

## التوصية ITU-R F.1820

قيم كثافة تدفق القدرة على الحدود الدولية لمحطات المنصات عالية الارتفاع  
التي توفر خدمات النفاذ اللاسلكي الثابتة لحماية الخدمة الثابتة في بلدان الجوار  
في النطاقين GHz 47,5-47,2 و GHz 48,2-47,9

(المسألة 212/9 ITU-R)

(2007)

## مجال التطبيق

توفّر هذه التوصية قيم كثافة تدفق القدرة (pfd) لغرض حماية المحطات التقليدية للخدمة الثابتة في الإدارات المجاورة من التداخل في نفس القناة الصادر عن محطة منصة عالية الارتفاع (HAPS) تعمل في نطاقي الترددات GHz 47,5-47,2 و GHz 48,2-47,9.

## مختصرات

UAC	تغطية منطقة حضرية
SAC	تغطية منطقة الضواحي
RAC	تغطية منطقة ريفية

إن جمعية الاتصالات الراديوية التابعة للاتحاد الدولي للاتصالات،

إذ تضع في اعتبارها

- أ) أن التكنولوجيا الجديدة التي تستعمل محطات المنصات عالية الارتفاع (HAPS) في الستراتوسفير يجري تطويرها؛
- ب) أن المؤتمر العالمي للاتصالات الراديوية (WRC-97) عيّن النطاقين GHz 47,5-47,2 و GHz 48,2-47,9 لاستعمالهما كخدمة ثابتة أولية مشتركة لنشر المحطات (HAPS)؛
- ج) أن التوصية ITU-R F.1500 تتضمن خصائص الأنظمة في الخدمة الثابتة المخططة لاستعمال محطات HAPS في النطاقين GHz 47,5-47,2 و GHz 48,5-48,2؛
- د) أنه لئن كان قرار نشر المحطات HAPS يمكن اتخاذه على أساس وطني، فإن هذا النشر يمكن أن يؤثر على الإدارات المجاورة، وخصوصاً في البلدان الصغيرة،

توصي بأنه

1 لأغراض حماية المحطات التقليدية للخدمة الثابتة في الإدارات المجاورة من التداخل في نفس القناة، بالاستناد إلى المنهجية الموصوفة في الملحق 1 فإن المحطة HAPS العاملة في نطاقي الترددات GHz 47,5-47,2 و GHz 48,2-47,9 ينبغي ألا تتجاوز قيم كثافة القدرة التالية (pfd) عند سطح الأرض خارج حدود إدارة ما، إلا إذا تم الحصول على موافقة صريحة من الإدارة المتأثرة في وقت تبليغ المحطة HAPS:

-141	dB(W/(m <sup>2</sup> · MHz))	for	0° ≤ θ ≤ 3°
-141 + 2,0(θ - 3)	dB(W/(m <sup>2</sup> · MHz))	for	3° < θ ≤ 13°
-121	dB(W/(m <sup>2</sup> · MHz))	for	13° < θ ≤ 90°

حيث θ هو زاوية الوصول فوق المستوي الأفقي للأرض.

## الملحق 1

منهجية لتحديد قيم كثافة تدفق القدرة عند الحدود الدولية لمحطات المنصات عالية الارتفاع التي توفر خدمات النفاذ اللاسلكي الثابتة لحماية الخدمة الثابتة في بلدان مجاورة في النطاقين GHz 47,5-47,2 و GHz 48,2-47,9

### 1 مقدمة

يصف هذا الملحق منهجية لوضع قيم كثافة تدفق القدرة عند الحدود الدولية لمحطات HAPS التي توفر خدمات النفاذ اللاسلكي الثابت لحماية المحطات التقليدية للخدمة الثابتة في بلدان مجاورة في النطاقين GHz 47,5-47,2 و GHz 48,2-47,9، وكذلك حدود كثافة تدفق القدرة عند الحدود الدولية لمحطات HAPS، بالاستناد إلى خصائص محطات HAPS الواردة في التوصية ITU-R F.1500.

### 2 خصائص النظام

#### 1.2 نظام المنصة عالية الارتفاع

ترد المعلومات المستخدمة في هذا التحليل في التوصية ITU-R F.1500 وهي كما يلي:

#### الجدول 1

##### مناطق تغطية محطات HAPS

المدى الأرضي (المنصة على ارتفاع 21 km) (km)	زوايا الارتفاع (بالدرجات)	منطقة التغطية
36-0	30-90	تغطية منطقة حضرية
76,5-36	15-30	تغطية منطقة الضواحي
203-76,5	5-15	تغطية منطقة ريفية

#### الجدول 2

##### معلومات مرسلات محطات المنصات

كسب الهوائي ( <sup>(1)</sup> dBi)	قدرة المرسل (dBW)	الاتصال بـ
30	1,3	تغطية منطقة حضرية
30	1,3	تغطية منطقة الضواحي
38	3,5	تغطية منطقة ريفية
35	0	بوابة تغطية منطقة حضرية
38	9,7	بوابة تغطية منطقة الضواحي

(1) أقصى كسب للهوائي.

