61 km oavsett deras faktiska sträcklängd.

Sträcklängd för 6,2 GHz och 6,7 GHz visas inte då dessa frekvensband har få sändare och/eller tillståndshavare. Sträcklängd i 10,5 GHz och 28 GHz visas inte då det vid tillfället var få enskilt tillståndsgivna sändare och/eller få tillståndshavare i banden.

C.1 Sträcklängd i 7 GHz

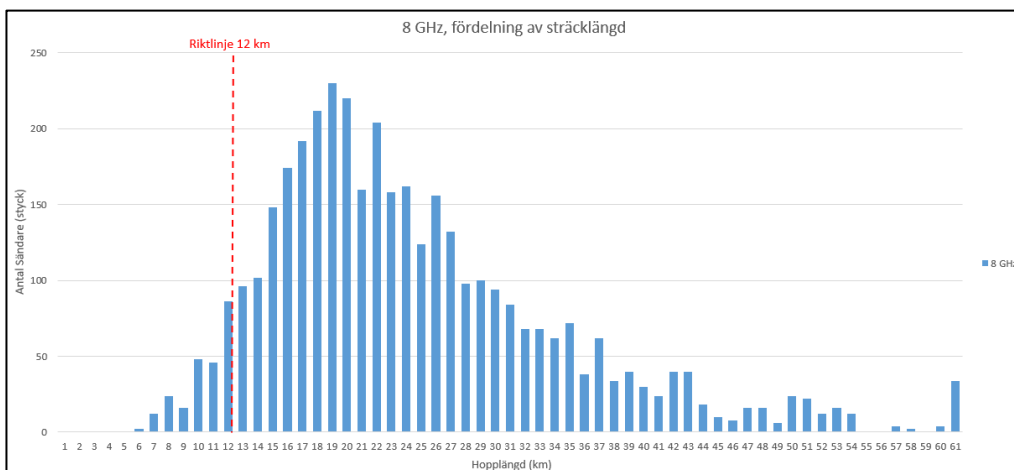
Fördelning av sträcklängd i 7 GHz-bandet visas i nedanstående Figur 21. Cirka 2% av alla radiolänkar i 7 GHz -bandet är kortare än nuvarande riktlinjens 12 km.



Figur 21: Fördelning av sträcklängd i 7 GHz.

C.2 Sträcklängd i 8 GHz

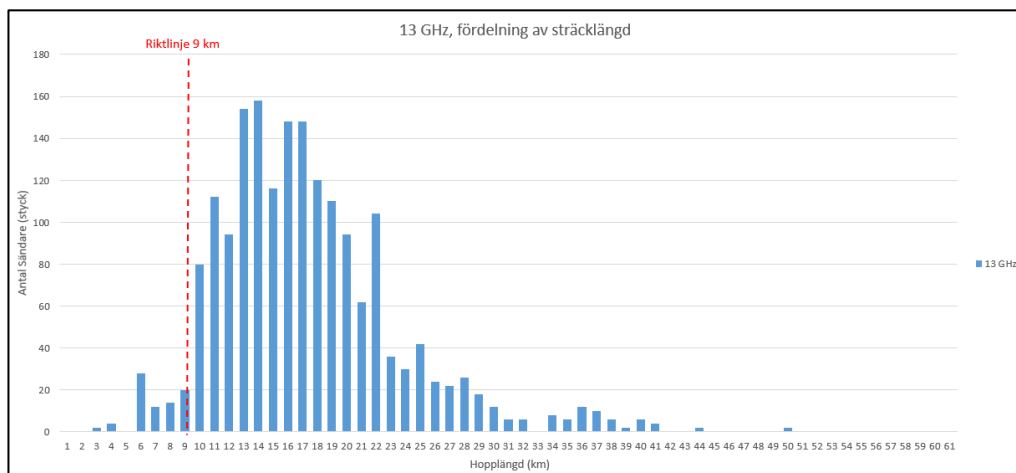
Fördelning av sträcklängd i 8 GHz-bandet är enligt Figur 22. Cirka 6 % av alla radiolänkar i 8 GHz-bandet är kortare än nuvarande riktlinjens 12 km.



Figur 22: Fördelning av sträcklängd i 8 GHz.

