

# Transport strumieni VoD w kanale ATM kategorii CBR

Operatorzy telekomunikacyjni czyni<sup>1</sup> starania w kierunku realizacji systemu VoD opartego na transmisji strumieni MPEG. Wykorzystanie kategorii ruchowej CBR do transmisji „wybuchowego” ruchu typu MPEG jest skutecznym sposobem realizacji us<sup>3</sup>ugi VoD. Prostota definiowania parametrów kana<sup>3</sup>u CBR u<sup>3</sup>atwia negocjacje parametrów ruchowych pomiêdzy u<sup>3</sup>ytownikiem a operatorem sieci. Odpowiednie wy<sup>3</sup>adzenie strumieni daje podobny efekt jak multipleksacja statystyczna strumieni VBR – podniesienie efektywnoœci systemu transportu informacji MPEG.

## 1. Wprowadzenie

Obserwujemy obecnie wzrastaj<sup>1</sup>ce zainteresowanie firm telekomunikacyjnych dla przygotowania systemu przesy<sup>3</sup>ania informacji wideo na u<sup>1</sup>danie czyli realizacj<sup>1</sup> us<sup>3</sup>ugi VoD (*Video on Demand*). Inn<sup>1</sup> powszechnie akceptowan<sup>1</sup> us<sup>3</sup>ug<sup>1</sup> zwi<sup>1</sup>zan<sup>1</sup> z transmisj<sup>1</sup> skompresowanych strumieni wideo jest dystrybucja programów telewizyjnych.

Istnieje silna tendencja do implementacji nowych us<sup>3</sup>ug szerokopasmowych w sieciach zbudowanych z wykorzystaniem najnowszych technik sieciowych, takich jak ATM, w œrodowisku œwiat<sup>3</sup>owodowym lub miedzianym (techniki xDSL).

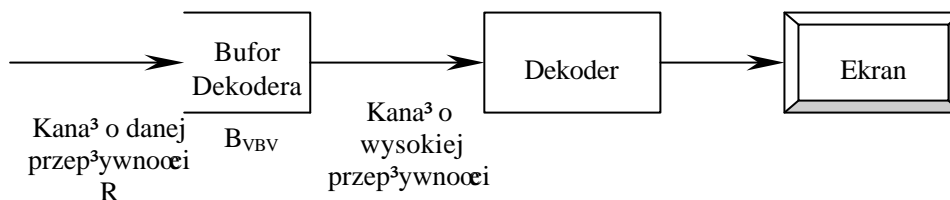
Dysponuj<sup>1</sup>c okreœlonym pasmem dla us<sup>3</sup>ugi VoD d<sup>1</sup>ujemy do zagwarantowania transmisji jak najwiêkszej liczby strumieni programów bez istotnego pogarszania jakoœci ich transmisji. Najbardziej znanymi i powszechnie u<sup>3</sup>zywanyymi standardami kodowania wideo jest MPEG w wersji 1 i 2 [1]. Koder MPEG generuje ramki o zmiennych d<sup>3</sup>ugoœciach u<sup>3</sup>o<sup>3</sup>one w strukturê GOP (*Group of Pictures*). Metodami zmniejszaj<sup>1</sup>cymi zapotrzebowanie na przepustowoœæ przy transmisji strumieni MPEG jest wykorzystanie buforów wy<sup>3</sup>adzaj<sup>1</sup>cych oraz odpowiednia synchronizacja wzajemna strumieni.

W ka<sup>3</sup>dym stratnym systemie kodowania istnieje zwi<sup>1</sup>zek pomiêdzy prêdkoœci<sup>1</sup> transmisji kodowanych danych a zniekszta<sup>3</sup>ceniami generowanego sygna<sup>3</sup>u. Transmisja pojedynczego strumienia wideo w kanale CBR (*Constant Bit Rate*) wi<sup>1</sup>ze siê z koniecznoœci<sup>1</sup> stosowania bufora wy<sup>3</sup>adzaj<sup>1</sup>cego gwa<sup>3</sup>towne zmiany przep<sup>3</sup>ywnoœci bitowej. Zape<sup>3</sup>nianie bufora danych jest monitorowane przez tzw. kontroler przep<sup>3</sup>ywnoœci zabezpieczaj<sup>1</sup>cy bufor przed przepe<sup>3</sup>nieniem lub niedostatecznym wype<sup>3</sup>nieniem. W tego typu systemach kodowania koder generuje strumieñ bitów, którego szybkoœæ bitowa jest sta<sup>3</sup>a w przeci<sup>1</sup>gu d<sup>3</sup>ugiego okresu czasu z krótko okresowymi wariacjami ograniczonymi wielkoœci<sup>1</sup> bufora zastosowanego w koderze. Strumieñ bitów wytworzony w ten w<sup>3</sup>aczenie sposób odnosi siê zwykle do strumienia CBR. Dla odró<sup>3</sup>nienia strumieñ bitowy, którego przep<sup>3</sup>ywnoœæ nie jest sta<sup>3</sup>a w czasie jest nazywany strumieniem VBR (*Variable Bit Rate*).

