

Report

Author
AFRY
Phone
+46 10 505 00 28
Mobile
+46 76 105 51 79
E-mail
eskil.bendz@afry.com

2020-04-24

Client
Stockholmshem

Påverkansanalys av flygradiosystemet vid Bromma flygplats

AFRY

Eskil Bendz
Karl-Arne Markström
Jelena Stojadinovic

Sammanfattning

Stockholmshem arbetar med en detaljplan utmed Spångavägen vid Sedumbacken. De planerade byggnadernas läge befinner sig därmed inom Bromma flygplats kontrollzon.

En påverkansanalys har utförts för att fastställa nybyggnationens eventuella påverkan på flygradiosystemet vid Bromma flygplats.

Flyghöjder på ca 100 meters höjd på avstånden 5-6 km från sändarna har undersökts. Båda basstationsplatserna har tagits med i beräkningarna.

De fall som har analyserats bygger på worst-case-antaganden, vilket innebär att eventuella förväntade nedsättningar av prestanda på flygradiosystemet därmed kommer att vara mindre än vad beräkningarna visar.

Oavsett val av beräkningsmodell som använts i analysen så blir den tilläggsdämpning som nybyggnationen kan orsaka lägre än 6 dB och är därmed mindre än den påverkan som terrängen tillsammans med frisiktsutbredning orsakar.

Det finns en spridning kring resultaten från de olika beräkningar, men denna spridning är så liten så att den inte nämnvärt påverkar länkbudgetmarginalen som i beräkningarna uppskattas vara ca 30 dB.

Det finns inte någon ILS-inflygningsriktning vilken passerar över nybyggnationen. Detta ger en ytterligare marginal i systemet.

Sammanfattningsvis så ger denna analys att ingen signifikant påverkan från den nya bebyggelsen på flygradiosystemet vid Bromma flygplats har kunnat konstateras.

Contents

Sammanfattning.....	2
1 Introduktion	4
1.1 Bakgrund	4
1.2 Metod	4
2 Förutsättningar	5
2.1 Planerad bebyggelse.....	5
2.2 Krav från LFV.....	6
3 Redovisning av antaganden	8
3.1 Dimensionerande krav	8
3.2 Analytiska beräkningar av ingångsvärden.....	8
4 Teoretisk bakgrund.....	10
4.1 Radiooptisk vågutbredning	10
4.2 Brytning och diffraktion av radiovågor	10
4.3 Fresnel-zoner	10
4.4 Tilläggsdämpning och inverkan av hinder	11
5 Resultat	12
5.1 Beräkningar med CSIM	12
5.2 Beräkningar med MilMap 2.0	13
5.3 Beräkningar med online Fresnel-zon-kalkylator	15
5.4 Utfall av beräkningarna	16
5.5 Riktningsförhållandet mellan byggnation och landningsbana	16
5.6 Övriga observationer	17
6 Slutsatser.....	18
7 Referenser.....	19
8 Appendix.....	20
8.1 Använda verktyg	20
8.2 Resultat från beräkningar med olika verktygen	22

1 Introduktion

1.1 Bakgrund

Stockholmskem arbetar med en detaljplan för 75 stycken hyreslägenheter i Riksby, närmre bestämt utmed Spångavägen vid Sedumbacken. De planerade byggnadernas läge befinner sig därmed inom Bromma flygplats kontrollzon.

Detaljplanen har varit på samråd där yttrande från både LFV och Swedavia inkommit. Swedavia har utrett risken själva och återkommit med att den nya bebyggelsen inte anses påverka. LFV vill dock att det ska utföras en så kallad påverkansanalys som fastställer eventuell påverkan på flygradiosystemet.

1.2 Metod

Följande metod har använts för att genomföra påverkansanalysen:

- Stockholmskem bistår med övergripande ritningsunderlag i form av plats för byggnader och mått/storlek på huskroppar.
- Kontakt med LFV för information om antennplaceringar, frekvenser, masthöjder, samt diskussioner om generella förutsättningar och krav från LFV för flygradiosystemet.
- Framtagande av lämpliga terrängprofiler.
- Modellering och beräkningar av påverkan på radiotäckning med hjälp av simuleringsverktyg.
- Analys och slutsatser av erhållna resultat från beräkningar.

2 Förutsättningar

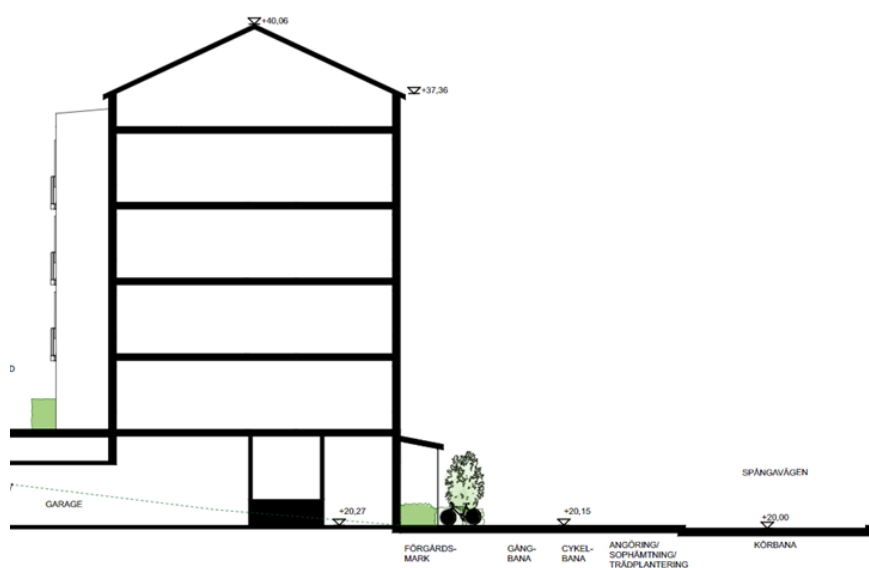
2.1 Planerad bebyggelse

Dokumentationen från Stockholmshem visar att tre intilliggande byggnader ska uppföras enligt Figur 1. Skalan visar att sträckan längs Spångavägen där byggnaderna planeras är ca 150 m.



Figur 1. Situationsplan över de tre byggnaderna längs Spångavägen.

Ett tvärsnitt genom en av byggnaderna visar att en byggnad är ca 20 m hög och att marknivån vid Spångavägen är ca 20 m över havet, Figur 2. Byggnadens totala höjd över havet blir således ca 40 m.



