

**Politechnika Poznańska**

**Wydział Elektryczny**

**Instytut Elektroniki i Telekomunikacji**

**ul. Piotrowo 3A, 60-965 Poznań**

**Andrzej Popławski**

**Trójwymiarowa falkowa kompresja sekwencji  
wizyjnych z małym opóźnieniem kodowania**

**Rozprawa doktorska**

**Promotor: prof. dr hab. inż. Marek Domański**

**Poznań 2006**

# Spis treści

STRESZCZENIE .....	5
ABSTRACT.....	6
SPIS RYSUNKÓW .....	7
SPIS OZNACZEŃ.....	10
<b>1. WPROWADZENIE .....</b>	<b>12</b>
1.1.  TEMATYKA PRACY .....	12
1.2.  CEL I TEZA PRACY .....	17
1.2.1. <i>Cel pracy</i> .....	17
1.2.2. <i>Teza pracy</i> .....	17
1.3.  METODYKA PRACY .....	17
1.4.  PRZEGLĄD PRACY .....	21
<b>2. FALKOWE KODERY SEKWENCJI WIZYJNYCH WYKORZYSTUJĄCE FILTRACJĘ Z KOMPENSACJĄ RUCHU .....</b>	<b>22</b>
2.1.  WSTĘP .....	22
2.2.  PRZEGLĄD LITERATURY NA TEMAT KODEKÓW FALKOWYCH .....	23
2.3.  OGÓLNY SCHEMAT FILTRACJI FALKOWEJ .....	25
2.4.  FILTRY STOSOWANE W DZIEDZINIE CZASU .....	28
2.5.  OGÓLNY SCHEMAT FILTRACJI W DZIEDZINIE CZASU .....	32
2.5.1. <i>Kompensacja ruchu w koderach falkowych</i> .....	34
2.5.2. <i>Metoda dopasowania bloków</i> .....	36
2.6.  FILTRACJA W CZASIE Z WYKORZYSTANIEM FILTRÓW HAARA .....	38
2.7.  FILTRACJA W CZASIE Z WYKORZYSTANIEM FILTRÓW 5/3.....	40
2.8.  INNE ZASTOSOWANIA MCTF W KOMPRESJI SEKWENCJI WIZYJNYCH.....	41
2.9.  OPÓŹNIENIA SPOWODOWANE FILTRACJĄ W DZIEDZINIE CZASU .....	42
<b>3. WPŁYW OPÓŹNIENIA KODOWANIA NA EFEKTYWNOŚĆ FALKOWEJ KOMPRESJI SEKWENCJI WIZYJNYCH .....</b>	<b>46</b>
3.1.  WSTĘP .....	46
3.2.  OPIS BADAŃ EKSPERYMENTALNYCH .....	47
3.2.1. <i>Oprogramowanie wykorzystane do badań</i> .....	47
3.3.  WPŁYW DOKŁADNOŚCI KODOWANIA WEKTORÓW RUCHU NA EFEKTYWNOŚĆ KOMPRESJI .....	48
3.4.  WYNIKI BADAŃ DLA WYŁĄCZONEJ ADAPTACJI.....	50
3.5.  WYNIKI BADAŃ DLA WŁĄCZONEJ ADAPTACJI .....	52
3.6.  WNIOSKI.....	53

<b>4. ZWIĄZEK EFEKTYWNOŚCI KOMPRESJI Z DŁUGOŚCIĄ FILTRÓW ANALIZY I SYNTEZY.....</b>	<b>55</b>
4.1. WPROWADZENIE .....	55
4.2. PORÓWNANIE FILTRÓW HAARA I 5/3 PRZY STAŁEJ DŁUGOŚCI GRUPY OBRAZÓW .....	57
4.3. PORÓWNANIE FILTRÓW HAARA I 5/3 PRZY STAŁYM OPÓŹNIENIU KODOWANIA.....	59
4.4. WNIOSKI.....	60
<b>5. ANALIZA SPOSOBÓW REDUKCJI OPÓŹNIENIA KODOWANIA.....</b>	<b>61</b>
5.1. WPROWADZENIE .....	61
5.2. REDUKCJA OPÓŹNIENIA KODOWANIA OSIĄGANA POPRZEZ ZMIANĘ STRUKTURY FILTRÓW .....	62
5.2.1. <i>Filtry Haara bez kroku uaktualnienia.....</i>	<i>64</i>
5.2.2. <i>Filtry Haara z krokiem uaktualnienia z poprzedniego obrazu.....</i>	<i>66</i>
5.2.3. <i>Filtry 5/3 bez kroku predykcji.....</i>	<i>67</i>
5.2.4. <i>Filtry 5/3 bez kroku uaktualnienia.....</i>	<i>69</i>
5.3. ANALIZA OPÓŹNIENIA DLA ZMODYFIKOWANYCH SCHEMATÓW FILTRACJI W CZASIE .....	71
5.4. BADANIA EKSPERYMENTALNE EFEKTYWNOŚCI KOMPRESJI PREZENTOWANYCH ROZWIĄZAŃ... 74	
5.4.1. <i>Brak opóźnienia .....</i>	<i>77</i>
5.4.2. <i>Opóźnienie o jeden obraz.....</i>	<i>78</i>
5.4.3. <i>Opóźnienie o trzy obrazy .....</i>	<i>80</i>
5.4.4. <i>Opóźnienie o pięć obrazów .....</i>	<i>81</i>
5.4.5. <i>Opóźnienie o siedem obrazów.....</i>	<i>83</i>
5.4.6. <i>Opóźnienie o dziewięć obrazów.....</i>	<i>84</i>
5.4.7. <i>Opóźnienie o trzynaście obrazów.....</i>	<i>86</i>
5.4.8. <i>Opóźnienie o piętnaście obrazów.....</i>	<i>87</i>
5.5. PORÓWNANIE OPISANYCH ROZWIĄZAŃ Z INNYMI ROZWIĄZANIAM Z LITERATURY .....	89
5.6. OCENA SPADKU EFEKTYWNOŚCI KODOWANIA PRZY ZREDUKOWANYCH OPÓŹNIENIACH KODOWANIA.....	90
5.6.1. <i>Spadek efektywności kodowania dla stałej prędkości transmisji.....</i>	<i>90</i>
5.6.2. <i>Przyrost strumienia bitowego dla stałej jakości kodowania .....</i>	<i>94</i>
5.7. WNIOSKI.....	97
<b>6. MODYFIKACJA WARTOŚCI WSPÓŁCZYNNIKÓW DLA FILTRÓW 5/3 POZBAWIONYCH KROKU UAKTUALNIENIA .....</b>	<b>102</b>
6.1. WPROWADZENIE .....	102
6.2. KRYTERIA DOBORU WSPÓŁCZYNNIKÓW.....	103
6.3. UZYSKANE WYNIKI BADAŃ EKSPERYMENTALNYCH.....	103
6.4. WNIOSKI.....	105
<b>7. PODSUMOWANIE .....</b>	<b>106</b>
<b>LITERATURA.....</b>	<b>109</b>
<b>ZAŁĄCZNIKI .....</b>	<b>120</b>
ZAŁĄCZNIK A. ZESTAW TESTOWYCH SEKWENCJI WIZYJNYCH.....	120
ZAŁĄCZNIK B. WYNIKI BADAŃ EKSPERYMENTALNYCH WPŁYWU OPÓŹNIENIA KODOWANIA NA EFEKTYWNOŚĆ KOMPRESJI FALKOWEJ SEKWENCJI WIZYJNYCH.....	126
<i>Wyniki badań wpływu dokładności kodowania wektorów ruchu na efektywność kompresji .....</i>	<i>126</i>

<i>Wyniki badań dla włączonej funkcji adaptacji</i> .....	134
<i>Wyniki badań dla wyłączonej funkcji adaptacji</i> .....	138
ZAŁĄCZNIK C. WYNIKI BADAŃ EKSPERYMENTALNYCH ZWIĄZKU EFEKTYWNOŚCI KOMPRESJI Z DŁUGOŚCIĄ FILTRÓW ANALIZY I SYNTEZY.....	142
<i>Wyniki badań dla stałego rozmiaru grupy obrazów</i> .....	142
<i>Wyniki badań dla stałej wartości opóźnienia</i> .....	145
ZAŁĄCZNIK D. WYNIKI BADAŃ EKSPERYMENTALNYCH EFEKTYWNOŚCI KOMPRESJI DLA ZREDUKOWANYCH OPÓŹNIEŃ KODOWANIA.....	149
<i>Wyniki badań dla schematu PPPP</i> .....	149
<i>Brak opóźnienia</i> .....	151
<i>Opóźnienie o 1 obraz</i> .....	156
<i>Opóźnienie o 3 obrazy</i> .....	159
<i>Opóźnienie o 5 obrazów</i> .....	164
<i>Opóźnienie o 7 obrazów</i> .....	167
<i>Opóźnienie o 9 obrazów</i> .....	172
<i>Opóźnienie o 13 obrazów</i> .....	177
<i>Opóźnienie o 15 obrazów</i> .....	180
<i>Porównanie efektywności kompresji dla różnych opóźnień kodowania</i> .....	185
ZAŁĄCZNIK E. WYNIKI BADAŃ EKSPERYMENTALNYCH DLA ZMODYFIKOWANYCH WARTOŚCI WSPÓŁCZYNNIKÓW FILTRÓW 5/3 POZBAWIONYCH KROKU UAKTUALNIENIA.....	193

# Streszczenie

Rozprawa poświęcona jest zagadnieniom trójwymiarowej falkowej kompresji sekwencji wizyjnych przy małym opróżnieniu kodowania. Znaczne opóźnienie jest zasadniczą trudnością we wprowadzeniu koderów falkowych w wielu zastosowaniach, takich jak: wideokonferencje, systemy zdalnej obserwacji i nadzoru wizyjnego, zdalnego nauczania. Badania zaprezentowane w niniejszej pracy skupiają się na znalezieniu najbardziej efektywnych technik falkowej kompresji sekwencji wizyjnych gwarantujących niewielkie opóźnienia kodowania.

W rozprawie przeanalizowano i porównano eksperymentalnie efektywność kompresji dla różnych schematów analizy i syntezy falkowej, w których redukcję opóźnienia kodowania osiągnięto przez usunięcie gałęzi predykcji i uaktualniania w drabinkowej strukturze filtrów z kompensacją ruchu.

Na podstawie wyników żmudnych badań eksperymentalnych z wykorzystaniem dziewięciu sekwencji testowych, biorąc pod uwagę wyniki dla różnych rozdzielczości przestrzennych i czasowych obrazów, wskazano rozwiązania najkorzystniejsze dla założonego opóźnienia kodowania.

W rozprawie wyznaczono eksperymentalnie spadki efektywności kompresji sekwencji wizyjnych wynikające z ograniczania opóźnienia kodowania do poszczególnych wartości.

# Abstract

This dissertation is devoted to three-dimensional subband video compression under the low delay constraint. A large delay is the main difficulty in applying wavelet coders in applications such as: videoconferences, surveillance systems, distant leaning.

In the dissertation there is analyzed and discussed coding efficiency for various schemes of wavelet analysis and synthesis in a time domain. The reduction of coding delay was obtained by removing predict and update steps in lifting structure with motion compensation.

Based on the result of experiments with usage of nine video test sequences, the best solutions for given delay constraint it has been suggested.

# Spis rysunków

Rys. 2.1. OGÓLNY SCHEMAT ANALIZY/SYNTETY FALKOWEJ.....	25
Rys. 2.2. SCHEMAT ANALIZY FALKOWEJ Z WYKORZYSTANIEM FILTRU DRABINKOWEGO .....	26
Rys. 2.3. SCHEMAT SYNTETY FALKOWEJ Z WYKORZYSTANIEM FILTRU DRABINKOWEGO .....	27
Rys. 2.4. OSIEM KOLEJNYCH OBRAZÓW Z TESTOWEJ SEKWENCJI WIZYJNEJ <i>CITY</i> , 15Hz.....	30
Rys. 2.5. OSIEM KOLEJNYCH OBRAZÓW Z TESTOWEJ SEKWENCJI WIZYJNEJ <i>FOOTBALL</i> , 15Hz .....	31
Rys. 2.6. POGLĄDOWY SCHEMAT FILTRACJI W DZIEDZINIE CZASU DLA GRUPY 8 OBRAZÓW.....	32
Rys. 2.7. OBRAZY SEKWENCJI <i>CITY</i> : A)OBRAZ ORYGINALNY A, B)OBRAZ TYPU H, C) OBRAZ TYPU LH, D) OBRAZ TYPU LLH .....	33
Rys. 2.8. PRZYKŁADOWY PODZIAŁ OBRAZU NA BLOKI A), PODZIAŁ NA BLOKI PO UWZGLĘDNIENIU PRZESUNIĘCIA O WEKTORY RUCHU B) .....	35
Rys. 2.9. ILUSTRACJA FILTRACJI W DZIEDZINIE CZASU .....	35
Rys. 2.10. PRZYKŁADOWY PODZIAŁ OBRAZU NA BLOKI, SEKWENCJA <i>CITY</i> .....	36
Rys. 2.11. ILUSTRACJA WYZNACZANIA WEKTORÓW RUCHU .....	37
Rys. 2.12. PORZĄDEK KODOWANIA WEKTORÓW RUCHU .....	38
Rys. 2.13. SCHEMAT CZASOWEJ ANALIZY FALKOWEJ Z WYKORZYSTANIEM FILTRÓW HAARA .....	39
Rys. 2.14. SCHEMAT CZASOWEJ ANALIZY FALKOWEJ Z WYKORZYSTANIEM FILTRÓW 5/3.....	41
Rys. 2.15. ILUSTRACJA WYJAŚNIAJĄCA POWSTAWANIE OPÓŹNIEŃ W CZASIE DLA FILTRÓW HAARA .....	43
Rys. 2.16. ILUSTRACJA WYJAŚNIAJĄCA POWSTAWANIE OPÓŹNIEŃ W CZASIE DLA FILTRÓW 5/3.....	45
Rys. 3.1. SCHEMAT BLOKOWY KODERA MC–EZBC.....	48
Rys. 3.2. WPLYW DOKŁADNOŚCI KODOWANIA WEKTORÓW RUCHU NA EFEKTYWNOŚĆ KOMPRESJI DLA ROZDZIELCZOŚCI CIF 30Hz, GOP=16, ADAPTACJA WŁĄCZONA (0dB PRZYJĘTO NAJMNIEJSZĄ WARTOŚĆ PSNR DLA DANEJ SEKWENCJI) [TABELA B. 2] .....	49
Rys. 3.3. WPLYW DOKŁADNOŚCI KODOWANIA WEKTORÓW RUCHU NA EFEKTYWNOŚĆ KOMPRESJI DLA ROZDZIELCZOŚCI CIF 30Hz, GOP=16, ADAPTACJA WYŁĄCZONA (0dB PRZYJĘTO NAJMNIEJSZĄ WARTOŚĆ PSNR DLA DANEJ SEKWENCJI) [TABELA B. 1] .....	50
Rys. 3.4. WZGLĘDNA WARTOŚĆ WSPÓLCZYNNIKA PSNR (0dB PRZYJĘTO NAJMNIEJSZĄ WARTOŚĆ PSNR DLA DANEJ SEKWENCJI) W ZALEŻNOŚCI OD DŁUGOŚCI GRUPY OBRAZÓW DLA WYŁĄCZONEJ ADAPTACJI, CIF 30Hz, 768 kB/s [TABELA B. 1] .....	51
Rys. 3.5. PRZYRÓST WARTOŚCI WSPÓLCZYNNIKA PSNR DLA WŁĄCZONEJ ADAPTACJI W STOSUNKU DO WYŁĄCZONEJ ADAPTACJI, CIF 30Hz, 768 kB/s [TABELA B. 3] .....	52
Rys. 3.6. PRZYRÓST WARTOŚCI WSPÓLCZYNNIKA PSNR DLA WŁĄCZONEJ ADAPTACJI W STOSUNKU DO WYŁĄCZONEJ ADAPTACJI, CIF 15Hz, 256 kB/s [TABELA B. 4] .....	53
Rys. 4.1. PORÓWNIANIE OPÓŹNIENIA CAŁKOWITEGO DLA FILTRÓW HAARA I 5/3 [TAB. 2.1, TAB. 2.2].....	56
Rys. 4.2. PRZYRÓST WARTOŚCI WSPÓLCZYNNIKA PSNR PRZY ZASTOSOWANIU FILTRÓW 5/3 W STOSUNKU DO FILTRÓW HAARA W FUNKCJI PRĘDKOŚCI TRANSMISJI, CIF 15Hz [TABELA C.1, TABELA C.2].....	57
Rys. 4.3. PRZYRÓST WARTOŚCI WSPÓLCZYNNIKA PSNR PRZY ZASTOSOWANIU FILTRÓW 5/3 W STOSUNKU DO FILTRÓW HAARA W FUNKCJI PRĘDKOŚCI TRANSMISJI, CIF 30Hz [TABELA C.3, TABELA C.4].....	58
Rys. 4.4. PRZYRÓST WARTOŚCI WSPÓLCZYNNIKA PSNR PRZY ZASTOSOWANIU FILTRÓW 5/3 W STOSUNKU DO FILTRÓW HAARA W FUNKCJI PRĘDKOŚCI TRANSMISJI, 4CIF 30Hz [TABELA C.5, TABELA C.6].....	58

Rys. 4.5. PRZYROST WARTOŚCI WSPÓŁCZYNNIKA PSNR PRZY ZASTOSOWANIU FILTRÓW HAARA ( $\kappa=2$ ) W STOSUNKU DO FILTRÓW 5/3 ( $\kappa=1$ ) W FUNKCJI PRĘDKOŚCI TRANSMISJI, CIF 30Hz [TABELA C.9, TABELA C.10]	60
Rys. 5.1. SKŁADOWE UAKTUALNIENIA PRZYCZYNIAJĄCE SIĘ DO POWSTAWANIA OPÓŹNIEŃ KODOWANIA DLA FILTRÓW HAARA	62
Rys. 5.2. CHARAKTERYSTYKI CZĘSTOTLIWOŚCIOWE DLA FILTRÓW HAARA	63
Rys. 5.3. SKŁADOWE PREDYKCJI I UAKTUALNIENIA PRZYCZYNIAJĄCE SIĘ DO POWSTAWANIA OPÓŹNIEŃ KODOWANIA DLA FILTRÓW 5/3	63
Rys. 5.4. CHARAKTERYSTYKI CZĘSTOTLIWOŚCIOWE DLA FILTRÓW 5/3	64
Rys. 5.5. SCHEMAT FILTRACJI DLA ZMODYFIKOWANYCH FILTRÓW HAARA Z USUNIĘTYM KROKIEM UAKTUALNIENIA	65
Rys. 5.6. CHARAKTERYSTYKI CZĘSTOTLIWOŚCIOWE DLA FILTRÓW HAARA Z USUNIĘTYM KROKIEM UAKTUALNIENIA	65
Rys. 5.7. SCHEMAT FILTRACJI DLA ZMODYFIKOWANYCH FILTRÓW HAARA Z KROKIEM UAKTUALNIENIA ODNOSZĄCYM SIĘ DO OBRAZU PRZESZŁEGO	66
Rys. 5.8. CHARAKTERYSTYKI CZĘSTOTLIWOŚCIOWE DLA FILTRÓW HAARA Z KROKIEM UAKTUALNIENIA ODNOSZĄCYM SIĘ DO OBRAZU PRZESZŁEGO	67
Rys. 5.9. SCHEMAT FILTRACJI DLA ZMODYFIKOWANYCH FILTRÓW 5/3 Z USUNIĘTYM KROKIEM PREDYKCJI ODNOSZĄCYM SIĘ DO OBRAZU PRZYSZŁEGO	68
Rys. 5.10. CHARAKTERYSTYKI CZĘSTOTLIWOŚCIOWE DLA FILTRÓW 5/3 Z USUNIĘTYM KROKIEM PREDYKCJI ODNOSZĄCYM SIĘ DO OBRAZU PRZYSZŁEGO	69
Rys. 5.11. SCHEMAT FILTRACJI DLA ZMODYFIKOWANYCH FILTRÓW 5/3 Z USUNIĘTYM KROKIEM UAKTUALNIENIA ODNOSZĄCYM SIĘ DO OBRAZU PRZYSZŁEGO	70
Rys. 5.12. CHARAKTERYSTYKI CZĘSTOTLIWOŚCIOWE DLA FILTRÓW 5/3 Z USUNIĘTYM KROKIEM UAKTUALNIENIA ODNOSZĄCYM SIĘ DO OBRAZU PRZYSZŁEGO	70
Rys. 5.13. PRZYROST WARTOŚCI WSPÓŁCZYNNIKA PSNR [dB] DLA SCHEMATU 3333 W STOSUNKU DO SCHEMATU PPPP, CIF 30Hz [TABELA D. 2, TABELA D. 61]	76
Rys. 5.14. PRZYROST WARTOŚCI WSPÓŁCZYNNIKA PSNR DLA SCHEMATU UUUU W STOSUNKU DO SCHEMATU BBBB, CIF 30Hz [TABELA D. 5, TABELA D. 11]	78
Rys. 5.15. PRZYROST WARTOŚCI WSPÓŁCZYNNIKA PSNR DLA SCHEMATU 3UUU W STOSUNKU DO SCHEMATU HUUU, CIF 30Hz [TABELA D. 14, TABELA D. 17]	79
Rys. 5.16. PRZYROST WARTOŚCI WSPÓŁCZYNNIKA PSNR DLA SCHEMATU 33UU W STOSUNKU DO SCHEMATU HHUU, CIF 30Hz [TABELA D. 20, TABELA D. 26]	80
Rys. 5.17. PRZYROST WARTOŚCI WSPÓŁCZYNNIKA PSNR DLA SCHEMATU 53UU W STOSUNKU DO SCHEMATU 5HUU, CIF 30Hz [TABELA D. 29, TABELA D. 32]	82
Rys. 5.18. PRZYROST WARTOŚCI WSPÓŁCZYNNIKA PSNR DLA SCHEMATU 333U W STOSUNKU DO SCHEMATU HHHU, CIF 30Hz [TABELA D. 35, TABELA D. 41]	83
Rys. 5.19. PRZYROST WARTOŚCI WSPÓŁCZYNNIKA PSNR DLA SCHEMATU 533U W STOSUNKU DO SCHEMATU 53HU, CIF 30Hz [TABELA D. 44, TABELA D. 47]	85
Rys. 5.20. PRZYROST WARTOŚCI WSPÓŁCZYNNIKA PSNR DLA SCHEMATU 553U W STOSUNKU DO SCHEMATU 55HU, CIF 30Hz [TABELA D. 53, TABELA D. 56]	86
Rys. 5.21. PRZYROST WARTOŚCI WSPÓŁCZYNNIKA PSNR DLA SCHEMATU 3333 W STOSUNKU DO SCHEMATU HHHH, CIF 30Hz [TABELA D. 59, TABELA D. 65]	88
Rys. 5.22. SPADEK WARTOŚCI PSNR [dB] (UŚREDNIONY DLA DZIESIĘCIU BADANYCH PRĘDKOŚCI TRANSMISJI) DLA ZADANYCH OPÓŹNIEŃ KODOWANIA W STOSUNKU DO ROZWIĄZANIA BEZ OGRANICZENIA OPÓŹNIENIA KODOWANIA, CIF 15 Hz [ZAŁĄCZNIK D]	92
Rys. 5.23. SPADEK WARTOŚCI PSNR [dB] (UŚREDNIONY DLA DZIESIĘCIU BADANYCH PRĘDKOŚCI TRANSMISJI) DLA ZADANYCH OPÓŹNIEŃ KODOWANIA W STOSUNKU DO ROZWIĄZANIA BEZ OGRANICZENIA OPÓŹNIENIA KODOWANIA, CIF 30 Hz [ZAŁĄCZNIK D]	93
Rys. 5.24. SPADEK WARTOŚCI PSNR [dB] (UŚREDNIONY DLA DZIESIĘCIU BADANYCH PRĘDKOŚCI TRANSMISJI) DLA ZADANYCH OPÓŹNIEŃ KODOWANIA W STOSUNKU DO ROZWIĄZANIA BEZ OGRANICZENIA OPÓŹNIENIA KODOWANIA, 4CIF 30 Hz [ZAŁĄCZNIK D]	93



RYS. 5.25. PROCENTOWY PRZYROST PRĘDKOŚCI TRANSMISJI (UŚREDNIONY DLA WSZYSTKICH BADANYCH SEKWENCJI) DLA STAŁEJ WARTOŚCI WSPÓŁCZYNNIKA PSNR I ZAŁOŻONEGO OPÓŹNIENIA KODOWANIA.....	96
RYS. 5.26. OBRAZY SEKWENCJI <i>CITY</i> DLA OPÓŹNIENIA: A) ZERO OBRAZÓW, B) JEDEN OBRAZ, C) TRZY OBRAZY, D) PIĘĆ OBRAZÓW, E) SIEDEM OBRAZÓW, F) DZIEWIĘĆ OBRAZÓW, G) TRZYNAŚCIE OBRAZÓW, H) PIĘTNAŚCIE OBRAZÓW; CIF 15Hz, 256 KB/s.....	100
RYS. 5.27. OBRAZY SEKWENCJI <i>FOOTBALL</i> DLA OPÓŹNIENIA: A) ZERO OBRAZÓW, B) JEDEN OBRAZ, C) TRZY OBRAZY, D) PIĘĆ OBRAZÓW, E) SIEDEM OBRAZÓW, F) DZIEWIĘĆ OBRAZÓW, G) TRZYNAŚCIE OBRAZÓW, H) PIĘTNAŚCIE OBRAZÓW; CIF 15Hz, 256 KB/s.....	101
RYS. 6.1. OZNACZENIE WSPÓŁCZYNNIKÓW FILTRÓW DLA SCHEMATU S3.....	102
RYS. 6.2. ŚREDNI (DLA DZIESIĘCIU BADANYCH PRĘDKOŚCI TRANSMISJI) WZROST WARTOŚCI WSPÓŁCZYNNIKA PSNR DLA ZMODYFIKOWANYCH WSPÓŁCZYNNIKÓW I SCHEMATÓW KODOWANIA 3333 ORAZ 33UU [TABELA E.1 DO TABELA E. 6, TABELA D. 58 DO TABELA D. 60, TABELA D. 19 DO TABELA D. 21] .....	104

## Spis oznaczeń

Poniżej przedstawiono wykaz ważniejszych oznaczeń oraz skrótów przyjętych w pracy. Szczegółowy opis używanych symboli umieszczono również w tekście.

Symbol/skrót	Znaczenie
$A$	oryginalny obraz sekwencji (ramka parzysta)
$B$	oryginalny obraz sekwencji (ramka nieparzysta)
$CIF$	obraz/sekwencja wizyjna o rozdzielczości przestrzennej równej 352 na 288 punktów
$4CIF$	obraz/sekwencja wizyjna o rozdzielczości przestrzennej równej 704 na 576 punktów
$CIF\ 15Hz$	sekwencja wizyjna o rozdzielczości przestrzennej równej 352 na 288 punktów i częstotliwości 15Hz
$CIF\ 30Hz$	sekwencja wizyjna o rozdzielczości przestrzennej równej 352 na 288 punktów i częstotliwości 30Hz
$4CIF\ 30Hz$	sekwencja wizyjna o rozdzielczości przestrzennej równej 704 na 576 punktów i częstotliwości 30Hz
$D_E$	opóźnienie kodowania wyrażone w liczbie obrazów
$D_C$	opóźnienie całkowite wyrażone w liczbie obrazów
$D_T$	opóźnienie przetwarzania wyrażone w milisekundach
$(d_m, d_n)$	wektor ruchu dla współrzędnych $(m, n)$ obrazu
$GOP$	<i>Group Of Pictures</i> – grupa obrazów
$H$	obraz sekwencji stanowiący składową wysokoczęstotliwościową (po filtracji górnoprzepustowej w czasie)
$L$	obraz sekwencji stanowiący składową niskoczęstotliwościową (po filtracji dolnoprzepustowej w czasie)
$h_t$	próbka sygnału subpasma wysokich częstotliwości w czasie $t$
$l_t$	próbka sygnału subpasma niskich częstotliwości w czasie $t$

Symbol/skrót	Znaczenie
$h_t^k$	próbka sygnału subpasma wysokich częstotliwości w czasie $t$ na $k$ -tym poziomie dekompozycji czasowej
$l_t^k$	próbka sygnału subpasma niskich częstotliwości w czasie $t$ na $k$ -tym poziomie dekompozycji czasowej
$k$	liczba poziomów falkowej dekompozycji sekwencji wizyjnej w dziedzinie czasu
<i>MC-EZBC</i>	<i>Motion Compensation Embedded Zero Block Coding</i>
<i>MCTF</i>	<i>Motion Compensation Time Filtering</i> – filtracja z kompensacją ruchu
$MC(x_t, mv_t)$	operator kompensacji ruchu zdefiniowany jako $x_t(m, n - mv_t(m, n))$
$(m, n)$	współrzędne przestrzenne punktu obrazu
$mv_{2t+1}^+$	zestaw wektorów ruchu wyznaczony między obrazami $x_{2t+1}$ i $x_{2t}$
$mv_{2t+1}^-$	zestaw wektorów ruchu wyznaczony między obrazami $x_{2t+1}$ i $x_{2t+2}$
<i>PSNR</i>	<i>Peak Signal-to-Noise Ratio</i> , współczynnik sygnału do szumu – miara efektywności kompresji używana w pracy
$x_t$	obraz wejściowej sekwencji wizyjnej w czasie $t$

# 1. Wprowadzenie

## 1.1. Tematyka pracy

Nieustanny postęp wiedzy, rosnące zapotrzebowanie na różne usługi multimedialne, zwiększające się moce obliczeniowe współczesnych komputerów stymulują rozwój nowych technik kodowania, zarówno obrazów nieruchomych jak i sekwencji wizyjnych. Rozwój wiedzy stymuluje powstawanie nowych bardziej efektywnych technik kompresji obrazu, które mogą być następnie zawarte w międzynarodowych standardach umożliwiającym szerokie zastosowanie tych technik. Cyfrowa telewizja satelitarna, telekonferencje, wideotelefony, transmisja obrazów i sekwencji wizyjnych w sieci Internet są dzisiaj codziennością. Powstanie nowych, bardziej efektywnych technik kompresji obrazów i sekwencji wizyjnych może przyczynić się i przyczynia się do wprowadzania nowych usług audiowizualnych. Przykładem niech będzie uruchomiony niedawno serwis iTVP Telewizji Polskiej [WWW1], oferujący dostęp do wybranych programów telewizyjnych za pośrednictwem sieci Internet.

Od lat siedemdziesiątych dokonuje się nieustanny postęp wiedzy w zakresie przetwarzania i transmisji obrazów i sekwencji wizyjnych. Prezentowane są nowe techniki przetwarzania informacji multimedialnych. Techniki te są coraz bardziej efektywne, ale również charakteryzują się zwiększoną złożonością. Wzrastająca i coraz tańsza moc obliczeniowa umożliwia zastosowanie w praktyce wielu z tych technik. Od końca lat osiemdziesiątych przy jednoczesnym ulepszaniu technik kodowania hybrydowego, prowadzone są intensywne prace nad kodowaniem subpasmowym, zarówno obrazów nieruchomych, zaś od początku lat dziewięćdziesiątych, także sekwencji wizyjnych (od lat dziewięćdziesiątych kodowanie subpasmowe zwane jest również kodowaniem falkowym). Powstanie nowych technik owocuje po pewnym czasie zatwierdzeniem nowych standardów lub zaleceń, umożliwiającym szerokie zastosowanie tych technik.

W ostatnich latach opracowano wiele standardów kompresji sekwencji wizyjnych. Zalecenie IUT-T H.261 [ITU1] znajduje zastosowania w wideotelefonii oraz systemach wideokonferencyjnych, gwarantuje wartość opóźnienia kodowania na poziomie nie większym niż 150 ms. Standard IUT-T H.263 [ITU2] stanowiący rozwinięcie H.261 opracowano na potrzeby kodowania cyfrowych sygnałów wizyjnych w systemach wideotelefonicznych, standard H.264/AVC [ISO05] umożliwia kompresję o dużej efektywności. Bardzo popularny standard kompresji cyfrowych danych audiowizualnych ISO/IEC IS 13818 [ISO94], znany głównie pod nazwą MPEG-2, jest obecnie szeroko wykorzystywany m.in. w cyfrowej telewizji, zapisie materiału filmowego na nośniki DVD, jak również w transmisji informacji wizualnej poprzez sieć Internet.

Kodery, których działanie opiera się na wyżej wymienionych zaleceniach i standardach, zwane koderami hybrydowymi, wykorzystują dyskretną transformację kosinusową (DCT – *discrete cosine transform*) [Ahmed74]. Dobry przegląd hybrydowych technik kompresji sekwencji wizyjnych można znaleźć w pracach [Domanski98, Skarbek98, Soyood02, Ohm04].

W ostatnich latach zainteresowanie wielu badaczy zostało skierowane na kodery wykorzystujące dyskretną transformację falkową (DWT – *discrete wavelet transform*) [Jayant84a, Woods91a, Vaidyana93, Vetterli95, Strang96a, Topiwala98a]. Po sukcesach kompresji falkowej obrazów nieruchomych w standardzie JPEG2000 [ISO00], zaistniała duża presja na opracowanie efektywnych technik falkowej kompresji obrazu ruchomego. Kodery wykorzystujące analizę falkową (*wavelet analysis*) stanowią interesującą alternatywę w stosunku do klasycznych koderów hybrydowych, gdyż umożliwiają w naturalny sposób uzyskanie pełnej skalowalności – czasowej, przestrzennej oraz typu SNR [Domański98]. Ponadto efektywność kodowania kodeków falkowych jest zbliżona do efektywności kodowania kodeków hybrydowych [Hsiang00, Hsiang01, Xu01].

Skalowalność (*scalability*) jest to cecha kodeka wizyjnego, umożliwiająca użycie w dekoderze pewnej części strumienia binarnego wytworzonego przez koder, w celu uzyskania obrazu prawidłowego, choć charakteryzującego się gorszymi parametrami jakościowymi. Skalowalność czasowa (*temporal scalability*) umożliwia

uzyskanie z części strumienia binarnego obrazów o zmniejszonej częstotliwości ich występowania. Jeżeli obraz zrekonstruowany z części strumienia wytworzonego przez koder różni się od obrazu oryginalnego zmniejszoną rozdzielczością przestrzenną, to mówi się o skalowalności przestrzennej (*spatial scalability*). W przypadku rekonstrukcji z części strumienia skompresowanych danych obrazów o pełnej rozdzielczości przestrzennej i czasowej lecz o gorszej jakości, mówi się wówczas o skalowalności typu SNR (*SNR scalability*).

Realizacja skalowalności w kodekach hybrydowych następuje poprzez podział strumienia binarnego na kilka warstw. Każda z warstw może zawierać informacje niezbędne do zdekodowania sekwencji dla założonych rozdzielczości i przepływności strumienia danych, jednak z powodu występowania kilku warstw, część danych w strumieniu jest nadmiarowa. Dodatkowo już na etapie kodowania należy określić docelowe parametry zdekodowanej sekwencji wizyjnej. Jakkolwiek istnieją rozwiązania wprowadzające lub udoskonalające skalowalność w najnowszych kodekach hybrydowych (kodek AVC [ISO05] w pierwszej wersji nie obsługuje skalowalności), to jednak uzyskanie funkcji skalowalności w tych kodekach nie jest rzeczą prostą i wymaga dodatkowych zabiegów [Domański03, Schwarz04b, Radha04a, Sun04a, Huang04a, Błaszak04a, Błaszak04b, Błaszak05a].

Skalowalność w kodekach falkowych uzyskiwana jest w naturalny sposób, co wynika ze stosownej falkowej analizy w dziedzinie czasu i przestrzeni. Ponieważ w analizie falkowej dokonuje się podziału danych na subpasma, możliwa jest rekonstrukcja obrazu z wykorzystaniem jedynie niektórych subpasm, co prowadzi do uzyskania prawidłowego obrazu o zredukowanej rozdzielczości przestrzennej bądź czasowej [Woods91a, Strang96a, Vetterli95]. Skalowalność typu SNR jest z kolei uzyskiwana z wykorzystaniem technik progresywnego kodowania próbek w subpasmach, np.: EZW (*Embedded Zerotree Wavelet*) [Shapiro93], EBCOT (*Embedded Block Coding with Optimized Truncation*) [Taubman00], SPIHT (*Set Partitioning In Hierarchical Trees*) [Said96], EZBC (*Embedded coding using ZeroBlocks of wavelet coefficients and Context modeling*) [Hsiang00].

Skalowalność jest istotna w wielu zastosowaniach, na przykład w systemach bezprzewodowych o zmieniającej się w czasie przepustowości kanału

transmisyjnego, a także w transmisji sekwencji wizyjnych poprzez sieci komunikacyjne o niejednorodnej strukturze (tzw. sieci heterogeniczne) [Wu01, Sheldon99].

Warto podkreślić, że o ile kodowanie hybrydowe zostało już ujęte w wielu standardach ISO/IEC lub zaleceniach ITU-T, o tyle badania nad koderami falkowymi cały czas trwają. I chociaż standaryzacja dotyczy tylko koderów hybrydowych, to grupa ekspertów MPEG (*Moving Picture Experts Group*) [MPEG] działająca z ramienia ISO/IEC posiada regularną grupę zajmującą się koderami falkowymi [MPEG04a, MPEG05a, MPEG05b, MPEG05c]. Zainteresowanie potencjalną standaryzacją kodowania falkowego świadczy o tym, że kodery te zostały dostrzeżone i uznane za ważne w potencjalnych zastosowaniach.

Współczesne kodery falkowe, to przede wszystkim kodery trójwymiarowe wykorzystujące analizę falkową w trzech wymiarach (dwóch przestrzennych i jednym czasowym), zapewniające skalowalność przestrzenną, czasową i typu SNR [Chen03, Choi99, Hsiang01, Ohm94].

Dotychczas zaproponowane klasyczne techniki falkowego kodowania trójwymiarowego wprowadzają w procesie przetwarzania obrazów duże opóźnienia czasowe, spowodowane filtracją w czasie [Ohm02]. Opóźnienie kodowania powstaje w wyniku przetwarzania jednocześnie pewnej liczby obrazów sekwencji wizyjnej zwanej grupą obrazów (*GOP – Group Of Pictures*). Ta grupa obrazów może obejmować np. szesnaście obrazów. W celu przetworzenia tych obrazów, koder musi zgromadzić wszystkie obrazy grupy, co powoduje powstanie istotnego opóźnienia. Przykładowo dla sekwencji wizyjnej, w której częstotliwość występowania obrazów wynosi 30 Hz, dla grupy składającej się z szesnastu obrazów, całkowite opóźnienie kodowania może wynieść 1500ms. Dokładniejszy opis filtracji w czasie (z kompensacją ruchu) oraz opóźnień kodowania został zamieszczony w rozdziale 2.

Duże opóźnienie jest zasadniczą trudnością we wprowadzeniu koderów falkowych w wielu zastosowaniach.

Małe opóźnienie kodowania sekwencji wizyjnych odgrywa bardzo ważną rolę w wielu zastosowaniach, gdzie wymagana jest interakcja, jak na przykład: aplikacje

internetowe, wideotelefony, systemy wideokonferencyjne, systemy zdalnej obserwacji i nadzoru wizyjnego, telenauczanie (nauczanie na odległość w trybie synchronicznym). Przykładowo zalecenie [ITU1] określa wartość opóźnienia dla usługi wideokonferencji na poziomie nie większym niż 150ms.

Wideokonferencje, telenauczanie, telewizja interaktywna wymagają małego opóźnienia, co jest warunkiem uzyskania prawidłowej synchronizacji obrazu z dźwiękiem, duże opóźnienie może być przyczyną powstawania dyskomfortu wśród osób prowadzących rozmowę.

W wielu zastosowaniach systemów nadzoru wizyjnego, wymaga się bardzo małych czasów opóźnień wprowadzanych przez ten system. Jest to niekiedy kluczowe dla sprawnego i bezbłędnego funkcjonowania systemu. Warto również wspomnieć, że niektóre z firm ubezpieczeniowych uzależniają wielkość opłaty za ubezpieczenie, lub wręcz warunkują podpisanie umowy ubezpieczeniowej posiadaniem systemu nadzoru wizyjnego o wysokiej jakości. Jedną z głównych miar oceny działania systemu nadzoru wizyjnego jest zaś czas reakcji na zdarzenie.

Małe opóźnienie jest dodatkowym warunkiem utrudniającym uzyskanie dużej efektywności kompresji, dlatego w pracy badane będą możliwości uzyskania małych opóźnień przy możliwie niewielkiej stracie efektywności kodowania.

Ostatnio pojawiło się w literaturze światowej wiele rozwiązań służących redukcji opóźnienia kodowania spowodowanego filtracją w dziedzinie czasu w koderach falkowych [Pau05, Viéron05, Seran05, Li05a, Pau04a, Pau04b, Schwarz04a, Huang03a]. Prezentowane rozwiązania są jednak poparte stosunkowo skromnym materiałem eksperymentalnym, brak jest również porównania różnych rozwiązań między sobą. Przeprowadzenie kompleksowych badań eksperymentalnych dla różnych schematów filtracji w czasie, które charakteryzują się zredukowanym opóźnieniem kodowania oraz dokonanie oceny efektywności kompresji sekwencji wizyjnych dla poszczególnych schematów kodowania w celu wyłonienia rozwiązania najkorzystniejszego z pewnością może uzupełnić te braki.

Zagadnienia redukcji opóźnienia wprowadzanego przez kodery falkowe są interesujące nie tylko z poznawczego punktu widzenia, lecz także mają istotne znaczenie praktyczne, zwłaszcza dla szybko rozwijającego się sektora zdalnego



nadzoru wizyjnego oraz usług multimedialnych dostarczanych przez sieć Internet. Uzyskane wyniki mogą być wykorzystane przez producentów oprogramowania (różnego rodzaju – w tym oprogramowania dla programowalnych układów cyfrowych), umożliwiając im wybór najlepszego (z danego punktu widzenia) rozwiązania ograniczającego opóźnienie

## **1.2. Cel i teza pracy**

### **1.2.1. Cel pracy**

Celem pracy jest:

- systematyczne porównanie różnych możliwych sposobów ograniczania opóźnień powstających w zespołach filtrów z kompensacją ruchu stosowanych dla subpasmowej analizy i syntezy w dziedzinie czasu w trójwymiarowych falkowych koderach wizyjnych,
- wybór najlepszej techniki redukcji opóźnienia, która powoduje możliwie najmniejszą utratę efektywności kodowania,
- zbadanie wpływu ograniczenia opóźnienia kodowania na efektywność kompresji sekwencji wizyjnych kodowanych koderami falkowymi wykorzystującymi analizę w dziedzinie czasu.

### **1.2.2. Teza pracy**

Eliminacja kroku uaktualnienia w filtracji z kompensacją ruchu jest najbardziej efektywną metodą redukcji opóźnienia wprowadzanego przez trójwymiarowe kodowanie falkowe.

## **1.3. Metodyka pracy**

Ocena efektywności kompresji sekwencji wizyjnych dla różnych schematów filtracji w dziedzinie czasu polegała na wykonaniu serii eksperymentów z wykorzystaniem testowych sekwencji wizyjnych. Pierwszym krokiem badań eksperymentalnych było zakodowanie a następnie zdekodowanie testowej sekwencji

wizyjnej dla zadanej prędkości transmisji. Następnie dokonywano porównania sekwencji oryginalnej z sekwencją zdekodowaną w celu oceny jej jakości. Taki sposób postępowania jest na świecie powszechnie uznawany i stosowany przez wielu badaczy. Wykorzystano sekwencje testowe zapisane w formacie YUV, reprezentującym składową luminancji (Y) oraz dwie składowe chrominancji (UV) w schemacie próbkowania 4:2:0 [ITU3].

Jako miarę jakości wykorzystano impulsowy współczynnik sygnału do szumu PSNR (*Peak Signal-to-Noise Ratio*) zdefiniowany równaniem [Domański98, Pau04a]

$$PSNR = 10 \log \frac{255^2 N^2}{\sum_i e_i^2} \text{ [dB]}, \quad (1.1)$$

gdzie: 255 – zakres dynamiczny sygnału,  
 $N$  – liczba punktów w obrazie,  
 $e_i$  – różnica wartości między  $i$ -tym punktem obrazu oryginalnego i zdekodowanego.

Ponieważ przeprowadzenie oceny jakości sekwencji wizyjnych metodami subiektywnymi [ITU4] jest żmudne i czasochłonne, zrezygnowano z tej metody pomiarowej. Ze względu na wykorzystanie kodeków o podobnych metodach kompresji, charakter wprowadzanych przez nie zniekształceń jest zbliżony, zaś zalecenie [ITU5] dopuszcza stosowanie współczynnika PSNR do porównywania kodeków o zbliżonych metodach kompresji. Pomiaru dokonywano dla składowej luminancji, wyznaczając średnią arytmetyczną współczynnika PSNR wszystkich obrazów sekwencji. Taka metoda oceny efektywności kodowania sekwencji wizyjnych jest dość powszechnie stosowana przez wielu badaczy [Pau05, Viéron05, Seran05, Li05a, Pau04a, Schwarz04a, Huang03a].

Do przeprowadzenia eksperymentów wykorzystano dziewięć testowych sekwencji wizyjnych w formatach: CIF 15Hz, CIF 30Hz, 4CIF 30Hz (tab. 1.1) o długości 6,4 sekund (192 obrazy dla 30Hz i 96 obrazów dla 15Hz). Sekwencje te są szeroko akceptowane i stosowane przez innych badaczy do oceny efektywności kompresji sekwencji wizyjnych, charakteryzują się zróżnicowaną dynamiką, zarówno

na pierwszym jak i na drugim planie. Obrazy testowych sekwencji wizyjnych zostały przedstawione w załączniku A.

**Tab. 1.1. Zestawienie wykorzystanych testowych sekwencji wizyjnych**

Nazwa sekwencji	Rozmiar testowej sekwencji wizyjnej		
	CIF 15Hz 352 x 288	CIF 30Hz 352 x 288	4CIF 30Hz 704 x 576
City	+	+	+
Crew	+	+	+
Harbour	+	+	+
Ice	+	+	+
Soccer	+	+	+
Football	+	+	-
Silent	+	+	-
Mobile	+	+	-
Foreman	+	+	-

Podczas kodowania sekwencji wizyjnych, przesyłania danych do odbiorcy oraz dekodowania danych mogą wystąpić opóźnienia powodowane przez:

- jednostkę przetwarzającą, wykonującą operacje kodowania bądź dekodowania,
- konieczność przesłania danych do dekodera przez kanał transmisyjny,
- algorytmy wykorzystywane w koderze / dekodерze, wymagające niekiedy oczekiwania na pewną liczbę obrazów przyszłych.

W pracy nie uwzględnia się opóźnienia kodowania wynikającego z czasu potrzebnego na przetworzenie danych przez jednostkę przetwarzającą oraz wynikające z czasu potrzebnego na przesłanie danych do odbiorcy. Niezależnie od wykorzystywanego kodeka, czas potrzebny na przesłanie danych kanałem transmisyjnym nie zmienia się zasadniczo. Opóźnienia spowodowane czasem potrzebnym na wykonanie obliczeń przez jednostkę przetwarzającą wynikają głównie z nakładu obliczeniowego wykorzystywanych algorytmów. Opóźnienia te

mogą być ograniczane poprzez stosowanie optymalizacji algorytmów działania kodeka lub poprzez wykorzystanie jednostki przetwarzającej o większej mocy obliczeniowej.

Mówiąc w treści pracy o opóźnieniu, należy mieć na myśli wyłącznie opóźnienie wynikające z wykorzystywanych algorytmów filtracji w dziedzinie czasu, mając świadomość, że nie jest to jedyny czynnik przyczyniający się do powstawania opóźnień.

W pracy główną jednostką w jakiej podaje się opóźnienie jest liczba obrazów. Wyrażenie „opóźnienie o jeden obraz” należy rozumieć jako opóźnienie wynoszące jeden odstęp próbkowania w czasie.

Jak dotąd nie opracowano standardu dla kodeków falkowych, dlatego istotnym zagadnieniem jest wybór odpowiedniego kodeka do przeprowadzenia badań. Jako bazę do implementacji programowej opisywanych w dalszej części algorytmów wykorzystano kodek MC-EZBC (*Motion Compensation Embedded Zero Block Coding*) [Hsiang01]. Kodek ten jest powszechnie uznany i wykorzystywany w badaniach wielu badaczy, wykorzystuje algorytmy opisane w [Hsiang00, Hsiang99, Choi99, Said96, Taubman00, Islam99]. Opisywany kodek wykorzystuje filtry Haara do analizy i syntezy w dziedzinie czasu, składa się z około 35 tys. linii kodu zapisanych w języku C. Kodek MC-EZBC był wykorzystywany w początkowym okresie realizacji pracy, został wykorzystany w rozdziale 3.

Na bazie MC-EZBC powstał kodek [Rusert04]. Dokonano w nim zmian polegających głównie na wprowadzeniu dłuższych filtrów analizy i syntezy w dziedzinie czasu (filtry 5/3). Omawiany kodek składa się z około 43 tys. linii kodu, wykorzystany został do wykonania badań w rozdziałach: 4, 5, 6.

Zaprezentowane kodeki są kodekami eksperymentalnymi, nie były poddawane optymalizacji prędkości ich działania. Kodowanie sekwencji wizyjnych trwa więc stosunkowo długo, przykładowo zakodowanie testowej sekwencji wizyjnej w rozdzielczości 704x576 30Hz składającej się z 192 obrazów zajmuje ponad dobę na komputerze z procesorem 2,0GHz.

## 1.4. Przegląd pracy

Niniejszą pracę podzielono na siedem rozdziałów. Rozdział 1 zawiera ogólne wprowadzenie do poruszanej tematyki pracy. Zawarto w nim również cel i tezę pracy oraz przedstawiono metodykę pracy.

Rozdział 2 porusza zagadnienia związane z technikami przetwarzania wykorzystywanymi w koderach falkowych sekwencji wizyjnych. Omówiono tu również stosowane schematy filtracji z kompensacją ruchu, dokonano analizy opóźnień powodowanych wykonywaniem filtracji w dziedzinie czasu.

Rozdział 3 zawiera wyniki badań eksperymentalnych wpływu ograniczenia opóźnienia kodowania na efektywność kompresji falkowej sekwencji wizyjnych w różnych wariantach.

Rozdział 4 poświęcony jest ocenie wpływu wykorzystanych filtrów w dziedzinie czasu na efektywność kompresji sekwencji wizyjnych. Ocena przeprowadzona ze względu na stosowane filtry oraz ze względu na całkowite opóźnienie kodowania.

Rozdział 5 zawiera porównanie różnych wariantów zespołów filtrów stosowanych w falkowej analizie i syntezy w dziedzinie czasu przy zredukowanych opóźnieniach przetwarzania. Dokonano wyboru najkorzystniejszych schematów filtracji w dziedzinie czasu, porównano efektywność kompresji dla różnych wartości opóźnień kodowania.

Rozdział 6 poświęcony jest modyfikacji współczynników filtrów o zredukowanych opóźnieniach wykorzystanych do analizy i syntezy w dziedzinie czasu.

W rozdziale 7 podsumowano i streszczono wnioski oraz wyniki uzyskanych badań eksperymentalnych.

## 2. Falkowe kodery sekwencji wizyjnych wykorzystujące filtrację z kompensacją ruchu

### 2.1. Wstęp

Kompresja sekwencji wizyjnych opiera się na usuwaniu nadmiarowości i elementów nieistotnych, wykorzystuje w tym celu podobieństwa kolejnych obrazów sekwencji wizyjnych. W klasycznych koderach sekwencji wizyjnych (zwanymi również koderami hybrydowymi) np.: MPEG-1 [ISO92], MPEG-2 [ISO94], MPEG-4 [ISO98], H.261 [ITU1], H.263 [ITU2], H.264 [ISO05] redundancja ta jest usuwana z wykorzystaniem dwóch technik: różnicowej modulacji impulsowo-kodowej (DPCM – *differential pulse code modulation*) z kompensacją ruchu (MC – *motion compensation*). Otrzymane w rezultacie obrazy różnicowy następnie poddawane są kodowaniu transformatowemu z wykorzystaniem dyskretnego przekształcenia kosinusowego (DCT – *discrete cosine transform*) [Ahmed74, Clarke85]. Współczynniki transformaty kosinusowej są kwantowane i poddawane kodowaniu entropowemu, po czym są wyprowadzane na wyjście kodera.

Błąd predykcji wyznacza się w pętli sprzężenia zwrotnego, do której wprowadza się skwantowane współczynniki transformaty poddawane dekwantyzacji i odwrotnej transformacji kosinusowej. Zastosowanie pętli umożliwia wyliczenie wartości poprawki dodawanej do poprzedniego obrazu różnicowego. Wyznaczony tym sposobem obraz jest porównywany z kolejnym obrazem wejściowym w celu wyznaczenia kolejnego obrazu różnicowego. Wyróżnia się trzy rodzaje obrazów. Obrazy typu I (*intra*) kodowane są bez predykcji z kompensacją ruchu, obrazy typu P (*predicted*) wykorzystują poprzedni obraz do wyznaczenia błędu predykcji. W obrazach typu B (*bidirectionally predicted*) wykorzystywany jest zarówno obraz poprzedni jak i następny do wyznaczenia błędu predykcji. Dokładniejszy opis

hybrydowej techniki kompresji sekwencji wizyjnych można znaleźć między innymi w [Domanski98, Skarbek98, Soyood02, Ohm04, Tekalp95, Haskell97, Pereira02, ISO98, ISO05, Ghanbari03].

Ogólnie wiadomo, że w hybrydowych koderach sekwencji wizyjnych wprowadzenie skalowalności prowadzi do obniżenia efektywności kodowania. Spowodowane to jest głównie występowaniem sprzężenia zwrotnego w pętli predykcji i koniecznością wytworzenia wielu warstw w strumieniu bitowym. Wady tej pozbawione są falkowe kodery sekwencji wizyjnych, które stały się w ostatnich latach obiektem zainteresowań wielu badaczy, choć nie opracowano dotąd standardu dla tych koderów. Falkowe kodery sekwencji wizyjnych nie zawierają w swojej strukturze kodowania pętli sprzężenia zwrotnego, umożliwiają przy tym uzyskanie pełnej skalowalności bez stosowania dodatkowych zabiegów. Ich wadą jest stosunkowo duże zapotrzebowanie na pamięć oraz występowanie opóźnień kodowania, wykluczającego te kodery z wielu zastosowań.

Predykcja z kompensacją ruchu w koderach falkowych polega na przefiltrowaniu kolejnych obrazów wejściowej sekwencji wizyjnej z wykorzystaniem pary filtrów: górnoprzepustowego oraz dolnoprzepustowego. W wyniku filtracji górnoprzepustowej otrzymuje się obraz będący w najprostszym przypadku różnicą między obrazem bieżącym i poprzednim, co odpowiada obrazowi typu P w koderach hybrydowych. Wykonanie filtracji dolnoprzepustowej skutkuje uzyskaniem obrazu, który jest w najprostszym przypadku wartością średnią obrazu bieżącego i poprzedniego, obraz ten jest w pewnym sensie odpowiednikiem obrazu typu I w odniesieniu do koderów hybrydowych. W zależności od rodzaju zastosowanych filtrów w dziedzinie czasu możliwa jest predykcja jednokierunkowa (filtry Haara, rozdział 2.6) lub dwukierunkowa (filtry LeGalla 5/3, rozdział 2.7). W dalszej części rozdziału omówiono ważniejsze techniki wykorzystywane w trójwymiarowych koderach falkowych.

## **2.2. Przegląd literatury na temat kodeków falkowych**

Sukcesy w efektywnym kodowaniu obrazów z wykorzystaniem technik falkowych, zachęciły wielu badaczy do zaadaptowania tego schematu kodowania

w koderach wizyjnych. Karlsson i Vetterli jako pierwsi zaproponowali rozwinięcie dwuwymiarowego schematu analizy flakowej do trzeciego wymiaru – czasu [Karlsson88]. W pracy wykorzystali krótkie filtry Haara drugiego rzędu do wyznaczenia średniej i różnicy dwóch sąsiednich obrazów. Również w pracach [Domański95, Podilchuk95] przedstawiono schematy kompresji z wykorzystaniem trójwymiarowej analizy subpasmowej. Ze względu jednak na brak kompensacji ruchu, efektywność kompresji opisywanych rozwiązań nie była wysoka, zwłaszcza dla sekwencji o dużej dynamice.

Pierwsze prace wykorzystujące kompensację ruchu przedstawiono w [Kronan89a, Kronan90a, Ohm92, Ohm93, Ohm94, Tham98]. Zanotowano znaczny przyrost efektywności kodowania w stosunku do rozwiązań bez kompensacji ruchu, głównie dzięki znacznemu zredukowaniu energii zawartej w obrazach różnicowych. Ohm w swoich pracach zaproponował efektywną metodę filtracji z kompensacją ruchu tak zwanych punktów niepołączonych i podwójnie połączonych. Zaproponowany przez Ohma schemat kodowania w ulepszonej wersji przedstawia praca Choia i Woodsa [Choi99]. Kolejna praca [Hsiang99] proponowała zwiększenie dokładności kodowania wektorów ruchu do 1/2 punktu, znacznie polepszając tym samym efektywność kompresji. W pracy [Hsiang00] zaprezentowano algorytm kodowania próbek w subpasmach zwany EZBC (*Embedded Zero-Block coding*).

Kolejne prace [Pesquet01, Secker01] wprowadzały filtracje w dziedzinie czasu z wykorzystaniem struktur filtru drabinkowego (*lifting*), umożliwiając tym samym zwiększenie dokładności kodowania wektorów ruchu do 1/16 punktu przy spełnieniu warunków idealnej rekonstrukcji. W pracach [Zhan02, Golwelkar02, Golwelkar03] przedstawiono algorytm filtracji z kompensacją ruchu z wykorzystaniem dłuższych filtrów (LeGalla 5/3), podnoszący efektywność kompresji kosztem znacznie większych opóźnień kodowania w porównaniu z rozwiązaniami poprzednimi. Turaga i inni [Turaga02] zaproponowali schemat filtracji w czasie, umożliwiający zarówno wykonywanie filtracji z dwukierunkową predykcją, jak również stosowanie wielu ramek jako obrazów odniesienia.

