

doi:10.15199/48.2022.12.51

## 30 lat telefonii komórkowej w Polsce

**Streszczenie.** Systemy telefonii komórkowej są obecne w naszym kraju od 30 lat. W artykule przedstawiono rys historyczny w powiązaniu z technicznymi aspektami rozwoju systemów komórkowych na przestrzeni 30 lat

**Abstract.** Mobile telephony systems have been present in our country for 30 years. The article presents a historical outline in connection with the technical aspects of the development of cellular systems over 30 years (**30 years of mobile telephony in Poland**).

**Słowa kluczowe:** telefonia komórkowa, GSM, UMTS, LTE, 5G

**Keywords:** mobile phone systems, GSM, UMTS, LTE,

### Wstęp

Telefon komórkowy – urządzenia, których w Polsce jest więcej niż obywateli i bez którego nie bardzo wyobrażamy sobie życia. Jeszcze 20 lat temu był to być może zbytek i symbol prestiżu – telefony „się miało”, ale niekoniecznie intensywnie używało – ze względu na koszty połączeń. Z czasem się to zmieniało – rozmowy stawały się tańsze – aż doszły do ofert „bez limitu” – a rozwój technologii pozwalał na coraz szersze wykorzystywanie telefonu nie tylko do rozmów. Pod koniec XX wieku były prowadzone dyskusje – czy potrzebny jest UMTS z jego możliwościami – czy da się to wykorzystać? Teraz możliwości UMTS uważa się za niegodne epoki smartfonów. Można odnieść wrażenie, że rozwój technologii systemów komórkowych jest doskonale znany całemu społeczeństwu – zwłaszcza dzięki reklamom operatorów zachwalających coraz to większe możliwości, bez których życie stanie się udręką. Śmiem nawet postawić tezę, że „wyścigowi zbrojeń” telekomów mogą tylko dorównać producenci suplementów diety. Przemysł do przodu, z niecierpliwością czekamy na „5G” na wyświetlaczu smartfona, uświadomieni reklamami zastanawiamy się, jak mogliśmy bez 5G egzystować. Jednocześnie nie zawsze zdajemy sobie sprawę, że nasze życie codzienne jest wspomagane pocziwym GPRS-em – technologia tylko 2,5G – a niektórzy nawet twierdzą że 2,25G. To z wykorzystaniem GPRS wciąż działa większość terminali płatniczych, systemów alarmowych, telemetrii, transmisji danych w komunikacji miejskiej i wielu, wielu innych dziedzinach, o których nawet byśmy nie pomyśleli. Reklamy skupiają się na możliwościach technologicznych – ale my musimy sobie zdawać sprawę, że za tymi możliwościami stoi ogromna infrastruktura techniczna i okazuje się, że żeby spełnić oczekiwania użytkowników – czasami dość skutecznie wykreowane reklamami – inżynierowie muszą wciąż ją optymalizować, rozbudowywać i szukać nowych rozwiązań.

### Historia systemów komórkowych w Polsce

Historia telefonii komórkowej w Polsce sięga czerwca 1992r. PTK Centertel uruchomił wtedy sieć opartą na skandynawskim analogowym systemie NMT 450i (*Nordic Mobile Telephone*) w paśmie 450MHz. Duży przełom i w zasadzie początek powszechnego dostępu do telefonu komórkowego nastąpił w 1996, kiedy to wystartowały w Polsce dwie sieci GSM (*Global System for Mobile Communications*) w paśmie 900MHz – PTC Era i Plus Polkomtela. Centertel w technologię cyfrową wkroczył dopiero w 1998 r. z marką Idea, w systemie wtedy nazywanym DCS – czyli GSM w paśmie 1800MHz. Z czasem wszyscy trzej operatorzy oferowali swoje usługi w obu pasmach GSM 900MHz i 1800MHz. Podstawowy system GSM przeznaczony był jedynie do połączeń głosowych w trybie komutacji kanału i przesyłania krótkich