Do transmisji strumieni MPEG jest przeznaczona kategoria ruchowa rt-VBR jednak istnieje potrzeba przeanalizowania wpływu wykorzystania do tego celu także innych kategorii ruchowych. Prostota definiowania parametrów kanału CBR ułatwia negocjacje parametrów ruchowych pomiędzy użytkownikiem a operatorem sieci. Pozornie trudne jest w tym przypadku osiągnięcie dużej efektywności transmisji, gdyż definiowanie jako podstawowego dla CBR parametru PCR (*Peak Cell Rate*) oznacza konieczność zorientowania rezerwacji na wartości maksymalne.

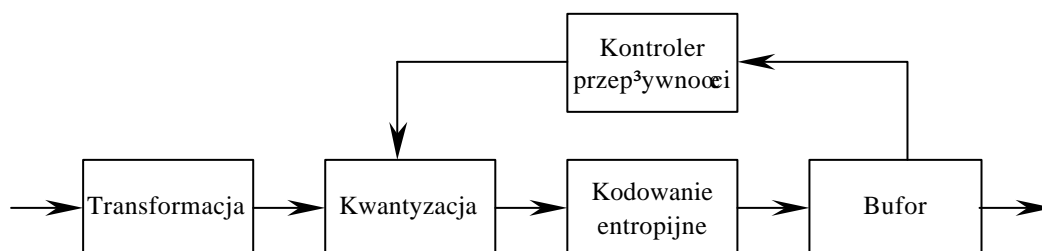
## 2. Wygładzanie sygnału wideo

Istnieje potrzeba wygładzenia porowatego charakteru strumienia MPEG w celu dostosowania szybkości chwilowej do przepustowości kanału transmisyjnego. Zastosowanie elementu pośredniczącego - kontrolera przepływności, umożliwia regulację szybkości kodowania przy zachowaniu zadowalającego poziomu zniekształceń. Standard MPEG określa składnię kodowanego strumienia bitowego oraz mechanizm jego dekodowania [1]. Co więcej, standard definiuje istnienie hipotetycznego dekodera zwanego weryfikatorem bufora wideo VBV (*Video Buffer Verifier*) pokazanego na Rys. 1.

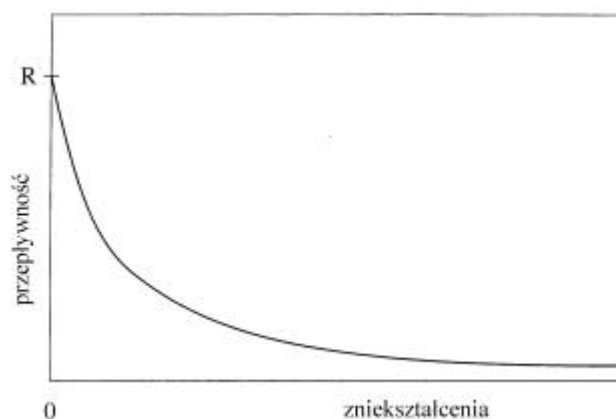


Rys. 1. Schemat blokowy weryfikatora bufora wideo.

Działanie weryfikatora bufora wideo polega na porównywaniu czy zakodowany strumień bitowy będzie dekodowalny przy określonych ograniczeniach na wielkość bufora dekodującego  $B_{VBV}$  i wyjściowej przepływności bitowej  $R$ . Jak pokazano na Rys. 2 wyjściowa przepływność bitowa kodera wideo może być regulowana przez zmianę poziomu kwantyzacji  $Q_s$ . Zwiększenie  $Q_s$  redukuje wyjściową przepływność bitową, ale także zmniejsza jakość kompresowanego obrazu. Podobnie, zmniejszenie  $Q_s$  powoduje wzrost zarówno przepływności bitowej jak i jakości kompresowanego obrazu. Rys. 3 pokazuje krzywą zależności pomiędzy przepływnością bitową oraz poziomem wprowadzanych zniekształceń. Przy braku zniekształceń Źródło jest kodowane z entropią równą  $R$ . Choć  $Q_s$  może być używane do kontroli stopnia przepływności i zniekształceń to jednak kodowanie ze stałą wartością  $Q_s$  niekoniecznie oznacza zachowanie stałej przepływności bitowej lub otrzymanie stałej jakości obrazu. Oba te czynniki są również zależne od treści przekazywanego obrazu. Rozważając zdolność percepcji wizualnej człowieka zauważamy, że postrzeganie zniekształceń jest skorelowane z pewnymi własnościami przestrzennymi obrazu (sekwencji wideo).



Rys. 2. Schemat blokowy kontroli przepływności w typowym systemie kodowania wideo.



Rys. 3. Przykładowa zależność między przepływnością a zniekształceniami dla transmisji sygnału wideo.

