



## **Betekintés a szélessávú vezeték nélküli többcsatornás hangrendszerek (WMAS) és a keskenysávú vezeték nélküli berendezések frekvenciakoordinációjának módszertanába**

Szerző: Dr. Andreas Wilzeck



*Dr. Andreas Wilzeck a Sennheiser electronic GmbH & Co. KG spektrumpolitikai és szabványügyi részlegének vezetője, aki Németországban, a hannoveri Gottfried Wilhelm Leibniz Egyetem Villamosmérnöki és Informatikai Karán szerzett tudományos fokozatot (PhD) a vezeték nélküli kommunikációs technológia területén. Wilzeck több mint 10 éve tevékenykedik a vezeték nélküli megoldások szabványosítása és szabályozása terén – többek között az ETSI, a 3GPP, a CEPT és az ITU-R bizottságban.*

### **Bevezetés**

A vezeték nélküli mikrofonokhoz, illetve vezeték nélküli fülmonitor rendszerekhez használt rádióspektrum általában megosztott erőforrás. Ezek a professzionális hangtechnikai alkalmazások az általuk használt spektrumon más rádiós szolgáltatásokkal és felhasználókkal (pl. műsorszórás, rádiócsillagászat, katonaság stb.) osztoznak. A professzionális vezeték nélküli mikrofonok és monitorrendszerek számára rendelkezésre álló TV-UHF spektrum a helyi médiaszolgáltatásoktól és egyéb alkalmazásoktól függően helyszínenként jelentős mértékben eltérhet egymástól. Míg a frekvenciafelosztást a nemzeti szabályozó hatóságok határozzák meg és felügyelik, a rendezvényeken, illetve helyszíneken használandó rádiófrekvenciák összehangolása aszerint történik, hogy a helyszínen lévő vezeték nélküli eszközök felhasználói mindannyian interferenciamentesen tudják működtetni eszközeiket.

A frekvenciakoordináció feladatát általában egy szakértő (vagy egy szakértői csapat) veszi át a rendezvény szervezőjétől vagy a helyszín (pl. színház) üzemeltetőjétől. Ez a „frekvenciakoordinátor” vagy RF-menedzsernek nevezett szakértő központi szerepet tölt be minden, a rendezvények vagy helyszínek kapcsán felmerülő, frekvenciával kapcsolatos kérdésben. Feladata az összes frekvenciával kapcsolatos dolog kommunikálása, felügyelete és kezelése. Ő gyűjti be a felhasználóktól érkező kéréseket, ő tervezi meg és számítja ki a használandó frekvenciákat, ő rendel hozzá a frekvencia-erőforrásokat a felhasználókhoz, kíséri figyelemmel az interferenciaszinteket, kezeli és hárítja el a felmerülő interferencia problémákat, illetve felügyeli a rendezvények előtt és alatt a megfelelő frekvenciahasználatot.

A frekvenciakoordinátorok a hanggal kapcsolatos kérdésekért felelős hangmérnökökkel kéz a kézben dolgoznak. A hangmérnökök felügyelik az élőhangot igénylő eseményeken (koncertek, vállalati rendezvények, színházi előadások és sportesemények) a beszerelést, intézik a beállást, valamint a front- és monitorkeverést.

Fontos megjegyezni, hogy miközben az események egyre nagyobbak és összetettebbek, a vezeték nélküli mikrofonok és fülmonitorrendszerek számára rendelkezésre álló rádióspektrum a



szabályozási döntések miatt folyamatosan csökken. Napjainkban a frekvenciakoordinátorok sokkal nagyobb kihívással néznek szembe, miközben kevesebb erőforrás áll rendelkezésükre, és jobban ki vannak téve a szomszédos sávokból eredő interferenciának. Például a frekvenciatávolság és szétválasztás tekintetében a vezeték nélküli mikrofonok és monitorrendszerek összehangolásánál gondot jelenthet a szomszédos frekvenciatartományokban működő mobiltelefonok használata.