## 2.2 مخططات إشعاع الهوائي

تتطابق مخططات إشعاع الهوائي بالنسبة لهوائيات المنصبة مع التوصية ITU-R S.672.

## 3.2 التوهين في الغلاف الجوي

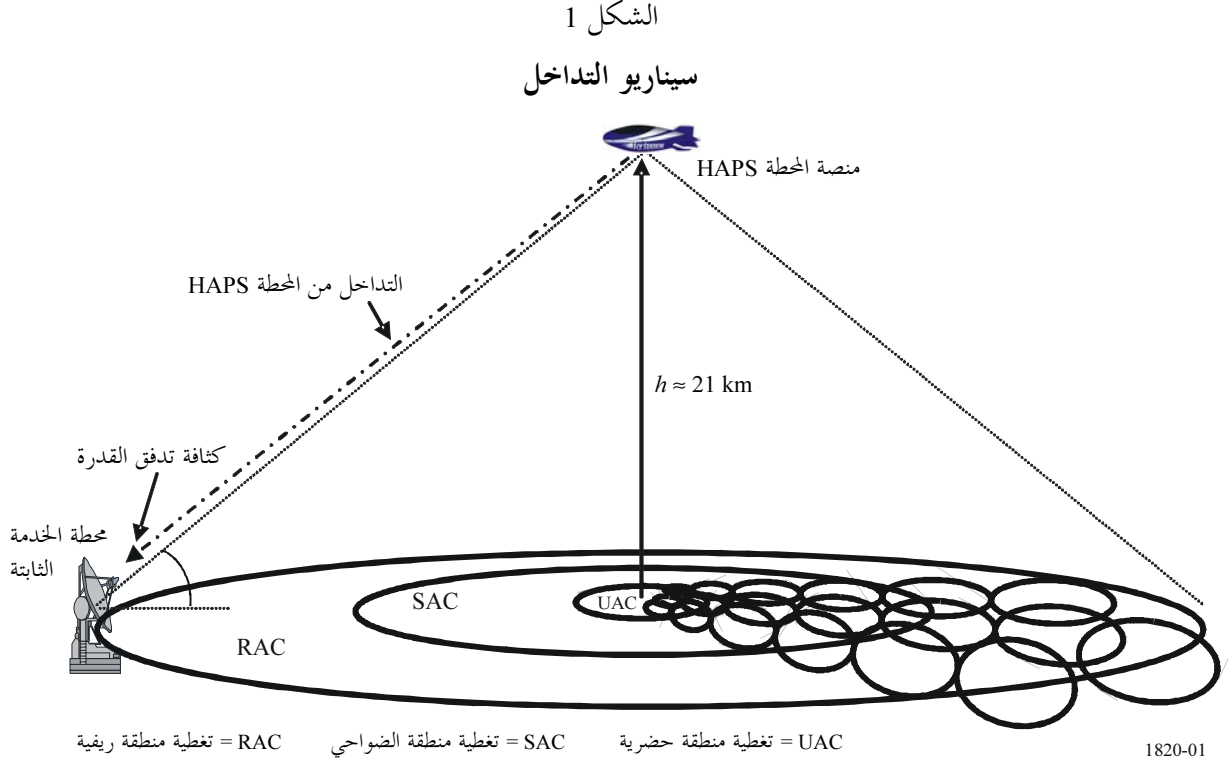
يتم الحصول على صيغ التوهين في الغلاف الجوي من التوصية ITU-R F.1501. وبالنسبة لتحليل التداخل، فإن الصيغة الدنيا لتخفيف التوهين هي فقط ذات الأهمية، ومن هنا تُختار الصيغة للمناطق العالية الارتفاع عند 47,2 GHz لتوفير تحليل أسوأ حالة.

$$(1) \quad A_H(h, \theta) = 46,70/[1 + 0,6872 \theta + 0,03637 \theta^2 - 0,001105 \theta^3 + 0,8087 \times 10^{-5} \theta^4 + h(0,2472 + 0,1819 \theta) + h^2(0,04858 + 0,03221 \theta)]$$

الصيغة صحيحة بالنسبة لـ  $0 \leq h \leq 3 \text{ km}$  و  $0 \leq \theta \leq 90^\circ$ ، حيث  $\theta$  (بالدرجات) هي زاوية ارتفاع المحطة الأرضية فيما يتعلق بمنصة المحطة HAPS، و  $h$  (km) هو ارتفاع المحطة الأرضية فوق مستوى سطح البحر. وبالنسبة لزاوية الارتفاع الفعلية دون  $0^\circ$  ينبغي استعمال التوهين الخاص بـ  $0^\circ$ .