C.3 Sträcklängd i 13 GHz

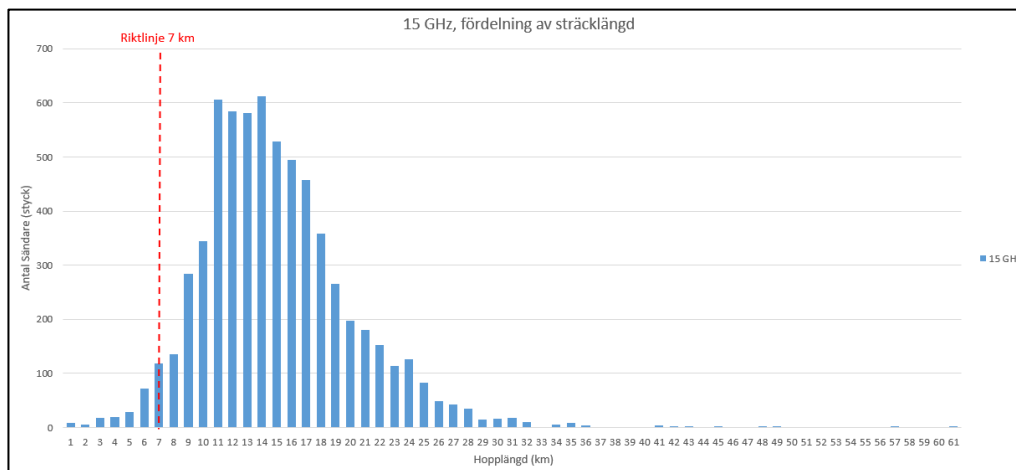
Fördelning av sträcklängd i 13 GHz-bandet är enligt Figur 23. Cirka 4% av alla radiolänkar i 13 GHz-bandet är kortare än nuvarande riktlinjens 9 km.



Figur 23: Fördelning av sträcklängd i 13 GHz.

C.4 Sträcklängd i 15 GHz

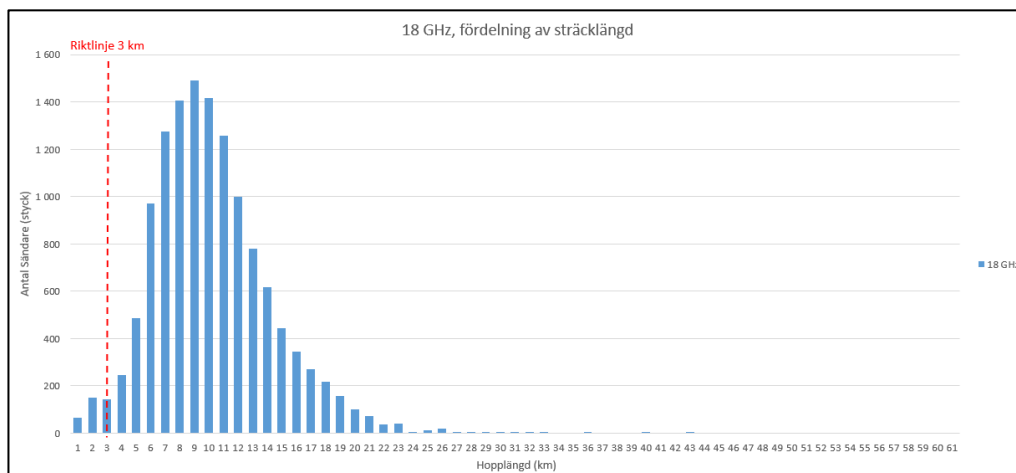
Fördelning av sträcklängd i 15 GHz-bandet visas i Figur 24. Cirka 4% av alla radiolänkar i 15 GHz-bandet är kortare än nuvarande riktlinjens 7 km.



Figur 24: Fördelning av sträcklängd i 15 GHz.

