



# **INSTYTUT ŁĄCZNOŚCI**

## **PAŃSTWOWY INSTYTUT BADAWCZY**

**Zakład Systemów Radiowych (Z-1)**

**Opracowanie i wdrożenie oprogramowania  
do analizy propagacyjno-sieciowej w radiofonii rozsiewczej  
pracującej w systemie DRM w zakresie fal średnich i długich**

**Etap 2:  
Analiza sieciowo-propagacyjna  
synchronicznej sieci nadajników średniofalowych w Polsce  
opartej na planie częstotliwości GE75 z punktu widzenia wykorzystania jej  
jako sieci pracującej w systemie DRM**

**Praca nr 01300075**

Warszawa, grudzień 2005

Opracowanie i wdrożenie oprogramowania do analizy propagacyjno-sieciowej w radiofonii rozsiewczej pracującej w systemie DRM w zakresie fal średnich i długich

Etap 2: Analiza sieciowo-propagacyjna synchronicznej sieci nadajników średniofalowych w Polsce opartej na planie częstotliwości GE75 z punktu widzenia wykorzystania jej jako sieci pracującej w systemie DRM

Praca nr 01300075

Autorzy sprawozdania: Andrzej Dusiński,  
Ewa Wielowieyska.

Słowa kluczowe (maksimum 5 słów):  
propagacja, DRM, fale średnie, analiza, sieci

Kierownik pracy: inż. Andrzej Dusiński

Wykonawcy pracy: inż. Andrzej Dusiński,  
st. progr. Ewa Wielowieyska.

Kierownik Zakładu: mgr inż. Aleksander Orłowski.

## Spis treści

1	Sieci synchroniczne SFN.....	4
2	Pokrycie obszaru przez sieć SFN .....	6
3	Wyniki analizy.....	8
	Literatura .....	16

## 1 Sieci synchroniczne SFN

Możliwość tworzenie sieci jednoczęstotliwościowych SFN (*Single Frequency Networks*) jest jedną z zalet systemu DRM. Związane jest to z wykorzystaniem przez DRM techniki formowania sygnału OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplex*), [4]. Technika ta zapewnia wybór najsilniejszego sygnału spośród wielu sygnałów pojawiających się na wejściu odbiornika.

W technologii DRM mogą występować dwie podstawowe sieci:

- sieć wieloczęstotliwościowa MFN (*Multiple Frequency Networks*),
- sieć jednoczęstotliwościowa SFN.

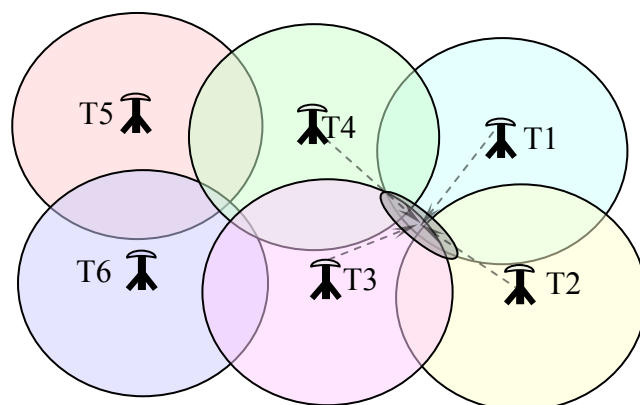
Sieć MFN wymaga dla zapewnienia pewnego obszaru kilku kanałów częstotliwościowych. Natomiast sieć SFN wymaga jednej częstotliwości. Pozwala na bardziej równomierną dystrybucję sygnału. Przy założeniu takiej samej liczby nadajników potrzebna jest mniejsza moc sieci SFN w stosunku do sieci MFN.

Natomiast dla zapewnienia właściwego pokrycia, a co za tym idzie i odpowiedniej jakości sieć SFN musi spełnić kilka warunków:

- wszystkie nadajniki w danej sieci wykorzystują ten sam kanał częstotliwościowy,
- nadajniki nie mogą pracować niezależnie,
- wymagana jest synchronizacja wysokiego stopnia,
- sygnał emitowany z różnych nadajników musi być identyczny pod względem zawartości,
- nadawanie sygnałów musi następować w tym samym czasie lub z bardzo dokładnie ustalonymi i kontrolowanymi opóźnieniami,
- nośne sygnału radiowego muszą spełniać ostre wymagania odnośnie dokładności częstotliwości.

W systemie DRM, bardziej niż w innych systemach, występuje problem wzajemnych interferencji, głównie za sprawą fali jonosferycznej.

Na fali powierzchniowej problem interferencji jest podobny jak w innych systemach.



Rys.1. Sieć SFN dla stacji pracujących tylko na fali powierzchniowej, [1].

Rys. 1 pokazuje prostą sieć składającą się z 6 nadajników. W zaznaczonym na rysunku wspólnym rejonie obszarów pokrycia zasięgiem każdego z czterech nadajników występują sygnały pochodzące od czterech nadajników, [5]. Warunkiem uniknięcia wzajemnego wpływu zakłóceń interferencyjnych jest, żeby opóźnienie sygnałów, pochodzących od trzech nadajników, względem czwartego z najmniejszym opóźnieniem mieściło się w jego przedziale ochronnym. Wówczas w punkcie odbioru znajdującym się w takim obszarze, odbierany sygnał będzie wzmocniony, w porównaniu do każdego pojedynczego sygnału. Nastąpi sumowanie mocy sygnałów składowych.

Do odbiornika sieci SFN docierają sygnały z rozkładami czasów opóźnienia. Są dwie przyczyny tych czasowych rozprożeń:

- opóźnienia spowodowane na skutek odbić (od jonosfery),
- sygnały przychodzące bezpośrednio od różnych nadajników, nie koniecznie własnych.

Rozrzut opóźnienia sygnałów dochodzących do odbiornika powoduje dwa efekty:

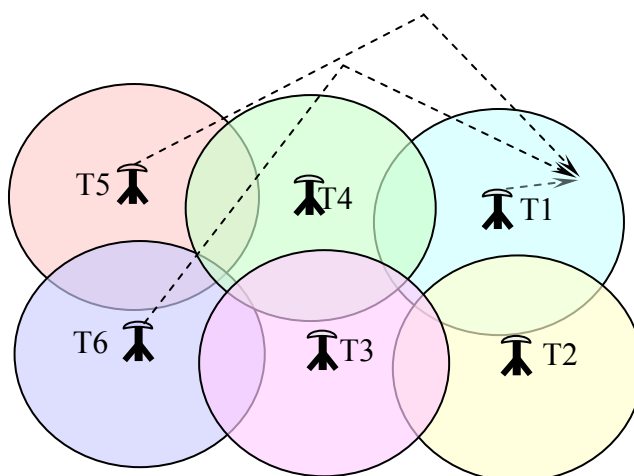
- selektywne zaniki częstotliwościowe,
- międzysymbolowe interferencje ISI (*Inter Symbol Interference*).