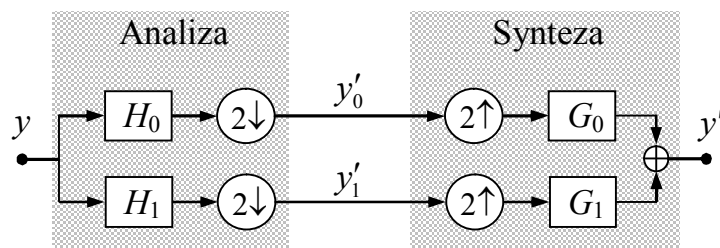


Prace [Pau04a, Schwarz04a] opisują algorytmy redukcji opóźnienia kodowania wprowadzanego przez falkową filtrację w czasie poprzez usuwanie kroków predykcji i uaktualnienia w celu osiągnięcia założonego poziomu opóźnienia kodowania. W pracach [Pau05, Viéron05] zaproponowano schematy filtracji w czasie redukujące opóźnienie kodowania poprzez stosowanie zmodyfikowanych filtrów Haara lub 5/3 (bez kroku uaktualnienia) w zależności od założonego poziomu opóźnienia. Seran i Kondi [Seran05] zaproponowali filtrację w czasie bez wykonywania kroku uaktualnienia, gdzie pierwszy i ostatni obraz w grupie obrazów nie jest poddawany filtracji, czego skutkiem ubocznym jest brak możliwości uzyskania skalowalności czasowej.

Warto podkreślić, że trójwymiarowa dekompozycja falkowa może być wykonywana dwoma sposobami. W pierwszym z nich filtrację przestrzenną poprzedza analiza w dziedzinie czasu ( $t+2D$ ) [Ohm94, Taubman94, Choi99, Hsiang00, Golwelkar03], w drugim przypadku najpierw wykonywana jest analiza przestrzenna, a dopiero później analiza w czasie [Andreo04, Wang03, Li04]. W pracy badano pierwszy z wymienionych schemat kodowania.

### 2.3. Ogólny schemat filtracji falkowej

Falkowa analiza (*wavelet analysis*) sygnału jednowymiarowego (1-D) oparta jest na podziale pasma tego sygnału na subpasma (najczęściej dwa), stąd też często mówi się o analizie subpasmowej (*subband analysis*). Na rys. 2.1 przedstawiono klasyczny schemat analizy/syntezy falkowej, w którym dokonuje się podziału pasma sygnału wejściowego  $y$  na dwa subpasma [Woods91a, Vetterli95, Topiwala98a, Vaidyana93].



Rys. 2.1. Ogólny schemat analizy/syntezy falkowej

Wejściowy sygnał  $y$  poddawany jest analizie za pomocą pary filtrów: dolnoprzepustowego  $H_0$  oraz górnoprzepustowego  $H_1$ . Sygnały zostają dwukrotnie zdecydowane, w wyniku czego otrzymuje się współczynniki transformaty falkowej ( $y'_0$  oraz  $y'_1$ ). Współczynniki te mogą być następnie poddane kompresji (kwantyzacji oraz kodowaniu entropijnemu) i w takiej postaci przesyłane do bloku syntezy (dekodera), gdzie następuje (po uprzedniej dekompresji) przywrócenie częstotliwości próbkowania oraz filtracja dolnoprzepustowa za pomocą filtru  $G_0$  i górnoprzepustowa za pomocą filtru  $G_1$ . W dziedzinie transformaty  $Z$  sygnał wyjściowy  $Y'(z)$  opisuje równanie [Woods91a, Vaidyana93, Vetterli95, Topiwala98a]

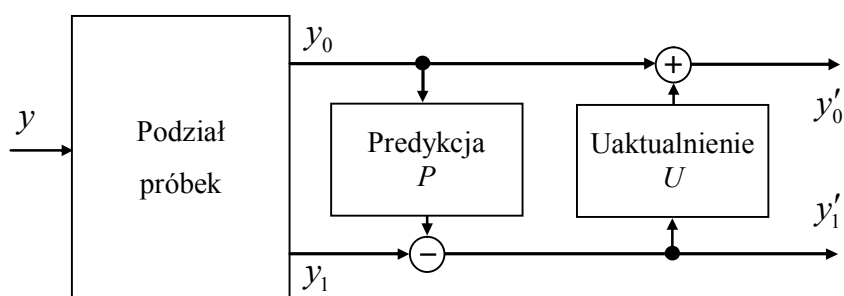
$$Y'(z) = \frac{1}{2}((H_0(z)G_0(z) + H_1(z)G_1(z))Y(z) + (H_0(-z)G_0(z) + H_1(-z)G_1(z))Y(-z)). \quad (2.1)$$

Idealna rekonstrukcja występuje w przypadku, gdy transmitancja  $T(z)$  układu:

$$T(z) = H_0(z)G_0(z) + H_1(z)G_1(z) = 2z^{-q}, \quad (2.2)$$

oraz transmitancja  $S(z)$  opisująca składową powstałą w wyniku nakładania się widm (aliasingu) w badanym sygnale

$$S(z) = H_0(-z)G_0(z) + H_1(-z)G_1(z) = 0. \quad (2.3)$$



**Rys. 2.2. Schemat analizy falkowej z wykorzystaniem filtra drabinkowego**

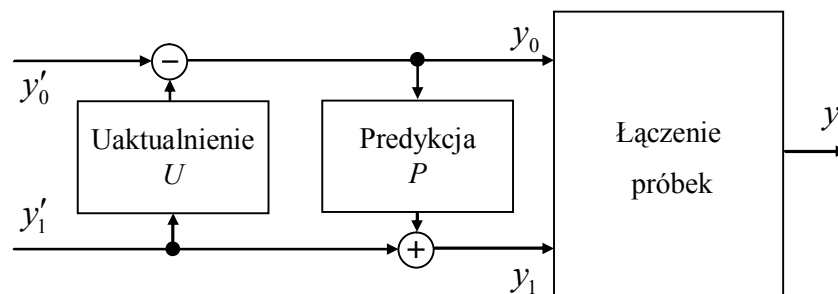
Praktycznym sposobem realizacji analizy i syntezy falkowej jest wykorzystanie struktury filtru drabinkowego (*lifting*) [Daube96, Sweldens96a, Claypoole03]. Pierwszym etapem analizy z wykorzystaniem układu drabinkowego jest rozdzielenie

wejściowego sygnału  $y$ , np. na próbki o numerach parzystych – oznaczonych jako  $y_0$  oraz nieparzystych – oznaczonych jako  $y_1$  (rys. 2.2). W dalszej kolejności wykonywana jest właściwa analiza: wyjściowa składowa  $y'_1$  jest wynikiem działania operatora predykcji  $P$  (co odpowiada filtracji górnoprzepustowej), zaś składowa  $y'_0$  jest wynikiem działania operatora uaktualnienia  $U$  (co odpowiada filtracji dolnoprzepustowej). Operacje te można zapisać w postaci:

$$y'_1 = y_1 - P(y_0), \quad y'_0 = y_0 + U(y'_1). \quad (2.4)$$

Syntezy dokonuje się poprzez odwrócenie kolejności wykonywanych operacji oraz zmianie znaków tych operacji (zamiana  $+$  na  $-$  w kroku uaktualnienia, oraz  $-$  na  $+$  w kroku predykcji). W pierwszej kolejności wykonuje się krok uaktualnienia, a następnie krok predykcji (rys. 2.3). Odpowiednio równania syntezy można zapisać w postaci:

$$y_0 = y'_0 - U(y'_1), \quad y_1 = y'_1 + P(y_0). \quad (2.5)$$



**Rys. 2.3. Schemat syntezy falkowej z wykorzystaniem filtru drabinkowego**

Podstawową zaletą analizy z wykorzystaniem struktur drabinkowych jest uzyskanie idealnej rekonstrukcji niezależnie od zastosowanego operatora predykcji i uaktualnienia (liniowego lub nieliniowego) – powstały schemat przetwarzania jest zawsze odwracalny [Claypoole03, Hampson96]. Ponadto wykorzystanie struktury drabinkowej daje możliwość prowadzenia analizy projektowej w dziedzinie przestrzennej (lub czasowej) w przeciwieństwie do rozwiązania klasycznego, gdzie na etapie projektowania filtrów korzysta się głównie z analizy w dziedzinie częstotliwości [Daube96, Sweldens96a].

Omówiony układ filtracji korzystający ze struktur drabinkowych jest wykorzystywany w falkowych koderach sekwencji wizyjnych, głównie ze względu na takie zalety jak: idealną rekonstrukcję, mniejszą złożoność obliczeniową oraz mniejsze zapotrzebowanie na pamięć w porównaniu z rozwiązaniem klasycznym [Daube96, Sweldens96a, Sweldens96b].

Analiza falkowa w dziedzinie przestrzennej nie przyczynia się do powstawania opóźnień kodowania, dlatego w pracy mówi się wyłącznie o analizie falkowej w jednym wymiarze, którym jest czas. Opisane schematy filtracji można więc bezpośrednio przenieść w dziedzinę czasu, traktując kolejne obrazy sekwencji wizyjnej jako próbki jednowymiarowego sygnału wejściowego.

## 2.4. Filtry stosowane w dziedzinie czasu

Istotnym zagadnieniem przy wykonywaniu filtracji jest odpowiedni dobór filtrów. W przypadku filtracji w czasie stosowanie filtrów wysokiego rzędu jest niekorzystne z co najmniej dwóch powodów. Po pierwsze – większy rząd filtrów oznacza konieczność wyznaczania większej liczby wektorów ruchu, co powiększa strumień binarny tworzony przez koder oraz zwiększa nakład obliczeniowy. Po drugie – dłuższe filtry przyczyniają się do powstawania większych opóźnień kodowania, wynikających z wykonywania analizy/syntezy w dziedzinie czasu.

W praktyce we współczesnych koderach falkowych korzysta się z dwóch rodzajów filtrów w dziedzinie czasu: filtrów Haara [Woods91a, Topiwala98a, Robbani91a] oraz filtrów LeGalla 5/3 [LeGall88a]. W dziedzinie transformaty  $Z$  filtry Haara opisane są równaniami (2.6), (2.7):

$$H_0(z) = \frac{1}{2}(1 + z^{-1}), \quad H_1(z) = 1 - z^{-1}, \quad (2.6)$$

$$G_0(z) = \frac{1}{2}(1 + z^{-1}), \quad G_1(z) = -1 + z^{-1}. \quad (2.7)$$

Przy realizacji filtracji z wykorzystaniem struktur drabinkowych opisanych w rozdziale 2.1 (rys. 2.2, rys. 2.3), filtrację z wykorzystaniem filtrów Haara można zapisać w postaci równań (2.8), (2.9):

$$y'_1 = y_1 - y_0, \quad y'_0 = y_0 + \frac{1}{2}y'_1, \quad (2.8)$$

$$y_0 = y'_0 - \frac{1}{2}y'_1, \quad y_1 = y'_1 + y_0. \quad (2.9)$$

W dziedzinie transformaty  $Z$  filtry LeGalla 5/3 można zapisać w postaci równań (2.10), (2.11) [LeGall88a, Woods91a]:

$$H_0(z) = \frac{1}{8}(-z^2 + 2z + 6 + 2z^{-1} - z^{-2}), \quad H_1(z) = \frac{z}{2}(-z^1 + 2 - z^{-1}), \quad (2.10)$$

$$G_0(z) = \frac{1}{2}(-z + 2 - z^{-1}), \quad G_1(z) = \frac{z^{-1}}{8}(-z^2 - 2z + 6 - 2z^{-1} - z^{-2}). \quad (2.11)$$

W przypadku wykonywania filtracji z wykorzystaniem struktur drabinkowych opisanych w rozdziale 2.1, filtrację z wykorzystaniem filtrów LeGalla 5/3 można zapisać w postaci równań (2.12), (2.13):

$$y'_1 = y_1 - \frac{1}{2}(y_0 + y_2), \quad y'_0 = y_0 + \frac{1}{4}(y'_1 + y'_{-1}), \quad (2.12)$$

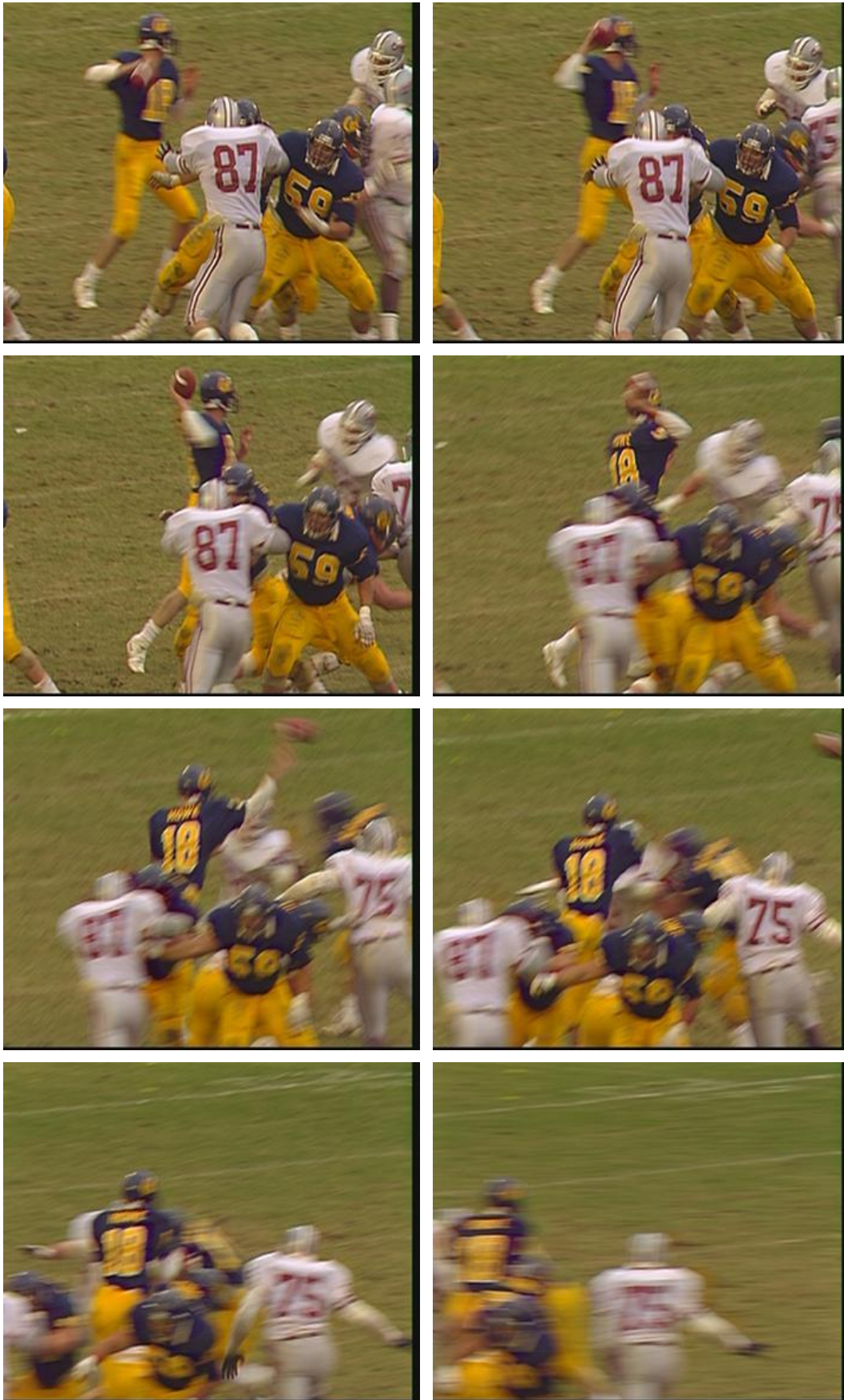
$$y_0 = y'_0 - \frac{1}{4}(y'_1 + y'_{-1}), \quad y_1 = y'_1 + \frac{1}{2}(y_0 + y_2). \quad (2.13)$$

Kodeki wykorzystujące filtry Haara opisano między innymi w [Choi99, Hsiang01], zaś kodeki wykorzystujące filtry LeGalla 5/3 opisano między innymi w [Golwelkar02, Zhan02, Rusert04].



Rys. 2.4. Osiem kolejnych obrazów z testowej sekwencji wizyjnej *City*, 15Hz

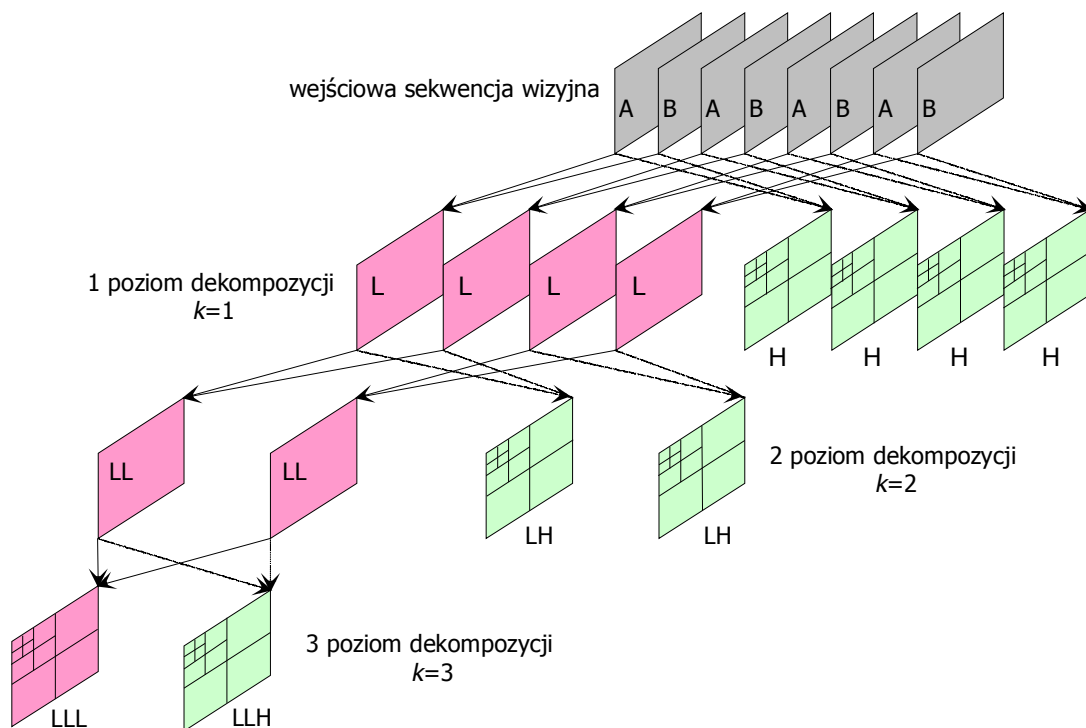




Rys. 2.5. Osiem kolejnych obrazów z testowej sekwencji wizyjnej *Football*, 15Hz

## 2.5. Ogólny schemat filtracji w dziedzinie czasu

Analiza subprasmowa w dziedzinie czasu z kompensacją ruchu (MCTF – *Motion Compensation Time Filtering*) odgrywa kluczową rolę w trójwymiarowych koderach falkowych. Poprzez zmniejszenie redundancji istniejącej pomiędzy poszczególnymi obrazami, wynikającej z podobieństwa (mniejszego lub większego) sąsiednich obrazów sekwencji wizyjnej (porównaj rys. 2.4, rys. 2.5) możliwe jest wyeliminowanie informacji nadmiarowych i nieistotnych. W celu uzyskania efektywnej kompresji sekwencji wizyjnych stosuje się grupowanie obrazów. Grupa obrazów składająca się np. z ośmiu kolejnych obrazów poddawana jest filtracji z kompensacją ruchu, w wyniku czego powstaje jeden obraz niskoczęstotliwościowy oraz siedem obrazów wysokoczęstotliwościowych [Ohm92, Ohm93, Ohm94, Choi99, Chen03].

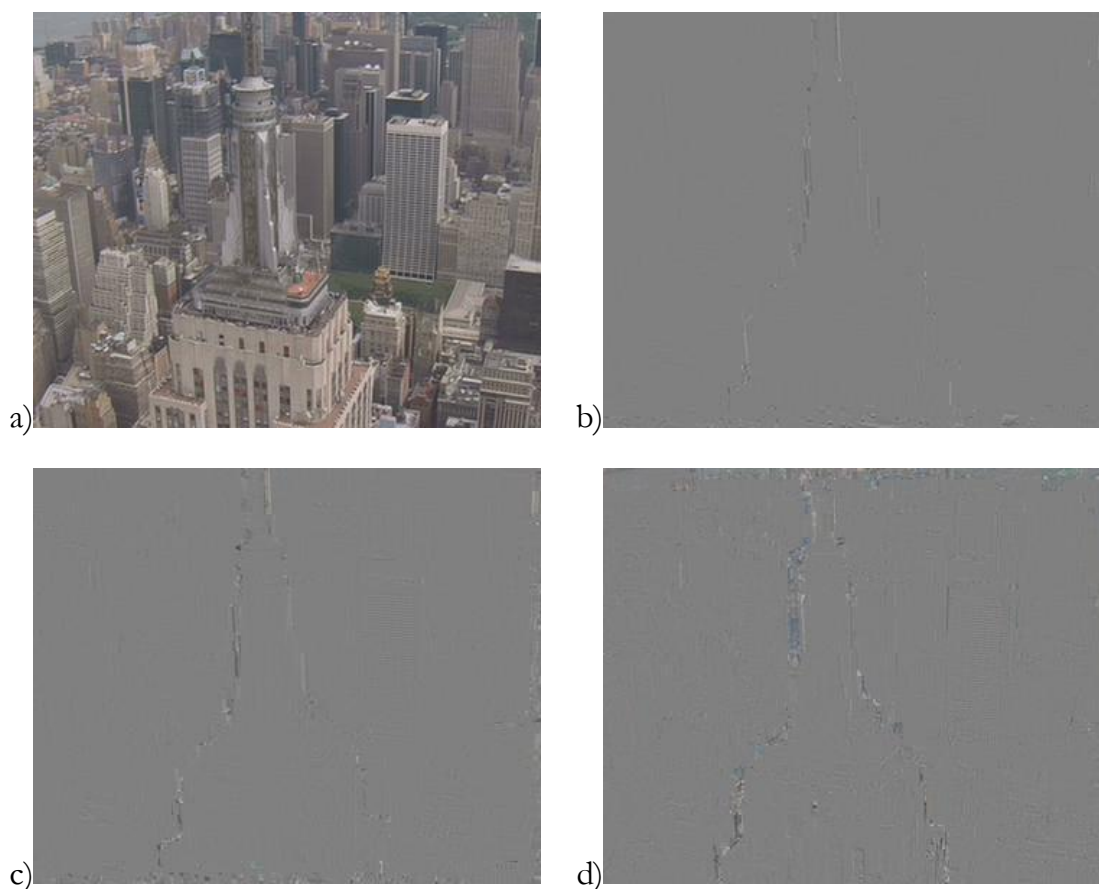


Rys. 2.6. Poglądowy schemat filtracji w dziedzinie czasu dla grupy 8 obrazów

Na rys. 2.6 przedstawiono poglądowo schemat filtracji w dziedzinie czasu dla grupy składającej się z ośmiu obrazów. Analiza rozpoczyna się na pierwszym poziomie dekompozycji czasowej ( $k=1$ ), poprzez filtrację kolejnych par obrazów



wejściowych A i B. W wyniku filtracji z każdej pary powstaje składowa niskoczęstotliwościowa L oraz składowa wysokoczęstotliwościowa H (rys. 2.6). Na kolejnym poziomie dekompozycji czasowej ( $k=2$ ) przetwarza się wyłącznie obrazy typu L powstałe w wyniku analizy na poprzednim poziomie, w wyniku czego powstają składowe niskoczęstotliwościowe LL oraz składowe wysokoczęstotliwościowe LH. Analogicznie przeprowadza się analizę na pozostałych poziomach dekompozycji czasowej, która kończy się w momencie otrzymania tylko jednej składowej niskoczęstotliwościowej. Dla grupy obrazów składającej się z ośmiu obrazów, w wyniku filtracji w dziedzinie czasu otrzymuje się jedną składową niskoczęstotliwościową LLL oraz siedem składowych wysokoczęstotliwościowych: cztery H, dwie LH oraz jedną LLH (rys. 2.6).



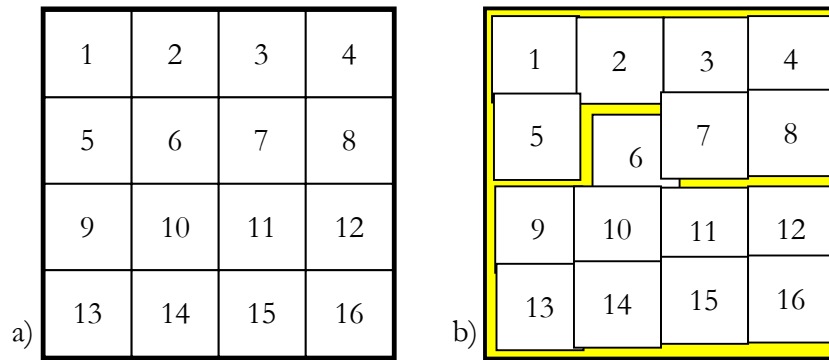
**Rys. 2.7. Obrazy sekwencji City: a) obraz oryginalny A, b) obraz typu H, c) obraz typu LH, d) obraz typu LLH**

Składowe powstałe w wyniku filtracji w czasie są następnie poddawane dwuwymiarowej analizie przestrzennej, np. przy wykorzystaniu filtrów Daubechies 9/7 [Antonini92, Cohen92] w wyniku czego uzyskuje się trójwymiarową filtrację wejściowej sekwencji wizyjnej (jeden wymiar w czasie, dwa wymiary w przestrzeni). Opis analizy falkowej w dziedzinie przestrzennej można znaleźć między innymi w [Woods91a, Topiwala98a, Woods86a, Gharavi86a, Gharavi88a, Ohm04].

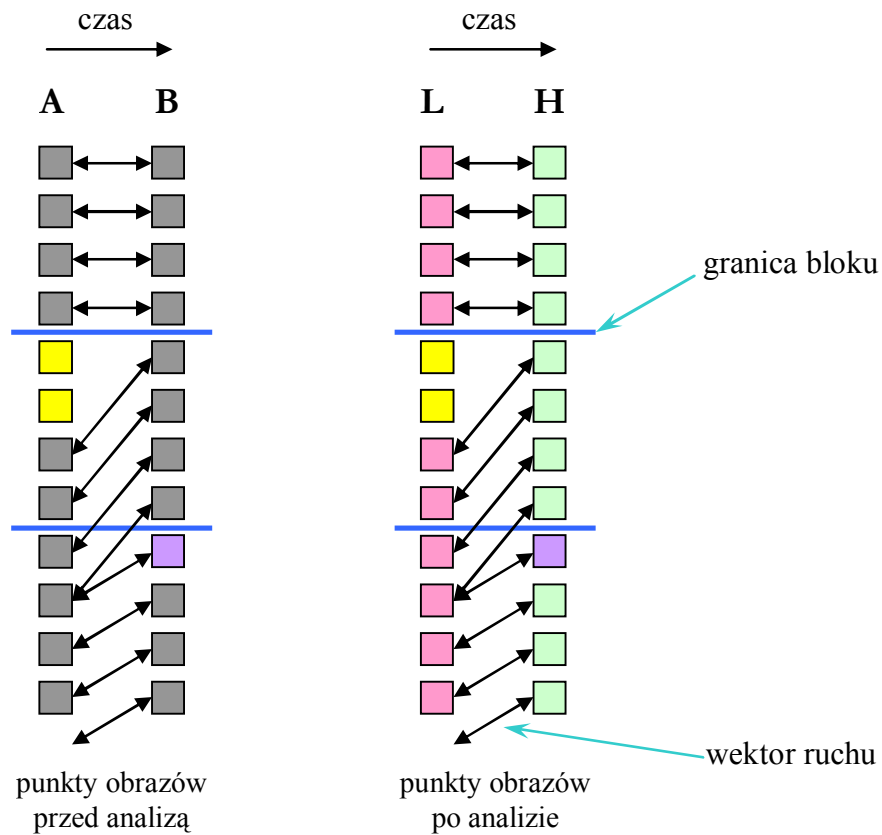
Wzrost efektywności kompresji wraz ze wzrostem liczby poziomów czasowej dekompozycji sekwencji wizyjnej wynika z większej liczby obrazów różnicowych (składowych wysokoczęstotliwościowych) przypadających na jednostkę czasu. Jak wiadomo, obrazy te mogą być efektywniej kodowane w stosunku do pozostałych obrazów. Na rys. 2.7 przedstawiono obraz oryginalny oraz obrazy różnicowe na kolejnych poziomach dekompozycji czasowej dla testowej sekwencji wizyjnej *City*.

### 2.5.1. Kompensacja ruchu w koderach falkowych

Podstawowym elementem predykcji z kompensacją ruchu w koderach falkowych jest podział obrazu na mniejsze elementy, tzn. obraz sekwencji dzielony jest według ustalonego algorytmu na tak zwane bloki. Następnie wyznaczane są wektory ruchu dla każdego bloku obrazu, tak aby dany blok po przesunięciu o wyznaczony wektor ruchu był możliwie najbardziej zbliżony do obrazu odniesienia. Jako miarę podobieństwa bloków stosuje się kryterium MAE (*mean absolute error*) [Sezan93, Tziritas94]. Na rys. 2.8 przedstawiono przykładowy podział obrazu na bloki (po lewej) oraz obraz z podziałem na bloki po uwzględnieniu przesunięcia o wektory ruchu (po prawej). Żółte pola na obrazie odniesienia powstają w wyniku niemożności odwzorowania pewnych części obrazu i tworzą zbór tak zwanych punktów niepołączonych. Obecność tych punktów spowodowana jest zazwyczaj pojawianiem się na kolejnych obrazach sekwencji obiektów nieobecnych w obrazach poprzednich (zjawisko okluzji). Punkty niepołączone poddawane są filtracji bez uwzględnienia kompensacji ruchu [Choi99, Ohm94, Ohm93].



Rys. 2.8. Przykładowy podział obrazu na bloki a), bloki po przesunięciu o wyznaczone wektory ruchu b)

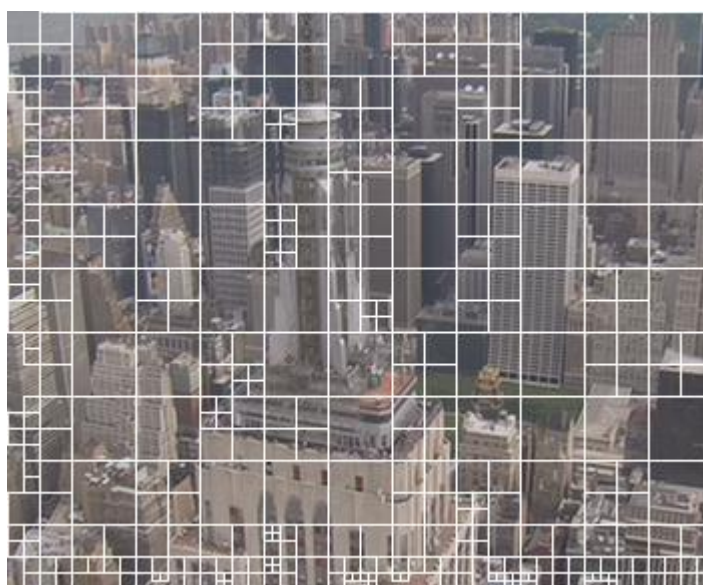


Rys. 2.9. Ilustracja filtracji w dziedzinie czasu

Na rys. 2.9 przedstawiono ilustrację (w dziedzinie czasu) wyjaśniającą mechanizm powstawania punktów niepołączonych, kwadraty oznaczają punkty obrazu, strzałkami zaznaczono wektory ruchu, niebieska linia oznacza podział bloku. Punkty niepołączone (w kolorze żółtym) występujące na granicach sąsiednich bloków są punktami, dla których nie było możliwe wyznaczenia wektora ruchu,

punkty te nie są wykorzystywane do predykcji. Druga grupa punktów, która wymaga stosowania specjalnych zabiegów podczas filtracji w czasie, to punkty tzw. podwójnie połączone (w kolorze fioletowym, rys. 2.9). Algorytm kodera musi odpowiednio je uwzględniać, ponieważ dla tych punktów możliwa jest filtracja z uwzględnieniem dwóch różnych wektorów ruchu. Szerszy opis filtracji w czasie koderów falkowych można znaleźć w pracach [Ohm92, Ohm93, Ohm94, Hsiang99, Choi99].

Na rys. 2.10 przedstawiono rzeczywisty podział obrazu na bloki w sekwencji testowej *City* uzyskany w koderze [Hsiang01, MCEZBC].



Rys. 2.10. Przykładowy podział obrazu na bloki, sekwencja *City*

### 2.5.2. Metoda dopasowania bloków

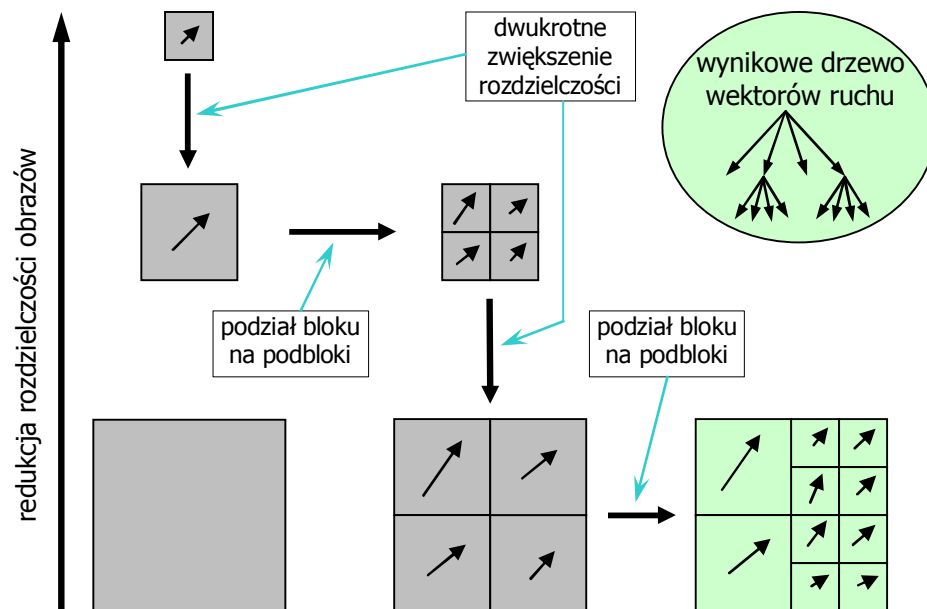
W module estymacji ruchu wykorzystuje się algorytm hierarchicznego dopasowania ze zmiennym rozmiarem bloku HVSBM (*hierarchical variable size block matching*) [Hsiang01, Hsiang00, Hsiang99]. Rozmiar bloku może mieć rozmiar od 64x64 do 4x4. W pierwszym kroku wykonywana jest filtracja przestrzenna obrazów, redukująca czterokrotnie jego rozdzielczość (rys. 2.11). Estymacja ruchu wykonywana jest początkowo w obrazach o zmniejszonej rozdzielczości dla boków o rozmiarach 64x64. Następnie zwiększa się dwukrotnie rozdzielczość obrazów, dzieli każdy blok na cztery równe podbloki i poszukuje wektorów ruchu dla

podbloków z uwzględnieniem wyników poszukiwań w poprzednim kroku. Następnie korzystając z równania (2.14)

$$D(m,n) = \sum_{m,n} MAE[B(m,n) - A(m-d_m, n-d_n)], \quad (2.14)$$

gdzie:  $(m,n)$  – współrzędne przestrzenne obrazu,  
 $(d_m, d_n)$  – wektor ruchu dla współrzędnych  $(m, n)$ ,  
 $A(m,n)$  – punkt obrazu poprzedniego o współrzędnych  $(m, n)$ ,  
 $B(m,n)$  – punkt obrazu bieżącego o współrzędnych  $(m, n)$ ,

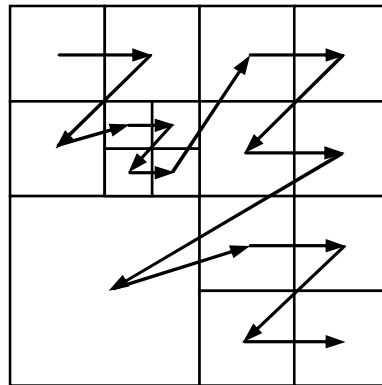
następuje porównanie błędu estymacji bloku bazowego ze średnią tego błędu w podblokach. Jeżeli średnia tego błędu w podblokach jest mniejsza, podział bloku na podbloki zostaje zachowany, w przeciwnym wypadku podział bloku na podbloki jest tracony. Algorytm kończy się po zakończeniu poszukiwań wektorów ruchu w obrazie o oryginalnej rozdzielczości przestrzennej, w wyniku czego powstaje drzewo wektorów ruchu (rys. 2.11) [Choi99].



Rys. 2.11. Ilustracja wyznaczania wektorów ruchu

W celu wykonania estymacji ruchu z dokładnością większą niż jeden odstęp próbkowania (czyli z dokładnością większą niż jeden punkt) w pierwszej kolejności

wykonywana jest estymacja ruchu z dokładnością jednego punktu. Następnie poprzez dokonanie interpolacji obrazów, dwukrotnie zwiększa się ich rozmiary przestrzenne i dokonuje poszukiwań nowego wektora ruchu w sąsiedztwie już wcześniej wyznaczonego. Ostatni krok powtarza się aż do osiągnięcia założonej dokładności kodowania wektorów ruchu.



Rys. 2.12. Porządek kodowania wektorów ruchu

Wektory ruchu kodowane są bezstratnie z wykorzystaniem różnicowej modulacji impulsowo-kodowej DPCM (*differential pulse code modulation*) ze zmienną długością kodu. Na rys. 2.12 przedstawiono porządek kodowania kolejnych wektorów ruchu.

## 2.6. Filtracja w czasie z wykorzystaniem filtrów Haara

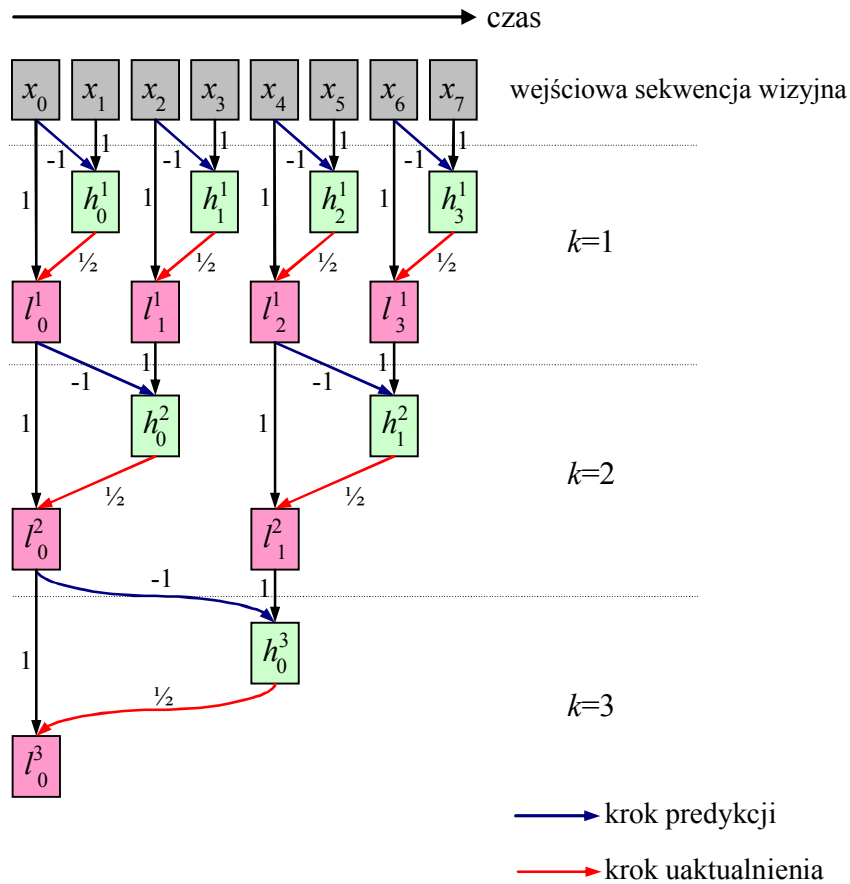
Filtracja w dziedzinie czasu (z kompensacją ruchu) wykonywana jest z wykorzystaniem struktur filtru drabinkowego (patrz rozdział 2.1). W przypadku zastosowania filtrów Haara równania analizy opisane są zależnością (2.15), zaś równania syntezy zależnością (2.16):

$$h_t = x_{2t+1} - MC(x_{2t}, mv_{2t+1}^+), \quad l_t = x_{2t} + \frac{1}{2} MC^{-1}(h_t, mv_{2t+1}^+), \quad (2.15)$$

$$x_{2t} = l_t - \frac{1}{2} MC^{-1}(h_t, mv_{2t+1}^+), \quad x_{2t+1} = h_t + MC(x_{2t}, mv_{2t+1}^+), \quad (2.16)$$

gdzie:  $x_t$  – obraz wejściowej sekwencji wizyjnej w czasie  $t$ ,

- $h_t$  – próbka sygnału subpasma wysokich częstotliwości w czasie  $t$ ,
- $l_t$  – próbka sygnału subpasma niskich częstotliwości w czasie  $t$ ,
- $mv_{2t+1}^+$  – zestaw wektorów ruchu wyznaczony między obrazami  $x_{2t+1}$  oraz  $x_{2t}$ ,
- $(m, n)$  – współrzędne przestrzenne obrazu,
- $MC(x_t, mv_t)$  – operator kompensacji ruchu, zdefiniowany jako  $x_t(m, n - mv_t(m, n))$ .



Rys. 2.13. Schemat czasowej analizy falkowej z wykorzystaniem filtrów Haara

Graficzną reprezentację filtracji w czasie dla trzech poziomów dekompozycji czasowej przedstawiono na rys. 2.13. Strzałką niebieską oznaczono krok predykcji, strzałką czerwoną krok uaktualnienia.

## 2.7. Filtracja w czasie z wykorzystaniem filtrów 5/3

Filtracja w dziedzinie czasu (z kompensacją ruchu) wykonywana jest z wykorzystaniem struktur filtru drabinkowego (patrz rozdział 2.1). W przypadku zastosowania filtrów LeGalla 5/3 równania analizy opisane są zależnością (2.17), zaś równania syntezy zależnością (2.18):

$$h_t = x_{2t+1} - \frac{1}{2}(MC(x_{2t}, mv_{2t+1}^+) + MC(x_{2t+2}, mv_{2t+1}^-)), \quad (2.17)$$

$$l_t = x_{2t} + \frac{1}{4}(MC^{-1}(h_{t-1}, mv_{2t-1}^-) + MC^{-1}(h_t, mv_{2t+1}^+)),$$

$$x_{2t} = l_t - \frac{1}{4}(MC^{-1}(h_{t-1}, mv_{2t-1}^-) + MC^{-1}(h_t, mv_{2t+1}^+)), \quad (2.18)$$

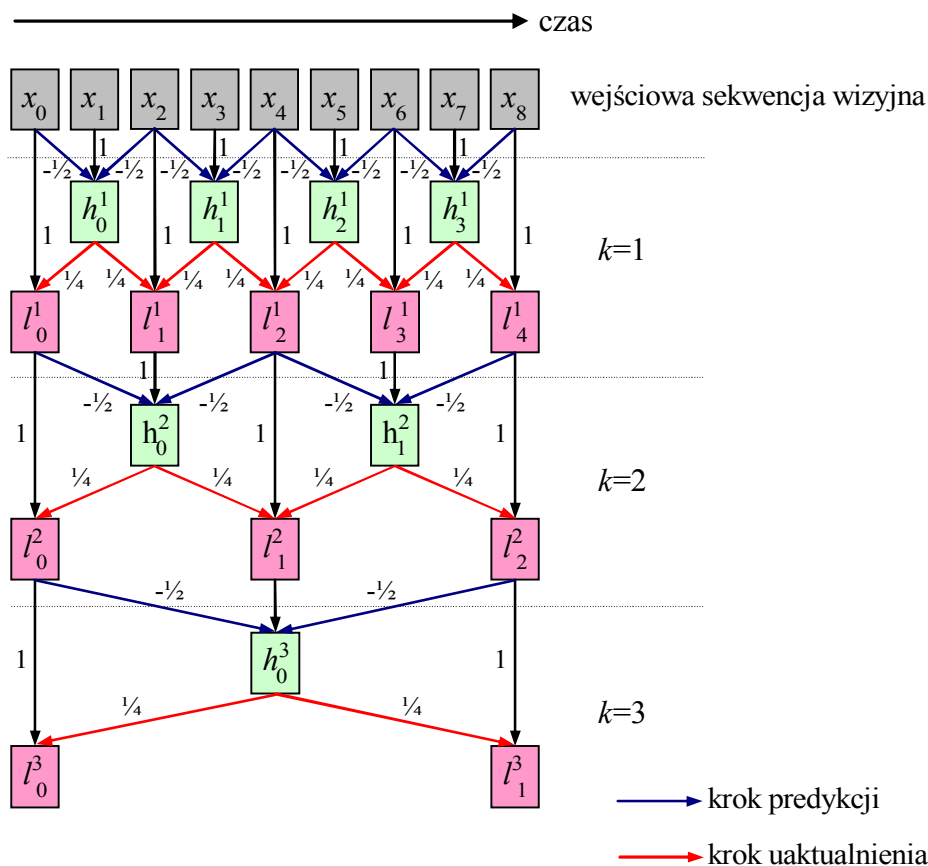
$$x_{2t+1} = h_t + \frac{1}{2}(MC(x_{2t}, mv_{2t+1}^+) + MC(x_{2t+2}, mv_{2t+1}^-)),$$

gdzie:

- $x_t$  – obraz wejściowej sekwencji wizyjnej w czasie  $t$ ,
- $h_t$  – próbka sygnału subpasma wysokich częstotliwości w czasie  $t$ ,
- $l_t$  – próbka sygnału subpasma niskich częstotliwości w czasie  $t$ ,
- $mv_{2t+1}^+$  – zestaw wektorów ruchu wyznaczony między obrazami  $x_{2t+1}$  oraz  $x_{2t}$ ,
- $mv_{2t+1}^-$  – zestaw wektorów ruchu wyznaczony między obrazami  $x_{2t+1}$  oraz  $x_{2t+2}$ ,
- $(m, n)$  – współrzędne przestrzenne obrazu,
- $MC(x_t, mv_t)$  – operator kompensacji ruchu, zdefiniowany jako  $x_t(m, n - mv_t(m, n))$ .

Graficzną reprezentację filtracji w czasie dla trzech poziomów dekompozycji czasowej z wykorzystaniem filtrów LeGalla 5/3 przedstawiono na rys. 2.14. Strzałką niebieską oznaczono krok predykcji, strzałką czerwoną krok uaktualnienia.





Rys. 2.14. Schemat czasowej analizy falkowej z wykorzystaniem filtrów 5/3

## 2.8. Inne zastosowania MCTF w kompresji sekwencji wizyjnych

Filtrację z kompensacją ruchu można zastosować również w innych koderach, w których stosuje się filtrację z kompensacją ruchu. Przykładem takiego zastosowania jest skalowalny koder hybrydowy [ISO04a, ISO04b, Schwarz04a, Schwarz04b], w którym badano układ filtracji z kompensacją ruchu, choć ostatecznie rozwiązanie to nie weszło do standardu koderów hybrydowych.

Badanie filtracji z kompensacją ruchu z małym opóźnieniem ma znaczenie nie tylko w koderach falkowych, ale również w innych koderach, w których stosowana jest filtracja z kompensacją ruchu (w dziedzinie czasu).

## 2.9. Opóźnienia spowodowane filtracją w dziedzinie czasu

Opóźnienia, które powstają podczas przetwarzania sekwencji wizyjnych wynikają z konieczności oczekiwania na obrazy przyszłe. Można scharakteryzować następujące opóźnienia:

- kodowania  $D_E$  – powstaje w podczas kodowania sekwencji,
- całkowite  $D_C$  – uwzględniające opóźnienia całego systemu kodowania.

Dla filtracji w czasie z wykorzystaniem filtrów Haara, opóźnienia te są opisane równaniami: (2.19), (2.20) [Ohm02, Pau05]:

$$D_E = 2^k - 1, \quad (2.19)$$

$$D_C = \sum_{i=1}^k 2^{i-1}, \quad (2.20)$$

gdzie:  $k$  – liczba poziomów dekompozycji w dziedzinie czasu.

Równania (2.19), (2.20) pozwalają na wyliczenie opóźnienia wyrażonego w liczbie obrazów sekwencji wizyjnej. W celu wyznaczenia opóźnienia wyrażonego w milisekundach należy skorzystać z równania (2.21)

$$D_T = \left\lfloor \frac{D}{f} \cdot 1000 \right\rfloor, \quad (2.21)$$

gdzie:

$D$  – opóźnienie wyrażone w liczbie obrazów,

$f$  – częstotliwość występowania obrazów w sekwencji wizyjnej.

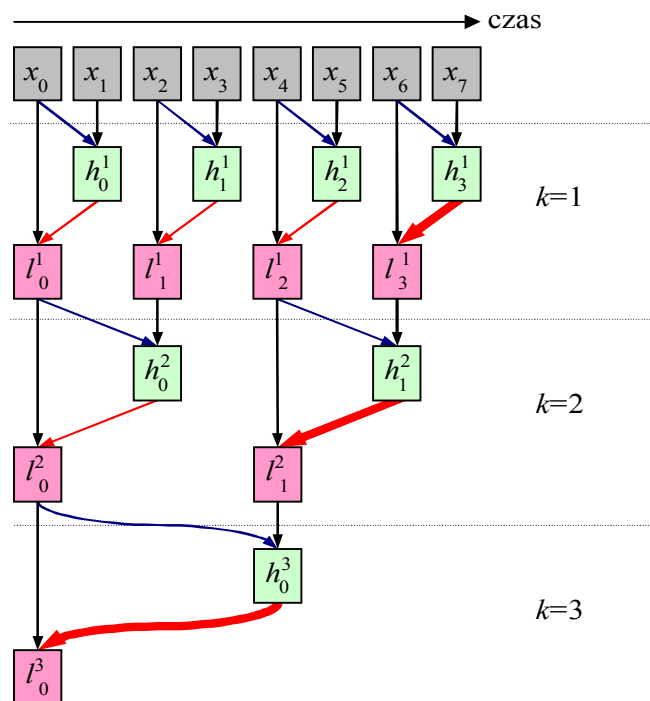
W tab. 2.1 przedstawiono zestawienie opóźnień w dziedzinie czasu dla filtrów Haara (wyrażonych w liczbie obrazów oraz milisekundach) przy różnej liczbie poziomów dekompozycji czasowej  $k$ .

Na rys. 2.15 przedstawiono ilustrację wyjaśniającą przyczynę powstawania opóźnienia kodowania dla filtracji w czasie w przypadku użycia filtrów Haara dla

trzech poziomów dekompozycji czasowej. Pogrubioną linią zaznaczono operacje uaktualnienia przyczyniające się bezpośrednio do powstania opóźnienia.

**Tab. 2.1. Opóźnienia koderów falkowych dla filtrów Haara dla różnej liczby poziomów dekompozycji czasowej  $k$ , przy częstotliwości równej 30Hz**

$k$	Opóźnienie			
	kodowania		całkowite	
	[liczba obrazów]	[ms]	[liczba obrazów]	[ms]
1	1	34	1	34
2	3	100	3	100
3	7	234	7	234
4	15	500	15	500
5	31	1034	31	1034
6	63	2100	63	2100



**Rys. 2.15. Ilustracja wyjaśniająca powstawanie opóźnień w czasie dla filtrów Haara**

Jak wynika z tab. 2.1, opóźnienie kodowania dla omawianego przypadku ( $k=3$ ) wynosi siedem obrazów. Wynika to z konieczności oczekiwania na składową  $h_0^3$ , zaś do jej wyznaczenia potrzebne są składowe  $h_1^2$ ,  $h_3^1$  oraz oryginalny obraz sekwencji wejściowej  $x_7$ . Jak łatwo zauważyć, rezygnacja z wykonywania kroku uaktualnienia na ostatnim poziomie dekompozycji czasowej (pogrubiona czerwona linia dla  $k=3$ ) przerywa odwołanie do składowej  $h_0^3$ , redukując tym samym opóźnienie kodowania do trzech obrazów.

W przypadku filtracji w czasie z wykorzystaniem filtrów LeGalla 5/3, opóźnienie kodowania i całkowite opisane równaniami (2.22), (2.23) [Ohm02, Pau05]:

$$D_E = 2^{k+1} - 2, \quad (2.22)$$

$$D_C = 3 \cdot (2^k - 1), \quad (2.23)$$

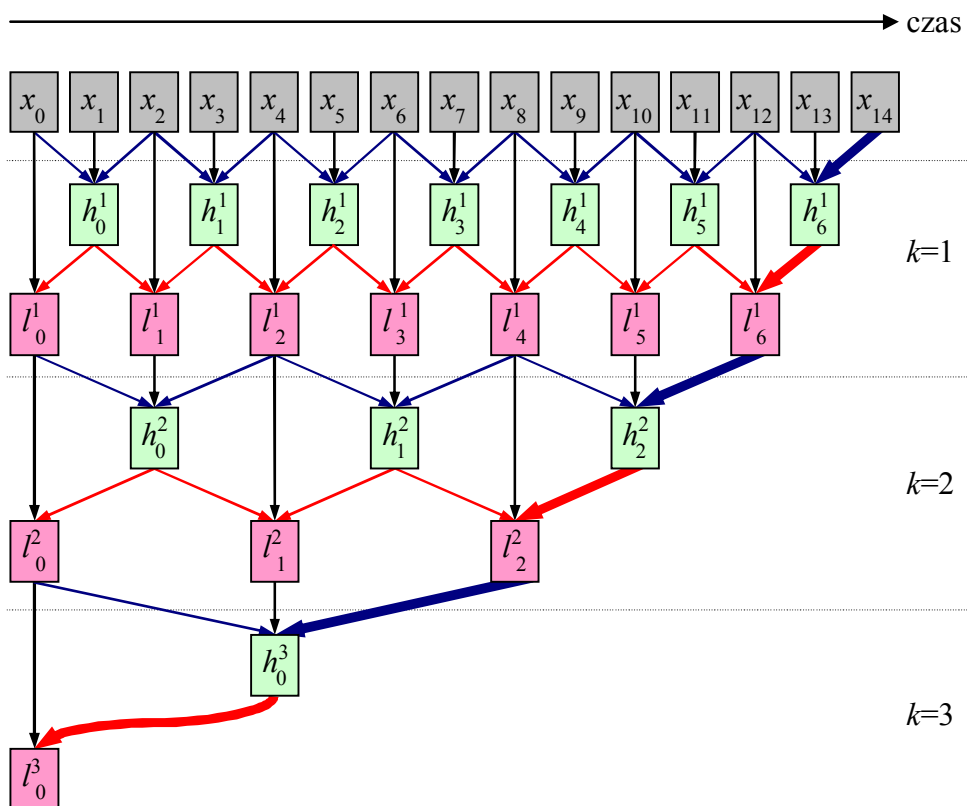
gdzie:  $k$  – liczba poziomów dekompozycji w dziedzinie czasu.

W tab. 2.2 przedstawiono zestawienie opóźnień w dziedzinie czasu w przypadku stosowania filtrów LeGalla 5/3 (wyrażonych w liczbie obrazów oraz milisekundach) dla różnej liczby poziomów dekompozycji czasowej  $k$ .

Na rys. 2.16 przedstawiono ilustrację wyjaśniającą przyczynę powstawania opóźnienia kodowania dla filtracji w czasie w przypadku użycia filtrów LeGalla 5/3 dla trzech poziomów dekompozycji czasowej. Pogrubioną linią zaznaczono operacje predykcji oraz uaktualnienia przyczyniające się bezpośrednio do powstania opóźnienia. Jak wynika z tab. 2.2, opóźnienie kodowania dla omawianego przypadku ( $k=3$ ) wynosi czternaście obrazów. Wynika to z konieczności oczekiwania na składowe  $h_0^3$ ,  $l_2^2$ ,  $h_2^2$ ,  $l_6^1$  oraz oryginalny obraz sekwencji wejściowej  $x_{14}$ . Rezygnacja z wykonywania kroku uaktualnienia na ostatnim poziomie dekompozycji czasowej (pogrubiona czerwona linia dla  $k=3$ ) ogranicza opóźnienie kodowania do dziesięciu obrazów. Niewykonywanie kroku uaktualnienia odnoszącego się do składowych przyszłych na dwóch ostatnich poziomach dekompozycji w czasie ( $k=2, 3$ ) przyczynia się do redukcji opóźnienia kodowania do sześciu obrazów.

Tab. 2.2. Opóźnienia koderów falkowych dla filtrów 5/3 dla różnej liczby poziomów dekompozycji czasowej  $k$ , przy częstotliwości równej 30Hz

$k$	Opóźnienie			
	kodowania		całkowite	
	[liczba obrazów]	[ms]	[liczba obrazów]	[ms]
1	2	67	3	100
2	6	200	9	300
3	14	467	21	700
4	30	1000	45	1500
5	62	2067	93	3100
6	126	4200	189	6300



Rys. 2.16. Ilustracja wyjaśniająca powstawanie opóźnień w czasie dla filtrów 5/3

# 3. Wpływ opóźnienia kodowania na efektywność falkowej kompresji sekwencji wizyjnych

## 3.1. Wstęp

Rozmiar grupy obrazów wpływa bezpośrednio na wielkość opóźnienia pojawiającego się w czasie kodowania / dekodowania sekwencji co pokazano w rozdziale 2.9. Ogólnie wiadomo, że na efektywność kompresji korzystnie wpływa występowanie większej liczby obrazów różnicowych w jednostce czasu, co w przypadku koderów falkowych przekłada się na większą liczbę poziomów dekompozycji czasowej  $k$ . Z drugiej strony dla dużych wartości  $k$  związany z tym wzrost GOP (*group of pictures*) powoduje powstawanie tym większych opóźnień, im większa jest grupa obrazów (patrz tab. 2.1 oraz tab. 2.2).

Redukcję opóźnienia kodowania w koderach falkowych można osiągnąć w dość prosty sposób poprzez zastosowanie mniejszej liczby poziomów dekompozycji w czasie. W tym miejscu rodzi się pytanie – czy nie wystarczy redukcja rozmiaru GOP, aby osiągnąć zadawalającą efektywność kompresji sekwencji wizyjnych przy obniżonej wartości opóźnienia kodowania? Większość wyników badań eksperymentalnych dostępnych w literaturze dotyczy sytuacji, gdzie GOP składa się z szesnastu lub trzydziestu dwóch obrazów [Hanke03, Wu03, Woods02b, Rusert02, Golwelkar02, Hsiang01, Hsiang99, Choi99]. Badania wpływu rozmiaru grupy obrazów na efektywność kompresji badano w pracy [Huang03a]. Badania te przeprowadzone zostały z wykorzystaniem trzech testowych sekwencji wizyjnych, dla grupy obrazów składającej się z dwóch, czterech i szesnastu obrazów – nie można więc uznać, że są to badania w pełni kompleksowe.