### 3. Statystyczna analiza wybranych sekwencji wideo

W celu praktycznego zbadania czynników wpływających na przesyłanie strumieni MPEG w sieci ATM, zrealizowano szereg badań symulacyjnych. Badania oparte były na wykorzystaniu trzech sekwencji filmowych zakodowanych w standardzie MPEG-1. Każda z nich posiada odmienną charakterystykę ruchową. • ródźa tych filmów została zakodowana w Institute of Computer Science na Uniwersytecie w Würzburgu przy pomocy kodera programowego UC Berkeley MPEG-I [9]. Wszystkie sekwencje filmowe posiadają następujące parametry:

- Częstotliwość ramek: 25 ramek na sekundę;
- Każda ramka zawiera jedną porcję danych;
- GOP wg. struktury: IBBPBBPBBPBB (12 ramek);
- Skala kwantyzacji: 10(I), 14(P), 18(B);
- Poszukiwanie wektora ruchu: logarytmiczne / proste; ramka odniesienia: oryginalna;
- Wejście kodera: 384x288 pikseli z 12 bitów informacji o kolorze;
- Ilość ramek przypadających na jedną sekwencję : 40000 (około 0.5 godziny filmu).

Badania dotyczyły trzech sekwencji filmowych:

- **lamb** – fragment filmu „Milczenie owiec”;
- **race** – wyścig Formuły 1 Hockenheim/Germany 1994;
- **mr.bean** – trzy epizody serialu komediowego „Jace Fasola”.

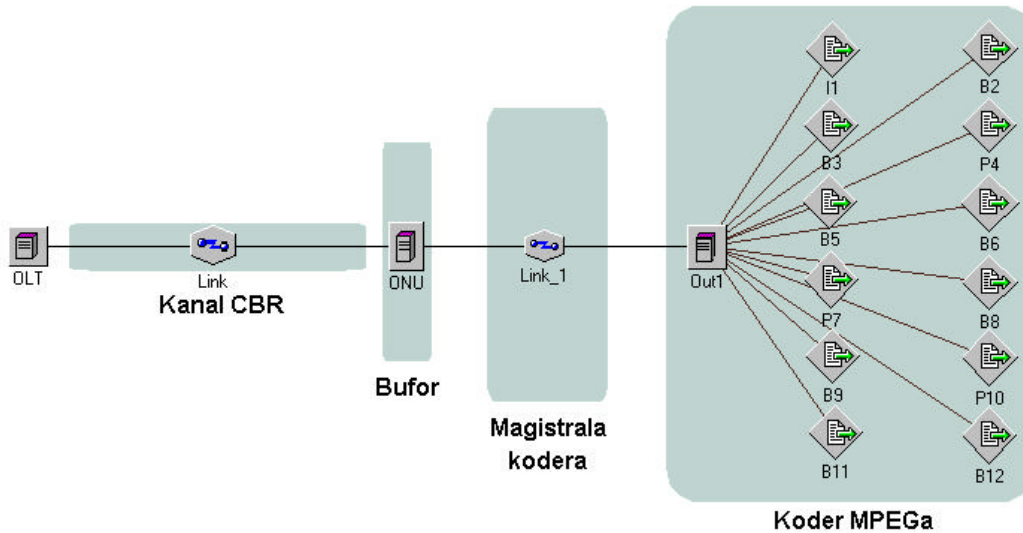
Poniżej w Tabeli 1 zostanie przedstawiona krótka statystyka wybranych filmów. Tabela 2 przedstawia dokładne statystyki opisowe ramek I, P, B wybranych sekwencji filmowych.

Tabela 1. Proste statystyki kodowanych sekwencji

Sekwencja	Stopień kompresji X:1	Ramki			Struktury GOP		
		Średnia [bity]	CoV	Szczyt / Średnia	Średnia [bity]	CoV	Szczyt / Średnia
<b>Lamb</b>	363	7,312	1.53	18.4	87,634	0.60	5.3
<b>Mr.Bean</b>	150	17,647	1.17	13.0	211,368	0.50	4.1
<b>Race</b>	86	30,749	0.69	6.6	369,060	0.38	3.6



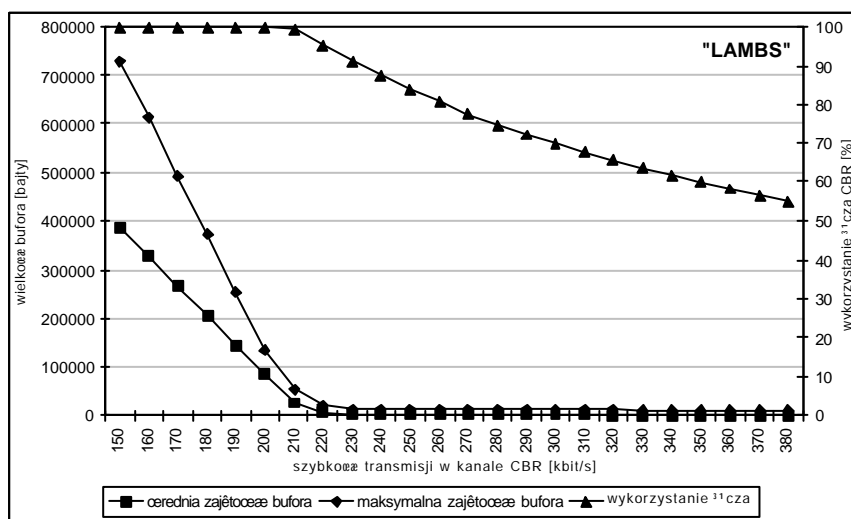
odpowiednio dobranych parametrach, tak by jak najwierniej odtworzyæ dzia³anie kodera. Struktura GOP by³a czasowo wyzwalana co 0.5s, natomiast ka¿da z ramek, zaczynaj¹c od ramki startowej – I by³a odpowiedzialna za wyzwalanie kolejnej ramki, tak by na wyjêciu kodera pojawia³a siê struktura: IBBPBBPBBPBB. Wyjêcie kodera posiada³o bufor o zmiennej wielkoœci, do którego do³¹czony by³ kana³ transmisyjny CBR o zadanych parametrach. Powy¿sz¹ sytuacjê przedstawia Rys. 5.