W [5] podano, dla dwóch trybów odpornościowych A i B, dopuszczalne długości tras sygnału radiowego, po przebyciu, których sygnał nie przekroczy jeszcze długości przedziału ochronnego, tabl.1.

Tab.1 Czas ochronny i odpowiadająca mu odległość

Tryb	$T_g$ [ $\mu$ s]	$d_g$ [km]
A	2 666,6(6)	800
B	5 333,3(3)	1 600

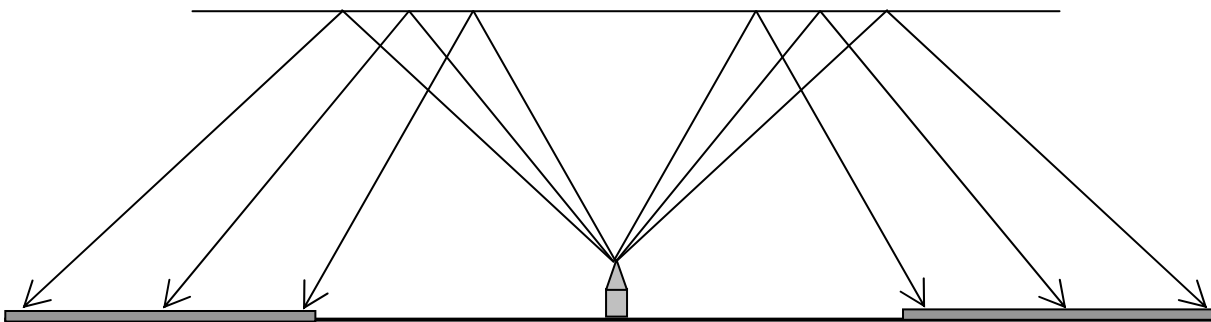
Sytuacja zmienia się, gdy pojawia się fala jonosferyczna, rys 2. Falę jonosferyczną można traktować dwojako: jako falę zakłócającą i jako falę sygnału użytecznego.



Rys.2. Sieć SFN z falą jonosferyczną, [1].

Na wspomnianym wyżej rys.2. pokazano punkt odbioru, w którym spotykają się trzy sygnały: jeden lokalny i dwa jonosferyczne. Przy założeniu, że wszystkie pochodzą od nadajników tej samej sieci synchronicznej, i ich poziomy są zbliżone mamy do czynienia z dwoma sytuacjami zależnymi od czasów opóźnienia sygnałów jonosferycznych:

- jeśli minimalna różnica między czasami opóźnienia sygnałów jonosferycznych i sygnału lokalnego jest mniejsza od przedziału ochronnego wówczas jest dobrze i odbierany sygnał ma większą moc niżby pochodził tylko od nadajnika lokalnego.
- jeśli różnica, o której mowa wyżej będzie większa od przedziału ochronnego, sygnały jonosferyczne są sygnałami zakłócającymi.



Rys. 3. Odbicia od jonosfery.

Zatem możliwa jest sytuacja pokrycia obszaru Polski jedną siecią stacji synchronicznych SFN jednocześnie na dwóch falach. Taka sytuacja miałaby miejsce w nocy. W dzień niestety nie byłoby całkowitego pokrycia. Przedstawiona sytuacja wymaga spełnienia kilku warunków chociażby takich jak odpowiednie charakterystyki anten nadawczych, aby skoki fal jonosferycznych, rys. 3, na obszarze będącym przedmiotem zainteresowania, mierzone czasem opóźnienia, nie były dłuższe od przedziału ochronnego systemu.

## 2 Pokrycie obszaru przez sieć SFN

Miara pokrycia obszaru, która zostanie tu przedstawiona pochodzi z [7] i była przedstawiona w [5].

Miarą pokrycia obszaru przez sieć SFN jest prawdopodobieństwo wystąpienia przerwy w pokryciu obszaru:

$$p_o = P(\Gamma < \gamma_o) \quad (1)$$

gdzie:

- $\gamma_o$  – minimalna wartość stosunku sygnału do interferencji niezbędna dla odbioru sygnału z ustaloną wartością BER,
- $\Gamma$  – stosunek sygnału do interferencji dla odbiornika przypadkowo wybrany wewnątrz obszaru lokalnych usług:

$$\Gamma = \frac{\sum_{i=1}^I P_i Q(\tau)}{\sum_{i=1}^I P_i (1 - Q(\tau)) + \sum_{j=1}^J P_j + N} \quad (2)$$

$t_i$  – czas nadejścia sygnału z i-go nadajnika,  $i=1, \dots, I$ ,  $I$  - liczba nadajników sieci SFN;

$$\tau = t_0 - t_i$$

$t_0$  – czasowa pozycja startowa okna odbiornika OFDM,

$P_i$  – moc i-go nadajnika sieci SFN;

$P_j$  – moc j-go nadajnika zewnętrznego,  $j=1, \dots, J$ ,  $J$  – liczba nadajników zewnętrznych;

$N$  – moc szumów termicznych w odbiorniku;

$Q(\tau)$  – funkcja wagowa;  $Q(\tau)$  aproksymuje odbieraną moc sygnału OFDM, pochodzącego od i-tego nadajnika i pojawiającego się o czasie  $t_i$ .

$$Q(\tau) = \begin{cases} \left(1 + \frac{\tau}{T_u}\right)^2 & -T_u \leq \tau \leq 0 \\ 1 & 0 \leq \tau \leq T_u \\ \left(\left(1 - \frac{T_g}{T_u}\right) + \frac{\tau}{T_u}\right)^2 & T_g \leq \tau \leq T_u + T_g \\ 0 & \text{w pozostałych przypadkach} \end{cases} \quad (3)$$

$T_u$  – czas trwania symbolu;

$T_g$  – czas ochronny;

$\sum_{i=1}^I P_i Q(\tau)$  – moc użyteczna, która wpada w okno odbiornika;

$\sum_{i=1}^I P_i (1 - Q(\tau))$  – moc, która z powodu sygnałowych opóźnień pojawia się w czasie następnego sygnału;

$\sum_{j=1}^J P_j$  – moc zakłóceń interferencyjnych pochodząca od zewnętrznych nadajników nadających inne programy.

Program AnaZas opracowany w etapie 1 [3] pozwala na wyznaczenie, w dowolnym punkcie otoczenia stacji użytecznej, natężenia pola pochodzącego od dowolnej stacji zakłócającej.