Celem badania wpływu opóźnienia kodowania na efektywność kompresji falkowej sekwencji wizyjnych jest odpowiedź na pytanie: jak zwiększa się

efektywność kodowania przy wzrastającej grupie obrazów oraz czy większa liczba poziomów dekompozycji czasowej zawsze prowadzi do wzrostu efektywności kodowania sekwencji wizyjnych?

## 3.2. Opis badań eksperymentalnych

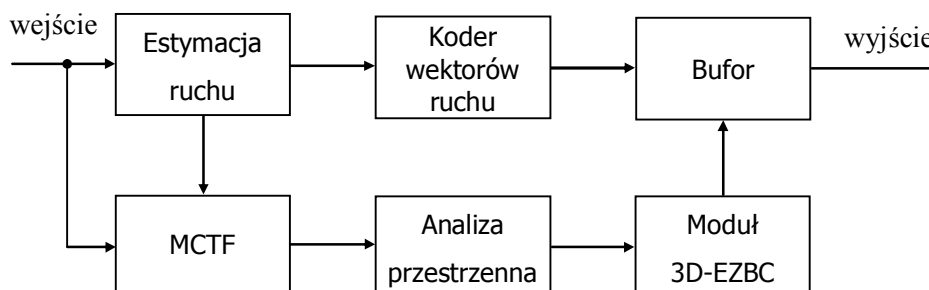
Koder wykorzystany w badaniach [Hsiang01, MCEZBC] umożliwia kodowanie sekwencji wizyjnych w dwóch trybach: adaptacyjnym oraz pozbawionym adaptacji. Przy wyłączonej adaptacji filtracja z kompensacją ruchu wykonywana jest zawsze ze ściśle zdefiniowaną liczbą poziomów dekompozycji czasowej  $k$ , niezależnie od charakteru badanej sekwencji. Włączenie opcji adaptacji powoduje, że koder przerywa wykonywanie kolejnego poziomu dekompozycji czasowej jeżeli uzna, iż będzie to niekorzystne z punktu widzenia efektywności kodowania [Hsiang01]. Przy włączonej adaptacji nie można więc jednoznacznie określić jaka jest rzeczywista liczba poziomów dekompozycji w czasie – może się to bowiem zmieniać w obrębie każdej grupy obrazów. Badania przeprowadzono zarówno dla włączonej jak i wyłączonej adaptacji.

### 3.2.1. Oprogramowanie wykorzystane do badań

W badaniach wykorzystano trójwymiarowy falkowy kodek wizyjny MC-EZBC (*Motion Compensation Embedded Zero Block Coding*) [Hsiang01, MCEZBC] (wybór kodeka uzasadniono w rozdziale 1.3). Jest to kodek falkowy wykorzystujący kompensację ruchu z pełną skalowalnością. Ogólna struktura kodera została przedstawiona na rys. 3.1. Wejściowa sekwencja wizyjna jest poddawana falkowej analizie w dziedzinie czasu (z kompensacją ruchu) w bloku MCTF po uprzednim wyznaczeniu wektorów ruchu w bloku estymacji ruchu. W module estymacji ruchu wykorzystuje się algorytm hierarchicznego dopasowania ze zmiennym rozmiarem bloku HVSBM (*hierarchical variable size block matching*) [Hsiang01, Hsiang00, Hsiang99] opisany w rozdziale 2.5.2.

Następnie obrazy sekwencji zostają poddane dwuwymiarowej analizie przestrzennej z wykorzystaniem filtrów Daubechies 9/7 [Antonini92, Cohen92] w bloku analizy przestrzennej. Moduł 3D-EZBC dokonuje kodowania entropijnego

próbek w subpasmach [Hsiang00] i wraz z wektorami ruchu zakodowanymi przy wykorzystaniu różnicowej modulacji impulsowo-kodowej DPCM (*differential pulse code modulation*) ze zmienną długością kodu [Woods02b, Hsiang01] strumień bitowy wyprowadzany jest na wyjście kodera.



**Rys. 3.1. Schemat blokowy kodera MC-EZBC**

Badania przeprowadzono na dziewięciu sekwencjach testowych zestawionych w tab. 1.1 i przedstawionych w załączniku A. Sekwencje wizyjne przebadano dla następujących prędkości transmisji:

- format CIF 15Hz – 256, 384, 512 [kb/s],
- format CIF 30Hz – 512, 768, 1024 [kb/s],
- format 4CIF 30Hz – 1536, 3072 [kb/s].

### **3.3. Wpływ dokładności kodowania wektorów ruchu na efektywność kompresji**

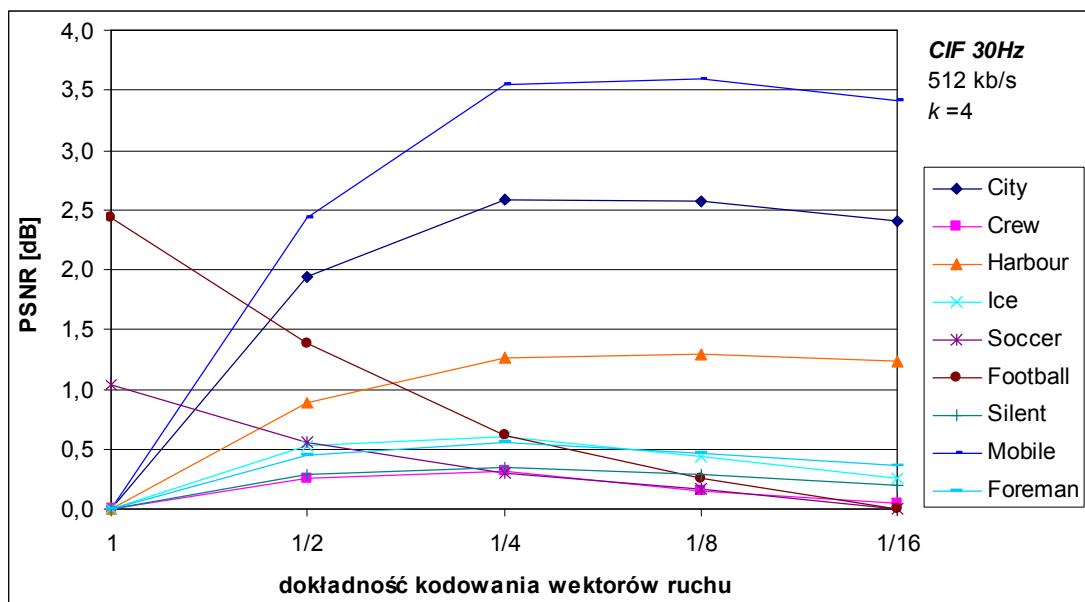
Istotnym zagadnieniem w prowadzeniu badań eksperymentalnych jest odpowiedni dobór parametrów kodera. Duży wpływ na efektywność kompresji, oprócz określenia liczby poziomów dekompozycji w czasie, ma również dokładność kodowania wektorów ruchu. W pracach [Woods02, Woods02b] badano wpływ dokładności kodowania wektorów ruchu na efektywność kompresji, jednak wyłącznie dla sekwencji *Mobile*, prace dotyczyły głównie porównania kodera falkowego [MCEZBC] z koderem H.26L [ITU6].



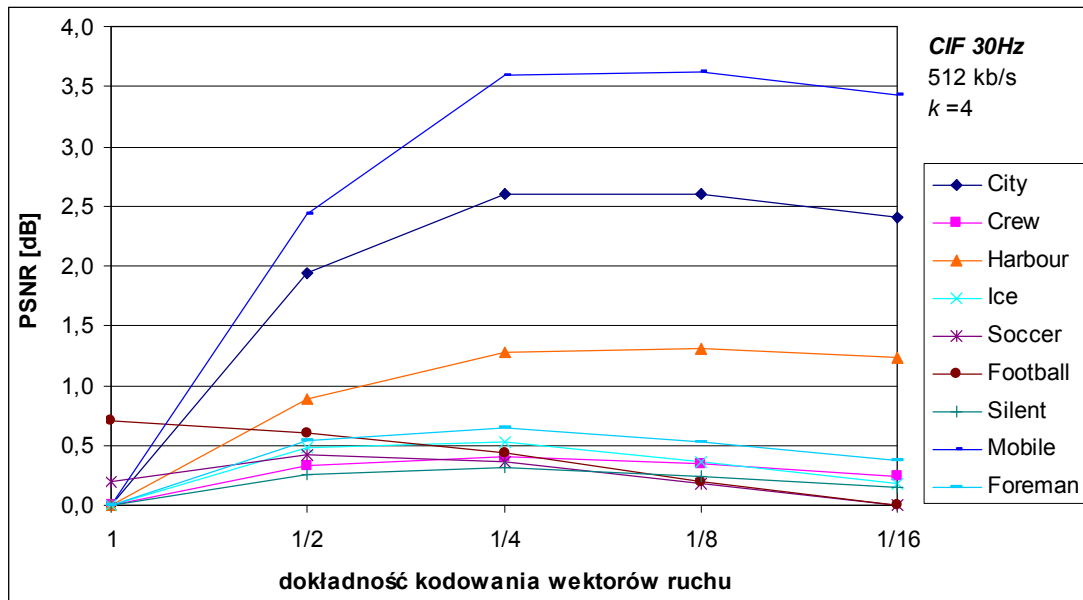
Badany kodek umożliwia kodowanie sekwencji wizyjnej dla następujących dokładności kodowania wektorów ruchu: 1, 1/2, 1/4, 1/8, 1/16. Zwiększenie tej dokładności z jednej strony powoduje obniżenie błędu predykcji, z drugiej zaś, zwiększa procentowy udział danych w strumieniu bitowym potrzebnych do zachowania wektorów ruchu. Badanie wpływu dokładności kodowania wektorów ruchu przeprowadzono dla trzech wielkości GOP (4, 8, 16 obrazów), rozdzielczości CIF 30Hz przy włączonej i wyłączonej adaptacji.

Na rys. 3.2 przedstawiono różnicę w efektywności kompresji w zależności od dokładności kodowania wektorów ruchu dla włączonej adaptacji, zaś na rys. 3.3 dla wyłączonej adaptacji (jako 0dB przyjęto najmniejszą wartość PSNR dla danej sekwencji). Na podstawie uzyskanych wyników zdecydowano, że w dalszych badaniach wektory ruchu kodowane będą z dokładnością 1/4 punktu (odstępu próbkowania).

Rysunki oraz tabelaryczne zestawienie wartości współczynnika PSNR dla pozostałych rozdzielczości i dokładności kodowania wektorów ruchu zostały umieszczone w załączniku B (rys. B.1 do rys. B. 17, tabela B.1, tabela B.2).



Rys. 3.2. Wpływ dokładności kodowania wektorów ruchu na efektywność kompresji dla rozdzielczości CIF 30Hz, GOP=16, adaptacja włączona (0dB przyjęto najmniejszą wartość PSNR dla danej sekwencji) [tabela B. 2]

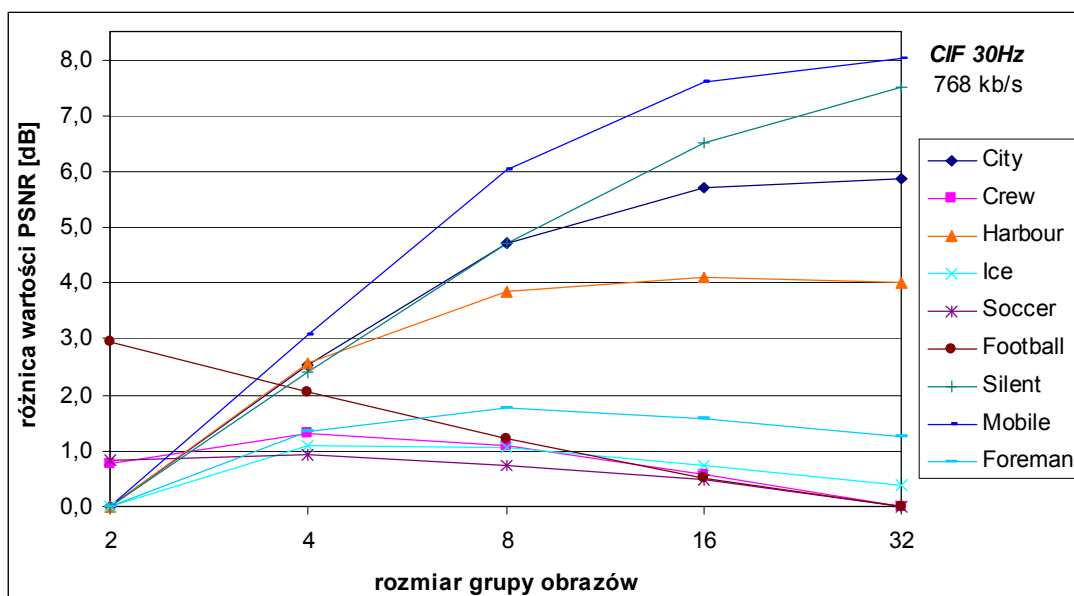


Rys. 3.3. Wpływ dokładności kodowania wektorów ruchu na efektywność kompresji dla rozdzielczości CIF 30Hz, GOP=16, adaptacja wyłączona (0dB przyjęto najmniejszą wartość PSNR dla danej sekwencji) [tabela B. 1]

### 3.4. Wyniki badań dla wyłączonej adaptacji

Na rys. 3.4 przedstawiono wartość współczynnika PSNR w zależności od rozmiaru grupy obrazów (jako 0dB przyjęto najmniejszą wartość współczynnika PSNR dla danej sekwencji). Choć rys. 3.4 przedstawia wyniki dla sekwencji wizyjnych o rozdzielczości CIF 30Hz (768 kb/s), to w przypadku pozostałych rozdzielczości charakter zmian PSNR jest zbliżony (rysunki oraz tabelaryczne zestawienie wartości współczynnika PSNR dla pozostałych rozdzielczości i prędkości transmisji zostały umieszczone w załączniku B).

Badane sekwencje wizyjne charakteryzują się zróżnicowanym poziomem dynamiki ruchu obiektów w nich występujących. Znaczący wzrost wartości współczynnika PSNR przy zwiększającym się rozmiarze grupy obrazów wykazują sekwencje o niewielkiej dynamice (*City*, *Silent*, *Mobile* oraz *Harbour*). Największa efektywność kompresji sekwencji *Foreman*, *Ice* występuje dla grupy składającej się z czterech lub ośmiu obrazów, powiększenie rozmiaru GOP prowadzi do nieznacznego spadku wartości współczynnika PSNR. W przypadku sekwencji o dużej dynamice ruchu (*Football*, *Soccer*) odnotowano spadek wartości współczynnika PSNR przy wzroście długości grupy obrazów (maksymalnie o 4,55dB).



**Rys. 3.4.** Względna wartość współczynnika PSNR (0dB przyjęto najmniejszą wartość PSNR dla danej sekwencji) w zależności od długości grupy obrazów dla wyłączonej adaptacji, CIF 30Hz, 768 kb/s [tabela B. 1]

Analizując wyniki przeprowadzonych badań eksperymentalnych można wskazać pewną optymalną wartość grupy obrazów, dla której efektywność kompresji jest największa. W tab. 3.1 zestawiono największe uzyskane wartości współczynnika PSNR w zależności od rozmiaru grupy obrazów.

**Tab. 3.1.** Optymalny rozmiar grupy obrazów dla poszczególnych sekwencji

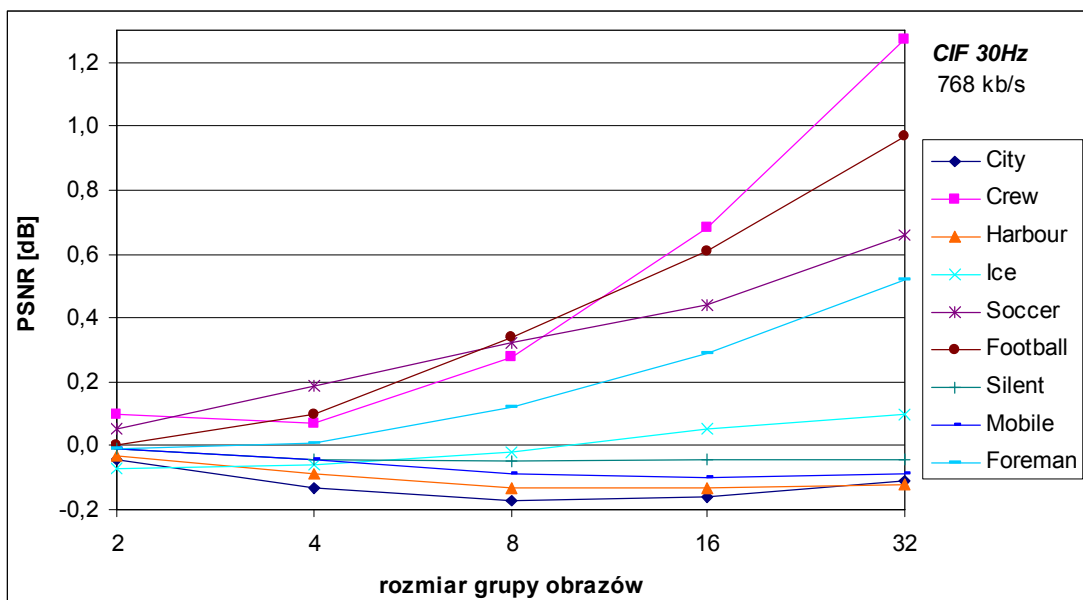
Sekwencja/ rozdzielczość	CIF 15Hz, 384 kb/s		CIF 30Hz, 768 kb/s		4CIF 30Hz, 1536 kb/s	
	GOP	PSNR	GOP	PSNR	GOP	PSNR
City	16	34,36	32	36,66	32	34,01
Crew	2	33,76	4	34,91	2	34,62
Harbour	16	29,51	16	31,39	8	30,73
Ice	2	37,29	4	39,76	4	38,83
Soccer	2	31,36	4	32,43	2	31,03
Football	2	30,17	2	31,42	–	–
Silent	32	38,72	32	40,82	–	–
Mobile	32	29,23	32	30,88	–	–
Foreman	4	34,24	8	36,31	–	–

Badania pokazują, że z punktu widzenia efektywności kodowania nie zawsze warto jest stosować duży rozmiar grupy obrazów. Najkorzystniejszą w przypadku czterech badanych sekwencji wizyjnych (*Crew*, *Ice*, *Soccer*, *Football*) jest GOP składająca się z dwóch obrazów. Jest to szczególnie istotne biorąc pod uwagę całkowite opóźnienie kodowania, ponieważ dla GOP=2 wartość opóźnienia wynosi jeden obraz (tab. 2.1).

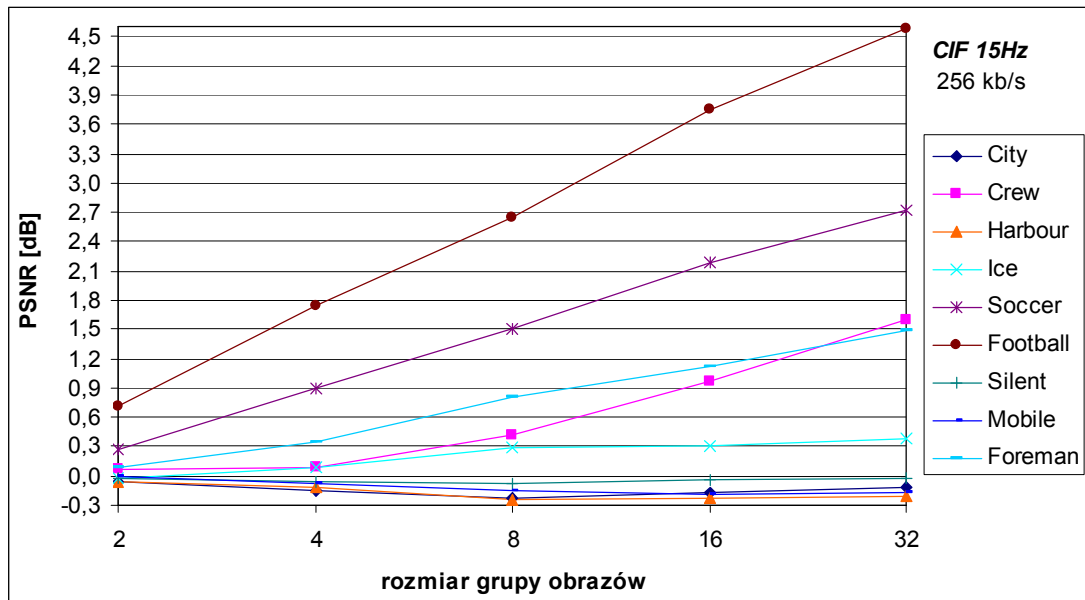
Pozostałe rysunki oraz tabelaryczne zestawienie wartości współczynnika PSNR zostały umieszczone w załączniku B (rys. B.18 do rys. B. 25, tabela B.3).

### 3.5. Wyniki badań dla włączonej adaptacji

Zadaniem adaptacji jest przerwanie dalszej dekompozycji czasowej wejściowej sekwencji wizyjnej w przypadku, gdy prowadzi to do pogorszenia efektywności kodowania w danej grupie. Jak pokazują badania z poprzedniego rozdziału jest to uzasadnione, zwłaszcza dla sekwencji wizyjnych o dużej dynamice ruchu. Przerwanie dekompozycji czasowej następuje w przypadku, gdy procentowa liczba punktów niepołączonych w bieżącej grupie obrazów przekroczy zadany próg.



Rys. 3.5. Przyrost wartości współczynnika PSNR dla włączonej adaptacji w stosunku do wyłączonej adaptacji, CIF 30Hz, 768 kb/s [tabela B. 3]



**Rys. 3.6.** Przyrost wartości współczynnika PSNR dla włączonej adaptacji w stosunku do wyłączonej adaptacji, CIF 15Hz, 256 kb/s [tabela B. 4]

Na rys. 3.5 przedstawiono wzrost/spadek wartości współczynnika PSNR przy włączeniu funkcji adaptacji dla sekwencji wizyjnych o rozdzielczości CIF 30Hz (768 kb/s). W większości przypadków (*Crew*, *Football*, *Soccer*, *Foreman*, *Ice*) włączenie adaptacji przekłada się na wzrost efektywności kodowania, głównie w odniesieniu do sekwencji, w których brak adaptacji powodował obniżenie wartości PSNR. Podobny charakter zmian wartości zaobserwowano dla sekwencji w formacie 4CIF 30Hz, natomiast w przypadku sekwencji o rozdzielczości CIF 15Hz włączenie funkcji adaptacji jest o wiele bardziej korzystne, przyrosty PSNR sięgają tu 4,5dB dla sekwencji *Football* (rys. 3.6).

Rysunki oraz tabelaryczne zestawienie wartości współczynnika PSNR dla pozostałych rozdzielczości i prędkości transmisji zostały umieszczone w załączniku B (rys. B.26 do rys. B. 33, tabela B.4).

### 3.6. Wnioski

Badania wpływu opóźnienia kodowania na efektywność kompresji falkowej sekwencji wizyjnych miały wykazać, czy stosowanie grupy obrazów o większych rozmiarach wpływa korzystnie na efektywność kompresji sekwencji wizyjnych. Jak wynika z tab. 3.1, jedynie w przypadku sekwencji *City*, *Silent* oraz *Mobile* korzystnie

jest wykonywać analizę czasową dla pięciu poziomów dekompozycji (GOP=32). Dla niemal połowy przebadanych sekwencji (*Crew, Ice, Soccer, Football*) wystarczające jest stosowanie GOP składającej się z dwóch lub czterech obrazów. Spostrzeżenie to jest o tyle istotne, że w takich przypadkach całkowite opóźnienie kodowania wynosi odpowiednio jeden lub trzy obrazy (tab. 2.1).

Prezentowane wyniki pokazują, że w przypadku kodowania sekwencji wizyjnych o dużej dynamice ruchu, wystarczającym środkiem na obniżenie tego opóźnienia jest zredukowanie liczby poziomów dekompozycji. Co ważne, działanie takie nie przyczynia się do pogorszenia efektywności kodowania – a wręcz przeciwnie – wartość współczynnika PSNR jest wówczas największa. Niestety działania takie są niewystarczające dla mało dynamicznych sekwencji wizyjnych. Zanotowano znaczny spadek wartości współczynnika PSNR przy zredukowanej liczbie obrazów w grupie (8,02 dB dla *Mobile*, CIF 30Hz, 768 kb/s, GOP=2). Redukcja opóźnienia kodowania poprzez zmniejszenie liczby obrazów w grupie może więc być stosowana tylko wówczas, gdy znana jest dynamika ruchu sekwencji wizyjnej i jest ona znaczna.

W przypadku sekwencji dynamicznych, adaptacja zapobiega obniżaniu współczynnika PSNR, zaś dla sekwencji o niewielkiej dynamice nie przeszkadza we wzroście tego współczynnika dla większych rozmiarów grupy obrazów. Nieznaczne spadki efektywności kodowania przy włączonej adaptacji dla niektórych sekwencji wizyjnych wynikają z konieczności umieszczenia w wyjściowym strumieniu bitowym dodatkowych informacji o strukturze podziału każdej grupy obrazów.

## 4. Związek efektywności kompresji z długością filtrów analizy i syntezy

### 4.1. Wprowadzenie

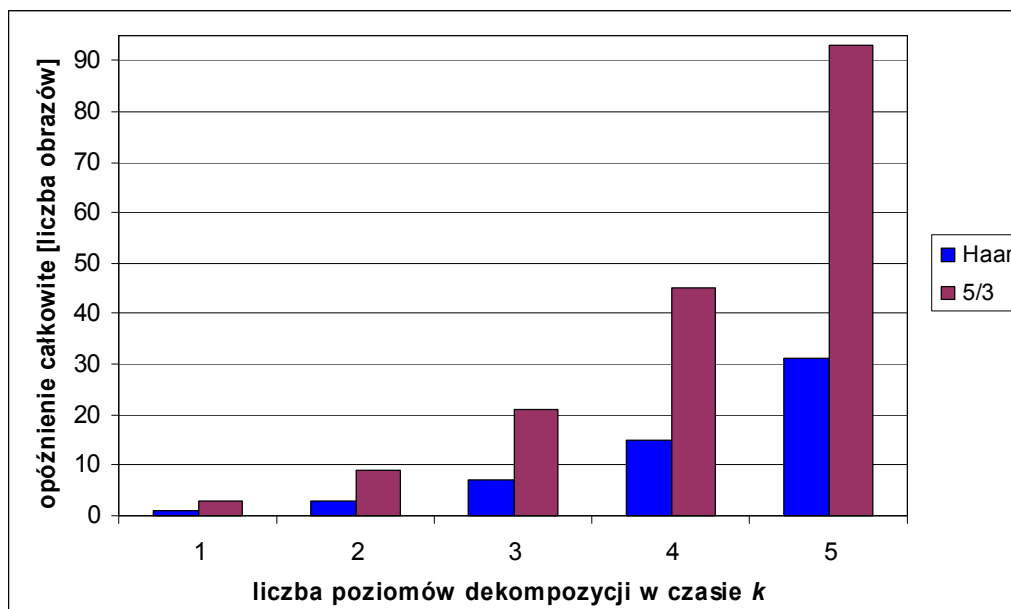
Jak już wspomniano w rozdziale 2.4, w praktycznych realizacjach współczesne kodery falkowe wykorzystują filtry Haara lub filtry 5/3. Zastosowanie dłuższych filtrów umożliwia wykonanie predykcji dwukierunkowej (co jak ogólnie wiadomo jest korzystniejsze), wymaga jednak wyznaczenia dwukrotnie większej liczby wektorów ruchu. Konieczność zapamiętania w strumieniu dodatkowych informacji związanych z wektorami ruchu powoduje, że zmniejsza się miejsce na informację związaną z próbkami w subpasmach. Badania porównawcze filtrów Haara i LeGalla 5/3 przedstawiono w pracy [Pau03a], gdzie przebadano cztery sekwencje wizyjne w rozdzielczości CIF 30Hz. W pracy [Hanke03] również przeprowadzono podobne badania, dotyczyły jednak one głównie oceny działania filtru mającego zredukować efekty blokowe ujawniające się zwłaszcza przy niskich prędkościach transmisji.

Badanie efektywności kompresji ze względu na długość wykorzystanych filtrów w dziedzinie czasu jest istotne w kontekście opóźnienia kodowania. Rodzaj zastosowanych filtrów wpływa bowiem bezpośrednio na całkowite opóźnienie kodowania, które zwiększa się dość znacznie dla filtrów 5/3 w stosunku do filtrów Haara (rys. 4.1). Zdecydowano się wykonać dwa rodzaje porównań:

- przy jednakowej liczbie poziomów dekompozycji w czasie  $\ell$ , ale różnych wartościach opóźnienia kodowania,
- przy jednakowym całkowitym opóźnieniu kodowania, uzyskanym poprzez regulację liczby poziomów dekompozycji  $\ell$  w dziedzinie czasu.

W celu miarodajnego porównania dwóch rodzajów filtrów w czasie, do badań eksperymentalnych wykorzystano ten sam kodek falkowy [Rusert04]. Oryginalnie koder wykorzystuje do analizy czasowej filtry 5/3. W koderze dokonano jednak

zmian umożliwiającą przeprowadzenie kompresji sekwencji wizyjnych zarówno dla filtrów Haara jak i dla filtrów 5/3. Badania przeprowadzono dla dziesięciu prędkości transmisji wymienionych w tab. 4.1 przy włączonej adaptacji.



Rys. 4.1. Porównanie opóźnienia całkowitego dla filtrów Haara i 5/3 [tab. 2.1, tab. 2.2]

Tab. 4.1. Zestawienie badanych prędkości transmisji dla danych formatów sekwencji testowych

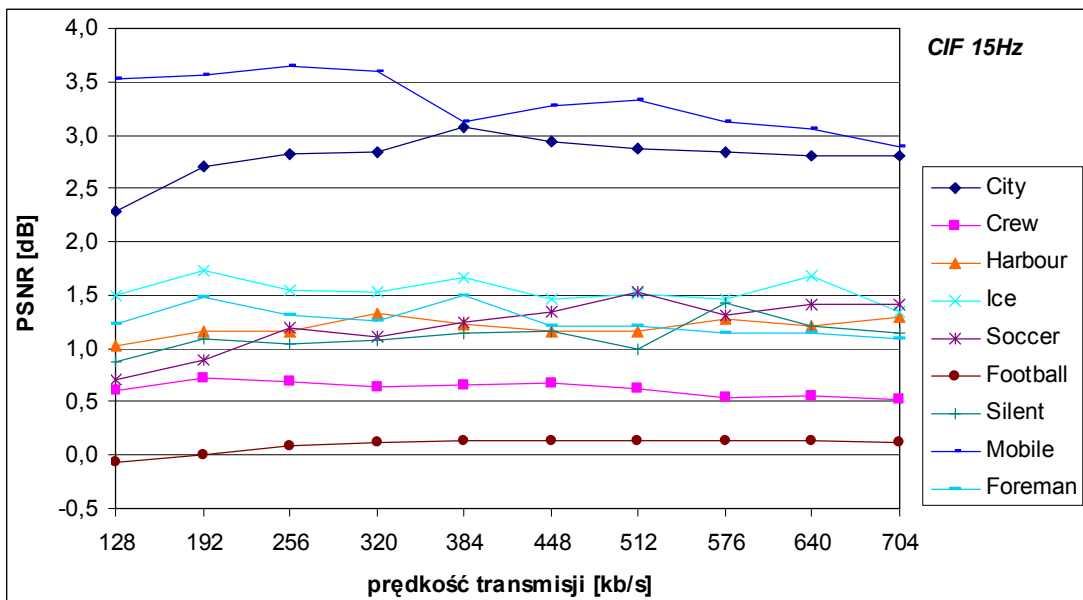
Wartości badanych prędkości transmisji [kb/s] dla formatu		
CIF 15Hz	CIF 30Hz	4CIF 30Hz
128	256	768
192	384	1152
256	512	1536
320	640	1920
384	768	2304
448	896	2688
512	1024	3072
576	1152	3456
640	1280	3840
704	1408	4224



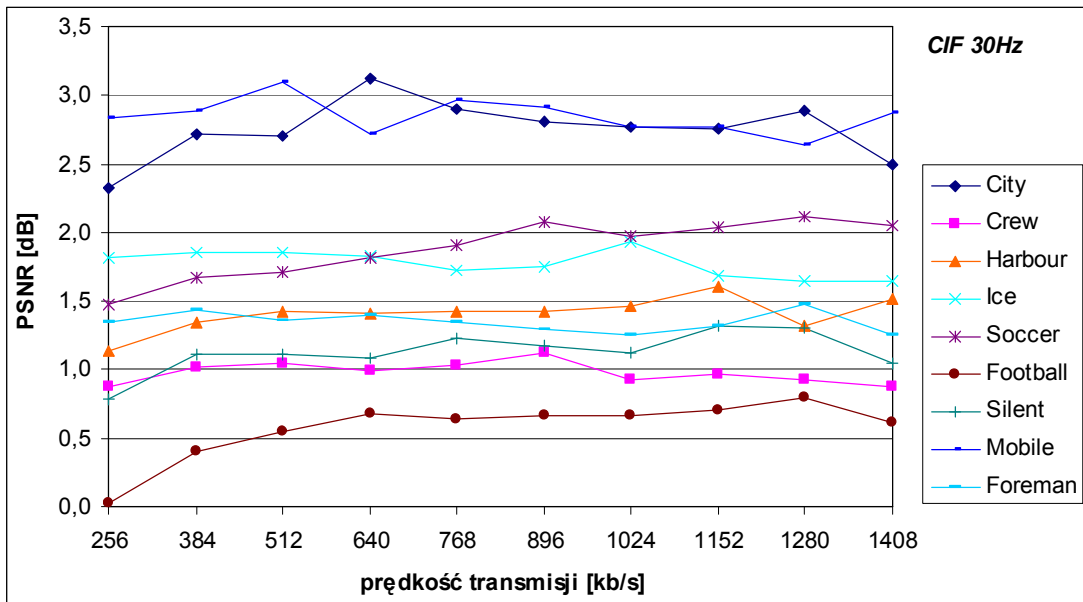
## 4.2. Porównanie filtrów Haara i 5/3 przy stałej długości grupy obrazów

Badania przeprowadzono dla stałej długości GOP równej szesnastu, co oznacza wykonywanie filtracji dla czterech poziomów dekompozycji w dziedzinie czasu ( $k=4$ ). Jak pokazują badania z poprzedniego rozdziału, taki rozmiar grupy jest najkorzystniejszy dla większości badanych sekwencji wizyjnych. W badaniach wykorzystano testowe sekwencje wizyjne wymienione w tab. 1.1 dla prędkości transmisji oraz rozdzielczości przestrzennych i czasowych zawartych w tab. 4.1. Na rys. 4.2, rys. 4.3, rys. 4.4 przedstawiono porównanie efektywności kodowania dla sekwencji odpowiednio dla rozdzielczości: CIF 15Hz, CIF 30Hz, 4CIF 30Hz. Na wykresach przedstawiono przyrost wartości współczynnika PSNR przy zastosowaniu filtrów 5/3 w stosunku do filtrów Haara.

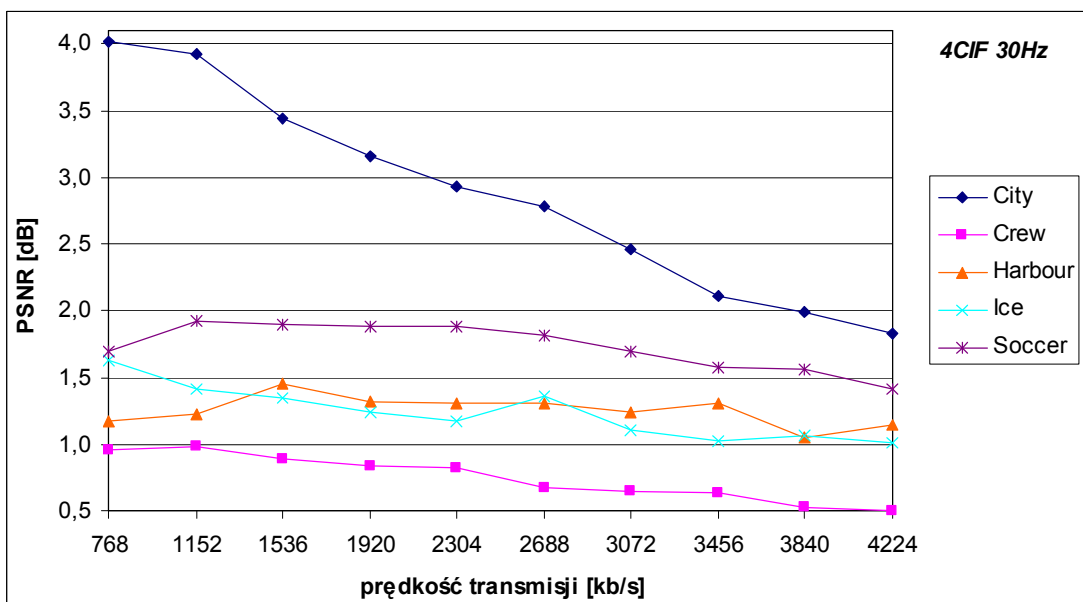
Dla wszystkich badanych sekwencji zanotowano wzrost efektywności kodowania w przypadku użycia dłuższych filtrów. Największy przyrost wartości współczynnika PSNR ma miejsce w przypadku sekwencji mało dynamicznych (*City*, *Mobile*). W przypadku sekwencji *City* zanotowano największy wzrost wartości współczynnika PSNR maksymalnie o 4 dB dla rozdzielczości 4CIF 30Hz.



Rys. 4.2. Przyrost wartości współczynnika PSNR przy zastosowaniu filtrów 5/3 w stosunku do filtrów Haara w funkcji prędkości transmisji, CIF 15Hz [tabela C.1, tabela C.2]



Rys. 4.3. Przyrost wartości współczynnika PSNR przy zastosowaniu filtrów 5/3 w stosunku do filtrów Haara w funkcji prędkości transmisji, CIF 30Hz [tabela C.3, tabela C.4]



Rys. 4.4. Przyrost wartości współczynnika PSNR przy zastosowaniu filtrów 5/3 w stosunku do filtrów Haara w funkcji prędkości transmisji, 4CIF 30Hz [tabela C.5, tabela C.6]

W przypadku pozostałych sekwencji (o umiarkowanej i dużej dynamice ruchu), efektywność kodowania wzrasta w mniejszym stopniu od 0,5dB do 2dB w zależności od jej rozdzielczości i prędkości transmisji. Jedynie w przypadku sekwencji *Football* dla

rozdzielczości CIF 15Hz i przepływności 128kbps zanotowano spadek efektywności kodowania w przypadku wykorzystania dłuższych filtrów (o 0,06dB; rys. 4.2).

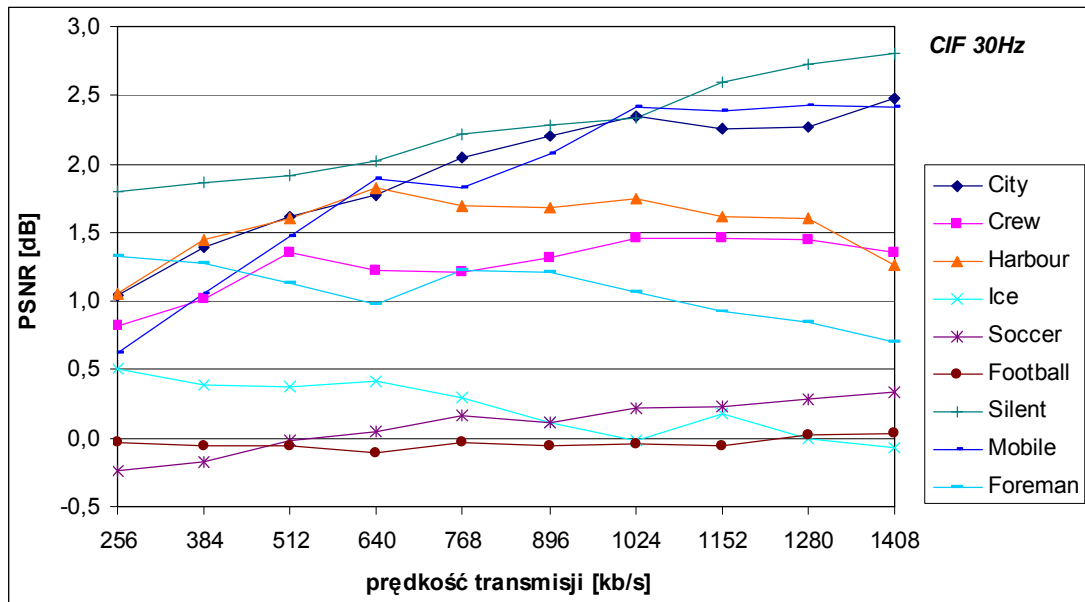
Wykorzystanie dłuższych filtrów w dziedzinie czasu, co wiąże się z wykonywaniem dwukierunkowej predykcji w znacznym stopniu przyczynia się do poprawy efektywności kodowania. Należy jednak mieć świadomość, że również przyczynia się dla omawianego przypadku do trzykrotnego wzrostu całkowitego opóźnienia z 500ms do 1500ms – patrz tab. 2.1 i tab. 2.2.

Rysunki oraz tabelaryczne zestawienie wartości współczynnika PSNR dla pozostałych rozdzielczości i prędkości transmisji zostały umieszczone w załączniku C (rys. C.1 do rys. C. 3, tabela C.1 do tabela C.6).

### **4.3. Porównanie filtrów Haara i 5/3 przy stałym opóźnieniu kodowania**

Interesująco przedstawia się porównanie efektywności kodowania pomiędzy kodowaniem z wykorzystaniem filtrów Haara i 5/3 przy założonym jednakowym całkowitym opóźnieniu kodowania. Jak wynika z tab. 2.1 i tab. 2.2, jedynie gdy  $k=2$  dla filtrów Haara oraz  $k=1$  dla filtrów 5/3 można uzyskać takie same wartości całkowitego opóźnienia przetwarzania sekwencji wizyjnych. Wyniki badań eksperymentalnych dla omawianego przypadku przedstawiono na rys. 4.5 dla rozdzielczości CIF 30Hz, gdzie prezentowane wartości PSNR oznaczają wzrost efektywności w przypadku użycia filtrów Haara. Dla większości przypadków odnotowano istotny wzrost wartości PSNR dla krótszych filtrów, średnio od 0,1dB dla sekwencji *Ice* do 2,26dB dla sekwencji *Mobile*. Jedynie w przypadku sekwencji *City* oraz *Soccer* zaobserwowano spadki PSNR. Podobne tendencje występują dla rozdzielczości CIF 15Hz. Natomiast dla rozdzielczości 4CIF 30Hz uzyskano spadek wartości współczynnika PSNR sekwencji *City* (średnio o 0,72dB), porównywalne wartości PSNR dla *Soccer* oraz *Ice* i wzrost PSNR dla pozostałych sekwencji wizyjnych.

Rysunki oraz tabelaryczne zestawienie wartości współczynnika PSNR dla pozostałych rozdzielczości i prędkości transmisji zostały umieszczone w załączniku C (rys. C.4 do rys. C. 6, tabela C.7 do tabela C.12).



Rys. 4.5. Przyrost wartości współczynnika PSNR przy zastosowaniu filtrów Haara ( $k=2$ ) w stosunku do filtrów 5/3 ( $k=1$ ) w funkcji prędkości transmisji, CIF 30Hz [tabela C.9, tabela C.10]

#### 4.4. Wnioski

Wyniki badań z punktu 4.2 wyraźnie wskazują na istotną przewagę filtrów 5/3 w analizie falkowej koderów wizyjnych. Z drugiej jednak strony badania z punktu 4.3 ukazały, że jeżeli jako kryterium oceny przyjmie się wartość opóźnienia kodowania to pomimo większej efektywności kodowania filtry 5/3 nie są dobrym wyborem.

Jak wspomniano w rozdziale 2.9 bezpośrednią przyczyną powstawania opóźnień są operacje predykcji lub uaktualnienia wykonywane podczas filtracji z kompensacją ruchu. Powiedziano również, że pomijanie tych operacji obniża wartość opóźnienia kodowania. Jak zostanie pokazane w rozdziale 5, dla założonego opóźnienia kodowania można dokonać usunięcia tych operacji na wiele sposobów. Bez odpowiedzi pozostaje jednak pytanie: usunięcie których operacji i na którym poziomie dekompozycji czasowej prowadzi do uzyskania największej efektywności kompresji sekwencji wizyjnych?

## 5. Analiza sposobów redukcji opóźnienia kodowania

### 5.1. Wprowadzenie

Wyniki badań eksperymentalnych opisane w poprzednich rozdziałach wykazały, że ograniczenie opóźnienia kodowania poprzez redukcję liczby poziomów dekompozycji czasowej ma swoje uzasadnienie (pod względem efektywności kodowania) jedynie dla pewnej grupy testowych sekwencji wizyjnych. Stosowanie filtrów wyższego rzędu w falkowej analizie w dziedzinie czasu istotnie polepsza efektywność kompresji, ale niestety przyczynia się również do znacznego wzrostu opóźnienia kodowania. Wyniki przedstawione w rozdziale 4.3 wykazały, że stosowanie dłuższych filtrów (filtry 5/3) do analizy czasowej przy jednoczesnej redukcji liczby poziomów dekompozycji czasowej powoduje obniżenie efektywności kompresji w porównaniu z filtrami krótszymi (filtry Haara).

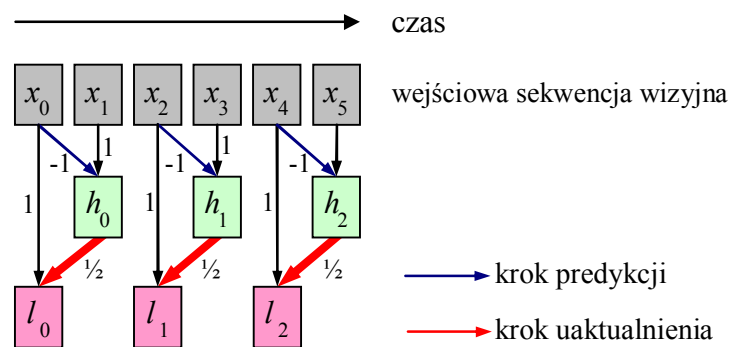
Główną przyczyną powstawania opóźnień wynikających z przetwarzania kolejnych obrazów sekwencji wizyjnej jest konieczność oczekiwania na obrazy przyszłe, które w danej chwili czasu nie są jeszcze dostępne dla kodera lub dekodera (rozdział 2.9). Jak pokazują badania innych autorów [Pau05, Viéron05, Seran05, Li05a, Pau04a, Pau04b, Schwarz04a, Huang03a], możliwa jest rezygnacja z pewnych odwołań do obrazów przyszłych poprzez niewykonywanie kroku predykcji oraz uaktualnienia w drabinkowych strukturach filtracji w dziedzinie czasu. Prezentowane rozwiązania są jednak poparte stosunkowo skromnym materiałem eksperymentalnym, brak jest również porównania i analizy różnych wariantów redukujących opóźnienia kodowania między sobą. Dlatego problem ten będzie głębiej przeanalizowany w tym rozdziale.

Aczkolwiek możliwe jest uzyskanie kilku wariantów redukcji kroku predykcji oraz uaktualnienia, bezcelowe jest usuwanie tych kroków odnoszących się do

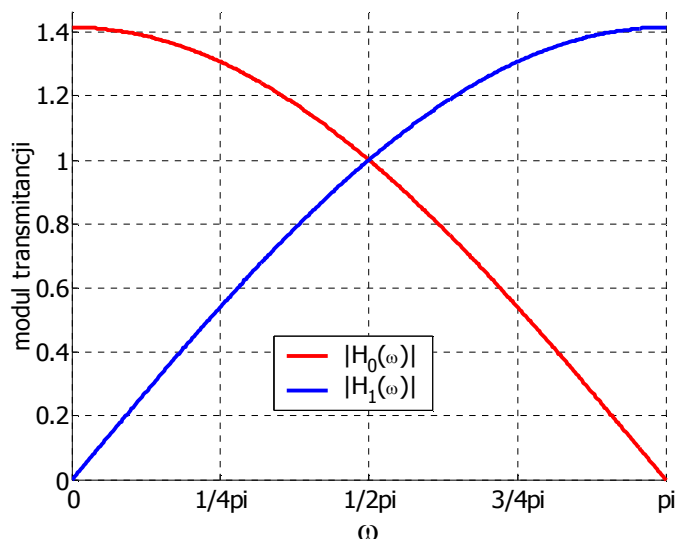
obrazów przeszłych, ponieważ tylko odwołania do obrazów przyszłych są przyczyną powstawania opóźnień. Takie zmodyfikowane struktury filtracji falkowej z kompensacją ruchu (bez kroku predykcji lub uaktualnienia) o zredukowanym opóźnieniu kodowania mogą być następnie zastosowane na dowolnym poziomie dekompozycji czasowej pozwalając na osiągnięcie zredukowanego opóźnienia kodowania.

## 5.2. Redukcja opóźnienia kodowania osiągnięta poprzez zmianę struktury filtrów

Wykonywanie kroku predykcji z wykorzystaniem filtrów Haara nie wpływa bezpośrednio na powstawanie opóźnienia kodowania. Jedyną możliwością ograniczenia tego opóźnienia jest usunięcie kroku uaktualnienia. Na rys. 5.1 przedstawiono pogrubioną linią składowe uaktualnienia powodujące powstawanie opóźnienia kodowania dla jednego poziomu dekompozycji czasowej. Usunięcie kroku uaktualnienia przerywa odwołania do obrazów przyszłych, tym samym redukując opóźnienie kodowania. Równania analizy (2.15) i syntezy (2.16) dla filtrów Haara zamieszczono w rozdziale 2.6. Charakterystyki częstotliwościowe dla omawianych filtrów przedstawiono na rys. 5.2.

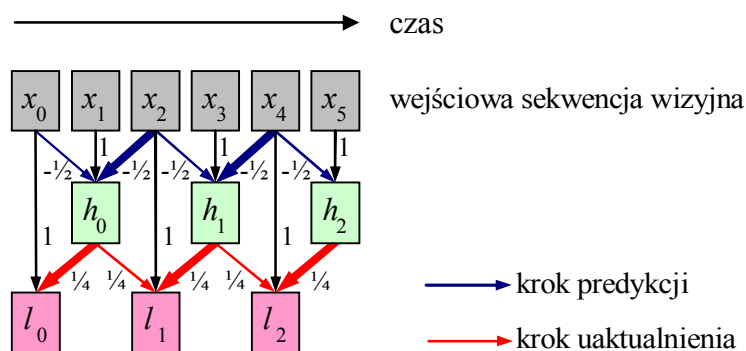


Rys. 5.1. Składowe uaktualnienia przyczyniające się do powstawania opóźnień kodowania dla filtrów Haara

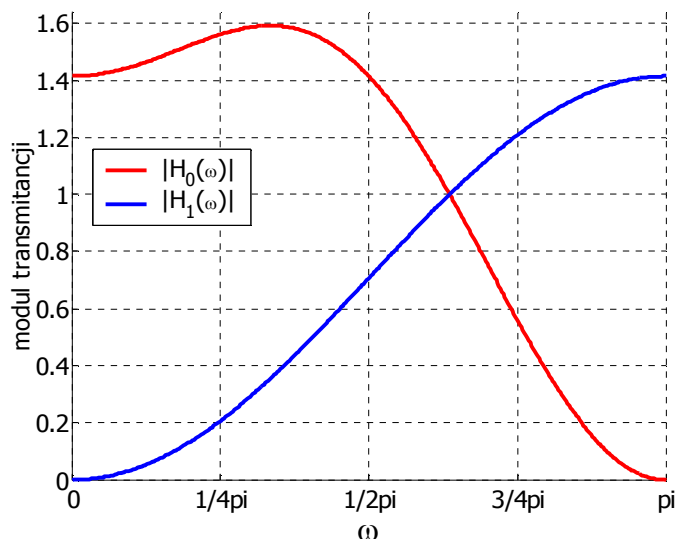


Rys. 5.2. Charakterystyki częstotliwościowe dla filtrów Haara

Dla filtrów 5/3 zarówno krok predykcji jak i uaktualnienia (odnoszący się do obrazów przyszłych) jest przyczyną powstawania opóźnienia kodowania. Na rys. 5.3 pogrubionymi liniami zaznaczono składowe predykcji oraz uaktualnienia dla jednego poziomu dekompozycji czasowej, których zredukowanie umożliwia obniżenie wartości opóźnienia kodowania. Równania analizy (2.17) i syntezy (2.18) dla filtrów 5/3 zamieszczono w rozdziale 2.7. Charakterystyki częstotliwościowe dla omawianych filtrów przedstawiono na rys. 5.4.



Rys. 5.3. Składowe predykcji i uaktualnienia przyczyniające się do powstawania opóźnień kodowania dla filtrów 5/3



Rys. 5.4. Charakterystyki częstotliwościowe dla filtrów 5/3

Usunięcie pewnych gałęzi w strukturach filtru drabinkowego (*lifting*) powoduje zmianę charakterystyk częstotliwościowych stosowanych filtrów, która niekorzystnie wpływa na efektywność kompresji sekwencji wizyjnych.

### 5.2.1. Filtry Haara bez kroku uaktualnienia

Na rys. 5.5 przedstawiono schemat analizy falkowej w dziedzinie czasu dla zmodyfikowanych filtrów Haara z usuniętym krokiem uaktualnienia [Pau05, Schwarz04c]. Charakterystyki częstotliwościowe dla omawianych filtrów przedstawiono na rys. 5.6.

Dla przedstawionej struktury filtrów można zapisać równania analizy (5.1) i równania syntezy (5.2):

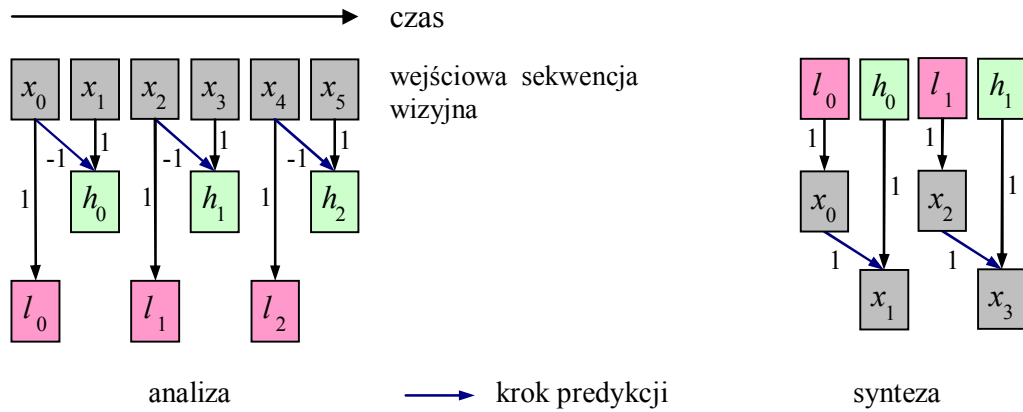
$$h_t = x_{2t+1} - MC(x_{2t}, mv_{2t+1}^+), \quad l_t = x_{2t}, \quad (5.1)$$

$$x_{2t} = l_t, \quad x_{2t+1} = h_t + MC(x_{2t}, mv_{2t+1}^+), \quad (5.2)$$

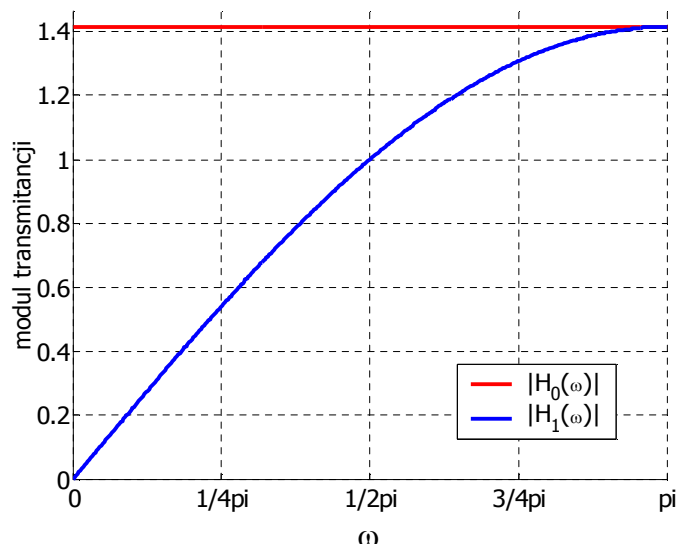
gdzie:  $x_t$  – obraz wejściowej sekwencji wizyjnej w czasie  $t$ ,  
 $h_t$  – próbka sygnału subpasma wysokich częstotliwości w czasie  $t$ ,  
 $l_t$  – próbka sygnału subpasma niskich częstotliwości w czasie  $t$ ,



$mv_{2t+1}^+$  – zestaw wektorów ruchu wyznaczony między obrazami  $x_{2t+1}$  oraz  $x_{2t}$ ,  
 $(m,n)$  – współrzędne przestrzenne obrazu,  
 $MC(x_t, mv_t)$  – operator kompensacji ruchu, zdefiniowany jako  $x_t(m, n - mv_t(m, n))$ .



**Rys. 5.5. Schemat filtracji dla zmodyfikowanych filtrów Haara z usuniętym krokiem uaktualnienia**

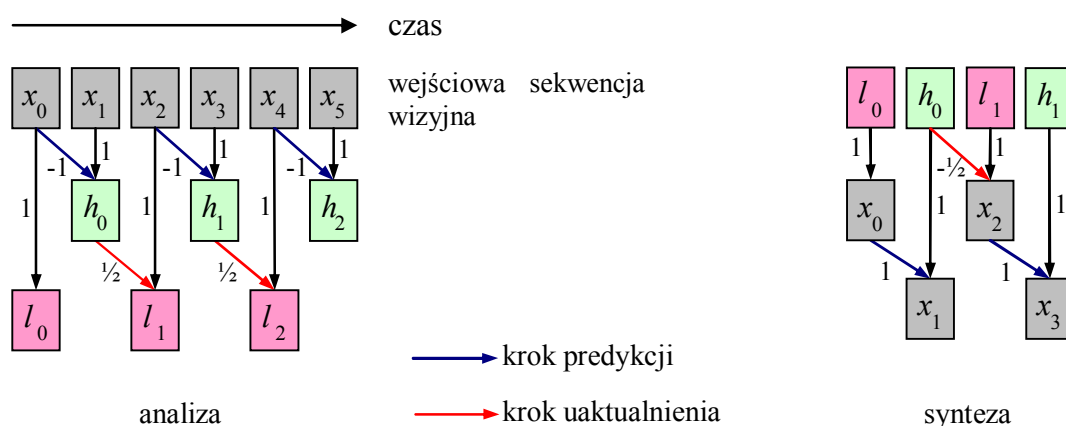


**Rys. 5.6. Charakterystyki częstotliwościowe dla filtrów Haara z usuniętym krokiem uaktualnienia**

Warto zwrócić uwagę, że w omawianym schemacie filtracji nie występuje filtracja dolnoprzepustowa, a jak wiadomo podstawą analizy falkowej (subpasmowej) jest podział sygnału wejściowego na dwa subpasma.

