

Mariusz Kamola^{1,2}, Piotr Arabas^{1,2}

¹ Naukowa i Akademicka Sieć Komputerowa jbr

² Instytut Automatyki i Informatyki Stosowanej, Politechnika Warszawska

Wykorzystanie technologii Vecta Star do przekazu audiowizualnego wysokiej rozdzielczości

W artykule przedstawiono prace zmierzające do uruchomienia strumieniowania treści audiowizualnych w technologii bezprzewodowej VectaStar. Poddano analizie możliwość wykorzystania darmowego oprogramowania do strumieniowania treści wysokiej rozdzielczości. Następnie skonstruowano stanowisko testowe działające w sieci roboczej NASK i przeprowadzono testy w celu stwierdzenia faktycznego zapotrzebowania aplikacji strumieniujących na pasmo i możliwości realizacji usługi z jednoczesnym zapewnieniem nieprzerwanej transmisji innym użytkownikom sieci. Przedstawione prace były częściowo finansowane w ramach Projektu Badawczego Zamawianego PBZ-MNiSW-02/II/2007 (umowa nr PBZ/LUB/2).

1. Wstęp

Niekwestionowanym faktem jest obecny bardzo silny wzrost liczby użytkowanych odbiorników zdolnych do przyjmowania przekazu audiowizualnego w wysokiej rozdzielczości – pełnej (*full HD*) lub niepełnej (*HD-ready*). Nie nadąża za nim upowszechnienie adekwatnej technologii emisji naziemnej, lecz i tak, dzięki szybko rosnącej przepustowości łącza ADSL oraz bogatej ofercie treści dostępnych z satelitów, można uznać, że telewizja HD stała się faktem. Nawyk oglądania przekazu w wysokiej rozdzielczości będzie dodatkowo wzmacniany przez upowszechnienie treści na nośnikach blue-ray oraz amatorskich urządzeń rejestrujących.

Z drugiej strony, wzrastająca liczba kanałów wzmacnia konkurencję pomiędzy stacjami telewizyjnymi, każąc producentom szukać oszczędności w trakcie produkcji i emisji programu. Istotnym kosztem w przypadku przekazu realizowanego na żywo w plenerze jest koszt pozyskania kanału transmisyjnego o odpowiedniej przepustowości. Wykorzystywane technologie transmisji to radioliny naziemne bądź emisja poprzez satelitę telekomunikacyjnego: obie, oprócz wysokiej ceny, posiadające różne inne mankamenty.

W takiej sytuacji należy rozważyć możliwość wykorzystania innych dostępnych technologii, również tych, które zwyczajowo znajdują inne zastosowanie niż transmisja wideo. Jedną z nich przypuszczalnie może się stać Vecta Star (VS), firmy Cambridge Broadband [3]. Technologia bazuje na transmisji m.in. w paśmie licencjonowanym 3,5 Ghz, wykorzystując modulacje QPSK oraz QAM 16 i 64, w zależności od warunków propagacji sygnału. Sieć transmisyjna jest zorganizowana w makrokomórki o promieniu do 30 km, przy czym pokrycie obszaru komórki zapewniają cztery anteny sektorowe w stacji bazowej. Anteny urządzeń abonenckich – stałych lub nomadycznych – muszą być zgrubnie pozycjonowane na stację bazową. Do uzyskania łączności radiowej nie jest wymagana łączność wzrokowa anten (*no line of sight*).

Technologia VS zapewnia korekcję błędów w takim stopniu, iż zestawiony kanał komunikacyjny jawi się operatorowi sieci jako łącze ATM, umożliwiając dalszą realizację różnorodnych usług transmisyjnych o ściśle gwarantowanej jakości. Brak możliwości transmisji rozgłoszeniowej dyskwalifikuje VS jako medium dystrybucji treści; jednocześnie predestynuje go jako technologię pozyskiwania treści „z terenu” do centrum nadawczego stacji telewizyjnej. Transmisje wideo z wykorzystaniem VS na potrzeby wideokonferencji lub jedynie pozyskania treści do dalszej dystrybucji są realizowane w NASK na porządku dziennym – jednakże nie badano dotychczas możliwości

strumieniowania materiałów w wysokiej rozdzielczości¹. Dlatego uznano, że zbadanie przydatności VS do transmisji HD, lecz przy wykorzystaniu niewyspecjalizowanego sprzętu i oprogramowania oraz powszechnego protokołu IP, jest ciekawym i pożytecznym zagadnieniem.