wiadomości tekstowych – SMS. Dodatkowo przepustowość 9,6 kb/s pozwalała na przesyłanie faxów – chociaż nie stało się to zbyt popularne. Dostyc szybko okazało się, że chcemy moc więcej – pierwszą odpowiedzią technologii była nakładka na GSM określana skrótem GPRS (*General Packet Radio Service*) i wdrożona w Polsce w 1999 r przez Polkomtela, a później również przez pozostałych operatorów. Technologia ta pozwalała na pakietową transmisję danych z prędkością do 100 kb/s. Transmisja pakietowa była pewną rewolucją – w odróżnieniu od komutacji kanałów – gdzie kanał był zajęty przez jednego abonenta przez cały czas trwania połączenia – w transmisji pakietowej zasoby sieci są zajmowane wyłącznie na czas niezbędny do przesłania danych – i co ważniejsze – dane te mogły być przesyłane z przerwami, a kanał współdzielony dla danych różnych użytkowników. Pozwalało to na znacznie lepsze wykorzystanie zasobów sieci, zwłaszcza, że GPRS pozwala na transmisje w połączonych szczelinach czasowych nawet do 4 szczelin dla jednej transmisji. Kolejna poprawa parametrów systemu zrealizowała się dzięki wprowadzeniu EDGE (*Enhanced Data rates for GSM Evolution*). Zmieniono w nim interfejs radiowy – a dokładniej schemat modulacji na wydajniejszy, co pozwoliło na uzyskanie zawrotnej jak na tamte czasy teoretycznej prędkości transmisji 296 kb/s. Wtedy wystarczało to do w miarę płynnego przeglądania poczty czy stron internetowych – bo i strony były znacznie mniej „danożerne”. Niestety to był techniczny koniec możliwości rozwoju GSM. Rewolucja w Polsce nastąpiła już w obecnym tysiącleciu – w 2004 r Polkomtela, a w 2005 Era i Orange (dawniej IDEA) uruchomiły sieci UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*) w nowym paśmie 2100 MHz. W zasadzie to od momentu wprowadzenia UMTS należało by przestać używać terminu „telefonia komórkowa” – trafniejsze określenie to sieci lub systemy komórkowe. Dlaczego już nie „telefonii”? - bo o ile w NMT czy GSM (nawet z nakładkami GPRS i EDGE) podstawą systemu były rozmowy telefoniczne, a inne usługi były do tego dodatkiem – to zasadniczo w kolejnych systemach transmisja głosowa jest po prostu jedną z wielu usług dostępnych w systemie – a można nawet wysunąć tezę, że stała się ona dodatkiem do szeroko pojętej transmisji danych. Podstawowy standard UMTS nie zrewolucjonizował prędkości transmisji – cały kanał stacji bazowej miał przepustowość 2 Mb/s a maksymalna prędkość pojedynczej transmisji nie przekraczała 348 kb/s. Oczywiście – podobnie jak w GSM, tu także pojawiły się nakładki na system: HSPA (*High-Speed Packet Access*), HSDPA (*High Speed Downlink Packet Access*) i HSUPA (*High-Speed Uplink Packet Access*) w teorii pozwalające na transfer z prędkościami przekraczającymi nawet 20 Mb/s – w praktyce ok. 2 Mb/s. W naszej historii przyszedł czas na rok 2007 – kiedy na rynku pojawił się czwarty operator – P4 z siecią Play.

Początkowo Play budował swoją infrastrukturę tylko w technologii UMTS 2100MHz oraz w ramach roamingu wewnętrznego korzystał z infrastruktury innych operatorów. W ostatnich latach Play znacząco rozbudował własną pełną infrastrukturę. Ostatnią historyczną rewolucją w systemach komórkowych w Polsce było wprowadzenie w 2011 r. LTE (*Long Term Evolution*). Technologia pozwalająca wykorzystywać kanały transmisyjne o różnej szerokości – od 5 MHz do 20 MHz z teoretyczną prędkością transmisji w wersji podstawowej do 100 Mb/s od stacji bazowej do abonenta (DownLink) i 50 Mb/s w drugą stronę (UpLink). Dla LTE przewidziano dwa pasma częstotliwości - 800 MHz i 2600 MHz, ale jak się okazało – sztywne przypisanie częstotliwości do poszczególnych systemów jest już tylko historią.