### 5.2.2. Filtry Haara z krokiem uaktualnienia z poprzedniego obrazu

Na rys. 5.7 przedstawiono schemat analizy falkowej w dziedzinie czasu dla zmodyfikowanych filtrów Haara z krokiem uaktualnienia odnoszącym się do obrazu przeszłego [Pau04a, Pau04b]. Charakterystyki częstotliwościowe dla omawianych filtrów przedstawiono na rys. 5.8.



Rys. 5.7. Schemat filtracji dla zmodyfikowanych filtrów Haara z krokiem uaktualnienia odnoszącym się do obrazu przeszłego

Dla przedstawionej struktury filtrów można zapisać równania analizy (5.3) i równania syntezy (5.4):

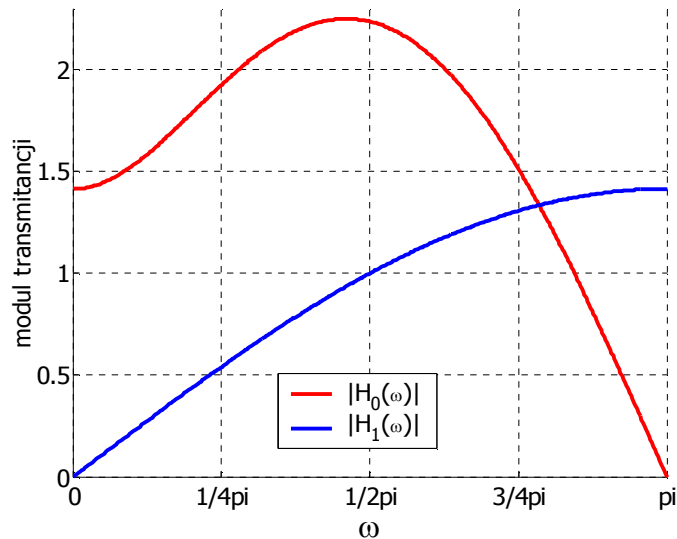
$$h_t = x_{2t+1} - MC(x_{2t}, mv_{2t+1}^+), \quad l_t = x_{2t} + \frac{1}{2} MC^{-1}(h_{t-1}, mv_{2t+1}^-), \quad (5.3)$$

$$x_{2t} = l_t - \frac{1}{2} MC^{-1}(h_{t-1}, mv_{2t+1}^-), \quad x_{2t+1} = h_t + MC(x_{2t}, mv_{2t+1}^+), \quad (5.4)$$

gdzie:  $x_t$  – obraz wejściowej sekwencji wizyjnej w czasie  $t$ ,  
 $h_t$  – próbka sygnału subpasma wysokich częstotliwości w czasie  $t$ ,  
 $l_t$  – próbka sygnału subpasma niskich częstotliwości w czasie  $t$ ,

$mv_{2t+1}^+$  – zestaw wektorów ruchu wyznaczony między obrazami  $x_{2t+1}$  oraz  $x_{2t}$ ,  
 $mv_{2t+1}^-$  – zestaw wektorów ruchu wyznaczony między obrazami  $x_{2t+1}$  oraz  $x_{2t+2}$ ,  
 $(m, n)$  – współrzędne przestrzenne obrazu,  
 $MC(x_t, mv_t)$  – operator kompensacji ruchu, zdefiniowany jako  $x_t(m, n - mv_t(m, n))$ .

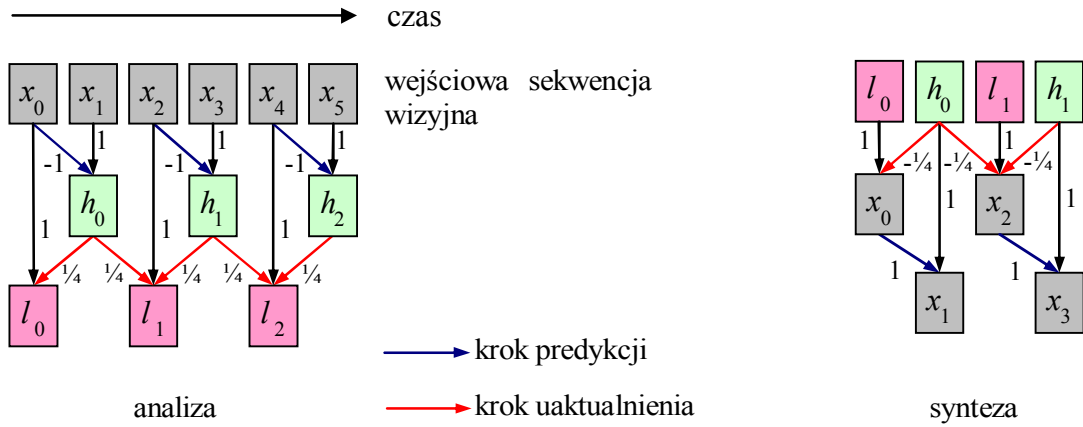
Przedstawiony schemat można również zinterpretować jako filtr 5/3 z jednocześnie usuniętymi gałęziami predykcji oraz uaktualnienia odnoszącymi się do obrazów przyszych. Warto zwrócić uwagę, że układ ten wymaga wyznaczenia dwóch zestawów wektorów ruchu, jednego dla kroku predykcji, drugiego dla kroku uaktualnienia.



**Rys. 5.8. Charakterystyki częstotliwościowe dla filtrów Haara z krokiem uaktualnienia odnoszącym się do obrazu przeszłego**

### 5.2.3. Filtry 5/3 bez kroku predykcji

Na rys. 5.9 przedstawiono schemat analizy falkowej w dziedzinie czasu dla zmodyfikowanych filtrów 5/3 z usuniętym krokiem predykcji odnoszącym się do obrazu przyszego. Charakterystyki częstotliwościowe dla omawianych filtrów przedstawiono na rys. 5.10.



**Rys. 5.9. Schemat filtracji dla zmodyfikowanych filtrów 5/3 z usunięciem krokiem predykcji odnoszącym się do obrazu przyszłego**

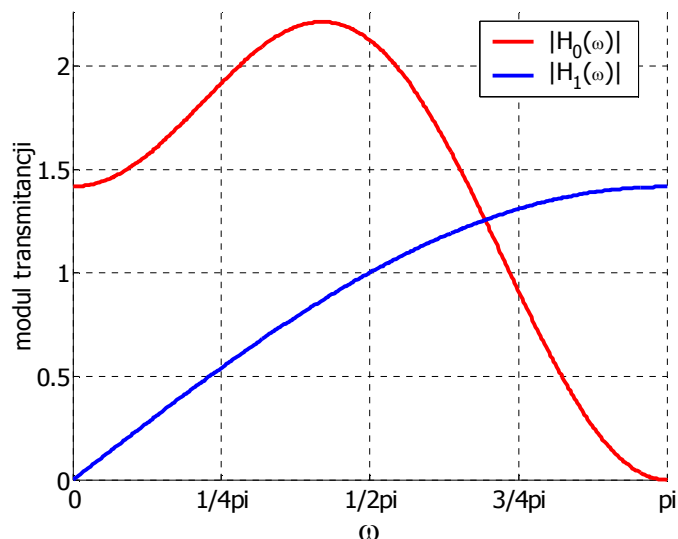
Dla przedstawionej struktury filtrów można zapisać równania analizy (5.5) i równania syntezy (5.6):

$$\begin{aligned}
 h_t &= x_{2t+1} - MC(x_{2t}, mv_{2t+1}^+), \\
 l_t &= x_{2t} + \frac{1}{4} (MC^{-1}(h_{t-1}, mv_{2t-1}^-) + MC^{-1}(h_t, mv_{2t+1}^+)),
 \end{aligned}
 \tag{5.5}$$

$$\begin{aligned}
 x_{2t} &= l_t - \frac{1}{4} (MC^{-1}(h_{t-1}, mv_{2t-1}^-) + MC^{-1}(h_t, mv_{2t+1}^+)), \\
 x_{2t+1} &= h_t + MC(x_{2t}, mv_{2t+1}^+),
 \end{aligned}
 \tag{5.6}$$

gdzie:

- $x_t$  – obraz wejściowej sekwencji wizyjnej w czasie  $t$ ,
- $h_t$  – próbka sygnału subpasma wysokich częstotliwości w czasie  $t$ ,
- $l_t$  – próbka sygnału subpasma niskich częstotliwości w czasie  $t$ ,
- $mv_{2t+1}^+$  – zestaw wektorów ruchu wyznaczony między obrazami  $x_{2t+1}$  oraz  $x_{2t}$ ,
- $mv_{2t+1}^-$  – zestaw wektorów ruchu wyznaczony między obrazami  $x_{2t+1}$  oraz  $x_{2t+2}$ ,
- $(m, n)$  – współrzędne przestrzenne obrazu,
- $MC(x_t, mv_t)$  – operator kompensacji ruchu, zdefiniowany jako  $x_t(m, n - mv_t(m, n))$ .



Rys. 5.10. Charakterystyki częstotliwościowe dla filtrów 5/3 z usuniętym krokiem predykcji odnoszącym się do obrazu przyszłego

#### 5.2.4. Filtry 5/3 bez kroku uaktualnienia

Na rys. 5.11 przedstawiono schemat analizy falkowej w dziedzinie czasu dla zmodyfikowanych filtrów 5/3 z usuniętym krokiem uaktualnienia odnoszącym się do obrazu przyszłego. Charakterystyki częstotliwościowe dla omawianych filtrów przedstawiono na rys. 5.12

Dla przedstawionej struktury filtrów można zapisać równania analizy (5.7) i równania syntezy (5.8):

$$h_t = x_{2t+1} - \frac{1}{2}(MC(x_{2t}, mv_{2t+1}^+) + MC(x_{2t+2}, mv_{2t+1}^-)), \quad (5.7)$$

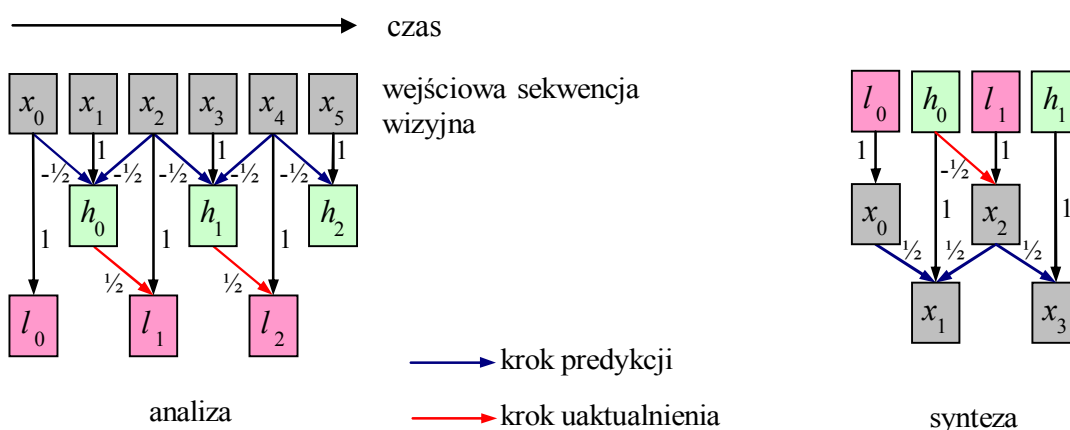
$$l_t = x_{2t} + \frac{1}{2}MC^{-1}(h_{t-1}, mv_{2t-1}^-),$$

$$x_{2t} = l_t - \frac{1}{2}MC^{-1}(h_{t-1}, mv_{2t-1}^-), \quad (5.8)$$

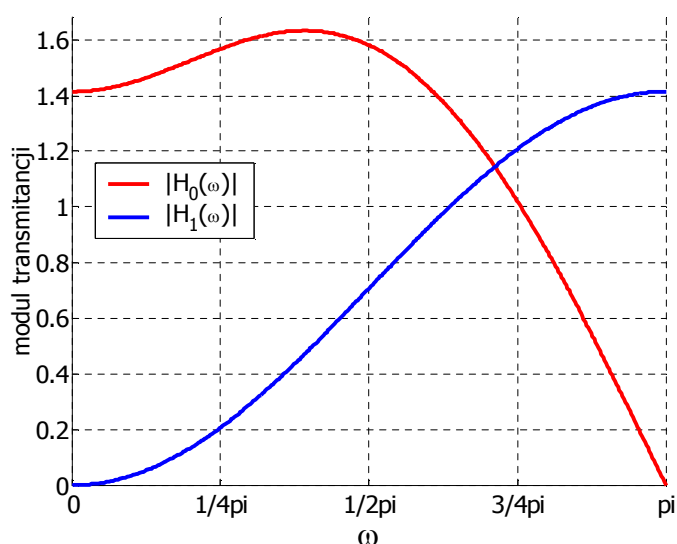
$$x_{2t+1} = h_t + \frac{1}{2}(MC(x_{2t}, mv_{2t+1}^+) + MC(x_{2t+2}, mv_{2t+1}^-)),$$

gdzie:  $x_t$  – obraz wejściowej sekwencji wizyjnej w czasie  $t$ ,  
 $h_t$  – próbka sygnału subpasma wysokich częstotliwości w czasie  $t$ ,

- $l_t$  – próbka sygnału subpasma niskich częstotliwości w czasie  $t$ ,
- $mv_{2t+1}^+$  – zestaw wektorów ruchu wyznaczony między obrazami  $x_{2t+1}$  oraz  $x_{2t}$ ,
- $mv_{2t+1}^-$  – zestaw wektorów ruchu wyznaczony między obrazami  $x_{2t+1}$  oraz  $x_{2t+2}$ ,
- $(m, n)$  – współrzędne przestrzenne obrazu,
- $MC(x_t, mv_t)$  – operator kompensacji ruchu, zdefiniowany jako  $x_t(m, n - mv_t(m, n))$ .



Rys. 5.11. Schemat filtracji dla zmodyfikowanych filtrów 5/3 z usuniętym krokiem uaktualnienia odnoszącym się do obrazu przyszłego



Rys. 5.12. Charakterystyki częstotliwościowe dla filtrów 5/3 z usuniętym krokiem uaktualnienia odnoszącym się do obrazu przyszłego

### 5.3. Analiza opóźnienia dla zmodyfikowanych schematów filtracji w czasie

W celu łatwiejszej identyfikacji wykorzystanych schematów filtracji w dziedzinie czasu wprowadzono dwuznakowe oznaczenia:

- SH – filtracja z wykorzystaniem oryginalnych filtrów Haara,
- SU – filtracja z wykorzystaniem filtrów Haara bez kroku uaktualnienia,
- SB – filtracja z wykorzystaniem filtrów Haara krokiem uaktualnienia odnoszącym się do obrazu przeszłego,
- SP – filtracja z wykorzystaniem filtrów 5/3 bez kroku predykcji odnoszącego się do obrazu przyszłego,
- S3 – filtracja z wykorzystaniem filtrów 5/3 bez kroku uaktualnienia odnoszącego się do obrazu przyszłego,
- S5 – filtracja z wykorzystaniem oryginalnych filtrów 5/3.

Modyfikacje filtrów Haara oraz 5/3 miały na celu redukcję opóźnienia kodowania wprowadzanego podczas analizy i syntezy wykonywanej w dziedzinie czasu. Dla zmodyfikowanych filtrów Haara z usuniętym krokiem uaktualnienia oraz z krokiem uaktualnienia odnoszącym się do obrazu przeszłego (schematy SU, SB) nie występuje opóźnienie związane z filtracją w czasie, brak jest bowiem w tych schematach filtracji odwołań do obrazów przyszłych. Natomiast w pozostałych wariantach dla filtrów 5/3 bez kroku predykcji lub z usuniętym krokiem uaktualnienia (schematy S3, SP) opóźnienia: kodowania oraz całkowite opisane są równaniami (5.9), (5.10):

$$D_E = 2^{k-1}, \quad (5.9)$$

$$D_C = 2^k - 1, \quad (5.10)$$

gdzie:  $k$  – liczba poziomów dekompozycji w dziedzinie czasu.

Równania opóźnień dla schematu SH (2.19), (2.20) oraz schematu S5 (2.22), (2.23) podano w rozdziale 2.9.

**Tab. 5.1. Całkowite opóźnienia dla różnych schematów filtracji w czasie w zależności od liczby poziomów dekompozycji czasowej  $k$**

$k$	Schemat filtracji w czasie					
	S5	S3	SP	SU	SB	SH
1	3	1	1	0	0	1
2	9	3	3	0	0	3
3	21	7	7	0	0	7
4	45	15	15	0	0	15
5	93	31	31	0	0	31
6	189	63	63	0	0	63

Zestawienie całkowitych opóźnień dla badanych schematów kodowania przedstawiono w tab. 5.1. Podane wartości wyliczono przy założeniu, że na każdym poziomie dekompozycji czasowej wykorzystuje się ten sam schemat analizy i syntezy w dziedzinie czasu. Zróżnicowanie schematów kodowania dla kolejnych poziomów dekompozycji czasowej umożliwia uzyskanie innych wartości opóźnienia kodowania w stosunku do podanych w tab. 5.1.

Najkorzystniejsze z punktu widzenia redukcji opóźnienia kodowania jest pominięcie kroku predykcji lub uaktualnienia na możliwie najdalszym (np. czwartym) poziomie dekompozycji czasowej. Przykładowo pominięcie kroku uaktualnienia między składowymi  $h_3^1$  i  $l_3^1$  ( $k=1$ ) jak na rys. 2.15 prowadzi do redukcji opóźnienia o jeden obraz, natomiast pominięcie kroku uaktualnienia między składowymi  $h_0^3$  i  $l_0^3$  ( $k=3$ ) prowadzi do redukcji opóźnienia o cztery obrazy.

Możliwość stosowania na każdym poziomie dekompozycji czasowej innego schematu kodowania umożliwia uzyskanie szerszego zakresu wartości opóźnień kodowania. Opóźnienia kodowania oraz całkowite dla różnych wariantów filtracji na poszczególnych poziomach dekompozycji czasowej opisane są równaniami (5.11), (5.12) [Pau05]:

$$D_E = 2^{k5+1} + 2^{k5+k3-1} - 2, \quad (5.11)$$

$$D_C = 2^{k5+1} + 2^{k5+k3} - 3, \quad (5.12)$$



- gdzie:  $k_5$  – liczba początkowych poziomów dekompozycji w dziedzinie czasu na których zastosowano schemat S5,  
 $k_3$  – liczba dalszych poziomów dekompozycji w dziedzinie czasu na których zastosowano schemat SH, SP lub S3.

W przypadku wyłącznego korzystania z filtrów 5/3 (schemat S5, bez stosowania schematów SH, SP lub S3) opóźnienia opisane są równaniami (2.22), (2.23). Schematy kodowania SU oraz SB stosowane na ostatnich poziomach dekompozycji czasowej nie powodują zwiększenia opóźnienia wynikającego z analizy w dziedzinie czasu. Na przykład, w celu osiągnięcia całkowitego opóźnienia kodowania równego trzy obrazy przy wykorzystaniu na pierwszym poziomie dekompozycji czasowej schematu S5, na pozostałych poziomach dekompozycji czasowej można zastosować schemat kodowania SU lub SB. Zestawienie całkowitego opóźnienia kodowania dla wybranych, przykładowych wariantów filtracji przy wykorzystaniu omówionych schematów kodowania zamieszczono w tab. 5.2.

**Tab. 5.2. Całkowite opóźnienia dla różnych przykładowych schematów filtracji w czasie na kolejnych poziomach dekompozycji czasowej**

Lp	Schemat filtracji na kolejnych poziomach dekompozycji czasowej				Opóźnienie całkowite
	pierwszy poziom	drugi poziom	trzeci poziom	czwarty poziom	
1	SU	SU	SU	SU	0
2	SB	SB	SB	SB	0
3	S3	SU	SU	SU	1
4	S3	S3	SU	SU	3
5	S5	SU	SU	SU	3
6	S5	S3	SU	SU	5
7	S3	S3	S3	SU	7
8	S5	S5	SU	SU	9
9	S5	S5	S3	SU	13
10	S3	S3	S3	S3	15

W pracy badane są następujące wartości opóźnienia całkowitego: 0, 1, 3, 5, 7, 9, 13, 15 obrazów (odstępów próbkowania). Wybór wymienionych wartości opóźnień kodowania wynika ze stosowanych schematów filtracji w dziedzinie czasu. Zgodnie z (5.12) nie ma na przykład możliwości uzyskania opóźnienia o wartości równej dwa. Nie analizowano również schematów kodowania wprowadzających opóźnienia większe niż o 15 obrazów (poza schematem bez ograniczenia całkowitego opóźnienia kodowania).

W pracy analizowane są możliwości redukcji całkowitego opóźnienia kodowania (bez podziału na opóźnienie kodowania i całkowite), gdyż jest ono najistotniejsze z punktu widzenia transmisji sekwencji wizyjnych.

#### **5.4. Badania eksperymentalne efektywności kompresji prezentowanych rozwiązań**

Do przeprowadzenia badań eksperymentalnych wykorzystano podobnie jak w rozdziale 4 kodek falkowy opisany w [Rusert04]. Dokonano zmiany w oprogramowaniu, które umożliwiły wykonywanie filtracji w czasie zgodnie z przedstawionymi schematami kodowania. Badania przeprowadzono dla dziesięciu prędkości transmisji zestawionych w tab. 4.1 przy włączonej funkcji adaptacji, wektory ruchu wyznaczone były z dokładnością 1/4 punktu. Wykorzystano dziewięć testowych sekwencji wizyjnych w formatach: CIF 15Hz, CIF 30Hz, 4CIF 30Hz (patrz tab. 1.1) o długości 6,4 sekund (192 obrazy dla 30Hz i 96 obrazów dla 15Hz).

W celu łatwiejszej identyfikacji badanych wariantów kodowania w pracy przyjęto czteroznakowe, skrótowe oznaczenia schematów filtracji na poszczególnych poziomach dekompozycji czasowej. Przykładowo skrót 53HU oznacza wykonywanie filtracji w dziedzinie czasu z wykorzystaniem schematu:

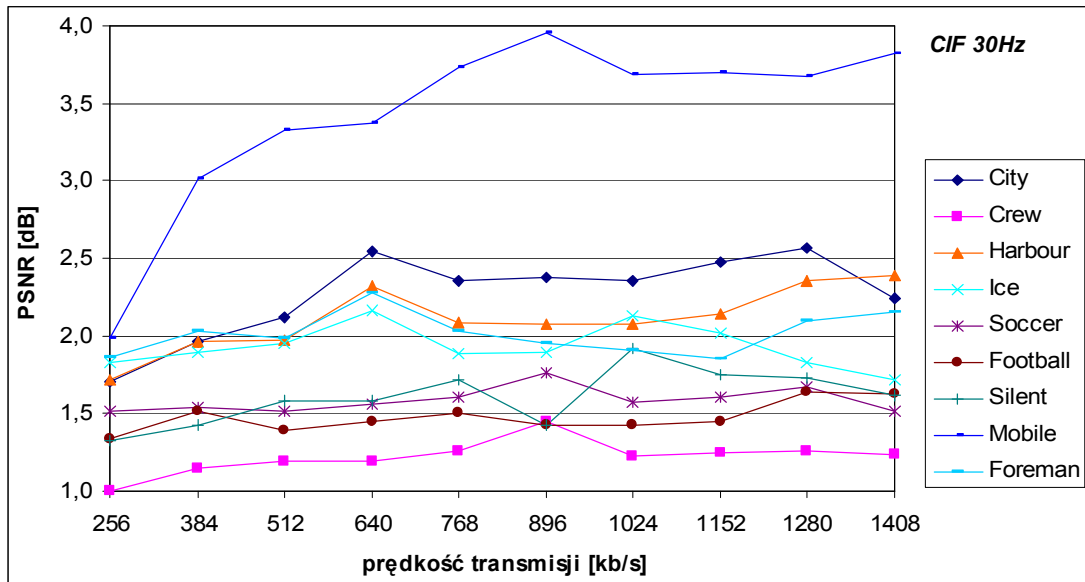
- S5 – na pierwszym poziomie dekompozycji czasowej,
- S3 – na drugim poziomie dekompozycji czasowej,
- SH – na trzecim poziomie dekompozycji czasowej,
- SU – na czwartym poziomie dekompozycji czasowej.

Wszystkie warianty kodowania przebadano dla czterech poziomów dekompozycji czasowej przy włączonej funkcji adaptacji. Jak wynika z rozdziału 3, dla części testowych sekwencji wizyjnych, mniejszy rozmiar grupy obrazów jest bardziej korzystny, jednakże dotyczy to sytuacji, w której wykorzystywane są filtry w niezmodyfikowanej postaci. Korzystanie z innych schematów filtracji w dziedzinie czasu może skutkować uzyskaniem odmiennych rezultatów, ponadto w rzeczywistych systemach przetwarzania charakter wejściowej sekwencji wizyjnej nie zawsze jest znany i może się zmieniać w czasie.

Po wstępnych badaniach eksperymentalnych zrezygnowano z wykorzystania filtracji w czasie według schematu SP, gdyż jak wykazały pomiary współczynnika PSNR pominięcie kroku predykcji jest mniej korzystne niż pominięcie kroku uaktualnienia. Spadki wartości współczynnika PSNR zanotowano dla wszystkich badanych sekwencji wizyjnych oraz rozdzielczości. Przykładowo dla rozdzielczości CIF 30Hz i przebadanych schematów 3333 oraz PPPP, spadek wartości współczynnika PSNR dla schematu PPPP w stosunku do schematu 3333 wyniósł średnio 1,96dB (dla dziesięciu badanych prędkości transmisji), najwięcej w przypadku sekwencji *Mobile* (3,43dB), najmniej w przypadku sekwencji *Crew* (1,22dB). Na rys. 5.13 przedstawiono w postaci graficznej spadek wartości współczynnika PSNR dla schematu PPPP w porównaniu ze schematem 3333. Warto podkreślić, że oba schematy charakteryzują się jednakowym całkowitym opóźnieniem kodowania.

Nieformalnie przeprowadzone testy subiektywne potwierdziły gorszą efektywność kompresji dla schematu PPPP w stosunku do schematu 3333. Główną przyczyną tak znaczącego spadku efektywności kompresji jest konieczność transmisji wektorów ruchu nie biorących udziału w operacji predykcji odnoszącej się do obrazów przyszłych, ale niezbędnych do wykonania operacji uaktualnienia odnoszącej się do obrazu przeszłego.

Nieco większe spadki efektywności kompresji zanotowano porównując schemat PPPP ze schematem 5555, gdzie dla rozdzielczości CIF 30Hz zanotowano obniżenie wartości współczynnika PSNR średnio o 2,51dB dla schematu PPPP w stosunku do schematu 5555. W tab. 5.3 przedstawiono uśredniony dla dziesięciu badanych prędkości transmisji przyrost wartości współczynnika PSNR dla badanych schematów: 3333 i 5555 w porównaniu ze schematem PPPP.



Rys. 5.13. Przyrost wartości współczynnika PSNR [dB] dla schematu 3333 w stosunku do schematu PPPP, CIF 30Hz [tabela D. 2, tabela D. 61]

Tab. 5.3. Przyrost wartości PSNR [dB] (uśrednionej dla dziesięciu badanych prędkości transmisji) dla schematu a) 3333, b) 5555 w porównaniu ze schematem PPPP

Sekwencja	a)			b)		
	CIF 15 Hz	CIF 30 Hz	4CIF 30 Hz	CIF 15 Hz	CIF 30 Hz	4CIF 30 Hz
City	1,93	2,27	1,93	2,59	2,99	2,65
Crew	1,15	1,22	0,90	1,38	1,57	1,13
Harbour	1,64	2,11	2,08	2,43	3,00	2,83
Ice	1,37	1,93	1,41	1,83	2,50	1,88
Soccer	1,24	1,59	1,49	1,61	2,07	1,96
Football	0,51	1,48	–	0,60	1,68	–
Silent	1,11	1,61	–	1,55	2,05	–
Mobile	2,64	3,43	–	3,25	4,08	–
Foreman	1,51	2,01	–	2,02	2,62	–
<i>Średnio</i>	<i>1,45</i>	<i>1,96</i>	<i>1,56</i>	<i>1,92</i>	<i>2,51</i>	<i>2,09</i>

Fakt znacznie większego obniżenia efektywności kodowania przy usunięciu kroku predykcji (schemat PPPP) w stosunku do usunięcia korku uaktualnienia (schemat 3333) jest zgodny z tezą pracy.

Obszerniejsze porównanie opisanych schematów kodowania w postaci graficznej, jak również zestawienie tabelaryczne wyników badań zostało zamieszczone w załączniku D (rys D.1 do rys. D.3; tabela D.1 do D.3).

#### 5.4.1. Brak opóźnienia

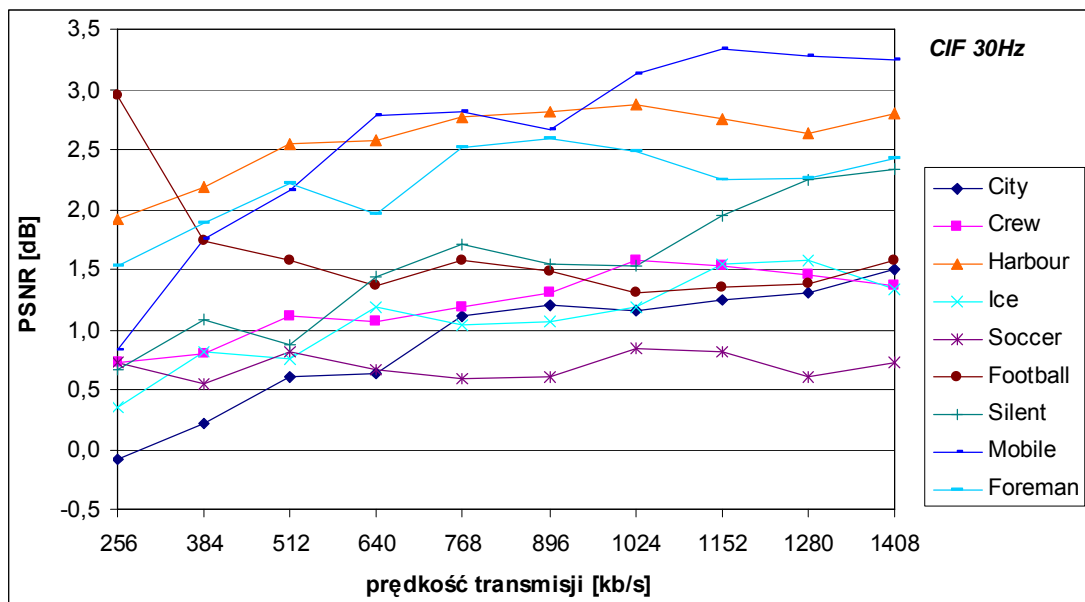
Dla założonego braku opóźnienia wykonano badania dla schematów kodowania: UUUU, UBBB oraz BBBB. Najkorzystniejszym rozwiązaniem okazał się układ UUUU, jedynie dla sekwencji *City* i *Mobile* o rozdzielczości CIF 15Hz i niskich prędkościach transmisji schematy BBBB oraz UBBB charakteryzują się nieco większą efektywnością kodowania w stosunku do schematu UUUU. Ponadto dla sekwencji *Ice* zaobserwowano wzrost efektywności kodowania średnio o 0,20dB (dla dziesięciu badanych prędkości transmisji) w rozdzielczości CIF 15Hz dla schematu UBBB w porównaniu ze schematem UUUU. W pozostałych przypadkach schemat BBBB jest najmniej korzystny.

**Tab. 5.4. Przyrost wartości PSNR [dB] (uśrednionej dla dziesięciu badanych prędkości transmisji) dla schematu: a) UUUU w stosunku do schematu UBBB; b) UUUU w stosunku do schematu BBBB**

Sekwencja	a)			b)		
	CIF 15Hz	CIF 30Hz	4CIF 30Hz	CIF 15Hz	CIF 30Hz	4CIF 30Hz
City	0,24	0,47	0,86	0,28	0,89	2,07
Crew	0,48	0,23	0,40	1,31	1,21	1,08
Harbour	1,26	1,64	1,92	2,16	2,59	3,14
Ice	-0,20	0,17	1,06	0,18	1,09	1,95
Soccer	0,04	0,27	0,71	1,08	0,70	1,47
Football	0,20	0,75	–	0,64	1,63	–
Silent	0,15	0,61	–	0,71	1,54	–
Mobile	0,44	1,26	–	1,42	2,60	–
Foreman	0,68	0,93	–	0,93	2,21	–
<i>Średnio</i>	<i>0,37</i>	<i>0,70</i>	<i>0,99</i>	<i>0,97</i>	<i>1,60</i>	<i>1,94</i>

Na rys. 5.14 przedstawiono przyrost wartości współczynnika PSNR dla schematu UUUU w stosunku do schematu BBBB dla rozdzielczości CIF 30Hz. Tab. 5.4 zawiera zestawienie przyrostu wartości PSNR (uśrednionej dla dziesięciu badanych prędkości transmisji) między badanymi schematami.

Obszerniejsze porównanie opisanych schematów kodowania w postaci graficznej, jak również zestawienie tabelaryczne wyników badań zostało zamieszczone w załączniku D (rys. D.4 do rys. D.9; tabela D.4 do D.12).



Rys. 5.14. Przyrost wartości współczynnika PSNR dla schematu UUUU w stosunku do schematu BBBB, CIF 30Hz [tabela D. 5, tabela D. 11]

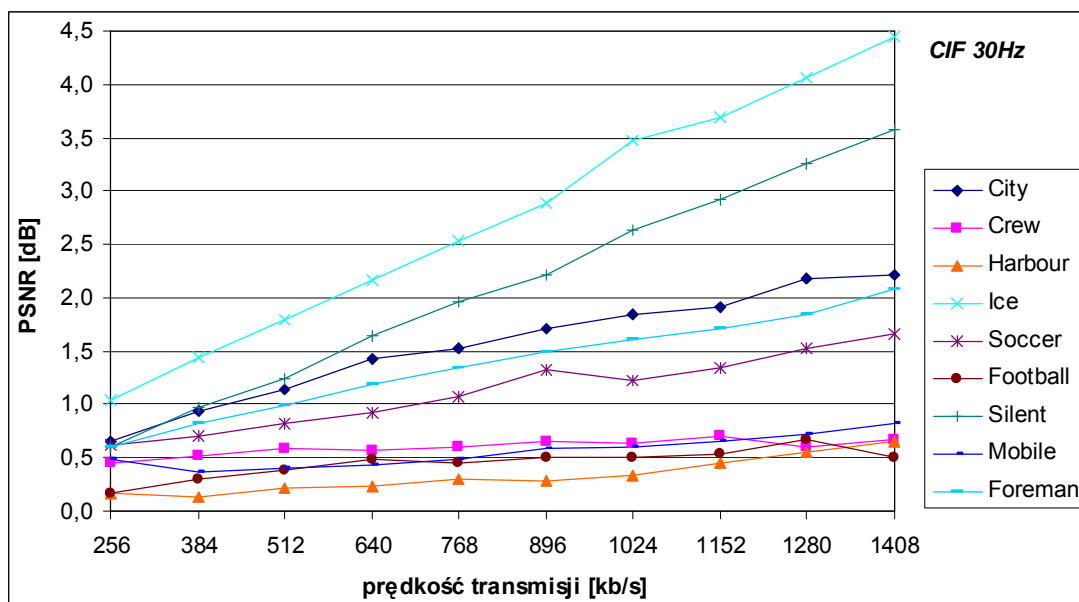
#### 5.4.2. Opóźnienie o jeden obraz

Badanie efektywności kodowania dla całkowitego opóźnienia o jeden obraz wykonano dla schematów 3UUU oraz HUUU. Korzystniejszy z punktu widzenia efektywności kompresji jest schemat 3UUU. Dla wszystkich badanych sekwencji wizyjnych zanotowano wzrost PSNR (uśredniony dla dziesięciu badanych prędkości transmisji) o 0,91dB dla CIF 15Hz, 1,21dB dla CIF 30Hz oraz 0,86dB dla 4CIF 30Hz dla schematu 3UUU w stosunku do schematu HUUU.

Na rys. 5.15 przedstawiono przyrost wartości współczynnika PSNR dla schematu 3UUU w stosunku do schematu HUUU dla rozdzielczości CIF 30Hz.

Tab. 5.5 zawiera zestawienie przyrostu wartości PSNR (uśrednionej dla dziesięciu badanych prędkości transmisji) między badanymi schematami.

Obszerniejsze porównanie opisanych schematów kodowania w postaci graficznej, jak również zestawienie tabelaryczne wyników badań zostało zamieszczone w załączniku D (rys. D.10 do rys. D.12; tabela D.13 do D.18).



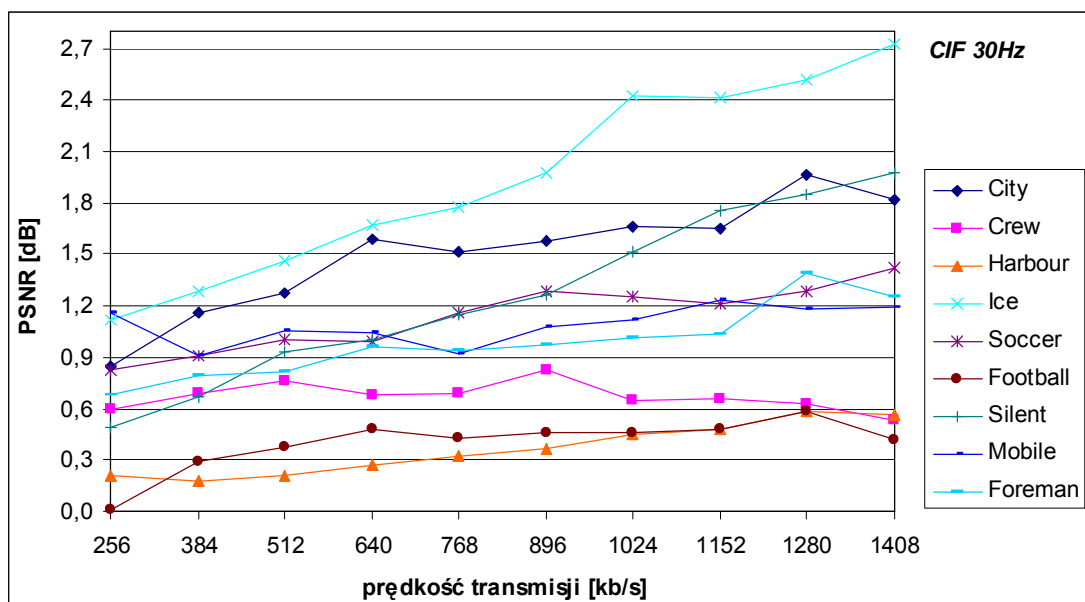
Rys. 5.15. Przyrost wartości współczynnika PSNR dla schematu 3UUU w stosunku do schematu HUUU, CIF 30Hz [tabela D. 14, tabela D. 17]

Tab. 5.5. Przyrost wartości PSNR [dB] (uśrednionej dla dziesięciu badanych prędkości transmisji) dla schematu 3UUU w stosunku do schematu HUUU

Sekwencja	CIF 15Hz	CIF 30Hz	4CIF 30Hz
City	1,31	1,55	0,42
Crew	0,37	0,60	0,43
Harbour	0,23	0,33	0,06
Ice	1,96	2,76	2,66
Soccer	0,66	1,12	0,74
Football	0,04	0,45	—
Silent	1,66	2,10	—
Mobile	0,98	0,56	—
Foreman	0,97	1,37	—
<i>Średnio</i>	<i>0,91</i>	<i>1,21</i>	<i>0,86</i>

### 5.4.3. Opóźnienie o trzy obrazy

Dla założonego opóźnienia o trzy obrazy wykonano badania dla schematów kodowania: 33UU, HHUU oraz 5UUU. Najkorzystniejszym rozwiązaniem jest schemat 33UU, w dalszej kolejności 5UUU, zaś najmniej efektywny schemat HHUU. Dla wszystkich badanych sekwencji wizyjnych zanotowano wzrost PSNR (uśredniony dla dziesięciu badanych prędkości transmisji) o 0,85dB dla CIF 15Hz, 1,04dB dla CIF 30Hz oraz 0,85dB dla 4CIF 30Hz dla schematu 33UU w stosunku do schematu HHUU.



Rys. 5.16. Przyrost wartości współczynnika PSNR dla schematu 33UU w stosunku do schematu HHUU, CIF 30Hz [tabela D. 20, tabela D. 26]

Na rys. 5.16 przedstawiono przyrost wartości współczynnika PSNR dla schematu 33UU w stosunku do schematu HHUU dla rozdzielczości CIF 30Hz.

Obszerniejsze porównanie opisanych schematów kodowania w postaci graficznej, jak również zestawienie tabelaryczne wyników badań zostało zamieszczone w załączniku D (rys. D.13 do rys. D.18; tabela D.19 do D.27).

Obszerniejsze porównanie opisanych schematów kodowania w postaci graficznej, jak również zestawienie tabelaryczne wyników badań zostało zamieszczone w załączniku D (rys. D.13 do rys. D.18; tabela D.19 do D.27).



Tab. 5.6 zawiera zestawienie wartości PSNR (uśrednionej dla dziesięciu badanych prędkości transmisji) między badanymi schematami.

Obszerniejsze porównanie opisanych schematów kodowania w postaci graficznej, jak również zestawienie tabelaryczne wyników badań zostało zamieszczone w załączniku D (rys. D.13 do rys. D.18; tabela D.19 do D.27).

**Tab. 5.6. Przyrost wartości PSNR [dB] (uśrednionej dla dziesięciu badanych prędkości transmisji) dla schematu: a) 33UU w stosunku do schematu HHUU; b) 33UU w stosunku do schematu 5UUU**

Sekwencja	a)			b)		
	CIF 15Hz	CIF 30Hz	4CIF 30Hz	CIF 15Hz	CIF 30Hz	4CIF 30Hz
City	1,57	1,51	0,99	0,76	0,65	0,91
Crew	0,43	0,67	0,53	0,11	0,22	0,11
Harbour	0,25	0,36	0,27	0,47	0,53	0,19
Ice	1,47	1,94	1,59	0,31	0,37	0,25
Soccer	0,68	1,14	0,90	0,14	0,50	0,38
Football	0,00	0,40	–	-0,01	-0,04	–
Silent	1,05	1,26	–	0,31	0,34	–
Mobile	1,41	1,09	–	0,77	0,84	–
Foreman	0,83	0,98	–	0,37	0,36	–
<i>Średnio</i>	<i>0,85</i>	<i>1,04</i>	<i>0,85</i>	<i>0,36</i>	<i>0,42</i>	<i>0,37</i>

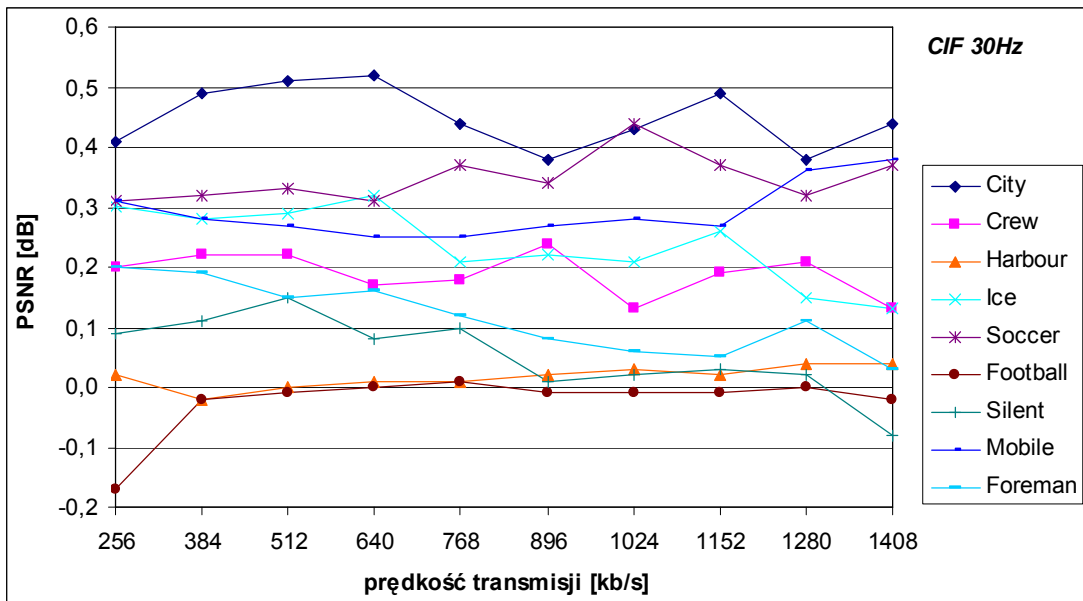
#### 5.4.4. Opóźnienie o pięć obrazów

Dla założonego opóźnienia o pięć obrazów wykonano badania dla schematów kodowania: 53UU oraz 5HUU. Najkorzystniejszym rozwiązaniem jest schemat 53UU. Dla większości badanych sekwencji wizyjnych zanotowano wzrost PSNR (uśredniony dla dziesięciu badanych prędkości transmisji) dla schematu 53UU o 0,21dB dla CIF 15Hz, 0,19dB dla CIF 30Hz oraz 0,23dB dla 4CIF 30Hz w stosunku do schematu 5HUU.

Na rys. 5.17 przedstawiono przyrost wartości współczynnika PSNR dla schematu 53UU w stosunku do schematu 5HUU dla rozdzielczości CIF 30Hz.

Tab. 5.7 zawiera zestawienie wartości PSNR (uśrednionej dla dziesięciu badanych prędkości transmisji) między badanymi schematami.

Obszerniejsze porównanie opisanych schematów kodowania w postaci graficznej, jak również zestawienie tabelaryczne wyników badań zostało zamieszczone w załączniku D (rys. D.19 do rys. D.21; tabela D.28 do D.33).



Rys. 5.17. Przyrost wartości współczynnika PSNR dla schematu 53UU w stosunku do schematu 5HUU, CIF 30Hz [tabela D. 29, tabela D. 32]

Tab. 5.7. Przyrost wartości PSNR [dB] (uśrednionej dla dziesięciu badanych prędkości transmisji) dla schematu 53UU w stosunku do schematu 5HUU

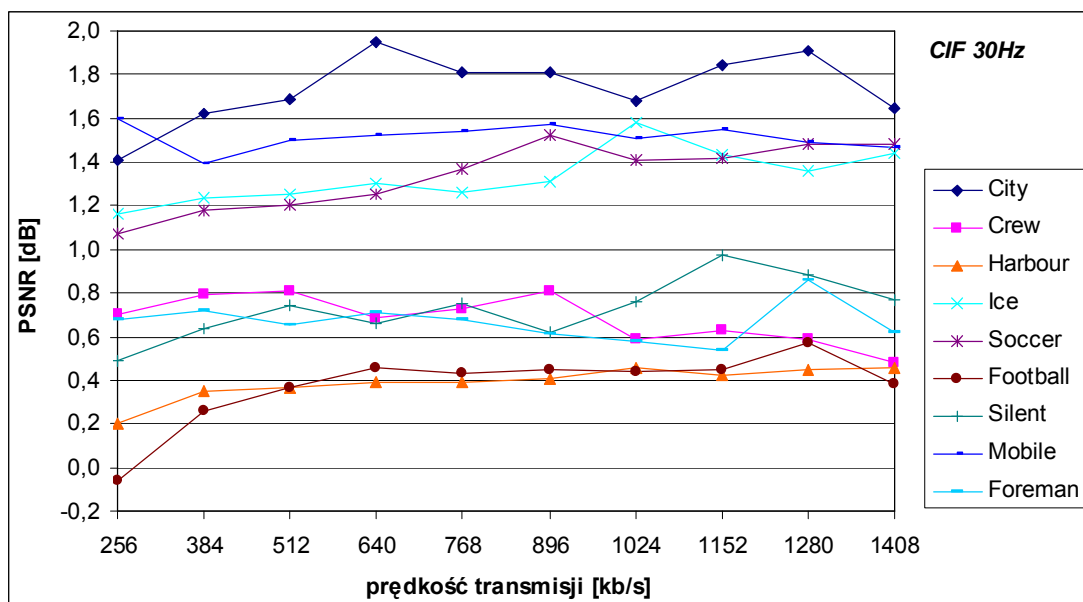
Sekwencja	CIF 15Hz	CIF 30Hz	4CIF 30Hz
City	0,59	0,45	0,64
Crew	0,18	0,19	0,19
Harbour	0,00	0,02	-0,02
Ice	0,27	0,24	0,10
Soccer	0,13	0,35	0,25
Football	0,00	-0,02	–
Silent	0,10	0,05	–
Mobile	0,44	0,29	–
Foreman	0,16	0,11	–

<i>Średnio</i>	<i>0,21</i>	<i>0,19</i>	<i>0,23</i>
----------------	-------------	-------------	-------------

#### 5.4.5. Opóźnienie o siedem obrazów

Dla założonego opóźnienia o siedem obrazów wykonano badania dla schematów kodowania: 333U, 33HU oraz HHHU. Najkorzystniejszym rozwiązaniem jest schemat 333U, w dalszej kolejności 33HU, zaś najmniej efektywny schemat HHHU.

Dla większości badanych sekwencji wizyjnych zanotowano wzrost PSNR (uśredniony dla dziesięciu badanych prędkości transmisji) o 0,14dB dla CIF 15Hz, 0,14dB dla CIF 30Hz oraz 0,16dB dla 4CIF 30Hz dla schematu 333U w stosunku do schematu HHHU.



**Rys. 5.18. Przyrost wartości współczynnika PSNR dla schematu 333U w stosunku do schematu HHHU, CIF 30Hz [tabela D. 35, tabela D. 41]**

Na rys. 5.18 przedstawiono przyrost wartości współczynnika PSNR dla schematu 333U w stosunku do schematu HHHU dla rozdzielczości CIF 30Hz.

Tab. 5.8 zawiera zestawienie wartości PSNR (uśrednionej dla dziesięciu badanych prędkości transmisji) między badanymi schematami.

Obszerniejsze porównanie opisanych schematów kodowania w postaci graficznej, jak również zestawienie tabelaryczne wyników badań zostało zamieszczone w załączniku D (rys. D.22 do rys. D.27; tabela D.34 do D.42).

**Tab. 5.8. Przyrost wartości PSNR [dB] (uśrednionej dla dziesięciu badanych prędkości transmisji) dla schematu: a) 333U w stosunku do schematu 33HU; b) 333U w stosunku do schematu HHHU**

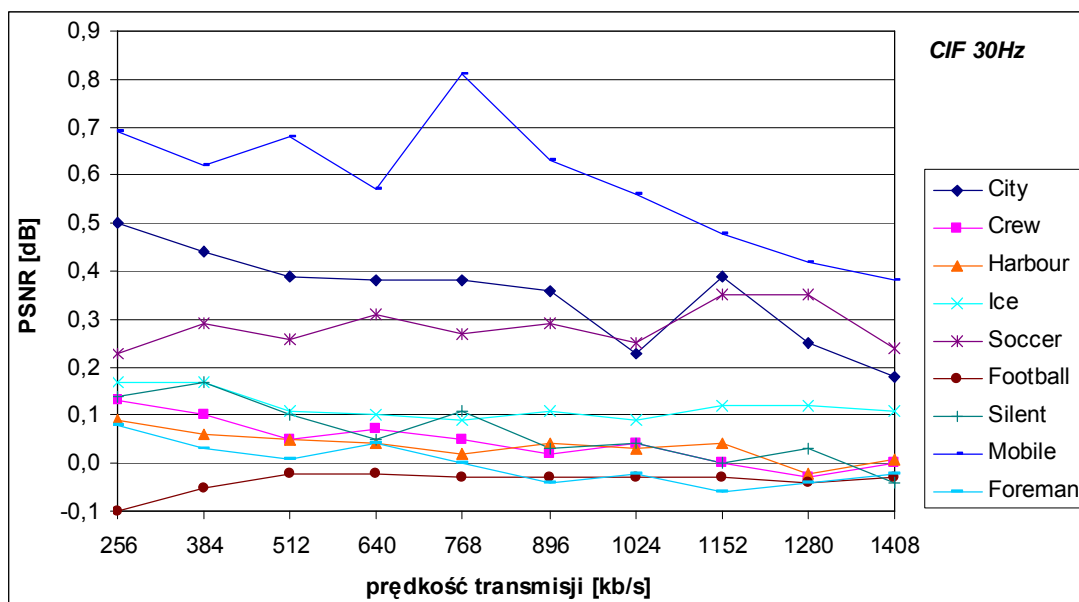
Sekwencja	a)			b)		
	CIF 15Hz	CIF 30Hz	4CIF 30Hz	CIF 15Hz	CIF 30Hz	4CIF 30Hz
City	0,38	0,40	0,35	1,88	1,74	1,49
Crew	-0,02	0,03	0,02	0,41	0,68	0,52
Harbour	0,06	0,02	0,18	0,31	0,39	0,34
Ice	0,07	0,13	0,11	1,12	1,33	0,90
Soccer	0,08	0,26	0,13	0,74	1,34	1,08
Football	0,00	-0,02	–	-0,01	0,38	–
Silent	0,03	0,06	–	0,69	0,73	–
Mobile	0,52	0,43	–	2,12	1,51	–
Foreman	0,12	-0,04	–	0,75	0,67	–
<i>Średnio</i>	<i>0,14</i>	<i>0,14</i>	<i>0,16</i>	<i>0,89</i>	<i>0,97</i>	<i>0,86</i>

#### 5.4.6. Opóźnienie o dziewięć obrazów

Dla założonego opóźnienia o dziewięć obrazów wykonano badania dla schematów kodowania: 533U, 53HU oraz 55UU. Najkorzystniejszym rozwiązaniem jest schemat 533U, w dalszej kolejności 53HU, zaś najmniej efektywny schemat 55UU. Dla większości badanych sekwencji wizyjnych zanotowano wzrost PSNR (uśredniony dla dziesięciu badanych prędkości transmisji) o 0,16dB dla CIF 15Hz, 0,16dB dla CIF 30Hz oraz 0,17dB dla 4CIF 30Hz dla schematu 533U w stosunku do schematu 53HU.

Na rys. 5.19 przedstawiono przyrost wartości współczynnika PSNR dla schematu 533U w stosunku do schematu 53HU dla rozdzielczości CIF 30Hz.

Tab. 5.9 zawiera zestawienie wartości PSNR (uśrednionej dla dziesięciu badanych prędkości transmisji) między badanymi schematami. Obszerniejsze porównanie opisanych schematów kodowania w postaci graficznej, jak również zestawienie tabelaryczne wyników badań zostało zamieszczone w załączniku D (rys. D.28 do rys. D.33; tabela D.43 do D.51).



Rys. 5.19. Przyrost wartości współczynnika PSNR dla schematu 533U w stosunku do schematu 53HU, CIF 30Hz [tabela D. 44, tabela D. 47]

Tab. 5.9. Przyrost wartości PSNR [dB] (uśrednionej dla dziesięciu badanych prędkości transmisji) dla schematu: a) 533U w stosunku do schematu 53HU; b) 533U w stosunku do schematu 55UU

Sekwencja	a)			b)		
	CIF 15Hz	CIF 30Hz	4CIF 30Hz	CIF 15Hz	CIF 30Hz	4CIF 30Hz
City	0,39	0,35	0,38	0,57	0,62	0,23
Crew	-0,03	0,04	0,02	-0,07	0,00	-0,05
Harbour	0,09	0,04	0,21	0,24	0,36	0,09
Ice	0,12	0,12	0,11	0,09	0,15	0,05
Soccer	0,11	0,28	0,14	0,13	0,25	0,05
Football	0,03	-0,04	–	-0,01	-0,08	–
Silent	0,04	0,06	–	0,18	0,23	–

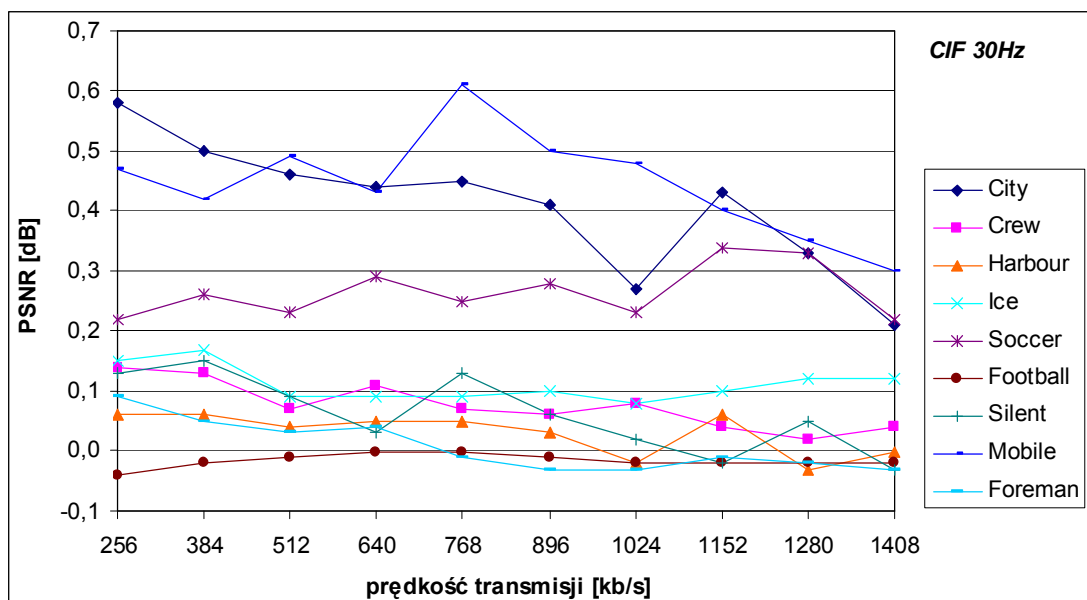
Mobile	0,61	0,58	–	0,90	0,82	–
Foreman	0,09	0,00	–	0,07	0,15	–
<i>Średnio</i>	<i>0,16</i>	<i>0,16</i>	<i>0,17</i>	<i>0,23</i>	<i>0,28</i>	<i>0,07</i>

#### 5.4.7. Opóźnienie o trzynaście obrazów

Dla założonego opóźnienia o trzynaście obrazów wykonano badania dla schematów kodowania: 553U oraz 55HU. Najkorzystniejszym rozwiązaniem jest schemat 553U, zanotowano średni wzrost efektywności kodowania dla schematu 553U o 0,14dB dla CIF 15Hz, 0,15dB dla CIF 30Hz oraz 0,18dB dla 4CIF 30Hz w stosunku do schematu 55HU.

Na rys. 5.20 przedstawiono przyrost wartości współczynnika PSNR dla schematu 553U w stosunku do schematu 55HU dla rozdzielczości CIF 30Hz. Tab. 5.10 zawiera zestawienie wartości PSNR (uśrednionej dla dziesięciu badanych prędkości transmisji) między badanymi schematami.

