التوصية ITU-R S.1712

منهجيات تحديد ما إذا كان يمكن لمحطة أرضية في الخدمة الثابتة الساتلية في موقع معين أن ترسل في النطاق GHz 14-13,75 دون أن تتجاوز حدود كثافة تدفق القدرة المذكورة في الرقم 502.5 من لوائح الراديو، ومبادئ توجيهية للتقليل من التجاوزات

(2005)

مجال التطبيق

اعتمد المؤتمر العالمي للاتصالات الراديوية لعام 2003 (WRC-03) القرار 144 لدعوة قطاع الاتصالات الراديوية إلى إعداد توصيات لأساليب تقنية أو تشغيلية من أجل تسهيل التقاسم وإتاحة مزيد من المرونة في نشر المحطات الأرضية الأصغر من m 4,5 في الخدمة الثابتة الساتلية في النطاق GHz 14-13,75، بما يتفق مع الرقم 502.5 من لوائح الراديو، والتي يمكن استعمالها أيضاً لوضع أساس لإبرام اتفاقات ثنائية بين الإدارات.

وتقترح التوصية ثلاثة أساليب لتحديد ما إذا كان يمكن لمحطات أرضية في الخدمة الثابتة الساتلية في موقع معين أن ترسل في النطاق GHz 14-13,75 دون أن تتجاوز حد كثافة تدفق القدرة المنصوص عليه في الرقم 502.5 من لوائح الراديو. وتقدم التوصية أيضاً تدابير إضافية يمكن أن تنظر فيها إدارات البلدان الصغيرة أو الضيقة جغرافياً عند نشر المحطات الأرضية في الخدمة الثابتة الساتلية.

إن جمعية الاتصالات الراديوية للاتحاد الدولي للاتصالات،

إذ تضع في اعتبارها

أ) أن المؤتمر WRC-03 راجع قيود التقاسم في الخدمة الثابتة الساتلية (FSS) (أرض إلى فضاء) في النطاق GHz 14-13,75؛

ب) أن نطاق الخدمة الثابتة الساتلية هذا يتم تقاسمه مع خدمات التحديد الراديوي للموقع والملاحة الراديوية؛

ج) أن شروط التقاسم المراجعة والموافق عليها في المؤتمر WRC-03 تسمح بتشغيل محطات أرضية مستقرة بالنسبة إلى الأرض في الخدمة الثابتة الساتلية في النطاق GHz 14-13,75 بهوائيات يتراوح قطرها بين m 1,2 و m 4,5؛

د) أن الرقم 502.5 من لوائح الراديو يقتضي من الإدارة التي تعتزم تشغيل في بلدها محطة أرضية في الخدمة الثابتة الساتلية بهوائي قطره أقل من m 4,5 وترسل إلى ساتل مستقر بالنسبة إلى الأرض في النطاق GHz 14-13,75 أن تضمن ألا تتجاوز حدود كثافة تدفق القدرة الناتجة عن هذه المحطة الأرضية في أي مكان على حدود بلد مجاور على ارتفاع m 3 فوق الأرض و/أو في أي مكان على حدودها الساحلية (إذا كان لدى البلد ساحل) على ارتفاع m 36 من خط الساحل –115 (dB(W/(m^2 · 10 MHz)) لأكثر من 1 في المائة من الوقت؛

هـ) بما أن خسارة الانتشار تزداد بازدياد المسافة وتتأثر كثيراً بطبيعة التضاريس في المسيرات الأرضية، فإن المحطات الأرضية الواقعة على مسافة بعيدة بما فيه الكفاية من حدود بلد مجاور أو من خط ساحله يمكن أن تفي بحد كثافة تدفق القدرة دون تطبيق تقنيات تخفيف التداخل (مثل الحجب المحلي)، ومن ثم، فإن أساليب تحديد المناطق حيث يكون الوضع كذلك في بلد ما من شأنها أن تساعد الإدارات على الامتثال للمطلب الوارد في فقرة *إذ تضع في اعتبارها* د)؛

و) أن حجب موقع بطريقة طبيعية أو بطريقة من صنع الإنسان يمكن أن يوهن الإشارة التي ترسلها المحطة الأرضية باتجاه حدود بلد مجاور و/أو خط الساحل؛

ز) أن استعمال أنواع محددة من المحطات الأرضية ذات أداء أفضل للفصوص الجانبية يمكن أن يخفض الإشارة الناتجة عن محطة أرضية في الخدمة الثابتة الساتلية عند الحدود البرية و/أو خط الساحل للبلد المجاور؛

ح) أن من المناسب استعمال المعلومات ذات الصلة الواردة في توصيات قطاع الاتصالات الراديوية كأساس للأساليب المشار إليها في الفقرة *إذ تضع في اعتبارها هـ)*، وقد يكون من المناسب استعمال قاعدة بيانات للتضاريس تغطي أي بلد من المقرر تشغيل فيه المحطات الأرضية في الخدمة الثابتة الساتلية بهوائي قطره D أقل من 4,5 m في النطاق GHz 14-13,75؛

ي) أن القرار (WRC-03) 144 يقرر أنه يجوز لإدارات البلدان الصغيرة أو الضيقة جغرافياً أن تتجاوز حدود كثافة تدفق القدرة للمحطات الأرضية في الخدمة الثابتة الساتلية عند خط الساحل المذكور في الرقم 502.5 إذا كان هذا التشغيل يراعي الاتفاقات الثنائية المبرمة مع الإدارات التي تقوم بنشر أنظمة بحرية للتحديد الراديوي للموقع في النطاق GHz 14-13,75؛

ك) أن القرار (WRC-03) 144 يقرر كذلك أن الأساليب التقنية أو التشغيلية التي تجعل التقاسم أكثر سهولة يمكن أن تتيح المزيد من المرونة في تشغيل المحطات الأرضية في الخدمة الثابتة الساتلية في النطاق GHz 14-13,75، بما يتفق مع الرقم 502.5 من لوائح الراديو، ويمكن استعمالها أيضاً كأساس لإبرام مثل هذه الاتفاقات الثنائية بين الإدارات،

وإذ تدرك

أ) أن الرقم 503.5 من لوائح الراديو يضع قيوداً إضافية على تشغيل المحطات الأرضية في الخدمة الثابتة الساتلية في النطاق MHz 10 من GHz 13,77 إلى GHz 13,78،

توصي

1 باستعمال الأسلوب الوارد في الملحق 1 أو 2 أو 3 أو مزيج من هذه الأساليب، حسبما تراه الإدارات المعنية مناسباً بما في ذلك البلدان المشار إليها في *إذ تضع في اعتبارها ي)*، لتحديد ما إذا كانت المحطة الأرضية التي يُعتزم تشغيلها في النطاق GHz 14-13,75 ستفي بحدود كثافة تدفق القدرة الواردة في الرقم 502.5 من لوائح الراديو؛

2 بالإضافة إلى ذلك، في حالة البلدان الصغيرة أو الضيقة جغرافياً، بأنه ينبغي استعمال المعلومات الواردة في الملحق 4 من هذه التوصية في المساعدة على الوفاء بحدود كثافة تدفق القدرة الواردة في الرقم 502.5 من لوائح الراديو و/أو كأساس لإبرام اتفاقات ثنائية بين الإدارات عند التماس الموافقة على الإعفاء من شرط الوفاء بحدود كثافة تدفق القدرة الواردة في الرقم 502.5 من لوائح الراديو.

الملحق 1

أدنى منحنيات لمسافات الفصل استناداً إلى التوصية ITU-R P.452 باستعمال ارتفاع محطة أرضية في الخدمة الثابتة الساتلية وكثافة القدرة المشعة المكافئة المتناحية (e.i.r.p.) نحو الأفق وخط العرض وارتفاعات محتملة للتضاريس[1]

ينتج هذا الأسلوب منحنيين باستعمال نموذج سلس للأرض يظهر الحد الأدنى من مسافة الفصل عن خط الساحل أو الحدود البرية لبلد مجاور التي يتعين على محطة أرضية في الخدمة الثابتة الساتلية الوفاء بها للالتزام بحدود كثافة تدفق القدرة الواردة في الرقم 502.5 من لوائح الراديو كدالة لكثافة القدرة المشعة المكافئة المتناحية لمحطة أرضية نحو الأفق. ويعطي المنحنى الأولي مسافة الفصل على خط البصر (LoS). أما المنحنى الثاني فيعطي مسافة الفصل عبر الأفق. ويُفترض لمحطة أرضية في الخدمة الثابتة الساتلية منشورة

[1] الأسلوب 2 يوسع إلى أقصى حد المسافة التي يمكن فيها نشر المحطة بدون الحاجة إلى تحليل إضافي للموقع. وإذا لم تكن البيانات الرقمية لتضاريس بلد ما متاحة، أو كان نهج أبسط مرغوباً، فإن الأسلوب 1 يسمح بإعداد أكفة أكثر تحفظاً إلى حد ما عن نهج التضاريس الرقمية المتبع في الأسلوب 2.

على مسافة تزيد أو تساوي الحد الأدنى من مسافة الفصل أنها تفي بمعيار حد كثافة تدفق القدرة. ولا يلزم أي تحليلات إضافية بخلاف تحديد ما إذا كان المسير إلى خط الساحل أو الحدود على خط البصر أو عابر للأفق. وجدير بالذكر أن النشر في المناطق المستثناة بموجب هذا الأسلوب يظل ممكناً شريطة التمكن من تبيان أن موقع محتمل يفي بمعيار حد كثافة تدفق القدرة من خلال تطبيق الأسلوب 2 أو 3 (الملحقان 2 و3). ولمراعاة تنوع التضاريس في العالم الحقيقي بالكامل، يُجزَّأ هذا الأسلوب إلى ثلاث مراحل ذات تعقيد متزايد. فالمرحلة ألف هي الأبسط دون منازع ولا تراعي التضاريس. وبالفعل، فإن هذه المرحلة تفترض أرضاً *مسطحة* تكون فيها المسيرات كافة على خط البصر. بينما تفترض المرحلة باء أرضاً كروية بأفق راديوي اسمي، بيد أنها لا تراعي ما يتخلله من تضاريس. وعلى غرار المرحلة باء، تفترض المرحلة جيم أرضاً كروية، ولكنها تختلف عن المرحلة باء من حيث مراعاتها لأثر ما يتخلل الأفق من تضاريس. ومن شأن كل مرحلة بدورها أن توسع رقعة المنطقة المحتملة لنشر الخدمة الثابتة الساتلية (حيث تتكشف أكبر رقعة باستعمال المرحلة جيم). ومن المسلم به في حال بيّنت المرحلة ألف أو باء أن موقع نشر محتمل يفي بمعيار حد كثافة تدفق القدرة، فلا حاجة لإجراء المرحلة (أو المراحل) اللاحقة. وحسب تقدير المستعمل، يمكن استعمال المرحلة باء أو جيم دون أن يسبقهما تنفيذ المرحلة ألف.

ولحساب قيمة المسافة، تلزم بعض الافتراضات ونماذج الانتشار الأساسية. وأعدت لجنة الدراسات 3 لقطاع الاتصالات الراديوية العديد من نماذج الانتشار لهذا الغرض المحدد، واستعملت التوصية ITU-R P.452-11 في العديد من حالات التقاسم المماثلة، ويبدو أن استعمالها هو الأنسب لحالات الانتشار التي تغطيها التوصية ITU-R P.452-11.

وفيما يلي وصف معمق للأسلوب 1.

المرحلة ألف: يُفترض أن جميع المسيرات تقع على خط البصر (LoS). ويُستعمل منحنى خط البصر الوارد في الشكل 4 لتحديد الحد الأدنى من مسافة الفصل كدالة لكثافة قدرة مشعة مكافئة متناحية/10 MHz تشعها محطة باتجاه خط الساحل (أو الحدود). وجدير بالذكر أنه تم اشتقاق المنحنى من الخسارة على خط البصر كما ترد في التوصية ITU-R P.452-11 (p = 1%). وبما أن هذا نموذج مسطح للأرض، فالمنحنى مستقل عن عوامل مثل معدل انحدار مؤشر الانعراج الراديوي ΔN وارتفاع الهوائي فوق التضاريس. وإذا كان موقع النشر المحتمل أبعد عن خط الساحل (أو الحدود) من مسافة الفصل المطلوبة من منحنى خط البصر، يُفترض حينئذ أن المحطة تمتثل لمعيار حد كثافة تدفق القدرة الوارد في الرقم 502.5 من لوائح الراديو. أما إذا كان طول المسير أقصر من مسافة الفصل المطلوبة، انتقل إلى المرحلة باء.

المرحلة باء: تفترض هذه المرحلة أرضاً كروية وتتطلب بالتالي تحديد أفق راديوي اسمي. ويتم أولاً حساب نصف قطر الأرض الفعّال (α_e) باستعمال المعدل المحلي لانحدار مؤشر الانعراج الراديوي (ΔN) والمعادلتين (5) و(6) من التوصية ITU-R P.452-11 (يتم تحويله إلى أمتار). ثم يمكن بعد ذلك حساب الأفق الراديوي من المعادلة التالية:

$$\text{RHorizon}_{nominal} = \sqrt{2 \cdot a_e} \cdot \left(\sqrt{h_0} + \sqrt{h_{es}} \right) / 1\ 000 \qquad \text{km}$$

حيث:

h_0 = 36 m لمسير خط الساحل أو 3 m لمسير الحدود البرية

h_{es}: هو ارتفاع المحطة الأرضية (بالأمتار) فوق متوسط مستوى سطح البحر.

فإذا جاء موقع المحطة الأرضية ضمن الأفق الراديوي الاسمي باتجاه خط الساحل (أو الحدود البرية)، يتم حساب مسافة الفصل المطلوبة باستعمال منحنى خط البصر الوارد في الشكل 4. أما إذا جاء موقع المحطة الأرضية أبعد عن الأفق الراديوي الاسمي، تُحدد مسافة الفصل المطلوبة باستعمال منحنى عبر الأفق الوارد في الشكل 4. وإذا ما كان موقع النشر المحتمل أبعد عن خط الساحل (أو الحدود) من مسافة الفصل المطلوبة المحسوبة من المنحنى المطبق، يفترض أن المحطة حينئذ تمتثل لمعيار حد كثافة تدفق القدرة الوارد في الرقم 502.5 من لوائح الراديو. أما إذا كان طول المسير أقصر من مسافة الفصل المطلوبة، انتقل إلى المرحلة جيم.