Wykorzystując następującą zależność:

$$P = \frac{1}{120} \left( \frac{310^8 E}{2\pi f} \right)^2 \quad (4)$$

gdzie:

$E$  – natężenie pola, [ $\mu$  V/m],

$f$  – częstotliwość, MHz,

wzór na stosunek sygnału do interferencji  $\Gamma$  przyjmuje postać:

$$\Gamma = \frac{\sum_{i=1}^I E_i^2 Q(\tau)}{\sum_{i=1}^I E_i^2 (1-Q(\tau)) + \sum_{j=1}^J E_j^2 + N}. \quad (5)$$

### 3 Wyniki analizy

Przedmiotem analizy były cztery sieci średniofalowych stacji synchronicznych, tabl.2, przydzielonych Polsce zgodnie z Planem GE75, [2]. W ramach analizy wykonano obliczenia zasięgów stacji synchronicznych pracujących na częstotliwościach: 1206, 1260, 1305 i 1368 kHz. Wykonano dwa rodzaje obliczeń: kiedy wszystkie stacje pracują w systemie AM i gdy wszystkie stacje pracują w systemie DRM. Wyniki przedstawiono w formie graficznej. Na rysunkach 4 i 5 przedstawiono zbiorcze wyniki obliczeń dla czterech sieci synchronicznych pracujących w systemie AM, rys.4, i w systemie DRM, rys.5. Na ogół zasięg stacji pracującej w systemie DRM jest nieco większy, co na rysunkach trudno zobaczyć. Obydwa rysunki pokazują, wykorzystanie wszystkich czterech sieci, co jest równoważne wykorzystaniu czterech wymienionych wyżej częstotliwości. Układ czterech sieci synchronicznych może zapewnić obszarowi Polski pokrycie jednym programem w ok. 60 %. Spowodowane jest między innymi tym, że większość stacji ma lokalizację na obrzeżach obszaru kraju. W ten sposób nie można centralnej części kraju pokryć programem nadawanym przez te sieci. Generalnie nie jest tak źle, bowiem są jeszcze stacje dużej mocy takie jak Poznań, Stargard Szczeciński czy Warszawa, które tę lukę mogą wypełnić.

Dla pokazania korzyści wynikających z zastosowania systemu DRM na rysunkach 6,7,8 pokazano zasięgi stacji Poznań w różnych konfiguracjach systemów AM i DRM w całej sieci stacji średniofalowych i stacji Poznań.

Wracając do sieci synchronicznych, na rys. 9, na tle zbiorczych zasięgów stacji sieci synchronicznych z rys. 6, pokazano lokalizację 92 stacji pomocniczych o mocy 1 kW. Okazuje się, że nawet ta sieć nie może uzupełnić zasięgów sieci synchronicznych, bowiem większość tych stacji jest ulokowana w pobliżu granic kraju.

Nawiązując do rozważań w rozdz.1 powstałą lukę w pokryciu jednym programem w centrum kraju można by wypełnić, jedynie w godzinach wieczornych i nocnych.

W przedstawionej analizie zasięgów stacji synchronicznych nie zbadano oddziaływania tych sieci na zasięgi stacji średniofalowych pracujących na częstotliwościach tych sieci i sąsiednich kanałów.

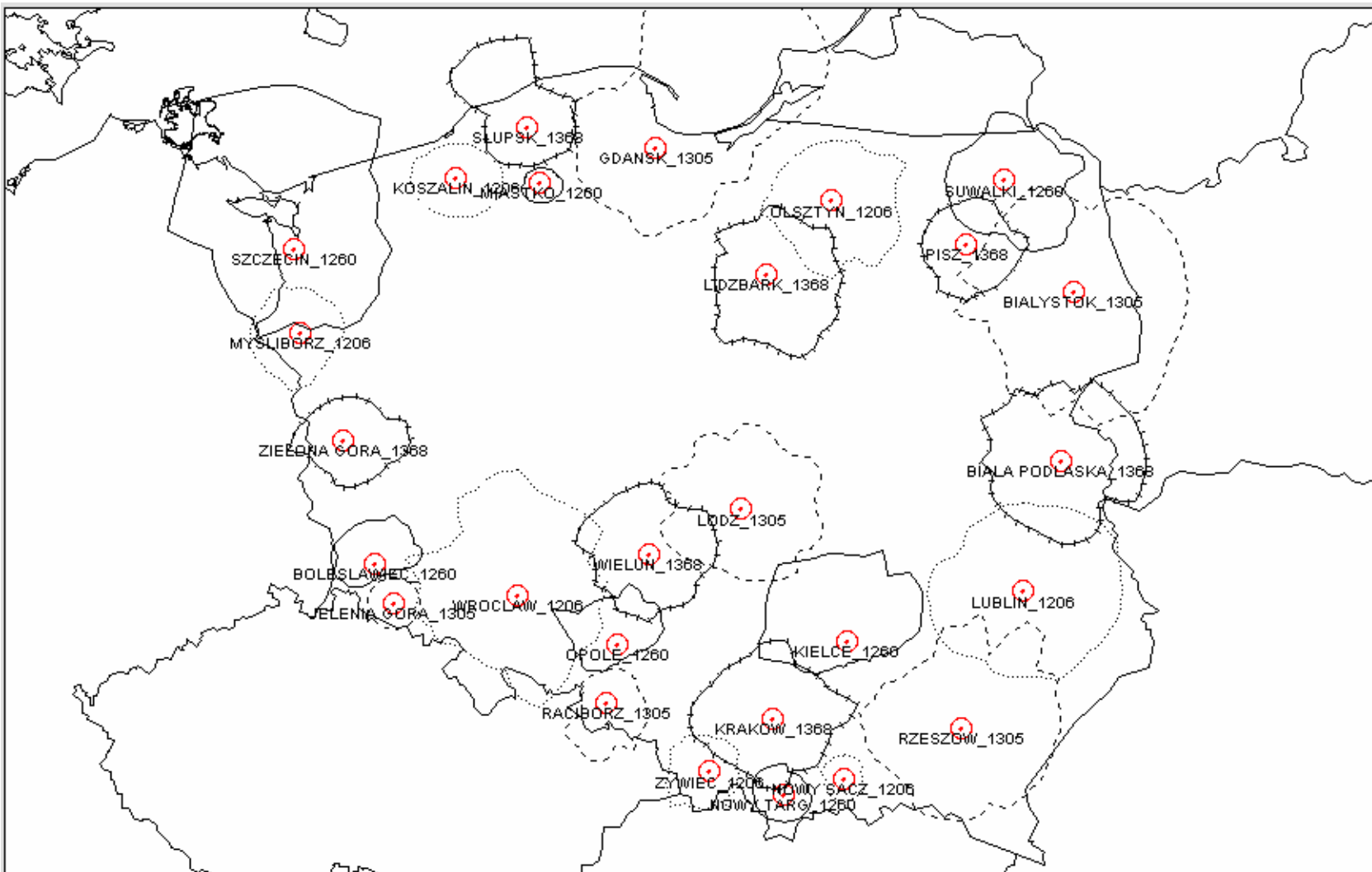
Pomysł pokrycia kraju jedną częstotliwością przy wykorzystaniu fal jonosferycznych lub czterema częstotliwościami, jak opisano wyżej, może stanowić duże zagrożenie dla innych stacji średniofalowych. Zatem konieczne będzie zbadanie tego wpływu, uwzględniając różne konfiguracje sieci wszystkich stacji średniofalowych z otoczenia np. 3000 km. Jest to temat dla osobnego zadania, wymagający przeprowadzenia dużej liczby obliczeń.