Z historycznego punktu widzenia nie można nie wspomnieć o budowie i rozwoju sieci, czyli o czasach kiedy operatorzy prześcigali się w zwiększaniu zasięgu swoich sieci – pokrycie terenu było wtedy najistotniejsze – zresztą bardzo słusznie – bo często ten kto pierwszy na danym terenie miał zasięg – przejmował większość potencjalnych klientów z tego obszaru. Bywało, że całe miejscowości były abonentami jednego operatora. I może trudno w to uwierzyć – ale są jeszcze w Polsce miejsca – gdzie jest to cały czas podstawowe kryterium wyboru – chociaż jest na szczęście tych miejsc coraz mniej. Dopiero po uzyskaniu zasięgu – pokrycia terenu sieci rozbudowywano pod kątem pojemności – zapewnienia właściwej dostępności i jakości usług. Pojemność zwiększano przez zagęszczenie sieci – zwiększenie liczby stacji bazowych oraz przez wdrażanie nowych systemów – ale także rekonfigurację sieci i systemów.

### Systemy komórkowe – stan obecny

Obecnie eksploatowane stacje bazowe systemów komórkowych są z reguły stacjami wieloczęstotliwościowymi i wielosystemowymi. Pasma częstotliwości przeznaczone dla systemów komórkowych w Polsce zebrano w Tabeli 1 – i można powiedzieć, że na szczęście z czasem pasm przybywało – żadne nie zostało póki co odebrane systemom komórkowym. Z drugiej strony patrząc, przy obecnym rozwoju radiokomunikacji i ograniczonych zasobach częstotliwości – żeby ktoś mógł dostać nowe pasmo – z reguły inny system musiał je stracić. W pewnym sensie ofiarą rozwoju systemów komórkowych padła telewizja naziemna – już straciła na rzecz LTE 800 częstotliwości 790-860MHz, a lada moment 5G zabierze pasmo 700MHz. Szczęśliwie – dzięki zmianom standardów nadawania telewizji naziemnej najpierw z analogowego na cyfrowy DVB-T a ostatnio na DVB-T2 - zmniejszenie liczby dostępnych częstotliwości nie spowodowało ograniczenia oferty programowej telewizji.

Analizę Tabeli 1 ułatwi przypomnienie podstawowych parametrów interfejsu radiowego poszczególnych technologii komórkowych. Można wyróżnić cztery