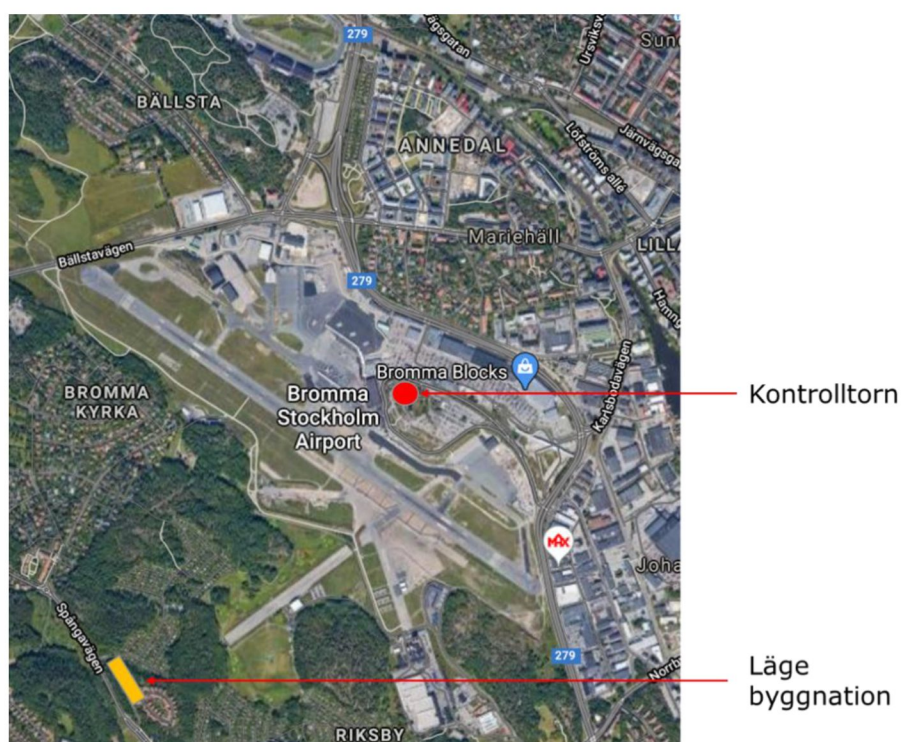
Figur 2. Sektion som visar representativ höjd på byggnad samt höjd över marken.

För beräkningar antas dessa tre byggnader vara ett (1) gemensamt sammanhängande objekt med den totala storleken (längd x bredd x höjd): 150 m x 10 m x 20 m.

2.2 Krav från LFV

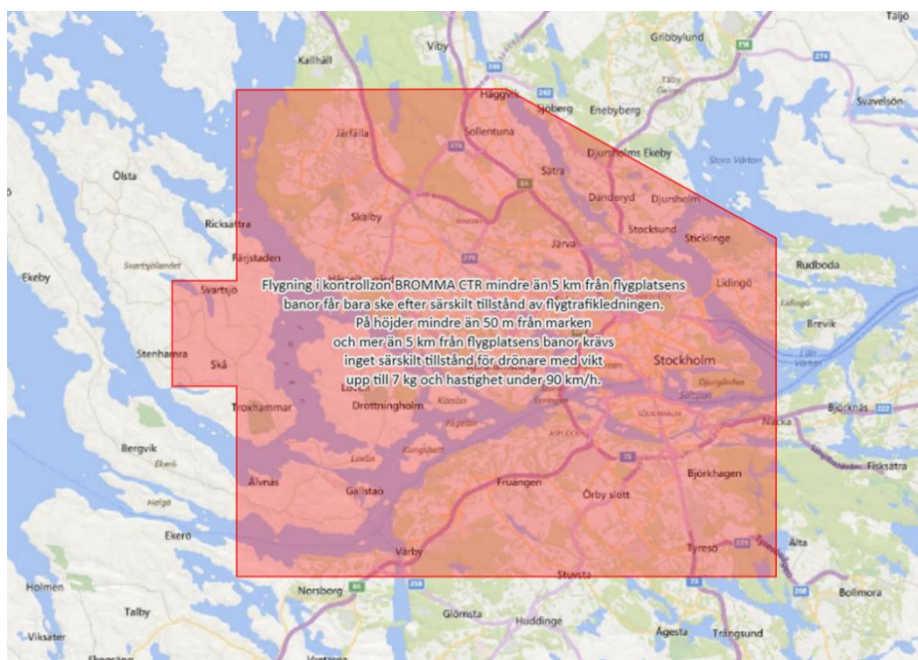
LFV har krav på radiotäckning för flygradiosystemet från dubbla utrustningar, dvs två stycken VHF-stationer, för att ha god redundans.

Figur 3 visar en översiktsbild över Bromma flygplats. Gul rektangel nere i vänstra hörnet visar läget för byggnaderna. Röd prick visar läget för kontrolltornet inne på Bromma flygplats. En VHF-station finns samlokaliserad med kontrolltornet, en andra VHF-station finns norr om flygplatsen.



Figur 3. Översiktsbild av Bromma flygplats och läget för byggnaderna vid Spångavägen.

Krav på radiotäckning gäller i hela kontrollzonen. Detta krav innebär främst att LFV inte vill ha någon, nämnvärd, radioskuggning i detta område.



Figur 4. Kontrollzonen för Bromma flygplats (LFV, 2020).

Främst gäller kravet på överlappande täckning från två VHF-stationer ett par kilometer längs med banriktningen. Dessutom, ju längre från ändarna på landningsbanan desto högre befinner sig flygplanen, vilket innebär minskad risk för skuggning från olika typer av objekt.

LFV önskar en analys som påvisar att skuggningen från de nya fastigheterna vid Spångavägen blir försumbar.

3 Redovisning av antaganden

3.1 Dimensionerande krav

Dimensioneringen av systemet följer de riktlinjer som finns föreskrivna i Luftfartskonventionens Annex 10 "Aeronautical Telecommunications" (ICAO, 1944).

Krav på systemmarginal och minsta signalnivåer enligt "Annex 10" motsvarar en minsta fältstyrka av 75 µV/m vid mottagarantennerna, vilket redan innehåller ett mått av fadingmarginal.

Analyserna baseras på att några typfall. För dessa typfall görs antagandet att mottagaren befinner sig på ett avstånd av ca 5-6 km från Bromma flygplats, vilket ungefär motsvara utkanten av kontrollzonen. Vid detta avstånd är det sannolikt att det är radiobasstationerna på Bromma flygplats som har kommunikationen med flygplanen. Vidare görs analyserna för mottagare som befinner sig på höjder kring 100 m och 200 m. Dessa höjder ligger under ILS-glidbanan, så det är en form av worst case med marginal till eventuella flygplan som hamnat under glidbanan.

3.2 Analytiska beräkningar av ingångsvärden

Analytiska uttryck för beräkningar av signalstyrka kan användas som ingångsvärden för att i ett senare skede påvisa hur signalstyrkan kan komma att påverkas av byggnationen vid Spångavägen.

För analytiska beräkningar används Egli-modellen (Egli, 1957) för terrester utbredning, enligt ekvationen:

$$P_R = G_B G_M \left[\frac{h_B h_M}{d^2} \right]^2 \left[\frac{40}{f} \right]^2 P_T$$

Följande parametrar antas:

- Antenner utan riktverkan ($G_B = G_M = 1$)
- Vald masthöjd: $h_B = 20$ m
- Vald flyghöjd: $h_M = 100$ m
- Avstånd till mottagare: $d = 5$ km = 5 000 m
- Frekvensen $f = 120$ MHz (motsvarande våglängd $\lambda = 2,5$ m)
- Uteffekt P_T av 10 W (motsvarande +40 dBm)

Insatt i ekvationen blir: $P_R/P_T = ((20*100)/(5000)^2)^2 * (40/120)^2$

eller i logaritmiska mått: $P_R - P_T = -92$ dB $\Rightarrow P_R = P_T - 92$ dB = - 52 dBm.

Riktvärde för mottagarfältstyrka är 75 µV/m, motsvarande ett S/N av minst 20 dB refererat till mottagaringången (ICAO Annex 10), vilket då motsvaras av en mottagen signalnivå: $P_R = -82$ dBm.

För en mottagare på 5 km avstånd (enligt ovan) så kan marginalen i länkbudgeten för flygradiosystemet uppskattas till: $-52 - 82 = 30$ dB.

Antag att en byggnad bidrar till en "worst-case" blockering av 10 dB. Om denna nedsättning på 10 dB dras bort från länkbudgeten så återstår fortfarande en marginalen om minst 20 dB.

Motsvarande beräkningar för flyghöjden 200 m ger en beräknad marginal utan eventuella blockering på 36 dB, dvs 6 dB högre marginal.

