

## **Czy popyt może rosnąć w nieskończoność?**

### **Głośność kontra prędkość**

Popyt na usługi mobilne jest zwykle mierzony w miesięcznych ilościach danych - miara zużywanego ilości. Jednak dotychczasowa dyskusja sugerowała, że kluczowym powodem wprowadzenia nowych generacji technologii mobilnych jest szybkość. W tej części omówiono, w jaki sposób pojemność i prędkość są powiązane, zanim rozważymy prawdopodobny wzrost zapotrzebowania zarówno na prędkość, jak i dane we wdrożeniu 5G. Uproszczone podejście może zakładać, że nie ma związku między prędkością a danymi. Dla kogoś, kto chce pobrać załącznik lub film, ilość danych pozostaje niezmienna niezależnie od prędkości - po prostu trwa to dłużej przy wolniejszym połączeniu. W praktyce istnieje pewna korelacja. Użytkownicy będą podejmować pewne działania, takie jak przesyłanie strumieniowe wideo, tylko wtedy, gdy szybkość transmisji danych jest wystarczająco wysoka. W związku z tym, gdy przekroczą określone progi, wyższe szybkości transmisji danych zwykle powodują skokowe zmiany popytu. Operatorzy sieci komórkowych zaobserwowali ten efekt, zauważając, że zapotrzebowanie na dane ma tendencję do znacznego wzrostu w miarę jak abonenci którzy przeszli z 3G na 4G, uzyskują szybsze i bardziej niezawodne dane. Można się jednak spodziewać, że gdy będą dostępne prędkości przekraczające te, które są potrzebne dla aplikacji intensywnie korzystających z danych, związek między prędkością a zapotrzebowaniem ponownie zaniknie. Nowe generacje technologii mobilnej zazwyczaj mają na celu:

1. Zapewnienie wyższej szybkości transmisji danych, aby poprawić wrażenia użytkownika.
2. Zapewnienie większej wydajności pod względem przepustowości na jednostkę widma radiowego, aby umożliwić sieciom przenoszenie zwiększonego ruchu. W tym rozdziale omówiono, w jakim stopniu jest to potrzebne w 5G.

### **Jaka prędkość jest potrzebna**

Szybkość przesyłania danych uznawana za akceptowalną stopniowo rosła w czasie. Ponieważ większe prędkości stały się możliwe, dostawcy aplikacji dostarczyli nowe usługi, napędzając popyt na tego rodzaju prędkości. Na przykład, gdy prędkość wzrosła powyżej 1 Mb/s, możliwe stało się dostarczanie treści wideo, co spowodowało ogromny wzrost popytu. Doprowadziło to następnie do świadczenia usług wideo o wyższej rozdzielczości, co ponownie pobudziło popyt. Ustalenie, ile prędkości jest „wystarczające”, jest problematyczne. Można obliczyć prędkość, która jest wystarczająca w danym momencie dla zwykle używanych usług. Mogą zostać opracowane nowe usługi, które spowodują większe zapotrzebowanie na szybkość, chociaż jest to łagodzone przez fakt, że aplikacje są coraz częściej opracowywane na rynek globalny. Chiny i Indie są znacznie większymi rynkami niż Europa, ale mają niższe prędkości łączności. Dlatego nawet jeśli w krajach rozwiniętych dostępne są bardzo wysokie prędkości, twórcy aplikacji mogą jednak skupić się na niższych prędkościach, aby uzyskać dostęp do większych rynków. Popyt na najwyższe prędkości i największe wolumeny danych jest prawie zawsze napędzany przez konsumpcję wideo. Osoba może oglądać tylko jeden strumień wideo na raz, więc zrozumienie szybkości transmisji danych związanych z wymaganym strumieniem wideo o najwyższej jakości jest dobrym górnym limitem. Może to wzrosnąć w przyszłości, jeśli wzrośnie wideo o wyższej rozdzielczości (np. zapotrzebowanie na wideo 4K) lub jeśli aplikacje takie jak rzeczywistość wirtualna będą wymagać więcej informacji. Na przykład wideo 4K (wideo o rozdzielczości około 4000 pikseli w poziomie) wymaga około 20 Mb/s.<sup>5</sup> Jest to górna granica, ponieważ większość ekranów mobilnych jest zbyt mała, aby oglądanie wideo w tej rozdzielczości było opłacalne. Operatorzy sieci komórkowych odkryli, że „dławienie” wideo z powrotem do 1 Mb/s lub nawet mniej nie ma zauważalnego wpływu na użytkowników telefonów komórkowych. Nieco innym pytaniem jest szybkość potrzebna do natychmiastowego przeglądania stron internetowych. Problem w tym

przypadku dotyczy mniej bezwzględnej prędkości, a bardziej „opóźnienia” — czasu potrzebnego na wysłanie żądania (np. o nową stronę) na serwer i otrzymanie odpowiedzi. Poza określoną prędkością inne czynniki, takie jak czas realizacji na serwerze i opóźnienia związane z internetowymi protokołami TCP/IP, stają się ograniczające.<sup>6</sup> Ta szybkość przesyłania danych wynosi obecnie około 4–8 Mb/s (i dlatego większość użytkowników nie zauważy ulepszone przeglądanie, gdy szybkość transmisji danych wzrośnie powyżej tego punktu). Rozwiązanie tego problemu wymaga zmian w protokołach i architekturach internetowych — coś, co musi nastąpić na szczeblu międzynarodowym w ramach organów normalizacyjnych Internetu i kluczowych graczy przemysłowych.