## 4.2 سيناريو التداخل

إن سيناريو التداخل مفترض على النحو المبين في الشكل 1. وفي هذا السيناريو، فإن محطة الخدمة الثابتة لإدارة مجاورة لتلك الخدمات تستقبل إشارة التداخل التي تبثها محطة HAPS تقع إما عند حافة منطقة تغطية المحطة HAPS أو فيما وراء هذه الحافة. وتُحسب إشارة التداخل المجمعة من المحطة HAPS من جميع المرسلات على متن المحطة HAPS من أجل توفير حد كثافة تدفق القدرة.



وتصف المختصرات UAC و SAC و RAC على التوالي تغطية منطقة حضرية ومنطقة الضواحي ومنطقة ريفية من قِبَل المحطات HAPS.

ويمكن حساب كثافة تدفق القدرة المستقبلية المتوقعة في مستقبل الحطة الأرضية بالمعادلة (2) على النحو المستعمل في التوصية ITU-R SF.1481-1:

$$(2) \quad fdr = P + Gt - Ltf - La - Lp - 10 \log B - 10 \log (4\pi d^2) - 60 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{MHz))}$$

حيث:

$fdr$ : كثافة تدفق القدرة للموجة الحاملة المستقبلية المتوقعة ((dB(W/(m<sup>2</sup> · MHz)))

$P$ : قدرة ناتج الإرسال (dBW)

$B$ : عرض نطاق ناتج الإرسال (dBMHz)

$Gt$ : كسب هوائي الإرسال (dBi)

$Ltf$ : خسارة مغذي الهوائي (dB)

$Gr$ : كسب هوائي الاستقبال (dBi)

$La$ : الامتصاص في الغلاف الجوي لزاوية ارتفاع معينة (dB)

$Lp$ : التوهين بسبب آثار انتشار أخرى (dB)

$\lambda$ : طول الموجة (m)

$d$ : المسافة بين المحطة HAPS والمستقبل الأرضي (km)

يمكن استنتاج مستوى كثافة تدفق القدرة المسموح به لمحطة الخدمة الثابتة من الخصائص النمطية لمحطة خدمة ثابتة على النحو المبين في الجدول 3 (الجدول 27، التوصية ITU-R F.758-4):

### الجدول 3

#### معلومات مستقبل الخدمة الثابتة

46	أقصى كسب للهوائي (dBi)
0,9	قطر الهوائي (m)
5	عامل ضوضاء المستقبل (dB)
QAM 256	التشكيل
50,2-47,2	نطاق التردد (GHz)
50	عرض نطاق التردد المتوسط للمستقبل (MHz)
132-	التداخل الاسمي طويل الأمد (dBW)
149-	معييار التداخل (dB(W/MHz))

ويعكس معيار التداخل الوارد في الجدول 3 بصفة أساسية المعيار ناقص 10 dB للضوضاء الحرارية للمستقبل الذي يضمن ألا يتجاوز الانحطاط في نسبة الإشارة المستقبلية إلى الضوضاء الوحدة 0,4 dB. ولأغراض تقدير حد كثافة تدفق القدرة، ينبغي حساب الفتحة الفعلية لهوائي مثالي له كسب الهوائي ذاته. وتُستعمل الصيغة الخاصة بهوائي مثالي:

$$(3) \quad D_{\text{effective}} = \frac{\lambda}{\pi} \cdot 10^{0,05 \cdot G_{FS}}$$

حيث  $D$  قطر الفتحة الفعلية للهوائي المثالي، و  $G_{FS}$  أقصى كسب هوائي فعلي و  $\lambda$  طول موجة التردد الراديوي المرسل. ويمكن تحديد حد كثافة تدفق القدرة لتداخل خط التسديد من منصة محطة HAPS كما يلي:

$$D_{effective} = \frac{\lambda}{\pi} \cdot 10^{0,05 \cdot G_{FS}}$$

$$= (Interference\_criterion) - G_{FS} - 10 \log \left( \frac{\lambda^2}{4\pi} \right)$$

$$(4) \quad = -140,02 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{MHz))}$$

ولحساب مستوى التداخل المجمع من منصة محطة HAPS، ينبغي حساب عامل الصفيقة أولاً من أجل الحصول على الكسب الفعلي لهوائي المرسل  $G_t$  في المعادلة (5).