Med Eglis modell går det inte att modellera strålgången så exakt att det går att ta med finstrukturen hos avståndsberoendet i utbredningsdämpningen, vilka primärt beror på markreflexer, utan påståendena i dessa beräkningar blir medelvärden.

Slutsatsen av dessa inledande analytiska beräkningar baserade på Egli-modellen är att en generellt god marginal i länkbudget finns för mottagare på höjder och avstånd som anses normala för flygradiosystemet.

Storleken på påverkan av marginalen i länkbudgeten från objekt, i form av t.ex. byggnader och terräng, bör ej vara så stor att den nämnvärt påverkar prestanda. En nedsättning på 5-10 dB i en viss riktning från landningsbanan kan sannolikt tolereras.

4 Teoretisk bakgrund

4.1 Radiooptisk vågutbredning

Radiovågor i frekvensområdet ca 120 MHz utbreder sig i allt väsentligt som ljuset.

Hinder i deras väg leder till att radiovågorna dämpas och i svåra fall blockeras.

På stora avstånd mellan sändare och mottagare kommer jordytans krökning att vara det främsta hindret för vågutbredningen, men brytningsfenomen i atmosfären precis över jordytan gör att den effektiva jordradien sätts till $4/3$ av den geometriska jordradien.

Jordytans krökning kan dock försummas för de korta förbindelseavstånd som förekommer här och av denna anledning behandlas geometrin här som om att jordytan vore platt.

4.2 Brytning och diffraktion av radiovågor

När hindren i en radiovågs väg är måttligt stora och dessutom skarpkantade uppstår diffraktion och brytning runt hindren.

Av denna anledning blockeras inte radiovågorna fullständigt trots solida hinder i dess utbredningsväg.

Exempel på hinder kan vara byggnader.

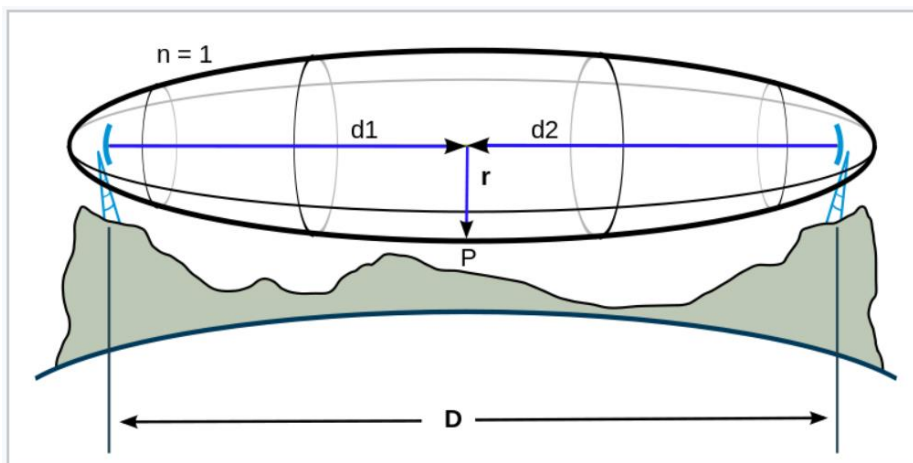
4.3 Fresnel-zoner

Begreppet Fresnel-zoner ger en analytisk möjlighet att uppskatta påverkan från hinder i strålgången.

Beräkningar av Fresnel-zoner görs för att bestämma storleken på det område kring den rätta linjen mellan en sändare och en mottagare som måste vara helt fritt från objekt för att över huvud taget inte alls påverka radiosignalerna. Varje objekt som på något sätt kommer in i Fresnel-zonen kommer att medföra viss dämpning av radiosignalen.

Fresnel-zonen utgör ett ellipsoidiskt område med en radie där det finns en gångvägsskillnad mellan en direkt och reflekterad våg som är ett heltal gånger en halv våglängd.

Figur 5 visar en illustration av Fresnel-zonens geometri (Wikipedia, 2020).



Figur 5. Illustration av Fresnel-zonens geometri (Wikipedia, 2020).

Radien för Fresnel-zonen av första ordningen blir:

$$F_1 [\text{m}] = 8.656 \sqrt{\frac{D[\text{km}]}{f[\text{GHz}]}}$$

För de fall som undersöks här sätts $f = 0,12$ GHz och $D = 5$ km, vilket ger att radien på Fresnel-zonen blir ca 56 m.

4.4 Tilläggsdämpning och inverkan av hinder

Hinder som sträcker sig in i Fresnel-zonen medför en spridning och dämpning av radiovågorna.

Fri sikt innebär att hela första Fresnel-zonen skall vara fri från avskärmande föremål. När man bygger radiolänkar räcker det alltså inte att sätta antennerna så högt att man ser från ena antennen till den andra. Antennerna måste sitta så högt att hela första Fresnel-zonen går fri över marken. Om antennerna sitter så att det precis är fri sikt mellan antennerna kommer bara strålar i halva Fresnel-zon att komma fram. Halva antalet strålar innebär halva mottagna signalspänningen, dvs 6 dB lägre signal än om hela första Fresnel-zonen är fri (Wallander, 1998).

På relativt låga frekvenser, runt ca 120 MHz, behöver ett solitt objekt blockera minst 50% av arean av Fresnel-zonen för att få påtaglig inverkan. Påtaglig inverkan innebär i detta fall ca 6 dB.

Egli-modellen för vågutbredning innehåller en första ordningens approximation för sådan tilläggsdämpning (Egli, 1957). Den tilläggsterm på c:a 6 dB som uppträder i denna approximation svarar grovt mot en blockering av Fresnel-zonen av 50%.

Sett i relation till de marginaler som redan finns redovisade i avsnitt 3.2 så är en sådan påverkan underordnad.

I följande delar av analysen gäller det alltså att bestämma hur mycket nybyggnationen påverkar Fresnel-zonen och därmed tilläggsdämpningen.