Zbadanie możliwości pokrycia obszaru kraju większą liczbą programów niż jednym może być tematem oddzielnego zadania. W tej chwili istnieją techniczne możliwości dla przeprowadzenia obliczeń przydatnych dla przeanalizowania różnych koncepcji zagospodarowania przydzielonych Polsce częstotliwości zakresu średniofalowego.

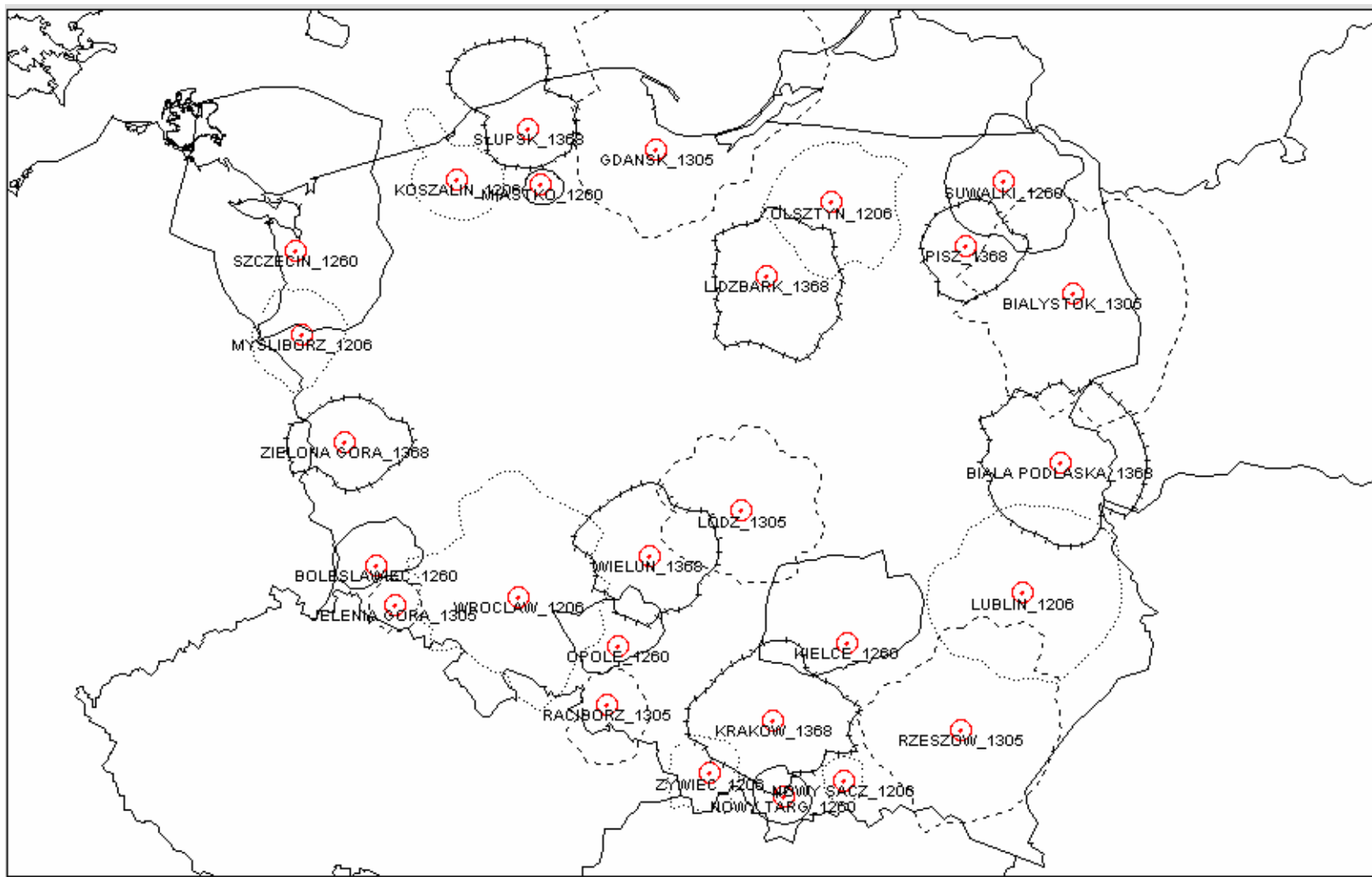


Tabl.1 Polskie stacje średniofalowe sieci synchronicznych.