Jest też coś w rodzaju problemu z kurczakiem i jajkiem w tym, że jeśli szybkości transmisji danych osiągną punkt, w którym koszty dalszego ich zwiększania są bardzo wysokie, programiści będą tego świadomi i nie będą tworzyć aplikacji, które przekroczą tę szybkość transmisji danych. Stąd punkt, w którym konieczna jest poważna zmiana techniczna lub ekonomiczna w celu zwiększenia szybkości transmisji danych, może stać się „wystarczający” w samospełniający się sposób. Oprócz zasięgu mobilnego zapewnianego przez sieć komórkową, istnieje również zasięg komórkowy zapewniany przez Wi-Fi. Rzeczywiście, szacuje się, że spośród wszystkich danych dostarczanych do urządzeń mobilnych około 50 do 80 procent jest przesyłanych przez Wi-Fi. Wi-Fi zazwyczaj zapewnia również łączność w domu z punktu dostępu szerokopasmowego. Wi-Fi może, w najlepszym przypadku, zapewnić prędkości przekraczające 50 Mb/s. Jednak stawki te szybko spadają, jeśli widmo Wi-Fi jest przeciążone lub urządzenia nie znajdują się w pobliżu punktu dostępowego. Wystarczalność obecnie dostępnej prędkości została potwierdzona w niedawnym badaniu przeprowadzonym przez BCG, w którym zapytano użytkowników o ich wrażenia z urządzeń mobilnych i skorelowano je z prędkością i opóźnieniem sieci. Odkryli, że gdy prędkość przekroczyła 1,5 Mb/s, nie nastąpił wzrost zadowolenia konsumentów podczas oglądania wideo, a satysfakcja z korzystania z aplikacji przestała rosnąć przy niższych prędkościach, poniżej 1 Mb/s. Doszli do wniosku, że „wyścig firm telekomunikacyjnych o szybkość może w rzeczywistości być w dużej mierze niepotrzebnym przedsięwzięciem, które łamie kardynalną zasadę skoncentrowanego inwestowania: wydawaj tam, gdzie wydatki liczą się najbardziej”. Zauważyli, że satysfakcja wzrosła wraz ze spadkiem opóźnień, a poziom opóźnień wynosi zaledwie 75 ms w przypadku wideo i około 25–50 ms w przypadku niektórych innych aplikacji (4G zapewnia obecnie opóźnienie około 30 ms w większości niezatłoczonych sieci). Doszli do wniosku, że „operatorzy komórkowi powinni zatem rozważyć zintensyfikowanie swoich wysiłków w celu zmniejszenia przeciążenia sieci”. Jak zauważył BCG, obecne sieci 4G zapewniają prędkości znacznie przekraczające 10 Mb/s (gdy nie są przeciążone). Rzeczywiście, niektórzy operatorzy sieci komórkowych wprowadzają obecnie na rynek prędkości powyżej 100 Mb/s, a producenci zgłosili testy dostarczanie ponad 1 Gb/s podczas agregacji wielu nośników 4G. Bardzo trudno jest zatem zrozumieć, dlaczego mogą być potrzebne prędkości szybsze niż 4G. (Następnie rozważymy pytanie, czy potrzebna jest większa przepustowość, aby zapewnić, że prędkości nie spowalniają wraz ze wzrostem popytu.) Na marginesie warto zauważyć, że istnieją tutaj podobieństwa ze światem stacjonarnych łączy szerokopasmowych. Te same ograniczenia dotyczą przeglądania stron internetowych i zasadniczo takie same w przypadku pobierania wideo. W przypadku użytku domowego usługą o najwyższej szybkości transmisji danych będzie prawdopodobnie przesyłanie strumieniowe wideo 4K przy użyciu około 20 Mb/s. W przypadku wielu osób w domu wymagania mogą osiągać szczytową prędkość około 60–80 Mb/s. To jest w zasięgu możliwości wdrożeń typu fiber-to-the-cabinet (FTTC), które następnie wykorzystują rozwiązania takie jak cyfrowa linia abonencka o bardzo dużej przepływności (VDSL) lub G.fast do budynku. Koncentracja na dostarczaniu światłowodów do domu wydaje się również niepotrzebna, jak wysokie prędkości w ramach 5G. co więcej, może kanibalizować inwestycje, które w przeciwnym razie mogłyby wystąpić w ważnych obszarach, takich jak zwiększenie zasięgu, co omówiono w późniejszych rozdziałach. Rzeczywiście, w Australii, gdzie wdrożono sponsorowane przez

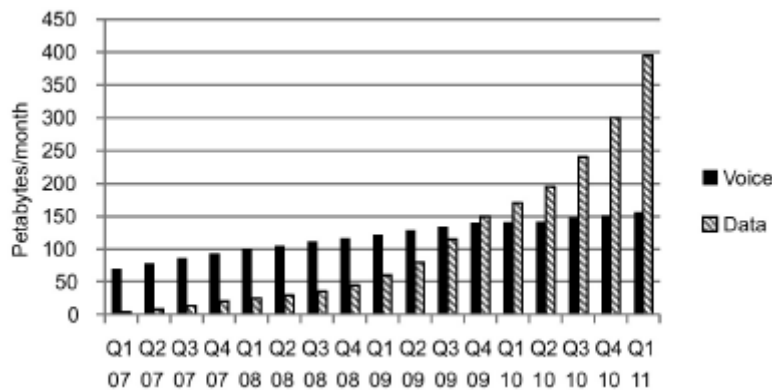
rząd sieci światłowodowe do domu (FTTH), doświadczenie jest takie, że (1) niewielu abonentów wybiera wyższe szybkości transmisji danych dostępne przez światłowód, przy czym większość wybiera szybkości 25 Mb/s lub 50 Mb/s. Mb/s, które byłyby dostępne na FTTC, a (2) dodatkowy czas i siła robocza potrzebne do wdrożenia FTTH oznaczają, że domy, które już otrzymałyby aktualizację FTTC w ramach strategii FTTC, wciąż czekają na jakąkolwiek formę aktualizacji. Tutaj wynik netto dla konsumenta był ujemny.

### **Czas oczekiwania**

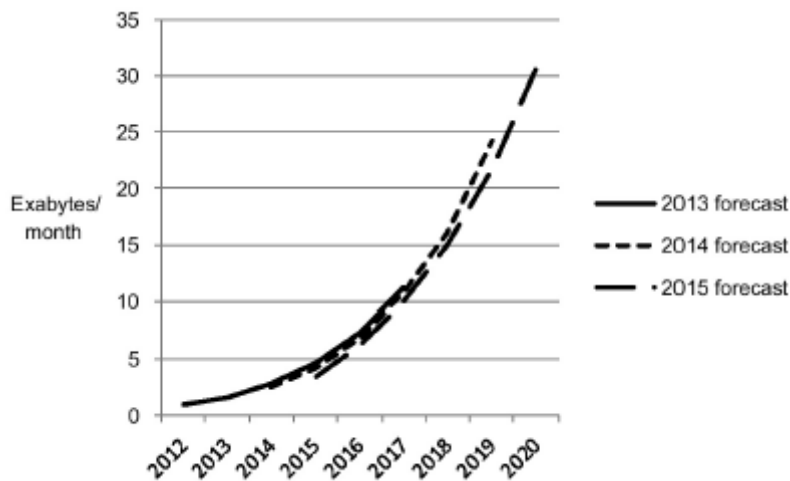
Jak wspomniano powyżej, opóźnienie ma wpływ na wrażenia użytkownika. Opóźnienie jest ogólnie miarą czasu potrzebnego na przesłanie żądania z telefonu komórkowego do punktu końcowego w sieci. W przypadku aplikacji takich jak przesyłanie strumieniowe wideo opóźnienie nie ma znaczenia, ponieważ telefon może buforować materiał z wyprzedzeniem i nigdy nie musi wysyłać pilnego żądania. Jednak w przypadku aplikacji takich jak przeglądanie stron internetowych, gdy prędkość przekracza 1 Mb/s, to opóźnienie określa czas potrzebny do załadowania nowej strony po kliknięciu łącza przez użytkownika. Znaczenie opóźnienia widać, gdy strony internetowe mają wiele elementów. Często zdarza się, że strona internetowa ma około 100 części — tekst, obrazy, nagłówki, reklamy i tak dalej. Jeśli opóźnienie wynosiło 30 milisekund (ms) i pobrano kolejno 100 elementów, wczytanie strony zajęłoby 3 sekundy. W praktyce niektóre elementy można pobierać równolegle; strony internetowe zoptymalizowane pod kątem urządzeń mobilnych mają znacznie mniej elementów. Opóźnienie spadło w pokoleniach komórkowych. Było to około 500 ms przy 2G, być może 100 ms przy 3G i około 30-50 ms przy 4G. Jak zauważył BCG, spadek ze 100 ms w 3G do 50 ms w 4G poprawił zadowolenie użytkowników. Dalsze ulepszenia mogą być zarówno trudniejsze do wprowadzenia, jak i mieć mniejszy wpływ. Na przykład większość aplikacji, w których opóźnienie jest postrzegane jako krytyczny problem, obejmuje wideo — takie jak aplikacje VR lub aplikacje zdalnego sterowania. Nawet najbardziej zaawansowane gogle VR mają częstotliwość odświeżania wideo nie większą niż 100 herców (Hz), co oznacza, że pojawienie się nowej klatki wideo zajmuje 10 ms. Ramka wymaga pewnego przetworzenia, zanim będzie mogła zostać wyświetlona. Dlatego nawet przy zerowej latencji z reszty systemu, około 15 ms latencji jest nieuniknione. Teoretyczne opóźnienie 4G wynosi 10 ms – dodatkowe opóźnienia zwykle występują w sieci szkieletowej MNO. Gdy wiadomość opuści sieć komórkową, może być konieczne przemierzenie kontynentów. Opóźnienie narzucone przez wiadomość wysłaną ze wschodniego wybrzeża Stanów Zjednoczonych, która musi dotrzeć do serwera na zachodnim wybrzeżu, wynosi około 30 ms, a czas dotarcia z Europy do Stanów Zjednoczonych to około 60-100 ms. Niektóre treści mogą być buforowane na serwerach w tym samym kraju, ale zazwyczaj działa to tylko w przypadku najczęściej odwiedzanych stron. Tak więc wiadomość 4G może powodować opóźnienie 10 ms w interfejsie radiowym, 30 ms w sieci szkieletowej MNO i 50 ms w Internecie. W tym przypadku opóźnienie radiowe wynosi nieco ponad 10 procent całości. Gdyby opóźnienie radiowe zostało zmniejszone o połowę do 5 ms, całkowite opóźnienie spadłoby z 90 ms do 85 ms, co byłoby ledwo zauważalne dla wszystkich użytkowników. Oczywiście sieci rdzeniowe można by zoptymalizować w celu zmniejszenia opóźnienia 30 ms, ale można to zrobić za pomocą sieci 4G, być może łatwiej niż w przypadku złożonej zwirtualizowanej sieci 5G, w której wiele zasobów w rdzeniu nie byłoby pod kontrolą operatora MNO. Obecnie trwają prace nad zmniejszeniem teoretycznego opóźnienia 4G do 5 ms poprzez zmniejszenie o połowę rozmiaru bloków zasobów. W społeczności 5G pierwotny cel opóźnienia 1 ms został określony jako niepraktycznie trudny i zmodyfikowany do 8 ms, chociaż liczby te mogą się zmieniać w miarę rozwoju standardów. Opóźnienie jest ważne, ale wydaje się mało prawdopodobne, że 5G będzie miało istotnie mniejsze opóźnienie niż 4G w praktycznych sytuacjach. Nawet gdyby 5G miało mniejsze opóźnienia, wpływ byłby minimalny, ponieważ dominowałyby opóźnienia w innych częściach sieci.