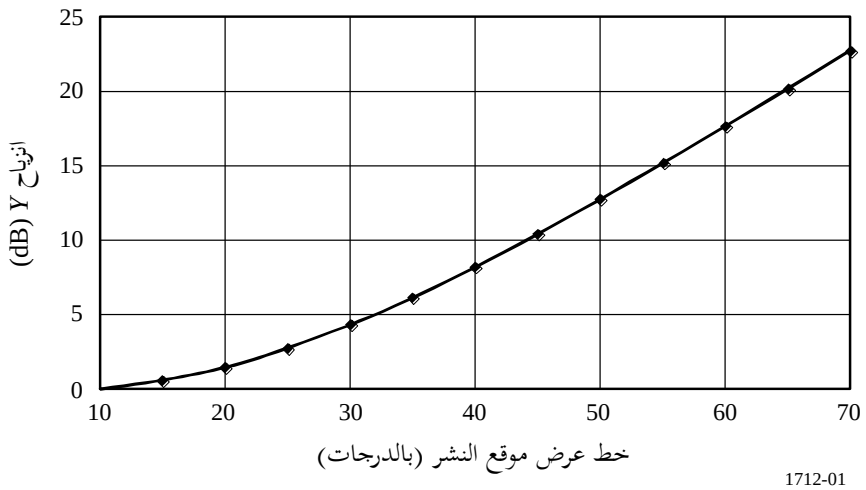
المرحلة جيم: تفترض هذه المرحلة أيضاً أرضاً كروية. وعلاوةً على ذلك، فهي تتطلب تحليلاً أكثر تفصيلاً للمسيرات باتجاه خط الساحل (أو الحدود). ويُستعمل التذييل 2 للملحق 1 بالتوصية ITU-R P.452-11 لتحديد ما إذا كان المسير على خط البصر أو عابراً للأفق. ويرد وصف للإجراء المحدد في الفقرة 1.4 من ذلك التذييل: "اختبار المسير العابر للأفق". ويمكن أن تؤخذ بيانات التضاريس من الخرائط الرقمية للارتفاعات أو حتى تُحسب من أكفة الارتفاع في الخرائط المطبوعة. ونظراً لأن المسير ذا أقل خسارة في التضاريس الفعلية ليس بالضرورة هو المسير الأقصر، ينبغي اختبار عدة مسيرات في نصف قطر حول الموقع المحتمل للمحطة الأرضية. وإذا تبين أن أي مسير يقع على خط البصر، يتم حساب مسافة الفصل المطلوبة باستعمال منحنى خط البصر الوارد في الشكل 4 (باستعمال مسير خط البصر الأقصر). وإذا أظهر الاختبار أن جميع المسيرات عبر للأفق، يتم حساب مسافة الفصل المطلوبة باستعمال منحنى عبر الأفق ذي الصلة الوارد في الشكل 4. وإذا ما كان موقع النشر المحتمل أبعد عن خط الساحل أو الحدود البرية للبلد المجاور من مسافة الفصل المطلوبة المحسوبة من المنحنى المطبق، يفترض أن المحطة حينئذ تمتثل لمعيار حد كثافة تدفق القدرة الوارد في الرقم 502.5 من لوائح الراديو. أما إذا كان طول المسير أقصر من مسافة الفصل المطلوبة، يرجَّح ألا تكون ممتثلة لحد كثافة تدفق القدرة.

ومن المهم أن نلاحظ أن مسافة الفصل المطلوبة المحسوبة في أي من المراحل الثلاث أعلاه، قد لا تكون حداً أدنىً مطلقاً. أما إذا كان بُعد المحطة الأرضية عن خط الساحل أو الحدود البرية للبلد المجاور أقل من القيمة المطلوبة، يمكن اللجوء إلى المزيد من التحليل باستعمال إما الأسلوب 2 الذي يشمل بيانات رقمية للتضاريس ونمذجة الانتشار، أو الأسلوب 3 الذي يشمل أيضاً بيانات التضاريس ويسمح بمراعاة عوامل مثل حجب الموقع، وذلك للتحقق من الوفاء بمعيار حد كثافة تدفق القدرة الواردة في الرقم 502.5 من لوائح الراديو.

وعلى النحو الموصوف أعلاه، فإن استعمال الأسلوب 1 يتطلب منحنيين (لأنماط المسير المختلفة) يعطيان المسافة الدنيا X إلى خط الساحل (أو الحدود البرية) كدالة لكثافة القدرة المشعة المكافئة المتناحية نحو الأفق للوفاء بمعيار حد كثافة تدفق القدرة. ويمكن نشر مواقع تبتعد بمسافة أقل من X عن خط الساحل (أو الحدود البرية)، ولكن الأمر يتطلب تطبيق الأساليب الأخرى. ومن أجل حساب قيمة خط البصر للمسافة X، لا بد من بعض الافتراضات ونماذج الانتشار الأساسية. ويُحسب منحنى خط البصر مباشرةً من معادلة خط البصر الواردة في التوصية ITU-R P.452-11. وهي المعادلة (9) الواردة في الفقرة 2.4 من التوصية. ويُستعمل تردد مناسب وتُحدد النسبة المئوية للوقت p بمقدار 1 في المائة. وتُستعمل الخسارة الناتجة في المعادلة (2) للحصول على توليفة القدرة المشعة المكافئة المتناحية/المسافة التي تفي بحد كثافة تدفق القدرة. والمنحنى العابر للأفق مجرد منحنى خط البصر مرفوعاً من حيث القدرة المشعة المكافئة المتناحية بعامل Y dB. وتُحسب قيمة Y من المنحنى الوارد في الشكل 1. وكما ذكر أعلاه، فإن حدود كثافة تدفق القدرة المذكورة في الرقم 502.5 من لوائح الراديو تحدد الارتفاع عند خط الساحل أو عند حدود البلد المجاور.

الشكل 1

انزياح المنحنى العابر للأفق كدالة لخط العرض



مثال على تطبيق الأسلوب 1

عند النظر في المرحلة ألف، تكون في بعض البلدان المحطات الأرضية المزودة بمطاريف ذات فتحة صغيرة جداً (VSAT) والعاملة في النطاق GHz 14,5-13,75 ذات مستوى محدود من حيث كثافة القدرة المدخلة إلى الهوائي يبلغ –14 dB(W/4 kHz). وبالنسبة لموجة حاملة رقمية نموذجية للمطاريف ذات الفتحة الصغيرة جداً العاملة بتشكيل تربيعي بزحزحة طور قدره 64 kbit/s (التصحيح الأمامي للخطأ لنصف المعدل مع تشفير ريد–سولومون) بعرض نطاق قدره نحو 84 kHz، فإن هذا المستوى سيولد كثافة قدرة داخلة (P_d) قدرها:

$$P_d = –14 + 10 \log (84/4) = – 0,8 \text{ dB(W/84 kHz)}$$

وبافتراض زاوية خارج المحور إلى خط الساحل في مكان مرتفع وزاوية سمت تزيد عن 48°، سيكون كسب الهوائي –10 dBi، وستكون كثافة القدرة المشعة المكافئة المتناحية بافتراض موجة حاملة واحدة ضمن عرض نطاق 10 MHz قدرها:

$$(\text{e.i.r.p.})_d = –10,8 \text{ dB(W/10 MHz) bandwidth}$$

ولنفترض كذلك أن طول المسير من المحطة الأرضية إلى خط الساحل قدره 44 km، وأن معدل انحدار مؤشر الانعراج الراديوي ΔN المحلي = 40 وأن ارتفاع المحطة الأرضية قدره 20 m فوق مستوى سطح البحر. وخط العرض هو 35° مما يؤدي إلى انزياح بمقدار 6 dB للمنحنى عبر الأفق. وتبدأ المرحلة 1 بمقارنة القدرة المشعة المكافئة المتناحية خارج المحور بمنحنى خط البصر الوارد في الشكل 4. ويُستنتج من المنحنى أن مسافة الفصل المطلوبة على خط البصر تناهز 66 km. وبما أن طول المسير الفعلي أقل من مسافة الفصل الدنيا المطلوبة، فإن المرحلة ألف لا تبدي التزاماً بحد كثافة تدفق القدرة.

وبموجب المرحلة باء، يُحسب الأفق الراديوي الاسمي على أنه 43,3 km. وبما أن الطول الفعلي للمسير يزيد عن الأفق الراديوي الاسمي، فلا بد من أن يكون المسير عابراً للأفق. ومن ثم، يمكن اشتقاق مسافة الفصل الدنيا باستعمال المنحنى العابر للأفق الوارد في الشكل 4. وباستعمال ذلك المنحنى، فإن محطة بكثافة قدرة مشعة مكافئة متناحية خارجة عن المحور تبلغ –10,8 dB W تتطلب مسافة فصل دنيا تقارب 35 km. وفي هذه الحالة، يزيد طول المسير الفعلي عن مسافة الفصل الدنيا المطلوبة. ولذلك، تبين المرحلة باء أن المحطة الأرضية هذه تلتزم بحد كثافة تدفق القدرة. وإن لم تلتزم المرحلة باء، فإن ذلك يستتبع تحليلاً باستعمال تقدير أدق للأفق الراديوي الحقيقي في إطار المرحلة جيم.

وفي حالة الموجات الحاملة بمعدل 512 kbit/s بعرض نطاق قدره 669 kHz، ستكون كثافة القدرة المشعة المكافئة المتناحية:

$$(\text{e.i.r.p.})_d = –14 + 10 \log (669/4) –10 = –1,8 \text{ dB(W/10 MHz)}$$

وتبين المرحلة ألف أن مسافة الفصل الدنيا المطلوبة قدرها 140 km. وإذا كان بإمكان المرحلتان باء وجيم إثبات أن المسير عابر للأفق، ستكون هناك حاجة إلى مسافة فصل دنيا قدرها 83 km.

مثال على الأسلوب 1، المرحلة جيم

عند النظر في المرحلة جيم، يشار إلى الموقع المحتمل للمحطة الأرضية على الخريطة المقدمة كمثال في الشكل 2. ولا تبين المرحلتان ألف وباء أن هذا الموقع لا يبدي التزاماً بحد كثافة تدفق القدرة. وبالتالي، سيتم استعمال المرحلة جيم من الأسلوب 1. وستُستعمل الأكفة الواردة في الخريطة لتقدير الأفق الراديوي على المسيرات بين الموقع ومختلف النقاط على امتداد الساحل (خط الساحل). وتُفترض المعلمات التالية:

كثافة القدرة المشعة المكافئة المتناحية (e.i.r.p.) للمحطة الأرضية نحو الأفق في جميع الاتجاهات = –10,8 dBW

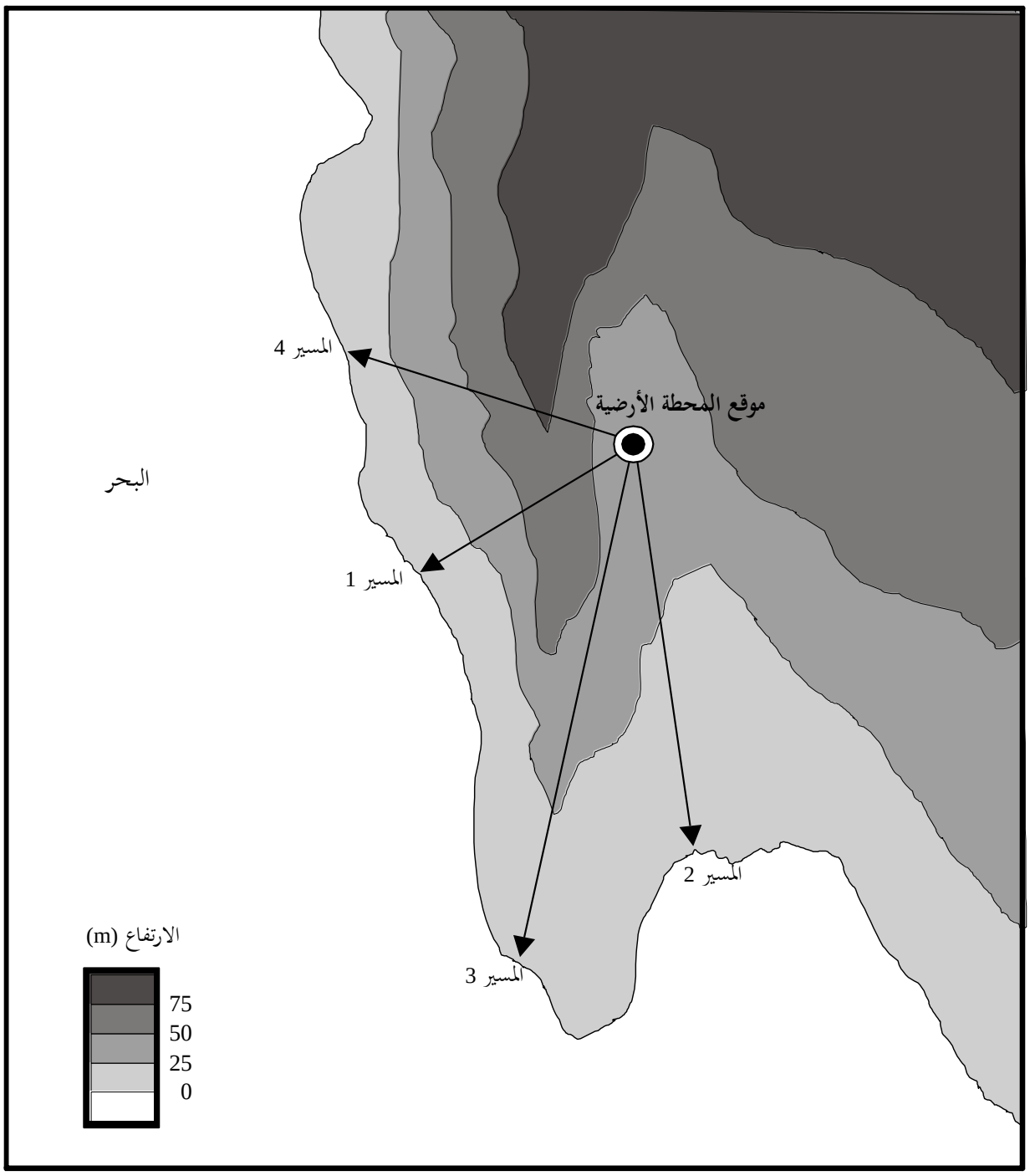
ارتفاع المحطة الأرضية فوق متوسط مستوى سطح البحر = 40 m

وسيط معدل انحدار مؤشر الانعراج الراديوي ΔN المحلي = 45

خط العرض هو 35°.

الشكل 2

مثال خريطة كفاف تظهر الموقع المحتمل لمحطة أرضية



أطوال المسير

1	km 37
2	km 61
3	km 80
4	km 41

1712-02

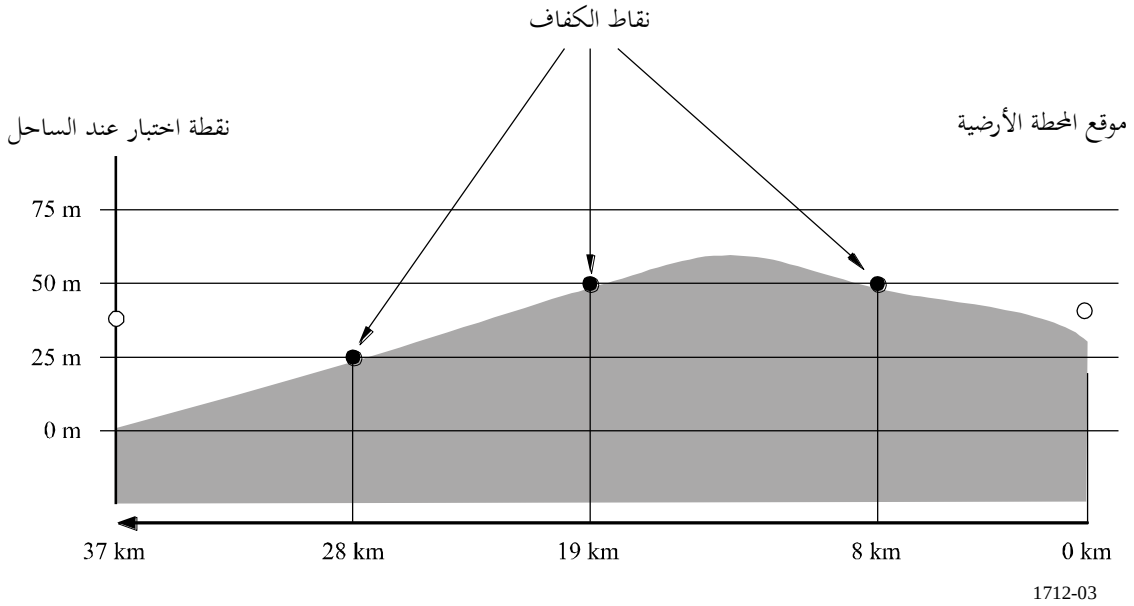
وبالرجوع سريعاً إلى الشكل 4، يتبين أن مسافة الفصل المطلوبة على خط البصر لهذه المحطة الأرضية تبلغ km 63,5. ومن الواضح أن أقصر مسير إلى خط الساحل (المسير 1) يقل كثيراً عن مسافة الفصل المطلوبة على خط البصر. ولا تبدي المرحلة ألف التزاماً.