podstawowe parametry interfejsu radiowego: omówione już pasmo częstotliwości pracy, sposób zapewnienia transmisji dwukierunkowej (duplex), sposób dostępu do kanału dla danej transmisji i fizyczną szerokość kanału radiowego wykorzystywaną dla pojedynczej transmisji. Praktycznie wszystkie dotychczasowe systemy komórkowe dla zapewnienia transmisji dwukierunkowej stosują duplex częstotliwościowy FDD (Frequency Domain Duplex) – czyli do transmisji wykorzystywane są dwa różne kanały fizyczne na różnych częstotliwościach – a odstęp między nimi jest stały i jednoznacznie określony. Przyjęło się również, że częstotliwość kanału od stacji bazowej do abonenta (DownLink) jest wyższa od częstotliwości kanału od abonenta do stacji bazowej (UpLink). Duplex czasowy TDD (Time Domain Duplex) był przewidziany do wykorzystania w UMTS, ale w zasadzie nie został wdrożony. Za to będzie to podstawowa technika stosowana w 5G. TDD polega na przydzieleniu dla danego systemu jednego kanału radiowego, w którym w odpowiednich chwilach czasu transmisja następuje raz w jedną – raz w drugą stronę. Jeżeli mamy już zdefiniowany kanał radiowy – musimy do niego zapewnić dostęp poszczególnym transmisjom – najlepiej kilku jednocześnie. W systemach komórkowych stosuje się rozwiązania oparte na TDMA (*Time Division Multiple Access*) - GSM, WCDMA (*Wideband Code-Division Multiple Access*) - UMTS, OFDMA (*Orthogonal Frequency Division Multiplex Access*) i SC-FDMA (*Single Carrier – Frequency Division Multiple Access*) – LTE. Każda z technik dostępu do kanału ma swoje wady i zalety – ale też różny stopień skomplikowania technicznego. Bez wątplenia uważa się, że technika OFDM daje obecnie największe możliwości pod kątem optymalnego wykorzystania dostępnego pasma i dlatego jest powszechnie stosowana w najnowszych systemach telekomunikacyjnych. Ostatnim parametrem interfejsu radiowego jest szerokość wykorzystywanego kanału radiowego. W GSM wykorzystuje się kanały o szerokości ok. 200kHz, w UMTS – 5MHz (ok. 3,5MHz zajmuje sygnał, reszta to pasmo ochronne). W LTE jest możliwość korzystania z kanałów o równej szerokości – 5MHz, 10MHz, 15MHz i 20MHz.

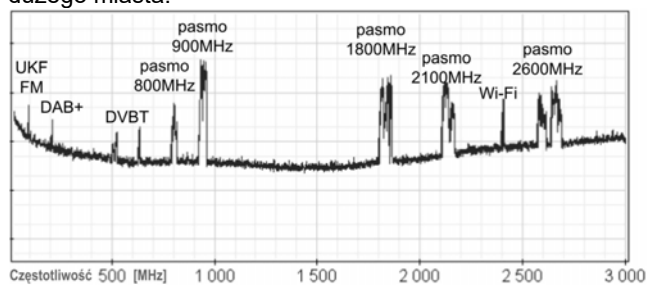
Z analizy Tabeli 1 wynika, że na przestrzeni lat zmieniło się przypisanie systemów do różnych zakresów częstotliwości, i tak pasmo 900MHz i 1800MHz przewidziane były tylko dla systemu GSM – i faktycznie po rozdzieleniu kanałów częstotliwościowych dość przypadkowo na wszystkich operatorów można było w tych pasmach zmieścić tylko kanały GSM. Kilka lat temu udało się dzięki porozumieniu operatorów i Urzędu Kontroli Elektronicznej uporządkować układ kanałów tak, żeby poszczególni operatorzy otrzymali do dyspozycji po jednym ciągłym zakresie częstotliwości.

Tabela 1. Pasma częstotliwości wykorzystywane przez systemy komórkowe w Polsce

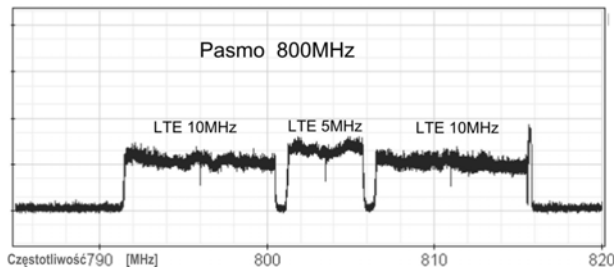
Pasmo	Zakres częstotliwości	Przeznaczenie pierwotne	Wykorzystanie obecne	uwagi
700 MHz	694-790	5G*	Telewizja DVB-T2	*Pasmo ma być dostępne od 2023r.
800 MHz	UL 791–821 MHz DL 832–862 MHz	LTE	LTE	UL – UpLink DL – DownLink
900 MHz	UL 876–915 MHz DL 921–960 MHz	GSM	GSM, UMTS	
1800 MHz	UL 1710–1785 MHz DL 1805–1880 MHz	GSM	GSM, LTE	
2100 MHz	UL 1920–1980 MHz DL 2110–2170 MHz	UMTS	LTE, UMTS	UMTS jest z tego pasma sukcesywnie wycofywane
2600 MHz	2500–2690 MHz	LTE	LTE, 5G	5G na dawnym kanale AERO2
3600 MHz	3400-3800 MHz	5G*	-	*Pasmo oczekuje na aukcję