2. Stanowisko testowe

Organizacji eksperymentów przyświecały zatem wytyczne, by wykorzystać:

- IP jako protokół transmisyjny, obecnie najpopularniejszy; dzięki temu można wykorzystać
- różnorakie (w tym darmowe) aplikacje umożliwiające strumieniowanie treści HD w czasie rzeczywistym; ponadto założono, że do testów strumieniowania należy wykorzystać
- materiały filmowe HD, które są ogólnodostępne w internecie.

Sprostanie tym założeniom okazało się trudniejsze, niż początkowo przypuszczano. Z uwagi na różne niedostatki dostępnego oprogramowania: intencjonalne i niezamierzone, objawiające się najróżniejszymi dysfunkcjami testowanych programów – autorzy zmuszeni zostali do złagodzenia pierwotnych założeń. Zrezygnowano m.in. ze strumieniowania bazującego na UDP, na rzecz TCP. Nie powiodło się też pozyskanie treści kodowanych algorytmem MPEG4 oraz H.264. Spośród wielu² dostępnych aplikacji do strumieniowania, jedynie VLC okazał się satysfakcjonująco funkcjonalny, wydajny i stabilny.

Z uwagi na ograniczoną do ok. 10 Mb/s przepustowość VS do wykorzystania na cele testowe w NASK, istotnego znaczenia nabiera rozdzielczość i sposób kodowania transmitowanej treści multimedialnej. Dostępne w internecie darmowe próbki wideo kompresowane są albo przez algorytm MPEG2, albo WMV3. W pierwszym przypadku strumień przekazu full HD osiąga chwilowo do 16 Mb/s. W drugim – ponad 8 Mb/s, czyli poniżej przepustowości łącza, jednakże strumieniowanie tego formatu przez posiadane aplikacje okazało się niemożliwe.