Rys. 5. Symulowany model kodera wraz z kana³em w programie COMNET III.

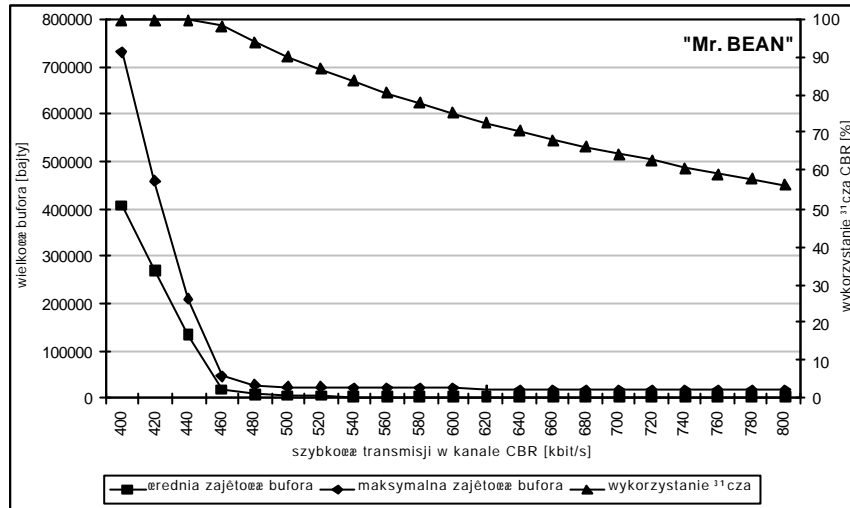
Szybkoœæ magistrali kodera zosta³a tak dobrana, by nawet najd³u¿sze ramki I zd³y¿y opuœciæ Ÿród³o przed pojawieniem siê nastêpnej w kolejnoœci ramki B. Produkowane obecnie kodery, budowane w oparciu o procesory DSP posiadaj¹ magistrale przesy³aj¹ce dane z prêdkoœci¹ przewy¿szaj¹c¹ 1 Gbit/s. Rozw¹zaj¹c jednak koder wewnêtrzny pracuj¹cy na karcie PCI komputera PC musimy liczyæ siê ze spadkiem prêdkoœci transmisji do oko³o 100 Mbit/s. Szybkoœæ umieszczania informacji w buforze zale¿y wiêc od zastosowanej platformy sprzêtowej.

W pierwszej fazie przyjêto transmisjê ramek o sta³ej d³ugoœci, równej 400 oktetów. Wielkoœæ ta by³a wybrana pod k¹tem przysz³ego zastosowania multipleksacji statystycznej w sieci bezprzewodowej zgodnej ze standardem IEEE 802.11 [6]. W tym przypadku kana³ CBR oznacza kana³ o ustalonej i dedykowanej przepustowoœci dla transmisji strumienia MPEG. Sieæ IEEE 802.11 dopuszcza transmisjê ramek o zmiennej d³ugoœci.

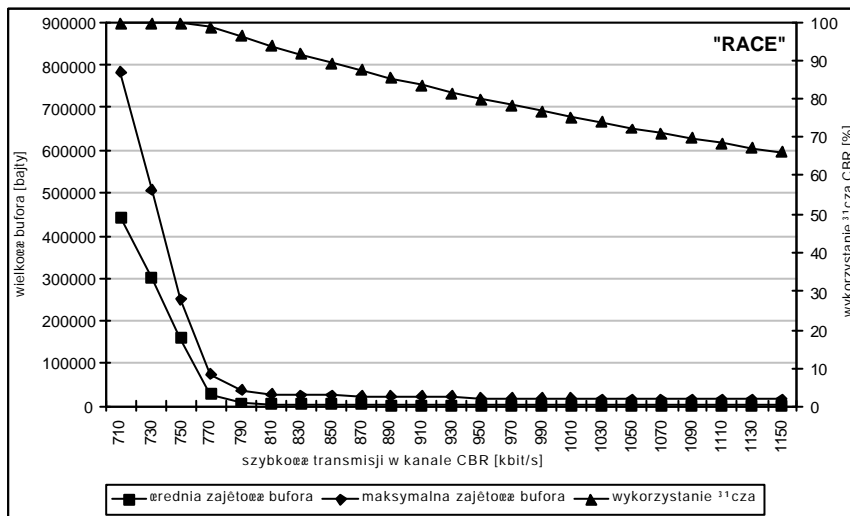


Rys. 6. Wykres œredniej i maksymalnej zajêtoœci bufora oraz wykorzystania 11cza w funkcji szybkoœci transmisji w kanale CBR dla sekwencji „LAMBS”.