واستعمال معدل انحدار مؤشر الانعراج الراديوي ΔN وارتفاع المحطة الأرضية فوق متوسط مستوى سطح البحر يبين أن الأفق الراديوي الاسمي قدره 52,1 m. وبما أن طول المسير 1 أقل من الأفق الاسمي، فإن مسافة الفصل المطلوبة تظل دون تغيير. ولا تبدي المرحلة باء التزاماً.

وتبدأ المرحلة جيم باختبار عبور الأفق الوارد في التذييل 2 للملحق 1 بالتوصية ITU-R P.452-11. وتُقسم المسيرات أقساماً لتعكس اختلاف الارتفاعات على طول كل جزء من كل مسير. ويوصى بزيادات متباعدة بالتساوي، وإن لم يكن ذلك ضرورياً. ويتحقق اختبار التوصية ITU-R P.452 مما إذا كانت زاوية ارتفاع الأفق الفيزيائي كما ترى من المحطة الأرضية θ_{ES} أكبر من الزاوية θ_{TP} المقابلة بين نقطة الاختبار الحدودية. انظر التوصية للاطلاع على كامل تفاصيل هذا الإجراء. وبإجراء الحسابات اللازمة في المسير 1، يتبين أن θ_{ES} = 0,8 mrad وأن θ_{TP} = –2,2 mrad. وبما أن $\theta_{ES} > \theta_{TP}$، فهذا المسير عابر للأفق. وفي حين لا يقطع المسيران 2 و3 أكفة أعلى من المحطة الأرضية، فإن طولهما يتجاوز الأفق الراديوي الاسمي الوارد في المرحلة باء. وبالتالي من المعروف أنهما عابران للأفق بدون تطبيق اختبار التوصية ITU-R P.452. أما المسير 4 فهو أطول من المسير 1 ويقطع كفافاً أعلى. ويبين حساب الزوايا أن هذا المسير عابر للأفق حقاً. وبالمعاينة، ما من مسيرات أخرى يُتوقع لها أن تسفر عن نتائج مغايرة للمسيرات المبينة في الخريطة أعلاه. ولذا، لا يقع موقع المحطة الأرضية هذا على خط البصر لأي نقطة من الساحل (خط الساحل). ويبين المنحنى العابر للأفق في الشكل 4 أن مسافة الفصل المطلوبة لهذه المحطة الأرضية تبلغ 34 km. وبما أن طول المسير الأقصر يزيد عن هذه القيمة، نجد أن موقع المحطة الأرضية يفي بمعيار كثافة تدفق القدرة.

الشكل 3

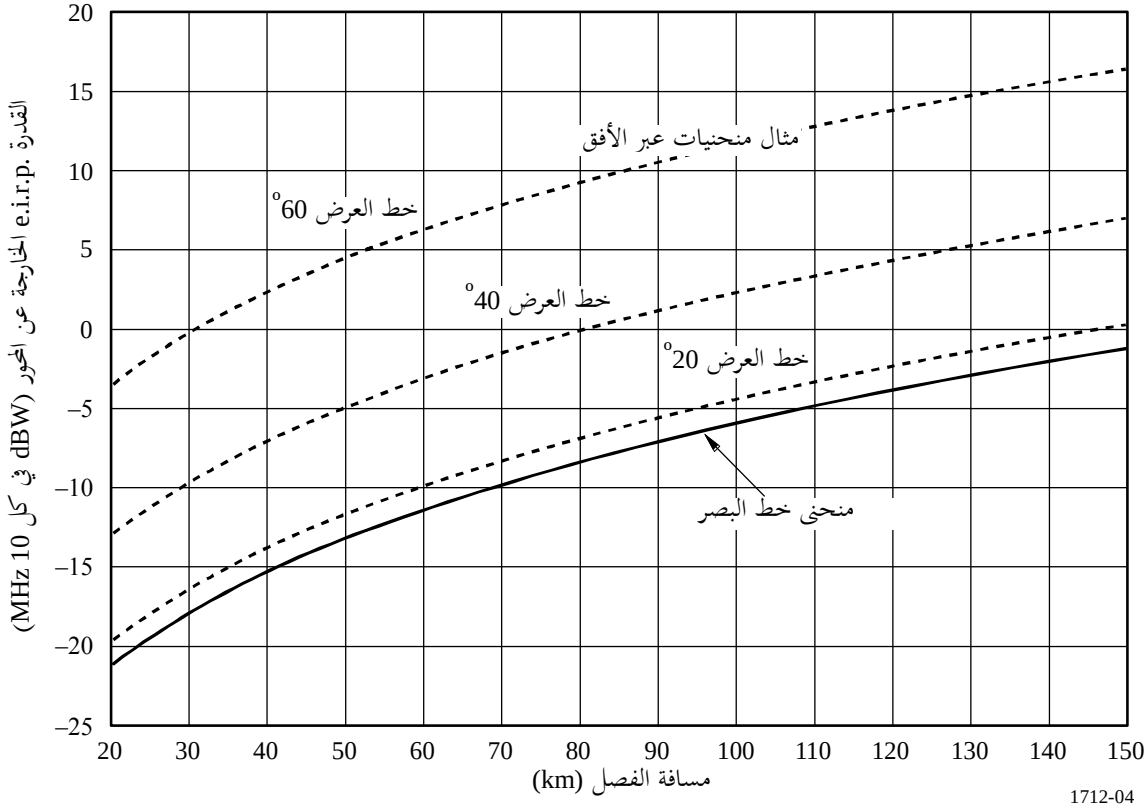
المظهر الجانبي للمسير 1



ولاحظ أن الذروة الحقيقية في المظهر الجانبي في الشكل 3 لم تُستعمل فعلياً في الحسابات. ولم توفر خريطة الكفاف في الشكل 2 إلا بيانات ارتفاع بزيادات يبلغ كل منها 25 m. وكان يمكن استعمال خريطة بيانات تضاريس باستبانة أعلى للاستفادة من الارتفاع الحقيقي للتضاريس التي تتخلل المسيرات.

الشكل 4

***الأسلوب 1*: منحنيات مسافة الفصل (الحد الأدنى من مسافة الفصل عن خط الساحل كدالة لكثافة قدرة مشعة مكافئة متناحية نحو الأفق)**



وجدير بالذكر أن منحنى خط البصر مستمد من الخسارة لمسيرات خط البصر الواردة في التوصية ITU-R P.452-11. والمنحنى عبر الأفق هو مجرد منحنى خط البصر منزوح إلى أعلى محور القدرة المشعة المكافئة المتناحية (.e.i.r.p) بمقدار *Y* dB. وفي واقع الأمر فإن خسارة الانعراج ليست مجرد خسارة خط بصر منزاحة بقيمة ثابتة. ولعل مواصلة تحليل النموذج الوارد في التوصية ITU-R P.452-11 يُظهر أن المنحنى عبر الأفق قد يتطلب بعض التعديل.

الملحق 2

الأسلوب 2: أكفة كثافة تدفق القدرة استناداً إلى بيانات التضاريس الفعلية ونموذج الانتشار الوارد في التوصية ITU-R P.452-11 والقدرة المشعة المكافئة المتناحية (.e.i.r.p) للمحطة الأرضية في الخدمة الثابتة الساتلية في نطاق عرضه 10 MHz وقطر الهوائي وارتفاعه فوق الأرض

1 اعتبارات عامة

ينتج هذا الأسلوب مجموعة من الأكفة باستعمال بيانات التضاريس الفعلية، ويبين مسافة الفصل الدنيا عن خط الساحل أو الحدود البرية لبلد مجاور التي يتعين على المحطة الأرضية في الخدمة الثابتة الساتلية أن تفي بها من أجل الالتزام بحدود كثافة تدفق القدرة الواردة في الرقم 502.5 من لوائح الراديو كدالة للقدرة المشعة المكافئة المتناحية (.e.i.r.p) للمحطة الأرضية ولارتفاع الهوائي الخاص بها. ويُفترض للمحطة الأرضية المنشورة ضمن الكفاف القائم على قدرتها المشعة المكافئة المتناحية نحو الأفق أنها تفي بمعيار حد كثافة تدفق القدرة. ولا يلزم أي تحليل إضافي. وهذا الأسلوب الذي يستعمل بيانات أدق عن الأسلوب 1 يسمح بالحصول على

مساحات أوسع يمكن أن تُنشر فيها المحطة الأرضية وتفي بحدود كثافة تدفق القدرة الواردة في الرقم 502.5 من لوائح الراديو. غير أنه جدير بالذكر أن النشر في مكان مستثنى بموجب هذا الأسلوب يظل ممكناً إن أمكن تبيان أن المكان المحتمل يفي بمعيار حد كثافة تدفق القدرة من خلال تطبيق الأسلوب 3 (الملحق 3). ولمراعاة اختلاف خسارة المسير جراء اختلاف ارتفاعات الهوائي، يمكن تحديد أكفة لمجموعة من ارتفاعات المحطة الأرضية فوق مستوى التضاريس المحلية.

2 وصف الأسلوب 2 خطوة بخطوة

المرحلة 1: *تعريف الأكفة*: بافتراض عدة توليفات نموذجية من أقطار الهوائيات والقدرة المشعة المكافئة المتناحية داخل المحور المرتبطة بها، يمكن تعريف مجموعة من الأكفة بحيث تُحدَد المناطق التي يمكن فيها نشر المحطة الأرضية مع الالتزام بحدود كثافة تدفق القدرة الواردة في الرقم 502.5 من لوائح الراديو. ويمكن ربط قيمة خسارة المسير الضرورية بكل كفاف محدد، مع مراعاة تمييز المحطة الأرضية بين الاتجاه الذي تشير إليه واتجاه الحدود.

المرحلة 2: *حساب الأكفة*: يمكن حساب موقع كل كفاف على *خريطة* بمعرفة قيمة خسارة المسير الواجب ربطها بكل كفاف وبالأخذ في الحسبان قاعدة بيانات التضاريس الفعلية. ويتعين استعمال نموذج الانتشار الوارد وصفه في التوصية ITU-R P.452-11.

المرحلة 3: *الالتزام بمعيار حدود كثافة تدفق القدرة الوارد في الرقم 502.5 من لوائح الراديو:* يقيَّم هذا الالتزام من خلال مقارنة موقع المحطة الأرضية المزمع نشرها مع الكفاف المرتبط بالمظهر الجانبي المقابل:

- إذا كان موقع المحطة الأرضية المزمع نشرها داخل الكفاف المرتبط بها، يمكن نشر المحطة الأرضية دون أي تدابير إضافية مع الالتزام بالمعيار الوارد في الرقم 502.5 من لوائح الراديو؛
- أما إذا كان موقع المحطة الأرضية المزمع نشرها خارج الكفاف المرتبط بها، فتلزم اعتبارات إضافية بشأن بيئة الموقع الفعلي.

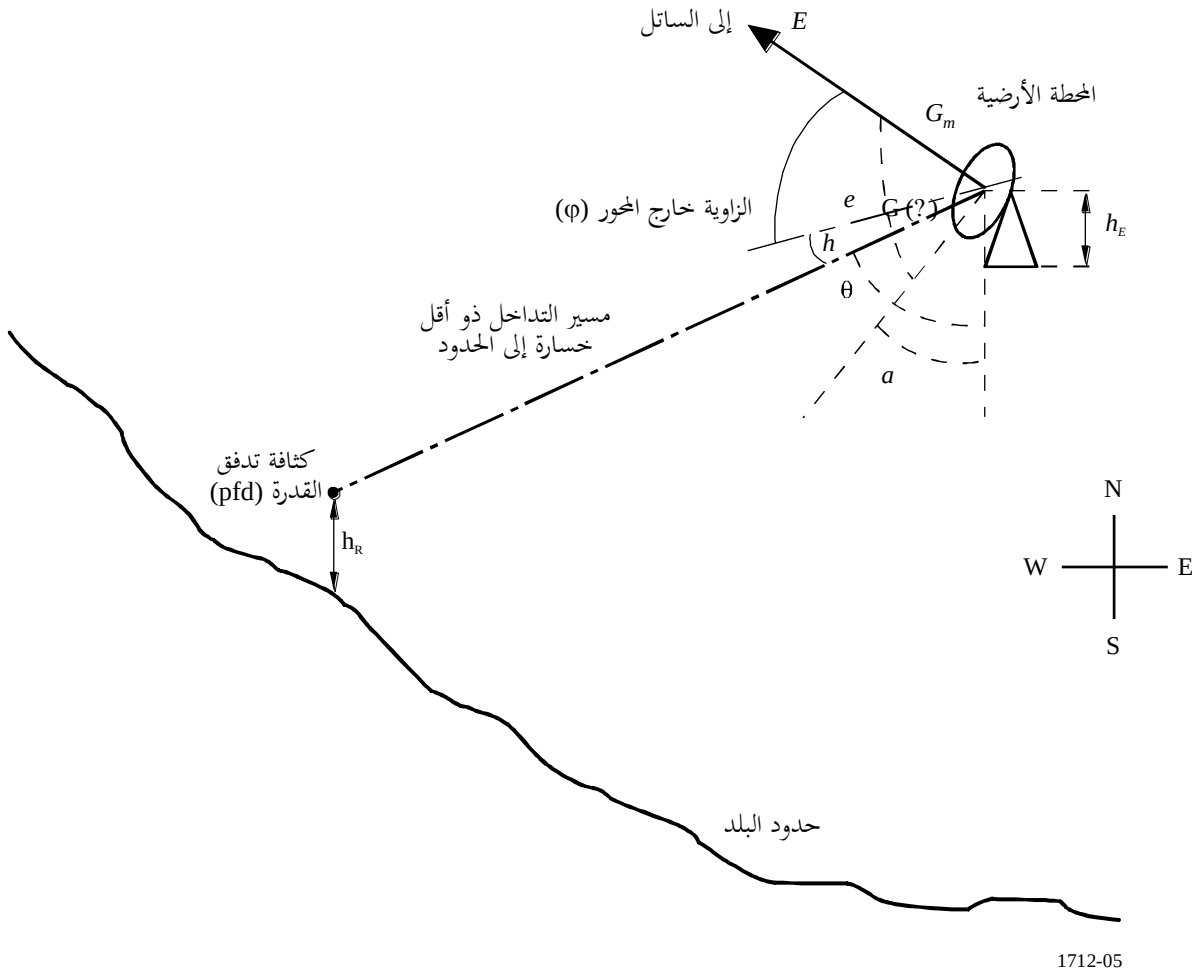
3 تطبيق محتمل للأسلوب 2

1.3 سيناريو التداخل

يبين الشكلان 5 و6 سيناريو التداخل الذي تسببه المحطة الأرضية عند حدود البلد.