5 Resultat

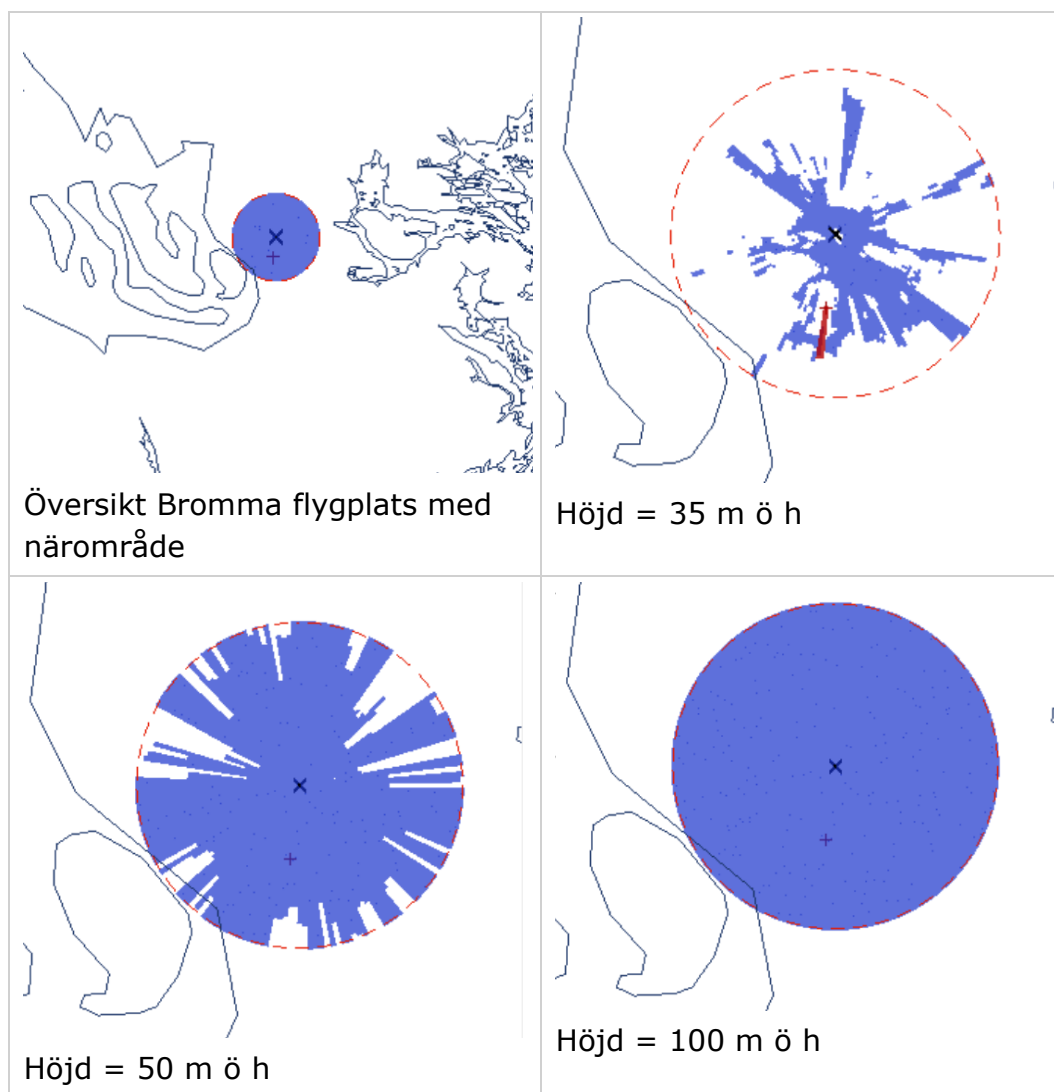
Olika simuleringsverktyg har använts för att modellera och beräkna påverkan på flygradiotäckning. Respektive simuleringsverktyg beskrivs mer detaljerat i Appendix.

Huvudresultaten från de olika beräkningarna redovisas i detta avsnitt. Ytterligare beräkningar återfinns i Appendix.

5.1 Beräkningar med CSIM

Med CSIM kan täckningskartor beräknas för olika fall där mottagaren befinner sig på ett visst avstånd, samt en viss höjd över havet.

För beräkningarna i detta avsnitt används indata för antennen norr om Bromma flygplats. Line-of-sight används som beräkningsmetod. Maximalt avstånd till mottagaren är 5000 m. Högst höjd på byggnaderna är enligt avsnitt 2.1 ca 40 meter över havet (m ö h). För beräkningarna används tre olika höjder över havet för mottagaren: 35, 50 resp. 100 m ö h.



Figur 6. Täckningskarta för tre olika fall då en mottagare befinner sig 35 m, 50 m respektive 100 m över havet. Beräknat för line-of-sight.

Figur 6 visar de olika täckningskartorna. Första bilden är en översiktsbild med mottagarens höjd 100 m ö h. Svart kryss visar läge för sändaren. Brunt kors visar läget för byggnaden. Cirkelns radie är 5 000 m. Blå färg visar täckning via line-of-sight.

Andra bilden visar täckning för en mottagare som befinner sig 35 m ö h. Den bruna sektorn nedanför byggnaden (brunt kors) visar då en skuggad sektor bakom byggnaderna. Den skymda sektorns bredd är knappt 4°.

Bilden visar även att det är tydligt att det är mindre bra fri sikt i många olika riktningar på grund av olika terrängprofiler, inte bara i riktningen mot byggnaderna.

Tredje bilden visar täckning för en mottagare som är 50 m ö h. För detta fallet påverkar inte byggnaden den fria sikten från sändaren till en mottagare. Generellt blir det bättre täckning i hela det beräknade området, vilket är rimligt då mottagaren befinner sig högre upp.

Slutligen visar det fjärde bilden att täckning för en mottagare som befinner sig 100 m ö h har fri sikt till sändaren i alla riktningar.

Beräkningarna med denna metod med line-of-sight ger en så kallad värsta fallet-uppskattning. Radiovågor med frekvensen som används för flygradio kommer inte helt att blockeras såsom beräkningarna för line-of-sight visar.

Påverkan från byggnaderna för möjligheten till flygradiokommunikation på höjden 100 meter över havet, får enligt beräkningarna anses vara försumbara.

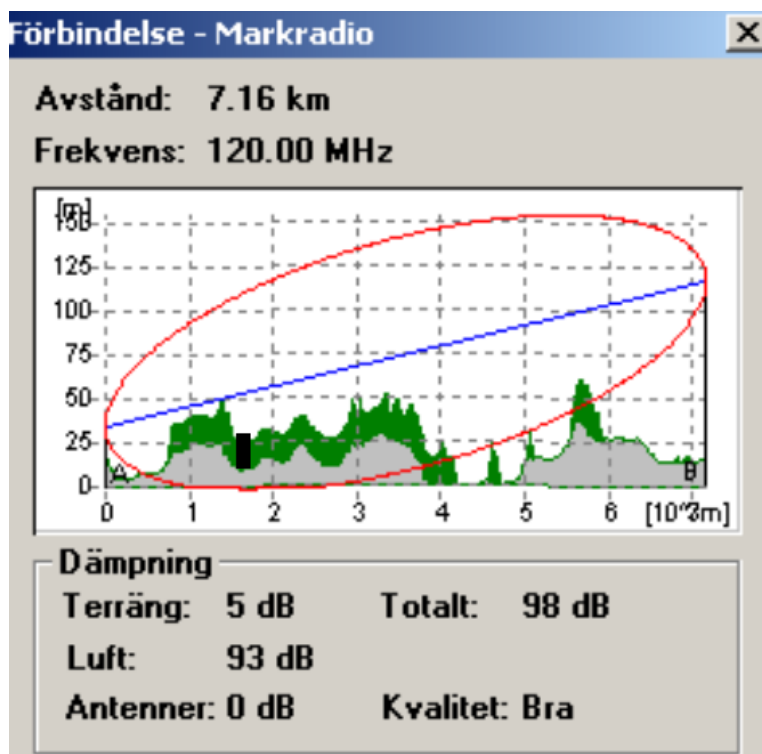
5.2 Beräkningar med MilMap 2.0

Verktöget MilMap används för att beräkna Fresnel-zoner och påverkan från marktopografin och terrängen.

Fresnel-zonen beräknas i en riktning från sändaren som innebär att den tilltänka byggnationen vid Spångavägen och relaterad markprofil inkluderas i beräkningarna.

