

## #PowiedzSprawdzam: Agent Orange, czyli rzecz o tym jak bardzo defolianty nie będą potrzebne do rozwoju sieci 5G

**Polemika ekspertów z panem Pawłem Wypychowskim - ekspertem fundacji o nazwie „Instytut Spraw Obywatelskich”, która to protestuje zasadniczo przeciw wszystkiemu: od pieluch jednorazowych, poprzez 5G i żywność GMO, aż po karty płatnicze i pieniądź elektroniczny. Ekspertyzy pana Wypychowskiego nabrały już statusu kultowych i często promowane są nawet w Sejmie. Postanowiliśmy przyjrzeć się jednej z nich.**

Polemika autorów:

Michał Połzun, ekspert od systemów łączności bezprzewodowej, współpracownik m.in. Defense Information Systems Agency DISA, SZ RP, ITU, CEPT.

Rafał Pawlak, kierownik Zakładu Badań Systemów i Urządzeń, p.o. Kierownika Zakładu Aplikacji Multimedialnych, Telemetrii i Systemów Inwentaryzacji, Instytut Łączności – Państwowy Instytut Badawczy.

Kinga Graczyk, politolog.

Pan Paweł Wypychowski jest ekspertem fundacji o nazwie „Instytut Spraw Obywatelskich” (w skrócie InSprO, dalej także InSprO), wehikułu który realizuje postulaty Polskiej Partii Protestującej kabaretu „Klika” z lat 90-tych. InSprO protestuje zasadniczo przeciw wszystkiemu: od pieluch jednorazowych, poprzez 5G i żywność GMO, aż po karty płatnicze i pieniądź elektroniczny. W zasadzie, skoro protestować wolno, to dlaczego się ograniczać. Ekspertyzy pana Wypychowskiego nabrały już statusu kultowych – wystarczy wspomnieć jego analizę „Białej Księgi” Ministerstwa Cyfryzacji, w której wyrokował, że ceny smartfonów 5G nie spadną nigdy przynajmniej poniżej 3000 PLN, a obywatele wydadzą z własnej kieszeni pomiędzy 80 a 200 mld PLN na „wdrożenie” 5G. Dla porównania – budżet Polski w roku 2019, a więc w roku publikacji analizy InSprO wyniósł 400 mld PLN. Każdy czytelnik, który skończył więcej niż 8 klas szkoły podstawowej (lub klas 6 uzupełnionych przez 3 klasy gimnazjum) zadałby sobie dość proste w swej logicznej konstrukcji pytanie – jakim cudem wdrożenie 5G miałyby kosztować nawet połowę rocznego budżetu całego państwa? Wspomniana ekspertyza tego nie wyjaśnia, ale nie przeszkodziło to autorom w promowaniu jej choćby w Sejmie.

Teraz pan Wypychowski na łamach Tygodnika Spraw Obywatelskich (tuba fundacji InSprO) popełnił [artykuł](#), w którym stawia czytelników przed trudnym wyborem. Otóż czytelnicy muszą wybrać – woła 5G czy... drzewa. Aż chciałoby się zacytować słowa Jerzego Liberta: „Uczyniwszy na wieki wybór w każdej chwili wybiera muszę”! Ale doprawdy – skąd wybór między 5G a drzewami? Ponieważ drzewa, wg eksperta InSprO, są jak kłoda (sic!) rzucona pod nogi rozwoju 5G. Jak widać wyobraźnia vel fantazja ludzka granic nie uznaje. Pan Wypychowski dość swobodnie złowieszczy przeto, że „proceder wycinki drzew będzie więc dynamicznie postępował”, a dla 5G „każda przeszkoda w postaci żywego drzewa stanowi poważne zakłócenie bezprzewodowej komunikacji”.

## Naukowiec w sensie Feynmanowskim

Zacznijmy od krótkiego bio pana Pawła Wypychowskiego, które zresztą bez trudu można znaleźć wpisując w Google Jego nazwisko. Już z pierwszych zdań można dowiedzieć się, że ukończył Wydział Elektryczny Politechniki Szczecińskiej na kierunku elektronika i telekomunikacja. To ważne o tyle, że pozwala stawiać Mu (jakby nie było „inżynier po fachu”) wyższe wymagania odnośnie tematyki, którą się zajmuje, wyższe niż przeciętnemu politologowi czy absolwentowi socjologii, prawda?

Sprawdźmy więc, czy tym razem panu ekspertowi, mniającemu się również „naukowcem w sensie Feynmanowskim” czyli takim, dla którego „nauka to uporządkowany sceptycyzm co do wiarygodności opinii ekspertów”, pójdzie lepiej niż z nieszczęsną analizą kosztów wdrożenia 5G. Kierując się bowiem jego własną zasadą – jest naszym obowiązkiem poddać w wątpliwość w sposób uporządkowany wygłaszane przezeń, jako eksperta, opinie. Poddajemy je zatem... a wątpliwości nie brakuje.