Obszerniejsze porównanie opisanych schematów kodowania w postaci graficznej, jak również zestawienie tabelaryczne wyników badań zostało zamieszczone w załączniku D (rys. D.34 do rys. D.36; tabela D.52 do D.57).



Rys. 5.20. Przyrost wartości współczynnika PSNR dla schematu 553U w stosunku do schematu 55HU, CIF 30Hz [tabela D. 53, tabela D. 56]

**Tab. 5.10. Przyrost wartości PSNR [dB] (uśrednionej dla dziesięciu badanych prędkości transmisji) dla schematu 553U w stosunku do schematu 55HU**

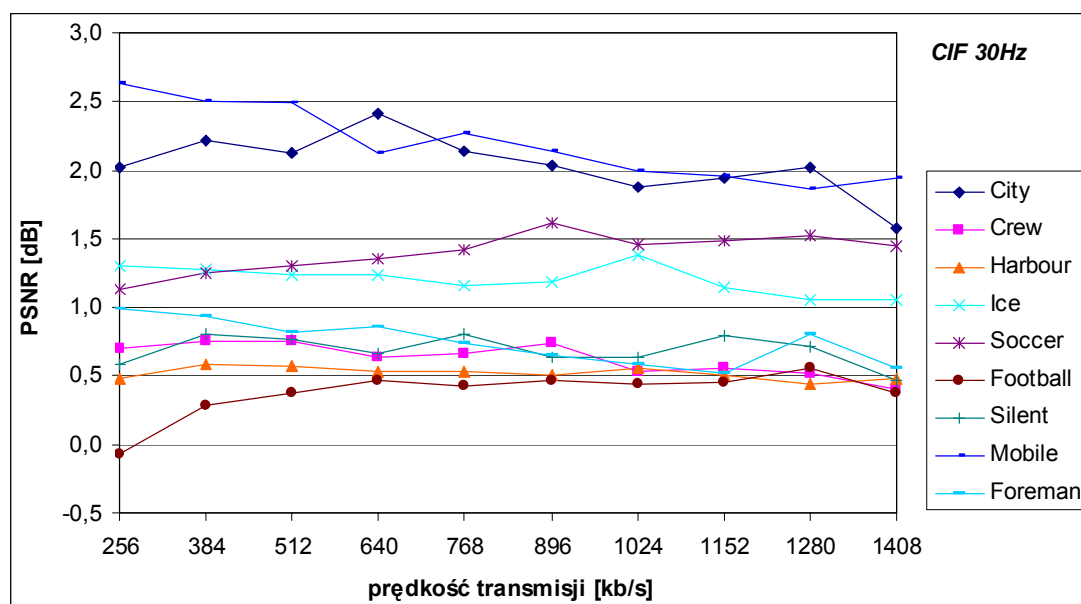
Sekwencja	CIF 15Hz	CIF 30Hz	4CIF 30Hz
City	0,38	0,41	0,43
Crew	-0,03	0,08	0,03
Harbour	0,05	0,03	0,16
Ice	0,12	0,11	0,13
Soccer	0,12	0,27	0,16
Football	0,00	-0,02	–
Silent	0,04	0,06	–
Mobile	0,56	0,45	–
Foreman	0,07	0,01	–
<i>Średnio</i>	<i>0,14</i>	<i>0,15</i>	<i>0,18</i>

#### 5.4.8. Opóźnienie o piętnaście obrazów

Dla założonego opóźnienia o piętnaście obrazów wykonano badania dla schematów kodowania: 3333, 33HH oraz HHHH. Najkorzystniejszym rozwiązaniem jest schemat 3333, w dalszej kolejności 33HH, zaś najmniej efektywny schemat HHHH. Dla większości badanych sekwencji wizyjnych zanotowano wzrost PSNR (uśredniony dla dziesięciu badanych prędkości transmisji) o 0,46dB dla CIF 15Hz, 0,55dB dla CIF 30Hz oraz 0,61dB dla 4CIF 30Hz dla schematu 3333 w stosunku do schematu 33HH.

Na rys. 5.21 przedstawiono przyrost wartości współczynnika PSNR dla schematu 3333 w stosunku do schematu HHHH dla rozdzielczości CIF 30Hz. Tab. 5.11 zawiera zestawienie wartości PSNR (uśrednionej dla dziesięciu badanych prędkości transmisji) między badanymi schematami.

Obszerniejsze porównanie opisanych schematów kodowania w postaci graficznej, jak również zestawienie tabelaryczne wyników badań zostało zamieszczone w załączniku D (rys. D.37 do rys. D.42; tabela D.58 do D.66).



Rys. 5.21. Przyrost wartości współczynnika PSNR dla schematu 3333 w stosunku do schematu HHHH, CIF 30Hz [tabela D. 59, tabela D. 65]

Tab. 5.11. Przyrost wartości PSNR [dB] (uśrednionej dla dziesięciu badanych prędkości transmisji) dla schematu: a) 3333 w stosunku do schematu 33HH; b) 3333 w stosunku do schematu HHHH

Sekwencja	a)			b)		
	CIF 15Hz	CIF 30Hz	4CIF 30Hz	CIF 15Hz	CIF 30Hz	4CIF 30Hz
City	0,99	1,10	1,40	2,14	2,04	2,14
Crew	-0,02	0,05	0,02	0,39	0,63	0,52
Harbour	0,54	0,66	0,69	0,41	0,52	0,50
Ice	0,30	0,41	0,43	1,09	1,20	0,77
Soccer	0,28	0,43	0,49	0,84	1,40	1,26
Football	0,00	0,01	–	-0,01	0,38	–
Silent	0,42	0,48	–	0,67	0,69	–
Mobile	1,34	1,39	–	2,70	2,19	–



Foreman	0,32	0,45	–	0,75	0,75	–
<i>Średnio</i>	<i>0,46</i>	<i>0,55</i>	<i>0,61</i>	<i>1,00</i>	<i>1,09</i>	<i>1,04</i>

## 5.5. Porównanie opisanych rozwiązań z innymi rozwiązaniami z literatury

Jak już wspomniano we wstępie, w ostatnich latach pojawiło się w literaturze światowej wiele rozwiązań służących redukcji opóźnienia kodowania spowodowanego filtracją w dziedzinie czasu w koderach falkowych [Pau05, Viéron05, Seran05, Li05a, Pau04a, Pau04b, Schwarz04a, Huang03a]. Proponowane rozwiązania polegają na usuwaniu pewnych kroków predykcji lub uaktualnienia odnoszącego się do obrazów przyszłych w celu uzyskania założonego opóźnienia kodowania. Przykładowo w pracach [Pau04a, Pau04b] badano efektywność kompresji z wykorzystaniem schematów kodowania SB, S3, S5 dla dwóch sekwencji wizyjnych (*Mobile*, *Foreman*) przy obniżonej wartości opóźnienia kodowania, nie uwzględniając jednak opóźnienia mogącego pojawić się po stronie dekodera. Praca [Schwarz04a] przedstawia rozwiązania redukujące opóźnienie kodowania powstające w falkowej analizie w dziedzinie czasu, odnosi się jednak do kodera hybrydowego H.264, gdzie zastosowano analizę falkową w dziedzinie czasu.

W pracy [Pau05] zaprezentowano wyniki badań eksperymentalnych dla czterech wariantów redukujących opóźnienie kodowania z wykorzystaniem schematów: S5, S3, SU, gdzie przebadano dwie sekwencje wizyjne w rozdzielczości CIF 30Hz *Football* i *Tempete*. Dlatego też bezpośrednie porównanie wyników z pracy [Pau05] oraz uzyskanych w niniejszej rozprawie możliwe jest jedynie dla sekwencji *Football*. Cztery rozwiązania tam zaprezentowane i przebadane w niniejszej pracy okazały się najbardziej efektywne (schematy: 533U, 33UU, 3UUU, UUUU) dla danych wartości przyjętego opóźnienia. Wartości współczynnika PSNR podane w pracy [Pau05] są o około 2,0-2,5dB mniejsze niż uzyskane z wykorzystaniem kodeka używanego w niniejszej rozprawie (dla sekwencji *Football*). Tendencje spadków wartości współczynnika PSNR uzyskane w [Pau05] oraz niniejszej pracy są zbieżne, większą obniżkę wartości PSNR obserwowano dla niższych prędkości transmisji przy

zmniejszającym się opóźnieniu kodowania, chociaż wyniki zaprezentowane w niniejszej pracy wskazują na nieco mniejszą utratę efektywności kompresji przy ograniczaniu opóźnienia w stosunku do [Pau05]. Wynikać to może z mniejszej ogólnej efektywności kompresji kodera wykorzystanego w omawianej pracy (niestety koder wykorzystany przez autorów cytowanej pracy nie jest powszechnie dostępny). Materiał eksperymentalny zaprezentowany w pracy [Pau05] jest stosunkowo skromny, przebadano dwie sekwencje wizyjne dla jednej rozdzielczości przestrzennej i czasowej oraz czterech prędkości transmisji.

W pracy [Li05a] podano założenia teoretyczne redukcji opóźnienia kodowania, nie przedstawiono wyników badań eksperymentalnych. Ciekawie przedstawiają się wyniki badania wpływu redukcji kroku uaktualnienia na efektywność kompresji kodera H.264 wykorzystującego MCTF w analizie czasowej [Schwarz04c]. Uzyskane wyniki wskazują na nieznaczny wzrost efektywności kompresji dla niektórych badanych sekwencji wizyjnych.

## **5.6. Ocena spadku efektywności kodowania przy zredukowanych opóźnieniach kodowania**

### **5.6.1. Spadek efektywności kodowania dla stałej prędkości transmisji**

Redukcja opóźnienia kodowania wymagająca zastosowania zmodyfikowanych schematów filtracji na pewnej liczbie poziomów falkowej filtracji w czasie nie pozostaje bez wpływu na efektywność kodowania sekwencji wizyjnych. W miarę redukcji opóźnienia kodowania zanotowano coraz większe spadki wartości współczynnika PSNR. W tab. 5.12, tab. 5.13, tab. 5.14 zestawiono średnie (dla dziesięciu badanych prędkości transmisji) spadki wartości PSNR dla najkorzystniejszych schematów filtracji przy zadanych opóźnieniach kodowania w stosunku do rozwiązania bez ograniczenia opóźnienia kodowania dla badanych formatów: CIF 15Hz, CIF 30Hz, 4CIF 30Hz. Do wyznaczenia wartości współczynnika PSNR bez ograniczenia opóźnienia kodowania wykorzystano schemat filtracji 5555 (filtry 5/3 na wszystkich poziomach dekompozycji czasowej) charakteryzujący się opóźnieniem o 45 obrazów.

**Tab. 5.12. Spadek wartości PSNR [dB] (uśredniony dla dziesięciu badanych prędkości transmisji) dla zadanych opóźnień kodowania w stosunku do rozwiązania bez ograniczenia kodowania, CIF 15 Hz**

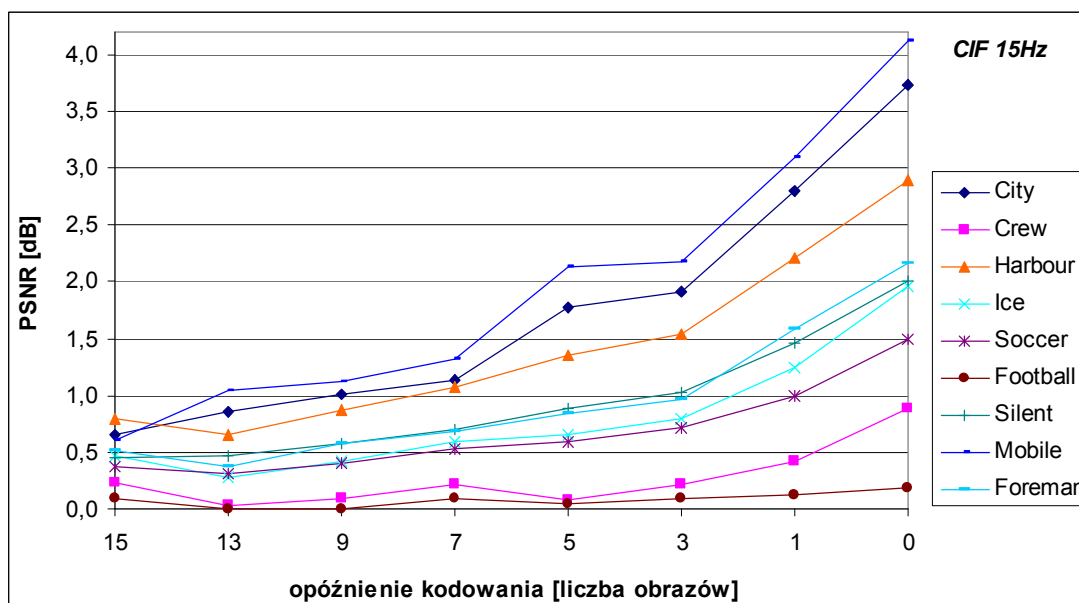
Sekwencja	Opóźnienie kodowania [liczba obrazów]							
	15	13	9	7	5	3	1	0
City	0,66	0,86	1,01	1,14	1,77	1,91	2,80	3,74
Crew	0,23	0,02	0,09	0,21	0,08	0,22	0,42	0,89
Harbour	0,80	0,65	0,86	1,08	1,36	1,54	2,22	2,90
Ice	0,46	0,28	0,42	0,59	0,66	0,79	1,25	1,96
Soccer	0,38	0,32	0,40	0,54	0,60	0,72	0,99	1,50
Football	0,10	-0,00	0,01	0,10	0,04	0,10	0,12	0,18
Silent	0,44	0,46	0,58	0,69	0,89	1,02	1,46	2,01
Mobile	0,61	1,05	1,12	1,32	2,14	2,18	3,09	4,12
Foreman	0,51	0,37	0,57	0,69	0,85	0,96	1,58	2,15
<i>Średnio</i>	0,47	0,45	0,56	0,71	0,93	1,05	1,55	2,16

**Tab. 5.13. Spadek wartości PSNR [dB] (uśredniony dla dziesięciu badanych prędkości transmisji) dla zadanych opóźnień kodowania w stosunku do rozwiązania bez ograniczenia kodowania, CIF 30 Hz**

Sekwencja	Opóźnienie kodowania [liczba obrazów]							
	15	13	9	7	5	3	1	0
City	0,71	1,00	1,19	1,32	1,95	2,16	2,98	3,96
Crew	0,35	0,00	0,14	0,30	0,26	0,41	0,77	1,47
Harbour	0,89	0,85	1,07	1,28	1,66	1,86	2,61	3,36
Ice	0,57	0,41	0,56	0,75	0,87	1,06	1,61	2,55
Soccer	0,48	0,37	0,49	0,63	0,88	1,00	1,60	2,45
Football	0,20	0,02	0,12	0,21	0,11	0,21	0,28	0,79
Silent	0,44	0,51	0,63	0,76	1,02	1,15	1,66	2,29
Mobile	0,65	1,13	1,19	1,54	2,21	2,33	3,35	4,33
Foreman	0,60	0,54	0,72	0,91	1,04	1,21	1,80	2,50
<i>Średnio</i>	0,55	0,54	0,68	0,86	1,11	1,26	1,85	2,63

**Tab. 5.14. Spadek wartości PSNR [dB] (uśredniony dla dziesięciu badanych prędkości transmisji) dla zadanych opóźnień kodowania w stosunku do rozwiązania bez ograniczenia kodowania, 4CIF 30 Hz**

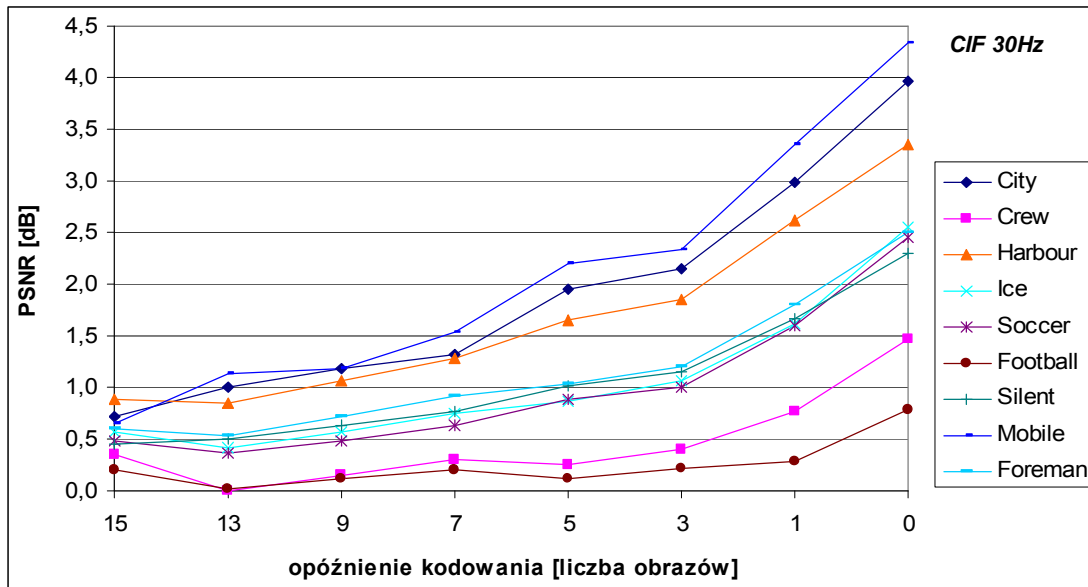
Sekwencja	Opóźnienie kodowania [liczba obrazów]							
	15	13	9	7	5	3	1	0
City	0,73	1,01	1,17	1,38	1,94	2,13	3,20	3,89
Crew	0,23	0,01	0,09	0,23	0,11	0,25	0,48	1,05
Harbour	0,75	0,60	0,86	1,08	1,40	1,62	2,28	3,04
Ice	0,46	0,35	0,49	0,68	0,80	0,99	1,46	2,16
Soccer	0,47	0,38	0,50	0,67	0,82	0,97	1,54	2,35
Średnio	0,53	0,47	0,62	0,81	1,01	1,19	1,79	2,50



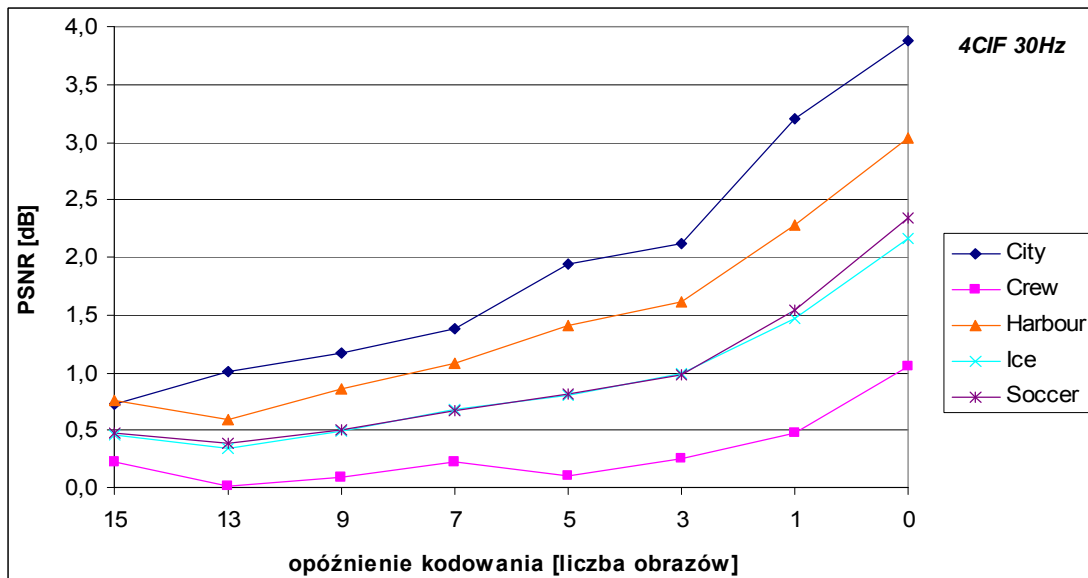
**Rys. 5.22. Spadek wartości PSNR [dB] (uśredniony dla dziesięciu badanych prędkości transmisji) dla zadanych opóźnień kodowania w stosunku do rozwiązania bez ograniczenia opóźnienia kodowania, CIF 15 Hz [załącznik D]**

Najmniejszy spadek efektywności kodowania zaobserwowano w przypadku sekwencji *Football*, wartość współczynnika PSNR spadła średnio o 0,79dB (dla dziesięciu badanych prędkości transmisji) przy zerowym opóźnieniu kodowania, zaś największy spadek wartości współczynnika PSNR wystąpił dla sekwencji *Mobile*, średnio o 4,33dB. Dla wszystkich badanych sekwencji najmniejszą efektywność kodowania zanotowano dla zerowego opóźnienia kodowania.

Na rys. 5.22, rys. 5.23, rys. 5.24 i przedstawiono w formie graficznej średnie spadki wartości współczynnika PSNR dla zadanych opóźnień kodowania w stosunku do rozwiązania bez ograniczenia kodowania dla rozdzielczości: CIF 15Hz, CIF 30Hz, 4CIF 30Hz.



Rys. 5.23. Spadek wartości PSNR [dB] (uśredniony dla dziesięciu badanych prędkości transmisji) dla zadanych opóźnień kodowania w stosunku do rozwiązania bez ograniczenia opóźnienia kodowania, CIF 30 Hz [załącznik D]



Rys. 5.24. Spadek wartości PSNR [dB] (uśredniony dla dziesięciu badanych prędkości transmisji) dla zadanych opóźnień kodowania w stosunku do rozwiązania bez ograniczenia opóźnienia kodowania, 4CIF 30 Hz [załącznik D]

Warto zwrócić uwagę, że dla większości sekwencji (*Crew, Harbour, Ice, Soccer, Football, Foreman*) zanotowano większą efektywność kodowania dla schematu 553U (opóźnienie o 13 obrazów) w stosunku do schematu 3333 (opóźnienie o 15 obrazów). Zaobserwowano również dość gwałtowne obniżenie efektywności kodowania przy całkowitym opóźnieniu o jeden obraz lub zero obrazów.

Obrazy sekwencji *City* oraz *Football* dla poszczególnych wartości opóźnień kodowania przedstawiono na rys. 5.26 i rys. 5.27.

Graficzne porównanie efektywności kompresji dla wszystkich badanych sekwencji wizyjnych, rozdzielczości i opóźnień kodowania w innej reprezentacji przedstawiono w załączniku D (rys. D.43 do rys. D.65).

### **5.6.2. Przyrost strumienia bitowego dla stałej jakości kodowania**

W poprzednim podpunkcie zaprezentowano wyniki przedstawiające spadki efektywności kodowania przy zredukowanych opóźnieniach mierzone wartością współczynnika PSNR. Obecnie zaprezentowane zostaną wyniki widziane z innej perspektywy. Dla stałej jakości kompresji sekwencji wizyjnych (mierzonej współczynnikiem PSNR) wyznaczono procentowy przyrost prędkości transmisji, który zapewnia osiągnięcie jednakowej wartości współczynnika PSNR niezależnie od opóźnienia kodowania. Jako punkt odniesienia przyjęto wartość współczynnika PSNR uzyskanego w schemacie bez ograniczenia opóźnienia (schemat 5555, opóźnienie o 45 obrazów), indywidualnie dla każdej testowej sekwencji wizyjnej przy prędkości transmisji:

- 256 kb/s dla CIF 15Hz,
- 512 kb/s dla CIF 30Hz,
- 1152 kb/s dla 4CIF 30Hz.

Prędkość transmisji przy zadanej wartości PSNR dla kolejnych wartości opóźnień wyznaczano poprzez interpolację liniową, wykorzystując do tego celu dwie najbardziej zbliżone do punktu odniesienia wartości współczynnika PSNR. Wyniki wykonanych obliczeń przedstawiono w tab. 5.15, tab. 5.16, tab. 5.17 odpowiednio dla rozdzielczości CIF 15Hz, CIF 30Hz oraz 4CIF 30Hz.

**Tab. 5.15. Procentowy przyrost prędkości transmisji dla stałej wartości współczynnika PSNR i założonego opóźnienia kodowania, CIF 15 Hz**

Sekwencja	Przyrost prędkości transmisji [%] / Opóźnienie kodowania							
	15	13	9	7	5	3	1	0
City	14,6%	21,7%	24,5%	27,2%	43,0%	46,1%	75,7%	116,7%
Crew	6,9%	1,2%	3,1%	6,7%	3,9%	7,5%	14,3%	29,0%
Harbour	26,5%	23,6%	29,4%	35,2%	43,6%	48,8%	79,2%	115,0%
Ice	9,6%	6,1%	9,2%	12,0%	13,8%	16,3%	25,4%	39,8%
Soccer	9,0%	7,4%	9,3%	12,7%	14,1%	16,7%	22,5%	37,3%
Football	2,7%	-0,2%	0,0%	2,7%	0,8%	2,4%	3,3%	5,0%
Silent	7,4%	8,3%	10,0%	11,8%	15,9%	18,1%	26,5%	41,0%
Mobile	13,4%	28,9%	30,1%	36,3%	65,0%	67,8%	105,0%	152,9%
Foreman	13,7%	10,8%	16,2%	19,0%	23,9%	27,1%	48,9%	64,5%
<i>Średnio</i>	<i>11,5%</i>	<i>12,0%</i>	<i>14,7%</i>	<i>18,2%</i>	<i>24,9%</i>	<i>27,9%</i>	<i>44,5%</i>	<i>66,8%</i>

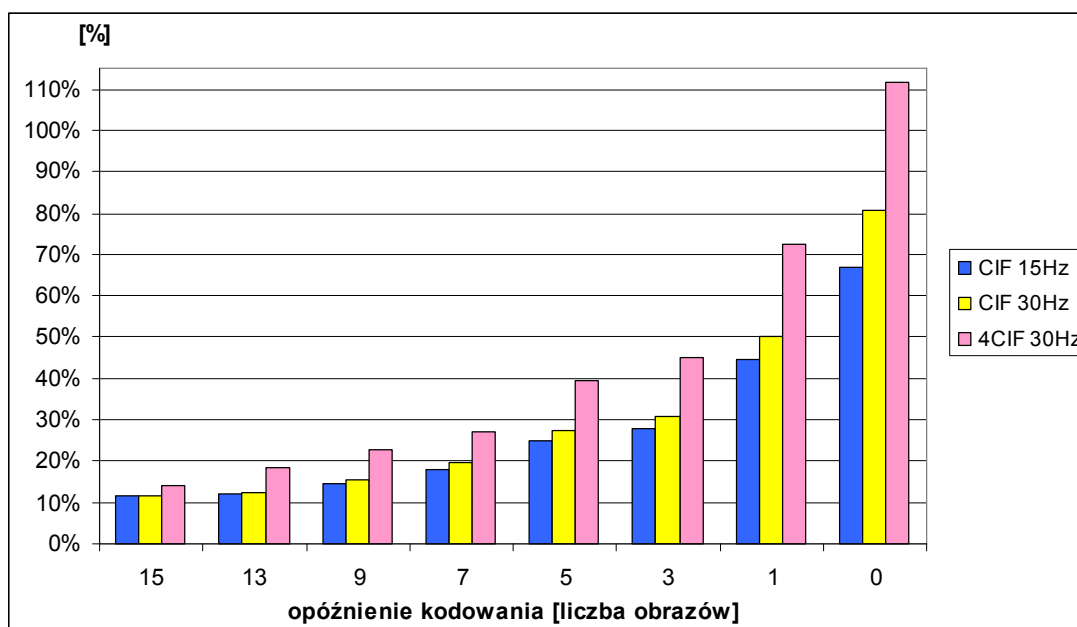
**Tab. 5.16. Procentowy przyrost prędkości transmisji dla stałej wartości współczynnika PSNR i założonego opóźnienia kodowania, CIF 30 Hz**

Sekwencja	Przyrost prędkości transmisji [%] / Opóźnienie kodowania							
	15	13	9	7	5	3	1	0
City	12,0%	21,3%	24,6%	27,7%	45,7%	51,4%	80,6%	128,4%
Crew	8,9%	0,3%	3,6%	7,3%	7,5%	11,0%	22,6%	47,2%
Harbour	22,2%	22,9%	28,9%	34,7%	48,4%	55,2%	88,7%	128,1%
Ice	10,2%	7,9%	10,3%	12,8%	15,0%	17,9%	28,5%	49,3%
Soccer	9,4%	7,7%	10,0%	13,1%	18,8%	21,5%	36,4%	61,8%
Football	4,7%	0,8%	3,1%	5,0%	3,3%	5,5%	8,2%	22,4%
Silent	6,6%	8,6%	10,2%	11,9%	16,7%	18,8%	28,2%	42,9%
Mobile	17,6%	31,6%	33,4%	43,3%	67,1%	70,1%	111,4%	170,6%
Foreman	12,5%	12,4%	16,0%	20,4%	23,6%	28,2%	46,6%	73,8%
<i>Średnio</i>	<i>11,6%</i>	<i>12,6%</i>	<i>15,6%</i>	<i>19,6%</i>	<i>27,4%</i>	<i>31,1%</i>	<i>50,1%</i>	<i>80,5%</i>

**Tab. 5.17. Procentowy przyrost prędkości transmisji dla stałej wartości współczynnika PSNR i założonego opóźnienia kodowania, 4CIF 30 Hz**

Sekwencja	Przyrost prędkości transmisji [%] / Opóźnienie kodowania							
	15	13	9	7	5	3	1	0
City	24,6%	51,2%	56,3%	62,8%	103,4%	113,4%	180,1%	253,3%
Crew	5,7%	0,3%	2,5%	5,7%	4,2%	8,2%	19,2%	40,9%
Harbour	19,9%	17,9%	27,0%	32,0%	45,3%	52,0%	79,0%	121,3%
Ice	11,8%	9,5%	12,7%	16,7%	20,1%	24,2%	36,7%	62,3%
Soccer	9,2%	12,6%	15,4%	18,9%	25,5%	28,5%	46,9%	80,2%
<i>Średnio</i>	<i>14,2%</i>	<i>18,3%</i>	<i>22,8%</i>	<i>27,2%</i>	<i>39,7%</i>	<i>45,2%</i>	<i>72,4%</i>	<i>111,6%</i>

Na rys. 5.25 przedstawiono w formie graficznej procentowy przyrost prędkości transmisji (uśredniony dla wszystkich badanych sekwencji) dla stałej wartości współczynnika PSNR i założonego opóźnienia kodowania.



**Rys. 5.25. Procentowy przyrost prędkości transmisji (uśredniony po wszystkich badanych sekwencjach) dla stałej wartości współczynnika PSNR i założonego opóźnienia kodowania względem rozwiązania bez ograniczenia opóźnienia**

W miarę ograniczania opóźnienia kodowania zwiększa się wielkość strumienia bitowego niezbędnego do uzyskania stałej jakości kompresji. Ponadto przyrost wielkości strumienia bitowego nieco się zwiększ przy wzroście rozdzielczości



przestrzennej i czasowej sekwencji. Procentowy wzrost prędkości transmisji w miarę ograniczania opóźnienia jest stosunkowo płynny dla opóźnień z zakresu od piętnastu do trzech obrazów. Przy opóźnieniu o jeden lub zero obrazów następuje nieco gwałtowniejszy procentowy przyrost wymaganej prędkości transmisji zapewniający stałą wartość współczynnika PSNR.

## 5.7. Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań eksperymentalnych można wyróżnić te schematy kodowania, które charakteryzują się największą efektywnością kodowania dla większości badanych sekwencji wizyjnych przy ustalonej wartości całkowitego opóźnienia kodowania. Tab. 5.18 przedstawia zestawienie opisanych w tym rozdziale wariantów filtracji w dziedzinie czasu. Rozwiązania najkorzystniejsze oznaczono jako wariant I, rozwiązania najmniej korzystne jako wariant III.

**Tab. 5.18. Zestawienie badanych wariantów filtracji w dziedzinie czasu**

Opóźnienie całkowite [liczba obrazów]	Wariant I	Wariant II	Wariant III
0	UUUU	UBBB	BBBB
1	3UUU	HUUU	–
3	33UU	5UUU	HHUU
5	53UU	5HUU	–
7	333U	33HU	HHHU
9	533U	53HU	55UU
13	553U	55HU	–
15	3333	33HH	HHHH

Mając na względzie uzyskanie możliwie dużej efektywności kompresji można podać ogólną zasadę doboru schematów analizy falkowej w dziedzinie czasu. W pierwszej kolejności należy korzystać ze schematu S5, który charakteryzuje się największą efektywnością kodowania. Jeżeli wartość założonego opóźnienia kodowania jest zbyt duża przy zastosowaniu schematu S5, należy w kolejnym kroku

skorzystać ze schematu S3. Jeżeli nadal wartość uzyskanego opóźnienia kodowania jest zbyt duża należy zastosować schemat kodowania SU. Ze względu na gorsze wyniki efektywności kompresji dla schematów SB oraz SP w stosunku do innych rozwiązań charakteryzujących się identycznymi wartościami opóźnienia kodowania, nie zaleca się stosowania tych schematów kodowania. Podsumowując w celu uzyskania najkorzystniejszych rezultatów zaleca się stosować:

- w pierwszej kolejności schemat S5,
- jako drugi schemat S3,
- jako trzeci schemat SU.

Ponadto ze względu na stosunkowo duży spadek wartości współczynnika PSNR dla opóźnienia jednego obrazu oraz braku opóźnienia nie zaleca się wykorzystywać schematów 3UUU oraz UUUU.

Warto również zwrócić uwagę na stosunkowo niewielkie różnice w efektywności kodowania dla schematów:

- 53UU i 5HUU (opóźnienie 5 obrazów),
- 333U i 33HU (opóźnienie 7 obrazów),
- 533U i 53HU (opóźnienie 9 obrazów),
- 553U i 55HU (opóźnienie 13 obrazów).

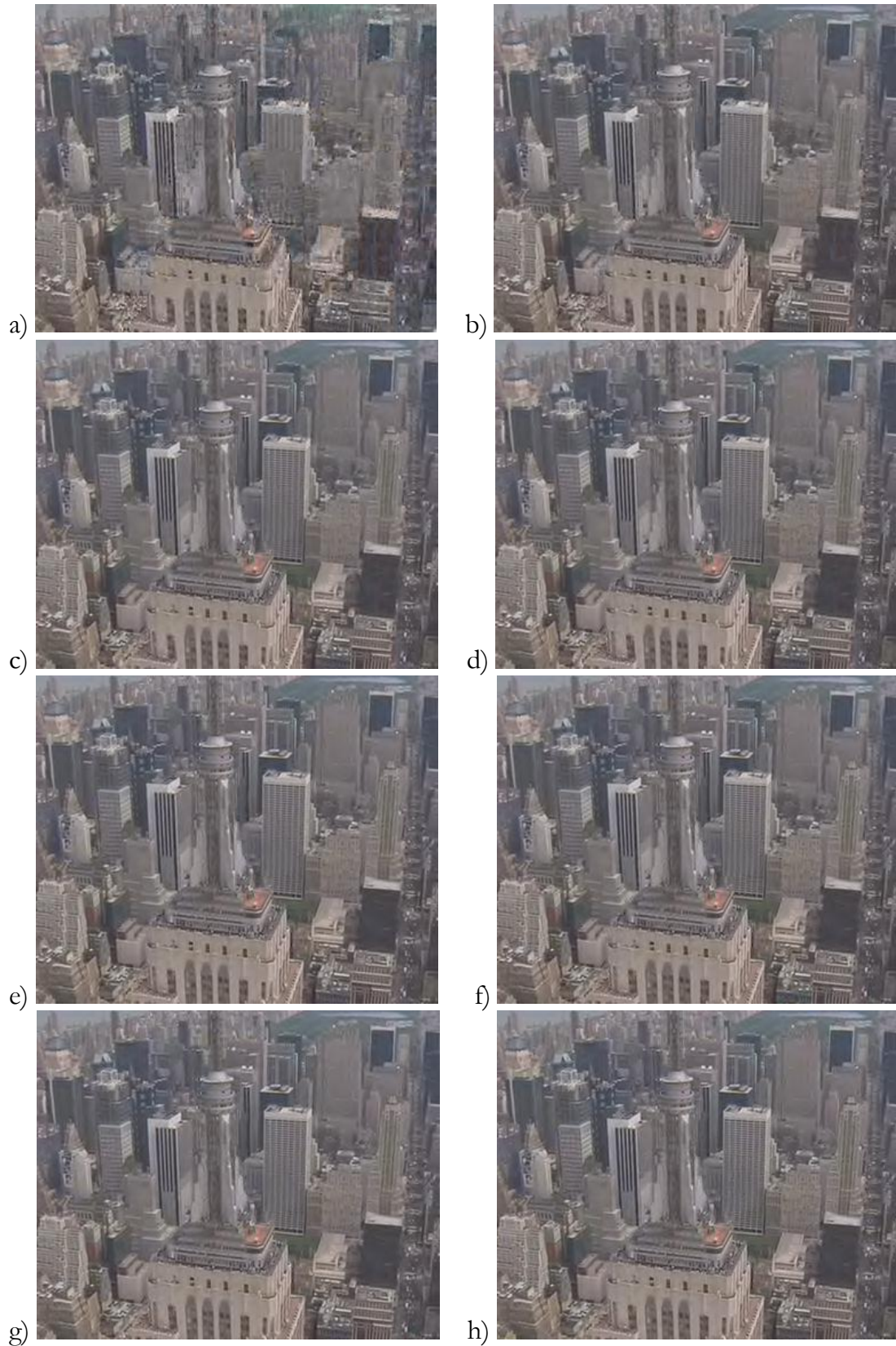
Schematy o mniejszej efektywności kodowania posiadają mniejszy nakład obliczeniowy, wynikający z konieczności znalezienia mniejszej liczby zestawów wektorów ruchu, co może być istotne w pewnych przypadkach.

Wykresy z rys. 5.22, rys. 5.23, rys. 5.24, które pokazują jak przeciętnie po uśrednieniu w szerokim zakresie prędkości transmisji warunki ograniczenia wielkości opóźnienia kodowania wpływają na pogorszenie jakości dekodowanej sekwencji wizyjnej przy zastosowaniu optymalnego schematu analizy i syntezy falkowej.

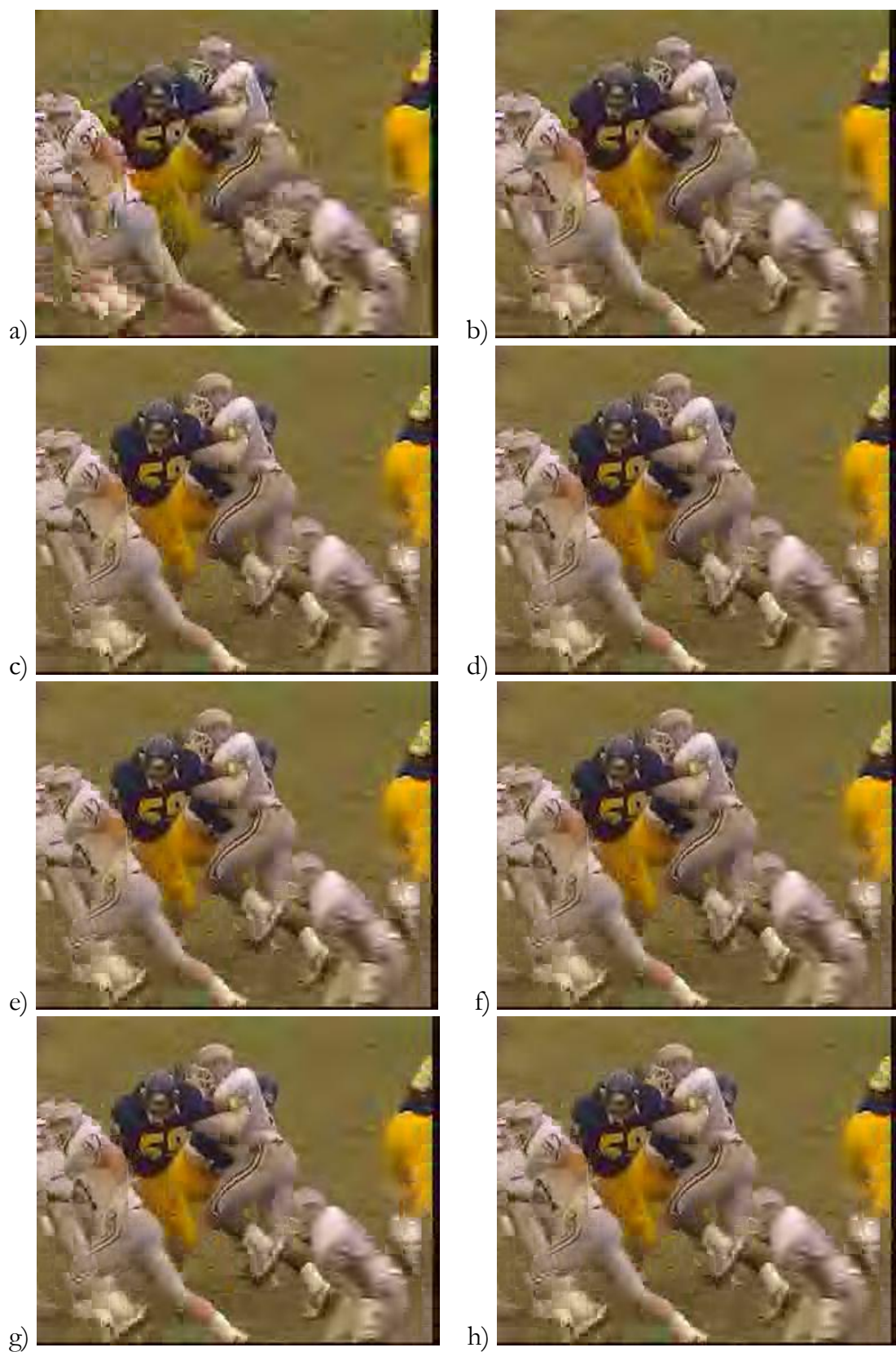
Analogicznie tab. 5.15, tab. 5.16, tab. 5.17 podają wartości względnego wzrostu prędkości transmisji implikowanego przez narzucenie warunku ograniczającego dopuszczalne opóźnienia kodowania.

Wnioskiem z tych wyników jest rys. 5.25, który podaje uśrednione po dziewięciu sekwencjach i dziesięciu prędkościach transmisji względne przyrosty prędkości

transmisji. Te dane mają charakter uniwersalny, choć orientacyjny. Można na ich podstawie szacować nieunikniony przyrost prędkości transmisji wynikający z narzucenia ograniczenia na opóźnienia kodowania.



Rys. 5.26. Obrazy sekwencji *City* dla opóźnień: a) brak opóźnienia, b) o jeden obraz, c) o trzy obrazy, d) o pięć obrazów, e) o siedem obrazów, f) o dziewięć obrazów, g) o trzynaście obrazów, h) o piętnaście obrazów; CIF 15Hz, 256 kb/s



Rys. 5.27. Obrazy sekwencji *Football* dla opóźnień: a) brak opóźnienia, b) o jeden obraz, c) o trzy obrazy, d) o pięć obrazów, e) o siedem obrazów, f) o dziewięć obrazów, g) o trzynaście obrazów, h) o piętnaście obrazów; CIF 15Hz, 256 kb/s



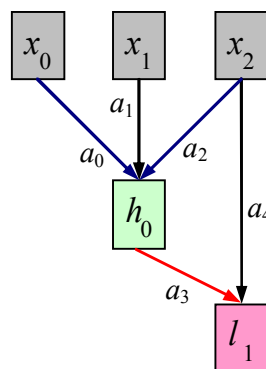
## 6. Modyfikacja wartości współczynników dla filtrów 5/3 pozbawionych kroku uaktualnienia

### 6.1. Wprowadzenie

Pomijanie zarówno kroku predykcji jak i uaktualnienia powoduje zmianę charakterystyk częstotliwościowych filtrów stosowanych w analizie czasowej. Wykorzystanie struktur filtru drabinkowego do przeprowadzenia filtracji w dziedzinie czasu gwarantuje spełnienie warunków idealnej rekonstrukcji bez względu na postać operatora predykcji i uaktualnienia. Oznacza to, że niezależnie od rodzaju użytych filtrów schemat przetwarzania jest zawsze odwracalny, czyli spełnia warunki (2.2) i (2.3).

Mając powyższe na uwadze postanowiono zbadać jak zmiany wartości współczynników dla zmodyfikowanych filtrów 5/3 pozbawionych kroku uaktualnienia wpływają na efektywność kompresji sekwencji wizyjnych. Na rys. 6.1 przedstawiono oznaczenia współczynników filtru dla analizowanego schematu filtracji S3. Pierwotnie współczynniki te przyjmują wartości:

$$a_0 = 0,5, \quad a_1 = 1,0, \quad a_2 = 0,5, \quad a_3 = 0,5, \quad a_4 = 1,0.$$



Rys. 6.1. Oznaczenie współczynników filtrów dla schematu S3

## 6.2. Kryteria doboru współczynników

Wartości współczynników  $a_0$ ,  $a_1$  i  $a_2$  są ściśle ze sobą powiązane, ich suma powinna wynosić zero. Przy spełnieniu tego warunku wartości próbek składowej  $h_0$  (rys. 6.1) przy dokładnej predykcji będą również zerowe, co pozytywnie wpływa na efektywność kompresji. Ponadto założono, że wartości współczynników  $a_0$  i  $a_2$  powinny być sobie równe (ze względu na wykonywaną dwukierunkową predykcję w tym schemacie analizy). Ostatecznie przyjęto że:

- $a_0 + a_1 + a_2 = 0$ ,
- $a_0 = a_2 = 0,5 \cdot a_1$ ,
- $|H_0(\pi)| = 0$ ,
- $|H_1(0)| = 0$ .

Ponieważ współczynniki  $a_0$ ,  $a_1$  i  $a_2$  są zależne względem siebie dokonywano zmian wartości tylko dla trzech współczynników:  $a_1$ ,  $a_3$  oraz  $a_4$ .

## 6.3. Uzyskane wyniki badań eksperymentalnych

Wstępne badania eksperymentalne wykazały, że zbyt duże zmiany wartości współczynników prowadzą do pogorszenia efektywności kompresji. Dlatego przyjęto, że współczynniki po modyfikacji nie mogą się różnić o więcej niż 10% w stosunku do pierwotnej wartości danego współczynnika. Największą efektywność kompresji uzyskano dla współczynników o wartości:

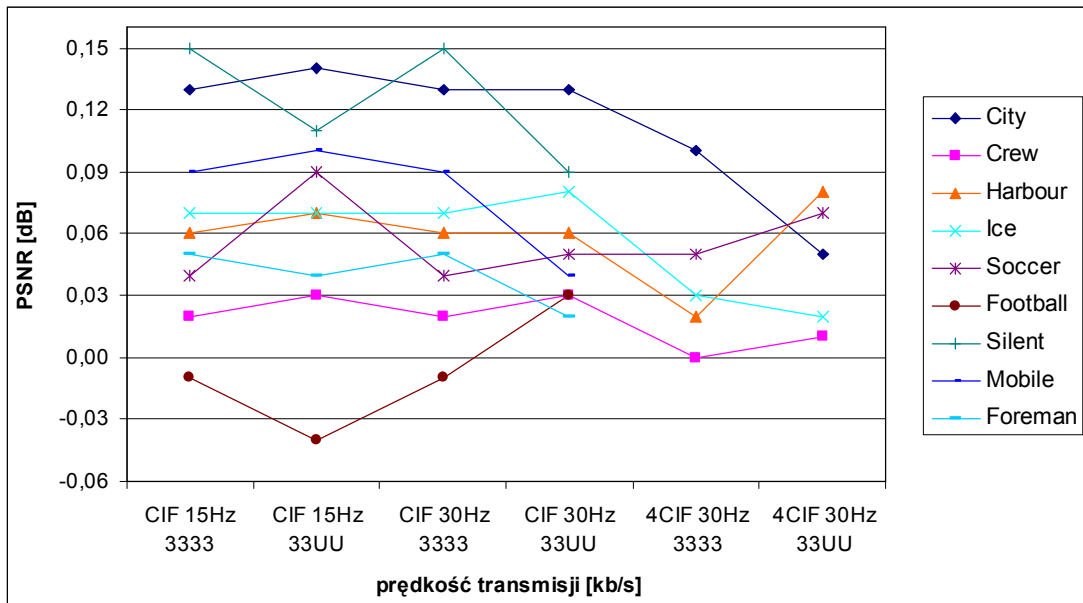
- $a_0 = 0,475$ ,
- $a_1 = 0,95$ ,
- $a_2 = 0,475$ ,
- $a_3 = 0,55$ ,
- $a_4 = 1,05$ .

Badania eksperymentalne przeprowadzono dla niezmiennej długości GOP składającej się z szesnastu obrazów, co oznacza wykonywanie filtracji dla czterech

poziomów dekompozycji w dziedzinie czasu. Wykorzystano testowe sekwencje wizyjne wymienione w tab. 1.1 dla prędkości transmisji oraz rozdzielczości przestrzennych i czasowych zawartych w tab. 4.1 (warunki przeprowadzonych badań były takie same jak w rozdziale 5).

Badania ze zmienionymi wartościami wyliczonych współczynników przeprowadzono dla dwóch schematów kodowania 3333 oraz 33UU. Zanotowano nieznaczny wzrost efektywności kompresji. Największy średni wzrost (dla dziesięciu badanych prędkości transmisji) współczynnika PSNR wyniósł 0,15dB dla sekwencji *Silent*. Jedynie w przypadku sekwencji *Football* wartość współczynnika PSNR obniżyła się o 0,04dB. Na rys. 6.2 oraz w tab. 6.1 przedstawiono w postaci graficznej oraz tabelarycznej średnie przyrosty (dla dziesięciu badanych prędkości transmisji) współczynnika PSNR przy zastosowaniu zmodyfikowanych współczynników.

Zestawienie tabelaryczne wyników badań zostało zamieszczone w załączniku E (tabele E.1 do E.6).



**Rys. 6.2. Średni (dla dziesięciu badanych prędkości transmisji) wzrost wartości współczynnika PSNR dla zmodyfikowanych współczynników i schematów kodowania 3333 oraz 33UU [tabela E.1 do tabela E. 6, tabela D. 58 do tabela D. 60, tabela D. 19 do tabela D. 21]**



**Tab. 6.1. Średni (dla dziesięciu badanych prędkości transmisji) przyrost wartości PSNR [dB] przy zmodyfikowanych współczynnikach dla schematu kodowania 3333 oraz 33UU**

Sekwencja	Rozmiar testowej sekwencji wizyjnej / Schemat kodowania					
	CIF 15Hz		CIF 30Hz		4CIF 30Hz	
	3333	33UU	3333	33UU	3333	33UU
City	0,13	0,14	0,13	0,13	0,10	0,05
Crew	0,02	0,03	0,02	0,03	0,00	0,01
Harbour	0,06	0,07	0,06	0,06	0,02	0,08
Ice	0,07	0,07	0,07	0,08	0,03	0,02
Soccer	0,04	0,09	0,04	0,05	0,05	0,07
Football	-0,01	-0,04	-0,01	0,03	–	–
Silent	0,15	0,11	0,15	0,09	–	–
Mobile	0,09	0,10	0,09	0,04	–	–
Foreman	0,05	0,04	0,05	0,02	–	–

#### 6.4. Wnioski

Wykonanie optymalizacji, w której maksymalizuje się wskaźnik jakości, np. określony jako średnia wartość współczynnika PSNR dla pewnego zbioru sekwencji i czterech poziomów falkowej analizy w czasie ( $k=4$ ) jest niezwykle pracochłonne. Dlatego w rozprawie nie dokonano pełnej takiej optymalizacji. Opisana uproszczona optymalizacja, dokonana w zakresie zmian wartości współczynników  $\pm 10\%$ , pozwoliła na znalezienie przykładowego, innego zestawu współczynników.

Wykazano, że nowe wartości współczynników prowadzą do niewielkiej poprawy efektywności kompresji sekwencji wizyjnych. To wskazuje, że dalsza poprawa efektywności kompresji dla systemów o ograniczonych wartościach opóźnienia jest możliwa przez optymalizację wartości współczynników.

## 7. Podsumowanie

Badania zaprezentowane w niniejszej pracy skupiają się na porównaniu technik falkowej kompresji sekwencji wizyjnych dla niewielkich opóźnień kodowania. Skoncentrowano się na dominujących opóźnieniach powstających w wyniku wykonywania falkowej analizy i syntezy w dziedzinie czasu, pomijając opóźnienia wynikające z konieczności przetworzenia i przesłania danych. Zaprezentowano wiele schematów przetwarzania sekwencji wizyjnych ograniczających lub całkowicie redukujących opóźnienie kodowania, wskazano rozwiązania najkorzystniejsze dla założonego opóźnienia kodowania.

Celem pracy było:

- systematyczne porównanie różnych możliwych sposobów ograniczania opóźnień powstających w zespołach filtrów z kompensacją ruchu stosowanych dla subpasmowej analizy i syntezy w dziedzinie czasu w trójwymiarowych falkowych koderach wizyjnych,
- wybór najlepszej techniki redukcji opóźnienia, która powoduje możliwie najmniejszą utratę efektywności kodowania,
- zbadanie wpływu ograniczenia opóźnienia kodowania na efektywność kompresji sekwencji wizyjnych kodowanych koderami falkowymi wykorzystującymi analizę w dziedzinie czasu.

Teza pracy mówi, że eliminacja kroku uaktualnienia w filtracji z kompensacją ruchu jest najbardziej efektywną metodą redukcji opóźnienia wprowadzanego przez trójwymiarowe kodowanie falkowe. W celu udowodnienia tezy przedstawiono dwadzieścia jeden wariantów kodowania dla różnych założonych opóźnień przetwarzania. Przeprowadzono szereg eksperymentów zgodnie z przyjętymi schematami analizy i syntezy w dziedzinie czasu dla dziewięciu testowych sekwencji wizyjnych. Dokonano opracowania wyników badań eksperymentalnych wraz z ich

graficzną i liczbową prezentacją, przyjmując jako miarę efektywności kompresji współczynnik PSNR, omówiony w rozdziale 1.3.

Słuszność tezy potwierdzono wynikami badań eksperymentalnych z wykorzystaniem dziewięciu testowych sekwencji wizyjnych, powszechnie uznanych w literaturze za reprezentatywne. Badania algorytmów kompresji sekwencji wizyjnych polegające na użyciu reprezentatywnego zestawu testowych sekwencji wizyjnych są na świecie powszechnie uznawane za wiarygodne i stosowane przez wielu badaczy.

Właściwe badania eksperymentalne z rozdziału 5, miały na celu znalezienie optymalnej struktury zespołu filtrów analizy i syntezy w dziedzinie czasu. Te badania zostały poprzedzone badaniami eksperymentalnymi, których celem było znalezienie optymalnych parametrów pracy kodera, to jest dokładności kodowania wektorów ruchu oraz znalezienie optymalnej liczby poziomów dekompozycji w czasie (rozdział 3).

Częstkowe wyniki badań uzyskane w trakcie realizacji pracy zostały opublikowane w materiałach konferencji głównie o zasięgu krajowym [Poplaws04a, Poplaws04b, Poplaws04c, Poplaws05a, Poplaws06a, Poplaws06b].

Do najważniejszych oryginalnych osiągnięć przedstawionych w rozprawie można zaliczyć:

- przebadanie wpływu rozmiaru grupy obrazów na efektywność kompresji,
- przebadanie różnych wariantów falkowej filtracji w dziedzinie czasu dla założonych opóźnień kodowania,
- dobór optymalnych struktur falkowej filtracji w czasie dla założonych wielkości opóźnienia kodowania,
- wyznaczenie utraty efektywności kompresji (mierzonej współczynnikiem PSNR) dla optymalnego schematu filtracji w dziedzinie czasu wprowadzanej przy redukcji opóźnienia kodowania dla stałej prędkości transmisji,
- wyznaczenie procentowego przyrostu prędkości transmisji przy stałej jakości kompresji przy zredukowanych opóźnieniach kodowania dla optymalnego schematu filtracji w dziedzinie czasu,

- wskazanie na możliwość optymalizacji współczynników filtrów wykorzystywanych w dziedzinie czasu przy zredukowanym opóźnieniu kodowania,
- opracowanie i implementacja zmian w oprogramowaniu (43 tysiące linii kodu) realizującym prezentowane warianty filtracji w czasie,
- zorganizowanie oraz przeprowadzenie serii 1144 eksperymentów symulacyjnych (1144 operacji kodowania całych sekwencji, 7890 operacji dekodowania, około 110 dni nieprzerwanego kodowania dla komputera PC 2,0 GHz nie wliczając czasu dekodowania),
- opracowanie i analiza wyników badań.

Przeprowadzone eksperymenty uwiarykowały najmniejszą efektywność kompresji dla schematu SU, gdzie wyeliminowano opóźnienie kodowania kosztem braku filtracji dolnoprzepustowej. W przyszłości warto dokładniej przebadać schemat kodowania SB, który nie generując opóźnień zapewnia jednocześnie podział pasma wejściowego na dwa subpasma. Niestety z powodu konieczności przesłania do dekodera dodatkowych wektorów ruchu schemat SB charakteryzuje się mniejszą efektywnością kodowania w stosunku do schematu SU. Warto zbadać o ile należy zwiększyć efektywność kodowania wektorów ruchu aby schemat SB przewyższył schemat SU.

Stosowanie dłuższych filtrów analizy w dziedzinie czasu jest co prawda korzystniejsze pod względem efektywności kompresji, jednak powoduje powstawanie dużych opóźnień kodowania. Poprzez umiejętne usuwanie pewnych kroków w drabinkowych strukturach filtracji w dziedzinie czasu można osiągnąć małe opóźnienia kodowania przy zadawalającej efektywności kompresji. Warto przeanalizować możliwość zastosowania dłuższych filtrów wykorzystywanych w filtracji z kompensacją ruchu uwzględniając jednocześnie konieczność usuwania pewnych kroków predykcji i uaktualnienia.

# Literatura

- [Ahmed74] N. Ahmed, T. Natarajan, K.R. Rao, “Discrete Cosine Transform”, IEEE Transactions on Computer, str. 90–93, 1974.
- [Andreo04] Y. Andreopoulos, A. Munteanu, J. Barbarien, M. van der Schaar, J. Cornelis, P. Schelkens, “In-band motion compensated temporal filtering”, Signal Processing: Image Communication, vol. 19, str. 653–673, 2004.
- [Antonini92] A. Antonini, M. Barlaud, I. Daubechies, “Image coding using wavelet transform”, IEEE Transaction Image Processing, vol. 1, str. 205-220, 1992.
- [Błaszak04a] Ł. Błaszak, M. Domański, R. Lange, “Modified AVC Codec with SNR Scalability Based on Macroblock Hierarchy”, Int. Workshop Systems, Signals and Image Processing IWSSIP’04, str. 15–18, 2004.
- [Błaszak04b] Ł. Błaszak, M. Domański, R. Lange, A. Łuczak, „Scalable AVC Codec”, ISO/IEC JTC1/SC29/WG11, Doc. M10569/S13, MPEG 2004.
- [Błaszak05a] Ł. Błaszak, M. Domański, „Spiral Coding Order of Macroblocks with Applications to SNR-Scalable Video Compression”, ICIP’2005, Genova, vol. 3, str. 688–691, 2005.
- [Chen03] P. Chen, “Fully scalable subband/wavelet coding”, Doctoral Thesis, 2003.
- [Choi99] S. J. Choi, J. W. Woods, “Motion-compensated 3-D subband coding of video”, IEEE Transactions on Image Processing, vol. 8, str. 155-167, 1999.
- [Clarke85] R. J. Clarke, “Transform coding of images”, Academic Press, London, 1985.