C.5 Sträcklängd i 18 GHz

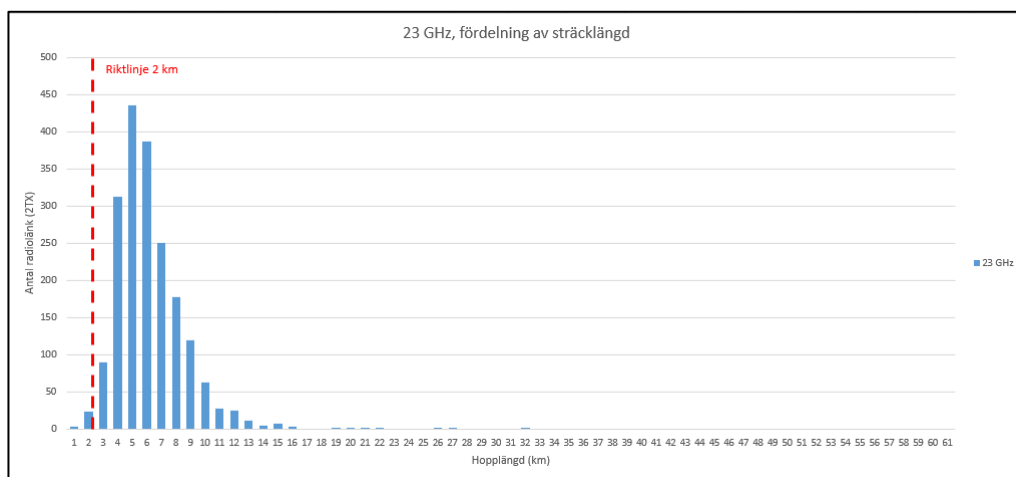
Fördelning av sträcklängd i 18 GHz-bandet visas i Figur 25. Cirka 2,5 % av alla radiolänkar i 18 GHz-bandet är kortare än nuvarande riktlinjens 3 km.



Figur 25: Fördelning av sträcklängd i 18 GHz.

C.6 Sträcklängd i 23 GHz

Fördelning av sträcklängd i 23 GHz-bandet visas i Figur 26 nedan.



Figur 26: Fördelning av sträcklängd i 23 GHz.

Cirka 2,5 % av alla radiolänkar i 23 GHz-bandet är kortare än nuvarande riktlinjens 2 km.

C.7 Sträcklängd i 26, 28, 32, 38 och 70/80 GHz

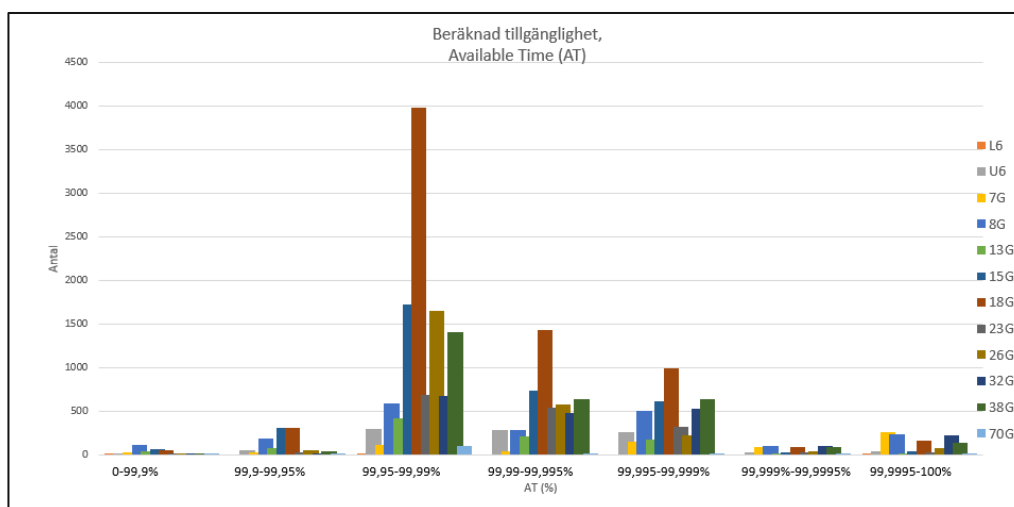
För användning av 26 GHz-band och högre frekvensband finns för närvarande inte krav på minsta sträcklängd.

C.8 Beräknad tillgänglighet för nuvarande radiolänknät

För dåvarande enskilt tillståndsgivna radiolänkar vid slutet av år 2022 har kvalitet och tillgänglighet (vid BER 10^{-6}) beräknats enligt metod beskriven i ITU-R Recommendation P.530. Beräkningen är utförd i radioplaneringsverktyg med hänsyn till terrängdata och regnintensitet vid 30 mm/h. I beräkningen ingår inte försämring av prestanda p.g.a. eventuellt tillkommande interferens och därmed minskad fädningsmarginal.