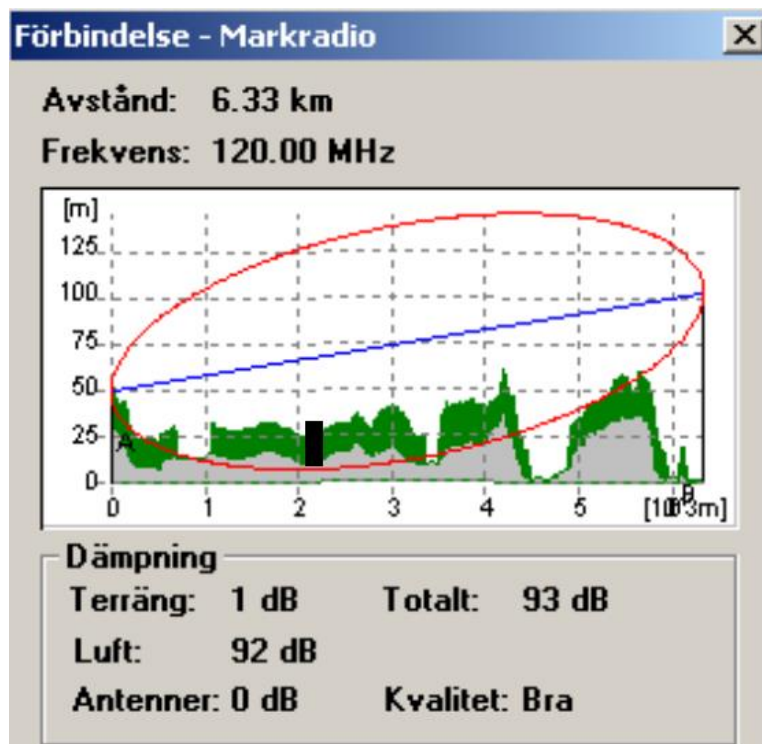
Figur 7 visar Fresnel-zonen för fallet för VHF-sändning mellan kontrolltornet och en mottagare på 6 km avstånd med 100 m flyghöjd. Det kan observeras att byggnaderna (svart rektangel) sticker in i Fresnel-zonen ungefär lika mycket som den omgivande terrängen.

Eftersom byggnaderna är rektangulära så finns det anledning att anta att deras inflytande är ungefär lika stort som inflytandet från terrängen, alltså högst c:a 6 dB, eftersom de inte anses blockera mer än halva Fresnel-zonen.



Figur 7. Beräknad Fresnel-zon för sändare vid kontrolltorn till mottagare ca 100 m ö h vid 6 km avstånd, via byggnationen (svart rektangel vid ca 1,7 km).

På motsvarande sätt visar Figur 8 fallet för en andra VHF-sändare norr om Bromma flygplats till en mottagare på 6 km avstånd med 100 m flyghöjd. Även denna beräkningen visar på en påverkan som är mindre än 6 dB.



Figur 8. Beräknad Fresnel-zon för sändare norra om Bromma till mottagare ca 100 m ö h vid 6 km avstånd, via byggnationen (svart rektangel vid ca 2,2 km).

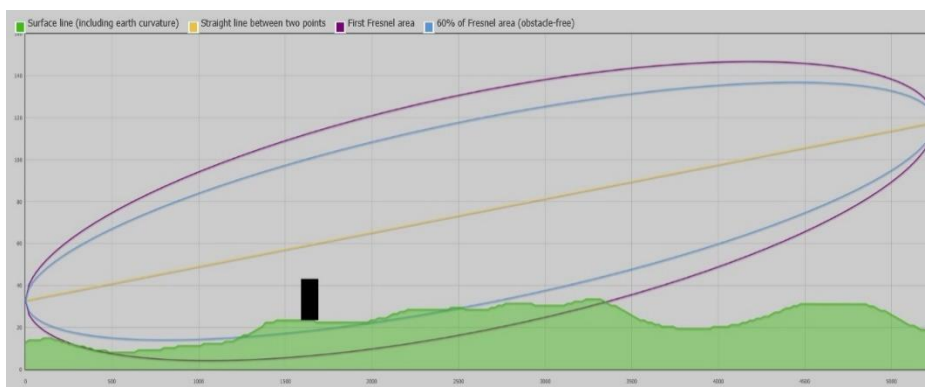
5.3 Beräkningar med online Fresnel-zon-kalkylator

Med en online Fresnel-zon-kalkylator kan Fresnel-zonen mellan antenn A och antenn B beräknas för olika parametrar.

Dessa kompletterande beräkningar med ytterligare ett verktyg görs för att verifiera beräkningarna i avsnitt 5.2. Även för dessa beräkningar väljs riktningen från respektive sändare så att byggnationen ligger tvärs den markprofil som ingår i beräkningarna. Läge och storlek för byggnationen läggs i efterhand in i figurerna som en svart rektangel.

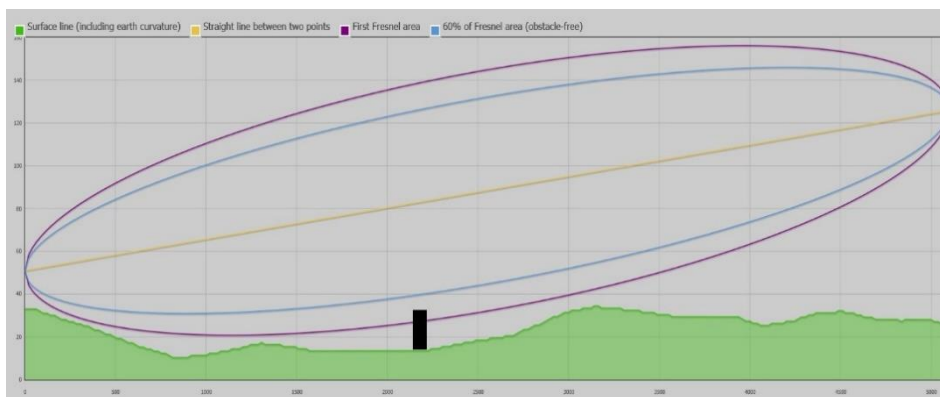
För beräkningarna i Figur 9 används följande indata: antenn på kontrolltornet med 20 m höjd över marken och 5 km avstånd till mottagare med 100 m flyghöjd.

Figur 9 visar Fresnel-zonen mellan kontrolltorn och mottagare.



Figur 9. Beräknad Fresnel-zon för sändare vid kontrolltorn till mottagare ca 100 m över marken vid 5 km avstånd, via byggnationen (svart rektangel vid ca 1,7 km).

Figur 10 visar Fresnel-zonen från sändare norr om Bromma flygplats till mottagare på 5 km avstånd med 100 m flyghöjd.



Figur 10. Beräknad Fresnel-zon för sändare norra om Bromma flygplats till mottagare ca 100 m över marken vid 5 km avstånd, via byggnationen (svart rektangel vid ca 2,2 km).

För inget av de två beräknade fallen blir dämpningen av flygradiosignalen mer än 6 dB.

5.4 Utfall av beräkningarna

Beräkningarna med olika verktyg visar att tilläggsdämpningar av radiovågorna som orsakas av den nya byggnationen vid Spångavägen blir försumbara jämförda med de variationer som orsakas av övrig befintlig terräng.

Oavsett val av beräkningsmodell så blir tilläggsdämpning som byggnaden orsakar lägre än 6 dB och är därmed mindre än den påverkan som terrängen tillsammans med frisiktsutbredning orsakar.

Beräkningarna är hela tiden medelvärden, så det finns en spridning kring olika beräkningar, men denna spridning är så liten så att den inte nämnvärt påverkar länkbudgetmarginalen som är ca 30 dB.