ويُحسب عامل الصفيقة بافتراض أن هوائيات محطات HAPS مرتبة كنظام شبكي سداسي الشكل على سطح يمثل نصف الكرة الأرضية واضعين نصب عينينا أن صفيقة الهوائي لن تغطي نصف الكرة الأرضية بأكمله حتى مع زاوية ارتفاع دنيا تبلغ الصفر، ولذلك فإن هذا الحساب يمثّل الحد الأعلى لحد كثافة تدفق القدرة. ويتمثل افتراض تبسيطي آخر في الاستعاضة عن جميع الهوائيات الأخرى التي تغطي منطقة ريفية بهوائيات تغطية منطقة الضواحي ذات كسب أخفض باستثناء الهوائي الموجّه مباشرة نحو المستقبل الأرضي المعرض للتداخل. ويزيد هذا الافتراض الاقتران المجاور للحزمة في نفس القناة نظراً لأن هوائي الكسب المنخفض الفصوص الجانبية الأعلى. وتُستعمل خطة إعادة استعمال التردد  $7 \times A$  وفقاً للتوصية ITU-R F.1500.

ويبين الشكلان 2 و3 مثالين لحساب عامل صفيقة منصة محطات HAPS. بمعلمات تستند إلى الجدول 3 باستثناء أن كسب الهوائي لدى تغطية منطقة حضرية وكسب الهوائي لدى تغذية منطقة الضواحي مسموح لهما بالاختلاف من الوحدة 10 dB فما دون إلى القيم الواردة في الجدول 3 دون تغيير.

ويتوقف العدد الإجمالي للهوائيات بوضوح على عرض نطاق آحاد الهوائيات؛ وكلما اتسع عرض نطاق الحزمة كلما كان العدد أصغر. ويتضح هذا في الشكل 2. فعدد الهوائيات في الصفيقة يحدّد في الحساب بعرض نطاق آحاد الهوائيات نظراً لأن الحزم منفصلة واحدة عن الأخرى بعرض نطاق يبلغ 3- dB من أجل الحصول على التغطية المتجانسة المثلى. ومن هنا كلما انخفض كسب الهوائي الوحيد كلما أصبح عدد الهوائيات أصغر.

وإذا كان لجميع الهوائيات في الصفيقة الكسب ذاته، عندئذ تقريباً نحصل على المعادلة التالية:

$$Number\_of\_antennas \approx \frac{1 - \sin(\theta_{elevation})}{1 - \cos\left(\frac{\theta_{beamwidth}}{2}\right)}$$

حيث  $\theta_{elevation}$  زاوية الارتفاع الدنيا للصفيقة، و  $\theta_{beamwidth}$  فتحة الحزمة 3-dBi للهوائي الوحيد. ويمكن تبين أنه كلما كان كسب الهوائي الوحيد أعلى كلما كان نصف فتحة الحزمة أصغر، ومن ثم يلزم العدد الأكبر للهوائيات بغية توفير تغطية 3-dBi. وإذا استعملت هوائيات أقل عدداً، فإن الحزم المجاورة ستعترض عندئذ تحت المستوى 3-dBi، وتترتب على ذلك تغطية أسوأ للحافة. وتأتي الأرقام الواردة في الشكل 2 من محاكاة فعلية، ومن ثم فإنها تختلف اختلافاً طفيفاً عن الصيغة الواردة أعلاه.

ويُحسب عامل الصفيقة في الشكل 3 من خلال إضافة جميع المساهمات من بث الفصل الجانبي لهوائيات أخرى بالإضافة إلى مساهمة اتجاه التسديد من الهوائي الموجّه نحو المحطة الأرضية للخدمة الثابتة ثم يقسم ذلك على كسب هوائي التسديد. وباستعمال عامل الصفيقة، يمكن حساب كثافة تدفق القدرة من معادلة الهوائي الوحيد (5) من خلال الاستعاضة عن كسب الهوائي الوحيد بكسب الهوائي المضاعف بعامل الصفيقة.

ونظراً لأن عامل الصفيقة المحسوب يبلغ نحو 1,1، فإن ذلك يعني أن الكسب الفعلي للهوائي الوحيد ينبغي أن يكون قرابة 11 000، أو 40,4 dB.