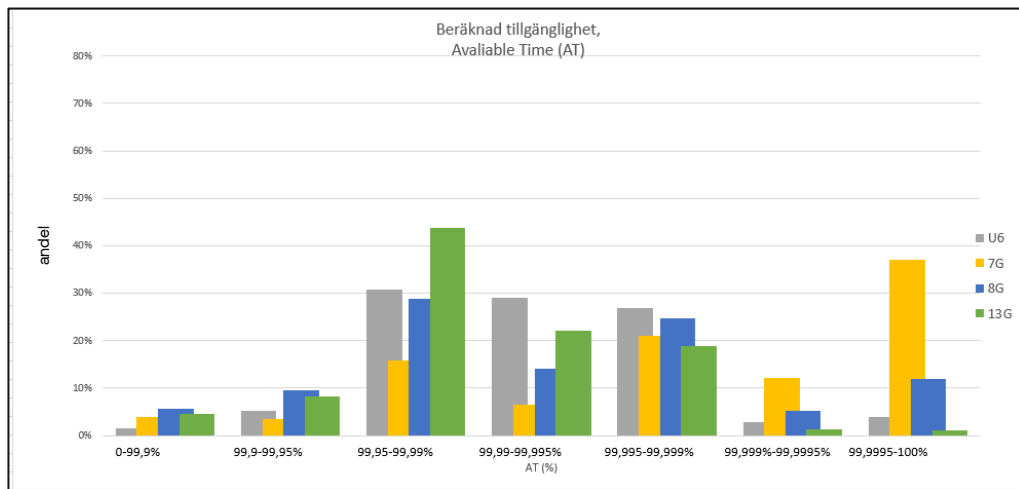
En tillståndshavare av fast radio kan vid sin planering normalt använda ett generellt planeringskrav att en radiolänksträcka ska ha en tillgänglighet högre än 99,995% med avseende på vågutbredning.

Beräknad tillgänglighet för alla sträckor i frekvensband mellan 6 GHz och 80 GHz med respektive referensmodulation visas i Figur 27 nedan. I beräkningen ingår inte någon frekvens- eller rymtdiversitetsförbättring.



Figur 27: Beräknad tillgänglighet 6–80 GHz (antal fast radio, 2TX/fast radio) år 2022.

Procentuell fördelning i frekvensområde 6–13 GHz visas i Figur 28 nedan.

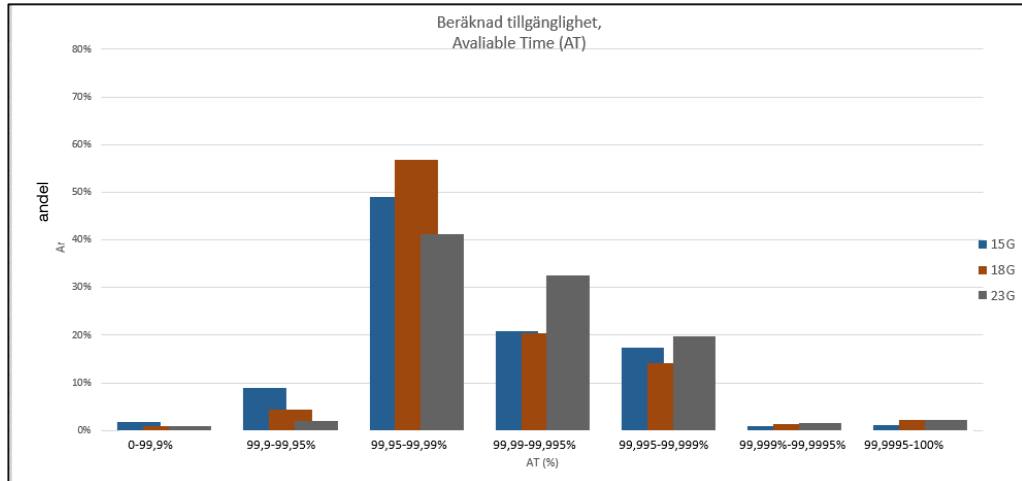


Figur 28: Procentuell fördelning 6–13 GHz.

Frekvensbanden 7 GHz och 8 GHz har en förhållandevis hög andel radiolänkar, cirka 35% för 7 GHz och 10% för 8 GHz, med beräknad tillgänglighet som är högre än 99,9995%. Dessa radiolänkars sändartillstånd är generellt beviljade för en smal kanalbandbredd och med lågt modulationsindex. Det är emellertid vanligt förekommande att såväl ATPC (Automatic Transmitter Power Control) som ACM (Adaptive Coding and Modulation) används under normal drift.