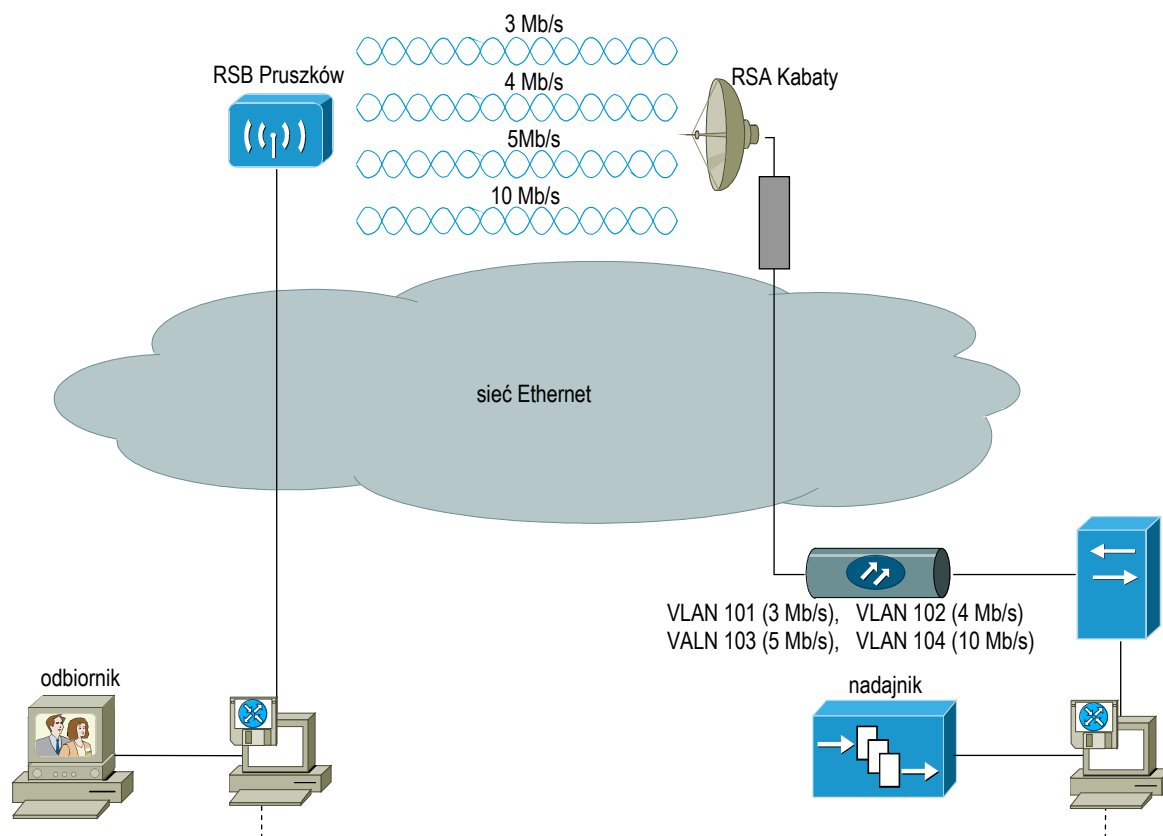
Aby zmniejszyć strumień przekazywanych danych, postanowiono transkodować zapis z WMV3 do MPEG4, z użyciem darmowego programu Super™ [4]. Umożliwia on przekodowanie z użyciem szerokiej gamy algorytmów, z możliwością wyboru docelowej maksymalnej przepływności strumienia wyjściowego. Znaczna redukcja przepływności odbija się, rzecz jasna, negatywnie na jakości: w przypadku dynamicznych scen partie obrazu albo są odtwarzane poklatkowo, albo mają zdecydowanie mniejszą rozdzielczość. Oba zjawiska występują jednakże sporadycznie, z reguły w trakcie emisji dynamicznych lub często zmieniających się scen. Transkodując, wygenerowano strumienie o przepływności CBR³ rzędu 3, 4 i 5 Mb/s, zasadniczo bez widocznego gołym okiem uszczerbku na jakości przekazu.

Na potrzeby prac badawczych zestawiono i skonfigurowano stanowisko testowe (Rys. 1). Wykorzystano w tym celu relację radiową pomiędzy testowym terminalem abonenckim VectaStar w siedzibie NASK na warszawskich Kabatach a stacją bazową w Pruszkowie. Należy podkreślić, że stacja ta służy regularnej działalności operacyjnej NASK i – podobnie jak inne stacje bazowe VS w Warszawie – jest znacznie obciążona. Niestety, z uwagi na znaczną odległość pomiędzy oboma urządzeniami, dla transmisji testowej trzeba było zastosować niskowydajną modulację QAM16. Transmisja została zrealizowana w licencjonowanych kanałach dwuplexowych VS, w zakresie 3,729-3,743 i 3,629-3,643 GHz. Dają one pasmo 7 Mhz na każdy sektor; faktycznie dostępne pasmo zależy od rodzaju modulacji i w opisywanym stanowisku testowym wyniosło ono 16 Mb/s.

¹ Sytuacja taka wynika głównie z dużego, stałego obciążenia stacji bazowych, uniemożliwiającego rutynowe świadczenie usługi transmisji HD. Jednakże można znaleźć okoliczności, w których transmisja taka jest możliwa bez uszczerbku dla pozostałych użytkowników sieci. Dowodzą tego opisywane testy, wykonywane w całości w sieci roboczej.

² Zbadano możliwość wykorzystania programów: *ffmpeg*, *ffserver*, *Real Producer*, *Helix Server*, *Windows Media Encoder*, *Windows Media Server*, *Windows Media Player* oraz *VLC*. Szereg niuansów uwidaczniających się podczas próby strumieniowania radykalnie ograniczył liczbę faktycznie przydatnych, darmowych narzędzi do strumieniowania przekazów w wysokiej rozdzielczości.