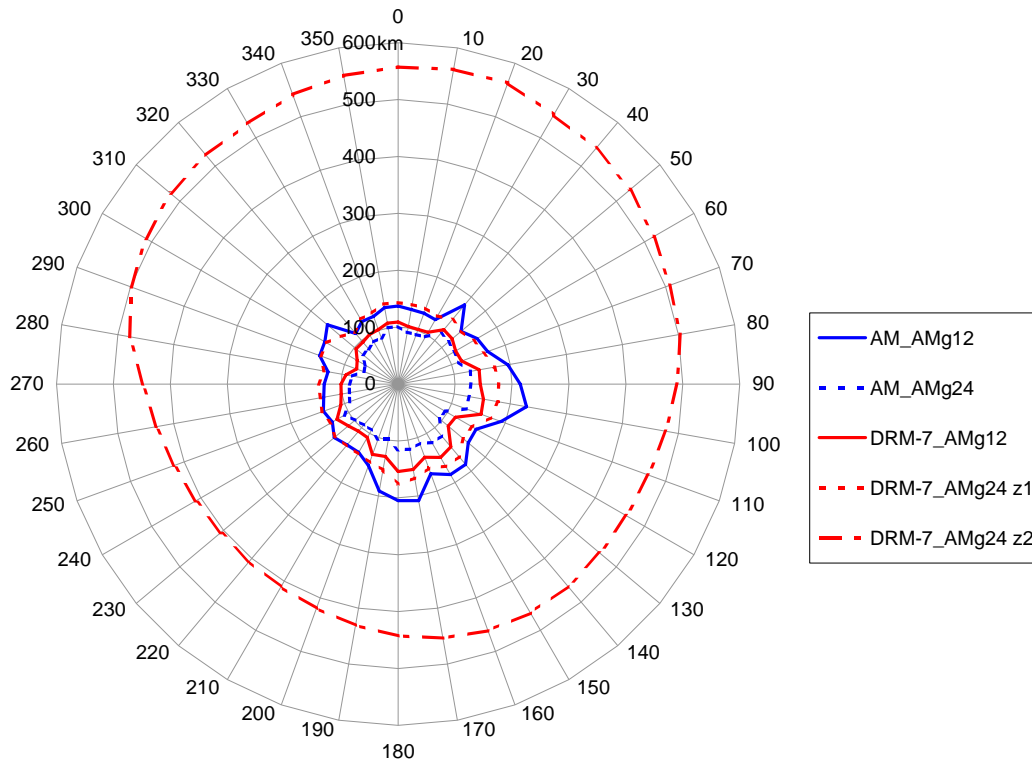
Lp	[kHz]	syn	Nazwa stacji	Długość geograf.	Szerokość geograf.	Kod wsp. ochron	Moc	Rodzaj charak. anteny	Wysokość anteny
1	1206	S	KOSZALIN	016E2200	54N0100	A	60	ND	118
2	1206	S	LUBLIN	022E4000	51N0000	A	100	ND	118
3	1206	S	MYSLIBORZ	014E3800	52N5300	A	10	ND	118
4	1206	S	NOWY SACZ	020E4000	49N3800	A	10	ND	118
5	1206	S	OLSZTYN	020E3200	53N5100	A	60	ND	118
6	1206	S	WROCLAW	017E0300	50N5800	C	200	ND	118
7	1206	S	ZYWIEC	019E1100	49N4100	A	10	ND	118
8	1260	S	BOLESŁAWIEC	015E2800	51N1200	C	60	D	0
9	1260	S	KIELCE	020E4200	50N3800	C	60	D	0
10	1260	S	MIASTKO	017E1800	53N5900	C	10	ND	109
11	1260	S	NOWY TARG	020E0000	49N3100	C	10	ND	109
12	1260	S	OPOLE	018E0900	50N3700	C	60	D	0
13	1260	S	SUWALKI	022E2700	54N0000	C	60	ND	109
14	1260	S	SZCZECIN	014E3400	53N3000	C	160	ND	109
15	1305	S	BIALYSTOK	023E1300	53N1100	C	100	ND	108
16	1305	S	GDANSK	018E3500	54N1400	C	60	ND	108
17	1305	S	JELENIA GORA	015E4000	50N5500	C	10	ND	108
18	1305	S	LODZ	019E3200	51N3600	C	60	ND	108
19	1305	S	RACIBORZ	018E0200	50N1100	C	10	ND	108
20	1305	S	RZESZOW	021E5800	50N0000	C	300	ND	108
21	1368	S	BIALA PODLASKA	023E0500	51N5700	C	60	ND	104
22	1368	S	KRAKOW	019E5300	50N0400	C	60	ND	104
23	1368	S	LIDZBARK	019E4900	53N1900	C	60	ND	104
24	1368	S	PISZ	022E0200	53N3200	C	10	ND	104
25	1368	S	SLUPSK	017E0900	54N2300	C	60	ND	104
26	1368	S	WIELUN	018E3000	51N1600	C	60	ND	104
27	1368	S	ZIELONA GORA	015E0700	52N0600	C	60	ND	104



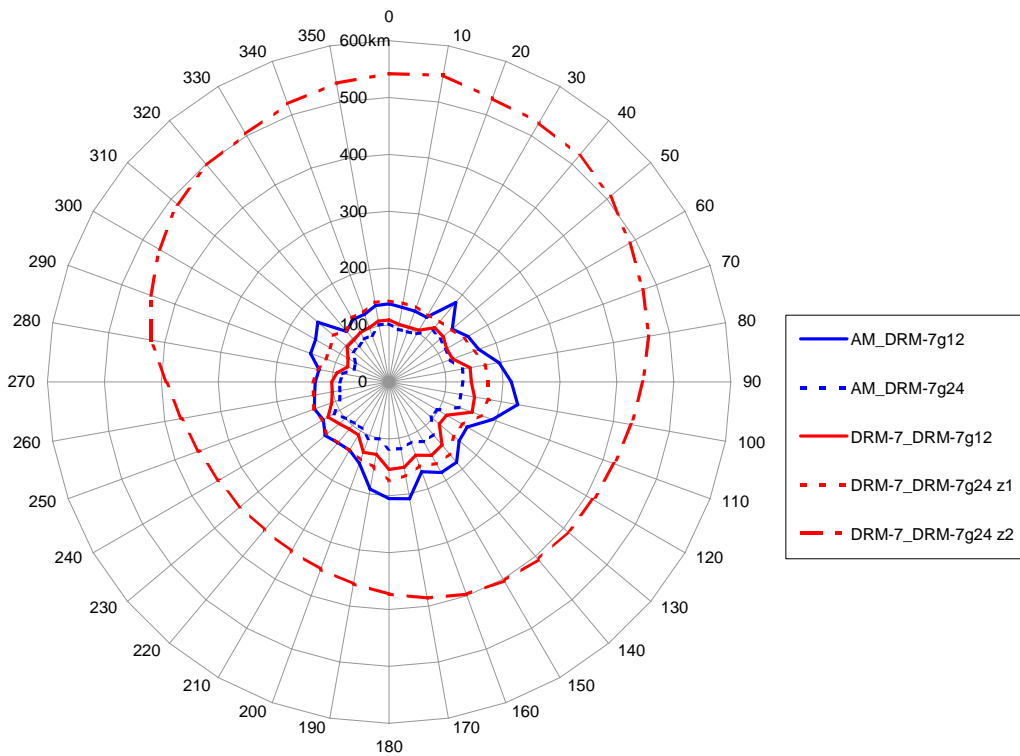
Rys. 4. Zasięgi 27 stacji należących do 4 sieci synchronicznych pracujących na częstotliwościach 1206, 1260, 1305 i 1368 kHz w systemie AM. Obliczenia wykonano dla godz12.