En del sträckor, framförallt i 6 GHz-bandet, använder rymddiversitet och har därmed sannolikt en högre tillgänglighet än vad som visas ovan.

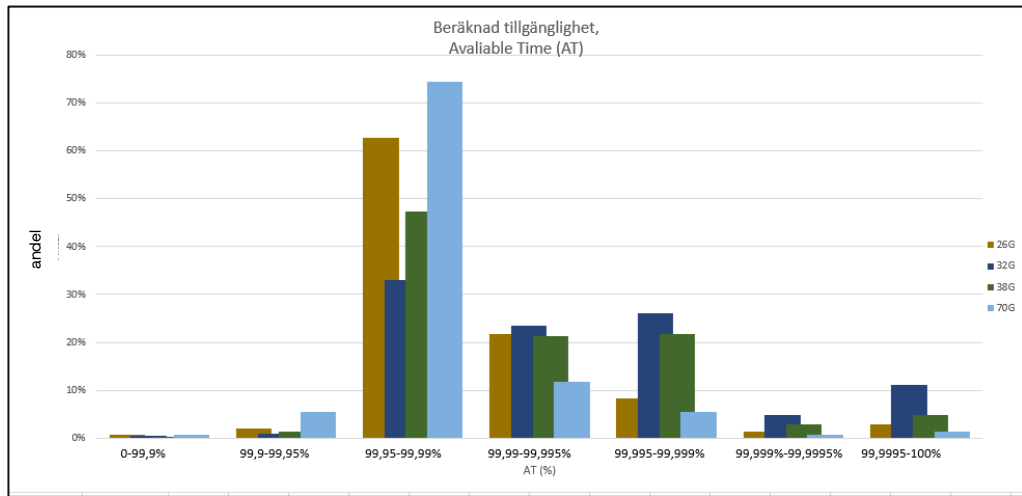
Procentuell fördelning i frekvensområde 15–23 GHz visas i Figur 29.



Figur 29: Procentuell fördelning 15–23 GHz

Radiolänkarnas tillgänglighet med avseende på vågutbredning kan i praktiken vara högre än vad som visas i ovanstående figur 30. Det kan bero på en lägre verklig regnintensitet, till exempel 22 mm/h istället för 30 mm/h, och användning av ACM (Adaptiv Coding and Modulation) som medger högre tillgänglighet för den mest prioriterade trafiken.

Procentuell fördelning i frekvensområde 26–70/80 GHz visas i Figur 30 nedan.



Figur 30: Procentuell fördelning 26–70/80 GHz.

Även i de högre frekvensbanden är verklig tillgänglighet troligtvis högre än vad som visas i ovanstående figur. Dels kan det bero på en lägre regnintensitet i verkligheten samt hög användning av ACM (Adaptiv Coding and Modulation).

C.9 Slutsatser om beräknad tillgänglighet

Den av PTS beräknade tillgänglighet för det svenska fasta radiolänknätet visar att nätet generellt är väl planerat med hänsyn till referensmodulation.

Det finns ett antal sträckor i 7 GHz- och 8 GHz banden som enligt beviljade tillståndsp parametrar med låg modulationsgrad har en hög beräknad tillgänglighet. Den faktiska tillgängligheten under drift kan dock vara lägre om en högre referensmodulation används.

Bilaga D. Exempel på användning av BCA

I följande avsnitt ges exempel på hur BCA (Band and Carrier Aggregation) kan användas i olika frekvensband och över olika sträcklängder.

BCA är ett radiosystem som kombinerar ett högt och ett lägre frekvensband. Det högre frekvensbandet används för att uppnå hög kapacitet under normala vågutbredningsförhållanden. Det lägre frekvensbandet används, förutom att bidra med kapacitet under normala förhållanden, till att upprätthålla hög tillgänglighet för prioriterad trafik under onormala vågutbredningsförhållanden.

Vid planering av BCA accepteras för det högre frekvensbandet en lägre tillgänglighet vad gäller radiovågutbredning, typiskt 99,9%. Därmed medges längre sträcklängder än vad som annars är möjligt med krav på högre tillgänglighet.

Se ECC report 320 för mer detaljer om BCA.