## Prognozy objętości

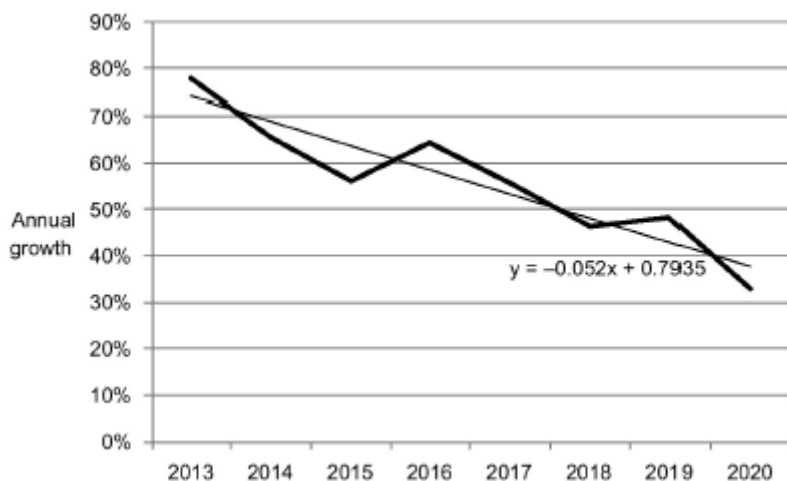
Ilość danych mobilnych rośnie od czasu premiery iPhone'a w kwietniu 2007 roku. Rysunek 1 pokazuje, co się stało z wolumenami głosu i danych w latach bezpośrednio po premierze iPhone'a.



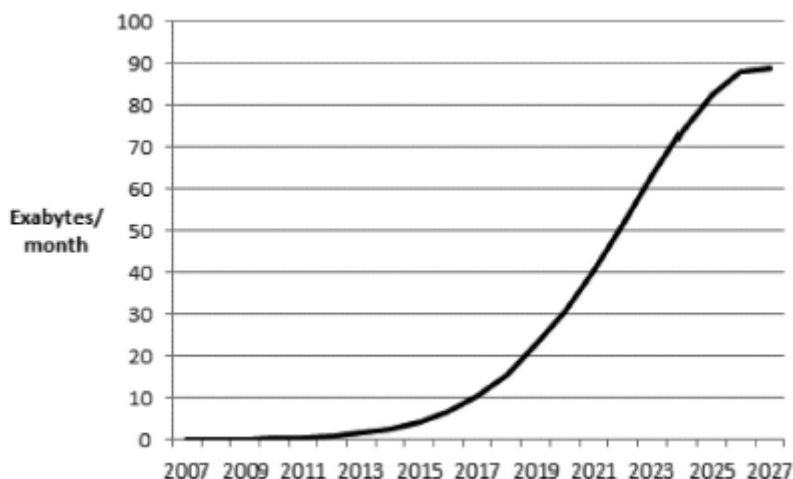
Podczas gdy głos stale rósł, zapotrzebowanie na dane gwałtownie rośnie, zwiększając się około stukrotnie w ciągu pięciu lat od 2007 do 2011 r. Od tego czasu rośnie w szybkim tempie. Rysunek 2 przedstawia prognozy dotyczące ruchu danych mobilnych wykonane w renomowanym w branży „indeksie sieci wirtualnych” (VNI) firmy Cisco w ostatnich latach



Rysunek pokazuje, że popyt nadal rósł i przewiduje się, że tak będzie w przewidywalnej przyszłości. Należy jednak zwrócić uwagę na kilka interesujących punktów. Prognozy nieznacznie się zmieniają niżej. Na przykład prognozy na 2017 r., które zostały wykonane w 2013 r., wynosiły 11,2 eksabajtów miesięcznie; w 2014 roku wynosiły 10,7 eksabajtów miesięcznie; a w 2015 roku wynosiły 9,9 eksabajtów miesięcznie. Należy zauważyć, że wzrost spowalnia. Pokazano to na rysunku 3, gdzie przedstawiono przewidywane tempo wzrostu z roku na rok wraz z liniową linią trendu.