Było to podstawą do wystąpienia o zmianę przeznaczeń częstotliwości – i możliwość uruchomienia UMTS i LTE w pasmach 900 MHz i 1800MHz. Spowodowało to lepsze wykorzystanie widma, a tym samym zwiększenie pojemności i przepustowości sieci. Warto podkreślić, że Polska jako pierwszy kraj w Europie zaimplementowała LTE w paśmie 1800MHz. Obecnie można zauważyć jeszcze jeden trend – wypieranie UMTS 2100 przez LTE. Przyczyna tych działań jest identyczna jak powyżej – lepsze wykorzystanie dostępnych zasobów częstotliwościowych. UMTS jako system mający prawie 20 lat uznaje się już jako przestarzały – a co ważniejsze znacznie mniej wydajny niż LTE. Zastępuje się więc kanały UMTS 5 MHz kanałami LTE. Działanie takie ma jeszcze jedną zaletę – możliwość tzw. agregacji pasm. Polega to na przesyłaniu danych dla jednego abonenta jednocześnie na różnych kanałach. Zwiększenie przepustowości łącza można uzyskać albo przez zwiększanie stosunku sygnał/szum albo przez poszerzenie pasma transmisji. Agregacja pasm jest właśnie fizyczną realizacją tych możliwości. Można tu zastosować obie metody. Rozwiązanie pierwsze to podział strumienia danych na kilka kanałów co daje nam wzrost poszerzenie pasma transmisji (zrealizować to można zarówno poprzez wykorzystanie np. dwóch kanałów w tym samym paśmie ale też transmisję na kanałach z różnych pasm częstotliwości). Drugie rozwiązanie to przesyłanie tych samych danych na różnych częstotliwościach. W ten sposób można wpłynąć na poprawę stosunku sygnał/szum traktowanego bardzo ogólnie – włączając w to również efekty zaników czy skutków wielodrogowej propagacji. Rozwiązania takie są już powszechnie stosowane przez operatorów w miarę posiadanych zasobów. I tu dochodzimy do najistotniejszego zagadnienia – możliwości sieci – zasięgu i pojemności.

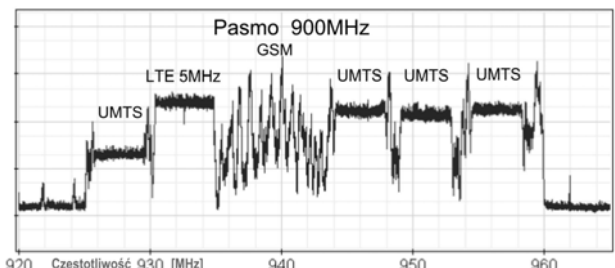
Spoglądając na historię rozwój systemów był związany z ekspansją coraz wyższych częstotliwości – w wyższych zakresach były dostępne szersze pasma – więc potencjalnie większe przepustowości sieci. Ale niestety ze wzrostem częstotliwości spada zasięg stacji bazowych – co wynika z warunków propagacyjnych. O ile dla stacji GSM 900 mówiło się o zasięgu nawet kilkunastu kilometrów, to stacja LTE 2600 zapewnia zasięg przy pełnej przepustowości poniżej 1 km. Tak więc dla poprawy parametrów sieci nie wystarczy tylko uruchomienie nowych systemów na istniejących stacjach bazowych – niezbędne jest zagęszczanie fizyczne sieci przez budowę nowych stacji bazowych. Jest to szczególny problem zwłaszcza w obszarach mniej zurbanizowanych – o mniejszym zagęszczeniu potencjalnych abonentów. Pewną poprawą sytuacji było wdrożenie LTE 800 – ale jest tam dostępne tylko stosunkowo wąskie pasmo. Należy jeszcze zauważyć, że starsze telefony nie muszą być przystosowane do LTE 800 i 2600 – chociaż obiektywnie patrząc – cykl życia telefonów znacznie się skrócił i modeli nie obsługujących nowych technologii jest coraz mniej w użyciu. Na rysunkach 1-6 przedstawiono przykładowe widma sygnałów radiokomunikacyjnych zarejestrowane w centrum dużego miasta.