A szabadtéri fesztiválokhoz képest a beltéri helyszínek – pl. színházak, médialétesítmények vagy zenei klubok – frekvenciatervezése sokkal könnyebben kezelhető, mivel maga az épület bizonyos védelmet és csillapítást biztosít, és az RF környezet jobban szabályozható, mint a szabadban. Egy broadcast stúdió frekvenciáinak összehangolása például inkább az egyes stúdiók stabil frekvenciatervezéséről és a helyszínen használt vezeték nélküli alkalmazásokról szól. Egy-egy alkalmi fesztivál vagy rendezvény során viszont számos olyan különböző felhasználó frekvenciaigényével kell foglalkozni, akik csupán arra az adott eseményre jönnek össze.

A frekvenciakoordinátoroknak mindkét esetben foglalkozniuk kell a produkció szempontjából fontos egyéb berendezések (pl. videojel-átalakítók vagy video-/fényjel átalakítók (elosztók és összegzők) által okozott esetleges interferenciával.

### **Kiindulási pontunk – a csökkenő rádióspektrum-erőforrások egyre nagyobb problémát jelentenek a nagyszabású rendezvények és létesítmények számára**

A digitális „spektrumnyereségre” vonatkozó előírások (Digital Dividend I. és II.) miatt az Európai Unióban a potenciálisan rendelkezésre álló 1 GHz alatti TV-UHF-sáv erőforrások 392 MHz-ről 233 MHz-re csökkentek (a 800 MHz-es Duplex Gap sávot is beleértve). A professzionális vezeték nélküli audioeszközök számára az erőforrások mindössze 59,4%-a maradt fent. Az arány valójában még ennél is kisebb, mivel a 700-800 MHz-es tartományban működő műsorszóró állomásokat is a 470-694 MHz-es sávba helyezték át, melynek következtében még zsúfoltabb a RF-környezet. A rendelkezésre álló TV-UHF spektrum helyszínenként jelentősen eltérő lehet, különösen, ha országhatárok közelében van dolgod, ahol az üres TV-csatornáknak igencsak szűkében vannak. Félő, hogy a 2023. évi Rádió-távközlési Világkonferenciát (WRC-23) követően születő nemzeti szabályozási határozatok következtében a TV-UHF korlátozott forrásai tovább szűkülnek.

Az Egyesült Államokban csak a 470-608 MHz-es frekvenciatartomány, tehát mindössze 138 MHz-nyi spektrum maradt. Ennek eredményeként néhány nagyváros nem rendelkezik a profi vezeték nélküli audiberendezések működtetéséhez szükséges üres TV-csatornával. Az FCC engedélyével a nagyszabású rendezvények és megaesemények szervezői azokban a „korábbi frekvenciasávokban” működtethetik berendezéseiket, amelyeket még nem használnak a mobiltelefonok.

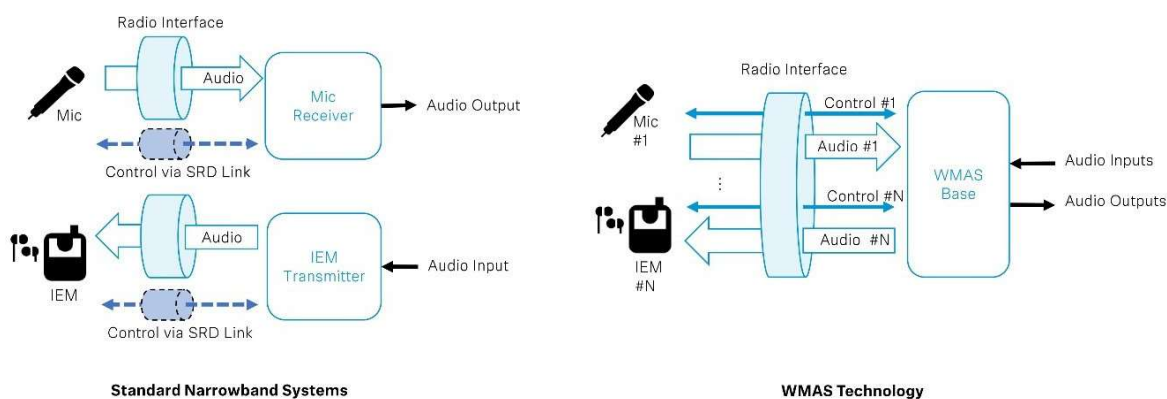
A digitális vezeték nélküli mikrofonok bevezetése némi enyhülést hozott, mivel használatukkal egyszerűsödött a frekvenciatervezés és az egyenlő csatornatávolságoknak köszönhetően a rendelkezésre álló spektrum-sáv szélesség optimálisan használható ki. Az egyre növekvő keresletet, valamint a nagyszabású eseményeket és produkciókat kezelni képes valódi megoldás azonban még mindig várat magára.