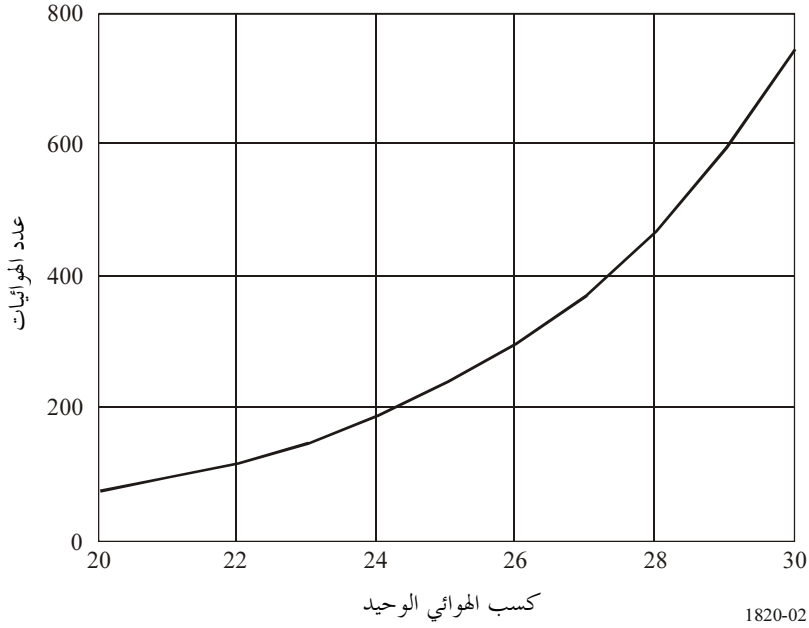
وعلى نحو أكثر تحديداً:

$$(5) \quad Array\_factor = \frac{\sum G_n(\psi_n)}{G_0(0)}$$

حيث  $G_0(0)$  يطابق كسب اتجاه التسديد الهوائي المحطة HAPS الموجهة مباشرة نحو محطة الخدمة الثابتة، وتمتد  $n$  المتبقية على جميع الهوائيات الأخرى في نفس القناة. وكسب الهوائي الخاص بهويات نفس القناة هو كسب الفصوص الجانبية عند الزوايا الملائمة.