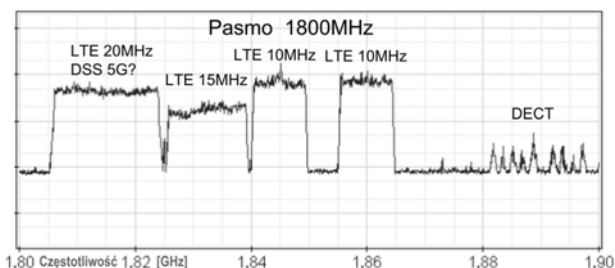
Rys. 1. Przykład widma systemów radiokomunikacyjnych w centrum dużego miasta



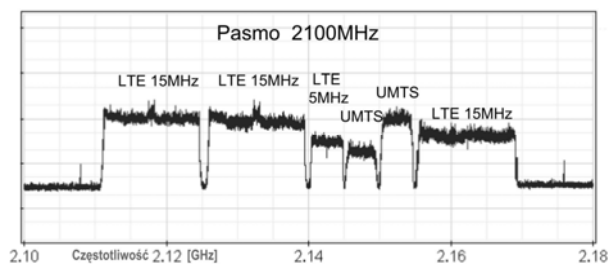
Rys. 2. Widmo systemów komórkowych pasma 800MHz w centrum dużego miasta



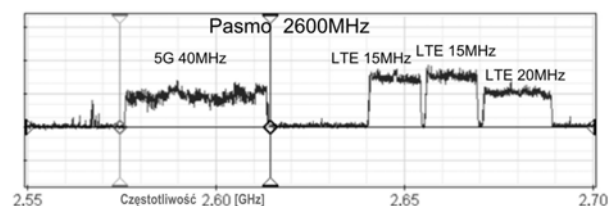
Rys. 3. Widmo systemów komórkowych pasma 900MHz w centrum dużego miasta



Rys. 4. Widmo systemów komórkowych pasma 1800MHz w centrum dużego miasta



Rys. 5. Widmo systemów komórkowych pasma 1800MHz w centrum dużego miasta



Rys. 6. Widmo systemów komórkowych pasma 1800MHz w centrum dużego miasta

## 5G

Jak w tej strukturze systemów komórkowych pozycjonuje się 5G? Najpierw musimy sobie odpowiedzieć na pytanie co rozumiemy pod pojęciem 5G. Z użytkowego punktu widzenia to rewolucja technologiczna umożliwiająca znacznie większą przepustowość sieci, ale też – niezmiernie ważne dla internetu rzeczy - minimalne opóźnienia transmisji – możliwość pracy „on-line” co dla maszyn oznacza opóźnienia maksymalnie kilku milisekund – nieosiągalne dotychczas. A technicznie? 5G to w pierwszym przybliżeniu LTE TDD z szerszymi kanałami