- [Claypoole03] R. L. Claypoole, G. M. Davis, W. Sweldens, G. Baraniuk, “Nonlinear wavelet transforms for image coding via lifting”, *IEEE Trans. Image Proc-ess.*, vol. 12, str. 1449–1459, 2003.
- [Cohen92] A. Cohen, I. Daubechies, J. C. Feauveau, “Bi-orthogonal bases for compactly supported wavelets”, *Communications on Pure and Applied Mathematics*, vol. XLV, str. 485–560, 1992.
- [Daube96] I. Daubechies, W. Sweldens, “Factoring wavelet transforms into lifting steps”, Bell Laboratories, Lucent Technologies, 1996.
- [Domański95] M. Domański, R. Świerczyński, “Video 3-D Subband Coding for Low Bit Rate Channels”, *Proc. of XVIII-th National Conference Circuit Theory and Electronic Networks, Poland, Vol. 2*, str. 467-472, 1995.
- [Domański98] M. Domański, „Zaawansowane techniki kompresji obrazów i sekwencji wizyjnych”, Poznań, WPP, 1998.
- [Domański03] M. Domański, Ł. Błaszak, S. Maćkowiak, “AVC Video Coders with Spatial and Temporal Scalability”, *Picture Coding Symp.*, str. 41–46, 2003.
- [Gharavi86a] H. Gharavi, A. Tabatabai, “Subband coding of digital images using two-dimensional quadrature mirrof filtering”, *Proc. SPIE: Visual Communications and Image Processing*, vol. 707, str. 51–61, 1986.
- [Gharavi88a] H. Gharavi, A. Tabatabai, “Sub-Band Coding of Monochrome and Colour Images”, *IEEE Trans. on Circuits and Systems*, vol. 35, str. 207–214, 1988.
- [Ghanbari03] M. Ghanbari, “Standard Codecs: Image Compression to Advanced Video Coding”, IEE 2003.
- [Golwelkar02] A. Golwelkar, J. W. Woods, “Motion compensated temporal filtering using longer filters”, *ISO/IEC JTC1/SC29/WG11, Doc. M9280, MPEG 2002*.

- [Golwelkar03] A. Golwelkar, J. Woods, “Scalable video compression using longer motion compensated temporal filters”, in Proc. SPIE VCIP’2003, vol. 5150, str. 1406–1416, 2003.
- [Hampson96] F. J. Hampson, J.-C. Pesquet, “A nonlinear subband decomposition with perfect reconstruction”, IEEE Int. Conf. Acoustics, Speech, Signal Processing, Atlanta, str. 1523–1526, 1996.
- [Hanke03] K. Hanke, T. Rusert, S. Smeets, D. Thull, “Response to the Call for Evidence on Scalable Video Coding”, ISO/IEC JTC1/SC29/WG11, Doc. M9835, MPEG 2003.
- [Haskell97] B. G. Haskell, Atul Puri, and A. N. Netravali, “Digital Video: An Introduction to MPEG-2”, Chapman & Hall, 1997.
- [Hsiang99] S.-T. Hsiang, J. W. Woods, “Invertible three-dimensional analysis/synthesis system for video coding with half-pixel-accurate motion compensation”, Proc. SPIE Conf. Visual Communications and Image Processing, vol. 3653, str. 537–546, 1999.
- [Hsiang00] S.-T. Hsiang, J. W. Woods, “Embedded image coding using zeroblocks of subband/wavelet coefficients and contest modeling”, IEEE International Symposium on Circuits and Systems, vol. 3, str. 662–665, 2000.
- [Hsiang01] S.-T. Hsiang, J. W. Woods, “Embedded video coding using invertible motion compensated 3-D subband/wavelet filter bank”, Signal Processing: Image Communication, vol. 16, str. 705–724, 2001.
- [Huang03a] L. M. Huang, S. S. Mei, Y. Honda, “Results on Scalable Video Coding in Low Delay Mode”, ISO/IEC JTC1/SC29/WG11, Doc. M9843, MPEG 2003.
- [Huang04a] H.-C. Huang, W.-H. Peng, Y.-C. Lin, C.-N. Wang, T. Chiang, H.-M. Hang, “Response to Cfp on Scalable Video Coding Technology: Proposal S07 -- A Robust Scalable Video Coding Technique”, ISO/IEC JTC1/SC29/WG11, Doc. M10569/S07, MPEG 2004.

- [Islam99] A. Islam, W. A. Pearlman, “An Embedded and Efficient Low-Complexity Hierarchical Image Coder”, Visual Communications and Image Processing '99, Proceedings of SPIE, Vol. 3653, str. 294–305, 1999.
- [ISO92] ISO/IEC, Information Technology – Coding of Moving Pictures and Associated Audio for Digital Storage Media at up to 1.5 Mbps. ISO/IEC 11172-2, 1992.
- [ISO94] ISO/IEC International Standard 13818: Information Technology – Generic Coding of Moving Pictures and Associated Audio Information, 1994.
- [ISO98] ISO/IEC 14496-2, Information technology – Generic coding of audio-visual objects: Visual, 1998.
- [ISO00] ISO/IEC 15 444-1: JPEG2000 Image Coding System, 2000.
- [ISO04a] ISO/IEC JTC1/SC29/WG11, “Description of Core Experiments in MPEG-21 Scalable Video Coding”, N6521, Redmond, July 2004.
- [ISO04b] ISO/IEC JTC1/SC29/WG11, “Technology under Consideration for Working Draft 1.0 of ISO/IEC 21000-13 Scalable Video Coding”, N6519, Redmond, July 2004.
- [ISO05] ISO/IEC/SC29/WG11/MPEG/N7081, ISO/IEC 14496-10 AVC / ITU-T Rec. H.264, Text for ISO/IEC 14496-10:2005 (AVC 3rd Edition): Information Technology – Coding of audio-visual objects – Part 10: Advanced Video Coding, MPEG 2005.
- [ITU1] ITU-T Rec. H.261, Video codec for audiovisual services at p×64 kbit/s.
- [ITU2] ITU-T Rec. H.263, Video coding for Low Bit Rate Communication.
- [ITU3] ITU-R Rec. BT.470-3, Television systems.
- [ITU4] ITU-R Rec. BT.500-6, Methodology for the subjective assessment of the quality of television pictures.



- [ITU5] ITU-R Rec. BT.813, Methods for objective picture quality assessment in relation to impairments from digital coding of television signal.
- [ITU6] ITU-T, Video Coding Expert Group (VCEG), “H.26L test model long term number 9 (TML-9) draft 0”, 2001.
- [Jayant84a] N. Jayant, P. Noll, “Digital Coding of Waveforms”, Prentice-Hall, 1984.
- [Karlsson88] G. D. Karlsson, M. Vetterli, “Three dimensional subband coding of video”, in Proc. IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing, str. 1100–1103, 1988.
- [Kronan89a] T. Kronander, “Some Aspects of Perception Based Image Coding”, PhD thesis, Linkoping University, Sweden, 1989.
- [Kronan90a] T. Kronander, “New results on 3-dimensional motion compensated subband coding”, in PCS-90, str. 8.5–1, 1990.
- [Lee03] M. H. Lee, S. S. Mei, Y. Honda, “Results on scalable video coding in low delay mode”, ISO/IEC JTC1/SC29/WG11, Doc. M9843, MPEG 2003.
- [Lee04] M. H. Lee, S. M. Shen, Y. Honda, “MCTF-based scalable video coding in low delay mode”, ISO/IEC JTC1/SC29/WG11, Doc. M11311, MPEG 2004.
- [LeGall88a] D. LeGall, A. Tabatabai, “Subband Coding of Digital Images Using Symmetric Short Kernel Filters and Arithmetic Coding Techniques”, Proc. ICASSP, IEEE, str. 761–765, 1988.
- [Li04] X. Li, “Scalable video compression via overcomplete motion compensated wavelet coding”, Signal Processing: Image Communication, vol. 19, str. 637–651, 2004.
- [Li05a] Z. G. Li, K. P. Lim, X. Lin, S. Rahardja, “Customer Oriented Low Delay Scalable Video Coding”, ISO/IEC JTC1/SC29/WG11, Doc. M11544, MPEG 2004.
- [MCEZBC] MC-EZBC software package, <ftp://ftp.cipr.rpi.edu/personal/chen>.

- [MPEG] Moving Picture Experts Group (MPEG), ISO / IEC WG 11, 1998, <http://www.chiariglione.org/mpeg/index.htm>
- [MPEG04a] “AHG on further Exploration in Wavelet Video Coding”, ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 MPEG/N6732, Palma, October 2004.
- [MPEG05a] “AHG on further Exploration in Wavelet Video Coding”, ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 MPEG/N6923, Hong Kong, January 2005.
- [MPEG05b] “AHG on further Exploration in Wavelet Video Coding”, ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 MPEG/N7114, Busan, April 2005.
- [MPEG05c] “AHG on further Exploration in Wavelet Video Coding”, ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 MPEG/M12121, Poznań, July 2005.
- [Ohm92] J.-R. Ohm, “Temporal domain subband video coding with motion compensation”, Proceedings of the IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing, vol. 3, San Francisco, CA, str. 229–232, 1992.
- [Ohm93] J.-R. Ohm, “Three-dimensional motion-compensated subband coding”, Proceedings International Symposium on Video Communications and Fiber Optic Services, SPIE vol. 1977, str. 188-197, 1993.
- [Ohm94] J.-R. Ohm, “Three-dimensional subband coding with motion compensation”, IEEE Transactions Image Processing, vol. 3, str. 559–571, 1994.
- [Ohm02] J.-R. Ohm, “Complexity and delay analysis of MCTF interframe wavelet structures”, ISO/IEC JTC1/SC29/WG11, Doc. M8520, MPEG 2002.
- [Ohm04] J.-R. Ohm, “Multimedia Communication Technology”, Springer 2004.
- [Pau03a] G. Pau, C. Tillier, B. Pesquet-Popescu, H. Heijmans, “Iterative predict optimization in MCTF video”, ISO/IEC JTC1/SC29/WG11, Doc. M9929, MPEG 2003.

- [Pau04a] G. Pau, B. Pesquet-Popescu, M. van der Schaar, J. Viéron, “Delay-performance trade offs in motion-compensated scalable subband video compression”, ISO/IEC JTC1/SC29/WG11, Doc. 11084, MPEG 2004.
- [Pau04b] G. Pau, B. Pesquet-Popescu, M. van der Schaar, J. Viéron, “Delay-Performance Trade-Offs in Motion-Compensated Scalable Subband Video Compression”, Proc. of Advanced Concepts for Intelligent Vision Systems (ACIVS), 2004.
- [Pau05] G. Pau, J. Viéron, B. Pesquet-Popescu, “Video Coding with Flexible MCTF Structures for Low End-to-End Delay”, ICIP’2005, Genova, vol. 3, str. 241–244, 2005.
- [Pereira02] F. Pereira, T. Ebrahimi, “The MPEG-4 Book”, Prentice Hall PTR, 2002.
- [Pesquet01] B. Pesquet-Popescu, V. Bottreau, “Three-dimensional lifting schemes for motion compensated video compression”, Proc. of the IEEE Int. Conf. on Acoustics, Speech and Signal, str. 1793–1796, 2001.
- [Podilchuk95] C. Podilchuk, N. Jayant, N. Farvardin, “Three Dimensional Subband Coding of Video”, IEEE Trans on Image Processing vol.4, str. 125-139, 1995
- [Popławs04a] A. Popławski, „Kompresja obrazów ruchomych z wykorzystaniem kodowania subpasmowego” – Informatyka - sztuka czy rzemiosło – Konferencja Nukowa, Warsztaty Szkoleniowe KNWS'04: materiały konferencji naukowej, str. 149–154, 2004.
- [Popławs04b] A. Popławski, „Badanie efektywności trójwymiarowego falkowego kodera wizyjnego IMC 3DEZBC”, Prace Naukowe Instytutu Telekomunikacji i Akustyki Politechniki Wrocławskiej, str. 231–242, 2004.
- [Popławs04c] A. Popławski, M. Szychiewicz, W. Zając, “Research on coding efficiency of wavelet-based IMC-3DEZBC codec”, Proc. of the International Workshop DESDes' 04, str. 37–40, 2004.

- [Popławs05a] A. Popławski, „Kompresja sekwencji wizyjnych z małym opóźnieniem kodowania” – Informatyka - sztuka czy rzemiosło - Konferencja Nukowa, Warsztaty Szkoleniowe KNWS '05: materiały II konferencji naukowej, str. 147–154, 2005.
- [Popławs06a] A. Popławski, „Trójwymiarowa falkowa kompresja sekwencji wizyjnych bez opóźnienia kodowania”, Krajowa Konferencja Radiokomunikacji, Radiofonii i Telewizji KKRRiT 2006, str. 291-294, 2006.
- [Popławs06b] A. Popławski, „Filtracja czasowa dla zastosowań w trójwymiarowej falkowej kompresji sekwencji wizyjnych z małym opóźnieniem kodowania”, Pomiary Automatyka Kontrola, 2006, w druku.
- [Radha04a] H. Radha, K. Misra, “JVT Compliant Adaptive 3-D FGS (JCAF) Scalable Video Coding”, ISO/IEC JTC1/SC29/WG11, Doc. M10569/S04, MPEG 2004.
- [Robbani91a] M. Rabbani, P. W. Jones, “Digital Image Compression”, Bellingham, Washington: SPIE Opt. Eng. Press, 1991.
- [Rusert02] T. Rusert, K. Hanke, P. Chen, J. W. Woods, “Recent Improvements to MC-EZBC”, ISO/IEC JTC1/SC29/WG11, Doc. M9232, MPEG 2002.
- [Rusert04] T. Rusert, K. Hanke, M. Wien, “Optimization for locally adaptive MCTF based on 5/3 lifting”, in Proc. Picture Coding Symposium, 2004.
- [Said96] A. Said, W. A. Pearlman, “A New Fast and Efficient Image Codec Based on Set Partitioning in Hierarchical Trees”, IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Tech., vol. 3, str. 243–250, 1996.
- [Schwarz04a] H. Schwarz, J. Shen, D. Marpe, T. Wiegand, “Technical description of the HHI proposal for SVC CE3”, ISO/IEC JTC1/SC29/WG11, Doc. M11246, MPEG 2004.

- [Schwarz04b] H. Schwarz, D. Marpe, T. Wiegand, “Scalable Extension of H.264/AVC”, ISO/IEC JTC1/SC29/WG11, Doc. M10569/S03, MPEG 2004.
- [Schwarz04c] H. Schwarz, D. Marpe, T. Wiegand, “SVC Core Experiment 2.2: Influence of the update step on the coding efficiency”, ISO/IEC JTC1/SC29/WG11, Doc. M11048, MPEG 2004.
- [Secker01] A. Secker, D. Taubman, “Motion-compensated highly scalable video compression using an adaptive 3D wavelet transform based on lifting”, Proc. of the IEEE Int. Conf. on Image Processing, str. 1029–1032, 2001.
- [Seran05] V. Seran, L. P. Kondi, “3D based video coding in the overcomplete discrete wavelet transform domain with reduced delay requirements”, ICIP’2005, Genova, vol. 3, str. 233–236, 2005.
- [Sezan93] M. I. Sezan, R. L. Lagendijk, “Motion analysis and image sequence processing”, Boston MA, Kluwer, 1993.
- [Shaprio93] J. M. Shaprio, “Embedded image coding using zerotrees of wavelet coefficients”, IEEE Transactions Signal Processing, vol. 41, str. 3445–3462, 1993.
- [Sheldon99] T. Sheldon, „Wielka encyklopedia sieci komputerowych”, Robomatic, Wrocław, 1999.
- [Skarbak98] W. Skarbak, „Multimedia. Algorytmy i standardy kompresji”, PLJ, 1998.
- [Soyood02] K. Sayood, „Kompresja danych – wprowadzenie”, READ ME, 2002.
- [Strang96a] G. Strang, T. Nguyen, „Wavelets and Filter Banks”, Wellesley-Cambridge Press, 1996.
- [Sun04a] X. Sun, Y. Zhou, Y. Wang, G. Sullivan, M.-C. Lee, F. Wu, S. Li, “Progressive Fine Granularity Scalable (PFGS) video coding”, ISO/IEC JTC1/SC29/WG11, Doc. M10569/S06, MPEG 2004.
- [Sweldens96a] W. Sweldens, P. Schröder, “Building your own wavelets at home”, Wavelets in Computer Graphics, str. 15–87, 1996.

- [Sweldens96b] W. Sweldens, “The lifting scheme: A custom-design construction of biorthogonal wavelets”, *Appl. Comput. Harmon. Anal.*, vol. 3, no. 2, str.186–200, 1996.
- [Taubman94] D. Taubman A. Zakhor, “Multirate 3-D subband coding of video”, *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 3, str. 572–588, 1994.
- [Taubman00] D. Taubman, “High performance scalable image compression with EBCOT”, *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 9, nr7, str. 1158–1170, 2000.
- [Tekalp95] A. M. Tekalp, “Digital Video Processing”, Prentice Hall, 1995.
- [Tham98] J. Y. Tham, S. Ranganathm, A. A. Kassim, “Highly scalable wavelet-based video coding for very low bit-rate environment”, *IEEE Journal on Select. Areas in Commun.*, vol. 16, str. 12–27, 1998.
- [Topiwala98a] P. N. Topiwala, “Wavelet image and video compression”, Kluwer Academic Publishers, 1998.
- [Turaga02] D. Turaga, M. van der Schaar, “Unconstrained temporal scalability with multiple reference and bi-directional motion compensated temporal filtering”, doc. ISO/IEC JTC1/SC29/WG11, Doc. M8388, MPEG 2002.
- [Tziritas94] G. Tziritas, C. Labit, “Motion analysis for image sequence coding” Amsterdam, Elsevier, 1994.
- [Vaidyana93] P. P. Vaidyanathan, “Multirate Systems and Filter Banks”, Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1993.
- [Vetterli95] M. Vetterli and J. Kovačević, “Wavelets and Subband Coding”, Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1995.
- [Viéron05] J. Viéron, G. Boisson, E. François, G. Pau, B. Pesquet-Popescu, “Time and Level adaptive MCTF architectures for low delay video coding”, doc. ISO/IEC JTC1/SC29/WG11, Doc. M11673, MPEG 2005.
- [Wang03] Y. Wang, S. Cui, J. E. Fowler, “3D video coding using redundant-wavelet multihypothesis and motion compensated temporal

- filtering”, in Proceedings of the IEEE International Conference on Image Processing, Spain, vol. 2, str. 755–758, 2003
- [Woods86a] J. W. Woods, S. D. O’Neil, “Subband coding of images”, IEEE Trans. on Acous. Speech and Signal Process., vol. ASSP-34, str. 1278–1288, 1986.
- [Woods91a] J. W. Woods, “Subband Image Coding”, Kluwer Academic Publishers, 1991.
- [Woods02] J. W. Woods, P. Chen, S.-T. Hsiang, “Exploration experimental results and software”, ISO/IEC JTC1/SC29/WG11, Doc. M8524, MPEG July 2002.
- [Woods02b] J. W. Woods, P. Chen, “Improved MC-EZBC with Quarter-pixel Motion Vectors”, ISO/IEC JTC1/SC29/WG11, Doc. M8366, MPEG 2002.
- [Wu01] D. Wu, Y. Hou, Y. Zhang, “Scalable video coding and transport over broad-band wireless networks”, Proc. of the IEEE, vol. 89, str. 6–20, 2001.
- [Wu03] Y. Wu, J. W. Woods, “Recent Improvements in the MC-EZBC Video Coder”, ISO/IEC JTC1/SC29/WG11, Doc. M10396, MPEG 2003.
- [WWW1] <http://www.itvp.pl/> – Telewizja Interaktywna iTVP Telewizji Polskiej
- [Xu01] J. Xu, et al, “Three-dimensional embedded subband coding with optimized truncation (3D ESCOT)”, Applied and Computational Harmonic Analysis vol.10, str. 290–315, 2001.
- [Zhan02] Y. Zhan, M. Picard, B. Pesquet-Popescu, H. Heijmans, “Long temporal filters in lifting schemes for scalable video coding”, ISO/IEC JTC1/SC29/WG11, Doc. M8680, MPEG 2002.

# Załączniki

## Załącznik A.

### Zestaw testowych sekwencji wizyjnych

Sekwencja *City* (rys. A. 1) przedstawia widok miasta z poziomego lotu ptaka. Na pierwszym planie widoczny jest szczyt jednego z budynków, drugi plan zaś przedstawia inne budynki. Dynamika sekwencji jest stosunkowo niewielka, ruch kamery jest dość płynny, brak jest w sekwencji elementów nieruchomych.



Rys. A. 1. Obraz z sekwencji wizyjnej *City*

Sekwencja *Crew* (rys. A. 2) przedstawia grupę kilku osób ubranych w pomarańczowe kombinezony idące wolnym krokiem. Tło sekwencji porusza się w początkowej fazie bardzo nieznacznie, zaś pod koniec ruch kamery jest już znaczny. Związane jest to ze zmianą kierunku marszu osób w sekwencji. Dynamika sekwencji jest nieco większa niż w przypadku sekwencji *City*.





Rys. A. 2. Obraz z sekwencji wizyjnej *Crew*



Rys. A. 3. Obraz z sekwencji wizyjnej *Harbour*

Sekwencja *Harbour* (rys. A. 3) przedstawia widok portu, w który przycumowane są żagłówki. Kamera zamontowana prawdopodobnie na statywie, wykonuje jedynie niewielkie ruchy na boki, które mogą być spowodowane małą sztywnością statywu. Większą część tła stanowi tafla wody, po której przepływają żagłówki, ogólna dynamika sekwencji jest stosunkowo niewielka.

Sekwencja *Ice* (rys. A. 4) przedstawia widok lodowiska, na którym kilkanaście osób jeździ na łyżwach. Tło sekwencji jest nieruchome, z lodowiska korzystają osoby zarówno stojące, jak i szybko poruszające się po jego płycie. W sekwencji występują zarówno elementy nieruchome, jak i elementy szybko poruszające się.



**Rys. A. 4. Obraz z sekwencji wizyjnej *Ice***

Sekwencja *Soccer* (rys. A. 5) przedstawia widok boiska, na którym kilka osób gra w piłkę nożną. Kamera podąża za piłką, momentami tło jest niemal nieruchome, czasami zaś ruch kamery jest bardzo dynamiczny. Ogólnie w sekwencji występują chwile zarówno o niewielkiej jak i o dużej dynamice ruchu.

Sekwencja *Football* (rys. A. 6) przedstawia bardzo dynamiczną scenę na boisku sportowym. Na pierwszym planie można zobaczyć grających zawodników, drugi plan przedstawia boisko. Ruch kamery podąża za piłką i momentami jest bardzo

dynamiczny. Jest to niewątpliwie najbardziej dynamiczna sekwencja ze wszystkich badanych.



Rys. A. 5. Obraz z sekwencji wizyjnej Soccer



Rys. A. 6. Obraz z sekwencji wizyjnej Football



Sekwencja *Silent* (rys. A. 7) przedstawia na pierwszym planie osobę gestykującą językiem migowym, wykonującą niekiedy gwałtowne ruchy prawą ręką. Tło sekwencji jest nieruchome, ogólna dynamika sekwencji jest niewielka.



**Rys. A. 7. Obraz z sekwencji wizyjnej *Silent***

Sekwencja *Mobile* (rys. A. 8) przedstawia na pierwszym planie kolejkę, która poruszając się popycha umieszczoną przed nią piłkę. Ruch kamery podąża za kolejką, jest on płynny i bardzo wolny. Dynamika sekwencji jest stosunkowo niewielka, zarówno ruch kamery jak i kolejki jest dość płynny, brak jest w sekwencji elementów nieruchomych.

Sekwencja *Foreman* (rys. A. 9) przedstawia na pierwszym planie mówiącą osobę z szybko zmieniającą się mimiką. Osoba ta szybko porusza głową, wykonuje ruchy rękoma. W początkowym okresie tło sekwencji porusza się niejednostajnie, chwilę później następuje gwałtowny ruch kamery, co przyczynia się do zmiany zawartości pierwszego planu. Ogólna dynamika sekwencji jest umiarkowanie duża.



Rys. A. 8. Obraz z sekwencji wizyjnej *Mobile*

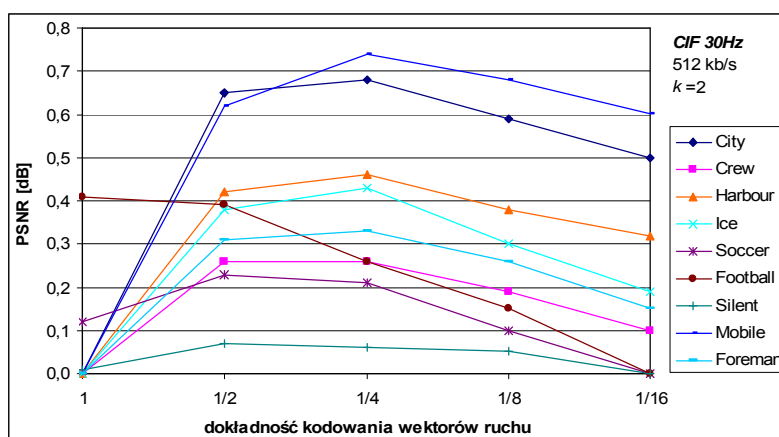


Rys. A. 9. Obraz z sekwencji wizyjnej *Foreman*

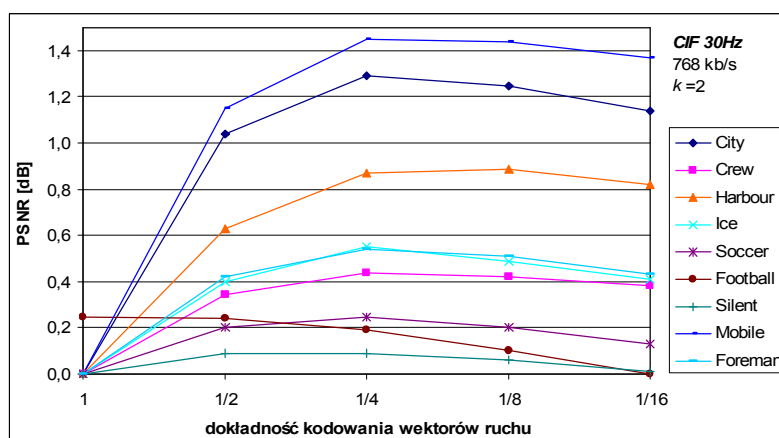
## Załącznik B.

### Wyniki badań eksperymentalnych wpływu opóźnienia kodowania na efektywność kompresji falkowej sekwencji wizyjnych

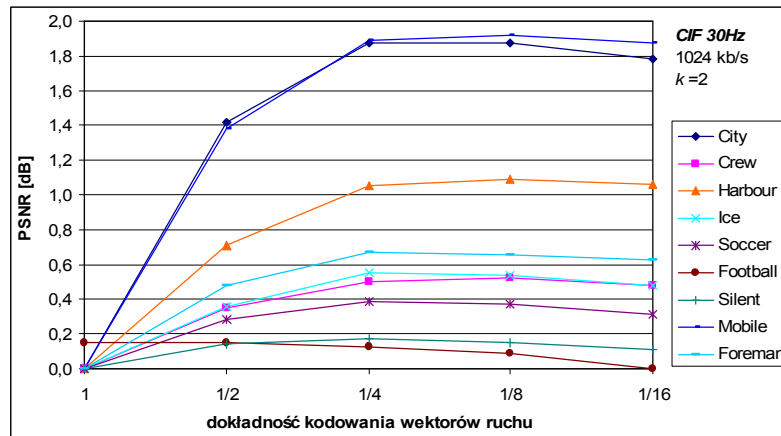
### Wyniki badań wpływu dokładności kodowania wektorów ruchu na efektywność kompresji



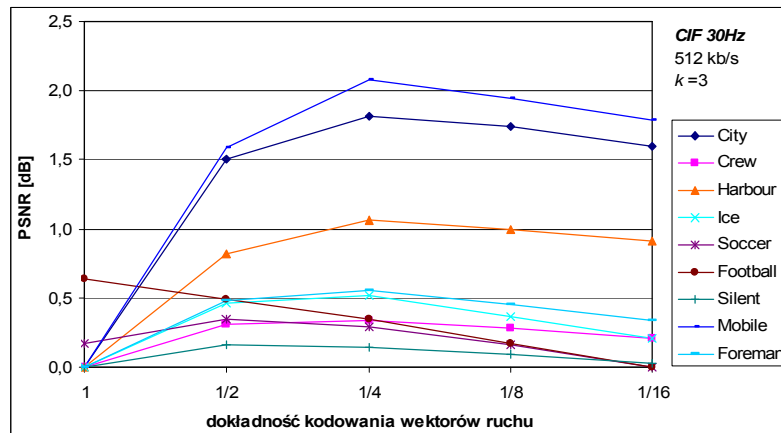
Rys. B. 1. Względna wartość współczynnika PSNR (0dB przyjęto najmniejszą wartość PSNR dla danej sekwencji) dla zadanych dokładności kodowania wektorów ruchu, adaptacja wyłączona, CIF 30Hz, 512 kb/s, k=2



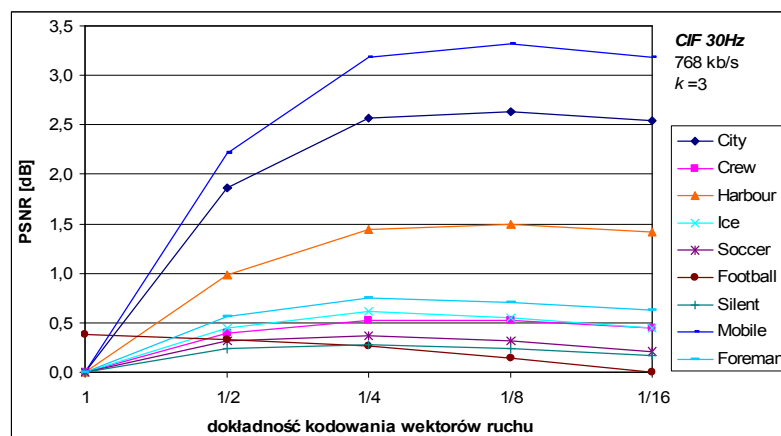
Rys. B. 2. Względna wartość współczynnika PSNR (0dB przyjęto najmniejszą wartość PSNR dla danej sekwencji) dla zadanych dokładności kodowania wektorów ruchu, adaptacja wyłączona, CIF 30Hz, 768 kb/s, k=2



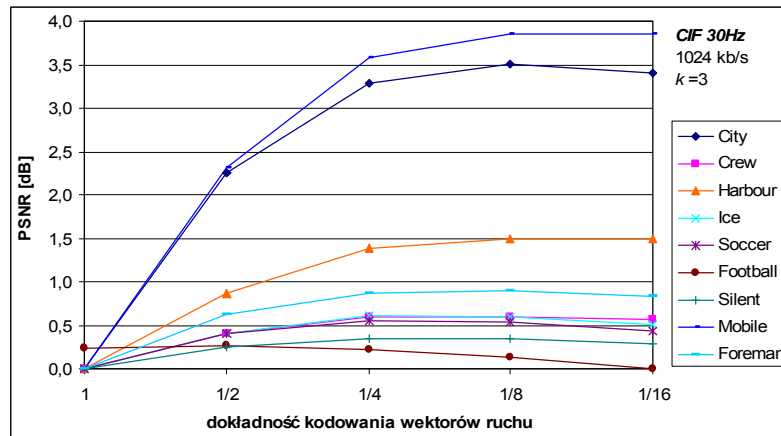
Rys. B. 3. Względna wartość współczynnika PSNR (0dB przyjęto najmniejszą wartość PSNR dla danej sekwencji) dla zadanych dokładności kodowania wektorów ruchu, adaptacja wyłączona, CIF 30Hz, 1024 kb/s, k=2



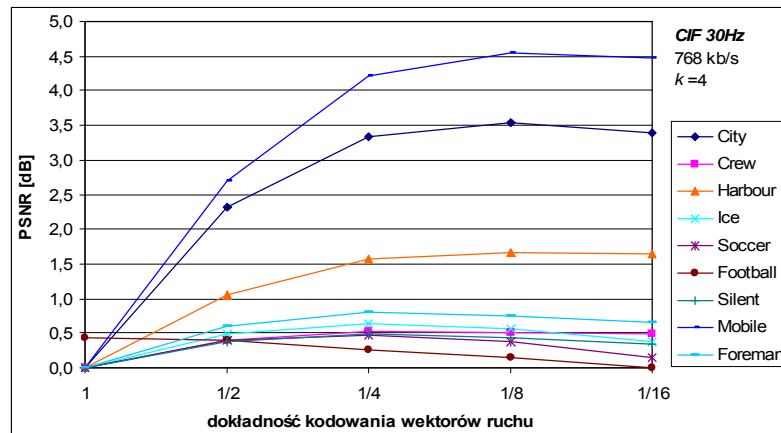
Rys. B. 4. Względna wartość współczynnika PSNR (0dB przyjęto najmniejszą wartość PSNR dla danej sekwencji) dla zadanych dokładności kodowania wektorów ruchu, adaptacja wyłączona, CIF 30Hz, 512 kb/s, k=3



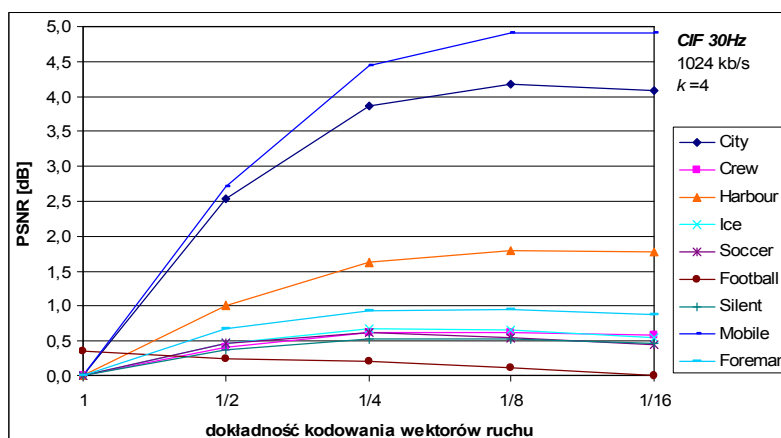
Rys. B. 5. Względna wartość współczynnika PSNR (0dB przyjęto najmniejszą wartość PSNR dla danej sekwencji) dla zadanych dokładności kodowania wektorów ruchu, adaptacja wyłączona, CIF 30Hz, 768 kb/s, k=3



Rys. B. 6. Względna wartość współczynnika PSNR (0dB przyjęto najmniejszą wartość PSNR dla danej sekwencji) dla zadanych dokładności kodowania wektorów ruchu, adaptacja wyłączona, CIF 30Hz, 1024 kb/s, k=3



Rys. B. 7. Względna wartość współczynnika PSNR (0dB przyjęto najmniejszą wartość PSNR dla danej sekwencji) dla zadanych dokładności kodowania wektorów ruchu, adaptacja wyłączona, CIF 30Hz, 768 kb/s, k=4

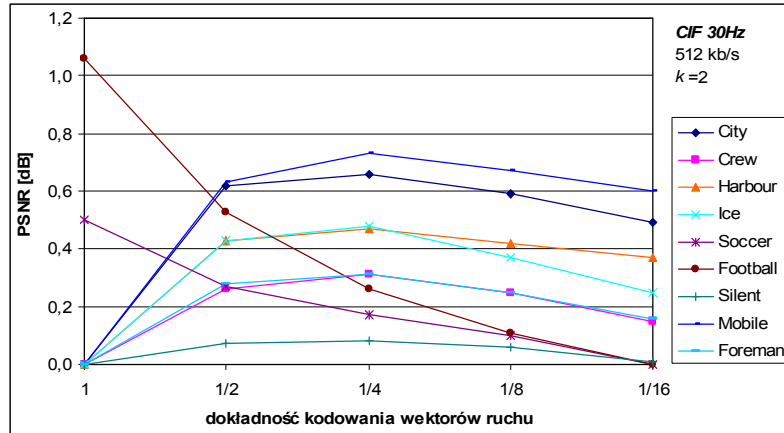


Rys. B. 8. Względna wartość współczynnika PSNR (0dB przyjęto najmniejszą wartość PSNR dla danej sekwencji) dla zadanych dokładności kodowania wektorów ruchu, adaptacja wyłączona, CIF 30Hz, 1024 kb/s, k=4

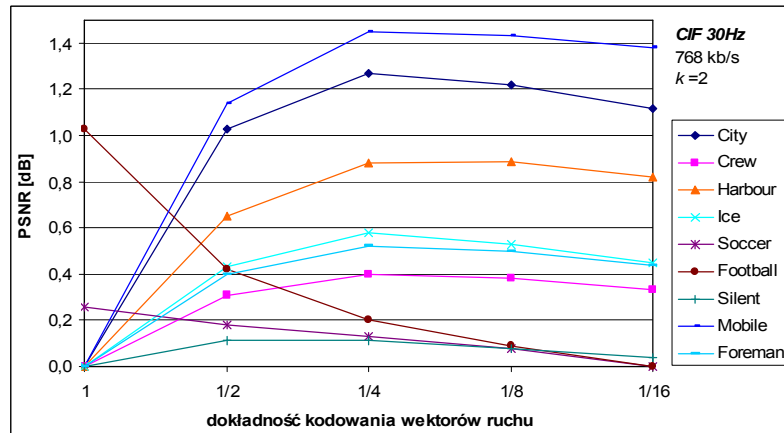


**Tabela B. 1. Wartości współczynnika PSNR w badaniu dokładności kodowania wektorów ruchu  $dk$ , dla wyłączonej funkcji adaptacji**

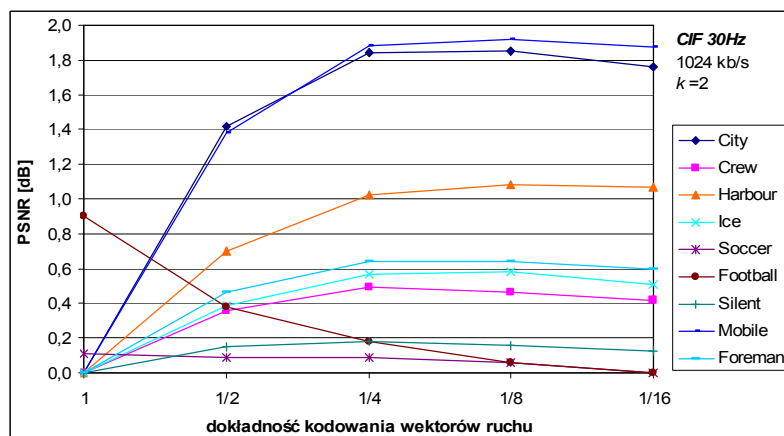
Lp	Sekwencja	$dk$	Wartości współczynnika PSNR[dB] dla rozdzielczości CIF 30Hz dla różnej dokładności kodowania wektorów ruchu $dk$								
			k = 2			k = 3			k = 4		
			512 kb/s	768 kb/s	1024 kb/s	512 kb/s	768 kb/s	1024 kb/s	512 kb/s	768 kb/s	1024 kb/s
1	City	1	30,47	32,06	33,27	31,42	32,95	34,01	31,85	33,16	34,22
2	City	1/2	31,12	33,13	34,69	32,99	34,88	36,33	33,86	35,54	36,81
3	City	1/4	31,16	33,37	35,15	33,29	35,58	37,33	34,54	36,58	38,14
4	City	1/8	31,06	33,34	35,18	33,22	35,65	37,56	34,55	36,75	38,45
5	City	1/16	30,96	33,24	35,08	33,08	35,55	37,49	34,35	36,63	38,35
6	Crew	1	33,02	34,48	35,60	32,74	34,15	35,20	32,21	33,63	34,67
7	Crew	1/2	33,30	34,84	35,98	33,12	34,59	35,67	32,59	34,07	35,13
8	Crew	1/4	33,34	34,95	36,15	33,17	34,74	35,85	32,68	34,23	35,33
9	Crew	1/8	33,26	34,93	36,15	33,06	34,71	35,86	32,62	34,19	35,33
10	Crew	1/16	33,15	34,87	36,12	32,98	34,65	35,81	32,52	34,15	35,28
11	Harbour	1	27,17	28,99	30,27	28,19	29,72	31,04	28,41	29,81	31,02
12	Harbour	1/2	27,60	29,62	30,98	29,01	30,70	31,92	29,34	30,89	32,05
13	Harbour	1/4	27,64	29,86	31,32	29,25	31,16	32,43	29,73	31,42	32,68
14	Harbour	1/8	27,57	29,89	31,36	29,20	31,22	32,56	29,76	31,53	32,85
15	Harbour	1/16	27,51	29,82	31,34	29,11	31,14	32,53	29,68	31,49	32,83
16	Ice	1	36,59	39,22	41,13	36,54	39,10	41,02	36,19	38,75	40,67
17	Ice	1/2	37,00	39,65	41,52	37,02	39,58	41,45	36,71	39,28	41,16
18	Ice	1/4	37,04	39,79	41,71	37,07	39,75	41,66	36,76	39,45	41,38
19	Ice	1/8	36,92	39,74	41,70	36,94	39,70	41,64	36,59	39,37	41,36
20	Ice	1/16	36,79	39,65	41,63	36,76	39,56	41,54	36,40	39,16	41,23
21	Soccer	1	30,48	32,17	33,46	30,14	31,88	33,19	29,75	31,51	32,84
22	Soccer	1/2	30,59	32,37	33,73	30,29	32,19	33,57	29,93	31,88	33,28
23	Soccer	1/4	30,56	32,42	33,84	30,21	32,23	33,71	29,84	31,92	33,40
24	Soccer	1/8	30,44	32,37	33,82	30,08	32,17	33,69	29,69	31,79	33,35
25	Soccer	1/16	30,35	32,29	33,75	29,93	32,06	33,58	29,48	31,54	33,23
26	Football	1	29,09	30,63	31,95	28,28	29,86	31,12	27,55	29,24	30,47
27	Football	1/2	29,07	30,63	31,96	28,14	29,84	31,15	27,51	29,21	30,39
28	Football	1/4	28,96	30,58	31,93	27,98	29,75	31,12	27,31	29,08	30,27
29	Football	1/8	28,84	30,51	31,90	27,83	29,66	31,03	27,11	28,94	30,19
30	Football	1/16	28,72	30,41	31,83	27,66	29,53	30,93	26,89	28,83	30,08
31	Silent	1	33,73	35,62	37,30	35,62	37,76	39,60	37,22	39,46	41,30
32	Silent	1/2	33,79	35,72	37,44	35,77	38,00	39,84	37,47	39,83	41,62
33	Silent	1/4	33,78	35,72	37,47	35,77	38,05	39,95	37,54	39,95	41,80
34	Silent	1/8	33,76	35,67	37,44	35,70	37,99	39,94	37,46	39,88	41,78
35	Silent	1/16	33,71	35,63	37,41	35,64	37,93	39,89	37,37	39,80	41,75
36	Mobile	1	22,64	24,34	25,59	23,89	25,45	26,63	24,51	25,85	26,88
37	Mobile	1/2	23,14	25,30	26,88	25,21	27,27	28,69	26,60	28,29	29,32
38	Mobile	1/4	23,22	25,55	27,31	25,49	28,00	29,77	27,34	29,47	30,77
39	Mobile	1/8	23,08	25,51	27,23	25,31	28,04	29,90	27,26	29,68	31,07
40	Mobile	1/16	22,96	25,34	27,10	25,13	27,93	29,84	26,95	29,46	30,95
41	Foreman	1	33,65	35,36	36,79	34,04	35,62	36,92	33,92	35,45	36,73
42	Foreman	1/2	33,97	35,79	37,28	34,50	36,17	37,52	34,49	36,08	37,41
43	Foreman	1/4	33,96	35,88	37,44	34,58	36,34	37,76	34,58	36,27	37,68
44	Foreman	1/8	33,90	35,85	37,45	34,47	36,30	37,77	34,48	36,23	37,67
45	Foreman	1/16	33,74	35,76	37,39	34,35	36,19	37,71	34,33	36,12	37,61



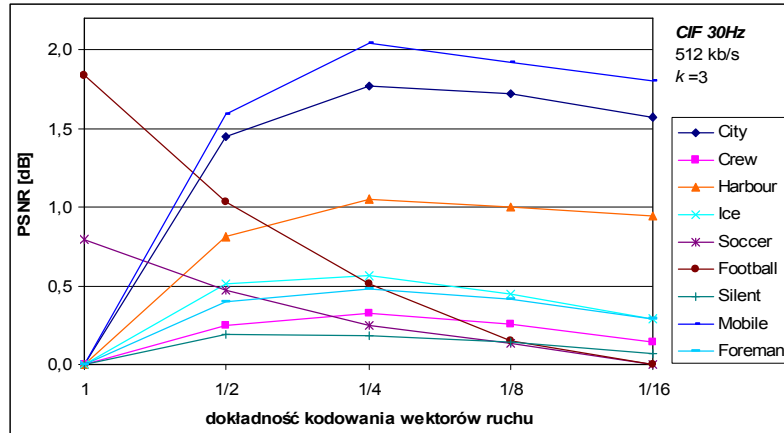
Rys. B. 9. Względna wartość współczynnika PSNR (0dB przyjęto najmniejszą wartość PSNR dla danej sekwencji) dla zadanych dokładności kodowania wektorów ruchu, adaptacja włączona, CIF 30Hz, 512 kb/s,  $k=2$



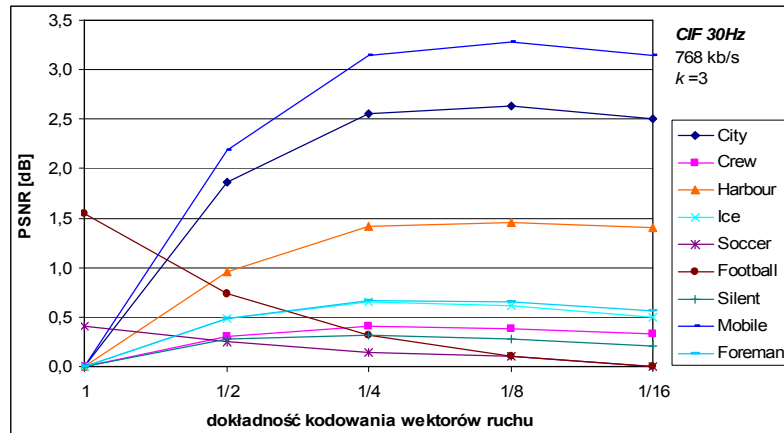
Rys. B. 10. Względna wartość współczynnika PSNR (0dB przyjęto najmniejszą wartość PSNR dla danej sekwencji) dla zadanych dokładności kodowania wektorów ruchu, adaptacja włączona, CIF 30Hz, 768 kb/s,  $k=2$



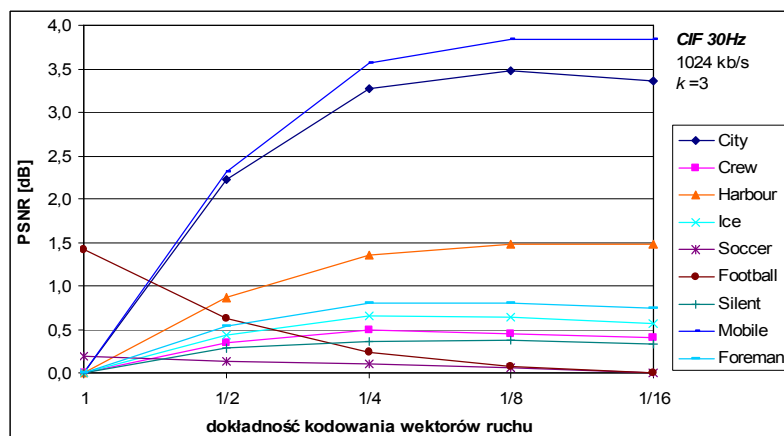
Rys. B. 11. Względna wartość współczynnika PSNR (0dB przyjęto najmniejszą wartość PSNR dla danej sekwencji) dla zadanych dokładności kodowania wektorów ruchu, adaptacja włączona, CIF 30Hz, 1024 kb/s,  $k=2$



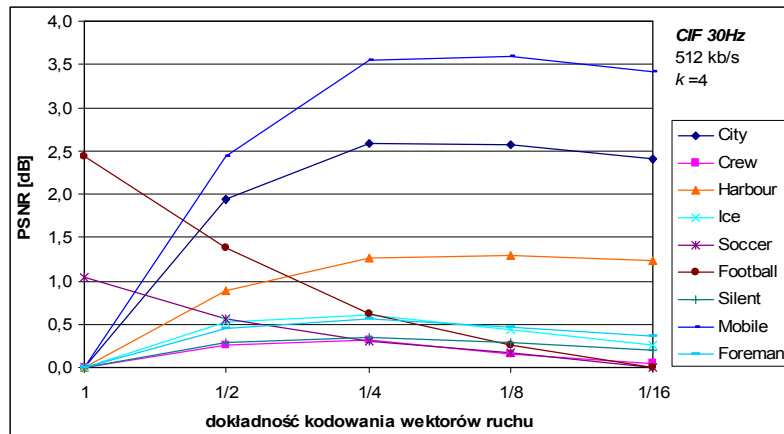
Rys. B. 12. Względna wartość współczynnika PSNR (0dB przyjęto najmniejszą wartość PSNR dla danej sekwencji) dla zadanych dokładności kodowania wektorów ruchu, adaptacja włączona, CIF 30Hz, 512 kb/s, k=3



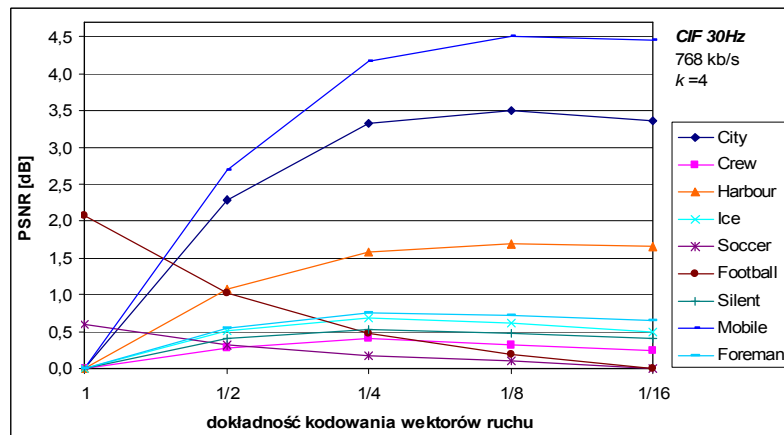
Rys. B. 13. Względna wartość współczynnika PSNR (0dB przyjęto najmniejszą wartość PSNR dla danej sekwencji) dla zadanych dokładności kodowania wektorów ruchu, adaptacja włączona, CIF 30Hz, 768 kb/s, k=3



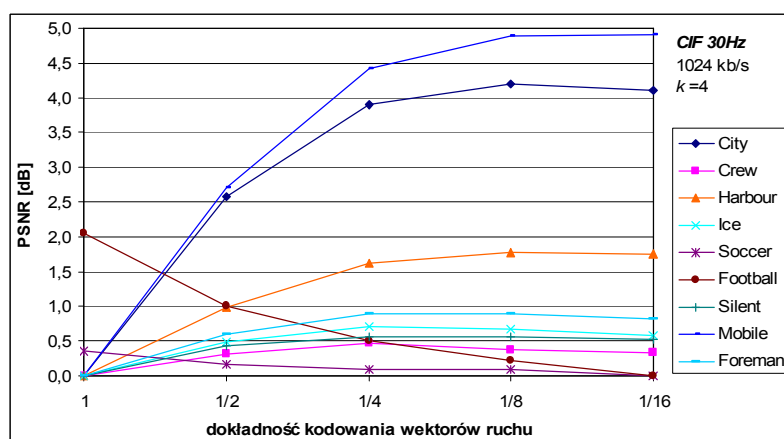
Rys. B. 14. Względna wartość współczynnika PSNR (0dB przyjęto najmniejszą wartość PSNR dla danej sekwencji) dla zadanych dokładności kodowania wektorów ruchu, adaptacja włączona, CIF 30Hz, 1024 kb/s, k=3



Rys. B. 15. Względna wartość współczynnika PSNR (0dB przyjęto najmniejszą wartość PSNR dla danej sekwencji) dla zadanych dokładności kodowania wektorów ruchu, adaptacja włączona, CIF 30Hz, 512 kb/s, k=4



Rys. B. 16. Względna wartość współczynnika PSNR (0dB przyjęto najmniejszą wartość PSNR dla danej sekwencji) dla zadanych dokładności kodowania wektorów ruchu, adaptacja włączona, CIF 30Hz, 768 kb/s, k=4

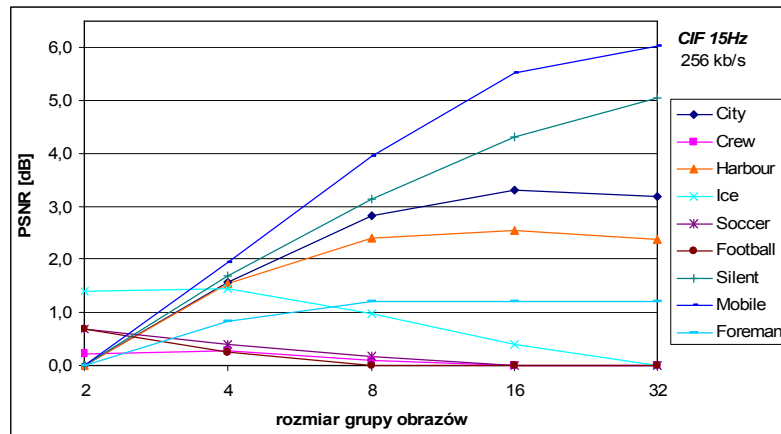


Rys. B. 17. Względna wartość współczynnika PSNR (0dB przyjęto najmniejszą wartość PSNR dla danej sekwencji) dla zadanych dokładności kodowania wektorów ruchu, adaptacja włączona, CIF 30Hz, 1024 kb/s, k=4

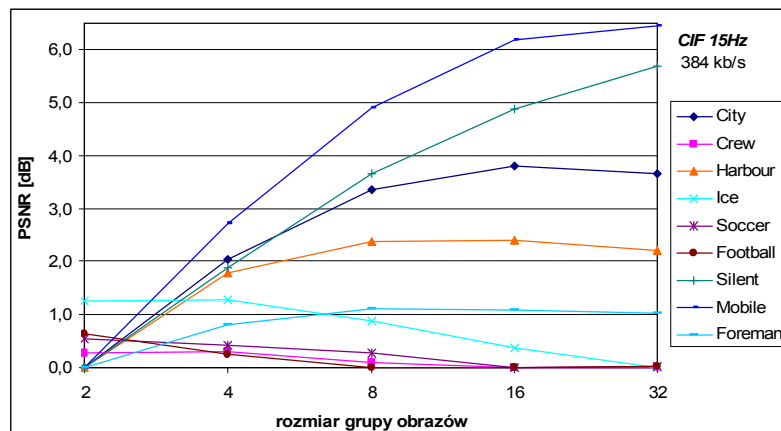
Tabela B. 2. Wartości współczynnika PSNR w badaniu dokładności kodowania wektorów ruchu  $dk$ , dla włączonej funkcji adaptacji

Lp	Sekwencja	$dk$	Wartości współczynnika PSNR[dB] dla rozdzielczości CIF 30Hz dla różnej dokładności kodowania wektorów ruchu $dk$								
			k = 2			k = 3			k = 4		
			512 kb/s	768 kb/s	1024 kb/s	512 kb/s	768 kb/s	1024 kb/s	512 kb/s	768 kb/s	1024 kb/s
1	City	1	30,31	31,93	33,10	31,25	32,78	33,88	31,69	33,02	34,07
2	City	1/2	30,93	32,96	34,52	32,70	34,64	36,10	33,63	35,31	36,64
3	City	1/4	30,97	33,20	34,94	33,02	35,34	37,15	34,28	36,34	37,96
4	City	1/8	30,90	33,15	34,95	32,97	35,42	37,36	34,26	36,52	38,26
5	City	1/16	30,80	33,05	34,86	32,82	35,29	37,24	34,09	36,38	38,18
6	Crew	1	33,07	34,58	35,80	33,08	34,54	35,73	32,99	34,45	35,62
7	Crew	1/2	33,33	34,89	36,16	33,33	34,84	36,07	33,25	34,74	35,94
8	Crew	1/4	33,38	34,98	36,29	33,40	34,95	36,22	33,31	34,86	36,09
9	Crew	1/8	33,32	34,96	36,26	33,34	34,92	36,18	33,14	34,76	35,99
10	Crew	1/16	33,22	34,91	36,22	33,22	34,87	36,13	33,03	34,69	35,95
11	Harbour	1	27,08	28,89	30,20	28,04	29,60	30,94	28,27	29,68	30,93
12	Harbour	1/2	27,51	29,54	30,90	28,85	30,56	31,81	29,15	30,75	31,92
13	Harbour	1/4	27,55	29,77	31,22	29,09	31,02	32,30	29,54	31,26	32,55
14	Harbour	1/8	27,50	29,78	31,28	29,04	31,06	32,42	29,56	31,37	32,71
15	Harbour	1/16	27,45	29,71	31,27	28,98	31,00	32,42	29,50	31,34	32,69
16	Ice	1	36,43	39,12	41,05	36,41	39,04	40,97	36,14	38,78	40,72
17	Ice	1/2	36,86	39,55	41,44	36,92	39,53	41,41	36,67	39,29	41,20
18	Ice	1/4	36,91	39,70	41,62	36,97	39,70	41,63	36,74	39,46	41,42
19	Ice	1/8	36,80	39,65	41,63	36,86	39,65	41,61	36,58	39,40	41,40
20	Ice	1/16	36,68	39,57	41,56	36,70	39,54	41,54	36,39	39,27	41,30
21	Soccer	1	31,05	32,75	34,05	31,08	32,84	34,15	31,06	32,84	34,15
22	Soccer	1/2	30,82	32,67	34,03	30,76	32,68	34,10	30,58	32,55	33,97
23	Soccer	1/4	30,72	32,62	34,03	30,54	32,57	34,06	30,32	32,42	33,90
24	Soccer	1/8	30,65	32,57	34,00	30,42	32,53	34,02	30,18	32,35	33,89
25	Soccer	1/16	30,55	32,49	33,94	30,29	32,43	33,96	30,02	32,24	33,80
26	Football	1	29,77	31,46	32,80	29,62	31,26	32,65	29,57	31,20	32,60
27	Football	1/2	29,24	30,85	32,28	28,81	30,45	31,85	28,51	30,14	31,55
28	Football	1/4	28,97	30,63	32,08	28,29	30,03	31,47	27,74	29,59	31,05
29	Football	1/8	28,82	30,52	31,96	27,93	29,82	31,30	27,38	29,32	30,78
30	Football	1/16	28,71	30,43	31,90	27,78	29,71	31,23	27,13	29,12	30,55
31	Silent	1	33,67	35,56	37,25	35,52	37,68	39,52	37,03	39,26	41,07
32	Silent	1/2	33,74	35,67	37,40	35,71	37,95	39,80	37,32	39,67	41,49
33	Silent	1/4	33,75	35,67	37,43	35,70	37,99	39,88	37,37	39,78	41,63
34	Silent	1/8	33,73	35,64	37,41	35,66	37,95	39,89	37,31	39,73	41,63
35	Silent	1/16	33,68	35,60	37,38	35,59	37,89	39,85	37,22	39,66	41,59
36	Mobile	1	22,81	24,45	25,78	24,22	25,66	26,83	24,81	26,18	27,18
37	Mobile	1/2	23,44	25,59	27,16	25,81	27,85	29,15	27,24	28,88	29,89
38	Mobile	1/4	23,54	25,90	27,66	26,26	28,81	30,39	28,36	30,36	31,61
39	Mobile	1/8	23,48	25,88	27,70	26,14	28,94	30,66	28,41	30,69	32,06
40	Mobile	1/16	23,41	25,83	27,65	26,02	28,81	30,67	28,22	30,64	32,08
41	Foreman	1	33,67	35,39	36,85	34,16	35,76	37,08	34,14	35,66	36,96
42	Foreman	1/2	33,95	35,79	37,31	34,56	36,24	37,62	34,59	36,20	37,56
43	Foreman	1/4	33,98	35,91	37,49	34,64	36,43	37,89	34,70	36,42	37,85
44	Foreman	1/8	33,92	35,89	37,49	34,57	36,41	37,89	34,61	36,39	37,86
45	Foreman	1/16	33,83	35,83	37,45	34,45	36,33	37,82	34,50	36,31	37,79