Összességében elmondható, hogy a növekvő rádióspektrum-igény következtében a hatékonyság további növelésére, további megfelelő frekvenciatartományokra és további koordinációs erőfeszítésekre van szükség, különösen a nagyszabású megaesemények alkalmával.



## WMAS – forradalmi RF-kezelést kínáló, professzionális vezeték nélküli hangrendszer nagyszabású rendezvények és megaesemények lebonyolításához, valamint beépített rendszerekkel történő használathoz

A vezeték nélküli többcsatornás hangrendszer (Wireless Multi-channel Audio System, WMAS) bevezetésével a Sennheiser a többcsatornás rendszereket használó helyszíneken (koncertek, színházak, broadcast stúdiók) történő vezeték nélküli hangátvitelt gondolja újra. A WMAS lényegében egy kétirányú vezeték nélküli szélessávú technológia, amely egyetlen szélessávú RF-csatornában egyesíti a mikrofonok, a fülmonitorok és a távvezérlők jeleit. Ez a spektrumhasználatban jelentős hatékonyságnövekedést eredményez – a műszaki szempontokon túl a munkafolyamatok javítása révén is.



1. ábra: Audio- és kontroll jelutak keskenysávú rendszerekben (balra) és WMAS technológiával (jobbra)

A Sennheiser WMAS rádiófrekvencia-kezelése az ortogonális frekvenciaosztásos multiplexelési (OFDM), az Időosztásos duplex átviteli (TDD) és az Időosztásos többszörös hozzáférési (TDMA) technológián alapul.

Az alkalmazott digitális átviteli technika az OFDM és a csatornakódolás ötvöze, amely lehetővé teszi a vezeték nélküli RF-csatorna frekvenciadiverzitásának kiaknázását. Ezzel a módszerrel mind beltéren, mind kültéren megbízhatóbb átvitel érhető el.

A TDD azáltal, hogy egy bizonyos ideig vételi, majd továbbítási üzemmódba kapcsolható, kétirányú továbbítást tesz lehetővé. Az egyes periódusok időtartama szabályozható, és az összes mikrofonra, az összes fülmonitor rendszerre vagy ezek bármilyen kombinációjára vonatkozhat.

A TDMA ezeket a továbbítási és vételi időszakokat dedikált időszávokra osztja. A WMAS-eszközhöz egy vagy több időszáv is rendelhető. Mondhatjuk, hogy a WMAS alapvető erőforrásai a dedikált időszávok – ahogy a keskenysávú átviteli kapcsolatoknál a dedikált frekvenciák. Az egyes WMAS-eszközök a számukra kijelölt időszáv(ok)ban szólalnak meg (továbbítanak jeleket), míg a többi időintervallumban némák maradnak. Minden egyes eszköz tudja, mikor kell jelet fogadnia. Az eszközök nem szólalnak meg egyszerre, így bár rövid ideig, de mindegyik eszköz az RF-csatorna teljes sáv szélessége felett rendelkezik.