Z przeprowadzonych wcześniej badań wynika, że stosowanie zarówno zbyt krótkich, jak i zbyt długich ramek wpływa niekorzystnie na wydajność sieci. Stosowanie ramek bardzo krótkich prowadzi do niepotrzebnego nadmiaru spowodowanego obecności nagłówka, co przekłada się w większym opóźnieniu. Bardzo długie ramki wymagają stosowania dzielenia ich na krótsze pakiety, co również wprowadza niekorzystne opóźnienie. Wielkość bufora została ograniczona do 1000000 bajtów. Czas symulacji był stały dla każdej iteracji i wynosił 120s.

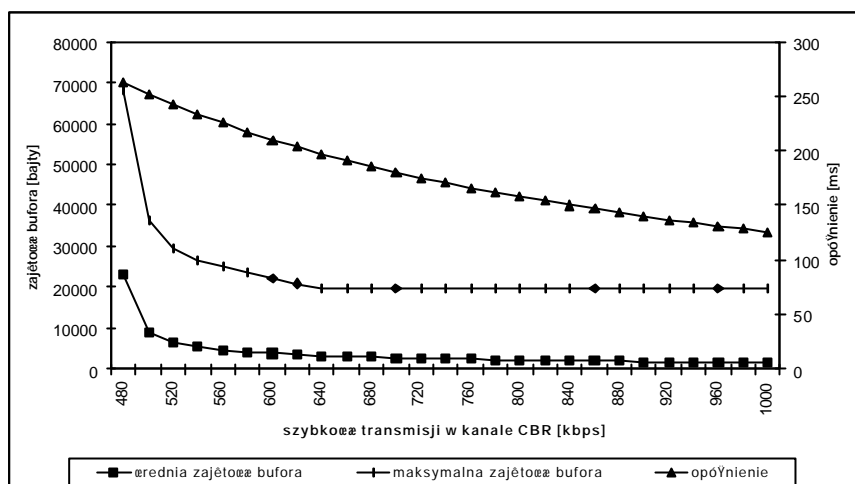


Rys. 7. Wykres średniej i maksymalnej zajętości bufora oraz wykorzystania czasu CBR w funkcji szybkości transmisji w kanale CBR dla sekwencji „Mr. BEAN”.



Rys. 8. Wykres średniej i maksymalnej zajętości bufora oraz wykorzystania czasu CBR w funkcji szybkości transmisji w kanale CBR dla sekwencji „RACE”.

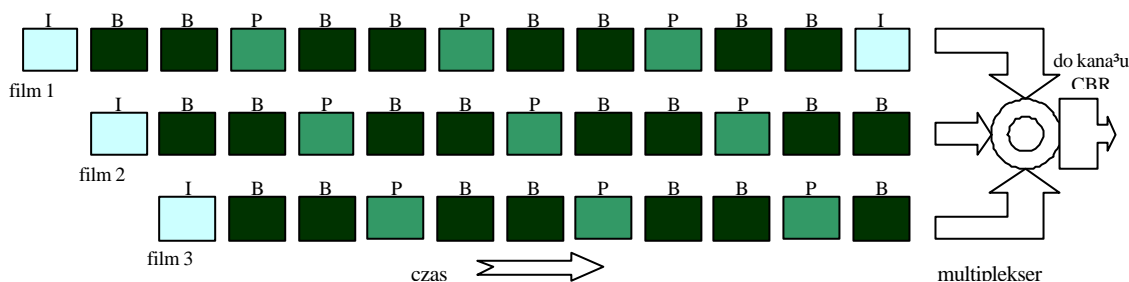
Druga faza badań obejmowała transmisję ramek ATM’owych (47 bajtów danych + 6 bajtów nagłówka, zgodnie z AAL1). W kanale CBR transmitowany był 1 strumień „Mr. Bean”. Podczas symulacji przyjęto następujące parametry: CIR=600 kbit/s, granica wybuchowości strumienia=160 kbit, przepływność GCRA1=10000 pakietów/s, granica wybuchowości GCRA1=1000 pakietów (parametr „granica wybuchowości” – *burst limit* - jest zdefiniowany jako wewnętrzne ustalenie w programie symulacyjnym COMNET i nie jest właściwy dla standardu ATM). Czas symulacji był stały dla każdej iteracji i wynosił 120s. Uzyskane wyniki zostały przedstawione na rys. 9.



Rys. 9. Wykres średniej i maksymalnej zajętości bufora oraz opóźnienie transmisji w funkcji szybkości transmisji w kanale ATM-CBR dla sekwencji „Mr. BEAN”.