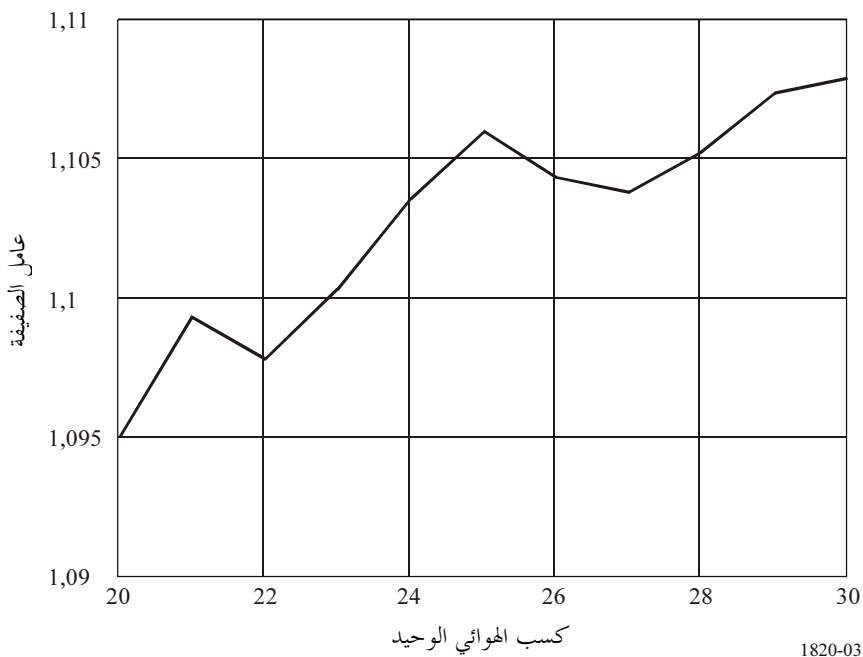
الشكل 2

عدد الهوائيات مقابل كسب الهوائي الوحيد



الشكل 3

عامل الصفيقة مقابل كسب الهوائي الوحيد



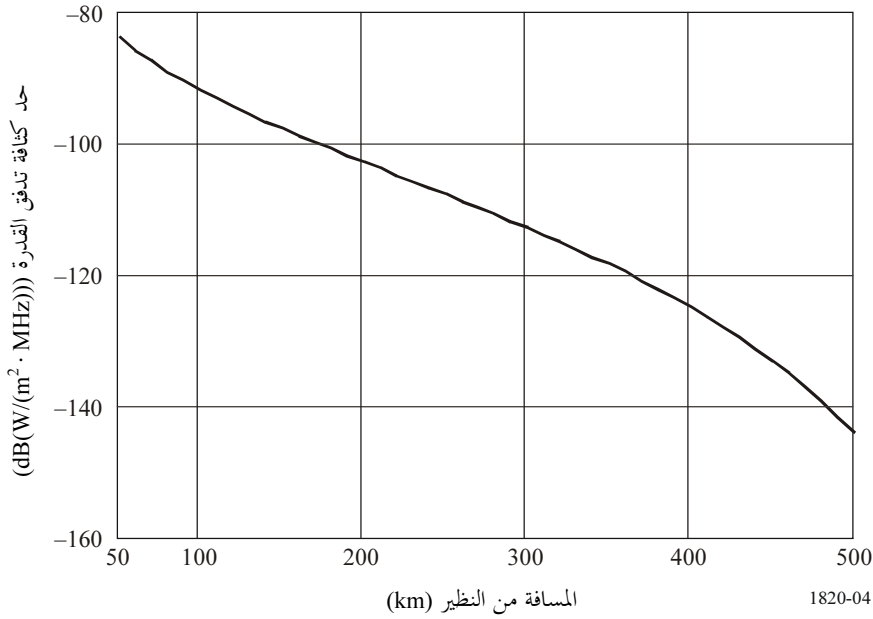
يعكس الشكل 2 حقيقة أنه مع ازدياد كسب هوائيات تغطية المنطقة الحضرية/تغطية منطقة الضواحي، فإن فتحات حزمها تتناقص أيضاً، ومن ثم فإن العدد الإجمالي للحزم يزداد أيضاً بصورة مناظرة مع زيادة ملازمة في قدرة شبكة المنصات.

وفي الشكل 3 فإن عوامل الصفيقة المحسوبة متجمعة كلها حول 1,1، بغض النظر عن كسب الهوائي الوحيد وهذا أمر معقول نظراً لأن ترتيب إعادة استعمال التردد 7:1 لصفيف الهوائي يقلل إلى أدنى حد التداخل في نفس القناة من الهوائيات المجاورة في نفس القناة. ويزيد عامل الصفيقة كسب هوائي الإرسال بما مقداره 0,4 dB في المعادلة (5).

ويبين الشكل 4 حد كثافة تدفق القدرة المحسوب. وهذا الحد مستمد بصفة أساسية من المعادلة (5) عن طريق استبدال كسب الهوائي الوحيد  $G_t$  بكسب هوائي وحيد فعلي على النحو الوارد وصفه في 1. والمسافة بين هوائيات محطات HAPS والمحطة الأرضية للخدمة الثابتة تتحدد من المسافة من النظر بواسطة الهندسة الكروية الملائمة.

#### الشكل 4

##### حد كثافة تدفق القدرة مقابل المسافة من النظر لمنصة المحطة HAPS



وفي الحساب المذكور أعلاه، يُفترض عرض نطاق إرسال يبلغ 11 MHz وخسارة مشتركة للكبل/المغذي تبلغ 5 dB. وتقع كثافة تدفق القدرة المحسوبة في النطاقين 84 dB(W/(m²·MHz)) و-144,2 dB(W/(m²·MHz)) للمسافات التي تتراوح بين 50 km و 500 km من النظر، والرقم الأكبر يطابق مسافة تبلغ 50 km من النظر. وينخفض حد كثافة تدفق القدرة إلى دون حد تداخل كثافة تدفق القدرة للخدمة الثابتة عندما يكون أبعد حد لتغطية المحطة HAPS لمنطقة ريفية أكبر من 470 km. وتنقص كثافة تدفق القدرة نقصاناً حاداً عندما تصبح المسافات أكبر من 200 km مما يعني زيادة سريعة في التوهين في الغلاف الجوي. وتبلغ زاوية الارتفاع التي تطابق مسافة 200 km من النظر نحو 5°. ويستند الحساب الوارد أعلاه إلى افتراض أن المحطة الأرضية للخدمة الثابتة المعرضة للتداخل هي على مستوى سطح البحر. وستتلقى المحطات الأرضية للخدمة الثابتة التي ترتفع عن مستوى سطح البحر مستويات تداخل أعلى بسبب انخفاض التوهين في الغلاف الجوي.