³ CBR (*constant bit rate*) – transmisja o stałej przepływności. W praktyce oznacza to, że przepływność przekazu kodowanego w ten sposób (mierzona w określonym oknie czasowym) nie przekracza ustalonego limitu. Kodowanie tego typu może odbywać się ze szkodą dla jakości przekazu; również niewykluczone jest chwilowe przekraczanie limitu szybkości transmisji, rekompensowane następnie jej, również krótkotrwałym, ograniczeniem.



Rys. 1. Konfiguracja stanowiska testowego VectaStar

Aby w jak najmniejszym stopniu zakłócić funkcjonowanie transmisji pozostałych użytkowników, zdecydowano o przeprowadzeniu wszelkich eksperymentów późnym wieczorem i w nocy.

Dla testów wydzielono na relacji Kabaty-Pruszków cztery kanały transmisyjne o przepustowościach 10, 5, 4 i 3 Mb/s, dostępne we właściwym stanowisku testowym jako cztery sieci wirtualne w obrębie jednego segmentu Ethernet. Wybór kanału następował przez fizyczne przyłączenie fragmentu odbiorczego sieci do gniazdka przełącznika, skojarzonego z VPN o odpowiedniej przepustowości. Należy zauważyć, że wszystkim kanałom nadano pierwszy, najwyższy priorytet, eliminujący ruch o priorytetach niższych w sytuacji niepustego bufora nadawczego. Oznacza to, że w sieci roboczej jedynie ruch sygnalizacyjny i zestawione cyfrowe kanały transmisyjne otrzymywały wyższy priorytet; natomiast inne transmisje (np. VoIP) musiały dzielić pasmo z przekazem testowym, albo były wręcz eliminowane. Aby zapewnić ciągłość usługi dla regularnych klientów, ruch w stanowisku testowym został ograniczony do 10 Mb/s co, po uwzględnieniu ruchu o priorytecie zerowym, dawało innym użytkownikom około 4 Mb/s pasma, tj. prawie 30% pierwotnej przepustowości.

Komputery brzegowe, działające jako nadajnik i odbiorca treści, działały w systemie Windows XP. Zostały one podłączone do omówionego wyżej segmentu sieci bezprzewodowej za pośrednictwem dwóch komputerów z systemem Linux, służących monitorowaniu opóźnień i liczby traconych pakietów. Aby zwiększyć dokładność pomiarów, komputery te zostały połączone dodatkowym, bezpośrednim łączem Ethernet 100 Mb/s.

3. Wyniki testów

Przeprowadzono szereg testów [1], mających dać odpowiedź na pytanie, jakie parametry łącza i strumienia danych gwarantują transmisję o zadowalającej jakości. Tabela 1 zawiera syntetyczne zestawienie wyników: podano w niej jedynie ostateczną, organoleptyczną ocenę jakości strumieniowanego przekazu. Z reguły nie jest ona skorelowana z wymiernymi, zarejestrowanymi w czasie

testów wskaźnikami, takimi jak odsetek utraconych pakietów czy opóźnienie. Wiele natomiast zależy od użytej techniki buforowania: szare pola tabelki odnoszą się do testów wykonywanych z minimalnym (200 ms) buforowaniem treści przez odbiorcę. Wówczas przekaz rwie się nawet w testach referencyjnych w sieci lokalnej (por. kol. „LAN”). Co ciekawe, takie samo strumieniowanie bez buforowania w sieci VS jest możliwe dla stosunkowo niskich przepływności (3 i 4 Mb/s) – wynika to zapewne z dodatkowych buforów urządzeń sieciowych na dłuższej w tym przypadku ścieżce transmisji. Pozostałe testy, którym odpowiadają białe pola tabeli, zostały przeprowadzone z buforem odbiorczym równym 2 s.