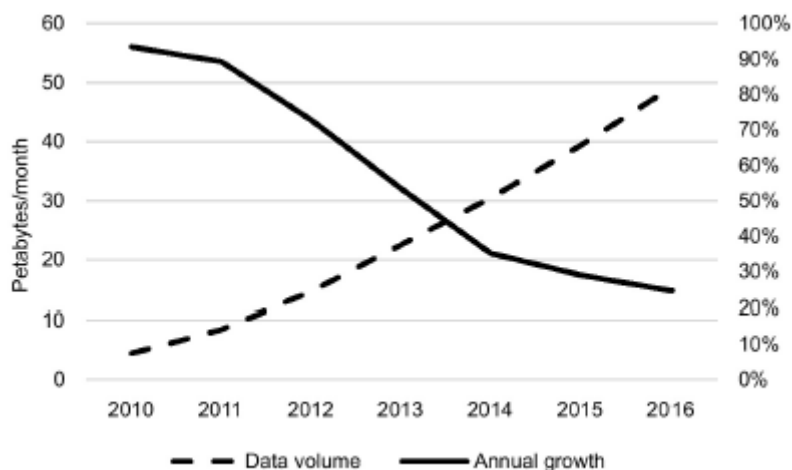
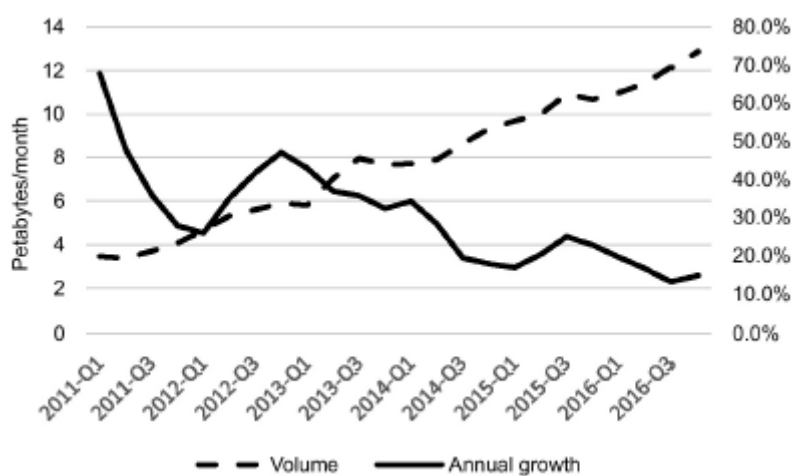


Przewiduje się, że wzrost danych spadnie do 37 procent rocznie do 2020 r., a jeśli trend się utrzyma, do zera do 2027 r. Jest to zaledwie pięć lat po prawdopodobnym wprowadzeniu 5G, zakładając, że utrzyma się trend „jedno pokolenie na dekadę”. Gdyby tak się stało, wymagania dotyczące mobilnej transmisji danych w latach 2007–2027 byłyby takie, jak pokazano na rysunku 4.



Ten rysunek przedstawia klasyczną „krzywą S”, która często występuje w przypadku wielu nowych usług i urządzeń. Gdyby tak się stało, dane ustabilizowałyby się na poziomie około 10 razy większym od dzisiejszego, czyli około 15–20 gigabajtów na użytkownika miesięcznie. Takiego płaskowyzu można by się spodziewać. Jest tylko tyle danych, ile może zużyć abonent sieci komórkowej. Gdy oglądają wideo w wolnych chwilach podczas pobierania aktualizacji i załączników, niewiele więcej można z pożytkiem pobrać. Na pokazanym tu płaskowyzu przeciętny użytkownik mobilny codziennie zużywałby ponad godzinę wideo przez komórkę na swoim urządzeniu mobilnym. (Pamiętaj, że może być również przesyłany strumieniowo wideo do urządzenia mobilnego przez Wi-Fi, a także przesyłany strumieniowo wideo do innych urządzeń, takich jak tablety, prawdopodobnie również przez Wi-Fi, więc jest to wideo najczęściej używane w ruchu). Oczywiście niektórzy użytkownicy przekroczy to, ale równie wiele zużyje znacznie mniej lub pobierze wideo z wyprzedzeniem. Wykorzystanie danych osobowych musi w pewnym momencie nastąpić z opóźnieniem. Istnieją dowody na to, że to już się dzieje. Na przykład Singapurski operator M1 poinformował o prawie stałym wykorzystaniu danych w całym okresie w latach 2015–2016: Średnie zużycie danych ze smartfona po opłaceniu abonamentu wyniosło 3,4 GB miesięcznie w trzecim kwartale 2016 r., w porównaniu z 3,3 GB miesięcznie rok temu.

Przychody z mobilnej transmisji danych wzrosły o 6,2% punktów procentowych rok do roku do 54,2% przychodów z usług w ostatnim kwartale. Podobnie, podała firma Tefficient: W tym samym czasie Singapur, Szwecja, Japonia, Hongkong i Portugalia wykazują znacznie wolniejszy wzrost wykorzystania - w przypadku Singapuru zaledwie 24%. Raport Tficiency szuka obszarów korelacji między wzrostem a innymi zmiennymi i stwierdza, że kluczem jest cena i że użytkownicy płacą około 20 euro miesięcznie, zużywając jak najwięcej danych za tę cenę. Kraje o wysokim zużyciu danych to te, w których koszt na bajt jest stosunkowo niski. Artykuł z LSTelcom przyjrzał się maksymalnemu możliwemu popytowi, jakiego użytkownicy mogą chcieć, zakładając, że konsumują wideo 4K przez całe 16 godzin dziennie, kiedy ludzie nie śpią, i wykazał, że nawet ten ekstremalny poziom oznaczał plateau popytu. Następnie zbadano szereg krajów, w których popyt już spowalnia i pokazał, że wzrost w Singapurze, Japonii i Szwecji spadła do 10-20% rocznie. Odpowiednie krzywe dla Singapuru i Szwecji pokazano na Rysunku 5 i Rysunku 6.



Nie jest do końca oczywiste, dlaczego te kraje mogą mieć niższy wzrost niż przeciętny. Ponieważ mają już wysoki poziom wykorzystania, możliwe, że są jednymi z pierwszych, którzy dotrą na płaskowyż. Niektórzy spekulują, że mogą mieć kulturę wewnętrzną i dobry dostęp do Wi-Fi, co skutkuje większym odciążeniem Wi-Fi niż gdzie indziej. Brzmi to wiarygodnie, a jeśli tak, można się spodziewać, że inne kraje również będą stopniowo poprawiać swoje Wi-Fi. Wydaje się mało prawdopodobne, aby ich ogólne wzorce korzystania z aplikacji i wideo były istotnie różne. Ogólnie rzecz biorąc, mogą to być zatem pierwsze oznaki spowolnienia wzrostu, które nastąpią na całym świecie w nadchodzących