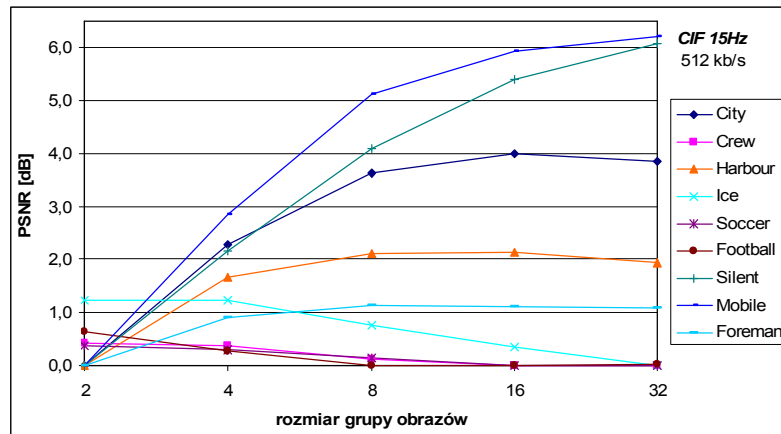
## Wyniki badań dla włączonej funkcji adaptacji



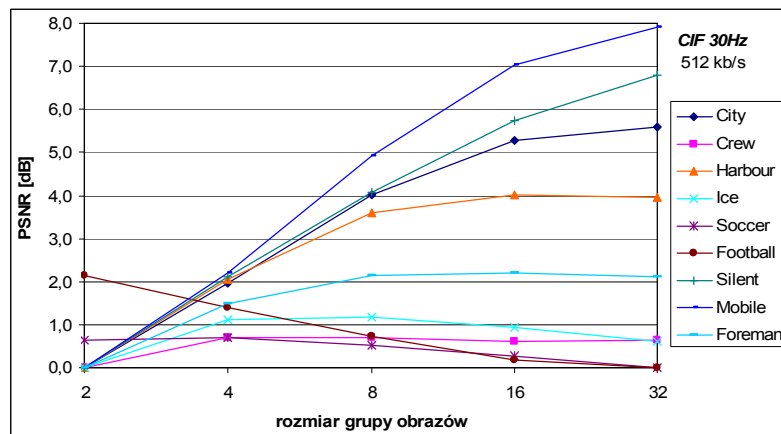
Rys. B. 18. Względna wartość współczynnika PSNR (0dB przyjęto najmniejszą wartość PSNR dla danej sekwencji) w zależności od długości grupy obrazów, adaptacja wyłączona, CIF 15Hz, 256kb/s



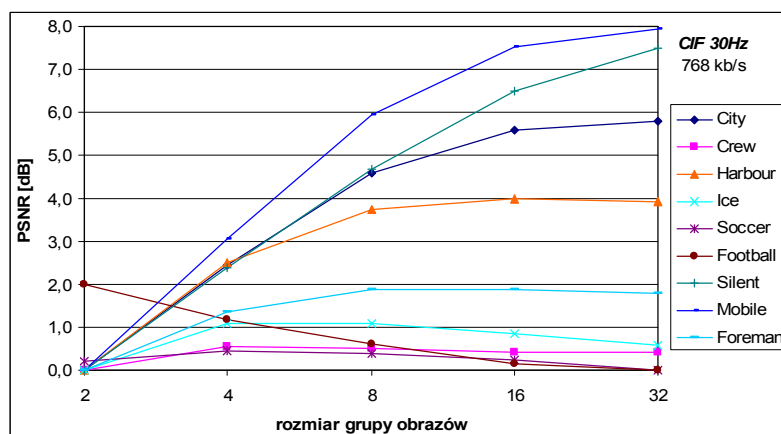
Rys. B. 19. Względna wartość współczynnika PSNR (0dB przyjęto najmniejszą wartość PSNR dla danej sekwencji) w zależności od długości grupy obrazów, adaptacja wyłączona, CIF 15Hz, 384kb/s



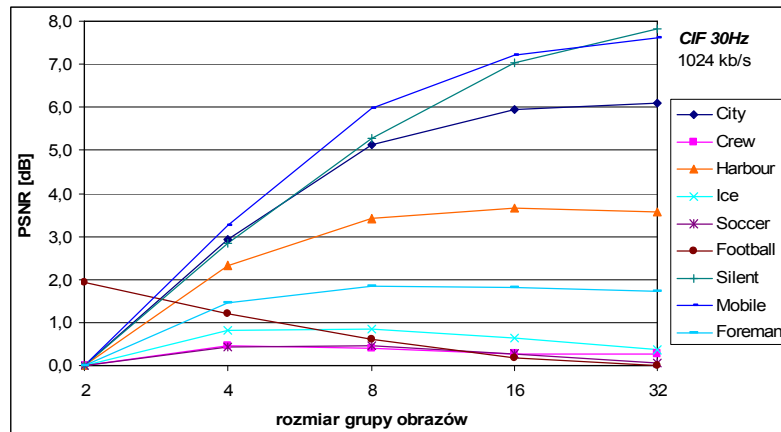
Rys. B. 20. Względna wartość współczynnika PSNR (0dB przyjęto najmniejszą wartość PSNR dla danej sekwencji) w zależności od długości grupy obrazów, adaptacja wyłączona, CIF 15Hz, 512kb/s



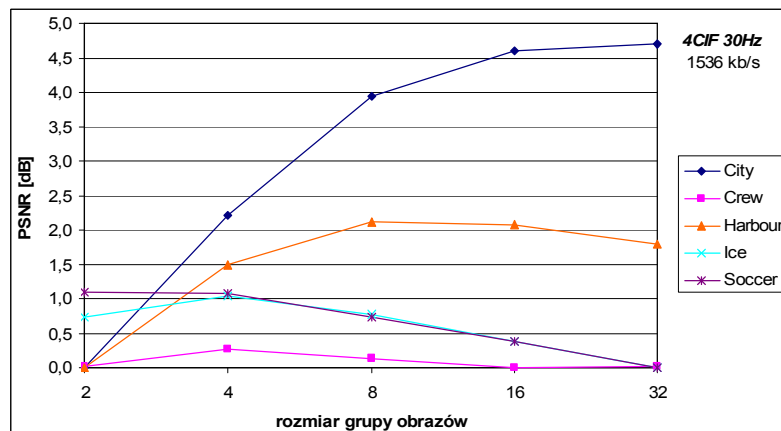
Rys. B. 21. Względna wartość współczynnika PSNR (0dB przyjęto najmniejszą wartość PSNR dla danej sekwencji) w zależności od długości grupy obrazów, adaptacja wyłączona, CIF 30Hz, 512kb/s



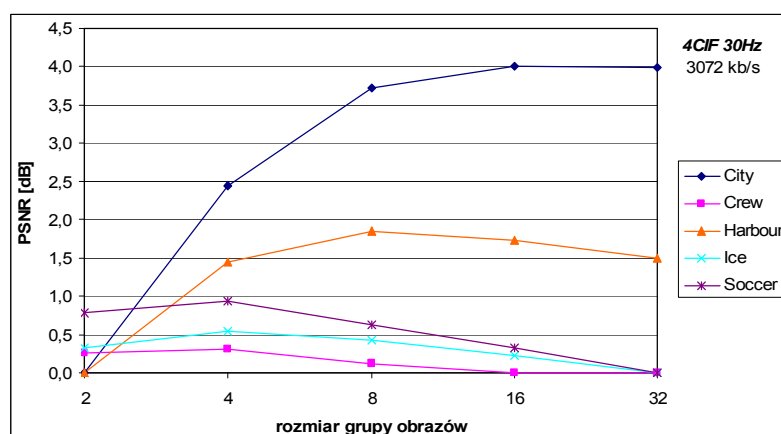
Rys. B. 22. Względna wartość współczynnika PSNR (0dB przyjęto najmniejszą wartość PSNR dla danej sekwencji) w zależności od długości grupy obrazów, adaptacja wyłączona, CIF 30Hz, 768kb/s



Rys. B. 23. Względna wartość współczynnika PSNR (0dB przyjęto najmniejszą wartość PSNR dla danej sekwencji) w zależności od długości grupy obrazów, adaptacja wyłączona, CIF 30Hz, 1024kb/s



Rys. B. 24. Względna wartość współczynnika PSNR (0dB przyjęto najmniejszą wartość PSNR dla danej sekwencji) w zależności od długości grupy obrazów, adaptacja wyłączona, 4CIF 30Hz, 1536kb/s



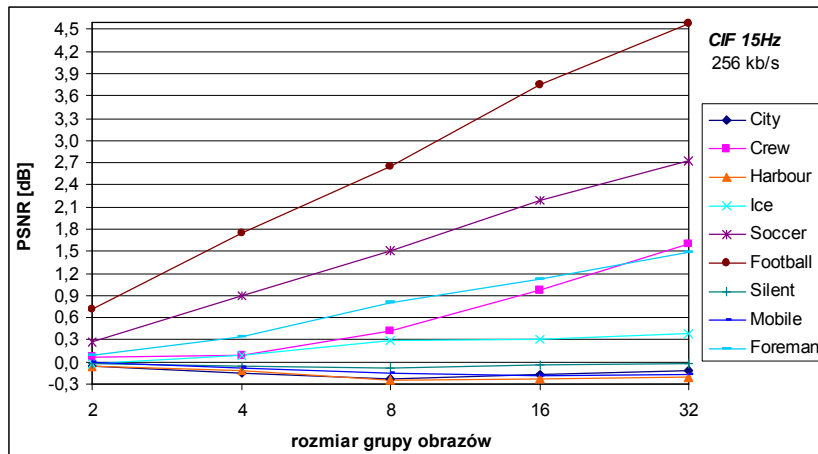
Rys. B. 25. Względna wartość współczynnika PSNR (0dB przyjęto najmniejszą wartość PSNR dla danej sekwencji) w zależności od długości grupy obrazów, adaptacja wyłączona, 4CIF 30Hz, 3072kb/s



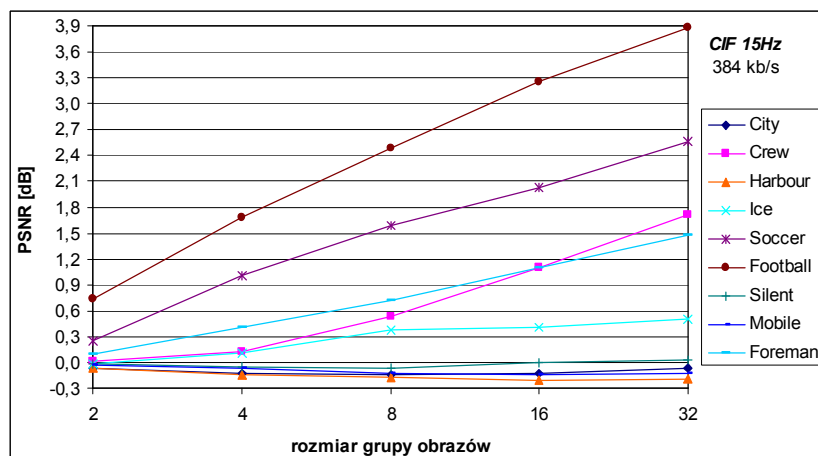
**Tabela B. 3. Wartości współczynnika PSNR przy wyłączonej funkcji adaptacji w badaniu wpływu opóźnienia kodowania na efektywność kompresji**

Lp	Sekwencja	k	Wartości współczynnika PSNR[dB] dla zadanych rozdzielczości oraz prędkości transmisji							
			CIF 15Hz			CIF 30Hz			4CIF 30Hz	
			256 kb/s	384 kb/s	512 kb/s	512 kb/s	768 kb/s	1024 kb/s	1536 kb/s	3072 kb/s
1	City	1	28,84	30,52	31,84	29,04	30,80	32,07	29,29	32,48
2	City	2	30,50	32,60	34,21	31,10	33,33	35,11	31,55	34,96
3	City	3	31,82	33,95	35,58	33,21	35,51	37,30	33,32	36,24
4	City	4	32,26	34,36	35,86	34,44	36,50	38,09	33,95	36,50
5	City	5	32,07	34,17	35,65	34,72	36,66	38,20	34,01	36,46
6	Crew	1	32,04	33,76	35,01	32,62	34,35	35,74	34,62	37,21
7	Crew	2	32,08	33,67	34,79	33,27	34,91	36,11	34,61	37,00
8	Crew	3	31,57	33,09	34,17	33,07	34,67	35,81	34,11	36,31
9	Crew	4	30,92	32,41	33,47	32,64	34,18	35,29	33,41	35,72
10	Crew	5	30,31	31,79	32,95	32,03	33,59	34,72	32,81	35,18
11	Harbour	1	25,25	26,97	28,52	25,54	27,30	28,94	28,57	31,75
12	Harbour	2	26,86	28,83	30,22	27,65	29,86	31,32	30,08	33,21
13	Harbour	3	27,84	29,47	30,73	29,24	31,15	32,42	30,73	33,63
14	Harbour	4	27,97	29,51	30,75	29,70	31,39	32,65	30,71	33,52
15	Harbour	5	27,77	29,30	30,54	29,64	31,30	32,57	30,43	33,28
16	Ice	1	34,74	37,29	39,43	35,86	38,67	40,84	38,60	41,93
17	Ice	2	34,69	37,18	39,27	37,00	39,76	41,67	38,83	42,10
18	Ice	3	34,01	36,54	38,71	37,04	39,72	41,62	38,42	41,88
19	Ice	4	33,42	35,98	38,17	36,72	39,41	41,35	37,90	41,55
20	Ice	5	32,95	35,52	37,59	36,34	39,07	41,04	37,45	41,26
21	Soccer	1	29,69	31,36	32,55	30,64	32,33	33,56	31,03	34,01
22	Soccer	2	28,79	30,48	31,92	30,58	32,43	33,85	30,48	33,62
23	Soccer	3	27,96	29,75	31,24	30,26	32,25	33,73	29,66	32,92
24	Soccer	4	27,09	29,04	30,52	29,94	31,98	33,45	28,82	32,26
25	Soccer	5	26,56	28,52	29,85	29,53	31,51	33,09	28,10	31,67
26	Football	1	28,58	30,17	31,48	29,75	31,42	32,78	-	-
27	Football	2	27,11	28,85	30,03	28,88	30,53	31,88	-	-
28	Football	3	25,96	27,79	29,03	27,91	29,69	31,05	-	-
29	Football	4	24,85	27,03	28,30	27,19	28,98	30,19	-	-
30	Football	5	24,03	26,42	27,81	26,61	28,47	29,71	-	-
31	Silent	1	31,42	33,07	34,34	31,64	33,31	34,61	-	-
32	Silent	2	33,15	35,00	36,53	33,78	35,71	37,47	-	-
33	Silent	3	34,62	36,78	38,48	35,76	38,04	39,94	-	-
34	Silent	4	35,77	37,94	39,73	37,44	39,82	41,69	-	-
35	Silent	5	36,48	38,72	40,40	38,47	40,82	42,43	-	-
36	Mobile	1	21,20	22,68	24,19	21,34	22,86	24,41	-	-
37	Mobile	2	23,19	25,44	27,11	23,58	25,94	27,72	-	-
38	Mobile	3	25,28	27,69	29,41	26,37	28,90	30,47	-	-
39	Mobile	4	26,90	28,99	30,20	28,49	30,46	31,70	-	-
40	Mobile	5	27,40	29,23	30,48	29,37	30,88	32,08	-	-
41	Foreman	1	31,73	33,74	35,05	32,53	34,56	36,05	-	-
42	Foreman	2	32,29	34,24	35,61	33,99	35,90	37,47	-	-
43	Foreman	3	32,21	34,20	35,45	34,55	36,31	37,74	-	-
44	Foreman	4	31,89	33,80	35,05	34,45	36,13	37,56	-	-
45	Foreman	5	31,52	33,39	34,68	34,12	35,81	37,29	-	-

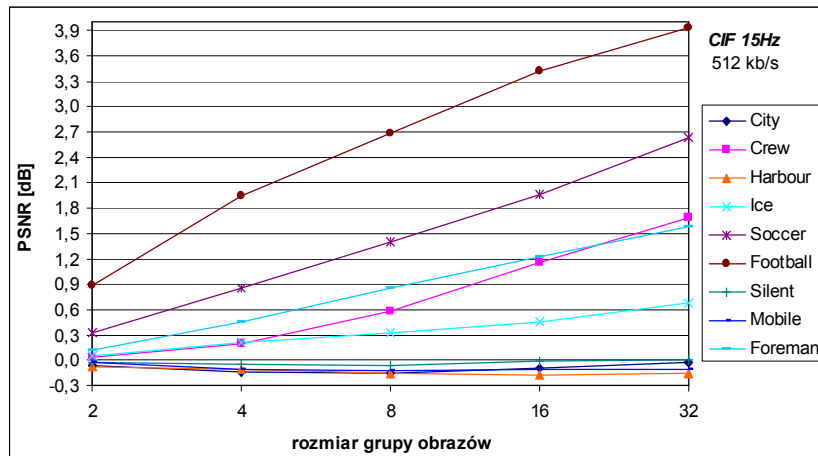
## Wyniki badań dla wyłączonej funkcji adaptacji



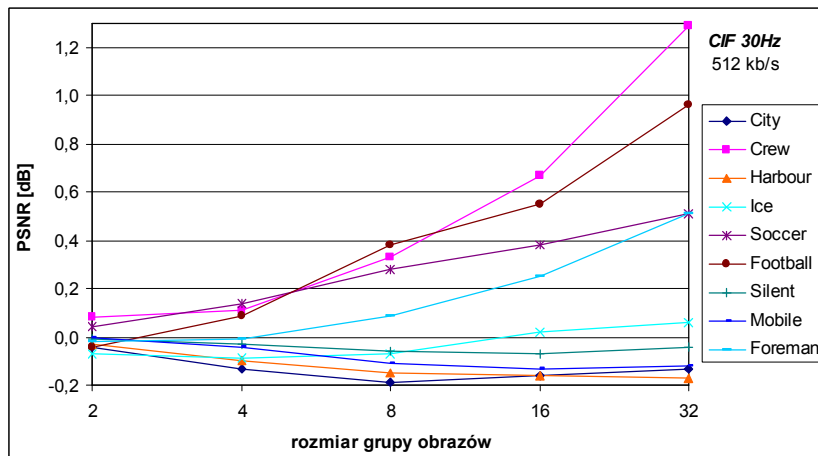
Rys. B. 26. Przyrost wartości PSNR przy włączonej adaptacji w stosunku do wyłączonej adaptacji, CIF 15Hz, 256kb/s



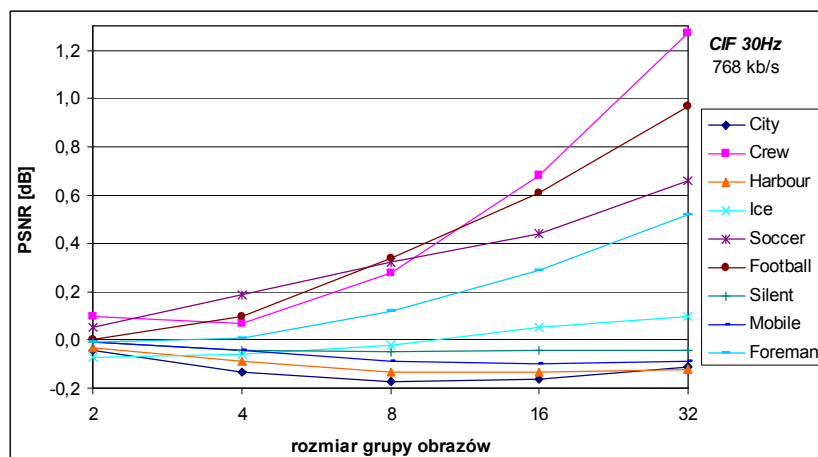
Rys. B. 27. Przyrost wartości PSNR przy włączonej adaptacji w stosunku do wyłączonej adaptacji, CIF 15Hz, 384kb/s



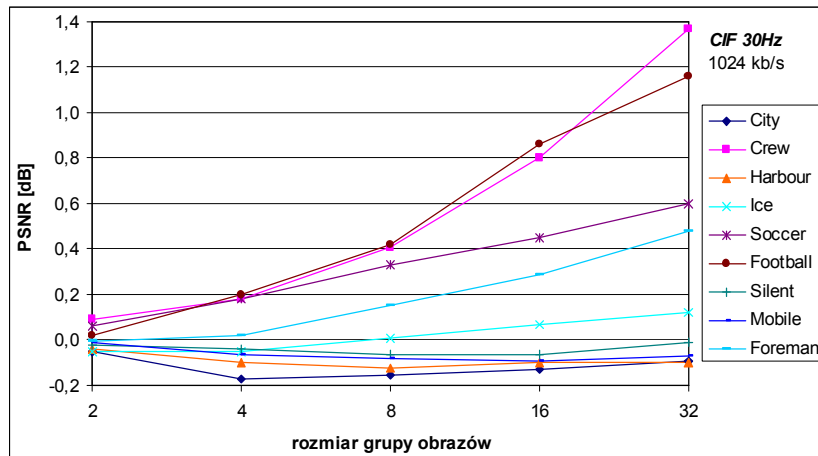
Rys. B. 28. Przyrost wartości PSNR przy włączonej adaptacji w stosunku do wyłączonej adaptacji, CIF 15Hz, 512kb/s



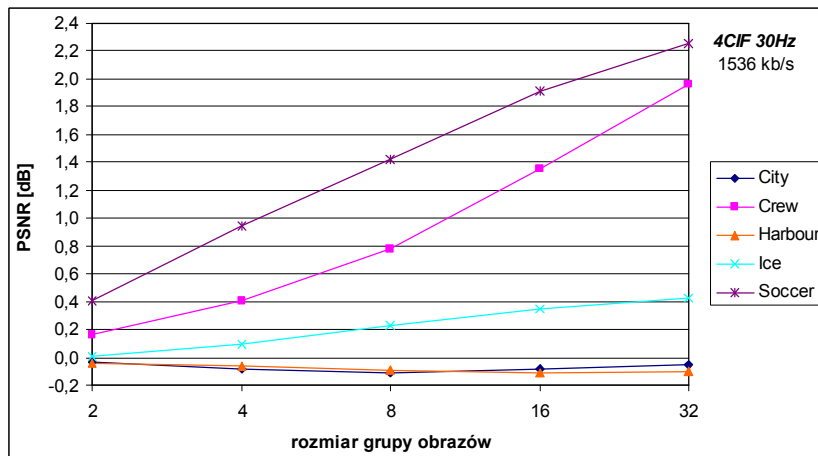
Rys. B. 29. Przyrost wartości PSNR przy włączonej adaptacji w stosunku do wyłączonej adaptacji, CIF 30Hz, 512kb/s



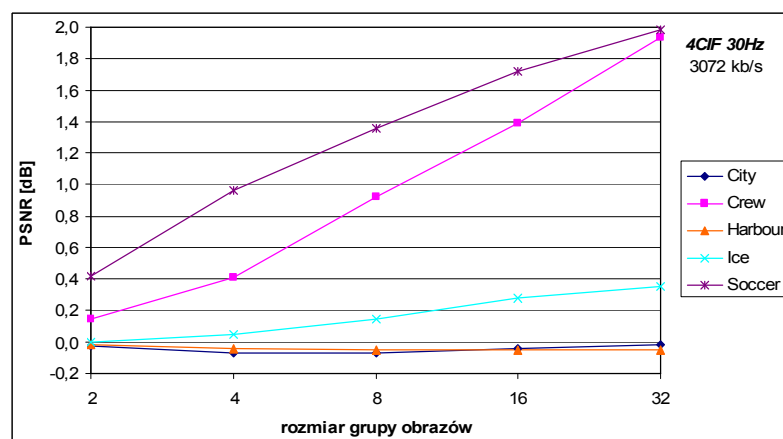
Rys. B. 30. Przyrost wartości PSNR przy włączonej adaptacji w stosunku do wyłączonej adaptacji, CIF 30Hz, 768kb/s



Rys. B. 31. Przyrost wartości PSNR przy włączonej adaptacji w stosunku do wyłączonej adaptacji, CIF 30Hz, 1024kb/s



Rys. B. 32. Przyrost wartości PSNR przy włączonej adaptacji w stosunku do wyłączonej adaptacji, 4CIF 30Hz, 1536kb/s



Rys. B. 33. Przyrost wartości PSNR przy włączonej adaptacji w stosunku do wyłączonej adaptacji, 4CIF 30Hz, 3072kb/s

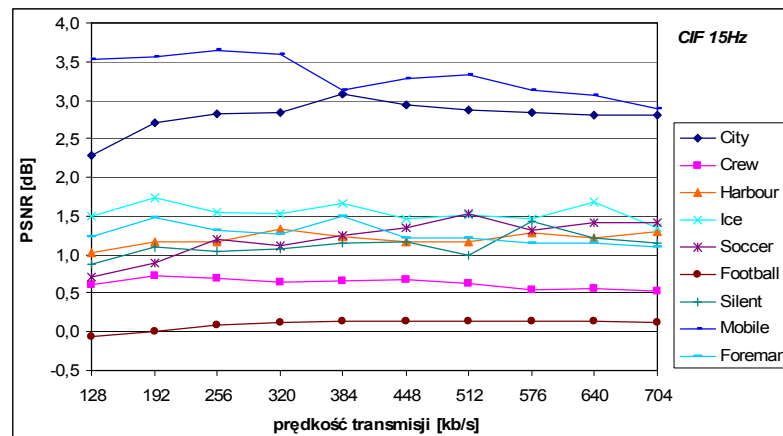
**Tabela B. 4. Wartości współczynnika PSNR przy włączonej funkcji adaptacji w badaniu wpływu opóźnienia kodowania na efektywność kompresji**

Lp	Sekwencja	k	Wartości współczynnika PSNR[dB] dla zadanych rozdzielczości oraz prędkości transmisji							
			CIF 15Hz			CIF 30Hz			4CIF 30Hz	
			256 kb/s	384 kb/s	512 kb/s	512 kb/s	768 kb/s	1024 kb/s	1536 kb/s	3072 kb/s
1	City	1	28,78	30,45	31,78	29,00	30,76	32,02	29,26	32,45
2	City	2	30,35	32,48	34,07	30,97	33,20	34,94	31,47	34,89
3	City	3	31,60	33,80	35,42	33,02	35,34	37,15	33,21	36,17
4	City	4	32,09	34,24	35,77	34,28	36,34	37,96	33,87	36,46
5	City	5	31,96	34,11	35,63	34,59	36,55	38,11	33,96	36,44
6	Crew	1	32,10	33,78	35,05	32,70	34,45	35,83	34,78	37,36
7	Crew	2	32,17	33,80	34,99	33,38	34,98	36,29	35,02	37,41
8	Crew	3	31,99	33,62	34,76	33,40	34,95	36,22	34,89	37,23
9	Crew	4	31,89	33,51	34,63	33,31	34,86	36,09	34,76	37,11
10	Crew	5	31,90	33,51	34,64	33,32	34,86	36,09	34,77	37,11
11	Harbour	1	25,19	26,90	28,45	25,51	27,27	28,90	28,53	31,73
12	Harbour	2	26,74	28,69	30,11	27,55	29,77	31,22	30,02	33,17
13	Harbour	3	27,59	29,29	30,57	29,09	31,02	32,30	30,64	33,58
14	Harbour	4	27,75	29,30	30,58	29,54	31,26	32,55	30,60	33,47
15	Harbour	5	27,56	29,11	30,39	29,47	31,18	32,47	30,33	33,23
16	Ice	1	34,72	37,28	39,49	35,79	38,60	40,79	38,61	41,93
17	Ice	2	34,78	37,29	39,49	36,91	39,70	41,62	38,92	42,15
18	Ice	3	34,30	36,91	39,04	36,97	39,70	41,63	38,65	42,03
19	Ice	4	33,72	36,39	38,62	36,74	39,46	41,42	38,25	41,83
20	Ice	5	33,33	36,02	38,27	36,40	39,17	41,16	37,88	41,61
21	Soccer	1	29,97	31,61	32,87	30,68	32,38	33,62	31,44	34,43
22	Soccer	2	29,68	31,49	32,78	30,72	32,62	34,03	31,42	34,58
23	Soccer	3	29,46	31,33	32,64	30,54	32,57	34,06	31,08	34,28
24	Soccer	4	29,28	31,07	32,49	30,32	32,42	33,90	30,73	33,98
25	Soccer	5	29,28	31,09	32,49	30,04	32,17	33,69	30,35	33,65
26	Football	1	29,29	30,91	32,36	29,71	31,42	32,80	-	-
27	Football	2	28,85	30,53	31,98	28,97	30,63	32,08	-	-
28	Football	3	28,61	30,28	31,72	28,29	30,03	31,47	-	-
29	Football	4	28,61	30,29	31,73	27,74	29,59	31,05	-	-
30	Football	5	28,61	30,30	31,74	27,57	29,44	30,87	-	-
31	Silent	1	31,40	33,05	34,32	31,63	33,30	34,59	-	-
32	Silent	2	33,09	34,95	36,49	33,75	35,67	37,43	-	-
33	Silent	3	34,54	36,71	38,42	35,70	37,99	39,88	-	-
34	Silent	4	35,72	37,94	39,72	37,37	39,78	41,63	-	-
35	Silent	5	36,46	38,75	40,40	38,43	40,78	42,42	-	-
36	Mobile	1	21,19	22,65	24,16	21,34	22,85	24,40	-	-
37	Mobile	2	23,12	25,37	27,01	23,54	25,90	27,66	-	-
38	Mobile	3	25,13	27,56	29,28	26,26	28,81	30,39	-	-
39	Mobile	4	26,71	28,84	30,09	28,36	30,36	31,61	-	-
40	Mobile	5	27,23	29,10	30,37	29,25	30,79	32,01	-	-
41	Foreman	1	31,81	33,83	35,17	32,51	34,55	36,05	-	-
42	Foreman	2	32,64	34,65	36,07	33,98	35,91	37,49	-	-
43	Foreman	3	33,01	34,93	36,31	34,64	36,43	37,89	-	-
44	Foreman	4	33,01	34,90	36,27	34,70	36,42	37,85	-	-
45	Foreman	5	33,01	34,87	36,25	34,63	36,33	37,77	-	-

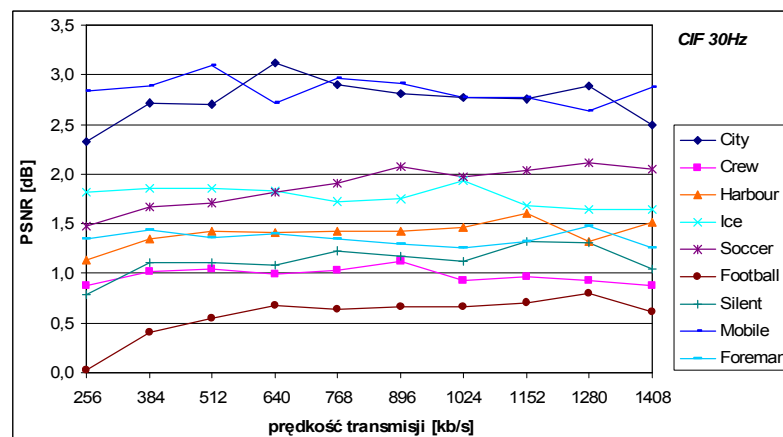
## Załącznik C.

### Wyniki badań eksperymentalnych związku efektywności kompresji z długością filtrów analizy i syntezy

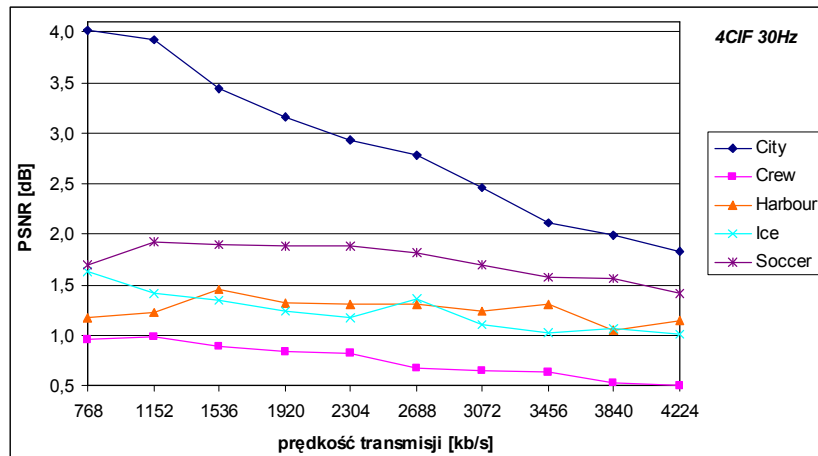
#### Wyniki badań dla stałego rozmiaru grupy obrazów



Rys. C. 1. Przyrost wartości współczynnika PSNR przy zastosowaniu filtrów 5/3 w stosunku do filtrów Haara w funkcji prędkości transmisji, CIF 15Hz



Rys. C. 2. Przyrost wartości współczynnika PSNR przy zastosowaniu filtrów 5/3 w stosunku do filtrów Haara w funkcji prędkości transmisji, CIF 30Hz



Rys. C. 3. Przyrost wartości współczynnika PSNR przy zastosowaniu filtrów 5/3 w stosunku do filtrów Haara w funkcji prędkości transmisji, 4CIF 30Hz

Tabela C. 1. Wyniki badań porównania efektywności kodowania pod względem długości zastosowanych filtrów, filtry 5/3, CIF 15Hz

Lp	Sekwencja	Wartości współczynnika PSNR[dB] dla rozdzielczości CIF 15Hz dla różnych wartości prędkości transmisji, k= 4									
		128 kb/s	192 kb/s	256 kb/s	320 kb/s	384 kb/s	448 kb/s	512 kb/s	576 kb/s	640 kb/s	704 kb/s
1	City	31,41	33,66	35,21	36,26	37,34	38,14	38,82	39,35	39,92	40,46
2	Crew	30,46	31,94	33,06	33,87	34,56	35,18	35,73	36,31	36,80	37,25
3	Harbour	26,38	28,04	29,10	29,95	30,67	31,24	31,80	32,33	32,78	33,27
4	Ice	32,68	34,89	36,44	37,69	38,95	39,90	40,81	41,60	42,55	43,19
5	Soccer	28,89	30,69	32,06	33,05	33,96	34,82	35,69	36,27	36,92	37,49
6	Football	27,06	28,90	30,06	30,99	31,88	32,57	33,25	33,88	34,45	35,03
7	Silent	33,40	35,55	36,95	38,20	39,34	40,32	40,87	41,83	42,54	43,13
8	Mobile	23,76	26,80	28,47	29,58	30,18	31,01	31,61	32,15	32,61	33,00
9	Foreman	32,07	34,05	35,34	36,23	37,16	37,84	38,46	38,96	39,41	39,78

Tabela C. 2. Wyniki badań porównania efektywności kodowania pod względem długości zastosowanych filtrów, filtry Haara, CIF 15Hz

Lp	Sekwencja	Wartości współczynnika PSNR[dB] dla rozdzielczości CIF 15Hz dla różnych wartości prędkości transmisji, k= 4									
		128 kb/s	192 kb/s	256 kb/s	320 kb/s	384 kb/s	448 kb/s	512 kb/s	576 kb/s	640 kb/s	704 kb/s
1	City	29,13	30,95	32,38	33,42	34,27	35,20	35,95	36,51	37,12	37,65
2	Crew	29,86	31,22	32,37	33,23	33,90	34,50	35,11	35,77	36,24	36,73
3	Harbour	25,35	26,87	27,94	28,62	29,44	30,07	30,63	31,05	31,56	31,97
4	Ice	31,18	33,16	34,89	36,16	37,28	38,43	39,30	40,14	40,87	41,84
5	Soccer	28,18	29,79	30,87	31,94	32,72	33,47	34,16	34,96	35,50	36,08
6	Football	27,12	28,89	29,97	30,87	31,75	32,44	33,12	33,74	34,32	34,91
7	Silent	32,53	34,46	35,91	37,13	38,19	39,15	39,87	40,40	41,32	41,99
8	Mobile	20,23	23,23	24,82	25,99	27,05	27,73	28,28	29,03	29,55	30,10
9	Foreman	30,84	32,57	34,03	34,97	35,66	36,62	37,24	37,81	38,27	38,69

**Tabela C. 3. Wyniki badań porównania efektywności kodowania pod względem długości zastosowanych filtrów, filtry 5/3, CIF 30Hz**

Lp	Sekwencja	Wartości współczynnika PSNR[dB] dla rozdzielczości CIF 30Hz dla różnych wartości prędkości transmisji, k= 4									
		256 kb/s	384 kb/s	512 kb/s	640 kb/s	768 kb/s	896 kb/s	1024 kb/s	1152 kb/s	1280 kb/s	1408 kb/s
1	City	33,33	35,70	37,17	38,51	39,42	40,11	40,74	41,30	41,84	42,23
2	Crew	31,51	33,05	34,23	35,09	35,83	36,58	37,12	37,68	38,15	38,59
3	Harbour	28,00	29,85	30,90	31,89	32,65	33,27	33,84	34,51	34,92	35,48
4	Ice	35,19	37,50	39,06	40,55	41,59	42,55	43,60	44,40	45,12	45,75
5	Soccer	30,76	32,59	33,99	35,13	36,10	37,06	37,84	38,61	39,26	39,78
6	Football	27,30	29,49	30,78	31,76	32,68	33,42	34,09	34,72	35,41	35,93
7	Silent	34,62	36,92	38,47	39,84	41,07	41,85	42,80	43,69	44,43	44,90
8	Mobile	25,52	28,31	30,07	30,90	31,92	32,69	33,26	33,75	34,17	34,85
9	Foreman	33,91	35,96	37,08	38,16	38,95	39,58	40,10	40,64	41,19	41,63

**Tabela C. 4. Wyniki badań porównania efektywności kodowania pod względem długości zastosowanych filtrów, filtry Haara, CIF 30Hz**

Lp	Sekwencja	Wartości współczynnika PSNR[dB] dla rozdzielczości CIF 30Hz dla różnych wartości prędkości transmisji, k= 4									
		256 kb/s	384 kb/s	512 kb/s	640 kb/s	768 kb/s	896 kb/s	1024 kb/s	1152 kb/s	1280 kb/s	1408 kb/s
1	City	31,00	32,98	34,47	35,39	36,52	37,30	37,97	38,54	38,95	39,73
2	Crew	30,63	32,03	33,19	34,10	34,80	35,46	36,19	36,71	37,22	37,72
3	Harbour	26,86	28,51	29,47	30,48	31,22	31,85	32,38	32,90	33,60	33,97
4	Ice	33,37	35,65	37,20	38,72	39,86	40,80	41,67	42,72	43,48	44,10
5	Soccer	29,29	30,92	32,28	33,32	34,19	34,98	35,87	36,57	37,15	37,73
6	Football	27,27	29,08	30,23	31,08	32,04	32,75	33,42	34,02	34,61	35,32
7	Silent	33,83	35,81	37,36	38,75	39,84	40,68	41,68	42,37	43,13	43,85
8	Mobile	22,68	25,43	26,98	28,19	28,96	29,78	30,49	30,98	31,53	31,98
9	Foreman	32,56	34,52	35,72	36,76	37,60	38,29	38,85	39,32	39,71	40,37

**Tabela C. 5. Wyniki badań porównania efektywności kodowania pod względem długości zastosowanych filtrów, filtry 5/3, 4CIF 30Hz**

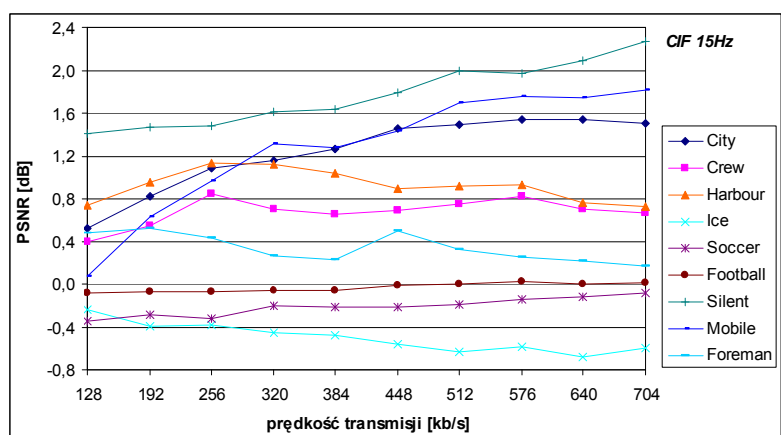
Lp	Sekwencja	Wartości współczynnika PSNR[dB] dla rozdzielczości 4CIF 30Hz dla różnych wartości prędkości transmisji, k= 4									
		768 kb/s	1152 kb/s	1536 kb/s	1920 kb/s	2304 kb/s	2688 kb/s	3072 kb/s	3456 kb/s	3840 kb/s	4224 kb/s
1	City	33,62	35,28	36,09	36,74	37,28	37,69	38,00	38,21	38,48	38,69
2	Crew	33,26	34,70	35,68	36,39	37,01	37,53	37,95	38,35	38,66	38,94
3	Harbour	29,26	30,81	32,01	32,81	33,48	34,06	34,55	35,12	35,48	35,92
4	Ice	37,85	39,42	40,69	41,56	42,26	43,05	43,58	44,03	44,51	44,91
5	Soccer	32,26	33,99	35,19	36,12	36,91	37,50	38,05	38,52	38,95	39,27



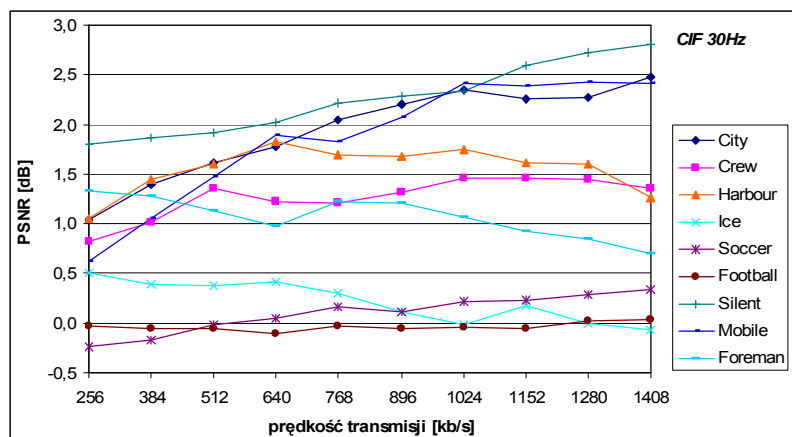
Tabela C. 6. Wyniki badań porównania efektywności kodowania pod względem długości zastosowanych filtrów, filtry Haara, 4CIF 30Hz

Lp	Sekwencja	Wartości współczynnika PSNR[dB] dla rozdzielczości 4CIF 30Hz dla różnych wartości prędkości transmisji, k= 4									
		768 kb/s	1152 kb/s	1536 kb/s	1920 kb/s	2304 kb/s	2688 kb/s	3072 kb/s	3456 kb/s	3840 kb/s	4224 kb/s
1	City	29,60	31,36	32,65	33,58	34,35	34,91	35,54	36,10	36,49	36,86
2	Crew	32,30	33,71	34,79	35,56	36,19	36,85	37,30	37,72	38,13	38,44
3	Harbour	28,09	29,58	30,56	31,49	32,17	32,75	33,31	33,82	34,43	34,77
4	Ice	36,22	38,00	39,35	40,32	41,09	41,69	42,47	43,00	43,45	43,90
5	Soccer	30,56	32,07	33,29	34,23	35,03	35,69	36,36	36,95	37,39	37,85

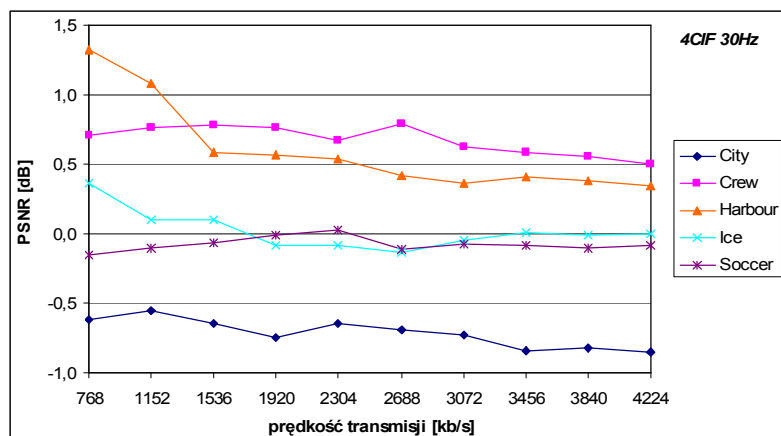
### Wyniki badań dla stałej wartości opóźnienia



Rys. C. 4. Przyrost wartości współczynnika PSNR przy zastosowaniu filtrów Haara (k=2) w stosunku do filtrów 5/3 (k=1) w funkcji prędkości transmisji, CIF 15Hz



Rys. C. 5. Przyrost wartości współczynnika PSNR przy zastosowaniu filtrów Haara (k=2) w stosunku do filtrów 5/3 (k=1) w funkcji prędkości transmisji, CIF 30Hz



Rys. C. 6. Przyrost wartości współczynnika PSNR przy zastosowaniu filtrów Haara ( $k=2$ ) w stosunku do filtrów 5/3 ( $k=1$ ) w funkcji prędkości transmisji, 4CIF 30Hz

Tabela C. 7. Wyniki badań porównania efektywności kodowania pod względem długości zastosowanych filtrów, filtry 5/3 dla  $k=1$ , CIF 15Hz

Lp	Sekwencja	Wartości współczynnika PSNR[dB] dla rozdzielczości CIF 15Hz dla różnych wartości prędkości transmisji, $k=1$									
		128 kb/s	192 kb/s	256 kb/s	320 kb/s	384 kb/s	448 kb/s	512 kb/s	576 kb/s	640 kb/s	704 kb/s
1	City	27,13	28,35	29,39	30,32	31,09	31,78	32,49	33,26	33,91	34,50
2	Crew	29,21	30,41	31,32	32,33	33,07	33,69	34,28	34,86	35,44	36,00
3	Harbour	23,07	24,47	25,56	26,51	27,37	28,31	28,99	29,52	30,21	30,82
4	Ice	31,71	33,91	35,69	37,08	38,54	39,65	40,60	41,38	42,19	43,00
5	Soccer	28,76	30,13	31,21	32,07	32,82	33,53	34,18	34,88	35,37	35,89
6	Football	27,26	29,01	30,08	30,95	31,82	32,49	33,12	33,73	34,31	34,91
7	Silent	28,92	30,43	31,60	32,48	33,26	33,96	34,52	35,16	35,72	36,22
8	Mobile	19,39	20,60	21,53	22,39	23,29	24,00	24,51	25,16	25,77	26,32
9	Foreman	29,21	31,21	32,75	33,87	34,71	35,46	36,32	36,99	37,56	38,09

Tabela C. 8. Wyniki badań porównania efektywności kodowania pod względem długości zastosowanych filtrów, filtry Haara dla  $k=2$ , CIF 15Hz

Lp	Sekwencja	Wartości współczynnika PSNR[dB] dla rozdzielczości CIF 15Hz dla różnych wartości prędkości transmisji, $k=2$									
		128 kb/s	192 kb/s	256 kb/s	320 kb/s	384 kb/s	448 kb/s	512 kb/s	576 kb/s	640 kb/s	704 kb/s
1	City	27,65	29,17	30,48	31,48	32,36	33,24	33,98	34,80	35,45	36,01
2	Crew	29,61	30,96	32,17	33,03	33,73	34,38	35,03	35,68	36,15	36,67
3	Harbour	23,81	25,42	26,70	27,63	28,41	29,20	29,91	30,45	30,98	31,55
4	Ice	31,47	33,51	35,31	36,63	38,06	39,09	39,97	40,79	41,51	42,40
5	Soccer	28,41	29,84	30,89	31,87	32,61	33,32	33,99	34,74	35,25	35,81
6	Football	27,18	28,94	30,01	30,89	31,76	32,48	33,12	33,75	34,31	34,92
7	Silent	30,33	31,90	33,08	34,09	34,90	35,75	36,52	37,13	37,81	38,49
8	Mobile	19,46	21,23	22,50	23,70	24,57	25,43	26,21	26,92	27,51	28,13
9	Foreman	29,69	31,74	33,18	34,13	34,94	35,96	36,64	37,24	37,78	38,26

**Tabela C. 9. Wyniki badań porównania efektywności kodowania pod względem długości zastosowanych filtrów, filtry 5/3 dla k=1, CIF 30Hz**

Lp	Sekwencja	Wartości współczynnika PSNR[dB] dla rozdzielczości CIF 30Hz dla różnych wartości prędkości transmisji, k= 1									
		256 kb/s	384 kb/s	512 kb/s	640 kb/s	768 kb/s	896 kb/s	1024 kb/s	1152 kb/s	1280 kb/s	1408 kb/s
1	City	27,24	28,48	29,55	30,46	31,24	31,98	32,70	33,50	34,15	34,70
2	Crew	29,18	30,37	31,28	32,29	33,02	33,64	34,23	34,79	35,39	35,95
3	Harbour	23,33	24,75	25,88	26,80	27,85	28,73	29,39	30,12	30,71	31,46
4	Ice	32,44	34,94	36,72	38,27	39,59	40,74	41,74	42,58	43,42	44,20
5	Soccer	29,48	30,79	31,88	32,75	33,53	34,35	35,06	35,63	36,21	36,75
6	Football	27,41	29,24	30,34	31,24	32,09	32,83	33,47	34,08	34,63	35,28
7	Silent	29,08	30,62	31,82	32,72	33,50	34,19	34,88	35,44	36,04	36,51
8	Mobile	19,61	20,78	21,72	22,55	23,51	24,15	24,75	25,39	26,03	26,67
9	Foreman	29,72	31,77	33,29	34,41	35,28	36,14	36,92	37,63	38,21	38,74

**Tabela C. 10. Wyniki badań porównania efektywności kodowania pod względem długości zastosowanych filtrów, filtry Haara dla k=2, CIF 30Hz**

Lp	Sekwencja	Wartości współczynnika PSNR[dB] dla rozdzielczości CIF 30Hz dla różnych wartości prędkości transmisji, k= 2									
		256 kb/s	384 kb/s	512 kb/s	640 kb/s	768 kb/s	896 kb/s	1024 kb/s	1152 kb/s	1280 kb/s	1408 kb/s
1	City	28,28	29,88	31,17	32,23	33,29	34,18	35,05	35,76	36,42	37,18
2	Crew	30,00	31,39	32,63	33,51	34,23	34,96	35,69	36,25	36,83	37,30
3	Harbour	24,38	26,20	27,48	28,63	29,54	30,41	31,14	31,73	32,31	32,72
4	Ice	32,94	35,33	37,10	38,69	39,89	40,85	41,72	42,76	43,42	44,13
5	Soccer	29,24	30,62	31,86	32,80	33,70	34,46	35,28	35,86	36,49	37,09
6	Football	27,38	29,19	30,28	31,13	32,06	32,77	33,43	34,03	34,65	35,31
7	Silent	30,88	32,48	33,74	34,74	35,72	36,47	37,22	38,03	38,76	39,31
8	Mobile	20,23	21,84	23,19	24,44	25,34	26,22	27,16	27,78	28,45	29,08
9	Foreman	31,05	33,04	34,42	35,39	36,51	37,35	37,99	38,56	39,06	39,44

**Tabela C. 11. Wyniki badań porównania efektywności kodowania pod względem długości zastosowanych filtrów dla filtrów 5/3 dla k=1, 4CIF 30Hz**

Lp	Sekwencja	Wartości współczynnika PSNR[dB] dla rozdzielczości 4CIF 30Hz dla różnych wartości prędkości transmisji, k= 1									
		768 kb/s	1152 kb/s	1536 kb/s	1920 kb/s	2304 kb/s	2688 kb/s	3072 kb/s	3456 kb/s	3840 kb/s	4224 kb/s
1	City	27,39	28,72	29,94	30,97	31,65	32,41	33,09	33,78	34,37	34,86
2	Crew	31,32	32,69	33,81	34,61	35,35	35,94	36,56	37,07	37,47	37,88
3	Harbour	25,79	27,79	29,19	30,22	31,01	31,74	32,37	32,88	33,49	34,07
4	Ice	35,91	38,07	39,44	40,59	41,33	41,94	42,57	43,00	43,44	43,82
5	Soccer	30,36	31,69	32,83	33,68	34,49	35,31	35,97	36,48	37,03	37,51

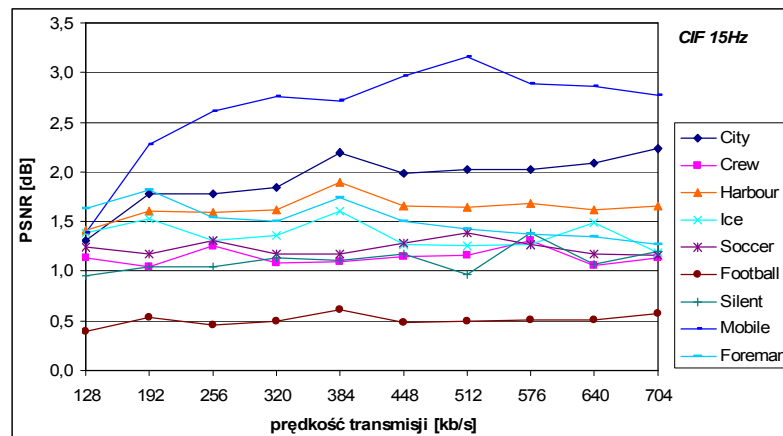
**Tabela C. 12. Wyniki badań porównania efektywności kodowania pod względem długości zastosowanych filtrów dla filtrów Haara dla k=2, 4CIF 30Hz**

Lp	Sekwencja	Wartości współczynnika PSNR[dB] dla rozdzielczości 4CIF 30Hz dla różnych wartości prędkości transmisji, k= 2									
		768 kb/s	1152 kb/s	1536 kb/s	1920 kb/s	2304 kb/s	2688 kb/s	3072 kb/s	3456 kb/s	3840 kb/s	4224 kb/s
1	City	26,77	28,17	29,29	30,22	31,00	31,72	32,36	32,94	33,55	34,01
2	Crew	32,03	33,45	34,59	35,37	36,02	36,73	37,18	37,66	38,03	38,38
3	Harbour	27,11	28,87	29,78	30,79	31,55	32,16	32,73	33,29	33,87	34,41
4	Ice	36,27	38,17	39,54	40,50	41,24	41,81	42,52	43,01	43,43	43,82
5	Soccer	30,21	31,59	32,76	33,67	34,52	35,20	35,89	36,39	36,93	37,42

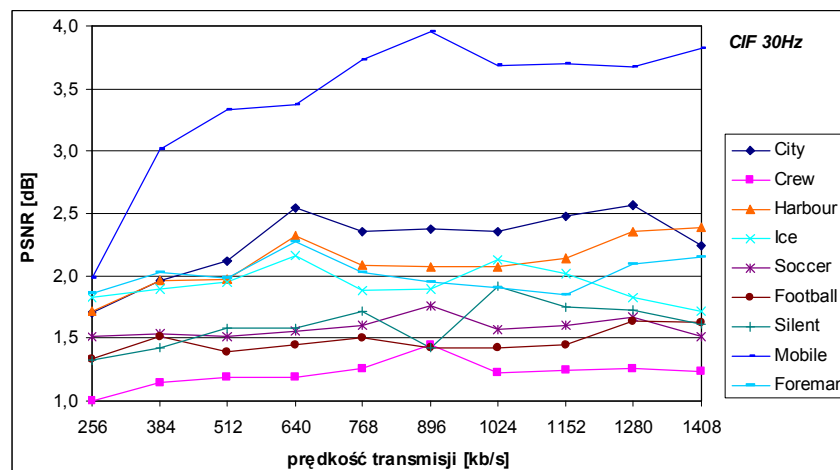
## Załącznik D.