## Wysysanie powietrza

Otóż, wbrew temu, co twierdzi pan ekspert, PODSTAWOWĄ przeszkodą, którą ZAWSZE bierze się pod uwagę przy projektowaniu sieci nie są drzewa. Jest nią POWIETRZE, no co za pech. Tak się bowiem składa, że na planecie Ziemia to powietrze jest podstawowym medium, w którym rozchodzą się fale elektromagnetyczne, nawet te pochodzące z sieci komórkowych (najgorsze z najgorszych, jakby te z nadajników DVB-T2 były inne, ale mniejsza o większość). Być może w równoległym uniwersum zamieszkałym przez korniki to propagacja w drewnie byłaby podstawowym zjawiskiem badanym przez projektantów sieci. Tego nie wiemy, więc nie będziemy się w to zagłębiać.

Tzw. tłumienie wolnej przestrzeni pozwala w pewnym uproszczeniu określić jak dużo z naszego sygnału emitowanego przez antenę nadajnika (np. właśnie ze stacji bazowej) ulega „ulotnieniu” zanim dotrze do anteny odbiornika (np. naszego telefonu). I vice versa – tłumienie wolnej przestrzeni ma dokładnie taki sam wpływ na to, ile z sygnału emitowanego przez nasz smartfon dotrze do odbiornika stacji bazowej. Tłumienie wolnej przestrzeni więc jest FUNDAMENTALNYM czynnikiem w określaniu tzw. budżetu łącza radiowego, czyli tego czy przy pewnych zadanych parametrach wejściowych, mocach i odległościach w ogóle dojdzie do skutecznej komunikacji między nadajnikiem a odbiornikiem sygnału radiowego. W pewnym uproszczeniu można przyjąć, że tłumienie wolnej przestrzeni jest zgodne z prawem odwrotnych kwadratów – a więc moc sygnału maleje odwrotnie proporcjonalnie do kwadratu odległości od jego źródła. Co to oznacza w praktyce? Tyle, że oddalając się dwukrotnie moc sygnału spada czterokrotnie, oddalając się trzykrotnie moc spada dziewięciokrotnie, oddalając się czterokrotnie moc spada szesnastokrotnie, itd.

Tłumienie wolnej przestrzeni jest również zależne od długości fali, czyli częstotliwości. Dla łączności typu punkt-punkt, zgodnie z obowiązującym zaleceniem ITU-R P.525-4 można opisać je wzorem:

$$L_{bf} = 32,4 + 20\log(f) + 20\log(d)$$

Podstawiając do wzoru częstotliwość ( $f$ ) wyrażoną w [MHz] oraz odległość ( $d$ ) wyrażoną w [km] każdy może przekonać się jak te dwie zmienne wpływają na tłumienie w wolnej przestrzeni  $L_{bf}$ . Dlaczego więc pan ekspert nie wieszczy, że telekomy będą wysysać powietrze zamiast wycinać drzewa, tego nie wie nikt. Wydaje się, że w swoim Feynmanowskim sceptycyzmie wobec nauki posunął się nieco za daleko.

## Dyfrakcja, propagacja, interferencja i inne trudne słowa oznaczające zjawiska jeszcze trudniejsze

To z kolei, rodzi kolejne pytania. Dlaczego drzewa miałyby być problemem dla 5G, a nie były dla 4G, 3G i wcześniejszych generacji? O ile nam wiadomo (a jest to wiedza kwalifikowana do zasobu wiedzy powszechnej i ogólnodostępnej) drzewa istniały na Ziemi na długo przed tym, zanim pojawiła się pierwsza sieć komórkowa. Istniały, to pewnik, i co w związku z tym? Skoro już wiemy, że drzewa istniały, więc ich obecność musiała być uwzględniana w planowaniu już najwcześniejszych sieci radiowych. I dokładnie tak było.

Propagacja fal radiowych to złożone zjawisko. Jak wiemy ze szkoły, fale elektromagnetyczne podlegają całemu spektrum zjawisk. Są to m.in. dyfrakcja, odbicie, załamanie czy polaryzacja. W radiokomunikacji niezmiernie rzadko (na tyle rzadko, że praktycznie nigdy) dochodzi do zjawiska zwanego propagacją jednorodową – czyli takiego, gdzie fale docierają z nadajnika do odbiornika wyłącznie jedną, najkrótszą i absolutnie niezakłóconą drogą. W systemach komórkowych mamy zwykle do czynienia z propagacją wielodrogową, kiedy to sygnał dociera do odbiornika z wielu kierunków, ulegając wcześniej odbiciu, załamaniu czy dyfrakcji. Propagacja wielodrogowa zawsze stanowi wyzwanie, ale często stanowi również szansę. Szansę na to, że mimo przeszkód odpowiednia porcja energii jednak dotrze do odbiornika i łączność zostanie nawiązana.