D.1 Lägre frekvensband

De lägre frekvensbanden, till exempel mellan 6 GHz och 13 GHz, används normalt över längre sträckor där den dominerande orsaken till signalvariation (fädning) av den önskade signalen är p.g.a. flervägsutbredning i atmosfär. I frekvensband över 15 GHz är normalt den dominerande orsaken till fädning orsakad av dämpning på grund av nederbörd (regn).

Ur tillgänglighetssynpunkt kan därför en kombination av lägre frekvensband (6–13 GHz) tillsammans med högre frekvensband (18–23 GHz) vara fördelaktigt då de olika radiolänkförbindelser sannolikt inte är utsatta för onormal vågutbredning vid samma tillfälle.

I de fall det finns behov av att uppgradera kapacitet på befintliga sträckor i de lägre frekvensbanden kan det i en del geografiska områden vara brist på ledigt frekvensutrymme i det frekvensband den befintliga sträckan använder. På samma sträcka kan det samtidigt finnas möjlighet att använda frekvensutrymme i något av de högre frekvensbanden, till exempel 18 GHz- eller 23 GHz-bandet.

En sträcka i något av de lägre frekvensbanden kan typiskt vara planerade för 99,995% tillgänglighet som ett (2+0) radiosystem med 56 MHz kanalbandbredd och användning av adaptiv modulation mellan 128QAM upp till 2048QAM. Överföringskapaciteten kan antas variera mellan cirka 2x300 Mbit/s (två stycken 56MHz/128QAM) upp till 2x500 Mbit/s (två stycken 56 MHz/2048QAM).

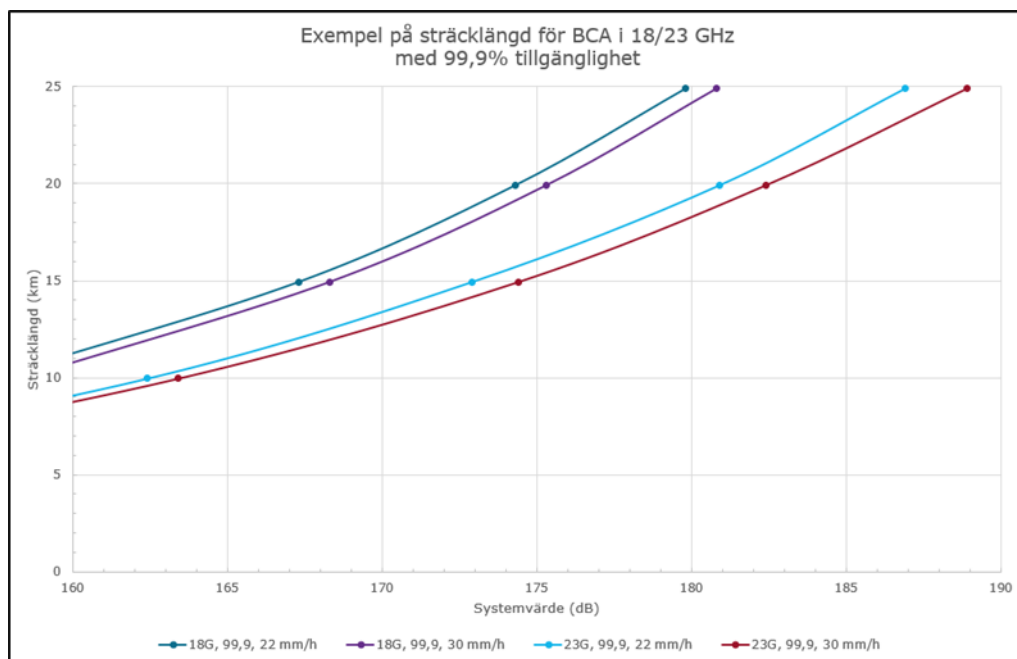
Radioutrustningen i det lägre frekvensbandet kan kombineras med t.ex. en bredbandig 220/224 MHz radiolänk i något av frekvensbanden 18 GHz eller 23 GHz.

Exempel på typiska systemvärden för ett radiosystem i 18 GHz- respektive 23 GHz-bandet ges i nedanstående tabell.