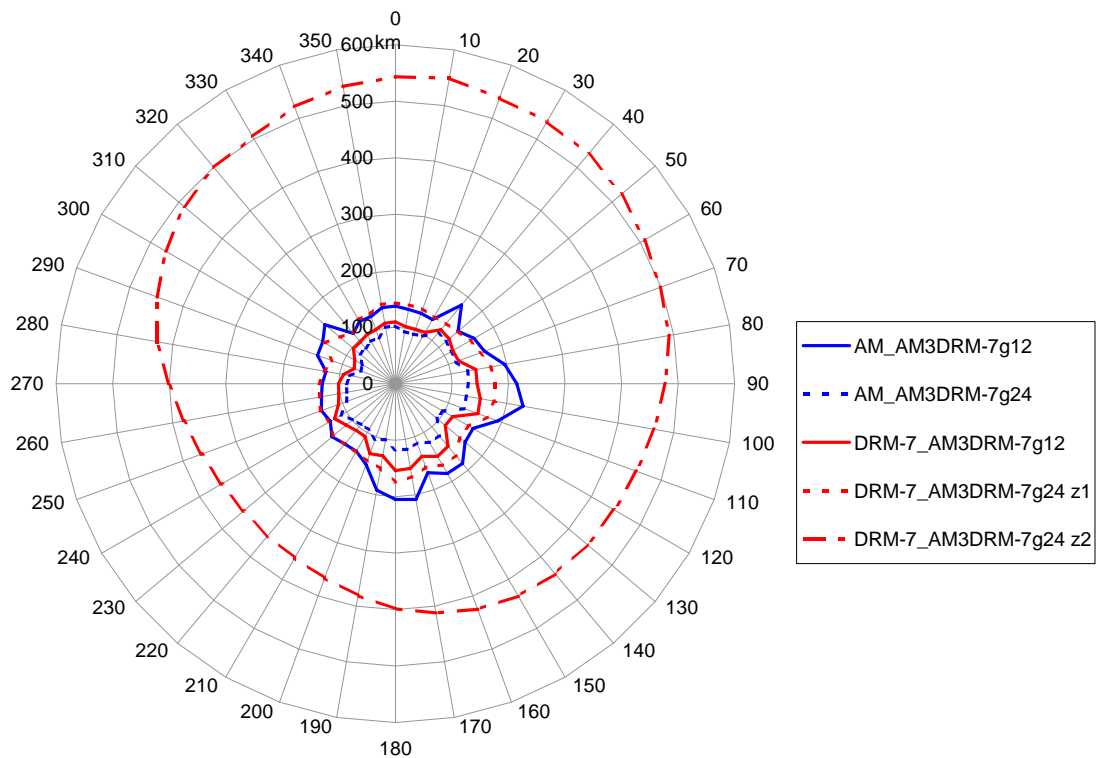
Rys.5 Zasięgi 27 stacji należących do 4 sieci synchronicznych pracujących na częstotliwościach 1206, 1260, 1305 i 1368 kHz w systemie DRM. Obliczenia wykonano dla godz12.



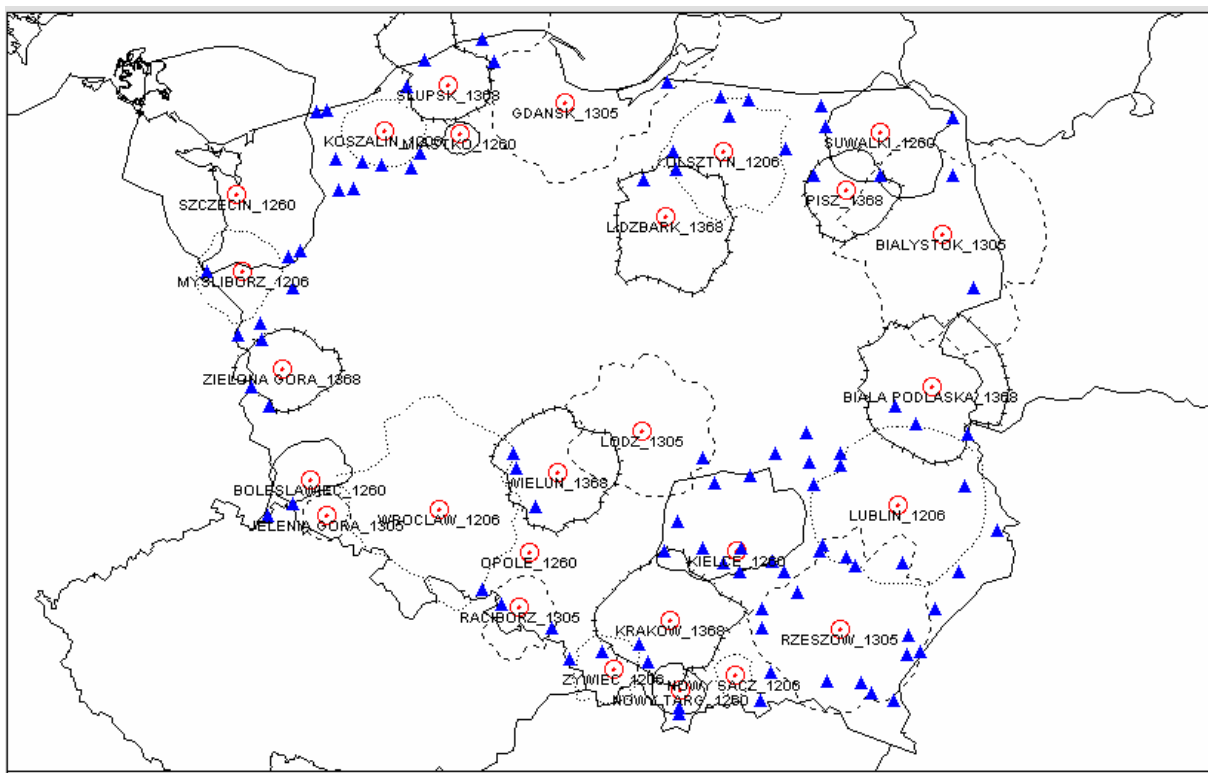
Rys.6 Porównanie zasięgów stacji Poznań, (738 kHz, 1500 kW) pracującej w systemie AM i DRM przy stacjach zakłócających AM w dzień o godzinie 12 i w nocy o godzinie 24.



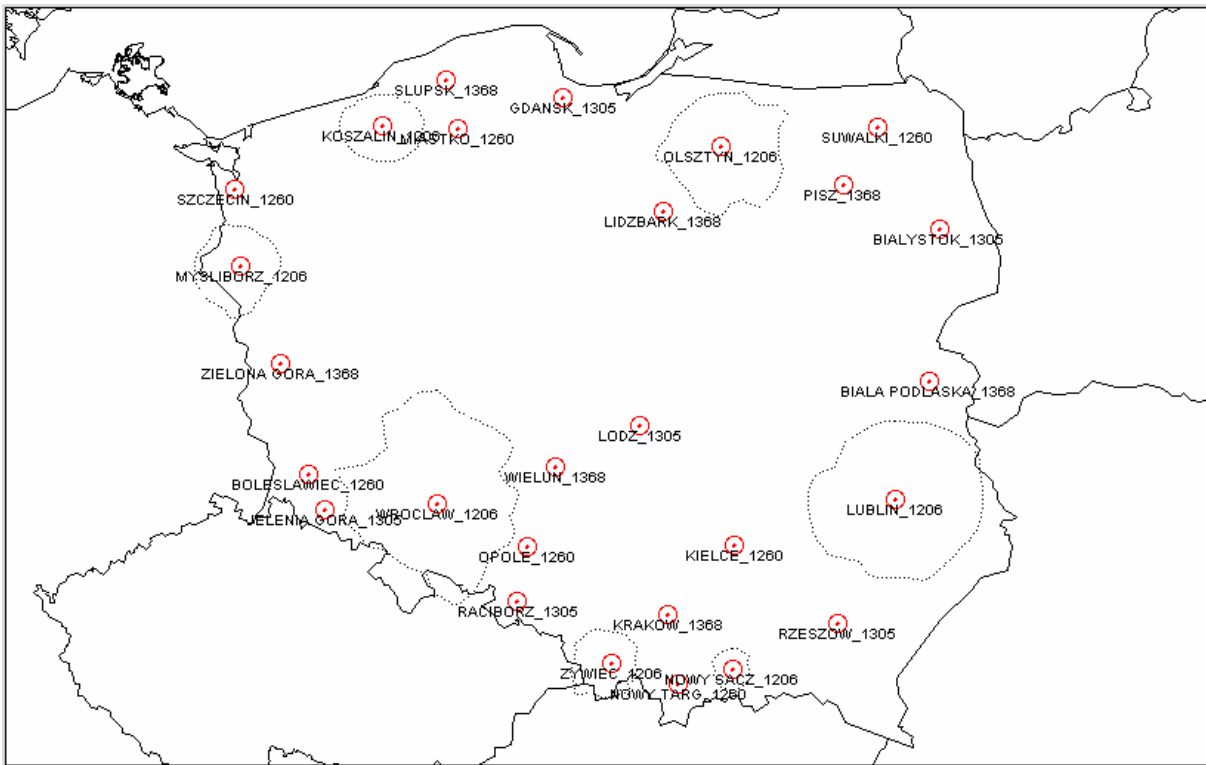
Rys.7 Porównanie zasięgów stacji Poznań, (738 kHz, 1500 kW) pracującej w systemie AM i DRM przy stacjach zakłócających DRM w dzień o godzinie 12 i w nocy o godzinie 24