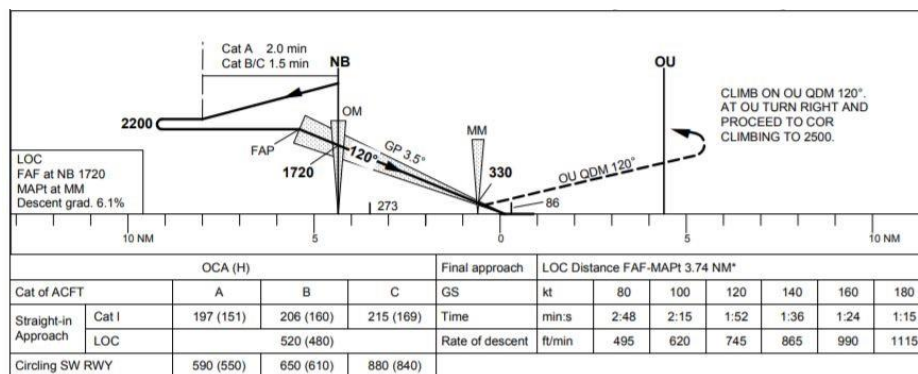
5.5 Riktningsförhållandet mellan byggnation och landningsbana

Viss hänsyn kan även tas till byggnationens läge relativt riktningen på landningsbanan, enligt Figur 3.

Vid en normal ILS-inflygning så används en glidbanevinkel av c:a 3 grader. Vid 5 km avstånd så ska då flyghöjden under normala omständigheter vara ungefär:

$$\sin(\beta) = h_t / d \Rightarrow h_t = 5000 \cdot \sin(3) = 250 \text{ m}$$

Figur 11 visar ett tvärsnitt av inflygningen till bana 12 med användning av ILS.



Figur 11. Illustration av ILS-inflygningsgeometri för Bromma flygplats (LFV, 2020).

Det finns inte någon ILS-inflygningsriktning vilken passerar över nybyggnationen. Det förväntas alltså inte finnas någon flygtrafik på låg höjd vilken passerar direkt över nybyggnationen. Detta ger en ytterligare marginal i systemet.

Detta resonemang kring byggnationens läge relativt riktningen på landningsbanan borde inte nämnvärt påverka några inflygningar.

5.6 Övriga observationer

Beräkningar har gjorts utifrån normala fall för inflygningar.

Specialfallet helikoptrar har inte behandlats särskilt.

Enligt flygplatskartan i Appendix förväntas även helikoptrar använda de ordinarie inflygningsriktningarna, men även om de skulle använda en flyghöjd av mindre än 100 m under någon del av inflygningen blir skuggningseffekterna av bebyggelse ändå försumbara.

Endast om flyghöjderna skulle gå ner till 50 m eller lägre så kan direkta skuggningseffekter observeras.

6 Slutsatser

Ingen signifikant påverkan från den nya bebyggelsen på flygradiotäckningen vid Bromma flygplats har kunnat konstateras.

Flyghöjder på ca 100 meters höjd på avstånden 5-6 km från sändarna har undersökts. Båda basstationsplatserna har tagits med i beräkningarna.

Normalt så befinner sig flygplanen på minst 250 m höjd ca 5 000 m från landningsbanan, vilket då resulterar i ett ännu mer gynnsamt fall för flygradiokommunikationen.

De fall som har analyserats bygger på worst-case-antaganden, vilket innebär att eventuella förväntade nedsättningar av prestanda på flygradiosystemet därmed kommer att vara mindre än vad beräkningarna visar.

Oavsett val av beräkningsmodell som använts i analysen så blir den tilläggsdämpning som nybyggnationen kan orsaka lägre än 6 dB och är därmed mindre än den påverkan som terrängen tillsammans med frisiktsutbredning orsakar.

Det finns en spridning kring resultaten från de olika beräkningar, men denna spridning är så liten så att den inte nämnvärt påverkar länkbudgetmarginalen som i beräkningarna uppskattas vara ca 30 dB.

Det finns inte någon ILS-inflygningsriktning vilken passerar över nybyggnationen. Detta ger en ytterligare marginal i systemet.

Analysen i denna rapport visar att påverkan på kommunikationssystem av nybyggnationen vid Spångavägen sannolikt inte är signifikant.

7 Referenser

- Blomquist, Å., & Ladell, L. (1974). Prediction and calculation of transmission loss in different types of terrain. *NATO-AGARD conf., Publ CP-144, Res. Inst. Nat. Defense Dept. 3*.
- Egli, J. (1957). Radio Propagation above 40 MC over Irregular Terrain. *IEEE Proceedings of IRE 45 (10)*, 1383-1391.
- ICAO. (1944). Annex10 Aeronautical Telecommunications . *International Convention of Civil Aviation*, (ss. Volume III, Part II, 2.2.1.2). Chicago.
- LFV. (den 10 04 2020). *AROWeb - AIS MET och Färdplanering*. Hämtat från <https://www.aro.lfv.se/Editorial/View/IAIP?folderId=56>
- LFV. (den 28 03 2020). *Drönarkartan*. Hämtat från <https://daim.lfv.se/echarts/dronechart/>
- Shenzhen Anshiyuan. (den 31 03 2020). *Online Fresnel Zone Calculator*. Hämtat från <http://www.elongshi.com/calc/>
- Wallander, P. (1998). *Den första boken om DIGITAL RADIO*. Hämtat från http://www.perant.se/pdf/Digital_Radio.pdf
- Wikipedia. (den 14 04 2020). *Fresnel zone*. Hämtat från https://en.wikipedia.org/wiki/Fresnel_zone

8 Appendix

8.1 Använda verktyg

8.1.1 CSim

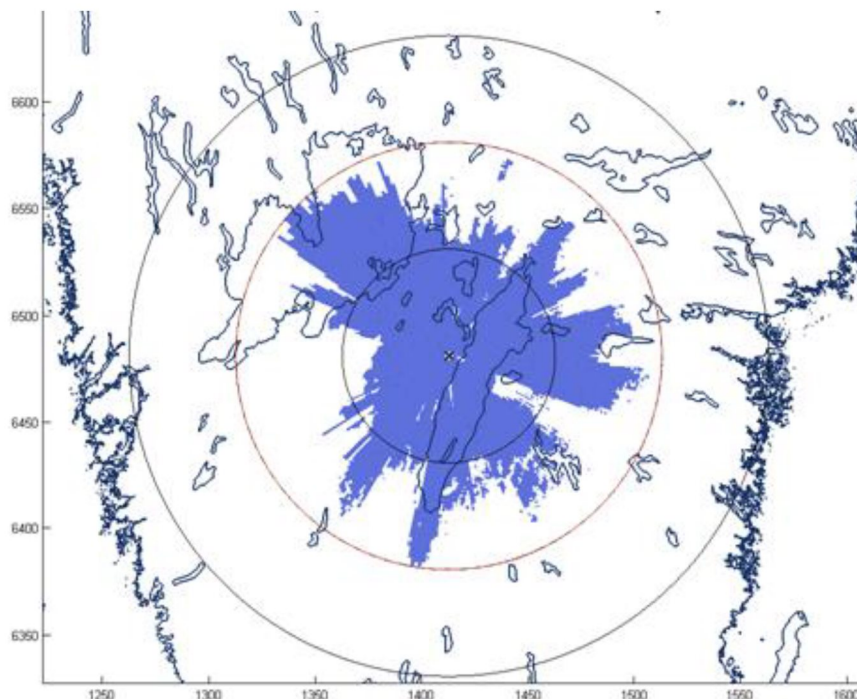
CSim är ett verktyg för att göra räckviddsberäkningar för radio- och radaranläggningar. CSim är utvecklat av AFRY på uppdrag av Försvarets Materielverk (FMV) och är främst framtaget för att beräkna täckningsdiagram. Ett täckningsdiagram visar det område som kan nås av radiosignaler från en viss plats.