latach. Pod koniec 2018 roku Verto Analytics opublikowało raport BBC, który pokazał, że po raz pierwszy w historii spadła ilość czasu spędzanego na telefonie komórkowym przez osoby w wieku 16-24 lata. Co ciekawe, wzrost użycia obserwuje się obecnie w starszym pokoleniu, które powoli nadrabia zaległości ze swoimi dziećmi i wnukami. Oznacza to również, że nastąpi plateau w użyciu, które zostało już osiągnięte przez najcięższych użytkowników. Ponieważ inni coraz bardziej „nadrabiają zaległości”, ogólny wzrost wykorzystania danych spadnie. Wszystkie te wskazówki sugerują, że przewidywania na wykresie 3.5 mogą być w rzeczywistości zbyt wysokie, a stopy wzrostu mogą spadać szybciej niż tam sugerowano. Z pewnością oczekiwania branży dotyczące 50-procentowego wzrostu rocznie ad infinitum wyglądają niezwykle optymistycznie. Dlaczego więc branża - od producentów po operatorów i od organów regulacyjnych po rządy - nadal wyraża zaniepokojenie wzrostem ilości danych? I dlaczego zwolennicy 5G wzywają do 100-krotnego, a nawet 1000-krotnego wzrostu pojemności danych w porównaniu z poziomem z 2015 roku? Być może dzieje się tak dlatego, że wzrost był wykładniczy od 2007 roku, w wyniku czego wiele firm zostało zaskoczonych. Organy regulacyjne miały trudności ze znalezieniem wystarczającego widma i operatorów sieci ruchomej, aby zapewnić potrzebną przepustowość. Ponieważ takie wspomnienia są bardzo świeże, naturalne jest założenie, że wzrost będzie nadal zaskakiwał. Jest to również bezpieczniejsze dla tych, którzy nie muszą płacić za zwiększoną zdolność do przeszacowywania, a nie niedoszacowania. Mało kto zakwestionowałby regulatora, który prognozuje szybki wzrost. Prognozę spowolnienia wzrostu można by skrytykować jako brak ambicji lub osłabienie działalności branży. Bezpieczniej jest przesadzać. A jeśli wszystkie firmy to robią, liczba ta zapewnia samoumacniające się bezpieczeństwo, które napędza coraz wyższe prognozy. Oczywiście istnieje możliwość kolejnej „momentu iPhone'a” - pojawienia się urządzenia lub usługi, która powoduje kolejną skokową zmianę popytu. Być może mogą to być podłączone urządzenia IoT (lub coś podobnego). Co ciekawe, biorąc pod uwagę opinie z pierwszego wydania tej książki, zdecydowana większość była pozytywna i zgadzała się z jej założeniem. Jednak jedynym obszarem, w którym opinie były rozbieżne, był pogląd, że wzrost danych ustabilizuje się. Niektórzy uważali, że pojawi się jakaś inna aplikacja, jeszcze niezidentyfikowana, która w odpowiednim czasie pobudzi dalszy wzrost danych. Oczywiście mogą mieć rację; ale problemów związanych z perspektywą „zbuduj, a przyjdą” jest wiele i są one omówione bardziej szczegółowo poniżej. Alternatywny pogląd jest taki, że wielu analityków, których zaskoczyło tempo przyrostu danych, które było szybsze niż oczekiwano, obecnie kompensuje to nadmiernymi prognozami. Jeśli rysunek 3.5 jest poprawny i jeśli 5G zostanie wprowadzony w 2022 r., całkowity wzrost danych w ciągu jego życia będzie około dwukrotny, prawdopodobnie w połączeniu z dodatkowym widmem, co oznacza, że poprawa wydajności widma nie jest potrzebna. Rzeczywiście, biorąc pod uwagę, że upłynie trochę czasu, zanim urządzenia 5G upowszechnią się<sup>11</sup> w populacji, jest całkiem prawdopodobne, że wzrost będzie bliski zera, zanim technologia 5G wprowadzi jakąkolwiek efektywną różnicę w przepustowości sieci. Innym sposobem rozważenia tego jest pytanie, w jaki sposób operatorzy sieci komórkowych mogą zapewnić 10-krotnie większą przepustowość w ciągu następnej dekady. Pozycja każdego MNO jest różna, ponieważ zależy od zasobów widma MNO, bieżącego wykorzystania abonentów i gęstości stacji bazowych; tak ogólnie rzecz biorąc, wzrost ten można osiągnąć poprzez:

1. Zmianę zasobów widma 2G i 3G na 4G. Dla wielu operatorów sieci ruchomej zapewni to dwu-, czterokrotną poprawę przepustowości w porównaniu z ich obecnymi sieciami.

2. Dodanie więcej widma. Dodatkowe widmo, które prawdopodobnie zostanie uwolnione w ciągu najbliższych kilku lat w różnych pasmach na całym świecie<sup>12</sup> obejmuje 600 MHz, 700 MHz, 2,3 GHz oraz 3,4 do 4,2 GHz. Może to zapewnić dwu- lub trzykrotną poprawę, zwłaszcza, że wiele nowego widma można wykorzystać do dupleksu z podziałem czasu (TDD), gdzie może być przesunięte w kierunku przepustowości łącza w dół i gdzie rozwiązania antenowe MIMO mogą działać najefektywniej.

3. Dodatkowe korzyści. Wszelkie pozostałe korzyści mogą wynikać z ulepszonych działania MIMO (omówionego w rozdziale 4), większego obciążenia sieci Wi-Fi i być może w niektórych przypadkach wykorzystania nielicencjonowanego widma.

Ulepszenia te w szerokim zakresie zapewnią przewidywaną przepustowość. Jeśli spadną one nieco poniżej, wzrost cen większych pakietów danych prawdopodobnie umożliwi dopasowanie podaży i popytu na nieco niższym poziomie niż przewidywano tutaj. Innym trendem, na który warto zwrócić uwagę, jest stopniowe wydłużanie się cykli wymiany słuchawek. Na przykład w 2015 roku zauważono:

Mimo to najnowsze smartfony nie są wymieniane tak szybko, jak trzy do pięciu lat temu. Według Rogera Entnera, analityka w Recon Analytics, cykl wymiany iPhone'ów wzrósł z 21,7 miesiąca dwa lata temu do 27,4 miesiąca w tym roku.

Trend ten utrzymuje się, ponieważ producenci starają się znaleźć nowe funkcje, które sprawią, że aktualizacja telefonu komórkowego będzie atrakcyjna. Oznacza to, że nawet jeśli operatorzy sieci komórkowych wprowadzą do swojej sieci nową technologię, taką jak 5G, może minąć wiele lat, zanim znaczna część ich abonentów posiada urządzenia, które mogą uzyskać dostęp do nowej sieci. Zwiększa to czas potrzebny do obsługi ruchu przez 4G, a także czas potrzebny do osiągnięcia zwrotu z inwestycji. Jedno pytanie brzmi, czy mogą pojawić się nowe aplikacje, które spowodują nową falę ruchu nieuwzględnioną w powyższej prognozie. Wspomnianą kluczową możliwością jest IoT.

### **Internet przedmiotów**

IoT może potencjalnie generować znaczne nowe wolumeny ruchu mobilnego. W tej sekcji omówiono IoT i przedstawiono argument, że ilości generowanych danych będą prawdopodobnie bardzo małe.