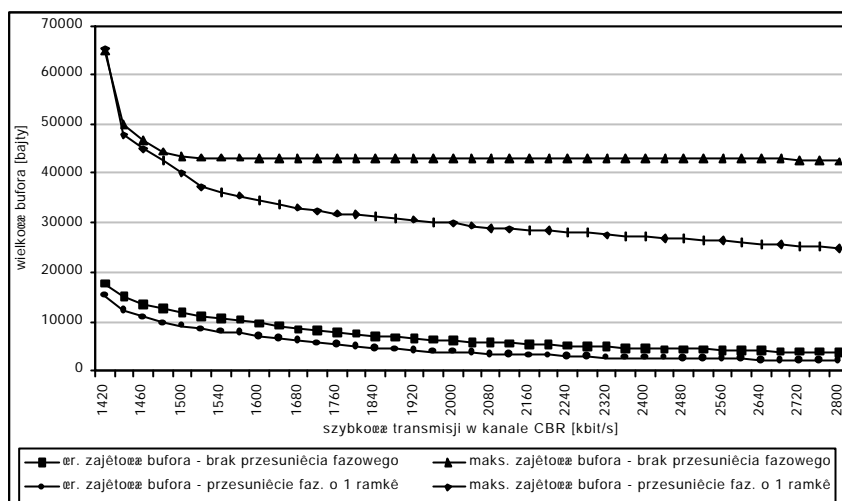
## 4.2 Multipleksacja oraz buforowanie strumieni MPEG

Do przeprowadzenia wszystkich symulacji związanych z multipleksacją i buforowaniem kilku strumieni MPEG wykorzystano ponownie program COMNET III firmy CACI. Struktura pojedynczego strumienia MPEG była identyczna jak w przypadku badań wpływu prędkości ruchu na wymagania wielkości bufora. Źródło informacji tworzyło strukturę GOP. GOP było wyzwalane każdorazowo co 0.5 sekundy. Ramka I każdej z sekwencji filmowych rozpoczynała wyzwalanie kolejnych ramek (BBPBB...) tego samego GOP. Dodatkowo w przypadkach w których stosowano przesunięcie fazowe sekwencji filmowych skutkowało ona do wyzwalania kolejnych sekwencji filmowych. I tak np. ramka I pierwszej sekwencji filmowej wyzwała ze stałym opóźnieniem ramkę B tego samego GOP oraz ramkę I sekwencji drugiej. W ten sposób wyzwalanie kolejnych źródeł zostało opóźniane o czas trwania 1 ramki. (por. Rys. 10).

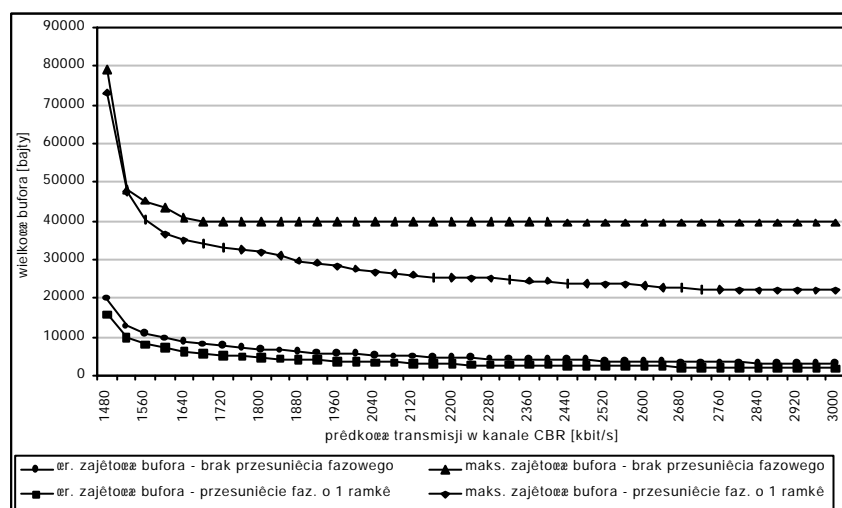


Rys. 10. Multipleksacja z przesunięciem o 1 ramkę trzech filmów o 12-ramkowej strukturze GOP.

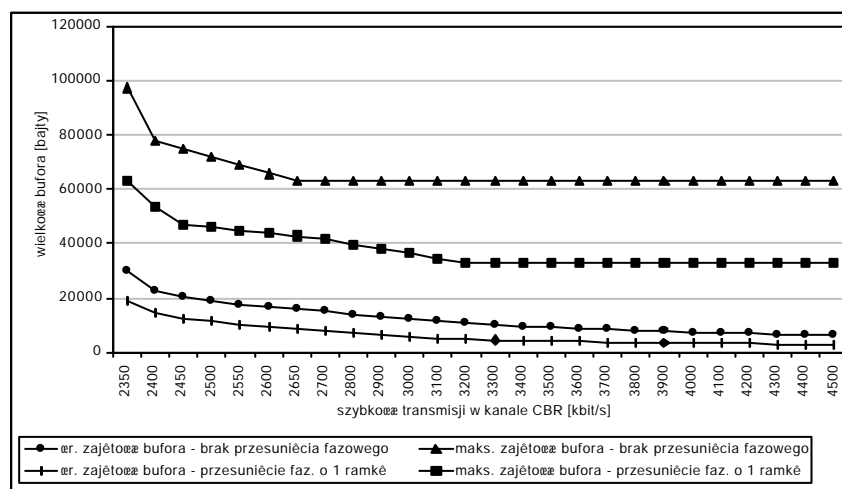
Przeprowadzone badania podzielono na dwie fazy. W pierwszej fazie symulowano multipleksację 3 oraz 5 strumieni MPEG w kanale CBR, przy transmisji ramek o stałej długości równej 400 oktetów. W odróżnieniu od modelu poprzedniego węzek ONU posiada większy bufor oraz zapewnia zapewnienie 3 sygnałów w jeden strumień wprowadzany następnie do kanału CBR. Pierwsza część symulacji wiązała się ze złozeniem trzech identycznych strumieni wideo „Mr. BEAN”. Symulowano zarówno równoczesną transmisję wszystkich filmów, jak i transmisję z rozsunieniem czasowym. Czas przesunięcia transmisji każdej sekwencji odpowiadał czasowi trwania 1 ramki. Kolejne symulacje różniły się rodzajem zastosowanego materiału filmowego. Symulowano multipleksację trzech różnych strumieni: „LAMBS”, „Mr. BEAN”, „RACE” zarówno bez jak i z przesunięciem fazowym. Ostatnie badania różniły się liczbą multipleksowanych strumieni. Symulowano złozenie 5 sekwencji filmowych „Mr. BEAN” w dwóch przypadkach: bez oraz z przesunięciem fazowym. We wszystkich trzech przypadkach porównywano średnią oraz maksymalną zajętość bufora. Czas symulacji był stały dla każdej iteracji i wynosił 120s. Wyniki symulacji zostały przedstawione kolejno na Rys. 11, 12, 13.