För att utföra analyser som beskrivits ovan, så behöver omgivningen vara känd, dvs hur marken ser ut omkring den valda platsen, var det finns höjddata som skymmer och hur hög vegetationen är. Höjddata, det vill säga markens höjd över havet, är en förutsättning för att CSim ska fungera. De höjddata som används tillhandahålls av Lantmäteriet. Rutstorleken är 50 m x 50 m, det vill säga höjdvärden finns lagrade med 50 meters intervall.

CSim använder även information om terrängtypen. Med terrängtyp menas vad marken består av. Man skiljer på exempelvis sjöar/hav, åkermark och olika typer av skog.

Räckviddsberäkningar kan utföras baserat på olika modeller, t.ex. line-of-sight, free space och Egli.

Figur 12 visar ett exempel på täckningskarta baserad på line-of-sight-beräkningar i CSim.



Figur 12. Exempel på en täckningskarta för en fiktiv radarplats väster om Vättern.

8.1.2 MilMap 2.0

MilMap 2.0 är ett tidigt GIS-verktyg, bl.a. avsett för planering av militära radioförbindelser.

Det innehåller Lantmäteriets terrängdatabas med 25 m upplösning.

Även ett verktyg för utvärdering av radioförbindelser finns inkluderat, vilket använder Blomquist-Ladells (Blomquist & Ladell, 1974) utbredningsekvation som ger ett något optimistiskt resultat, p.g.a. sin vegetationsmodell när den används för fall där den ena antennen finns på betydligt större höjd över marken än den andra.

8.1.3 Online Fresnel Zone Calculator

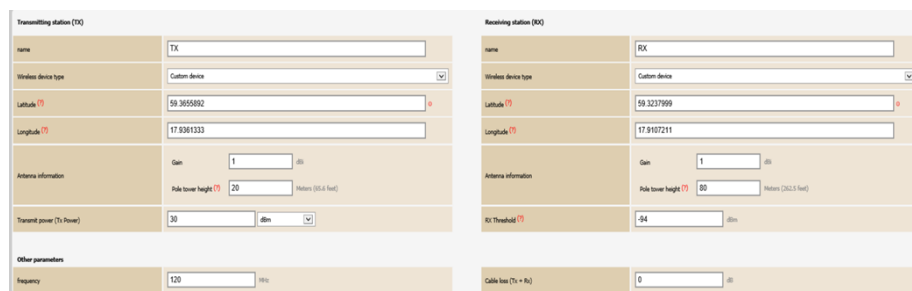
Ett webbaserat verktyg som bygger på terränginformation från Google Maps har använts för beräkningar av strålgången (Shenzhen Anshiyuan, 2020).

Terrängdatabasens upplösning är inte angiven, men kan uppskattas vara med 20 m upplösning, men detta är oklart.

Verktyget är primärt avsett för radiolänkberäkningar och kan beräkna följande:

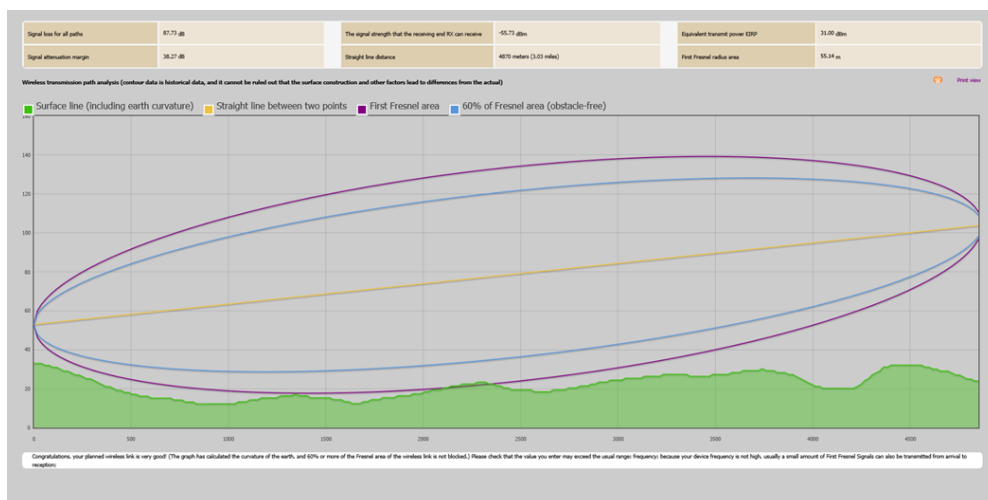
- *Signal loss for all paths*
- *The signal strength that the receiving end RX can receive*
- *Equivalent transmit power EIRP*
- *Signal attenuation margin*
- *Straight line distance*
- *First Fresnel radius area*

Figur 13. visar ett typiskt exempel på indata till beräkningarna.



Figur 13. Exempel på indata till beräkningar.

Figur 14. visar resultaten från en beräkning, dels numeriskt, dels visuellt.



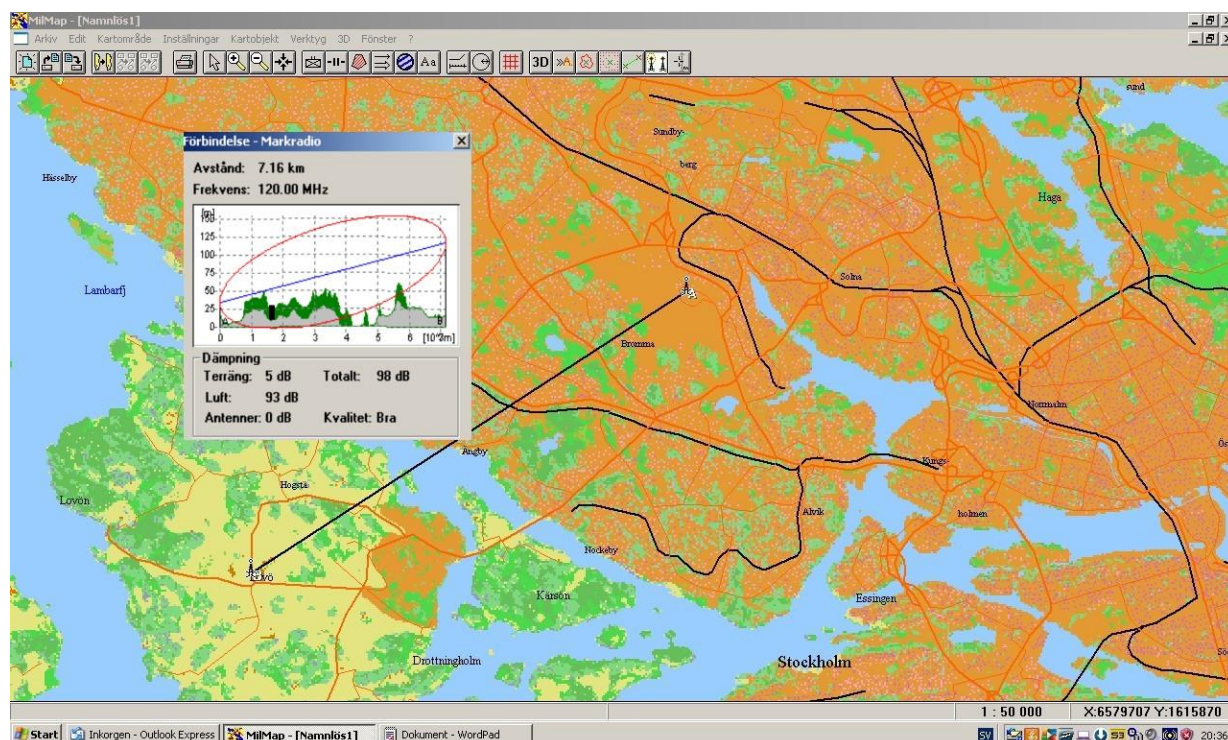
Figur 14. Resultat från en beräkning med Online Fresnel Zone Calculator.