### **Czym jest świat połączonych maszyn?**

Toczy się wiele dyskusji na temat świata połączonych maszyn. Nazywa się to czasem machine-to-machine (M2M) lub IoT. Większość zgadza się, że łączenie maszyn ma ogromny potencjał, ale ten rynek jest rozległy i różnorodny. Istnieje wiele niejasności co do tego, co oznacza „maszyny połączone” i jak to się zmaterializuje. Pierwszym krokiem jest rozróżnienie różnych obszarów rynku. Jednym z kluczowych wyróżników jest to, czy system jest naprawdę tylko pilotem do maszyny (np. możliwość sterowania systemem ogrzewania domu za pomocą aplikacji na smartfona poza domem), czy jest oddzielony od jakiegokolwiek osoby i jest maszyną zgłaszającą status (np. kosz na śmieci powiadamiający bazę danych, że jest pełna). Rynek „zdalnego sterowania” jest zwykle obsługiwany przez telefonię komórkową, Bluetooth i Wi-Fi i jest już ugruntowany i szybko się rozwija, co widać na kluczowych konferencjach konsumenckich i branżowych, takich jak Mobile World Congress. Wygenerowane ilości danych są już uwzględnione w prognozach danych komórkowych. Innym kluczowym wyróżnikiem jest to, czy komunikacja z maszynami odbywa się w budynku, takim jak dom lub biuro, czy też potrzebna jest komunikacja „na dużym obszarze”. System domowy może sterować oświetleniem w budynku. System rozległy może wysyłać odczyty inteligentnych liczników do dostawcy energii elektrycznej. Ogólnie rzecz biorąc, ta pierwsza to „automatyka domowa” i może być skutecznie dostarczana przy użyciu rozwiązań takich jak Bluetooth i Zigbee. Ponownie, nie jest to tutaj omawiane. Daje nam to szerokie, zorientowane na maszyny rozwiązania. Rozwiązania te stanowią większość interesujących nowych obszarów, o których ludzie dyskutują w związku z M2M i IoT. Niestety żadne z tych terminów nie jest dokładne. Są to maszyny wysyłające odczyty do centralnej bazy danych lub komputera, które mogą następnie podjąć działanie, takie jak wysłanie rachunku za prąd lub zaplanowanie śmieciarki. To nie jest tak naprawdę „maszyna do maszyny”, ale raczej czujnik do bazy danych. Może się to wydawać pedantyczne, ale jest tu ważna kwestia: nie ma powodu, aby jedna „maszyna” – na przykład urządzenie takie jak inteligentny licznik – komunikowała się bezpośrednio z drugą. Podobnie nie jest to tak



naprawdę IoT. Internet oznacza połączoną sieć, w której jeden komputer może uzyskać dostęp do informacji z innego komputera. Zamiast tego tylko „właściciel” maszyny, taki jak firma energetyczna, będzie mógł uzyskać dostęp do jej odczytów i komunikować się z urządzeniem. Konsumenci, którzy chcą odczytać te dane, będą następnie pobierać je z serwera w chmurze, a nie bezpośrednio z komputera. Bardziej przypomina „intranet rzeczy”, w którym łączność jest ograniczona do samodzielnych grup, a nie do Internetu. Ponownie, może się to wydawać pedantyczne, ale ma ważne implikacje dla instalacji, bezpieczeństwa i architektury sieci. Większość przewidywanych aplikacji jest samowystarczalnych, ponieważ generowane dane są używane tylko dla tej aplikacji. Na przykład w inteligentnych pomiarach liczniki raportują do przedsiębiorstw energetycznych; w przypadku parkowania czujniki parkingowe komunikują się z aplikacjami parkingowymi. Może zaistnieć kilka przypadków, w których dzielenie się danymi w szerszym zakresie niż wskazano tutaj jest cenne, ale obecnie wygląda na to, że będą to wyjątki. Większość komputerów wysyła informacje tylko do jednego miejsca — bazy danych klientów — i odbiera informacje tylko z tego samego źródła. Podłączona maszyna w tym sensie to urządzenie, które komunikuje się za pośrednictwem sieci rozległej z systemem komputerowym właściciela. Dzięki temu komputer może podjąć odpowiednie działania, takie jak ponowne planowanie harmonogramów. Nudne, ale niezwykle cenne.

### **Aktualna pozycja**

Trudno dokładnie określić, na jakim etapie ewolucji maszyn podłączonych się znajdujemy. Ericsson przewiduje na przykład około 50 miliardów podłączonych urządzeń do około 2025 roku. Wielkość rynku wydaje się całkowicie prawdopodobna – na jednego właściciela telefonu komórkowego na całym świecie będzie to tylko 10 urządzeń. Do tej pory wdrożono kilkaset milionów urządzeń — być może około 1 procent na drodze do wizji połączonego świata. Tam, gdzie zmaterializowały się podłączone urządzenia, są to zwykle urządzenia bliskiego zasięgu w domu lub wysokiej jakości urządzenia o dużej powierzchni. Dzieje się tak, ponieważ urządzenia bliskiego zasięgu mogą być obecnie przystosowane do domowych rozwiązań sieciowych, takich jak Bluetooth i Wi-Fi, podczas gdy wysokiej jakości urządzenia rozległe mogą tolerować koszty i zużycie baterii związane z korzystaniem z komunikacji komórkowej. Przykładami tych pierwszych są domowe systemy bezpieczeństwa i czujniki, które przypominają nam o podlewaniu roślin. Przykładami tych ostatnich są automaty i samochody z wyższej półki. Większość elementów potrzebnych do podłączenia maszyny jest już na miejscu. Oprogramowanie, które może gromadzić dane z maszyn w wielu sieciach i prezentować je w systemie baz danych klienta, jest teraz dostępne w firmach takich jak Jasper i Interdigital. Często obejmuje to inteligencję, która może uprościć proces wdrażania, tak że gdy urządzenie takie jak inteligentny licznik jest włączane po raz pierwszy, jest ono automatycznie konfigurowane przez oprogramowanie sieciowe, zamiast wymagać od inżyniera instalacji wprowadzania szczegółów do zdalnego terminala. Systemy takie jak inteligentne liczniki są wdrażane w wielu krajach. Jednak kluczowym brakującym elementem układanki jest szerokopasmowe rozwiązanie bezprzewodowe, które zapewnia bardzo niski koszt (2 USD za sprzęt, 2 USD rocznie za łączność), 10-letnią żywotność baterii i wszechobecny zasięg. Doświadczenie z koncepcjami takimi jak dane mobilne pokazało, że rynek ma tendencję do obijania się o dno, aż wszystkie elementy układanki są mocno na swoim miejscu, w którym to momencie wystarczy niewielki bodziec (w tym przykładzie iPhone), aby wywołać eksplozję wzrostu. Gdyby producent urządzenia mógł kupić za 2 dolary lub mniej moduł bezprzewodowy, który mógłby po prostu dodać do swojego urządzenia ze świadomością, że będzie działał w dowolnym miejscu na świecie bez konieczności zawierania skomplikowanych umów roamingowych, prawdopodobnie byłoby to możliwe. stymulować powszechne wdrażanie podłączonych urządzeń. Oczywiście wymiana lub aktualizacja niektórych maszyn zajmuje trochę czasu, więc wzrost może nie być tak szybki, jak na arenie smartfonów, ale może być o wiele rzędów wielkości szybszy niż obecnie. Jeśli część układanki z

łącznością bezprzewodową zostanie rozwiązana przy użyciu odpowiedniej technologii i wizji operatorów, wszystkie inne potrzebne elementy mogą być gotowe do szybkiego wzrostu.