Tabell 7, Systemvärde 18 GHz och 23 GHz

Parameter	18GHz, 16QAM	18GHz, 256QAM	23 GHz, 16QAM	23 GHz, 256QAM
Kanalbandbredd (MHz)	220	220	224	224
Modulation (QAM)	16	256	16	16
Kapacitet (Mbit/s)	700	1500	700	1500
Sändareffekt (dBm)	24	22	23	21
Antennvinst (dBi)	43,5 (0,9m)	43,5 (0,9m)	44,8 (0,9m)	44,8 (0,9m)
Mottagartröskel (dBm)	-74	-62	-74	-62
Systemvärde (dB)	185	171	186,6	172,6

Exempel på maximal sträcklängd för 18 GHz och 23 GHz- banden visas i nedanstående Figur 31 för 22 mm/h respektive 30 mm/h regnintensitet.



Figur 31: Sträcklängd som funktion av systemvärde vid regnintensitet A0.01 = 22 mm/h respektive 30 mm/h med vertikal polarisation, tillgänglighetskrav 99,9% för BER 10⁻⁶.

Maximal sträcklängd kan vara uppemot 25 km för en 18 GHz radiolänk respektive 20 km för en 23 GHz radiolänk med 99,9% tillgänglighet.

D.2 Högre frekvensband

För sträckor som använder t.ex. frekvensband mellan 18 GHz och 32 GHz kan det i en del fall finnas möjlighet att komplettera med radioutrustning i 70/80 GHz-bandet i en BCA-konfiguration.

Traditionella radiolänkar i 18 GHz- och 23 GHz-banden kan typiskt vara planerade för 99,995% tillgänglighet som ett (2+0) system med 112 MHz kanal-bandbredd och användning av adaptiv modulation mellan 128QAM upp till 2048 QAM. Överföringskapaciteten kan därför antas variera mellan cirka 2x600 Mbit/s (två 112MHz/128QAM) upp till 2x1000 Mbit/s (två 112 MHz/2048QAM).

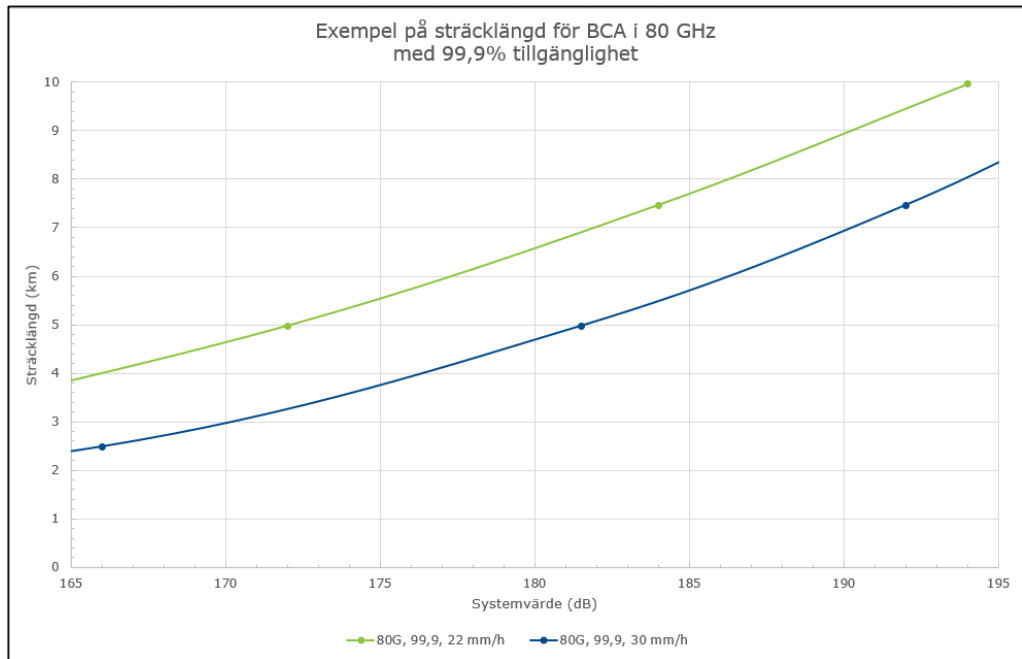
Radioutrustningen i 18 GHz eller 23 GHz-banden kan kombineras med t.ex. en bredbandig 1000 MHz radiolänk i 80 GHz-bandet.

Exempel på typiska systemvärden för ett radiosystem i 80 GHz bandet ges i nedanstående tabell.