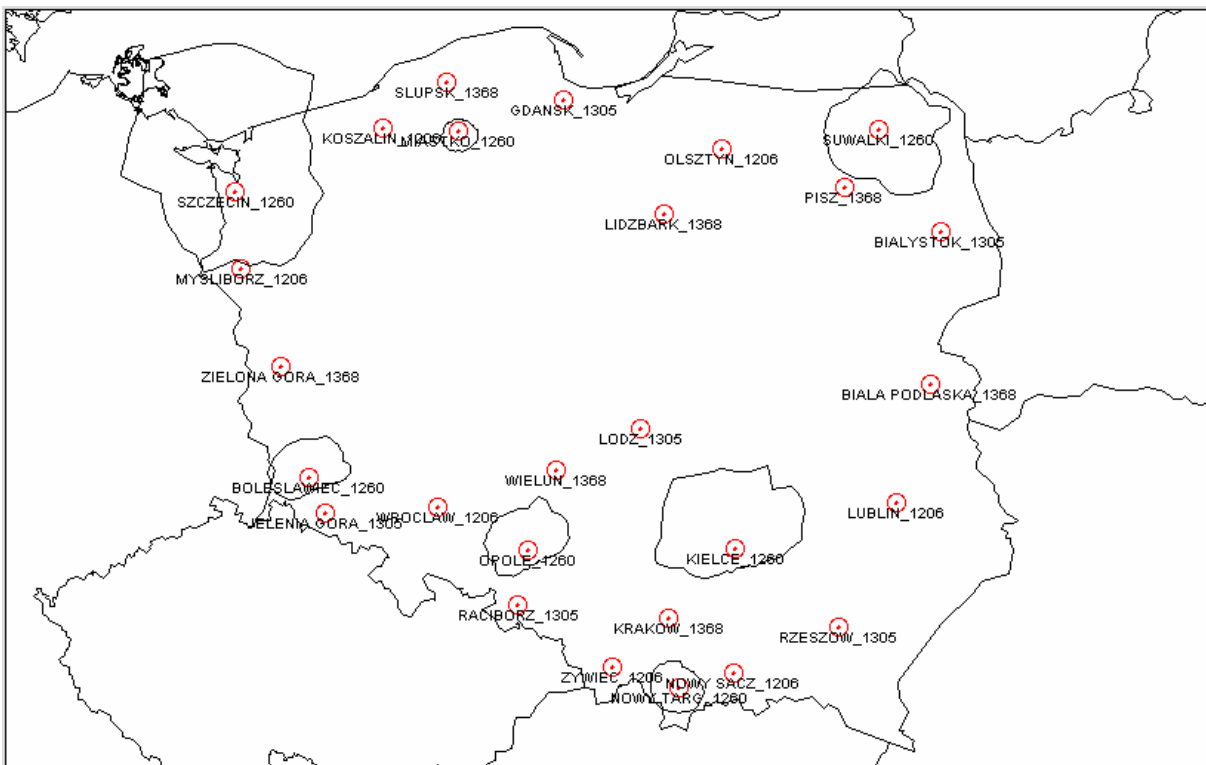
Rys.8 Porównanie zasięgów stacji Poznań, (738 kHz, 1500 kW) pracującej w systemie AM i DRM przy stacjach zakłócających AM i 3 stacjach DRM w dzień o godzinie 12



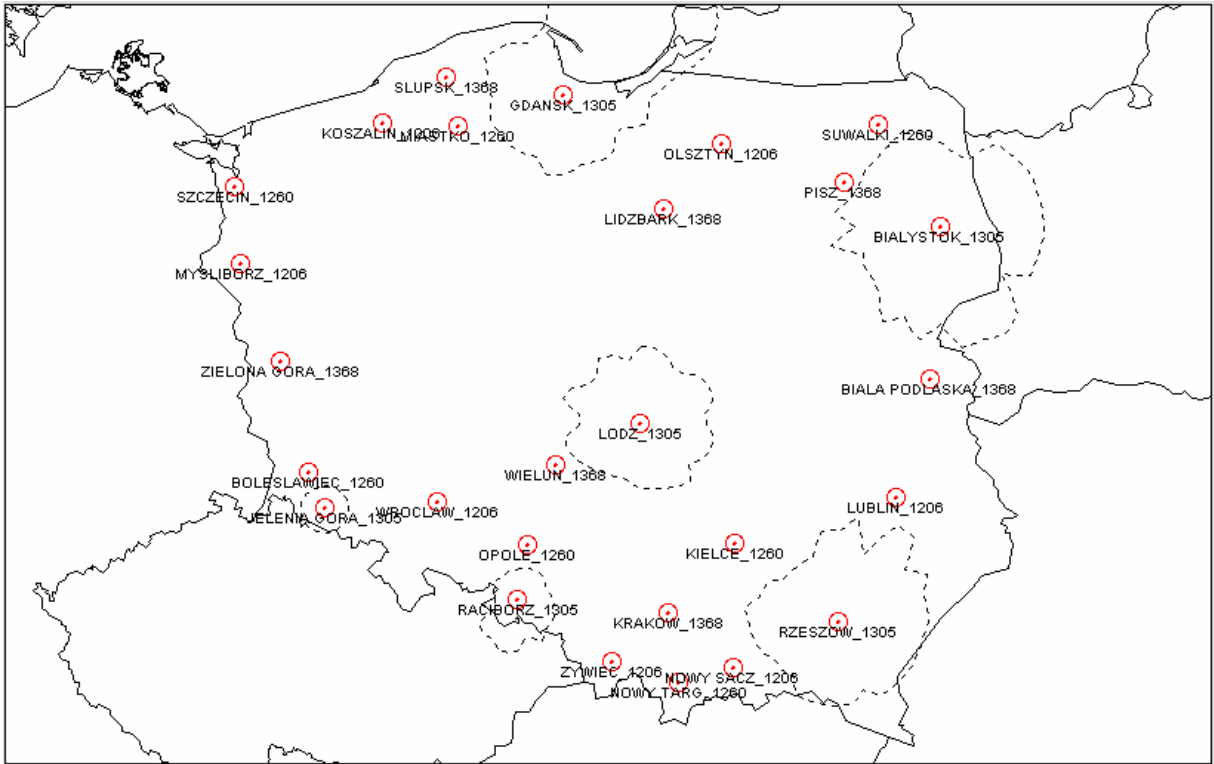
Rys.9 Sieć stacji w systemie DRM oraz stacje o mocy 1 kW.