### **Jakie aplikacje będą prowadzić?**

Istnieje zrozumiałe zainteresowanie przewidywaniem, które aplikacje maszynowe będą przewodzić połączonemu światu maszyn. Oczywiście, jak wspomniano powyżej, istnieje już kilka wdrożonych aplikacji, więc nie tyle aplikacje maszynowe będą pierwsze, co doprowadzi nas do pierwszego miliarda podłączonych urządzeń. Próba przewidzenia, co będzie dalej, jest tak samo trudne, jak przewidzenie najlepiej sprzedających się aplikacji w Apple Apps Store przed premierą iPhone'a. Równie dobrze może się zdarzyć, że wiele aplikacji rozwija się jednocześnie, jak to miało miejsce w świecie danych mobilnych. Najlepsze, co można zrobić, to poczynić ogólne obserwacje na temat niektórych z bardziej oczywistych obszarów:

- Inteligentne opomiarowanie jest wyraźnie wiodącą aplikacją ze względu na mandaty regulacyjne w niektórych krajach, które wymagają wprowadzenia w nadchodzących latach.
- Rynek energii (rafinerie, turbiny wiatrowe itp.) to także żyzny obszar dla łączności maszyn, choć znacznie mniejszy niż rynek inteligentnych liczników.
- Aplikacje inteligentnego miasta, takie jak inteligentne kosze na śmieci, monitorowanie wypożyczalni rowerów i zarządzanie oświetleniem ulicznym, są obiecujące ze względu na ograniczone wymagania dotyczące zasięgu i wyraźną potrzebę poprawy wydajności w świadczeniu usług w całym mieście. Jest to jednak równoważone przez złożone kwestie zamówień i własności, w których budżety mogą być utrzymywane przez władze lokalne, ale usługi zlecane podwykonawcom komercyjnym.
- Rynek opieki zdrowotnej jest potencjalnie ogromny i cenny. Mówiąc najprościej, dzieli się na te rozwiązania, które mogą być kupowane bezpośrednio przez konsumentów lub prywatnych świadczeniodawców opieki zdrowotnej oraz te, które wymagają zatwierdzenia lub finansowania przez rząd. Te pierwsze mogą obejmować ulepszone testery ciężowe, dozowniki pigułek z funkcjami przypominania, monitory tętna i alarmy upadkowe – wszystko to potencjalnie powiązane z centrum zdrowia w domu. Można je było szybko kupić i wdrożyć. Ta ostatnia obejmuje automatyczne dozowniki leków i monitorowanie kluczowych wskaźników, takich jak poziom cukru we krwi, z funkcjami alarmowymi. Ponieważ elementy te będą często regulowane i ponieważ mogą wymagać połączenia z systemami krajowymi, uzyskanie zatwierdzenia zajmie znacznie więcej czasu.
- Urządzenia konsumenckie to obiecująca, choć szeroka kategoria, która może obejmować urządzenia takie jak pralki, telewizory z dostępem do Internetu, a nawet domowe stacje pogodowe. Niektóre z nich będą korzystać z sieci domowej, ale istnieją silne zalety w przypadku prostej i bezpośredniej łączności z producentem.
- Branża motoryzacyjna, podobnie jak kolejnictwo i lotnictwo, zdają się być późnym przyjęciem technologii bezprzewodowych.
- Śledzenie zasobów to kolejny potencjalnie ogromny rynek, ale wykorzystanie jego pełnego potencjału wymaga szerokiego, a nawet globalnego zasięgu. W przypadku niektórych aplikacji można to osiągnąć za pomocą sieci komórkowych, ale obecnie brakuje globalnego zasięgu w przypadkach, w których wymagane jest mniejsze zużycie energii i wymaga technologii specyficznej dla IoT.
- Użytkownicy tacy jak wojskowi mogą mieć duże zapotrzebowanie na łączność maszynową w obszarach takich jak śledzenie żołnierzy lub kluczowych elementów wyposażenia lub monitorowanie stanu broni, ale nie jest jasne, jak szybko mogą wdrożyć takie rozwiązania (lub już są).

## **Prywatność i ochrona**

Każdy system, który gromadzi informacje i podejmuje na nich działania, będzie musiał uwzględniać uzasadnione obawy dotyczące prywatności i bezpieczeństwa. Spośród nich bezpieczeństwo jest najprostsze i można je szeroko rozwiązać za pomocą odpowiedniego szyfrowania i uwierzytelniania w różnych warstwach systemu. Pomaga w tym utrzymywanie komunikacji między maszyną a jej komputerem klienckim, zapobiegając w ten sposób innym „włamywaniu się” do maszyn. Prywatność jest bardziej złożona. W niektórych przypadkach mogą wystąpić minimalne problemy – na przykład niewielu będzie zaniepokojonych konsekwencjami dla prywatności, czy ich lokalna latarnia uliczna zgłasza zepsutą żarówkę, czy nie. Inne zastosowania, takie jak opieka zdrowotna, mogą budzić poważne obawy. Prywatność będzie musiała być rozpatrywana osobno dla każdej aplikacji i powinna ona wykazać, że aplikacja zapewnia użytkownikowi końcowemu korzyści, które zdecydowanie przewyższają wszelkie potencjalne problemy z prywatnością.

### **Gdzie może się to skończyć?**

Jak wygląda świat połączonych maszyn? Oczywiście jest to prawie niemożliwe do przewidzenia. Łączenie maszyn doprowadzi do zmiany zachowań, które następnie zmienią aplikacje i tak dalej. Równie łatwo można dać się ponieść wizji „internetu” połączonych maszyn. Ogólnie rzecz biorąc, połączone maszyny będą po prostu działać lepiej. Pralki będą lepiej zoptymalizowane pod kątem twardości wody, mogą być pobierane nowe programy w miarę wprowadzania na rynek nowych detergentów piorących i tak dalej. Pojemniki na śmieci zostaną opróżnione, gdy będą prawie pełne, a nie w rutynowym cyklu tygodniowym. Liczniki zostaną odczytane automatycznie. W samochodach aktualizacje oprogramowania będą dostarczane bezprzewodowo, więc nie będzie trzeba ich wycofywać, więc często. Znalezienie wolnego miejsca parkingowego stanie się prostsze. Uszkodzone lampy uliczne będą naprawiane szybciej. Pęknięcia zostaną zauważone wcześniej w mostach i zostaną naprawione przy mniejszej liczbie awarii lub zakłóceń. Urządzenia domowe automatycznie połączą się z właściwą siecią domową, bez konieczności wpisywania hasła do lodówki. I tak dalej. Świat będzie lepszym, mniej frustrującym miejscem do życia. Wydajność poprawi się dzięki mniejszej ingerencji człowieka, prowadząc w ten sposób do wzrostu. Niektóre kluczowe problemy społeczne, takie jak wspomagane życie, zostaną złagodzone dzięki czujnikom w domu i na osobie. Ale w taki sam sposób, w jaki zauważamy lampy uliczne tylko wtedy, gdy nie działają, możemy prawie nie zauważyć, że żyjemy w świecie połączonych maszyn. Rzeczywiście, to może być ostatecznym celem - połączony świat – w ogóle przestajemy zauważać maszyny. Implikacje dla obciążenia sieciowego.

Jeśli zrealizuje się prognoza „50 miliardów urządzeń”, każda osoba ze smartfonem będzie miała około 10 urządzeń. Wiele z tych 10 będzie połączonych w domu lub w biurze za pomocą Bluetooth lub Wi-Fi. Inne mogą być połączone przez zastrzeżone sieci IoT, takie jak te wdrożone przez Sigfox i LoRa lub poprzez nowe standardy, takie jak Weightless. Podzbiór zostanie wdrożony w sieciach komórkowych.