Strategia testów miała na celu doprowadzenie do wyznaczenia zbioru konfiguracji przepływności i przepustowości, dla których transmisja cechuje się zadowalającą jakością. Testowano więc przekazy o zmniejszających się przepływnościach, aż do uzyskania satysfakcjonującej jakości. Brzeg tego zbioru został zaznaczony w tabeli podwójną linią. Badania prowadzą do wniosku, że zapewnienie przepustowości na poziomie ok. 130% przepływności strumienia daje gwarancję akceptowalnej jakości przekazu.

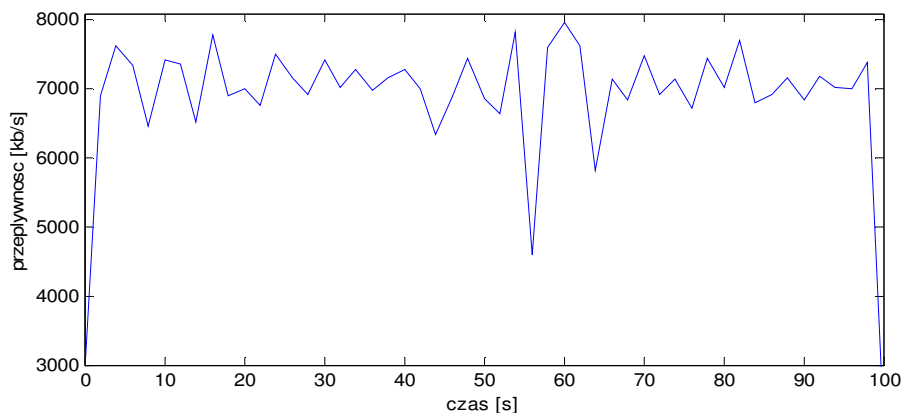
Tabela 1. Zestawienie wyników transmisji strumieniowej dla różnych konfiguracji przepustowości kanału transmisyjnego i różnej przepływności przesyłanego strumienia danych

przepływność strumienia [Mb/s] \ przepustowość kanału [Mb/s]	VectaStar				LAN
	3	4	5	10	100
3 (CBR)	✘	✓	✓	(✓)	(✘)
4 (CBR)		✘	✘	(✓)	(✘)
5 (CBR)			✘	(✘)	(✘)
7 (VBR ⁴ - oryginał)				✓	(✘)

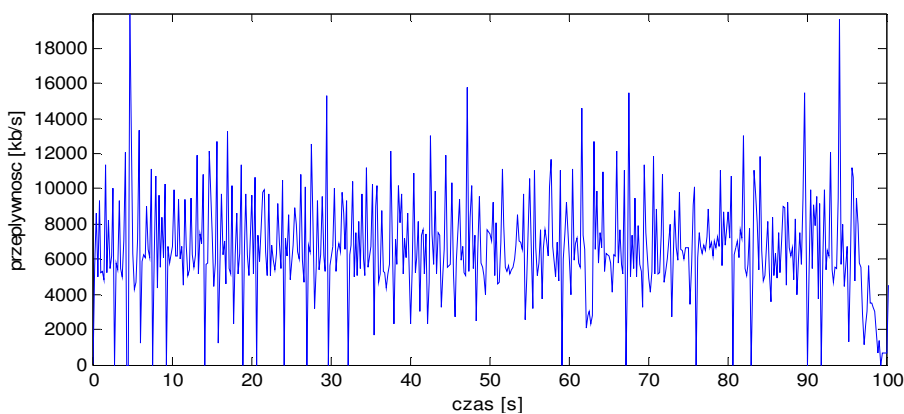
Został również wykonany szereg testów strumieniowania przekazu *full HD* w sieci VS. Średnia przepływność takiego oryginalnego strumienia dla posiadanego materiału filmowego przekracza nieznacznie 7,5 Mb/s. Uniemożliwia to przekaz w sieci VS, nawet przy wykorzystaniu największego dostępnego kanału. Po zredukowaniu przepływności strumienia do 5 Mb/s CBR testy wykazały możliwość strumieniowania, aczkolwiek należy liczyć się z faktem, że tak spreparowany materiał może charakteryzować się obniżoną jakością we fragmentach o wysokiej dynamice i dużym nasyceniu scen szczegółami.