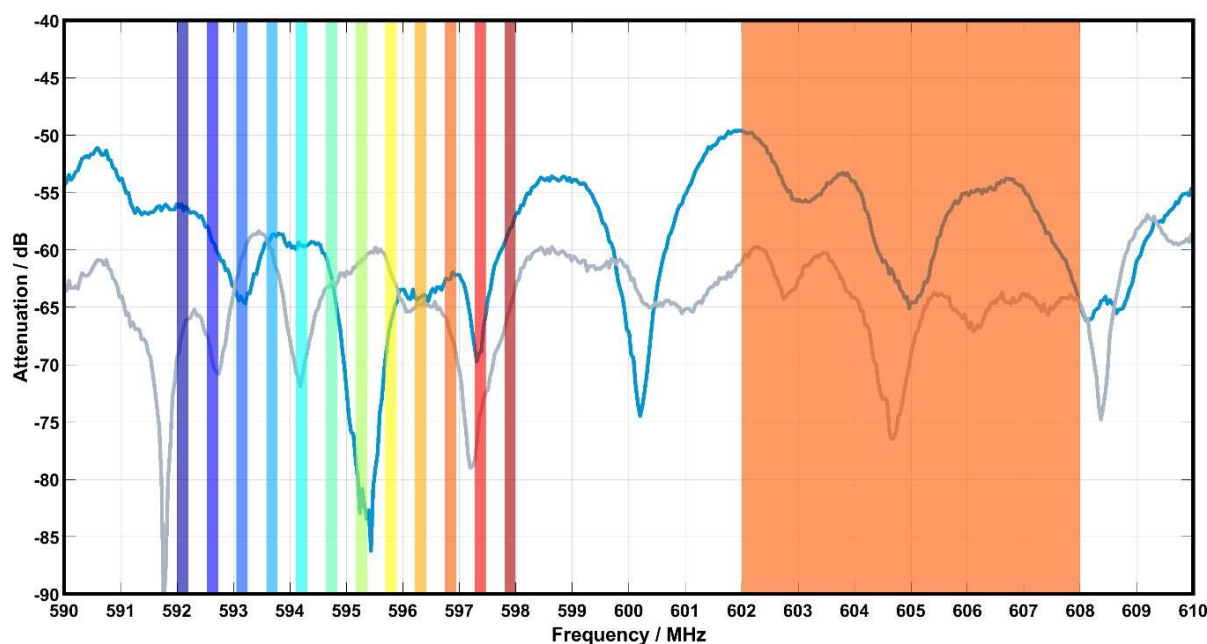


Frekvenciakoordináció szempontjából a WMAS rendszer ugyanazokat a frekvenciákat fogja használni, mint a mai keskenysávú rendszerek. Mindemellett a fülmonitorok és a mikrofonok, amelyek eddig két, egymástól több MHz-es távolságra lévő RF-spektrumban foglaltak helyet, mostantól egyetlen TV-csatornában és egyazon zsebadó használatával kezelhetők. Mindössze egyetlen antennára van szükség.

A napjainkra jellemző, két antennával megvalósított térbeli diverzitás helyett a WMAS egy 6 MHz-es TV-csatornán 30-szoros, egy 8 MHz-es TV-csatornán pedig 40-szeres diverzitást kínál – egyetlen antennával. A megnövekedett diverzitás minden vevőkészülék számára elérhető, így a kombinált, kétirányú zsebadók számára is (a kiskésleltetésű, *true digital* fülmonitorokat is beleértve).

Egyéb célokból (pl. tartalék, lefedettség növelése és további frekvenciasávok kiszolgálása) több antenna használata is lehetséges – a WMAS különböző változatokkal rendelkezik a TV-UHF és az 1350-1525 MHz-es tartományban.