(większa przepustowość) i znacznie gęstsza siecią stacji bazowych i nowymi częstotliwościami pracy. W planach rozwoju sieci 5G w Polsce przewidziano nowe pasma – 700 MHz – pasmo odebrane w Europie telewizji, pasma 3,6 GHz oraz pasmo w zakresie fal milimetrowych - 26 GHz. To także inne podejście do podziału obszaru na komórki. Dotychczas stosuje się typową sektoryzację komórki – obszar obsługiwany przez stację bazową dzieli się sztywno z reguły na 3 sektory po 120° lub 4 sektory po 90°. Wysyłając informację do jednego abonenta w danym sektorze – rozsyła się ją w obszar całego sektora – co jest mało efektywnie energetycznie. W standardzie 5G przewiduje się stosowanie anten wielowiązkowych z wiązkami przełączalnymi lub nadążnymi. System z wiązkami przełączalnymi można potraktować jak dynamiczne podzielenie typowego sektora na podsektory obsługiwane przez poszczególne wiązki anteny – w paśmie 3,5GHz przewiduje się wykorzystywanie układów z ok. 6 do 12 wiązek, w paśmie 26GHz – nawet do 64 wiązek. Co istotne - technologia pozwala na przesyłanie w każdej wiązce innych informacji – przeznaczonych dla użytkowników znajdujących się w zasięgu tylko danej wiązki oraz dość swobodne przekazywanie dostępnej mocy nadajnika między wiązkami – do wyłączenia nieużywanych w danej chwili wiązek włącznie. Pozwala to na bardzo efektywne wykorzystanie mocy nadajnika i przepustowości sieci. W systemach z wiązkami nadążnymi system steruje położeniem poszczególnych wiązek w przestrzeni – co pozwala na podążanie wiązki za przemieszczającym się w obszarze sektora abonentem. Rozwiązanie takie przyczyni się do jeszcze lepszego wykorzystania zasobów oraz zmniejszenia opóźnień transmisji – każde przełączenie abonenta między sektorami stacji bazowej czy między stacjami – to dodatkowy czas „operacyjny”. Jak napisano wyżej – dla 5G w Polsce przewidziano nowe pasma, ale ponieważ żadne z tych pasm nie zostało jeszcze udostępnione operatorom – możemy poniekąd mówić o „marketingowym 5G w Polsce”. Obecnie działające 5G jest uruchomione na części zasobów już dostępnych operatorom telekomunikacyjnym - w części kanałów LTE FDD uruchomiono LTE TDD, co pozwoliło zaświecić na wyświetlaczu „5G”. Oczywiście uruchomienie 5G w taki sposób ograniczyło dostępność LTE na tych pasmach, ale operatorzy zastosowali rozwiązanie ratunkowe – tzw. DSS (*Dynamic Spectrum Sharing*) – technikę pozwalającą dynamicznie dzielić kanał na potrzeby 4G (LTE FDD) i 5G (LTE TDD). Jedynym wyjątkiem jest Plus, który przeznaczył na wyłączność 5G kanał o szerokości 40 MHz na częstotliwości 2575-2614 MHz

W tym miejscu można wytłumaczyć potencjalną przewagę TDD nad FDD. Duplex czasowy – jak już wcześniej wspomniano – do transmisji w obie strony używa tego samego kanału radiowego – dzieląc czas dostępu na transmisję UL i DL. W zasadzie przy transmisji symetrycznej w obie strony nie ma to żadnego znaczenia w porównaniu z FDD. Ale zwykle transmisje danych w sieciach komórkowych nie są symetryczne – abonenci zdecydowanie więcej ściągają z internetu niż do niego wysyłają – a nawet jak dużo wysyłają – to w tym samym czasie nie ściągają. W inteligentnym systemie TDD można w takiej sytuacji dość swobodnie zmieniać stosunek czasu nadawania do czasu odbierania danych – tak by jak najlepiej wykorzystać dostępne zasoby. W przypadku FDD takiej możliwości nie ma – jeżeli transmisja jest wyraźnie niesymetryczna – nie można wspomóc się zasobami kanału przeznaczonego do transmisji w drugą stronę – pozostaje on niewykorzystany. Ta elastyczność to właśnie jedna z zalet 5G z TDD. Oczywiście TDD ma też swoje wady i

ułomności, ale to już problem twórców systemów – żeby je skutecznie minimalizować.