Zagadnieniami propagacji zajmuje się wiele gremiów. Chyba najważniejszym z nich jest grupa robocza ds. propagacji, działająca w ramach Międzynarodowego Związku Telekomunikacyjnego ITU. W jej pracach bierze udział cały wachlarz ekspertów – fizycy, inżynierowie, specjaliści od radiokomunikacji. Nic więc dziwnego, że już dawno temu zajęli się oni również problemem tłumienia sygnału przez roślinność. I rozłożyli problem na czynniki pierwsze.

## Zbadane, zmierzone, policzone

W zaleceniu ITU-R P.833-10 opisano szczegółowo wpływ różnych rodzajów roślinności na tłumienie sygnału. Najwcześniejsza wersja zalecenia datowana jest na 1994 rok – dziw bierze, że ekspert InSprO nie znał tego dokumentu! Eksperci ITU zbadali i zmierzili m.in. to w jaki sposób poszczególne gatunki drzew tłumią sygnał o różnych częstotliwościach, sięgających nawet 100 GHz. Empirycznie zmierzono, opisano i zamodelowano sosny, dęby, klony. Określono przeciętną wielkość liści, grubość gałęzi, wielkość koron. Zamodelowano wpływ poszczególnych pór roku na rozchodzenie sygnału – pan ekspert Wypychowski zapomniał o tym, że w naszym klimacie drzewa pozostają bez liści przez większą część roku, nie stanowiąc wtedy przeszkody dla działania sieci radiowych. Określono także jaka porcja energii ulega pochłonięciu przez drzewa, jaka odbiciu (od liści, ale i gruntu), jaka dyfrakcji na koronie drzewa. Słowem – stworzono cały model pozwalający przewidzieć jak będzie rozchodzić się sygnał sieci komórkowej w środowisku o bujnej roślinności.

Wnioski płynące z zalecenia ITU-R P.833-10 stosowane są przy modelowaniu sieci, a skomplikowane formuły, jak np. ta poniżej, pozwalają wyliczyć nawet stopień rozproszenia sygnału ( $L_{scat}$ ) przechodzącego przez korony drzew:

$$L_{scat} = -10 \log_{10} \left( e^{-\tau} + \frac{\Delta\gamma_R^2}{4} \cdot \{ [e^{-\hat{\tau}} - e^{-\tau}] \cdot \bar{q}_M + e^{-\tau} \cdot \sum_{m=1}^M \frac{1}{m!} (\alpha W \tau)^m [\bar{q}_m - \bar{q}_M] \} \right. \\ \left. + \frac{\Delta\gamma_R^2}{2} \cdot \left\{ -e^{-\hat{\tau}} \cdot \frac{1}{P_N} + \sum_{k=\frac{N+1}{2}}^N [A_k e^{-\frac{\hat{\tau}}{s_k}} \cdot \frac{1}{1 - \frac{\mu_N}{s_k}}] \right\} \right)$$

jednak uspakajamy z całą mocą: żeby skutecznie wdrażać 5G nie trzeba stosować detoliantów, takich jak tytułowy [Agent Orange](#). Wystarczy stosować faktyczne zdobycze nauki, a nie pseudonauki.

### Błacha Panie Inżynierze! Mamy problem z blachą!

Na koniec mała dygresja. Sieć 5G wykorzystująca fale milimetrowe (częstotliwości 26 GHz i wyższe) będzie zupełnie inna od znanych nam dziś sieci, złożonych z anten posadowionych w polach bądź na budynkach. Będzie to albo „hotspot” obsługujący punktowo ruch w centrach miast czy galeriach handlowych (gdzie drzewa raczej nie rosną), albo element prywatnej sieci wewnątrzbudynkowej, gdzie zamiast z tłumieniem przez roślinność trzeba będzie się zmierzyć z odbiciami od powierzchni ścian z blachy falistej wewnątrz hal produkcyjnych czy magazynów. Czekamy z niecierpliwością na kolejny artykuł na łamach Tygodnika Spraw Obywatelskich, tym razem o tym jak dla rozwoju 5G trzeba będzie demontować zakłady produkcyjne. Albo wysysać powietrze.

### O projekcie

Projekt „Sprawna telekomunikacja mobilna jako klucz do rozwoju i bezpieczeństwa” realizowany przez KPRM we współpracy z Instytutem Łączności - Państwowym Instytutem Badawczym w ramach Programu Operacyjnego Polska Cyfrowa Działanie 3.4. Kampania ma na celu zwiększenie świadomości Polaków w zakresie działania, wykorzystania, bezpieczeństwa i znaczenia mobilnych sieci telekomunikacyjnych, a tym samym usług (w tym publicznych) opartych o te sieci. W ramach projektu zrealizowane zostaną działania w następujących obszarach: walka z dezinformacją, edukacja, podstawy prawne procesu inwestycyjnego, bezpieczeństwo i jakość życia.