A rendszer teljes átviteli teljesítménye legfeljebb 50 mW – ami ma lényegében egyetlen keskenysávú mikrofon teljesítményének felel meg –, amely egy 6 vagy 8 MHz széles RF-csatornán terjed. A rendszer kapacitáshatárain belül nem lesz többé szükség arra, hogy a használt eszközök számához igazodva méretezzék a teljes átviteli teljesítményt.



2. ábra: Míg a keskenysávú átvitel alapvető erőforrásai az átviteli kapcsolatok (balra), a WMAS minden egyes WMAS eszközhöz külön időszávokat használ (jobb oldalon: egy eszköz, amely a teljes RF sáv szélességet használja)

Nincs szükség kiterjedt frekvenciatervezésre, csupán egyetlen RF-csatornát kell kiválasztani egy TV-UHF-csatornán belül. A felhasználók ezen a 6 vagy 8 MHz-en belül 16, 32 vagy akár több tetszőleges irányú hangcsatornát is telepíthetnek. A frekvenciakoordinátornak egy 6 vagy 8 MHz-es blokkot és egy középfrekvenciát kell kijelölnie a hangmérnök számára a WMAS üzembe helyezéséhez. A koordinátornak kell meghatároznia, hol a legoptimálisabb elhelyezni a rendszer antennáját (vagy a hatótávolság növelését szolgáló antennákat).



A WMAS rendszeren belül a hangmérnök eszközönként és hangátvitelenként szabadon megválaszthatja a kívánt hangminőséget, késleltetési időt, hatótávolságot és erőforrás-igényt. Szükség esetén a hangmérnök elrendezheti és megváltoztathatja az eszközökhöz rendelt hangforrásokat. Egy bázisállomás 64 hangcsatorna (32 bemenet és 32 kimenet az interfészhez) feldolgozására képes egyetlen 19"/1U rack-nyi helyen.

A WMAS digitális hangminőséget biztosít, és megkönnyíti a frekvenciakoordinációt.

### **A keskenysávú technológia és a WMAS együttélése – További részletek a WMAS technológiáról**

A keskenysávú rendszerek és a szélessávú WMAS a valóságban egymás mellett fognak létezni, és a WMAS ugyanazokat a frekvenciákat fogja használni, mint a mai keskenysávú rendszerek. A vezeték nélküli technológiában az együttélés azt jelenti, hogy a különböző berendezések, technológiák és felhasználások egyazon frekvenciatartományban tudnak működni, anélkül, hogy zavarnák egymást. A frekvenciakoordináció alapvetően ezt az együttélést szervezi meg egy-egy állandó vagy ideiglenes helyszínen. A keskenysávú megoldások és a WMAS összehangolása során a frekvenciakoordináció minden jól bevált módszere használatban marad, miközben a WMAS megkönnyíti és meggyorsítja a koordinációt.

A WMAS technológiának vannak bizonyos jellemzői (főként a kétirányú jelleg), amelyek megkönnyítik az együttélést. Vizsgáljuk meg közelebbről.

Az ETSI TR 103 450 szerint a WMAS rendszer egy WMAS bázisállomásból, valamint mobil WMAS eszközökből (pl. kézimikrofon, zsebadó stb.) áll.

A WMAS rendszerekben minden eszköznek adó-vevőnek kell lennie, mivel a rendszer szervezése és szinkronizálása érdekében a vezérlési információkat továbbítani és fogadnia is kell tudni. WMAS eszköz lehet egy adóegység, egy vevőegység vagy akár mindkettő. A hangátvitel és -fogadás egy vagy több hangcsatornán is megvalósulhat. Egy WMAS-eszköznek, amely képes adóegységként és kétcsatornás vevőegységként is működni, nem kell mindkét szerepet betöltenie – működése attól függ, hogy a hangmérnök hogyan konfigurálta az eszközt.