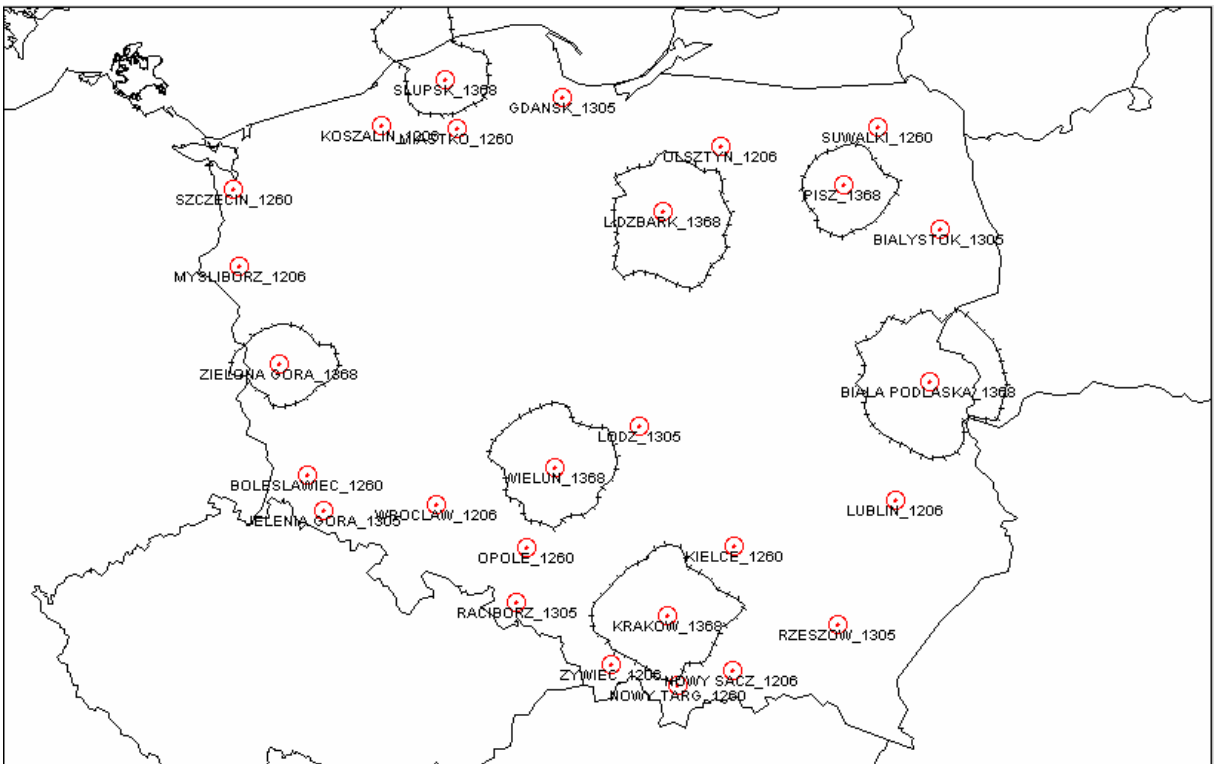
Rys.10 Zasięgi 7 stacji należących do sieci synchronicznej pracującej na częstotliwości 1206 kHz w systemie DRM oraz zaznaczone stacje innych sieci synchronicznych.



Rys.11 Zasięgi 7 stacji należących do sieci synchronicznej pracującej na częstotliwości 1260 kHz w systemie DRM oraz zaznaczone stacje innych sieci synchronicznych.



Rys. 12 Zasięgi 6 stacji należących do sieci synchronicznej pracującej na częstotliwości 1305 kHz w systemie DRM oraz zaznaczone stacje innych sieci synchronicznych.



Rys.13 Zasięgi 7 stacji należących do sieci synchronicznej pracującej na częstotliwości 1368 kHz w systemie DRM oraz zaznaczone stacje innych sieci synchronicznych.

## Literatura

- [1] DRM: *Broadcasters' user manual*. Broadcasters' user manual/FAQs.
- [2] Dusiński A., Wielowieyska E.: *Rozpoznanie możliwości wykorzystania średniofalowych stacji radiofonicznych o małych mocach*. Warszawa, IŁ, 2000.
- [3] Dusiński A., Wielowieyska E.: *Opracowanie i wdrożenie oprogramowania do analizy propagacyjno-sieciowej w radiofonii rozsiewczej pracującej w systemie DRM w zakresie fal średnich i długich. Etap 1: Opracowanie i wdrożenie oprogramowania do analizy propagacyjno-sieciowej w radiofonii rozsiewczej pracującej w systemie DRM w zakresie fal średnich i długich w języku Delphi*, IŁ, Warszawa, 2005
- [4] Hofmann F., Hansen C., Schäfer W.: *Digital Radio Mondiale (DRM) digital Sound Broadcasting in the AM Bands*. IEEE Trans. on Broadcasting, t.49,nr 3,2003, s.319-328.
- [5] Jarkowski J., Dusiński A, Kurek K., Wielowieyska E., Keller T.: *Podstawy teoretyczne i warunki wdrożenia w Polsce systemu DRM na falach średnich*. Warszawa, Politechnika Warszawska,2005.
- [6] Lisicki W.: *Ocena efektywności sieci stacji długo i średniofalowych na bazie wyników Administracyjnej Konferencji Regionalnej – Genewa 1975.*, Warszawa, IŁ,1976.
- [7] Malmgren G.: *On local regional signal frequency networks*. Radiocommunication Systems Laboratory, KTH, Dept. of Teleinformatics. Electrum 204, 164 40 Kista.