Tabell 8, Systemvärde 80 GHz och 23 GHz

Parameter	80 GHz, QPSK	80 GHz QPSK	80 GHz, 64QAM	80 GHz, 64QAM
Kanalbandbredd (MHz)	500	1000	500	1000
Modulation (QAM)	4	4	64	64
Kapacitet (Mbit/s)	800	1600	2400	4800
Sändareffekt (dBm)	18	18	16	16
Antennvinst (dBi)	50,5 (0,6m)	50,5 (0,6m)	50,5 (0,6m)	50,5 (0,6m)
Mottagartröskel (dBm)	-65	-62	-54	-51
Systemvärde (dB)	184	181	171	168

Exempel på maximal sträcklängd i 80 GHz bandet visas i nedanstående Figur 32 för 22 mm/h respektive 30 mm/h regnintensitet.

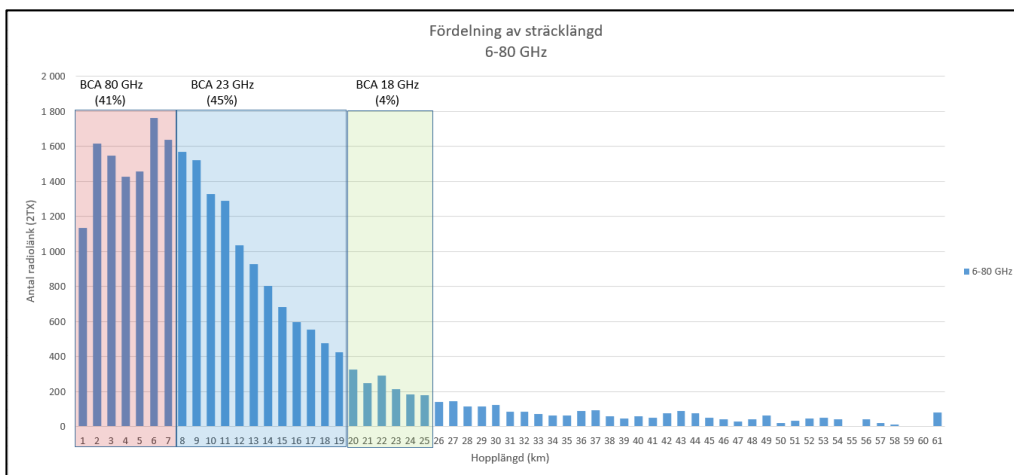


Figur 32: Sträcklängd som funktion av systemvärde vid regnintensitet A0.01 = 22 mm/h respektive 30 mm/h med vertikal polarisation, tillgänglighetskrav 99,9% för BER 10⁻⁶.

Maximal sträcklängd för 80 GHz kan vara uppemot 7,5 km med 99,9% tillgänglighet.

D.3 Uppskattad andel sträckor som kan använda BCA

I Figur 33 nedan visas fördelning av sträcklängd för alla radiolänkar i frekvensband mellan 6 GHz och 80 GHz.



Figur 33: Fördelning av sträcklängd (år 2022) i frekvensband 6–80 GHz. Ljusröd färg avser sträcklängd upp till 7 km där BCA 80 GHz kan användas, ljusblå färg avser sträcklängd upp till 20 km där BCA 23 GHz kan användas och ljusgrön färg avser sträcklängd upp till 25 km där BCA 18 GHz kan användas.

Uppemot 90% av alla befintliga sträckor bedöms kunna använda någon BCA-kombination av hög frekvens tillsammans med låg frekvens, se Tabell 9 nedan.

Tabell 9, Möjlig användning av olika BCA-konfigurationer

BCA, hög frekvens	BCA, låg frekvens	Maximal sträcklängd för hög frekvens (99,9% tillgänglighet)	Möjlig andel av alla befintliga sträckor
80 GHz	18/23 GHz	7 km	41%
23 GHz	6–13 GHz	20 km	45%, 86% med BCA 80 GHz
18 GHz	6–13 GHz	25 km	4%, 90% med BCA 80 GHz och 23 GHz

D.4 Slutsatser om BCA

BCA kan vara en viktig funktion för möjlighet att kunna möta det ökande kapacitetsbehovet inom radiolänk, särskilt i de fall då det är lokal brist på frekvensutrymme i de lägre frekvensbanden.