A WMAS bázisállomás szkennelni tudja az RF-spektrumot, így a hangmérnök további berendezések használata nélkül is láthatja, milyen a rádiófrekvenciás környezet. A hangmérnök kiválasztja a frekvenciakoordinátortól kapott egyetlen WMAS vivőfrekvenciát, és aktiválja az RF-kapcsolatot.

Mielőtt a WMAS-eszközök megkezdénék a jelátvitelt, párosítani és csatlakoztatni kell azokat a WMAS-bázisállomással, valamint el kell végezni a konfigurációt. Többé nem kell azon aggódnia, hogy a korábban végzett, illetve gyári RF-konfigurációk miatt akaratlan jelátvitel történik.

Azok a WMAS-eszközök, amelyek elveszítik a kapcsolatot a WMAS bázisállomással, egy bizonyos idő elteltével beszüntetik a jeladást, és megpróbálják helyreállítani a kapcsolatot. Ez kiküszöböli azt a kockázatot, hogy a véletlenül bekapcsolva hagyott adóegységek miatt interferencia lépjen fel – pl. amikor az előadóművészek csevegnek vagy a rendezvény helyszínén mászkálnak.

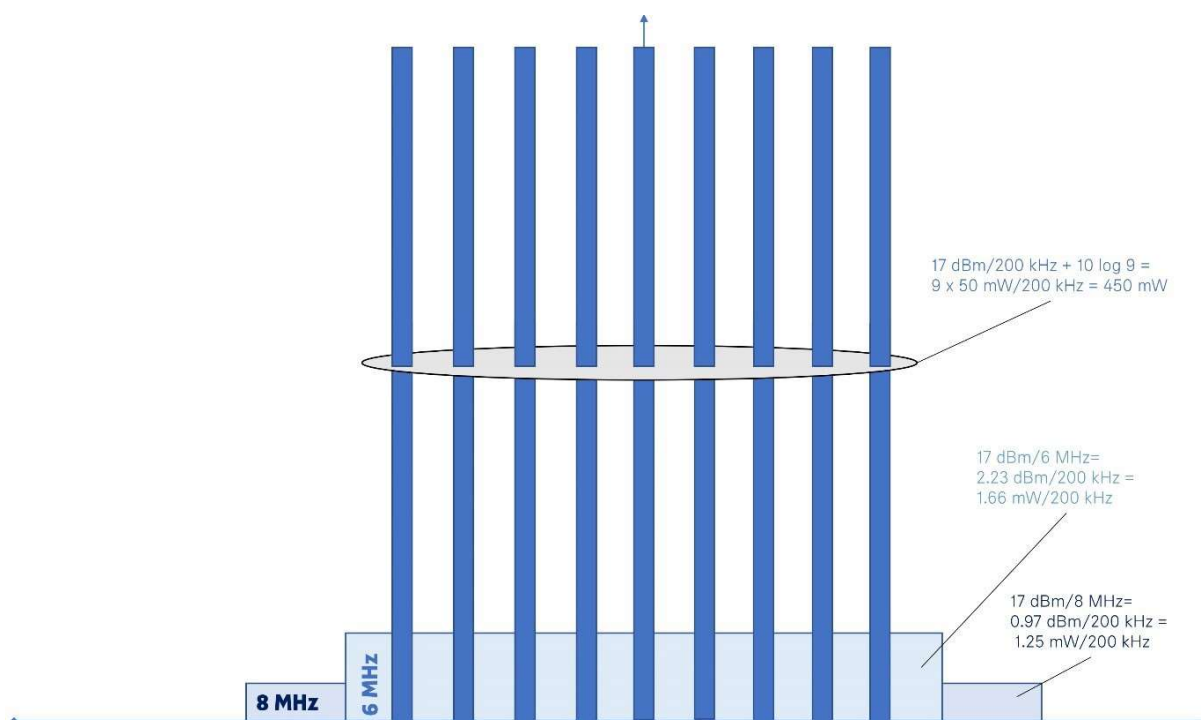
A WMAS azon tulajdonsága, hogy alacsony spektrális sűrűséggel és alacsony átviteli teljesítménnyel képes működni, kulcsfontosságú a jó együttműködéshez és ahhoz, hogy a WMAS „jó szomszédságot” ápolhasson a rádióspektrum többi lakójával. A frekvenciatávolság csökkenésével sokkal jobban kihasználható a rendelkezésre álló spektrum-sávszélesség, ami nagy