Mogą to być trzy lub cztery urządzenia na osobę. Typowe urządzenie wysyła okresowe odczyty, takie jak temperatura lub poziomy liczników. Być może może wysyłać informacje co godzinę, wysyłając około 200 bajtów na transmisję. Odpowiadałoby to 4,8 kilobajtom (KB) dziennie lub 144 KB miesięcznie. W przypadku czterech urządzeń byłoby to około 0,5 megabajta (MB) miesięcznie. Przeciętny użytkownik mobilny zużywa obecnie około 1,5 gigabajta (GB) miesięcznie. Oznacza to, że obciążenie urządzeń IoT wynosi około 0,03 procent bieżącego obciążenia sieci komórkowych. Nawet jeśli te szacunki są odbiegające o współczynnik 100, kwota ta wyniesie tylko 3 procent bieżącego obciążenia komórkowego i 0,3 procent przewidywanego obciążenia w 2025 roku. W związku z tym wydaje się mało prawdopodobne, aby ruch IoT miał jakikolwiek istotny wpływ na ogólne obciążenie. Mogłoby się to zmienić, gdyby istniały aplikacje, takie jak połączone samochody, które miały stałą łączność o

wysokiej przepustowości. Ale trudno zrozumieć, dlaczego miałyby to być wymagane i trudno sobie wyobrazić, dlaczego ktokolwiek miałby płacić niezbędne opłaty za transmisję danych. Jest bardzo mało prawdopodobne, aby tego rodzaju IoT znacząco zwiększyły natężenie ruchu danych.

### **Czy coś może mieć znaczenie?**

Sugerowana tutaj prognoza odpowiada w 2027 r. jednej godzinie wideo na smartfonie na osobę dziennie. Aby prognoza zaistniała istotna różnica - to znaczy umożliwienie kontynuacji wzrostu na poziomie od 30 do 50 procent rocznie w erze 5G - ruch musiałby wzrosnąć co najmniej 5 razy, jeśli nie 10 razy, więcej niż to. Oznacza to, w praktyce, przejście do 5 do 10 godzin wideo dziennie przesyłanych przez sieć komórkową. Nawet jeśli pojazdy autonomiczne będą przysyłać strumieniowo wideo – co wydaje się mało prawdopodobne – przeciętny człowiek spędza w samochodzie godzinę dziennie, co daje tylko jednorazową korzyść. Aby uzyskać jednorazową korzyść, potrzeba około 30 000 aplikacji IoT na osobę. Ogólnie rzecz biorąc, maszyny nie komunikują się za pośrednictwem wideo, więc ruch związany z maszynami raczej nie będzie miał istotnego znaczenia. Zmiana na wyższe szybkości przesyłania strumieniowego wideo byłaby istotna, ale z czasem te szybkości zmniejszą się wraz z poprawą kodeków, a konsumenci będą skłaniać się ku szybkości, która zapewnia odpowiednią jakość po najniższej cenie, zamiast korzystać z wideo 4K na słuchawce, w której prawdopodobnie nastąpią ulepszenia. być minimalne. Aplikacje, takie jak filmy noszone na ciele (kamery na ciele), które stale przesyłają strumieniowo do sieci komórkowych, mogą mieć znaczenie, ale wydaje się mało prawdopodobne, że wielu użytkowników poniesie koszty takiego przesyłania strumieniowego, gdy odpowiednie fragmenty wideo można przechowywać i przysyłać za pośrednictwem Wi-Fi potrzebne. Rzeczywistość rozszerzona nie jest dużym konsumentem przepustowości – Pokémon Go, popularne zjawisko z 2016 roku, dodał tylko 0,1 procent do istniejącego ruchu sieciowego. Ryzyko polega na tym, że istnieją „nieznane niewiadome” – pojawiające się aplikacje, których nie mogliśmy sobie wyobrazić. Jednak w ciągu ostatnich 20 lat nie pojawiły się żadne aplikacje, które istotnie zmieniają wymagania dotyczące przepustowości przewidziane na 2020 r. i dalej. Kluczowym czynnikiem wpływającym na przepustowość jest wideo i było to przewidziane na długo przed pojawieniem się technologii 3G. Istnieje kolejny argument, że „jeśli go nie zbudujemy, to nie przyjdą” – pogląd, że aplikacje mogą powstać tylko wtedy, gdy sieć bazowa jest w stanie je obsługiwać. Z tego punktu widzenia, jeśli nie zostaną wdrożone sieci 5G zdolne do dostarczania superszybkiej szybkości transmisji danych i ultraniskich opóźnień, nowe aplikacje nie pojawią się. W praktyce aplikacje często pojawiają się w nieoptymalnych sieciach i wykazują potencjał; wtedy wzmocnienie sieci może być uzasadnione. Jest to zazwyczaj konieczny krok, ponieważ uzasadnienie inwestycji w kosztowną nową infrastrukturę na podstawie nieznannej technologii jest wyzwaniem. Konieczność zbudowania sieci przed pojawieniem się aplikacji może mieć zastosowanie w przypadku dotykowego Internetu (omówione dalej w rozdziale 7), ale nawet tutaj wydaje się prawdopodobne, że wiele aplikacji, takich jak VR, można by początkowo wypróbować w pomieszczeniach, z możliwością zapewnienia możliwości korzystania z zewnątrz, jeśli potrzebne w odpowiednim czasie. W raporcie GSMA Global Mobile Trends 2017 (GSMA 2017) slajd 31 jest zatytułowany „Jeśli to zbudujesz, nie zawsze przychodzą” i pokazuje, że w niektórych krajach, takich jak Niemcy, korzystanie z sieci 4G pozostaje w tyle za zasięgiem. Chociaż „zbuduj to, a przyjdą” mogło zadziałać w przypadku eksplozji danych w 3G, nie dotyczyło to wszystkich operatorów 4G. Wyraźnie budzi to wątpliwości, czy budowa sieci 5G może przynieść zyski ekonomiczne. W podsumowaniu:

1. Obecnie nie przewiduje się aplikacji, za które abonenci byliby skłonni zapłacić znacznie więcej i które będą generować pięciokrotność prognozowanego natężenia ruchu w 2027 roku.
2. W ciągu ostatnich 20 lat nie pojawiły się żadne wnioski, które byłyby zarówno całkowicie nieoczekiwane, jak i spowodowałyby znaczny wzrost (np. 5-krotny) całkowitego natężenia ruchu.

3. Użytkownicy nie chcą płacić więcej za komunikację, więc aplikacje musiałyby dostarczać wyraźną wartość.

Na tej podstawie wydaje się, że prawdopodobieństwo jest zgodne z przedstawioną tu prognozą, a nie z kontynuacją wzrostu w erze 5G (zakładanej na lata 2022–2032). Nie jest to w żaden sposób pesymistyczne podejście do przyszłości – daleko od niej. W ramach tej prognozy wzrostu można dostarczyć i będzie dostarczać ogromną gamę nowych aplikacji, podłączonych maszyn, sieci społecznościowych, rzeczywistości rozszerzonej i wielu innych. Pojawi się wiele nowych aplikacji, a łączność mobilna wzbogaci życie i podniesie produktywność. Na szczęście wszystko to można osiągnąć już dziś dzięki technologii i sieciom, które już mamy do dyspozycji.

### **Wnioski**

Ta część sugeruje, że obecne prędkości danych mobilnych są więcej niż wystarczające dla wszystkich przewidywalnych zastosowań. Sugeruje to również, że wzrost danych spowalnia i może ustabilizować się około 2027 roku, przy zaledwie około dwukrotnym wzroście w erze 5G. Ponieważ 5G opiera się głównie na wyższych prędkościach, a także na jego zdolności do dostarczania znacznie lepszych możliwości danych, sugeruje to, że technologia może nie być ukierunkowana na odpowiednie obszary.