Dane ruchowe zebrane podczas testów pozwalają na analizę m.in. średniej szybkości transmisji obserwowanej przez stacje monitorujące. Warto przyjrzeć się wykresom szybkości transmisji, definiowanej dla różnych okien czasowych, np. 0,2 s (Rys. 3 i Rys. 5) i 2 s (Rys. 2 i Rys. 4), wyznaczonej po stronie odbiorczej. Wykresy dla średnich dwusekundowych są podobne, z zachowaniem skali; natomiast wykresy dla średnich krótkookresowych są wyraźnie zróżnicowane. Transmisja w sieci lokalnej osiąga niekiedy przepływność ponaddwukrotnie większą niż wartość średnia, podczas gdy ruch przez VS jest ewidentnie ograniczany przez przepustowość kanału. To, że pakiety nie są w tym przypadku gubione, należy przypisać zarówno istnieniu serii buforów nadawczych na ścieżce danych, jak również mechanizmowi samoregulacji TCP. Jemu również można przypisywać spadki transmisji o charakterze ewidentnie okresowym (Rys. 5).

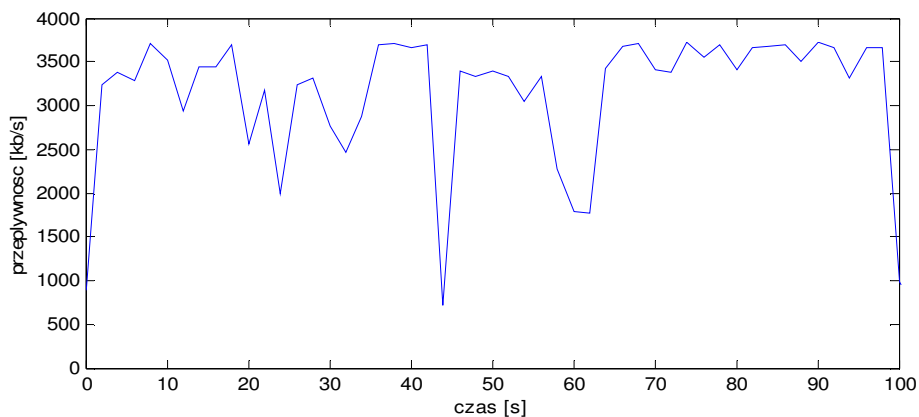
⁴ VBR (*variable bit rate*) – kodowanie przekazu i transmisja danych z szybkością zapewniającą wierne odtworzenie przekazywanych treści. Może skutkować krótkotrwałymi okresami nadawania z bardzo dużą szybkością, wymagającą albo odpowiednio szybkiej sieci, albo stosowania mechanizmów kształtowania ruchu (ze szkodą dla opóźnienia transmisyjnego).



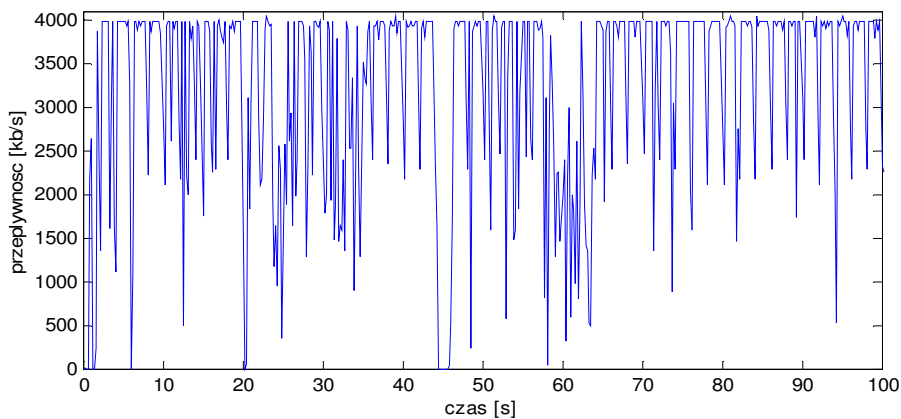
Rys. 2. Strumieniowanie *HD-ready* VBR w sieci lokalnej – szybkość transmisji uśredniana w oknie 2 s