الشكل 5

هندسة مسير التداخل



E: القدرة المشعة المكافئة المتناحية للمحطة الأرضية باتجاه الساتل ((dB(W/10 MHz)

G_m: كسب هوائي المحطة الأرضية داخل المحور (dBi)

$G(\varphi)$: كسب هوائي المحطة الأرضية باتجاه الأفق على امتداد مسير أقل خسارة إلى الحدود (dBi)

a: زاوية السمت لمحور هوائي المحطة الأرضية (درجات باتجاه غرب الجنوب)

e: زاوية الارتفاع لمحور هوائي المحطة الأرضية (درجات)

h: زاوية ارتفاع الأفق في اتجاه مسير أقل خسارة (درجات)

h_E: الارتفاع فوق مستوى الأرض المحلية لبؤرة هوائي المحطة الأرضية (أمتار)

h_R: الارتفاع فوق مستوى الأرض المحلية لبؤرة هوائي الرادار (أمتار)

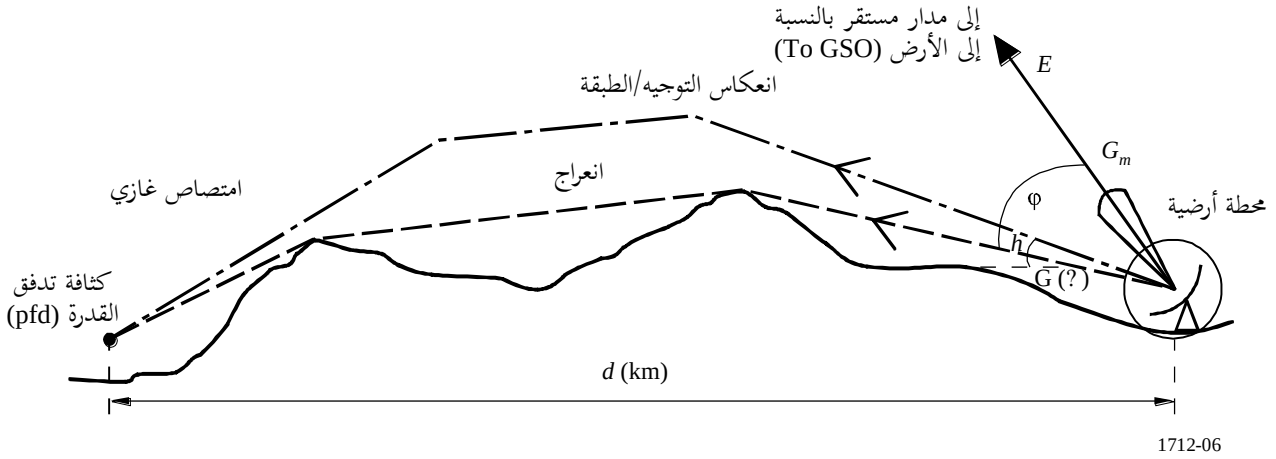
pfd: تداخل كثافة تدفق القدرة عند الحدود ((dB(W/(m^2 · 10 MHz))

θ: زاوية السمت لمسير أقل خسارة إلى الحدود (درجات غرب الجنوب)

وجدير بالذكر أن الزاوية خارج المحور، φ، ذات الأهمية هنا هي الزاوية الواقعة بين محور الحزمة الرئيسية والمحور الذي يمثل الجزء الأول من مسير التداخل ذي أقل خسارة، الذي يشتمل عموماً على زاوية ارتفاع صغيرة ، h، (عادة ما تكون بين –1 درجة و+3 درجات) (انظر الشكل 6).

الشكل 6

الخسارة على مسير التداخل



ويمكن حساب كثافة تدفق القدرة عند خط الساحل أو الحدود البرية بالمعادلة (1):

$$pfd = E - G_m + G(\varphi) - L - 10 \log (\lambda^2/4\pi) \quad dB(W/m^2) \tag{1}$$

حيث:

L: هي خسارة المسير بين هوائيات متناحية والتي يجري تجاوزها دوماً إلا في 1% من الوقت (dB)

λ: هو طول الموجة (بالأمتار)

وفي حالة تردد منتصف النطاق البالغ 13,875 MHz، وλ = 0,02162، ستكون $10 \log(\lambda^2/4\pi)$ dB(W/(m^2)) = –44,29. وعليه، للوفاء بالحد المطلوب لكثافة تدفق القدرة، يؤدي إعادة ترتيب المعادلة (1) إلى:

$$L = E - (G_m - G(\varphi)) + 159,29 \quad dB \tag{2}$$

وإذا كان من الممكن تحويل العوامل الواردة على الجانب الأيمن من المعادلة (2) إلى ثوابت، فإن المناطق التي تلتزم فيها المحطة الأرضية بحد كثافة تدفق القدرة سيشار إليها بأكفة الثابت L.

والعامل ($G_m - G(\varphi)$) هو التمييز الذي يسمح به مخطط هوائي الإرسال في المحطة الأرضية في اتجاه مسير التداخل، ويعتمد على قطر الهوائي ومخطط الإشعاع وعلى زاوية (φ) خارج المحور. وفيما يتعلق بمخطط الإشعاع، من المناسب استعمال الخوارزميات الواردة في التوصية ITU-R S.580 للفصوص الجانبية وإضافة حزمة رئيسية بتناقص وفقاً لقانون تربيعي (أي $G(\varphi) = G_m - 12(\varphi/\varphi_{3dB})^2$) وذروة كسب، G_m، تقابل كفاءة إضاءة قدرها 65 في المائة (أي $G_m = 10 \log [(0,65) (\pi D/\lambda)^2]$ حيث إن D هي قطر الهوائي (m) و$\varphi_{3dB} = 70\lambda/D$). وبالتالي، لأي قدرة مشعة مكافئة متناحية للمحطة الأرضية وقطر هوائي، يمكن حساب قيمة L المطلوبة للالتزام بحد كثافة تدفق القدرة إذا كانت قيمة φ ذات الصلة معروفة.

وينبغي أن تحدد الإدارة المعنية ارتفاع المحطة الأرضية فوق التضاريس، h_E، وفقاً لنمط النشر المرغوب. وعلى سبيل المثال، فقد تم حساب الأكفة المبينة في الأجزاء التالية من هذا الملحق في حالة h_E = 11,2 m. وهذا المستوى يعني مطاريف مركبة في مواقع عالية. وإذا كان من المقرر تركيب المحطة الأرضية على أسقف مسطحة لمباني من طابق واحد (مثل محطات البنزين) فإن الارتفاع المناسب قدره من 5 إلى 6 أمتار. وينبغي توخي الحذر لتجنب تركيب المحطات الأرضية فوق الارتفاع المستعمل لبناء الأكفة لتجنب تجاوز كثافة تدفق القدرة المسموح بها عند خط الساحل. وللتركيب على مباني أكثر ارتفاعاً في بيئة حضرية، سيكون من الضروري تحديد قيم أعلى للارتفاع h_E. وفي البيئة الحضرية، قد تكون مسيرات المحطات الأرضية خارج المحور محجوبة بسبب الكم الكبير من

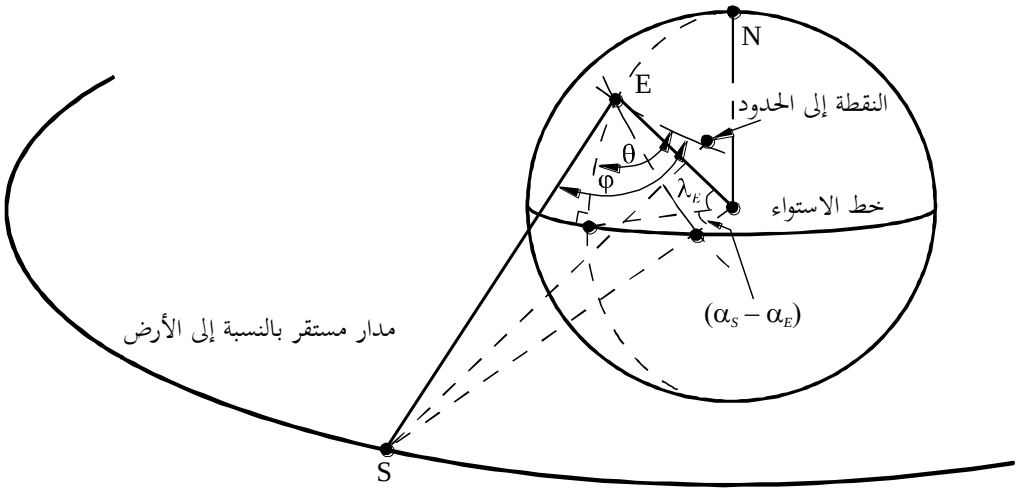
المباني. وفي أي حال من الأحوال، فإن هذا المستوى من التفصيل يتجاوز غرض الأسلوب 2. وينبغي أن يستند هذا الأسلوب إلى حالات النشر "العادية" وليس الحالات المتطرفة.

2.3 الزاوية خارج المحور للمحطة الأرضية لأقصى كثافة تدفق قدرة عند خط الساحل أو الحدود البرية

يبين الشكل 5 أن الزاوية خارج المحور تعتمد على الاتجاه نحو خط الساحل أو الحدود البرية وعلى زاوية السمت، a، وزوايا الارتفاع، e، التي يشير إليها هوائي المحطة الأرضية. ومن الشكل 6 يمكن أن نرى أن زاوية السمت، φ، تعتمد أيضاً إلى حد ما على زاوية ارتفاع، h، الأفق المحلي. ومن الأنماط المرجعية لقطاع الاتصالات الراديوية، نرى أن تمييز الهوائي يزيد بسرعة كبيرة نوعاً ما للزوايا الصغيرة نسبياً خارج المحور (تناسبياً مع $25 \log(\varphi)$)، ولكنه يميل إلى الثبات في حالة الزوايا الأكبر. ويعتمد اتجاه مسير أقل خسارة نحو خط الساحل أو الحدود البرية في جزء منه على جغرافية التضاريس بين الحدود والمحطة الأرضية — أي يميل مسير أقل خسارة إلى أن يكون في اتجاه زاوية السمت بالقرب من الاتجاه الذي يؤدي إلى أقصر مسافة للحدود، ويعتمد في جزء منه على طبيعة التضاريس (قد لا يتوافق مسير أقل خسارة مع أقصر مسير في التضاريس الجبلية). وإذا كان اتجاه أقصر مسير قريباً من زاوية السمت التي تشير إلى اتجاه هوائي المحطة الأرضية وكانت زاوية ارتفاع الهوائي منخفضة، فحتى إذا لم يكن أقصر مسير هو المسير ذو أقل خسارة، فيمكن تحقيق أعلى كثافة تدفق قدرة لأن أثر تمييز الهوائي يفوق أثر التضاريس. ولكن بما أن زاوية السمت، θ، لمسير أقل خسارة إلى الحدود يمكن أن تأخذ أي قيمة من صفر إلى ± 180° باتجاه الجنوب، فمن المفيد مراجعة كيف تختلف الزاوية φ مع θ للتوليفات المختلفة من a وe. وتعتمد قيمتا a وe على خط عرض المحطة الأرضية، λ_E، وعلى خط طولها، α_E، مقارنةً بخط عرض، α_S، الساتل الذي ترسل إليه.

الشكل 7

العلاقة بين الزاوية خارج المحور والتقويم الزاوي للنقطة على الحدود



1712-07

ومن الهندسة الواردة في الشكل 7، تم حساب الزاوية خارج المحور φ (عند h =0°) لقيم التقويم الزاوي بخطوات قدرها 5° من –180° إلى +180°، لمحطات أرضية على مختلف خطوط العرض، وفي كل حالة لمجموعة مختلقة من خطوط الطول بين المحطة الأرضية E والساتل الخاص بها S، وبالتالي يمكن تغطية معظم الأوضاع التي يمكن توقعها. وبالنظر إلى جميع المحطات الأرضية بصفة عامة، فإن جميع حالات التقويم الزاوي لمسير أقل خسارة إلى خط الساحل أو الحدود البرية يمكن أن تحدث بنفس القدر. وبالتالي من الممكن تحويل البيانات التي يتم الحصول عليها بهذه الطريقة إلى توزيعات احتمالية تراكمية للزاوية φ. وعن طريق تعديل هذه النتائج للسماح بأن تكون قيمة h = +3°، نخلص إلى أنه في حالة المحطات الأرضية الواقعة على خطوط عرض ±10°، على سبيل المثال، فإن φ تتجاوز 48° في حالة 96 في المائة من تقويمات زاوية السمت. وبالمثل فإن المحطات الأرضية الواقعة على خطوط عرض ±35°، فإن φ تتجاوز 48° في حالة 92 في المائة من تقويمات زاوية السمت، وبالنسبة للمحطات الأرضية الواقعة على خطوط عرض ±60°، فإن φ

تتجاوز 48° في حالة 91 في المائة من تقويمات زاوية السمت. وبما أن 48° هي الزاوية خارج المحور التي تتسطح فيها مخططات الكسب الواردة في التوصية ITU-R S.580، فيمكن حينئذ اعتبار أن تمييز هوائي المحطة الأرضية ثابتاً في 91 إلى 96 في المائة من الحالات. وتعتمد قيمة هذا التمييز على قطر الهوائي وترد في الجدول 1 للهوائيات ذات كفاءة قدرها 65 في المائة.

الجدول 1

أقصى تمييز للهوائيات من التوصية ITU-R S.580

قطر الهوائي (بالأمتار)	1,2	1,5	1,8	2,1	2,6	3,1	4,5
التمييز $(G_m - G(\varphi))$ for $\varphi \geq 48°$ (dB)	53,0	54,9	56,5	57,8	59,7	61,2	64,4

ومن نتائج الحسابات الواردة في الفقرة السابقة، خلص إلى أن القيم الدنيا للزوايا خارج المحور ستحدث لقيم θ غير بعيدة عن فرق خطوط الطول بين الساتل والمحطة الأرضية. ولذلك، على الرغم من أنه يمكن استعمال المنهجية الحالية "بسلامة" للغالبية العظمى من الحالات، فإذا كان موقع المحطة الأرضية على الكفاف ذي الصلة بالقدرة المشعة المكافئة المتناحية الخاصة به أو قريباً من وبحجم الهوائي المناسب وهناك ما يدعو إلى الاعتقاد بوجود مسير أقل خسارة لخط الساحل أو الحدود البرية (مثلاً المسير إلى أقرب نقطة في اتجاه زاوية سمت الساتل تقريباً) وزاوية الارتفاع إلى الساتل أقل من (h + 48°)، سيكون من الضروري إجراء حساب فردي لكثافة تدفق القدرة بدلاً من الاعتماد على الكفاف. غير أن ذلك لن يكون ضرورياً إلا في حالات قليلة للغاية، وأساساً حسب خط عرض البلد المقرر أن تنشر فيها المحطة الأرضية في الخدمة الثابتة الساتلية. وفي الحالات التي تعمل فيها المحطة الأرضية في الخدمة الثابتة الساتلية فوق زاوية ارتفاع معينة (مثلاً أعلى من h + 48° لنمط الهوائي الوارد في التوصية ITU-R S.580) ستكون كثافة القدرة المشعة المكافئة المتناحية نحو الأفق ثابتة لجميع زوايا السمت. وفي هذه الحالات، يمكن حساب الأكفة المقابلة للمسافة المطلوبة كدالة لقدرة الدخل إلى الهوائي وتكون مستقلة عن حجم الهوائي.