Po uzyskaniu przez operatorów docelowych pasm 5G należy się liczyć z tym, że pasmo 700 MHz będzie wykorzystywane do poprawy jakości sieci na terenach o mniejszej gęstości zaludnienia - ze względu na większy zasięg oraz w dużych miastach do użytku w „głębszych” pomieszczeniach ze względu na mniejsze tłumienie przez przegrody budowlane. Pasma 3,6 GHz będzie podstawowym pasmem „pojemnościowym”, ale raczej tylko w obszarach o dużej gęstości zaludnienia. Być może z czasem 5G przejmie też obecne pasma LTE a może także część pasma kanału będzie przeznaczona na 5G. Co do pasma 26 GHz – w tej chwili trudno jest prorokować jego wykorzystanie – szczególnie ze względu na bardzo duże tłumienie tego zakresu częstotliwości i w zasadzie konieczność komunikacji w zasięgu bezpośredniej widoczności anteny nadajnika i odbiornika. Należy pamiętać, że nawet ręka osoby trzymającej odbiornik i przysłaniającej antenę może powodować ogromne tłumienie sygnału.

### Podsumowanie

W tym roku obchodzimy jubileusz 30-lecia telefonii komórkowej w Polsce, w dorosłość wchodzi pokolenie, które już do przedszkola nosiło w worku buty zmienne i telefon komórkowy. Również seniorzy przyzwyczaili się do telefonów komórkowych – nawet ci najbardziej oporni. Infrastruktura systemów komórkowych wrosła w krajobraz – i w zasadzie brak stacji bazowych w okolicy zaczyna dziwić bardziej niż te stacje. Wraz z nowymi technikami i zwiększaniem liczby systemów musimy się liczyć z większą liczbą anten na stacjach bazowych – ale z drugiej strony – producenci też nie próżnują i powszechnie są już wykorzystywane konstrukcje, które zawierają nawet 8 i więcej niezależnych anten w jednej obudowie. Do użytku wchodzi nowe generacje systemów – ale są zastosowania, gdzie 2G trzyma się mocno - migracja serwisów wykorzystujących GPRS do LTE jeszcze trochę czasu potrwa. Oczywiście w zastosowaniach multimedialnych GSM już praktycznie nie istnieje – ale w połączeniach głosowych – na terenach słabo zurbanizowanych jeszcze może nas wielokrotnie wyratować z opresji. Koegzystencja różnych generacji systemów komórkowych jest procesem naturalnym – tak jak migracje między pasmami i w zasadzie z punktu widzenia użytkownika powinien to być proces niewidoczny. Jednak marketing nie pozwoli nam nie zauważyć nowości i generować w nas będzie nowe potrzeby.

**Autor:** dr hab. inż. Paweł Bieńkowski prof. uczelni, Politechnika Wrocławska, Katedra Telekomunikacji i Teleinformatyki, Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław,  
E-mail: pawel.bienkowski@pwr.edu.pl;

### LITERATURA

- [1] 3GPP TR 22.862 V14.1.0 (2016-09) Technical Report 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Services and System Aspects; Feasibility Study on New Services and Markets Technology Enablers for Critical Communications; Stage 1 (Release 14)
- [2] Spectrum used for LTE – July 2017 update”, GSA – Global mobile Suppliers Association. Dostępny pod adresem: <https://gsacom.com/paper/spectrum-used-lte/>
- [3] P. Bieńkowski, J. Podlaska, B. Zubrzak: Pole elektromagnetyczne w środowisku – metody szacowania i monitoring, *Medycyna Pracy* 2019;70(5):567–585.
- [4] P. Bieńkowski: Środowisko elektromagnetyczne w przededniu wdrożenia 5G. Przegląd Telekomunikacyjny, Wiadomości Telekomunikacyjne. 2020, R. 2020, nr 7-8, s. 129-136,. ISSN: 1230-3496;