Rys. 11. Wykres średniej i maksymalnej zajętości bufora w funkcji szybkości transmisji w kanale CBR dla 3 zmultiplexowanych sekwencji „Mr. BEAN” bez przesunięcia fazowego, oraz z przesunięciem o 1 ramkę.



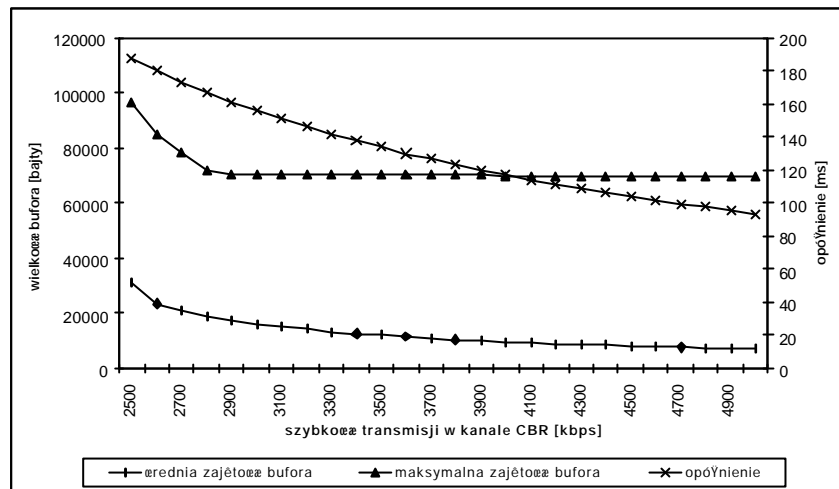
Rys. 12. Wykres średniej i maksymalnej zajętości bufora w funkcji szybkości transmisji w kanale CBR dla 3 zmultiplexowanych sekwencji „LAMBS”, „Mr. BEAN” i „RACE” bez przesunięcia fazowego, oraz z przesunięciem o 1 ramkę.



Rys. 13. Wykres średniej i maksymalnej zajętości bufora w funkcji szybkości transmisji w kanale CBR dla 5 zmultiplexowanych sekwencji „Mr. BEAN” bez przesunięcia fazowego, oraz z przesunięciem o 1 ramkę.



W drugiej fazie przeprowadzono multipleksację 5 strumieni MPEG „Mr. BEAN” w kanale ATM-CBR bez przesunięcia fazowego. Wszystkie parametry symulacji pozostały takie jak w przypadku transmisji pojedynczego strumienia w kanale ATM-CBR. Uzyskane wyniki zostały przedstawione na Rys. 14.



Rys. 14. Wykres średniej i maksymalnej zajętości bufora oraz opóźnienie w funkcji szybkości transmisji w kanale ATM-CBR dla 5 zmultipleksowanych sekwencji „Mr. BEAN”.

## 5. Podsumowanie

Celem badań było określenie jak zmienia się średnia i maksymalna zajętość bufora w zależności od zmiany szybkości transmisji w kanale CBR zarówno dla pojedynczego strumienia jak i dla zmultipleksowanych kilku sekwencji MPEG. Nieznaczne przesunięcie w fazie transmitowanych strumieni prowadzi do zmniejszenia maksymalnej zajętości bufora, a w rezultacie do zmniejszenia wymaganej przepustowości w kanale CBR. Z uwagi na dużą czasochłonność przeprowadzanych symulacji ograniczono do pięciu maksymalną liczbę multipleksowanych sekwencji filmowych. Z obserwacji wykresów uzyskanych w pierwszej części badań możemy wyciągnąć następujące wnioski:

- Charakterystyczny jest tu punkt przegięcia na wykresach, tj. wartość szybkości transmisji w kanale CBR, przy której następuje gwałtowny spadek średniej oraz maksymalnej zajętości bufora;
- Zbyt duże zmniejszenie szybkości transmisji w kanale CBR prowadzi do powstania dużych opóźnień w przekazie obrazu filmowego (należy pamiętać o istnieniu po stronie odbiorczej dużego bufora);
- W warunkach ograniczonych zasobów sieciowych (mała pojemność kanału CBR) celowe jest ustawienie punktu pracy systemu w pobliżu punktu przegięcia. Prowadzi to do powstania niekorzystnego opóźnienia, pozwala jednak maksymalnie wykorzystać możliwości zastosowanego sprzętu (szczególnie istotne w przypadku dzierżawy sprzętu, lub też wykorzystywania sieci o bardzo małej przepustowości [6]).