وفي الحالات الاستثنائية التي يكون فيها موقع المحطة الأرضية في حدود أو قريباً من الكفاف ذي الصلة بالقدرة المشعة المكافئة المتناحية وحجم الهوائي المناسب، وكانت زاوية الارتفاع أقل من 51° (أي 48° + 3°)، وكان تقويم زاوية السمت نحو الساتل قريباً من اتجاه مسير أقل خسارة إلى الحدود، فينبغي حساب الزاوية خارج الأفق، φ، من المعادلة $\varphi = \cos^{-1}[\cos(\theta - a) \cdot \cos(e) \cdot \cos(h) + \sin(e) \cdot \sin(h)]$ (درجات). وإذا كانت النتيجة أقل من 48°، فقد تتجاوز المحطة الأرضية حد كثافة تدفق القدرة عند الحدود بقيمة تساوي الفرق بين الكسب خارج المحور المستمد وفقاً للتوصية ITU-R S.580 لهذه الزاوية خارج المحور و–10 dBi، إذا كانت على الكفاف تماماً، أو أقل إذا كانت داخل الكفاف. ويمكن إزالة هذه الزيادة عن طريق إعادة تحديد موقع المحطة الأرضية إلى موقع داخل الكفاف بشكل أكبر، مما يؤدي إلى تخفيض القدرة المشعة المكافئة المتناحية، وإضافة حجب الموقع المحلي، أو مزيج من هذه العوامل أو هذه العوامل كلها، حسب الظروف. وفي أسوأ الحالات (غير المحتملة للغاية) عندما تكون e = 10°، وh = 3° وa = θ، ستكون هناك حاجة إلى تخفيف يصل إلى 17,9 dB.

3.3 الاعتبارات المتعلقة بالقدرة المشعة المكافئة المتناحية (E) للمحطة الأرضية

والعامل المتبقي الذي يتعين مراعاته في المعادلة (2) هي E. ولكفالة أن يتضمن أي كفاف معظم مستويات القدرة المشعة المكافئة المتناحية للمحطة الأرضية المحتمل أن ترسلها المحطات الأرضية ذات الأطباق الصغيرة في النطاق 14-13,75 GHz، يتم إجراء تحليل إحصائي للردود على الاستبيان الوارد في الرسالة الإدارية المعممة CA/90 الصادرة عن مكتب الاتصالات الراديوية بالنيابة عن فريق المهام المشترك 8-7-4 في عام 2002. وتستند هذه الردود إلى الممارسة الحالية في النطاق 14-14,5 GHz ولكنه من المعقول توقع أن يستعمل مخطط مماثل في النطاق 14-13,75 GHz. وأظهرت الردود انتشار هوائيات ذات أقطار معينة داخل المدى المشار إليه، وترد في الجدول 1. وبالتالي من المناسب تحليل البيانات في أربعة مديات لأقطار الهوائيات وهي 1,5-1,2 m، و2,1-1,5 m، و3,1-2,1 m، و4,5-3,1 m وتم الحصول على النتائج في شكل دالات احتمالية تراكمية تبين النسبة المئوية من المحطات الأرضية كدالة لأقصى قدرة مشعة مكافئة متناحية/10 MHz.

ومن هذه الدالات الاحتمالية التراكمية، استُنتج أن مدى E الذي يتعين مراعاته في هذه الحالة يبدأ من 83 dBW، وهو ما يغطي 90 في المائة من المحطات الأرضية ذات هوائيات بأقطار كبيرة (أقل من 4,5 m)، و35 dBW، الذي لا يغطي إلى 30 في المائة من المحطات الأرضية ذات هوائيات بأقطار صغيرة (أقل من 1,2 m).

4.3 أساس الأكفة

تسمح المعلومات الموجزة في الفقرتين 2 و3 أعلاه باستعمال المعادلة (2) في تحديد قيم منفصلة للثابت L، وخسارة المسير المطلوب تجاوزها في 99 في المائة من الوقت من أجل الوفاء بحد كثافة تدفق القدرة لعدد من الحالات المناسبة. ويحدد اشتقاق الأكفة المقابلة لقيم الثابت L بعد ذلك المنطقة من البلد التي يمكن فيها نشر محطات أرضية لا تتجاوز مستويات القدرة المشعة المكافئة المتناحية ذات الصلة، بدون تخفيف التداخل أو إجراء تحليل للموقع الفردي، ويتحقق الوفاء بحد كثافة تدفق القدرة تلقائياً في كل مكان عند خط الساحل أو الحدود البرية. وعن طريق التجربة والخطأ، خُلص إلى أن خمسة أكفة ستكون مناسبة في الحالات النموذجية، ويرد موجز لأسسها في الجدول 2 الذي تم تجميعه عن طريق المعادلة (2) والمعلومات المشار إليها في الفقرتين 2.3 و3.3.

الجدول 2

قطر هوائي المحطة الأرضية وتوليفات القدرة المشعة المكافئة المتناحية للأكفة المناسبة

الكفاف المرجعي	حجم قطر الهوائي (D m) و($G_m - G(48° \le \varphi \le 180°)$) لأدنى حجم				تجاوز خسارة المسير، L، 99 في المائة من الوقت (dB)
	$1,2 \le D < 1,5$ $G_m - G(\varphi) =$ 53,0 dB	$1,5 \le D < 2,1$ $G_m - G(\varphi) =$ 54,9 dB	$2,1 \le D < 3,1$ $G_m - G(\varphi) =$ 57,8 dB	$3,1 \le D < 4,5$ $G_m - G(\varphi) =$ 61,2 dB	
	E (dB(W/ 10 MHz))	E (dB(W/ 10 MHz))	E (dB(W/ 10 MHz))	E (dB(W/ 10 MHz))	
A	36,5 ≥	38,4 ≥	41,3 ≥	44,7 ≥	142,8
B	45,5 ≥	47,4 ≥	50,3 ≥	53,7 ≥	151,8
C	54,5 ≥	56,4 ≥	59,3 ≥	62,7 ≥	160,8
D	63,5 ≥	65,4 ≥	68,3 ≥	71,7 ≥	169,8
F	72,5 ≥	74,4 ≥	77,3 ≥	80,7 ≥	178,8

وبالتالي فإن المحطات الأرضية ذات هوائيات قطرها بين 2,1 m و3,1 m مثلاً التي ترسل قدرات مشعة مكافئة متناحية تصل إلى 59,3 dB(W/10 MHz) ستفي بحد كثافة تدفق القدرة عند خط الساحل أو الحدود البرية، بدون تخفيف التداخل، إذا كانت في أي موقع بعيداً عن خط الساحل أو الحدود البرية عن الكفاف المحدد بخسارة مسير بالغة 160,8 dB لا يتم تجاوزها لأكثر 1 في المائة من الوقت (المسير المرجعي C).

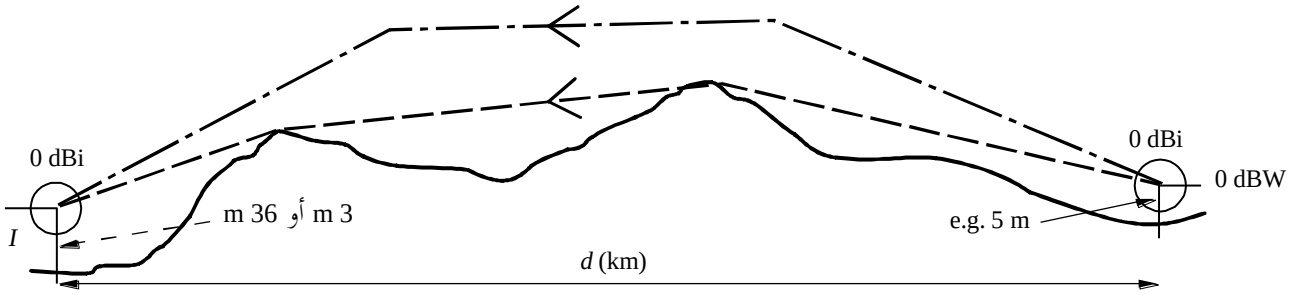
وباستعمال المعلومات الموجزة في الفقرتين 2 و3 من الممكن إجراء استكمال داخلي بين الأكفة استناداً إلى خسائر المسيرات الخمسة هذه. وبالإضافة إلى ذلك، بما أن قيم L الواردة في الصفوف المجاورة يفصل بينها 9 dB، يمكن استخلاص الفائدة من إضافة 9 dB أو 18 dB أو 27 dB من الحجب المحلي للموقع بالنسبة للمحطة الأرضية من الجدول؛ ووفقاً للمثال الوارد في الفقرات السابقة، فإن إضافة 9 dB من الحجب للموقع سيُمكّن من نشر المحطة الأرضية حتى الكفاف B أو أن تظل ضمن الكفاف C ولكن مع زيادة قدرتها المشعة المكافئة المتناحية حتى 68,3 dB(W/10 MHz).

5.3 حساب الأكفة

يمكن حساب الخسائر على مسير بري بإضافة (بالتوازي) آثار الانتشار في الفضاء الحر والامتصاص الغازي والانعراج والتوجيه التروبوسفيري والانعكاس عن الطبقات، وذلك باستعمال البيانات والخوارزميات الواردة في التوصية ITU-R P.452. ولضمان عدم تجاوز حد كثافة تدفق القدرة لموقع محطة أرضية معين لا بد من الاهتداء إلى الخط المؤدي إلى خط الساحل أو الحدود البرية الذي ينطوي على أقل خسارة. وفي أرض مستوية، سيكون ذلك الخط بين المحطة الأرضية وأقرب نقطة على خط الساحل أو الحدود البرية للبلد المجاور (والمشار إليها بكلمة "الحدود" في هذا القسم)، بيد أن الحال ليس كذلك دوماً حيث يتخلل تكون التضاريس الفاصلة من التلال متوسطة الارتفاع أو العالية. وبالتالي لا بد من قاعدة بيانات للبرمجيات تحوي الارتفاعات فوق سطح البحر لكامل المنطقة المعنية وبأدق استبانة ممكنة عملياً لحساب الأكفة. ويمكن استعمال التقنية التالية هنا.

فلو أخذنا المظهر الجانبي للتضاريس في الشكل 6 مثلاً، يمكن الاستعاضة عن نقطة قياس كثافة تدفق القدرة بمستقبل يغذيه هوائي استقبال متناحٍ، ويمكن الاستعاضة عن المحطة الأرضية التي ترسل الخدمة الثابتة الساتلية بهوائي إرسال متناح – كما في الشكل 8.

الشكل 8



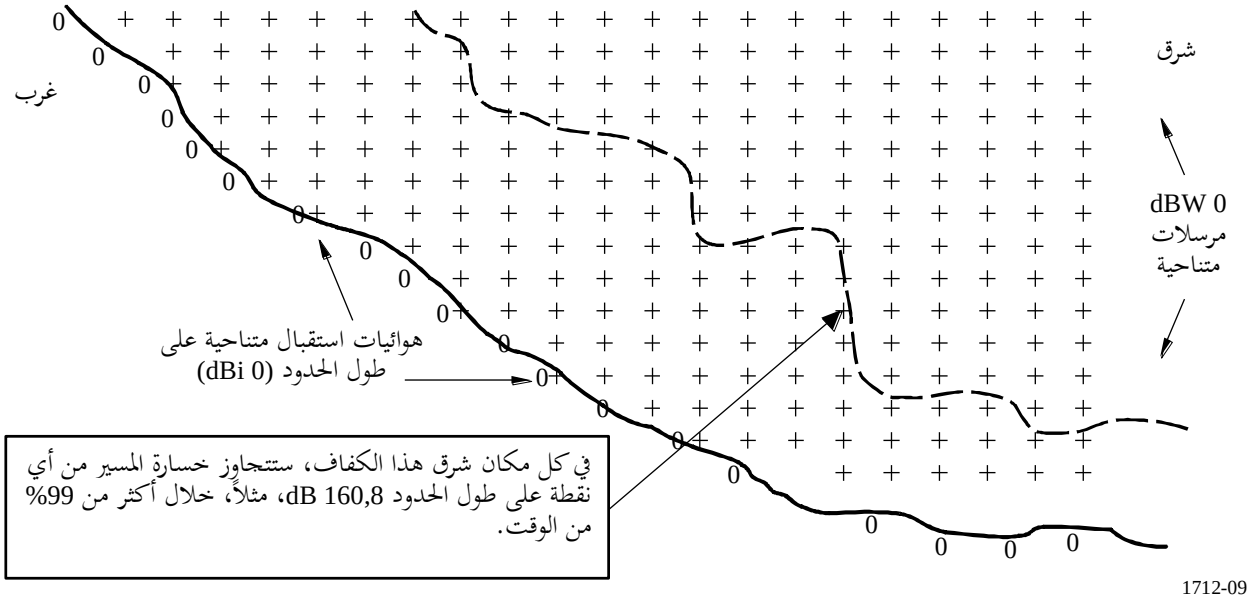
1712-08

وعندئذ، يعطى مستوى الإشارة المستقبَلة بالصيغة $I = 0 + 0 - L + 0$ dBW. وبعبارة أخرى فإن المستوى I بوحدة dBW يساوي رقمياً القيمة السالبة لخسارة المسير L بوحدة dB، والأمر كذلك بغض النظر عن اتجاه المستقبل بالنسبة إلى المرسل. وللأغراض الراهنة، ينبغي حساب I على النحو الوارد وصفه في التوصية ITU-R P.452-11 خلال 1 في المائة من الوقت.