Rys. 3. Strumieniowanie *HD-ready* VBR w sieci lokalnej – szybkość transmisji uśredniana w oknie 0,2 s



Rys. 4. Strumieniowanie *HD-ready* CBR 3 Mb/s w sieci VS z kanałem 4 Mb/s – szybkość transmisji uśredniana w oknie 2 s



Rys. 5. Strumieniowanie *HD-ready* CBR 3 Mb/s w sieci VS z kanałem 4 Mb/s – szybkość transmisji uśredniana w oknie 0,2 s

Co ciekawe, zmiana oryginalnej natury ruchu poprzez zastosowanie konwersji do strumienia CBR oraz wygładzenie ruchu w sieci VS nie pozbawiły go cech samopodobieństwa, tak charakterystycznego dla kodowanego przekazu audiowizualnego [2]. Współczynnik Hursta, estymowany przez program SELFIS [5] metodą Whittle'a dla transmisji z Rys. 4 i Rys. 5 wyniósł 0,58, przy stosunkowo małym obciążeniu błędem.

4. Podsumowanie

Wykonane doświadczenia miały być pomocne w odpowiedzi na pytanie, czy możliwe jest wykorzystanie technologii VectaStar do przekazu audiowizualnego wysokiej rozdzielczości na żywo. Wyniki wskazują, że taka transmisja jest możliwa dla konfiguracji sprzętu VS będącej w posiadaniu NASK, przy czym przekaz *full HD* skutkowałby pozbawieniem jakichkolwiek gwarancji jakości pozostałych użytkowników sieci w sektorze, w którym zachodzi transmisja. Natomiast przekaz w rozdzielczości *HD-ready*, zakodowany w MPEG4 jest możliwy już w kanale o przepustowości 10 Mb/s. Możliwe jest dalsze zmniejszenie wymagań na pasmo – w testach nawet do 4 Mb/s – ale wiąże się ono z koniecznością przekodowania strumienia do niższej przepływności. Zasadność takiego postępowania zależy od dynamiki i wymaganego poziomu szczegółowości transmitowanej treści, oraz od poziomu gwarancji udzielonych pozostałym użytkownikom sieci.

Skutkiem ubocznym testów jest opracowanie technologii umożliwiającej wykonanie testów, a więc i samą transmisję. Składają się na nią: konfiguracja sieci VS i sieci kablowej NASK oraz wybór darmowego oprogramowania. Testy wymagały również zastosowania odpowiednich mechanizmów rejestracji ruchu w sieci. Można stwierdzić, że badana technologia transmisji jest szczególnie przydatna w realizacji plenerowych przekazów audiowizualnych.

Bibliografia

- [1] Arabas P., Jaskóła P., Kamola M., Wiśniewski T. *Projekt prototypu: VectaStar jako technologia pozyskiwania treści strumieniowanej – specyfikacja konfiguracji*, Raport do zadania 13 w projekcie SPO-WKP „Platforma budowy usług multimedialnych nowej generacji dla sieci komputerowych i mobilnych”, 2008 r.
- [2] Beran J., Sherman R., Taqqu M., Willinger W. *Long-range Dependence in Variable-Bit-Rate Video Traffic*, IEEE Transactions on Communications, Vol. 43, pp. 1566-1579, 1995 r.
- [3] <http://www.cbnl.com>
- [4] <http://www.erightssoft.com/SUPER.html>
- [5] Karagiannis T. *SELFIS: A Short Tutorial*, <http://www.cs.ucr.edu/~tkarag/papers/SELFIS-Tutorial.pdf>, 2002 r.