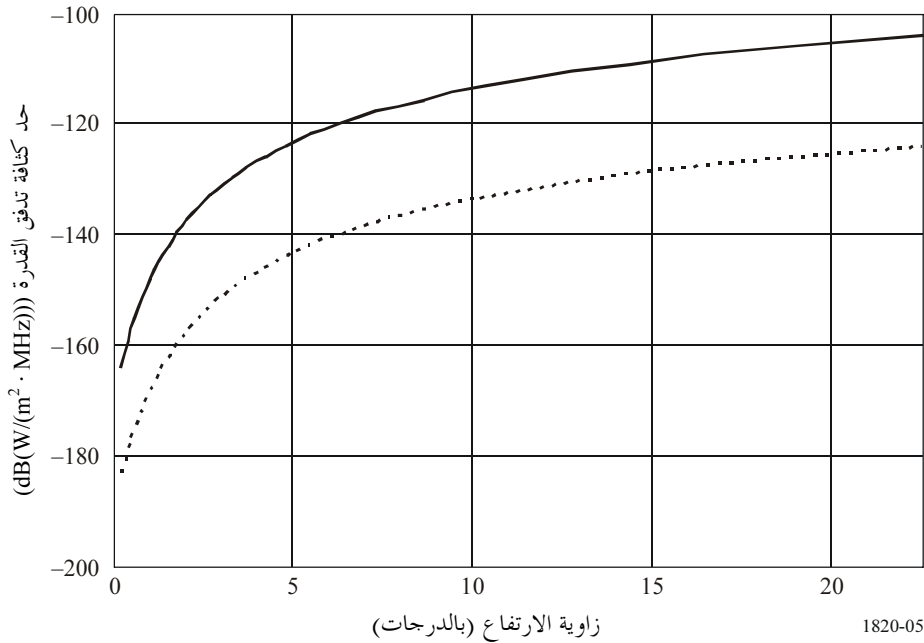
وتتضمن ميزانية وصلة HAPS لتغطية المنطقة الريفية هامشاً لخبو المطر يبلغ 20 dB؛ ومن ثم يغدو من الممكن استعمال التحكم الأوتوماتي في قدرة الوصلة الهابطة من خلال خفض قدرة الإرسال بما مقداره 20 dB في ظروف السماء الصحو من أجل خفض تداخل اتجاه التسديد في محطة الخدمة الثابتة بافتراض أن محطة الخدمة الثابتة موجهة إلى المنصة HAPS. وبإغلاق حزمة تغذية المنطقة الريفية الموجهة مباشرة إلى محطة الخدمة الثابتة، يمكن تحقيق خفض آخر يبلغ 10 dB في مستوى تداخل محور التسديد. ويظل هذا يتطلب أن تكون المسافة من محطة الخدمة الثابتة إلى النظر الخاص بمنصة المحطة HAPS أكبر من 260 km. ويمكن لمحطة الخدمة الثابتة أيضاً أن تخفف التداخل من المحطة HAPS من خلال التوجيه بعيداً عن منصة المحطة

HAPS. ونظراً للصغر البالغ لفتحة حزمة هوائي محطة الخدمة الثابتة ( $< 1^\circ$ )، فإن هذا أمر ممكن التحقيق مع أن المحافظة على محطة المنصة HAPS أيسر بكثير من المحافظة على الساتل المستقر بالنسبة إلى الأرض إذا وُجِّه هوائي الخدمة الثابتة توجيهاً قريباً للغاية من الموقع الاسمي للمحطة HAPS. إلا أن هوائي الخدمة الثابتة يسدّ عادة أفقياً نحو هوائي خدمة ثابتة بعيد آخر، في حين تبلغ زاوية الارتفاع الدنيا لهوائي منصة المحطة HAPS نحو  $4^\circ$ ، ومن ثم فإن الاختلاف في زوايا الارتفاع بين هوائي المحطة HAPS المسببة للتداخل وهوائي الخدمة الثابتة وحده يمكن أن يوفر على الأقل خفضاً قدره 25 dB في الإشارة المسببة للتداخل. كما يساعد التقصي البيئي من قِبَل هوائي الخدمة الثابتة أيضاً في زيادة خفض التداخل المنحرف عن محور التسديد.

ويصف المنحني الكامل غير المتقطع الوارد في الشكل 5 حد كثافة تدفق القدرة المحسوب كدالة لزاوية ارتفاع منصة المحطة HAPS منظوراً إليه من محطة الخدمة الثابتة. ويبين المنحني المنقطع الحد ذاته بعد طرح هامش توهين المطر البالغ 20 dB. ويلاحظ أن حد كثافة تدفق القدرة المحسوب (20 dB) مستوٍ إلى حد ما بالنسبة لزاويا الارتفاع التي تزيد على  $13^\circ$ ، ويهبط على نحو حاد عند زوايا الارتفاع الأدنى من  $3^\circ$ .