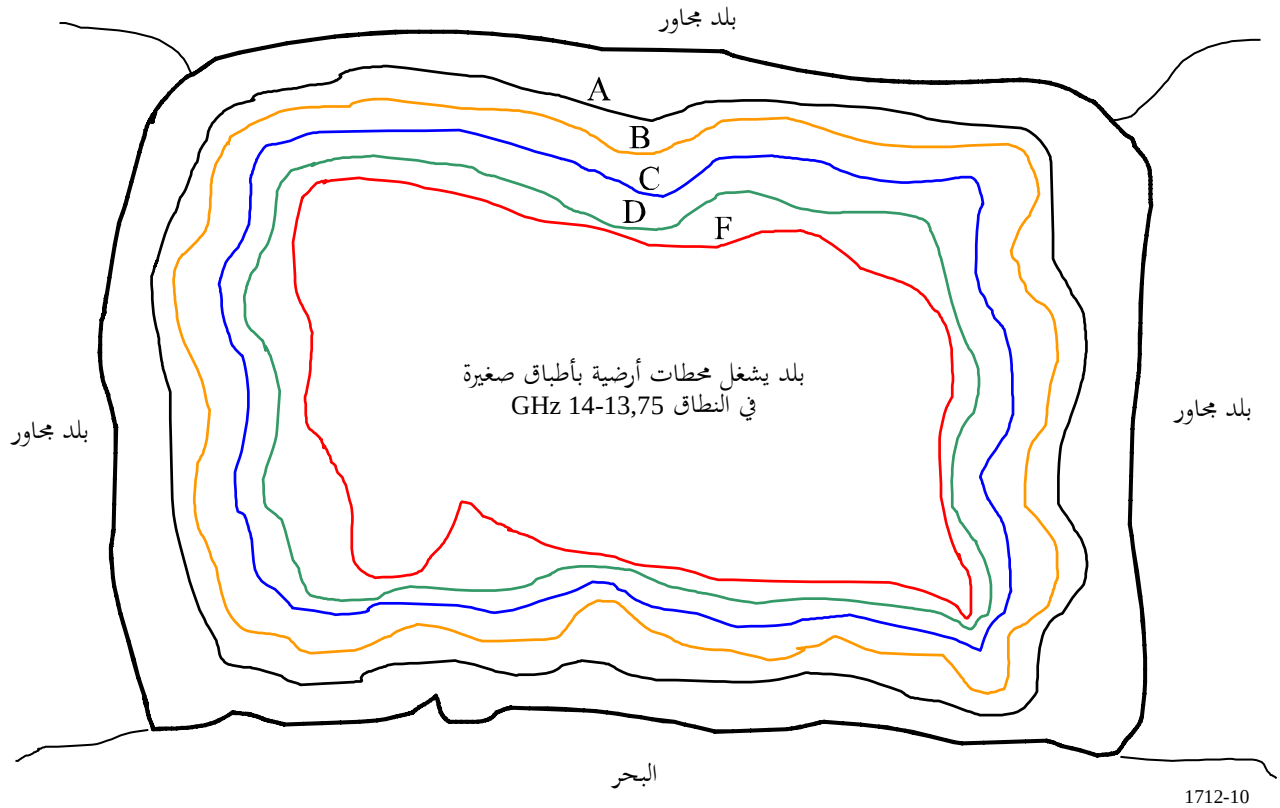
وينبغي بناء نموذج برمجي يضم قاعدة بيانات التضاريس للبلد أو المنطقة في دائرة الاهتمام، ويحوي مطاريف استقبال متناحية بفواصل صغيرة بصورة مناسبة على طول خط الساحل أو الحدود البرية. وينبغي إضافة شبكة من المشعات المتناحية بقدرة 0 dBW والمتباعدة بالتساوي بحيث تغطي كامل البلد أو المنطقة المعنية. ثم ينبغي حساب المساهمة المولدة من كل مُرسِل في المستوى I عند كل مُستقبِل باستعمال تقنيات التوصية ITU R P.452-11 لتقييم الخسارة التي يجري تجاوزها دوماً إلا في 1 في المائة من الوقت، وينبغي حفظ جميع القيم لكل مُستقبِل على حدة. وينبغي ترتيب البرمجيات لتحديد المساهمة الفردية القصوى لكل مُستقبِل في المستوى I، وأيضاً المرسِل الفردي في الشبكة المسؤولة عنه.[2] ثم يمكن بناء الكفاف بانتقاء المرسلات التي تكون فيها المساهمة القصوى في المستوى I أقرب إلى القيمة السالبة لخسارة المسير L المطلوبة، وذلك برسم خط بين هذه المرسلات. ولتحسين الدقة، يمكن استعمال الاستكمال الداخلي الخطي بين أزواج المرسلات التي تقابل المساهمات القصوى في المستوى I الأقرب إلى القيمة المستهدفة زيادةً أو نقصاناً، كما هو موضح في الشكل 9.

[2] تسمح الخاصية الأخيرة بتحديد مسير أقل خسارة إلى الحدود لأي نقطة على كفاف ما في الحالات التي يكون فيها شك في عدم الوفاء بحد كثافة تدفق القدرة. ومن المظهر الجانبي للتضاريس في هذا المسير، يمكن الحصول على قيمة h.

الشكل 9



الشكل 10



ويمكن تشغيل محطات أرضية تعمل بأطباق صغيرة في المنطقة الواقعة بين الكفاف وخط الساحل أو الحدود البرية إذا أمكن تطبيق تقنيات التخفيف من التداخل مثل التقيد بعدم استعمال إلا الموجات الحاملة ذات قدرة مشعة مكافئة متناحية أقل، أو حجب الموقع المحلي ولكن ذلك يحدَد على أساس كل حالة على حدة. وفي كل حالة من هذه الحالات يمكن استعمال المنهجية الحالية لتحديد المسير الذي يحقق أقل خسارة من الموقع إلى خط الساحل أو الحدود البرية وخسارة هذا المسير ويحدد ذلك درجة التخفيف المطلوبة.

وجدير بالذكر أنه في الحالات المعينة المقرر فيها استعمال محطات أرضية تعمل بأطباق صغيرة في موقع واحد في مدار مستقر بالنسبة إلى الأرض دائماً، يمكن حساب الأكفة لأنظمة معينة عن طريق تعديل المنهجية بحيث تشتمل كل نقطة (+) على الشبكة في الشكل 9 على هوائي يشير نحو هذا الموقع.

6.3 أمثلة على تطبيق المنهجية الموصوفة في الفقرات 1.3 إلى 5.3

استُعملت المنهجية السالفة الذكر لبناء نماذج لثماني مناطق، وذلك باستعمال رزمة برمجيات خاضعة لملكية خاصة تضم قاعدة بيانات التضاريس العالمية باستبانة أفقية قدرها كيلومتراً واحداً واستبانة رأسية قدرها متراً واحداً بهدف تغطية مجموعة متنوعة من مساحات البلدان وأنماط التضاريس والمناخ. ولكل نقطة استقبال على الساحل (استعمل في هذه الأمثلة خط الساحل) وضع الهوائي على ارتفاع 36 m وكان ارتفاع نقاط الاستقبال عند الحدود البرية قدره 3 أمتار. ومن أجل بناء أكفة تغطي كل منها المجموعة الكاملة من أحجام هوائيات المحطات الأرضية كان لا بد من اختيار ارتفاع واحد لجميع نقاط الإرسال. وتم اختيار ارتفاع إرسال قدره 11,2 m للحاسبات الحالية. وكانت جميع المناطق المختارة في أجزاء من العالم ذات كثافة سكانية عالية. وترد التفاصيل في الجدول 3.

الجدول 3

خصائص النماذج البرمجية المقامة

المنطقة الجغرافية	مساحة البلد	المناخ (1)(ΔN)	نمط التضاريس	تباعد المستقبلات (km)	فواصل شبكة المرسلات (km)	عدد المسيرات المحسوبة(2)
حوض المسيسيبي	كبيرة	معتدل (51)	غير جبلي	10	10	455 224
جنوب إنكلترا	متوسطة	معتدل (45)	متوسط الارتفاع	10	5	83 582
جنوب تركيا	متوسطة	معتدل (45)	جبلي	10	10	300 000
شمال غرب الهند	كبيرة	استوائي (60)	غير جبلي	10	10	702 450
وسط المكسيك	متوسطة	استوائي (60)	جبلي	10	10	691 114
كوبا	جزيرة طويلة وضيقة	استوائي (55)	متوسط الارتفاع إلى غير جبلي	10	10	346 626
جافا	جزيرة طويلة وضيقة	استوائي (60)	متوسط الارتفاع إلى جبلي	10	10	288 144
قبرص	جزيرة صغيرة	معتدل (50)	متوسط الارتفاع	6	4	252 960

(1) ΔN هو معدل انحدار مؤشر الانعراج الراديوي عبر أخفض كيلومتر واحد في الغلاف الجوي والذي يتوقف كثيراً على المناخ ويلزم لأسلوب حساب خسارة المسير الوارد في التوصية ITU-R P.452.

(2) أي عدد نقاط الإرسال في الشبكة مضروباً في عدد نقاط الاستقبال على الحدود.

ومن أجل الحصول على أكفة كاملة على النحو المبين في الشكل 10 من الضروري نمذجة الحدود الكاملة للبلد، وهو ما يتطلب في حالة البلدان الكبيرة إدراج عدد كبير من نقاط الإرسال والاستقبال وما يرتبط بذلك من أوقات طويلة للبناء والحساب. وبالإضافة إلى ذلك، ستكون هناك حاجة إلى الطباعة على ورق حجمه أكبر بكثير من A4 من أجل استعمال تلك الأكفة الكاملة بدقة. ومن الناحية المثلى، سيتم استعمال قاعدة بيانات للتضاريس ذات استبانة أعلى عن تلك المستعملة هنا، وللاستفادة منها، ينبغي أن يكون التباعد بين نقاط الإرسال المتجاورة وبين نقاط الاستقبال المتجاورة أصغر، مما سيزيد بشكل أكبر من أوقات النمذجة والحساب. ونظراً لهذه العوامل، من المرجح أن يكون من المناسب للإدارات أن تعد نماذج لأجزاء من البلد بصورة مستقلة، وخاصة إذا كانت هناك حاجة إلى أدق الأكفة التي يمكن الحصول عليها عملياً.

وترد في الأشكال 11 و12 و13 أمثلة على النتائج التي تم الحصول عليها بالنسبة للمناطق المدرجة في الجدول 3، والتي يُستشف منها الأكفة المقابلة لتوليفات القدرة المشعة المكافئة المتناحية للمحطة الأرضية. وتسهيلاً للأمر توسم الأكفة بالأحرف اللاتينية A وB وC وD وF على النحو المبين في الجدول 2 والشكل 10، وتُعرض بألوان متباينة تيسيراً لقراءتها.

واتضح إجمالاً أن المجموعة الكاملة من النتائج تبين على نحو كافٍ فعالية المنهجية المذكورة في هذا الملحق في تحديد المواقع التي يمكن للغالبية العظمى من المحطات الأرضية في الخدمة الثابتة الساتلية التي تستعمل النطاق GHz 14-13,75 أن توضع فيها دون تجاوز حدود كثافة تدفق القدرة الواردة في الرقم 502.5 من لوائح الراديو. غير أنه من المفضل لمشغلي الخدمة الثابتة الساتلية في البلدان المعنية أن يستعملوا خرائط أكثر تفصيلاً وقاعدة بيانات عالية الاستبانة للتضاريس وكثافة أكبر لنقاط الإرسال والاستقبال لكل نموذج، لتقييم المواقع التي تكون بالقرب من الأكفة.

الشكل 11، حوض المسيسيبي، الولايات المتحدة الأمريكية

كما هو متوقع، فإن الأكفة التي تحقق أقل قدرة مشعة مكافئة متناحية هي الأقرب من خط الساحل في حين تكون الأكفة ذات أكبر قدرة مشعة مكافئة متناحية هي الأبعد من خط الساحل. ويتراوح وسيط المسافات من خط الساحل ما بين km 30 للكفاف A إلى نحو km 130 للكفاف F، وبالتالي، تمثل المناطق الواقعة بين الأكفة وخط الساحل مساحات كبيرة إلى حد ما لا يمكن أن يُستعمل فيها النطاق GHz 14-13,75 بشكل قانوني من جانب المحطات الأرضية التي ترسل القدرة المشعة المكافئة المتناحية المشار إليها بدون حجب للموقع أو أي تقنية أخرى لتخفيف التداخل. وينشأ ذلك لأن التضاريس في حوض المسيسيبي مسطحة نسبياً وبالتالي تكون خسائر الانعراج قليلة نسبياً. ولحسن الحظ، فإن الولايات المتحدة الأمريكية بلد كبير، وبالتالي فإن نسبة أراضيها التي يتقيد فيها استعمال الخدمة الثابتة الساتلية صغيرة إلى حد ما.

الشكل 12، وسط المكسيك

إن المكسيك بلد جبلي ومعظم أراضيه فوق مستوى سطح البحر وهو ما يسمح بتشغيل المحطات الأرضية في الغالبية العظمى من أراضيه بدون تجاوز حد كثافة تدفق القدرة عند حدوده. وطبيعة التضاريس القريبة من الساحل الجنوبي تؤدي إلى اختلافات بسيطة بين الأكفة الخمسة ولن تواجه قيود في النطاق GHz 14-13,75 إلا المحطات الأرضية الواقعة في حدود km 20 في المتوسط من البحر. وبالقرب من الساحل الشمالي، ستواجه المحطات الأرضية قيوداً على مساحة كبيرة إلى حد ما نتيجة بعض الأراضي المنخفضة نسبياً حول وديان الأنهار، ولكن حتى في هذه المناطق، ستكون المسافات بين الكفاف والبحر أقل منها في شمال غرب الهند أو حوض المسيسيبي، على الرغم من المناخ الاستوائي.