segítséget jelent a többszínpados fesztiválokon, a nagyszabású rendezvényhelyszíneken és a stúdiókban. Bár a frekvenciák újrafelhasználása még mindig igényel némi erőfeszítést, a szabályozható átviteli teljesítmény megkönnyíti a helyszíni frekvenciatervezést.

Ha a felhasználók eltérnek a koordinált frekvenciatervtől, akkor a keskenysávú rendszer és a kétcsatornás WMAS-üzemmód lép életbe. Vizsgáljuk meg közelebbről ezt a forgatókönyvet. Egy 200 kHz-es keskenysávú vevőegység a WMAS kibocsátásának csak egy kis részét kapja (1/30-ad vagy 1/40-ed, attól függően, hogy a TV-csatorna 6 vagy 8 MHz széles). Másrészt a 200 kHz-es keskenysávú adóegység teljes kibocsátása a WMAS eszköz vételi sávszélességébe esik.

Tegyük fel, hogy egy keskenysávú 200 kHz-es mikrofonkapcsolat (50 mW/200 kHz) véletlenül egy 8 MHz-es WMAS-csatornán működik. A keskenysávú vevőegység a 200 kHz-es vételi sávszélességben kevesebb, mint 1,25 mW interferenciának lesz kitéve (a terjedési veszteséget figyelmen kívül hagyva). Összehasonlításképpen, egy 8 MHz-es WMAS vevőegység 50 mW interferenciaszintet fog érzékelni (ismét figyelmen kívül hagyva a terjedési veszteséget). Csak hogy hangsúlyozzuk: egyetlen keskenysávú mikrofonról beszélünk, amely egy 16, 32 vagy akár több csatornát is tartalmazó többcsatornás hangrendszer valamely csatornáján osztozik.



3. ábra: Keskenysávú adóegységek (sötétkék) kibocsátása a WMAS-hoz (világoskék) képest

Mint a digitális átvitel esetében mindig, mindkét esetben a fogadott jel és a zaj aránya határozza meg, hogy az interferencia káros vagy sem. Az átgondolt rendszertervezésnek, a frekvencia-diverzitás kihasználásának és a fejlett jelfeldolgozásnak köszönhetően a WMAS-megoldás még akkor is rendíthetetlenül működik, ha a közelében ilyesfajta keskenysávú interferencia jelenik meg.



Miközben javasolt a keskenysávú rendszereknél megszokott minimális biztonsági távolság betartása, a WMAS rendszer működése a Sennheiser telephelyén [végzett gyakorlati teszt](#) során – ahol egy analóg fülmonitor-kapcsolatokkal rendelkező TV-csatorna és egy több digitális mikrofonkapcsolattal rendelkező TV-csatorna között működött – rendkívül masszívnak bizonyult.

A Sennheiser WMAS rendszerében minden egyes WMAS eszköz (kézimikrofon, zsebadó vagy antenna) kiveszi részét működés közben a megosztott interferencia-érzékelésből, így a hangmérnök számára mindig ismert az egyes eszközök interferenciaszintje. Ezáltal a hangmérnök látja, mi történik, és megalapozott döntéseket hozva tud beavatkozni. Akárcsak más mai rendszereknél, a hangsúly itt is az interferenciaforrás(ok) megtalálásán és megszüntetésén van. Ha ez nem lehetséges, a WMAS felhasználója dönthet úgy, hogy másik szélessávú csatornára vált. Ez csak rövid megszakítással jár, mivel minden eszközt teljes mértékben a bázisállomás vezérel.