الشكل 5

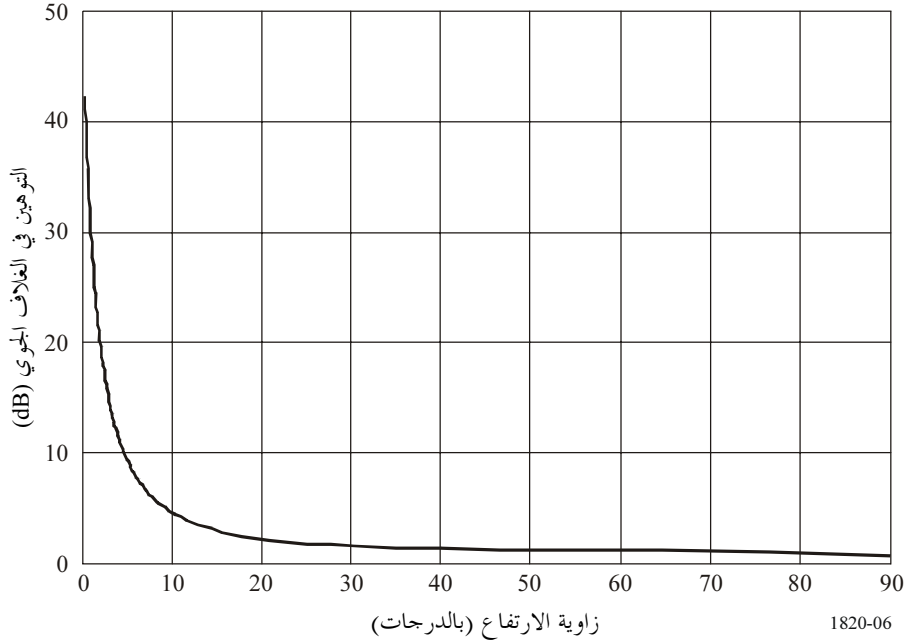
حد كثافة تدفق القدرة مقابل زاوية الارتفاع





## الشكل 6

## التوهين في الغلاف الجوي مقابل زاوية الارتفاع



ويصف الشكل 6 اختلاف توهين الانتشار الأدنى بسبب الغازات في الغلاف الجوي في النطاق GHz 48,2-47,2 كدالة لزاوية ارتفاع منصة المحطة HAPS منظوراً إليها من محطة الخدمة الثابتة، وفقاً للتوصية ITU-R F.1501. ويبين الشكل أن التوهين في الغلاف الجوي يظل صغيراً (0,57 dB عند 90° و 1,9 dB عند 22,5° أو ~ 50 km من النظر)، حتى تهبط زاوية الارتفاع إلى ما دون 13° (التوهين = 3,4 dB، المسافة ~ 90 km من النظر)، وهي نقطة يزداد فيها التوهين زيادة أسية تقريباً ويصل إلى قيمة 42,2 dB عند 0,154° (زهاء مسافة 500 km من النظر). وعند 3° (~ 280 km من النظر)، يبلغ التوهين في الغلاف الجوي 13,9 dB. ويلاحظ أن التوهين في الغلاف الجوي يتناقص بسرعة مع ارتفاع المحطة الأرضية وفي الارتفاع الذي يزيد على 10 km يختلف التوهين في الغلاف الجوي من 0,47 dB إلى 1,22 dB بين 76 km و 200 km (من النظر).

### 3 الحد المقترح لكثافة تدفق القدرة لمحطات HAPS عند الحدود الدولية من أجل حماية الخدمة الثابتة

يُقترح بالاستناد إلى نتائج هذه الدراسة أنه لأغراض حماية المحطات الأرضية للخدمة الثابتة في الإدارات المجاورة من التداخل في نفس القناة، ينبغي ألا تتجاوز المحطة HAPS العاملة في نطاق التردد GHz 47,5-47,2 و GHz 48,2-47,9 كثافة تدفق القدرة التالية في نفس القناة عند سطح الأرض إلا إذا تم الحصول على موافقة صريحة من الإدارة المتأثرة وقت تبليغ المحطة HAPS؛

- 141 dB(W/(m<sup>2</sup> · MHz)) for 0° ≤ θ ≤ 3°
- 141 + 2,0(θ - 3) dB(W/(m<sup>2</sup> · MHz)) for 3° < θ ≤ 13°
- 121 dB(W/(m<sup>2</sup> · MHz)) for 13° < θ ≤ 90°

حيث θ زاوية الوصول فوق المستوي الأفقي للأرض.

وإن الأساس المنطقي لانتقاء زاوية مدى وصول أصغر من 3° هو وجود أرجحية لأن يتلقى هوائي الخدمة الثابتة تداخلاً من محور تسديد منصة HAPS، أو بقرب هذا المحور. ومن ثم فإن الحماية الكاملة لازمة. وبالنسبة لزاوية الوصول التي تبلغ 13° أو أكثر، من غير المرجح إلى حد كبير أن يحدث تداخل من محور التسديد، ومن ثم يُفترض خفض قدره 20 dB لكسب هوائي الخدمة الثابتة من أجل خفض متطلبات حماية كثافة تدفق القدرة من المحطة HAPS.