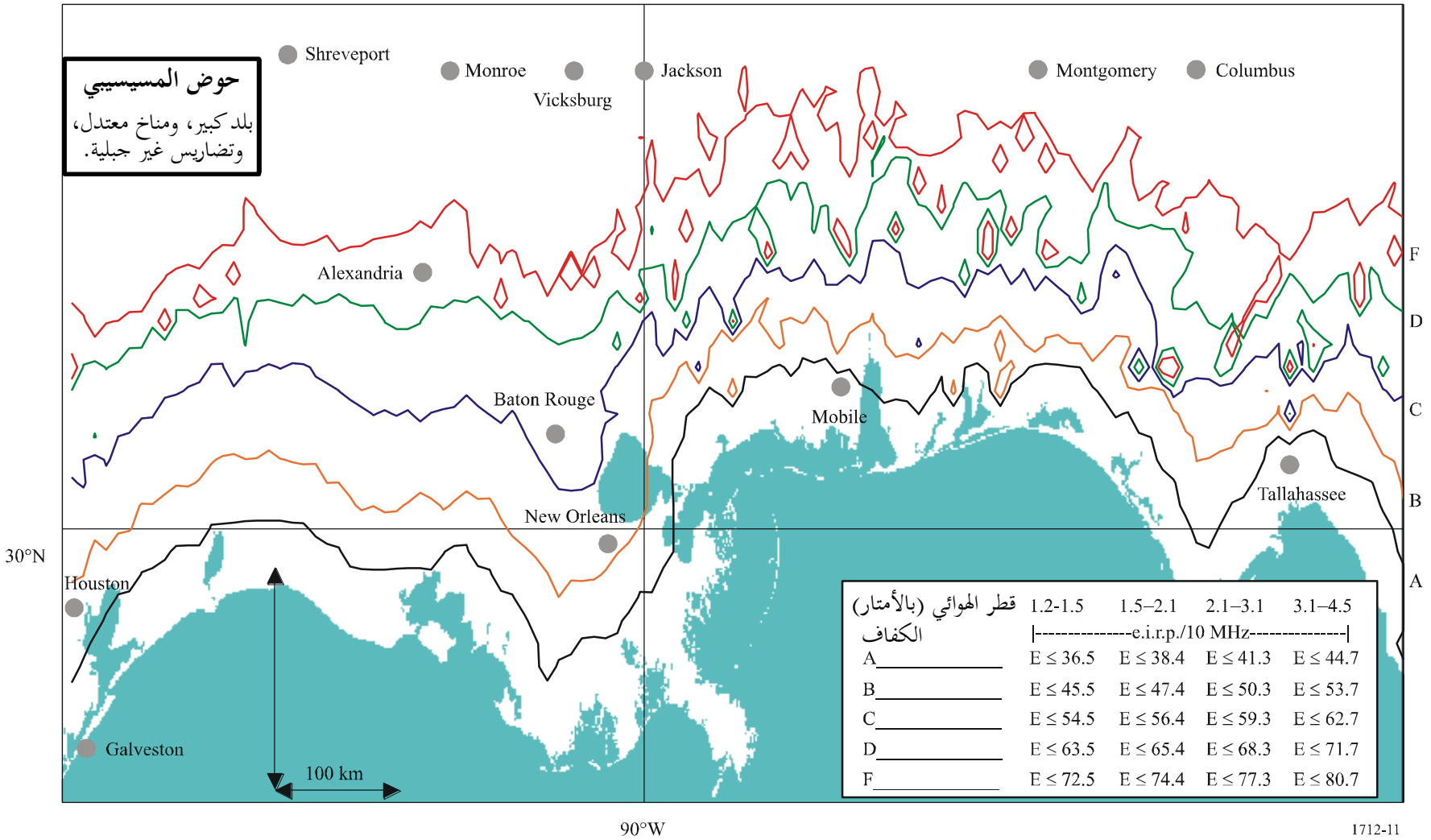
الشكل 13، كوبا (منطقة الكاريبي)

من الواضح أنه على الرغم من أن الكفاف A سيغطي معظم كوبا، فإن الأكفة B وC وD وF لا تغطي إلاّ أجزاء صغيرة أو صغيرة جداً من هذه الجزيرة الضيقة وبالتالي سيتعين استعمال إحدى تقنيات تخفيف التداخل الوارد وصفها في الملحق 4 ما لم يكن ذلك مقبولاً لتشغيل الموجات الحاملة منخفضة القدرة المشعة المكافئة المتناحية (انظر الجدول 2). ووفقاً لذلك، تم تعديل الحساب لتوفير كفاف إضافي G يقابل أقل خسارة مسير إلى خط الساحل لجميع الأوقات ما عدا 1 في المائة منها لقدرة dB 138، أي نحو dB 5 أقل من حالة الكفاف A. وهذا يعني أنه إذا كان بالإمكان تطبيق تخفيف للتداخل قدره dB 5 على محطة أرضية تتوافق مع الصف الأول من الجدول 2، فإن هذه المحطة ستفي بحد كثافة تدفق القدرة إذا وضعت في أي مكان داخل الكفاف G. وبالمثل، إذا كان بالإمكان تطبيق تخفيف للتداخل قدره dB 14 على محطة أرضية تتوافق مع الصف الثاني من الجدول 2 فيمكن وضع هذه المحطة الأرضية في أي مكان داخل الكفاف G. وdB 23 على محطة أرضية تتوافق مع الصف الثالث وما إلى ذلك.

وعلاوةً على ذلك، فإن تطبيق تخفيف للتداخل قدره dB 9 على أي محطة أرضية تتوافق مع أي من الصفوف الواردة في الجدول 2 سيسمح بوضعها في موقع يحدد وفقاً للصف الأعلى التالي في الجدول.

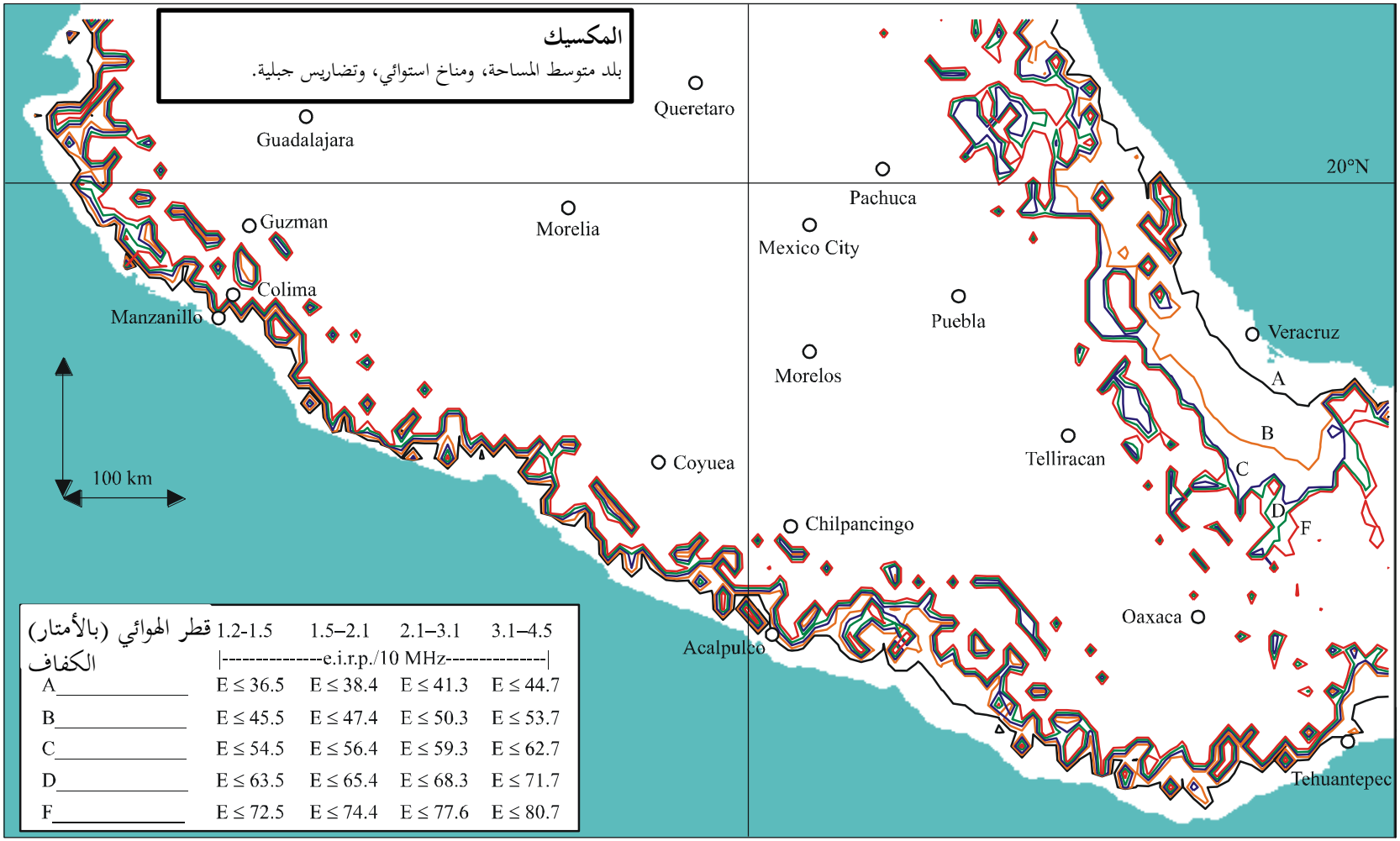
الشكل 11

الأكفة التي تفي بعدها المحطات الأرضية بحد كثافة تدفق القدرة البالغ –115 dB(W/m2 · 10 MHz) بدون حجب عند الساحل في 99 في المائة من الوقت



الشكل 12

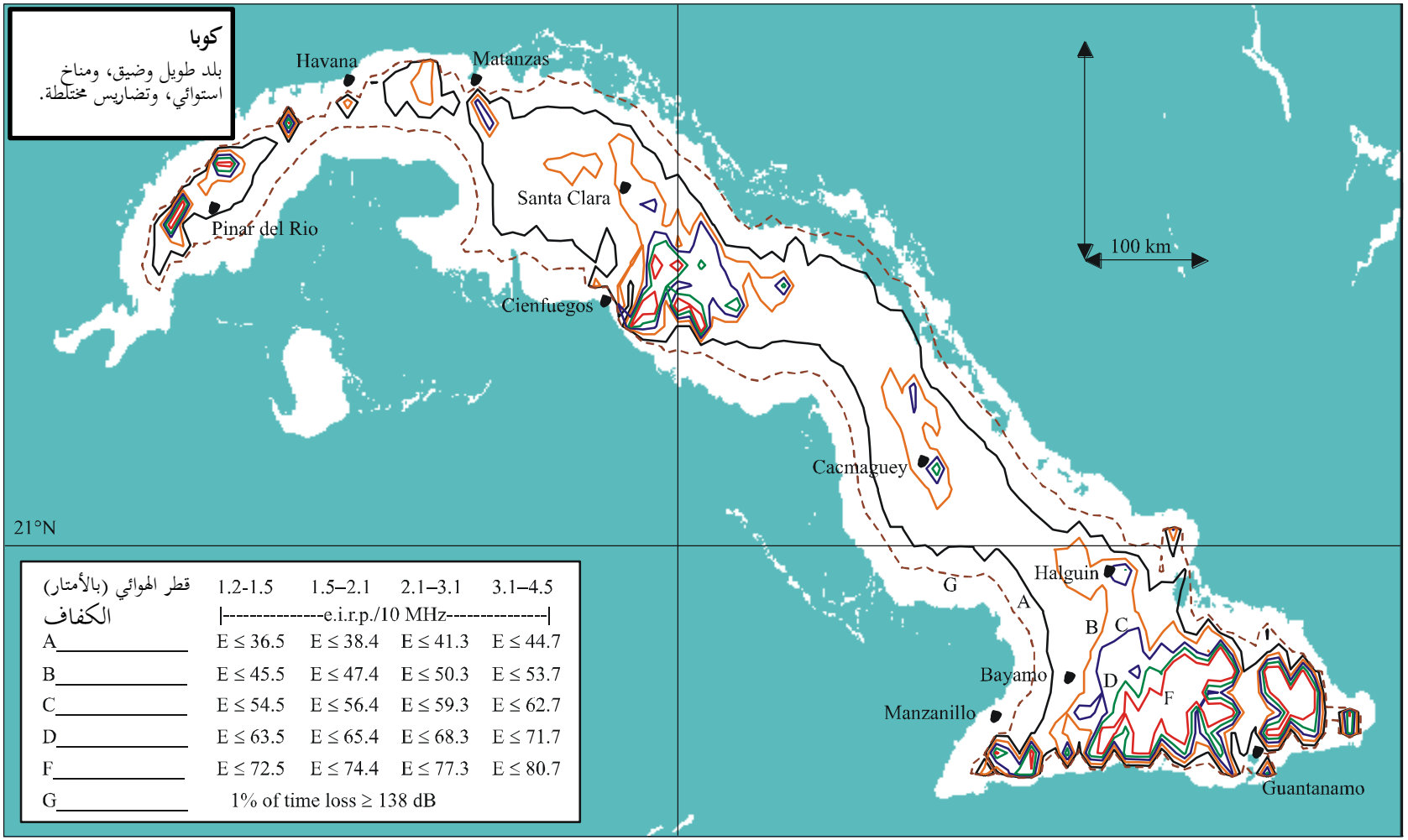
الأكفة التي تفي بعدها المحطات الأرضية بحد كثافة تدفق القدرة البالغ –115 dB(W/m2 · 10 MHz) بدون حجب عند الساحل في 99 في المائة من الوقت



قطر الهوائي (بالأمتار) الكفاف	1.2-1.5	1.5–2.1	2.1–3.1	3.1–4.5
	e.i.r.p./10 MHz			
A	E ≤ 36.5	E ≤ 38.4	E ≤ 41.3	E ≤ 44.7
B	E ≤ 45.5	E ≤ 47.4	E ≤ 50.3	E ≤ 53.7
C	E ≤ 54.5	E ≤ 56.4	E ≤ 59.3	E ≤ 62.7
D	E ≤ 63.5	E ≤ 65.4	E ≤ 68.3	E ≤ 71.7
F	E ≤ 72.5	E ≤ 74.4	E ≤ 77.6	E ≤ 80.7

الشكل 13

الأكفة التي تفي بعدها المحطات الأرضية بحد كثافة تدفق القدرة البالغ –115 dB(W/m2 · 10 MHz) بدون حجب عند الساحل في 99 في المائة من الوقت



الملحق 3

الأسلوب 3: أسلوب للتحقق من امتثال المحطة الأرضية في الخدمة الثابتة الساتلية لحدود كثافة تدفق القدرة المنصوص عليها في الرقم 502.5 من لوائح الراديو استناداً إلى تحليل لمواقع محددة

1 اعتبارات عامة

يتمثل هذا الأسلوب في إجراء تحليل لمواقع محددة لكل محطة أرضية في الخدمة الثابتة الساتلية من المقرر نشرها. ويمكن للنشر أن يمضي قدماً إذا ما بيّن التحليل أن المحطة الأرضية قادرة على الوفاء بحد كثافة تدفق القدرة المنصوص عليه في الرقم 502.5 من لوائح الراديو. ويتم التحليل باستعمال بيانات التضاريس الرقمية إلى جانب معلمات المحطة الأرضية التي تقدم الخدمة الثابتة الساتلية ونماذج الانتشار المناسبة وأي تقنيات توهين أخرى نتيجة حجب من الطبيعية أو من صنع الإنسان. ولا يُتوقع استعمال الأسلوب 3 إلا عند تعذر إثبات أن موقع النشر المحتمل يفي بحدود كثافة تدفق القدرة، باستعمال الأسلوب 1 أو الأسلوب 2.

2 وصف الأسلوب 3

المرحلة 1: المطلوب هو البيانات الرقمية للتضاريس التي تشمل موقع المحطة الأرضية والمنطقة المحيطة بها. وينبغي أن تغطي البيانات منطقة كافية لتنفيذ تحليل معقول لكثافة تدفق القدرة. ويوصى بألا تقل استبانة البيانات الرقمية المستعملة للتضاريس عن 30 ثانية قوسية أفقياً ومتر واحد رأسياً (مثلاً GTOPO30 أو GLOBE). وإذا توافر نموذج باستبانة أعلى للإدارة المعنية، فيشجع على استعماله.

المرحلة 2: وستلزم لإجراء التحليل معلمات المحطة الأرضية في الخدمة الثابتة الساتلية المقرر نشرها. وتشمل المعلمات حجم هوائي المحطة الأرضية، وارتفاع الهوائي فوق التضاريس، والكثافة الطيفية للموجة الحاملة والتخصيصات الساتلية المستقرة بالنسبة إلى الأرض. أما مخطط الإشعاع المناسب للمحطة الأرضية المرجعية لهذا الأسلوب فيمكن أن يكون ذلك الذي يوفره مشغل المحطة الأرضية أو ذاك الوارد في التوصيات ذات الصلة لقطاع الاتصالات الراديوية. وجدير بالذكر أنه إذا كان من المتوخى أن يكون للمحطة الأرضية اتجاهات تسديد شديدة الاختلاف، سواء كان ذلك بسبب إعادة تخصيصها في المستقبل أو إذا كانت هناك حاجة إلى ساتل مستقر بالنسبة إلى الأرض أثناء النشر الأصلي، سيتعين في هذه الحالة إجراء تحليل لمواقع محددة لكل من اتجاهات التسديد هذه.