8.2 Resultat från beräkningar med olika verktygen

8.2.1 Beräkningar med MilMap

Beräkningar av Fresnelzoner har även gjorts med MilMap. Figurerna visar terräng, terrängprofil och Fresnelzonen. MilMap använder en databas med 25 m upplösning.

Fresnel-zonerna beräkning från VHF2 kontrolltornet mot Lovön och från VHF-radion norr om Bromma flygplats riktning mot nybebyggelsen.

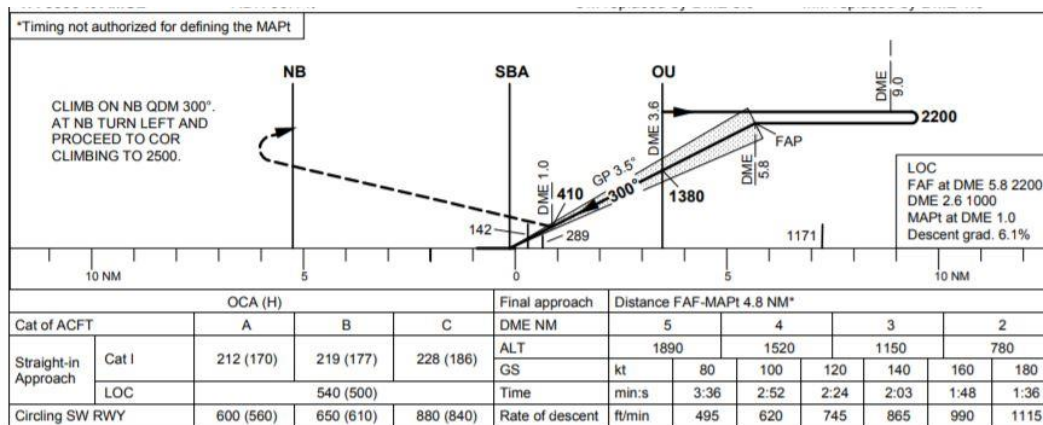


Figur 15. Fresnel-zonen mellan VHF-basstation vid kontrolltornet och Lovön.

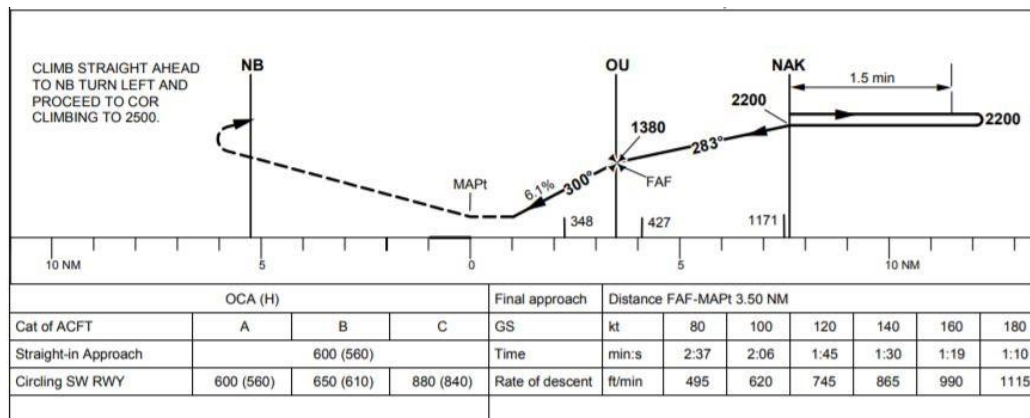
8.2.2 Inflygningskartor för Bromma ESSB

Dessa kartor visar tvärsnitt av inflygningsgeometrierna för två olika fall av instrumentlandning, det ena är det mest förekommande där precisionslandningshjälpmedlet ILS används (Figur 16), och det andra när det sällan användas och mindre noggranna NDB nyttjas (Figur 17).

Geometrierna är i allt väsentligt samma, medan beslutshöjderna för avbrytande av landningsförsök blir olika.

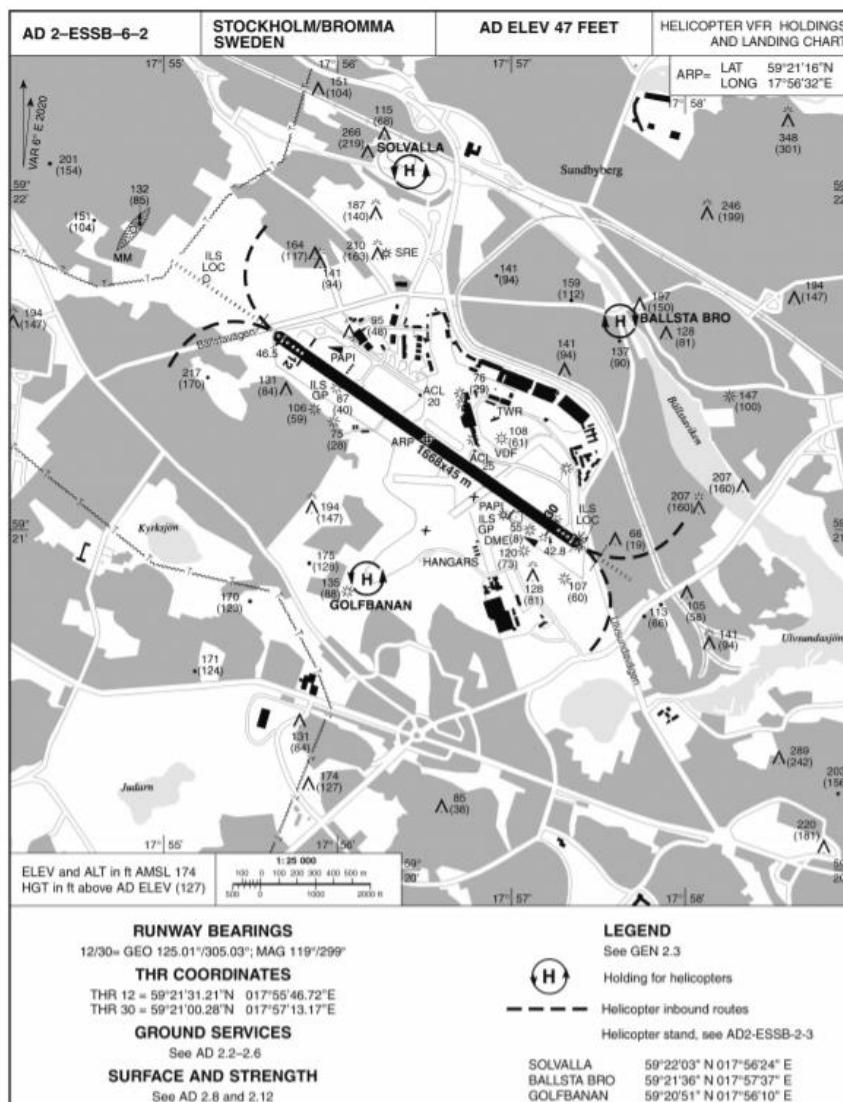


Figur 16. ILS-DME inflygningsgeometri för bana 30 (LFV, 2020)



Figur 17. NDB inflygningsgeometri för bana 30 (LFV, 2020)

Figur 18 är en översiktskarta över Bromma flygplats som även visar inflygningsriktningar för helikoptrar. Figur 18



Figur 18. Översiktskarta över Bromma flygplats som även visar inflygningsriktningar för helikoptrar (LFV, 2020).