Druga część badań dotyczyła multipleksacji różnych rodzajów strumieni filmowych: „LAMBS”, „Mr. BEAN”, „RACE”. Otrzymane wykresy pozwalają na wyciągnięcie następujących wniosków:

- Podobnie jak w pierwszej części badań spadek szybkości transmisji w kanale CBR prowadzi do wzrostu średniej oraz maksymalnej zajętości bufora. Charakterystyczny jest punkt przegięcia, powyżej którego następuje gwałtowny wzrost zajętości bufora. Otrzymane wyniki pokazują, że wykorzystanie procentowe sprzętu CBR powyżej punktu przegięcia wynosi 100% (nasycenie się bufora);

- Średnia zajętość bufora dla multipleksacji zarówno 3 tych samych jak i różnych strumieni filmowych jest nieznacznie mniejsza dla transmisji z przesunięciem fazowym. Wyraźną różnicę widać dopiero przy multipleksacji większej liczby strumieni;
- Przy multipleksacji strumieni bez przesunięcia fazowego (nakładanie się w jednej chwili czasowej ramek typu I) niezależnie od wzrostu szybkości transmisji w kanale CBR obserwujemy stały poziom maksymalnej zajętości bufora;
- Dla dużych prędkości transmisji w kanale CBR przy multipleksacji z przesunięciem fazowym o jedną ramkę obserwujemy znaczny spadek maksymalnej zajętości bufora (do około 50%). Potwierdza to dotychczasowe rozważania teoretyczne;
- Transmisja większej liczby strumieni z przesunięciem fazowym powoduje znaczne uśrednienie ruchu (zmniejsza się wybuchowość strumienia MPEG). Jest to widoczne w zmniejszaniu się maksymalnej zajętości bufora;

Wykorzystanie kategorii ruchowej CBR do transmisji „wybuchowego” ruchu typu MPEG jest skutecznym sposobem realizacji usługi VoD. Prostota definiowania parametrów kanału CBR ułatwia negocjacje parametrów ruchowych pomiędzy użytkownikiem a operatorem sieci. Pozornie trudne jest w tym przypadku osiągnięcie dużej efektywności transmisji. W istocie odpowiednie wygładzenie strumieni daje podobny efekt jak multipleksacja statystyczna strumieni VBR – podniesienie efektywności systemu transportu informacji MPEG.

## Literatura

- [1] ISO-IEC / JTC1 / SC29 / WG11 / N0802. *Generic coding of moving pictures and associated audio information: Video*, November 1994. MPEG Draft Recommendation ITU-T H.262, ISO / IEC 13818-2 .
- [2] Krunz M., Tripathi S.: *Scene-Based Characterization of VBR MPEG-Compressed Video Traffic*. Department of Computer Science, University of Maryland.
- [3] Kuriacose J., Reininger D.: *Source traffic smoothing for VBR MPEG encoders*. Princeton, C&C Research Laboratories.
- [4] La Corte A., Lombardo A., Pallazo S.: *Buffer compensation analysis for synchronization of multimedia services in wireless networks*. University of Catania.
- [5] Lam S., Chow S., Yau D.: *An Algorithm for Lossless Smoothing of MPEG Video*. University of Texas at Austin.
- [6] Natkaniec M., Wajda K., Pach A.R.: *Transmisja strumienia MPEG-I w sieci standardu IEEE 802.11* Katedra Telekomunikacji AGH, 1998.
- [7] Pacyna P. *Dystrybucja strumieni MPEG w sieciach szerokopasmowych*. Sprawozdanie z Projektu Badawczego 456/T11/97/12, 1998.
- [8] Reininger D.: *Variable Bit Rate MPEG Video: Characteristics, Modeling and Multiplexing*. C&C Research Laboratories.
- [9] Rose O.: *VBR video traffic. COST242 Closing Seminar, June 4-5, 1996*.
- [10] Rose O.: *Discrete-time Analysis of a Finite Buffer with VBR MPEG Video Traffic Input*. Report No. 150 University of Würzburg, Institute of Computer Science, 1996.
- [11] Sen S., Dey J., Kurose J., Stankovic J., Towsley D.: *Online smoothing of live video transmissions*. University of Massachusetts.
- [12] Vitter J., Hoang D.: *Multiplexing VBR Video Sequence onto a CBR Channel with Lexicographic Optimization*. Duke University, Digital Video Systems Inc.
- [13] Wajda K., Pacyna P. *Statystyczne właściwości strumienia MPEG i ich wpływ na realizację usług multimedialnych*. KST'97, Bydgoszcz 1997.
- [14] ATM Forum, BTD-SAA-AMS-VBRMPEG2-02.02, VBR MPEG-2 - Baseline Text, Anaheim, February 1998.