المرحلة 3: وكما في الأسلوبين الأولين، فنموذج الانتشار الأكثر ملاءمة لتحليل المواقع المحددة هو التوصية ITU-R P.452-11.

المرحلة 4: وتتيح معلمات المحطة الأرضية في الخدمة الثابتة الساتلية، والبيانات الرقمية للتضاريس، ونماذج الانتشار حساب خسارة المسير في جميع الاتجاهات حول الموقع المحتمل. ويبيّن ذلك بدوره كثافة تدفق القدرة الصادرة عن المحطة عند خط الساحل أو الحدود البرية للبلد المجاور. وإذا تحقق معيار كثافة تدفق القدرة الوارد في الرقم 502.5 من لوائح الراديو، يمكن للنشر أن يمضي قدماً. وبخلاف ذلك، قد تدعو الحاجة إلى تطبيق تقنيات إضافية لتخفيف التداخل. وجدير بالذكر أن النشر قد يكون صعباً في بعض المواقع، وخاصة تلك التي تكون في خط البصر مباشرة لخط الساحل أو الحدود البرية. ويمكن تطبيق التوهين الإضافي الناتج عن الحجب من الطبيعة أو من صنع الإنسان على هذا الأسلوب. وسيتطلب تحديد المستوى الدقيق للتوهين من حجب الموقع المزيد من الدراسة مع مجموعة من التحليلات باستعمال النماذج المذكورة أعلاه.

المرحلة 5: إجراء مسح للموقع يقيس المظهر الجانبي للأفق حول المحطة الأرضية يمكن من خلاله قياس الحجب المحلي للموقع والتضاريس الفعلية وتطبيقه في الحسابات لتحديد كثافة تدفق القدرة عند خط الساحل أو الحدود البرية الناتجة عن المحطة.

الملحق 4

اعتبارات إضافية للبلدان الصغيرة والضيقة جغرافياً للوفاء بمعايير الرقم 502.5 من لوائح الراديو و/أو كأساس لإبرام اتفاقات ثنائية لتجاوز الحدود الواردة في الرقم 502.5 من لوائح الراديو

1 اعتبارات عامة

إذا كان بلد ما صغيراً أو ضيقاً جغرافياً، فقد تستبعد الأكفة القائمة على الأسلوبين 1 و2 (الملحقان 1 و2) معظم الأراضي.

والقرار (WRC-03) 144 يقرر أنه يجوز لإدارات البلدان الصغيرة أو الضيقة جغرافياً أن تتجاوز حدود كثافة تدفق القدرة للمحطات الأرضية في الخدمة الثابتة الساتلية عند خط الساحل المذكور في الرقم 502.5 إذا كان هذا التشغيل يراعي الاتفاقات الثنائية المبرمة مع الإدارات التي تشغّل أنظمة بحرية للتحديد الراديوي للموقع في النطاق GHz 14-13,75.

وتعرض الأقسام التالية تدابير يمكن أن تتخذها الإدارات للوفاء بمتطلبات الرقم 502.5 من لوائح الراديو. وينبغي مراعاة نفس هذه الاعتبارات في المناقشات الثنائية المتعلقة بالبلدان الصغيرة أو الضيقة جغرافياً. وبما أن الظروف تختلف اختلافاً كبيراً من بلد لآخر، فلن تتم محاولة التعميم هنا. ومن المستصوب النظر في كل حالة على بناءً على أسسها الموضوعية واتخاذ قرار بشأن الإمكانيات التي يتعين وضعها في الاعتبار وإلى أي مدى يمكن تطبيقها.

2 تقييد التشغيل في النطاق GHz 14-13,75 على الموجات الحاملة متوسطة أو منخفضة القدرة المشعة المكافئة المتناحية

يمكن استعمال الجدول 4 لتحديد التخفيض في أقصى قدرة مشعة مكافئة متناحية يمكن تحقيقها عن طريق تقييد نسبة الموجات الحاملة في النطاق GHz 14 مقارنةً بتلك العاملة في النطاق GHz 14-14,5. وللحصول على هذه النتائج، استُعملت البيانات المتاحة لتجميع التوزيعات التراكمية بإعطاء نسب مئوية للمحطات الأرضية مقابل القدرة المشعة المكافئة المتناحية/MHz 10 لكل من المديات الأربعة لحجم الهوائي. وبالتالي، عن طريق عدم استغلال فرصة نشر 20 في المائة من المحطات الأرضية ذات قطر هوائي بين m 1,2 وm 1,5 والتي ترسل مستويات قدرة مشعة مكافئة متناحية عند الحد الأعلى من المدى، يمكن تشغيل جميع المحطات الأرضية الأخرى حتى كفاف يقابل قيمة خسارة دنيا للمسير قدرها dB 9 إلى الحدود، بدون تجاوز حد كثافة تدفق القدرة في أي موقع على الحدود.

الجدول 4

التخفيضات في أقصى قدرة مشعة مكافئة متناحية/MHz 10 – القيود بالنسبة إلى الموجات الحاملة

مدى قطر الهوائي	التخفيض في نسبة الموجات الحاملة			
	100% إلى 80%	80% إلى 60%	60% إلى 40%	40% إلى 20%
$1{,}2\ \text{m} \le D < 1{,}5\ \text{m}$	55 – 46 = 9 dB	46 – 42 = 4 dB	42 – 39 = 3 dB	39 – (-2) = 41 dB
$1{,}5\ \text{m} \le D < 2{,}1\ \text{m}$	70 – 49 = 21 dB	49 – 47 = 2 dB	47 – 47 = 0 dB	47 – 43 = 4 dB
$2{,}1\ \text{m} \le D < 3{,}1\ \text{m}$	85 – 61 = 24 dB	61 – 52 = 9 dB	52 – 52 = 0 dB	52 – 52 = 0 dB
$3{,}1\ \text{m} \le D < 4{,}5\ \text{m}$	95 – 71 = 24 dB	71 – 63 = 8 dB	63 – 56 = 7 dB	56 – 47 = 9 dB

وإذا كان بالإمكان قبول تخفيض نسبة المحطات الأرضية في مدى معين لأحجام الهوائيات التي تعمل بخلاف ذلك بين النطاقين GHZ 13,75 و14 GHz، فيمكن تحديد التخفيض المقابل في أقصى قدرة مشعة مكافئة متناحية بهذه الطريقة، وحساب الكفاف ذي الصلة على النحو الوارد وصفه في الملحق 2. وسيشمل الكفاف المزيد من البلدان الصغيرة جغرافياً المعنية عما يكون الحال إذا لم يُقبل القيد.

3 تطبيق الحجب المحلي للموقع على المحطات الأرضية

من الممكن خفض أدنى تداخل عند خط الساحل أو الحدود البرية للبلد المجاور ناتج عن أي محطة أرضية داخل البلد بإضافة توهين الحجب لموقع هذه المحطة الأرضية. ويمكن تطبيق ذلك إما عن طريق وضع الهوائي خلف مبنى أو عائق آخر في اتجاه أقرب نقطة التي يتعين فيها الوفاء بكثافة تدفق القدرة، أو عن طريق إضافة حجب من مواد التوهين على هذا الجانب. وبالنظر إلى أن مدى إمكانية تطبيق و/أو جدوى تكاليف هذه التدابير يعتمد على الظروف، فلا يمكن تقييم مدى قابليتها للتطبيق إلا على أساس كل حالة على حدة. وعلى الرغم من أن الحجب من أمام الهوائي سيخفض التداخل نحو الأفق، فلا يمكن تعويض الفائدة إلا بتعزيز الإشارة نتيجة انعكاسات من مبان أو أشياء أخرى في المنطقة القريبة من الهوائي. وعلاوةً على ذلك من الصعب الحصول على حجب فعّال إذا كان الهوائي يعمل على ارتفاع منخفض نسبياً وكان أقرب جزء من الحدود يقع عموماً في اتجاه خط الاستواء. وثمة عامل آخر هو التكلفة المرتبطة إما بالوضع خلف مبنى أو إضافة حاجب اصطناعي ستؤدي إلى زيادة تكلفة مطراف الطبق الصغير بنسبة مئوية كبيرة.

وقد استعرض قطاع الاتصالات الراديوية الحجب وتوهينات " التكدّس" باستعمال الخوارزميات العملية الواردة في التوصيتين ITU-R P.452 وITU-R P.526 ومقارنتها بنتائج القياس المبلغ عنها في المملكة المتحدة في عام 1995. وكانت الخلاصة المؤقتة لقطاع الاتصالات الراديوية هي أنه في الحالات التي كان يمكن فيها تطبيق ذلك، كان التوهين المتاح من حجب المباني قدره عادة 5 dB و20 dB حسب الظروف، ومن غير المحتمل أن يتجاوز 25 dB. وهناك حاجة إلى المزيد من العمل لتأكيد هذه الخلاصة وتوسيع إمكانيات حجب الموقع.

وبعد تقدير درجة توهين حجب الموقع (dB A) المتاح لموقع معين واستعمال المنهجية الواردة في الملحق 2 للحصول على حجم واتجاه أقل خسارة (L) إلى الحدود، يمكن إعادة ترتيب المعادلة (2) وإدراج A لتحديد أقصى قدرة مشعة مكافئة متناحية/MHz 10 يمكن أن ترسلها المحطة الأرضية في هذا الموقع بدون تجاوز حدود كثافة تدفق القدرة المنصوص عليها في الرقم 502.5 من لوائح الراديو، أي $E = L + A + (G(\varphi) - G_m) - 159{,}29$ dBW.

4 اختيار قطر هوائي المحطة الأرضية

إذا كان التوهين في اتجاه مسير أقل خسارة إلى خط الساحل أو الحدود البرية لبلد مجاور غير كافٍ للوفاء بحدود كثافة تدفق القدرة من جانب محطة أرضية من المقرر نشرها، ولكن بقدر بسيط فقط، فإن أحد الحلول يكمن في استعمال هوائي أكبر بقليل عما يكون مطلوباً في الحالات الأخرى. وسيسمح ذلك بخفض قدرة المرسل بقيمة مكافئة للفرق في كسب الهوائي، وبالتالي خفض القدرة المشعة المكافئة المتناحية خارج المحور بنفس القدر. ونظراً لأن كسب الهوائي متناسب مع مربع القطر، D، فإن الجدول 5 يعرض بعض التغييرات على D لتعويض التجاوز المحتمل لحدود كثافة تدفق القدرة في المدى المحتمل ذي الصلة.

الجدول 5

الزيادات في قطر الهوائي المطلوبة لتعويض عجز التوهين

تجاوز كثافة تدفق القدرة التي يتعين تعويضها	dB 1				dB 2				dB 3				dB 4			
القطر الأساسي للهوائي (بالأمتار)	1,2	1,5	1,8	2,1	1,2	1,5	1,8	2,1	1,2	1,5	1,8	2,1	1,2	1,5	1,8	2,1
القطر البديل للهوائي (بالأمتار)	1,35	1,68	2,02	2,36	1,51	1,89	2,27	2,64	1,70	2,12	2,54	2,97	1,90	2,38	2,85	3,33

5 التماس ترتيبات ثنائية لتجاوز حدود كثافة تدفق القدرة

إذا كان البلد صغيراً، فإن طول الحدود التي يمكن أن تتعرض فيها مطاريف الرادارات في البلدان المجاورة أو في البحر لتداخل من المحطات الأرضية في الخدمة الثابتة الساتلية في البلد يكون صغيراً أيضاً، وبالتالي، يكون الأثر العام لخدمة تحديد الموقع الراديوي صغيراً بنفس القدر. ولذلك، قد يكون من الممكن لبلد صغير وضع مطاريف في النطاق GHz 14-13,75 في المنطقة التي يتم فيها تجاوز حدود كثافة تدفق القدرة حتى حجم معين، مثل dB 5 أو dB 10.

ومن ناحية المفهوم، يبدو من الممكن التوصل إلى اتفاق لتخفيف جزء النسبة المئوية من الوقت المتعلق بحد الكثافة، بدلاً من تخفيف مستوى كثافة تدفق القدرة، على سبيل المثال للسماح بعدم تجاوز –115 ($dB(W/m^2)$) مثلاً 5 في المائة من الوقت بدلاً من 1 في المائة من الوقت. غير أن دراسات قطاع الاتصالات الراديوية أظهرت أن الأكفة لمدى صغير من مستويات خسارة المسير المحددة تتغير تغيراً بسيطاً، على الأقل في حالة التضاريس المتوسطة في المناخ المعتدل، إذا زادت النسبة المئوية من الوقت عن نحو 0,5 في المائة (على الرغم من أنها تميل إلى أن تتدهور تدهوراً كبيراً من منظور الخدمة الثابتة الساتلية إذا تم تخفيض النسبة المئوية من الوقت إلى أقل من هذا الرقم). وبالتالي، في حين أنه يبدو من الناحية العملية أن من المفيد النظر في زيادة مستوى كثافة تدفق القدرة زيادات طفيفة، فمن غير المرجح أن تكون زيادة النسبة المئوية من الوقت مفيدة لمواصلة المناقشات الثنائية بشأنها.

6 التماس اتفاقات ثنائية للتنازل عن حد كثافة تدفق القدرة لجزء من النطاق

إذا كانت إشارات الرادار المتنقل الفردية في حدود النطاق GHz 14-13,75 تشغل نطاقات عرض أقل بكثير من MHz 250، قد يكون من الممكن لبلد صغير أن يقيد استعماله للخدمة الثابتة الساتلية على جزء من النطاق، وألا تستعمل إدارة أخرى إلا الجزء المتبقي من النطاق لمطاريف راداراتها المتنقلة عندما تكون بالقرب من البلد الصغير. ويكون ذلك في شكل تجزؤ محدود للنطاق.

وخلال التحليل الإحصائي للبيانات المتاحة، لوحظ أن الغالبية العظمى من المحطات الأرضية العاملة في النطاق GHz 14 بهوائيات قطرها في حدود m 4,5-1,2 ترسل موجات بعرض نطاق يقل عن MHz 10 وأن عدداً قليلاً جداً يرسل موجات حاملة بعرض نطاق يزيد عن MHz 36. والمعيار المستعمل في لجنة الدراسات 8 لقطاع الاتصالات الراديوية لحماية مطاريف الرادارات في النطاق GHz 14 في نسبة *I/N* قدره –6 dB لعرض نطاق يبلغ MHz 10 ويشير ذلك إلى أن عرض نطاق إشارات الرادارات النموذجية في النطاق GHz 14-13,75 قدره MHz 10. وبالتالي يبدو أن هناك مجالاً للاتفاقات الثنائية تقوم على أساس تجزؤ النطاقات على الرغم من أن ذلك يمكن أن يعتبر ملجأ أخيراً بالنظر إلى أنه سيخفض حجم الطيف المتاح للخدمتين على الرغم من أن ذلك لن يكون إلا في البلدان الصغيرة أو حولها. غير أنه ينبغي وضع الرقم 502.5 من لوائح الراديو في الاعتبار عند النظر في خيارات تجزؤ النطاقات.

_____