### Wyniki badań eksperymentalnych efektywności kompresji dla zredukowanych opóźnień kodowania

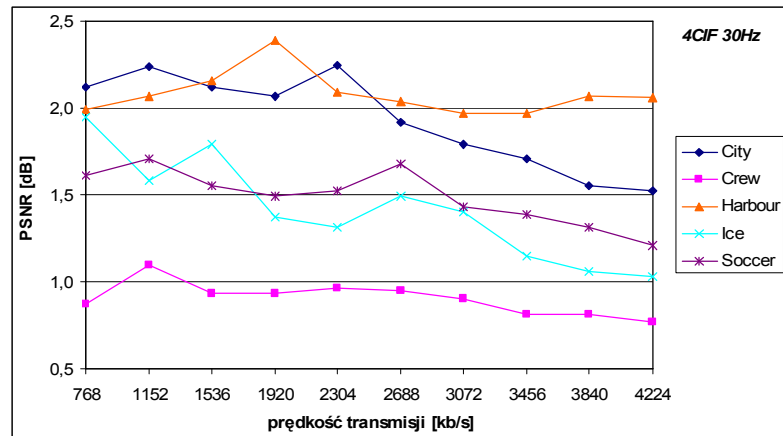
#### Wyniki badań dla schematu PPPP



Rys. D. 1. Przyrost wartości współczynnika PSNR dla schematu 3333 w stosunku do schematu PPPP, opóźnienie o 15 obrazów, CIF 15Hz



Rys. D. 2. Przyrost wartości współczynnika PSNR dla schematu 3333 w stosunku do schematu PPPP, opóźnienie o 15 obrazów, CIF 30Hz



Rys. D. 3. Przyrost wartości współczynnika PSNR dla schematu 3333 w stosunku do schematu PPPP, opóźnienie o 15 obrazów, 4CIF 30Hz

Tabela D. 1. Wartości PSNR badania efektywności kompresji dla zredukowanych opóźnień kodowania, opóźnienie o 15 obrazów, schemat PPPP, CIF 15Hz

Lp	Sekwencja	Wartości współczynnika PSNR[dB] dla rozdzielczości CIF 15Hz dla różnych wartości prędkości transmisji, k= 4									
		128 kb/s	192 kb/s	256 kb/s	320 kb/s	384 kb/s	448 kb/s	512 kb/s	576 kb/s	640 kb/s	704 kb/s
1	City	29,85	31,45	32,85	33,78	34,43	35,39	36,01	36,56	36,98	37,42
2	Crew	29,18	30,70	31,58	32,56	33,23	33,77	34,31	34,76	35,47	35,85
3	Harbour	24,38	25,81	26,81	27,43	27,97	28,80	29,37	29,77	30,27	30,63
4	Ice	30,87	32,88	34,65	35,85	36,90	38,17	39,08	39,86	40,63	41,56
5	Soccer	27,38	29,18	30,39	31,53	32,40	33,15	33,90	34,60	35,31	35,89
6	Football	26,56	28,25	29,50	30,40	31,17	32,00	32,67	33,27	33,84	34,36
7	Silent	32,19	34,12	35,56	36,65	37,76	38,65	39,45	39,96	40,89	41,39
8	Mobile	22,16	24,16	25,32	26,18	26,80	27,36	27,76	28,53	28,96	29,41
9	Foreman	30,13	31,86	33,33	34,23	34,92	35,83	36,46	36,99	37,45	37,87

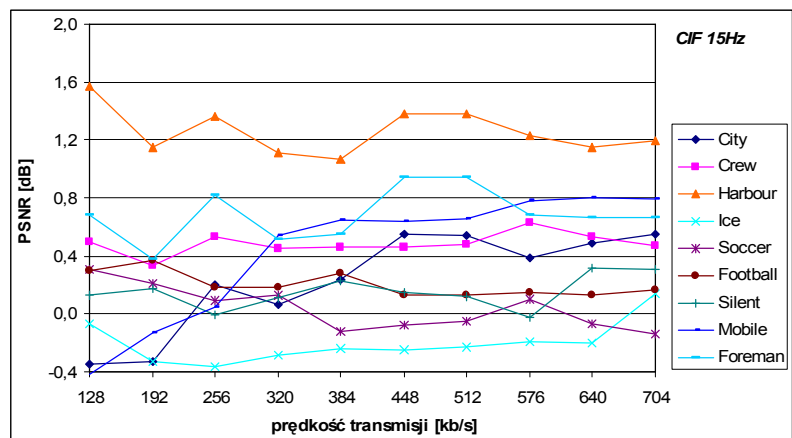
Tabela D. 2. Wartości PSNR badania efektywności kompresji dla zredukowanych opóźnień kodowania, opóźnienie o 15 obrazów, schemat PPPP, CIF 30Hz

Lp	Sekwencja	Wartości współczynnika PSNR[dB] dla rozdzielczości CIF 30Hz dla różnych wartości prędkości transmisji, k= 4									
		256 kb/s	384 kb/s	512 kb/s	640 kb/s	768 kb/s	896 kb/s	1024 kb/s	1152 kb/s	1280 kb/s	1408 kb/s
1	City	31,32	33,23	34,47	35,25	36,31	36,95	37,49	38,00	38,40	39,07
2	Crew	30,33	31,63	32,76	33,55	34,20	34,75	35,50	36,02	36,48	36,89
3	Harbour	25,62	27,14	28,07	28,69	29,66	30,28	30,86	31,27	31,69	32,06
4	Ice	32,84	35,04	36,49	37,80	39,14	40,09	40,92	41,84	42,70	43,44
5	Soccer	28,90	30,63	32,07	33,11	34,01	34,83	35,76	36,46	37,01	37,65
6	Football	25,86	27,84	29,21	30,10	30,97	31,79	32,44	33,02	33,53	34,06
7	Silent	33,08	35,19	36,55	37,83	38,92	39,89	40,39	41,41	42,11	42,70
8	Mobile	23,32	24,91	26,14	26,95	27,50	27,97	28,79	29,24	29,72	30,10
9	Foreman	31,69	33,43	34,56	35,34	36,31	36,99	37,53	37,99	38,42	38,78

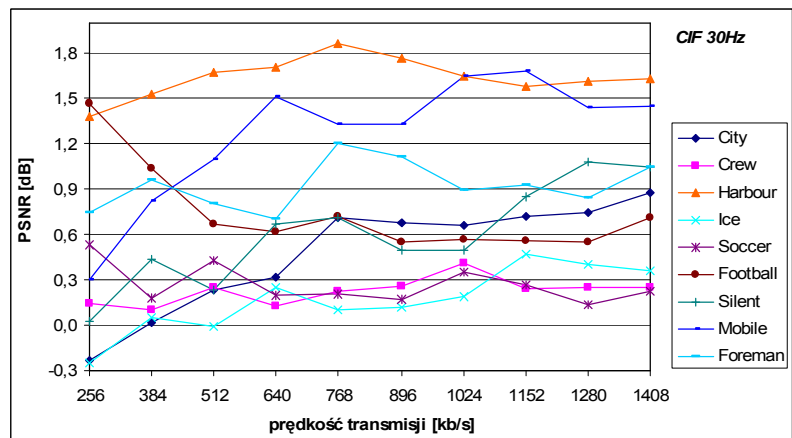
Tabela D. 3. Wartości PSNR badania efektywności kompresji dla zredukowanych opóźnień kodowania, opóźnienie o 15 obrazów, schemat PPPP, 4CIF 30Hz

Lp	Sekwencja	Wartości współczynnika PSNR[dB] dla rozdzielczości 4CIF 30Hz dla różnych wartości prędkości transmisji, k= 4									
		768 kb/s	1152 kb/s	1536 kb/s	1920 kb/s	2304 kb/s	2688 kb/s	3072 kb/s	3456 kb/s	3840 kb/s	4224 kb/s
1	City	31,11	32,48	33,36	33,92	34,29	34,95	35,39	35,71	36,04	36,29
2	Crew	32,22	33,44	34,54	35,24	35,77	36,34	36,85	37,27	37,60	37,91
3	Harbour	26,69	28,15	29,05	29,76	30,67	31,25	31,80	32,17	32,63	32,99
4	Ice	35,48	37,38	38,47	39,73	40,49	41,10	41,71	42,44	42,96	43,32
5	Soccer	30,38	31,97	33,25	34,17	34,83	35,34	36,11	36,63	37,03	37,44

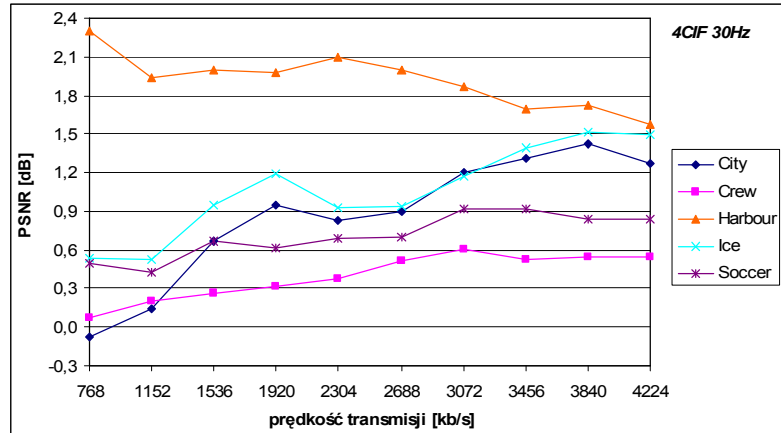
## Brak opóźnienia



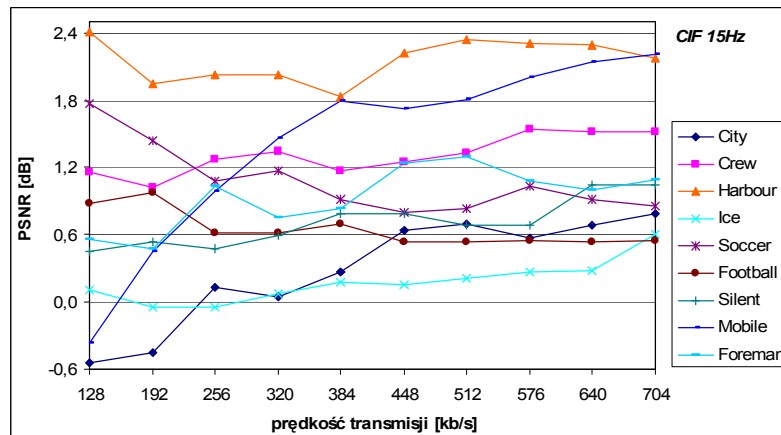
Rys. D. 4. Przyrost wartości współczynnika PSNR dla schematu UUUU w stosunku do schematu UBBB, brak opóźnienia, CIF 15Hz



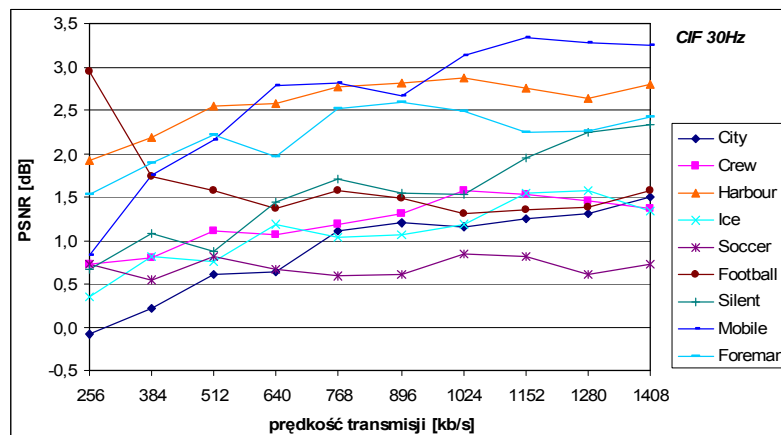
Rys. D. 5. Przyrost wartości współczynnika PSNR dla schematu UUUU w stosunku do schematu UBBB, brak opóźnienia, CIF 30Hz



Rys. D. 6. Przyrost wartości współczynnika PSNR dla schematu UUUU w stosunku do schematu UBBB, brak opóźnienia, 4CIF 30Hz

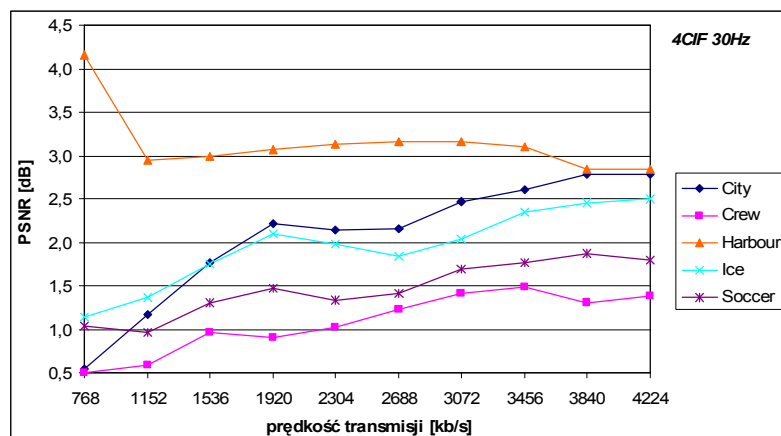


Rys. D. 7. Przyrost wartości współczynnika PSNR dla schematu UUUU w stosunku do schematu BBBB, brak opóźnienia, CIF 15Hz



Rys. D. 8. Przyrost wartości współczynnika PSNR dla schematu UUUU w stosunku do schematu BBBB, brak opóźnienia, CIF 30Hz





Rys. D. 9. Przyrost wartości współczynnika PSNR dla schematu UUUU w stosunku do schematu BBBB, brak opóźnienia, 4CIF 30Hz

Tabela D. 4. Wartości PSNR badania efektywności kompresji dla zredukowanych opóźnień kodowania, brak opóźnienia, schemat UUUU, CIF 15Hz

Lp	Sekwencja	Wartości współczynnika PSNR[dB] dla rozdzielczości CIF 15Hz dla różnych wartości prędkości transmisji, k= 4									
		128 kb/s	192 kb/s	256 kb/s	320 kb/s	384 kb/s	448 kb/s	512 kb/s	576 kb/s	640 kb/s	704 kb/s
1	City	28,65	30,27	31,60	32,50	33,31	34,23	34,85	35,39	35,96	36,42
2	Crew	29,65	30,97	32,10	32,95	33,64	34,24	34,81	35,50	35,95	36,43
3	Harbour	24,06	25,43	26,33	26,95	27,48	28,31	28,86	29,26	29,74	30,16
4	Ice	30,74	32,73	34,48	35,74	36,92	38,05	38,91	39,71	40,40	41,39
5	Soccer	27,94	29,54	30,61	31,68	32,45	33,18	33,88	34,68	35,18	35,75
6	Football	27,04	28,81	29,88	30,78	31,68	32,35	33,03	33,64	34,22	34,81
7	Silent	32,00	33,81	35,15	36,31	37,31	38,15	38,89	39,38	40,27	40,76
8	Mobile	20,09	22,84	24,25	25,31	26,18	26,80	27,27	27,86	28,41	28,93
9	Foreman	30,05	31,77	33,22	34,09	34,80	35,73	36,34	36,82	37,27	37,66

Tabela D. 5. Wartości PSNR badania efektywności kompresji dla zredukowanych opóźnień kodowania, brak opóźnienia, schemat UUUU, CIF 30Hz

Lp	Sekwencja	Wartości współczynnika PSNR[dB] dla rozdzielczości CIF 30Hz dla różnych wartości prędkości transmisji, k= 4									
		256 kb/s	384 kb/s	512 kb/s	640 kb/s	768 kb/s	896 kb/s	1024 kb/s	1152 kb/s	1280 kb/s	1408 kb/s
1	City	30,29	32,12	33,36	34,29	35,28	35,99	36,60	37,11	37,55	38,13
2	Crew	30,30	31,65	32,78	33,60	34,31	34,94	35,68	36,16	36,68	37,08
3	Harbour	25,36	26,79	27,69	28,59	29,28	29,81	30,36	30,85	31,25	31,75
4	Ice	32,67	34,93	36,45	37,99	39,09	40,00	40,87	41,92	42,65	43,24
5	Soccer	28,90	30,45	31,80	32,77	33,65	34,37	35,28	35,96	36,46	37,03
6	Football	27,10	28,89	30,00	30,87	31,83	32,54	33,19	33,81	34,37	35,10
7	Silent	33,04	35,05	36,32	37,72	38,77	39,52	40,12	41,06	41,79	42,27
8	Mobile	22,11	24,33	25,72	26,77	27,44	27,90	28,73	29,32	29,70	30,15
9	Foreman	31,76	33,62	34,71	35,45	36,50	37,11	37,63	38,05	38,41	38,98

**Tabela D. 6. Wartości PSNR badania efektywności kompresji dla zredukowanych opóźnień kodowania, brak opóźnienia, schemat UUUU, 4CIF 30Hz**

Lp	Sekwencja	Wartości współczynnika PSNR[dB] dla rozdzielczości 4CIF 30Hz dla różnych wartości prędkości transmisji, k= 4									
		768 kb/s	1152 kb/s	1536 kb/s	1920 kb/s	2304 kb/s	2688 kb/s	3072 kb/s	3456 kb/s	3840 kb/s	4224 kb/s
1	City	29,32	30,79	31,90	32,74	33,26	33,69	34,29	34,70	35,13	35,38
2	Crew	32,08	33,42	34,53	35,28	35,88	36,47	36,98	37,45	37,79	38,11
3	Harbour	26,60	28,04	28,93	29,81	30,49	30,99	31,46	31,90	32,26	32,60
4	Ice	35,61	37,29	38,62	39,54	40,21	40,71	41,32	41,93	42,36	42,68
5	Soccer	30,25	31,66	32,84	33,71	34,40	34,97	35,68	36,15	36,60	37,02

**Tabela D. 7. Wartości PSNR badania efektywności kompresji dla zredukowanych opóźnień kodowania, brak opóźnienia, schemat UBBB, CIF 15Hz**

Lp	Sekwencja	Wartości współczynnika PSNR[dB] dla rozdzielczości CIF 15Hz dla różnych wartości prędkości transmisji, k= 4									
		128 kb/s	192 kb/s	256 kb/s	320 kb/s	384 kb/s	448 kb/s	512 kb/s	576 kb/s	640 kb/s	704 kb/s
1	City	29,00	30,60	31,40	32,43	33,07	33,68	34,31	35,00	35,47	35,87
2	Crew	29,15	30,64	31,57	32,50	33,18	33,78	34,33	34,87	35,42	35,96
3	Harbour	22,49	24,28	24,97	25,84	26,41	26,93	27,48	28,03	28,59	28,97
4	Ice	30,81	33,06	34,84	36,02	37,16	38,30	39,14	39,90	40,60	41,25
5	Soccer	27,63	29,33	30,52	31,55	32,57	33,26	33,93	34,58	35,25	35,89
6	Football	26,74	28,44	29,70	30,60	31,40	32,22	32,90	33,49	34,09	34,65
7	Silent	31,87	33,64	35,16	36,20	37,08	38,00	38,77	39,40	39,95	40,45
8	Mobile	20,51	22,97	24,20	24,77	25,53	26,16	26,61	27,08	27,61	28,14
9	Foreman	29,37	31,39	32,40	33,58	34,25	34,79	35,40	36,14	36,60	36,99

**Tabela D. 8. Wartości PSNR badania efektywności kompresji dla zredukowanych opóźnień kodowania, brak opóźnienia, schemat UBBB, CIF 30Hz**

Lp	Sekwencja	Wartości współczynnika PSNR[dB] dla rozdzielczości CIF 30Hz dla różnych wartości prędkości transmisji, k= 4									
		256 kb/s	384 kb/s	512 kb/s	640 kb/s	768 kb/s	896 kb/s	1024 kb/s	1152 kb/s	1280 kb/s	1408 kb/s
1	City	30,52	32,10	33,13	33,97	34,57	35,31	35,94	36,39	36,80	37,25
2	Crew	30,15	31,55	32,53	33,47	34,09	34,68	35,27	35,92	36,43	36,83
3	Harbour	23,98	25,26	26,02	26,88	27,42	28,04	28,71	29,27	29,64	30,12
4	Ice	32,92	34,88	36,46	37,74	38,99	39,88	40,68	41,45	42,25	42,88
5	Soccer	28,37	30,27	31,37	32,57	33,44	34,20	34,93	35,69	36,32	36,81
6	Football	25,63	27,85	29,33	30,25	31,11	31,99	32,62	33,25	33,82	34,39
7	Silent	33,01	34,61	36,09	37,05	38,06	39,02	39,62	40,21	40,71	41,22
8	Mobile	21,81	23,51	24,62	25,26	26,11	26,57	27,08	27,64	28,26	28,70
9	Foreman	31,01	32,66	33,90	34,75	35,30	35,99	36,74	37,12	37,57	37,93

**Tabela D. 9. Wartości PSNR badania efektywności kompresji dla zredukowanych opóźnień kodowania, brak opóźnienia, schemat UBBB, 4CIF 30Hz**

Lp	Sekwencja	Wartości współczynnika PSNR[dB] dla rozdzielczości 4CIF 30Hz dla różnych wartości prędkości transmisji, k= 4									
		768 kb/s	1152 kb/s	1536 kb/s	1920 kb/s	2304 kb/s	2688 kb/s	3072 kb/s	3456 kb/s	3840 kb/s	4224 kb/s
1	City	29,40	30,65	31,23	31,79	32,43	32,79	33,09	33,39	33,71	34,11
2	Crew	32,01	33,22	34,27	34,97	35,50	35,95	36,37	36,92	37,24	37,56
3	Harbour	24,30	26,10	26,93	27,83	28,39	28,99	29,59	30,21	30,54	31,03
4	Ice	35,07	36,76	37,67	38,35	39,28	39,77	40,15	40,54	40,85	41,19
5	Soccer	29,75	31,23	32,17	33,09	33,71	34,27	34,76	35,23	35,76	36,18

**Tabela D. 10. Wartości PSNR badania efektywności kompresji dla zredukowanych opóźnień kodowania, brak opóźnienia, schemat BBBB, CIF 15Hz**

Lp	Sekwencja	Wartości współczynnika PSNR[dB] dla rozdzielczości CIF 15Hz dla różnych wartości prędkości transmisji, k= 4									
		128 kb/s	192 kb/s	256 kb/s	320 kb/s	384 kb/s	448 kb/s	512 kb/s	576 kb/s	640 kb/s	704 kb/s
1	City	29,19	30,72	31,47	32,45	33,04	33,59	34,16	34,82	35,28	35,63
2	Crew	28,49	29,95	30,83	31,61	32,47	32,99	33,48	33,96	34,43	34,91
3	Harbour	21,65	23,49	24,31	24,93	25,65	26,09	26,52	26,96	27,45	27,98
4	Ice	30,64	32,77	34,53	35,67	36,74	37,90	38,70	39,44	40,12	40,79
5	Soccer	26,17	28,10	29,53	30,51	31,53	32,38	33,05	33,65	34,27	34,89
6	Football	26,16	27,84	29,27	30,16	30,99	31,82	32,50	33,10	33,69	34,27
7	Silent	31,55	33,28	34,68	35,72	36,52	37,36	38,21	38,70	39,23	39,72
8	Mobile	20,46	22,39	23,26	23,85	24,39	25,08	25,46	25,86	26,27	26,72
9	Foreman	29,49	31,30	32,19	33,34	33,97	34,49	35,04	35,74	36,27	36,57

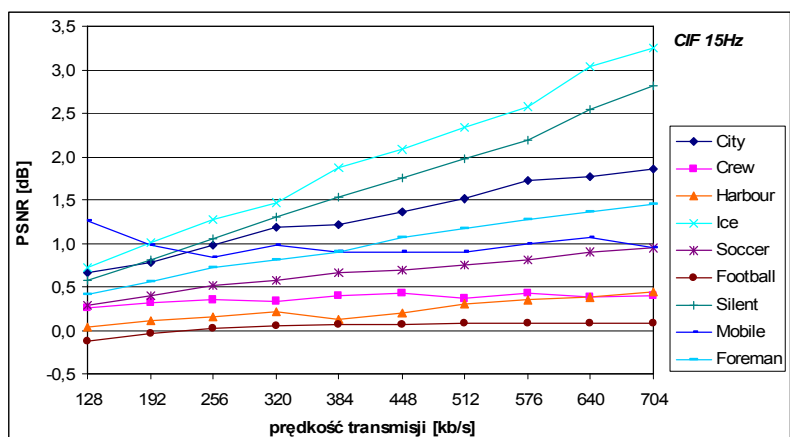
**Tabela D. 11. Wartości PSNR badania efektywności kompresji dla zredukowanych opóźnień kodowania, brak opóźnienia, schemat BBBB, CIF 30Hz**

Lp	Sekwencja	Wartości współczynnika PSNR[dB] dla rozdzielczości CIF 30Hz dla różnych wartości prędkości transmisji, k= 4									
		256 kb/s	384 kb/s	512 kb/s	640 kb/s	768 kb/s	896 kb/s	1024 kb/s	1152 kb/s	1280 kb/s	1408 kb/s
1	City	30,37	31,90	32,76	33,66	34,17	34,79	35,45	35,87	36,25	36,63
2	Crew	29,57	30,85	31,67	32,54	33,13	33,64	34,11	34,63	35,22	35,72
3	Harbour	23,44	24,60	25,15	26,02	26,51	26,99	27,48	28,10	28,61	28,95
4	Ice	32,32	34,11	35,69	36,80	38,06	38,93	39,68	40,38	41,08	41,91
5	Soccer	28,17	29,90	30,99	32,10	33,06	33,76	34,44	35,14	35,85	36,31
6	Football	24,15	27,15	28,42	29,50	30,26	31,06	31,88	32,46	32,99	33,53
7	Silent	32,37	33,97	35,45	36,28	37,06	37,98	38,59	39,11	39,55	39,93
8	Mobile	21,28	22,58	23,56	23,98	24,63	25,23	25,60	25,99	26,43	26,91
9	Foreman	30,23	31,73	32,49	33,49	33,98	34,52	35,14	35,81	36,15	36,55

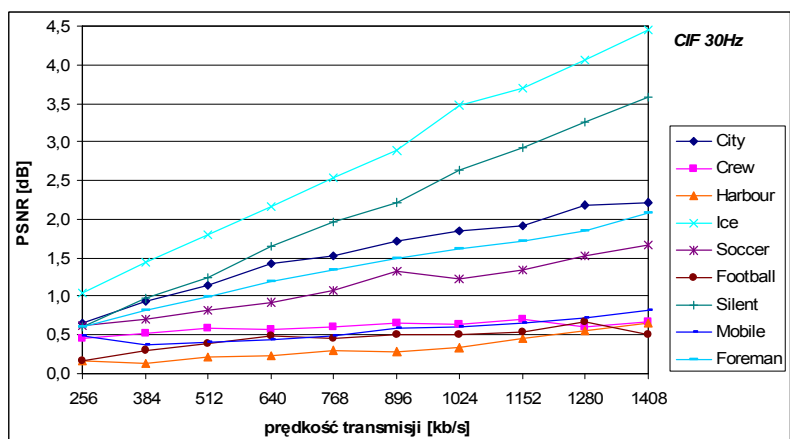
Tabela D. 12. Wartości PSNR badania efektywności kompresji dla zredukowanych opóźnień kodowania, brak opóźnienia, schemat BBBB, 4CIF 30Hz

Lp	Sekwencja	Wartości współczynnika PSNR[dB] dla rozdzielczości 4CIF 30Hz dla różnych wartości prędkości transmisji, k= 4									
		768 kb/s	1152 kb/s	1536 kb/s	1920 kb/s	2304 kb/s	2688 kb/s	3072 kb/s	3456 kb/s	3840 kb/s	4224 kb/s
1	City	28,77	29,62	30,13	30,52	31,12	31,53	31,82	32,09	32,35	32,60
2	Crew	31,58	32,83	33,57	34,38	34,86	35,24	35,57	35,96	36,48	36,73
3	Harbour	22,44	25,09	25,93	26,75	27,37	27,84	28,31	28,81	29,41	29,76
4	Ice	34,47	35,92	36,86	37,45	38,23	38,86	39,28	39,58	39,91	40,18
5	Soccer	29,21	30,69	31,53	32,24	33,06	33,56	33,99	34,38	34,72	35,22

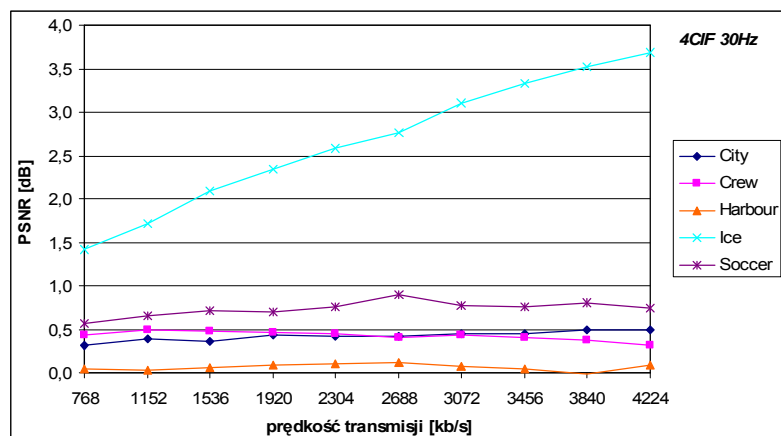
## Opóźnienie o 1 obraz



Rys. D. 10. Przyrost wartości współczynnika PSNR dla schematu 3UUU w stosunku do schematu HUUU, opóźnienie o 1 obraz, CIF 15Hz



Rys. D. 11. Przyrost wartości współczynnika PSNR dla schematu 3UUU w stosunku do schematu HUUU, opóźnienie o 1 obraz, CIF 30Hz



Rys. D. 12. Przyrost wartości współczynnika PSNR dla schematu 3UUU w stosunku do schematu HUUU, opóźnienie o 1 obraz, 4CIF 30Hz

Tabela D. 13. Wartości PSNR badania efektywności kompresji dla zredukowanych opóźnień kodowania, opóźnienie o 1 obraz, schemat 3UUU, CIF 15Hz

Lp	Sekwencja	Wartości współczynnika PSNR[dB] dla rozdzielczości CIF 15Hz dla różnych wartości prędkości transmisji, k= 4									
		128 kb/s	192 kb/s	256 kb/s	320 kb/s	384 kb/s	448 kb/s	512 kb/s	576 kb/s	640 kb/s	704 kb/s
1	City	29,26	30,98	32,42	33,48	34,24	35,19	35,89	36,52	37,04	37,53
2	Crew	30,03	31,43	32,59	33,41	34,13	34,75	35,30	35,99	36,40	36,90
3	Harbour	24,43	25,93	26,90	27,61	28,34	29,00	29,59	30,12	30,52	30,96
4	Ice	31,34	33,39	35,16	36,42	37,78	38,78	39,63	40,40	41,26	42,05
5	Soccer	28,25	29,94	31,07	32,17	32,99	33,72	34,44	35,22	35,80	36,35
6	Football	26,95	28,81	29,94	30,86	31,76	32,45	33,13	33,75	34,32	34,90
7	Silent	32,36	34,25	35,63	36,89	37,89	38,76	39,44	39,96	40,88	41,49
8	Mobile	21,19	23,72	25,09	26,33	27,12	27,80	28,32	29,07	29,61	30,02
9	Foreman	30,55	32,31	33,80	34,69	35,37	36,33	36,92	37,43	37,86	38,25

Tabela D. 14. Wartości PSNR badania efektywności kompresji dla zredukowanych opóźnień kodowania, opóźnienie o 1 obraz, schemat 3UUU, CIF 30Hz

Lp	Sekwencja	Wartości współczynnika PSNR[dB] dla rozdzielczości CIF 30Hz dla różnych wartości prędkości transmisji, k= 4									
		256 kb/s	384 kb/s	512 kb/s	640 kb/s	768 kb/s	896 kb/s	1024 kb/s	1152 kb/s	1280 kb/s	1408 kb/s
1	City	30,89	32,89	34,27	35,36	36,29	37,03	37,66	38,15	38,75	39,27
2	Crew	30,86	32,28	33,48	34,31	35,03	35,69	36,38	36,92	37,32	37,82
3	Harbour	25,80	27,35	28,29	29,26	30,01	30,61	31,14	31,70	32,15	32,90
4	Ice	33,45	35,81	37,37	38,90	40,03	40,97	42,03	42,82	43,57	44,22
5	Soccer	29,56	31,15	32,55	33,57	34,49	35,46	36,11	36,79	37,43	38,01
6	Football	27,33	29,28	30,47	31,42	32,36	33,11	33,75	34,36	35,07	35,60
7	Silent	33,46	35,48	36,89	38,34	39,36	40,14	41,04	41,74	42,44	43,06
8	Mobile	22,77	25,14	26,51	27,60	28,36	29,11	29,80	30,39	30,92	31,37
9	Foreman	32,27	34,22	35,34	36,31	37,20	37,82	38,33	38,76	39,12	39,84

**Tabela D. 15. Wartości PSNR badania efektywności kompresji dla zredukowanych opóźnień kodowania, opóźnienie o 1 obraz, schemat 3UUU, 4CIF 30Hz**

Lp	Sekwencja	Wartości współczynnika PSNR[dB] dla rozdzielczości 4CIF 30Hz dla różnych wartości prędkości transmisji, k= 4									
		768 kb/s	1152 kb/s	1536 kb/s	1920 kb/s	2304 kb/s	2688 kb/s	3072 kb/s	3456 kb/s	3840 kb/s	4224 kb/s
1	City	29,70	31,32	32,47	33,37	34,02	34,43	35,09	35,56	35,89	36,25
2	Crew	32,64	34,10	35,14	35,88	36,48	37,10	37,56	37,95	38,30	38,56
3	Harbour	27,09	28,65	29,58	30,55	31,25	31,83	32,30	32,72	33,04	33,69
4	Ice	36,34	37,99	39,33	40,21	40,88	41,37	42,13	42,62	43,01	43,36
5	Soccer	30,88	32,40	33,64	34,50	35,24	35,96	36,50	37,01	37,45	37,80

**Tabela D. 16. Wartości PSNR badania efektywności kompresji dla zredukowanych opóźnień kodowania, opóźnienie o 1 obraz, schemat HUUU, CIF 15Hz**

Lp	Sekwencja	Wartości współczynnika PSNR[dB] dla rozdzielczości CIF 15Hz dla różnych wartości prędkości transmisji, k= 4									
		128 kb/s	192 kb/s	256 kb/s	320 kb/s	384 kb/s	448 kb/s	512 kb/s	576 kb/s	640 kb/s	704 kb/s
1	City	28,59	30,19	31,44	32,29	33,02	33,82	34,37	34,80	35,27	35,67
2	Crew	29,77	31,11	32,24	33,07	33,73	34,32	34,93	35,56	36,02	36,50
3	Harbour	24,39	25,82	26,74	27,40	28,22	28,80	29,29	29,77	30,14	30,52
4	Ice	30,61	32,38	33,89	34,95	35,90	36,70	37,30	37,83	38,23	38,81
5	Soccer	27,96	29,54	30,55	31,59	32,33	33,03	33,69	34,41	34,89	35,40
6	Football	27,07	28,84	29,92	30,81	31,69	32,38	33,05	33,67	34,24	34,82
7	Silent	31,79	33,43	34,58	35,58	36,36	37,00	37,46	37,77	38,34	38,67
8	Mobile	19,93	22,74	24,25	25,35	26,22	26,90	27,42	28,08	28,55	29,07
9	Foreman	30,14	31,75	33,07	33,87	34,47	35,26	35,75	36,16	36,50	36,80

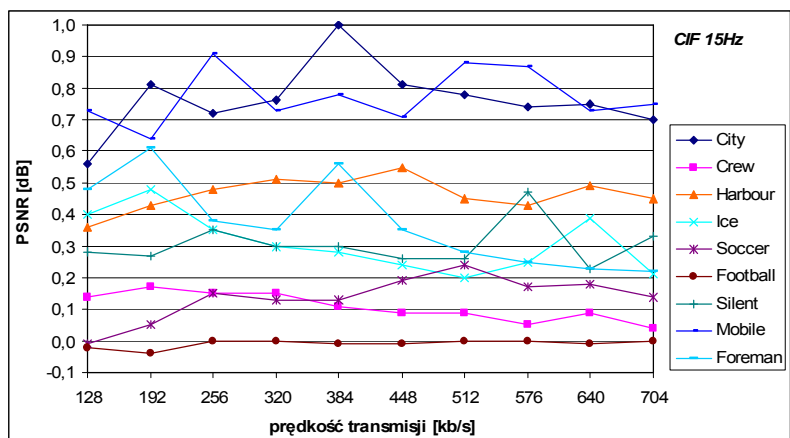
**Tabela D. 17. Wartości PSNR badania efektywności kompresji dla zredukowanych opóźnień kodowania, opóźnienie o 1 obraz, schemat HUUU, CIF 30Hz**

Lp	Sekwencja	Wartości współczynnika PSNR[dB] dla rozdzielczości CIF 30Hz dla różnych wartości prędkości transmisji, k= 4									
		256 kb/s	384 kb/s	512 kb/s	640 kb/s	768 kb/s	896 kb/s	1024 kb/s	1152 kb/s	1280 kb/s	1408 kb/s
1	City	30,23	31,95	33,13	33,93	34,77	35,32	35,82	36,24	36,57	37,06
2	Crew	30,40	31,76	32,90	33,74	34,42	35,03	35,75	36,21	36,71	37,15
3	Harbour	25,64	27,22	28,08	29,02	29,71	30,32	30,80	31,25	31,59	32,25
4	Ice	32,41	34,37	35,58	36,73	37,49	38,08	38,56	39,13	39,50	39,77
5	Soccer	28,94	30,44	31,73	32,65	33,42	34,13	34,88	35,45	35,90	36,34
6	Football	27,17	28,97	30,09	30,94	31,90	32,60	33,24	33,82	34,40	35,09
7	Silent	32,86	34,51	35,64	36,70	37,40	37,93	38,41	38,82	39,19	39,49
8	Mobile	22,28	24,77	26,10	27,16	27,87	28,52	29,19	29,73	30,20	30,54
9	Foreman	31,66	33,39	34,35	35,12	35,85	36,33	36,72	37,04	37,28	37,76

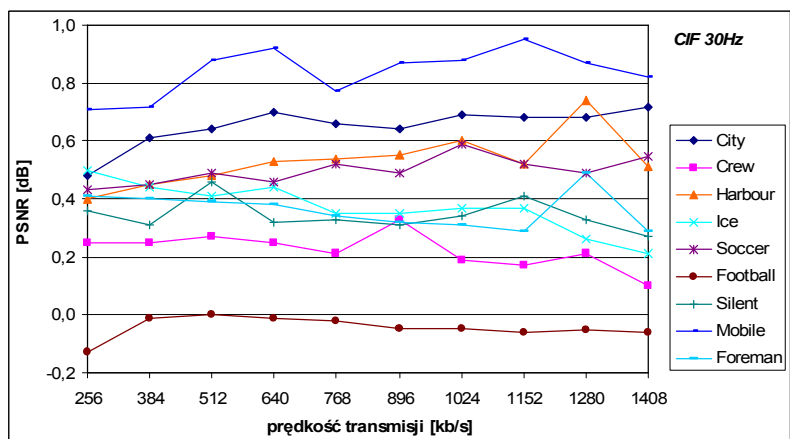
Tabela D. 18. Wartości PSNR badania efektywności kompresji dla zredukowanych opóźnień kodowania, opóźnienie o 1 obraz, schemat HUUU, 4CIF 30Hz

Lp	Sekwencja	Wartości współczynnika PSNR[dB] dla rozdzielczości 4CIF 30Hz dla różnych wartości prędkości transmisji, k= 4									
		768 kb/s	1152 kb/s	1536 kb/s	1920 kb/s	2304 kb/s	2688 kb/s	3072 kb/s	3456 kb/s	3840 kb/s	4224 kb/s
1	City	29,38	30,93	32,11	32,94	33,60	34,01	34,64	35,11	35,39	35,75
2	Crew	32,20	33,60	34,66	35,42	36,03	36,69	37,13	37,54	37,93	38,24
3	Harbour	27,05	28,62	29,52	30,46	31,14	31,71	32,23	32,67	33,05	33,60
4	Ice	34,92	36,27	37,24	37,86	38,30	38,61	39,03	39,29	39,49	39,67
5	Soccer	30,31	31,75	32,92	33,80	34,48	35,07	35,73	36,25	36,65	37,06

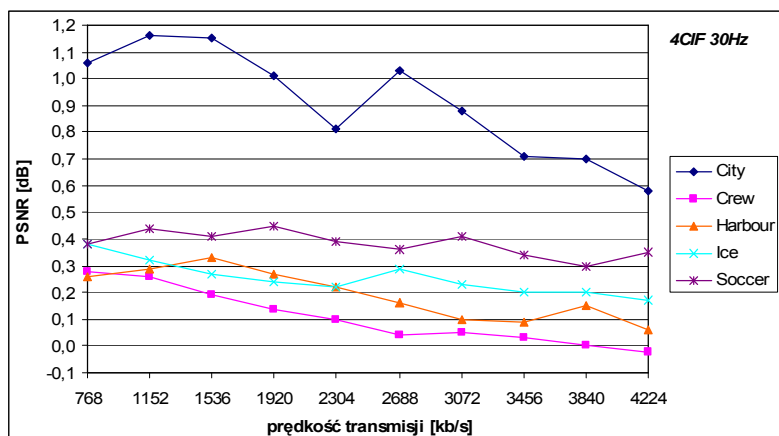
### Opóźnienie o 3 obrazu



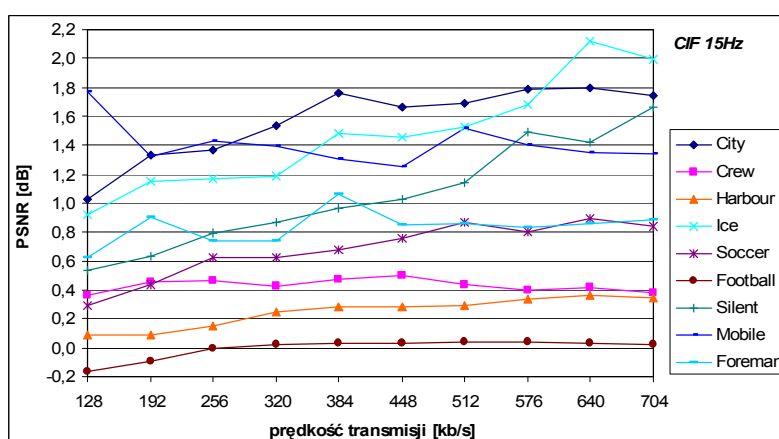
Rys. D. 13. Przyrost wartości współczynnika PSNR dla schematu 33UU w stosunku do schematu 5UUU, opóźnienie o 3 obrazu, CIF 15Hz



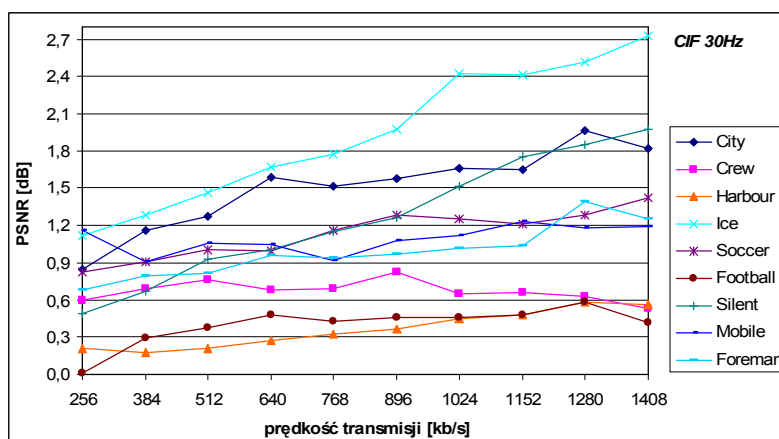
Rys. D. 14. Przyrost wartości współczynnika PSNR dla schematu 33UU w stosunku do schematu 5UUU, opóźnienie o 3 obrazu, CIF 30Hz



Rys. D. 15. Przyrost wartości współczynnika PSNR dla schematu 33UU w stosunku do schematu 5UUU, opóźnienie o 3 obrazu, 4CIF 30Hz

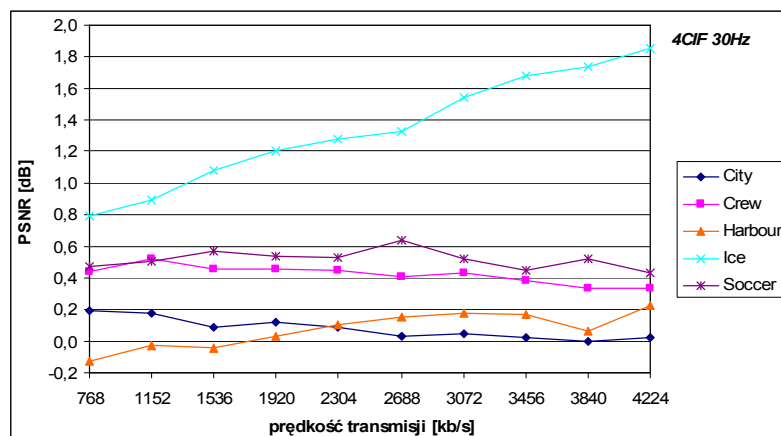


Rys. D. 16. Przyrost wartości współczynnika PSNR dla schematu 33UU w stosunku do schematu HHUU, opóźnienie o 3 obrazu, CIF 15Hz



Rys. D. 17. Przyrost wartości współczynnika PSNR dla schematu 33UU w stosunku do schematu HHUU, opóźnienie o 3 obrazu, CIF 30Hz





Rys. D. 18. Przyrost wartości współczynnika PSNR dla schematu 33UU w stosunku do schematu HHUU, opóźnienie o 3 obrazy, 4CIF 30Hz

Tabela D. 19. Wartości PSNR badania efektywności kompresji dla zredukowanych opóźnień kodowania, opóźnienie o 3 obrazy, schemat 33UU, CIF 15Hz

Lp	Sekwencja	Wartości współczynnika PSNR[dB] dla rozdzielczości CIF 15Hz dla różnych wartości prędkości transmisji, k= 4									
		128 kb/s	192 kb/s	256 kb/s	320 kb/s	384 kb/s	448 kb/s	512 kb/s	576 kb/s	640 kb/s	704 kb/s
1	City	29,85	31,85	33,23	34,35	35,37	36,15	36,83	37,44	38,00	38,42
2	Crew	30,21	31,66	32,81	33,64	34,34	34,97	35,53	36,14	36,63	37,08
3	Harbour	24,90	26,47	27,53	28,28	29,14	29,78	30,26	30,80	31,32	31,71
4	Ice	31,83	33,96	35,64	36,87	38,22	39,18	40,00	40,83	41,82	42,43
5	Soccer	28,37	30,11	31,35	32,41	33,24	34,05	34,84	35,53	36,14	36,64
6	Football	26,96	28,80	29,97	30,89	31,78	32,47	33,16	33,78	34,35	34,93
7	Silent	32,69	34,61	36,08	37,28	38,30	39,16	39,85	40,61	41,29	42,02
8	Mobile	21,93	24,43	26,06	27,17	28,05	28,64	29,46	30,09	30,53	31,02
9	Foreman	31,21	33,14	34,39	35,26	36,22	36,91	37,47	37,94	38,37	38,75

Tabela D. 20. Wartości PSNR badania efektywności kompresji dla zredukowanych opóźnień kodowania, opóźnienie o 3 obrazy, schemat 33UU, CIF 30Hz

Lp	Sekwencja	Wartości współczynnika PSNR[dB] dla rozdzielczości CIF 30Hz dla różnych wartości prędkości transmisji, k= 4									
		256 kb/s	384 kb/s	512 kb/s	640 kb/s	768 kb/s	896 kb/s	1024 kb/s	1152 kb/s	1280 kb/s	1408 kb/s
1	City	31,43	33,59	35,03	36,22	37,13	37,87	38,54	39,04	39,72	40,20
2	Crew	31,17	32,64	33,87	34,69	35,39	36,18	36,73	37,26	37,73	38,11
3	Harbour	26,28	27,96	28,93	29,98	30,76	31,43	32,04	32,52	33,18	33,68
4	Ice	34,06	36,38	37,94	39,50	40,57	41,52	42,62	43,39	44,04	44,65
5	Soccer	30,04	31,70	33,13	34,13	35,12	36,05	36,81	37,42	38,04	38,69
6	Football	27,25	29,34	30,57	31,53	32,44	33,18	33,84	34,45	35,16	35,68
7	Silent	33,90	35,87	37,50	38,79	39,84	40,62	41,63	42,38	43,00	43,58
8	Mobile	23,58	25,95	27,53	28,65	29,30	30,26	30,93	31,53	32,01	32,45
9	Foreman	32,80	34,78	35,90	36,98	37,75	38,36	38,88	39,30	39,97	40,41

**Tabela D. 21. Wartości PSNR badania efektywności kompresji dla zredukowanych opóźnień kodowania, opóźnienie o 3 obrazy, schemat 33UU, 4CIF 30Hz**

Lp	Sekwencja	Wartości współczynnika PSNR[dB] dla rozdzielczości 4CIF 30Hz dla różnych wartości prędkości transmisji, k= 4									
		768 kb/s	1152 kb/s	1536 kb/s	1920 kb/s	2304 kb/s	2688 kb/s	3072 kb/s	3456 kb/s	3840 kb/s	4224 kb/s
1	City	30,75	32,52	33,68	34,49	35,01	35,68	36,19	36,53	36,85	37,13
2	Crew	33,00	34,47	35,41	36,14	36,71	37,27	37,75	38,10	38,42	38,71
3	Harbour	27,62	29,27	30,29	31,22	31,91	32,45	32,93	33,38	33,94	34,34
4	Ice	36,85	38,47	39,78	40,66	41,31	41,88	42,61	43,09	43,45	43,82
5	Soccer	31,34	32,94	34,17	35,11	35,81	36,54	37,12	37,56	38,01	38,41

**Tabela D. 22. Wartości PSNR badania efektywności kompresji dla zredukowanych opóźnień kodowania, opóźnienie o 3 obrazy, schemat 5UUU, CIF 15Hz**

Lp	Sekwencja	Wartości współczynnika PSNR[dB] dla rozdzielczości CIF 15Hz dla różnych wartości prędkości transmisji, k= 4									
		128 kb/s	192 kb/s	256 kb/s	320 kb/s	384 kb/s	448 kb/s	512 kb/s	576 kb/s	640 kb/s	704 kb/s
1	City	29,29	31,04	32,51	33,59	34,37	35,34	36,05	36,70	37,25	37,72
2	Crew	30,07	31,49	32,66	33,49	34,23	34,88	35,44	36,09	36,54	37,04
3	Harbour	24,54	26,04	27,05	27,77	28,64	29,23	29,81	30,37	30,83	31,26
4	Ice	31,43	33,48	35,29	36,57	37,94	38,94	39,80	40,58	41,43	42,22
5	Soccer	28,38	30,06	31,20	32,28	33,11	33,86	34,60	35,36	35,96	36,50
6	Football	26,98	28,84	29,97	30,89	31,79	32,48	33,16	33,78	34,36	34,93
7	Silent	32,41	34,34	35,73	36,98	38,00	38,90	39,59	40,14	41,06	41,69
8	Mobile	21,20	23,79	25,15	26,44	27,27	27,93	28,58	29,22	29,80	30,27
9	Foreman	30,73	32,53	34,01	34,91	35,66	36,56	37,19	37,69	38,14	38,53

**Tabela D. 23. Wartości PSNR badania efektywności kompresji dla zredukowanych opóźnień kodowania, opóźnienie o 3 obrazy, schemat 5UUU, CIF 30Hz**

Lp	Sekwencja	Wartości współczynnika PSNR[dB] dla rozdzielczości CIF 30Hz dla różnych wartości prędkości transmisji, k= 4									
		256 kb/s	384 kb/s	512 kb/s	640 kb/s	768 kb/s	896 kb/s	1024 kb/s	1152 kb/s	1280 kb/s	1408 kb/s
1	City	30,95	32,98	34,39	35,52	36,47	37,23	37,85	38,36	39,04	39,48
2	Crew	30,92	32,39	33,60	34,44	35,18	35,85	36,54	37,09	37,52	38,01
3	Harbour	25,88	27,51	28,45	29,45	30,22	30,88	31,44	32,00	32,44	33,17
4	Ice	33,56	35,94	37,53	39,06	40,22	41,17	42,25	43,02	43,78	44,44
5	Soccer	29,61	31,25	32,64	33,67	34,60	35,56	36,22	36,90	37,55	38,14
6	Football	27,38	29,35	30,57	31,54	32,46	33,23	33,89	34,51	35,21	35,74
7	Silent	33,54	35,56	37,04	38,47	39,51	40,31	41,29	41,97	42,67	43,31
8	Mobile	22,87	25,23	26,65	27,73	28,53	29,39	30,05	30,58	31,14	31,63
9	Foreman	32,39	34,38	35,51	36,60	37,41	38,04	38,57	39,01	39,48	40,12

**Tabela D. 24. Wartości PSNR badania efektywności kompresji dla zredukowanych opóźnień kodowania, opóźnienie o 3 obrazy, schemat 5UUU, 4CIF 30Hz**

Lp	Sekwencja	Wartości współczynnika PSNR[dB] dla rozdzielczości 4CIF 30Hz dla różnych wartości prędkości transmisji, k= 4									
		768 kb/s	1152 kb/s	1536 kb/s	1920 kb/s	2304 kb/s	2688 kb/s	3072 kb/s	3456 kb/s	3840 kb/s	4224 kb/s
1	City	29,69	31,36	32,53	33,48	34,20	34,65	35,31	35,82	36,15	36,55
2	Crew	32,72	34,21	35,22	36,00	36,61	37,23	37,70	38,07	38,42	38,73
3	Harbour	27,36	28,98	29,96	30,95	31,69	32,29	32,83	33,29	33,79	34,28
4	Ice	36,47	38,15	39,51	40,42	41,09	41,59	42,38	42,89	43,25	43,65
5	Soccer	30,96	32,50	33,76	34,66	35,42	36,18	36,71	37,22	37,71	38,06

**Tabela D. 25. Wartości PSNR badania efektywności kompresji dla zredukowanych opóźnień kodowania, opóźnienie o 3 obrazy, schemat HHUU, CIF 15Hz**

Lp	Sekwencja	Wartości współczynnika PSNR[dB] dla rozdzielczości CIF 15Hz dla różnych wartości prędkości transmisji, k= 4									
		128 kb/s	192 kb/s	256 kb/s	320 kb/s	384 kb/s	448 kb/s	512 kb/s	576 kb/s	640 kb/s	704 kb/s
1	City	28,82	30,52	31,86	32,81	33,61	34,49	35,14	35,65	36,20	36,68
2	Crew	29,85	31,21	32,35	33,21	33,87	34,47	35,09	35,74	36,21	36,70
3	Harbour	24,81	26,38	27,38	28,03	28,86	29,50	29,97	30,46	30,96	31,36
4	Ice	30,91	32,81	34,47	35,68	36,74	37,72	38,47	39,15	39,70	40,44
5	Soccer	28,08	29,67	30,73	31,79	32,56	33,29	33,97	34,73	35,25	35,80
6	Football	27,12	28,89	29,97	30,87	31,75	32,44	33,12	33,74	34,32	34,91
7	Silent	32,16	33,98	35,29	36,41	37,34	38,13	38,71	39,12	39,87	40,36
8	Mobile	20,16	23,11	24,63	25,78	26,75	27,39	27,94	28,69	29,18	29,68
9	Foreman	30,59	32,24	33,65	34,52	35,16	36,06	36,61	37,11	37,51	37,87

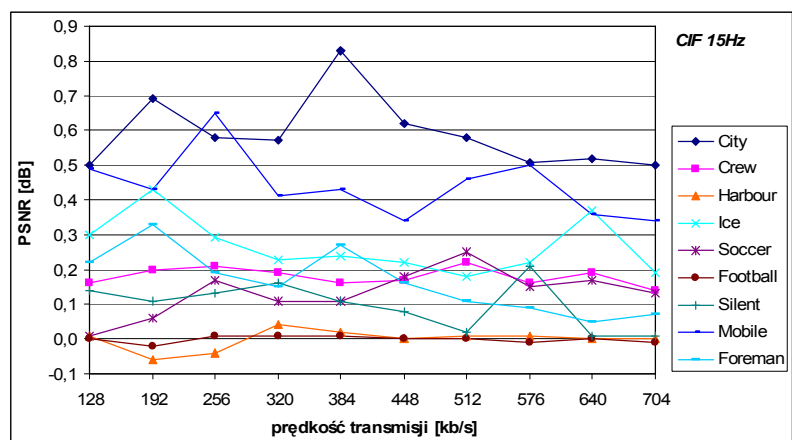
**Tabela D. 26. Wartości PSNR badania efektywności kompresji dla zredukowanych opóźnień kodowania, opóźnienie o 3 obrazy, schemat HHUU, CIF 30Hz**

Lp	Sekwencja	Wartości współczynnika PSNR[dB] dla rozdzielczości CIF 30Hz dla różnych wartości prędkości transmisji, k= 4									
		256 kb/s	384 kb/s	512 kb/s	640 kb/s	768 kb/s	896 kb/s	1024 kb/s	1152 kb/s	1280 kb/s	1408 kb/s
1	City	30,58	32,43	33,76	34,63	35,62	36,29	36,88	37,39	37,76	38,38
2	Crew	30,57	31,95	33,11	34,01	34,70	35,35	36,08	36,60	37,10	37,58
3	Harbour	26,07	27,78	28,72	29,71	30,44	31,06	31,59	32,04	32,60	33,12
4	Ice	32,94	35,09	36,48	37,83	38,79	39,55	40,20	40,98	41,52	41,92
5	Soccer	29,21	30,79	32,13	33,14	33,96	34,76	35,56	36,21	36,75	37,27
6	Football	27,24	29,05	30,19	31,05	32,01	32,72	33,38	33,97	34,57	35,26
7	Silent	33,41	35,20	36,57	37,79	38,69	39,36	40,12	40,62	41,15	41,61
8	Mobile	22,42	25,04	26,47	27,60	28,38	29,18	29,81	30,30	30,83	31,26
9	Foreman	32,12	33,99	35,08	36,02	36,81	37,39	37,87	38,27	38,58	39,16

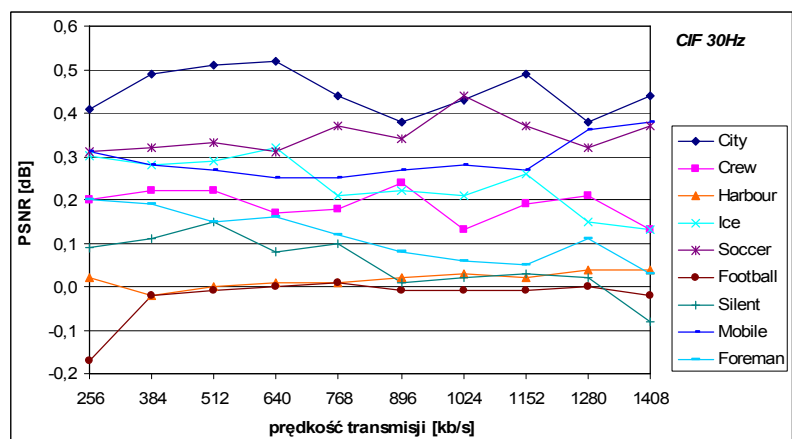
Tabela D. 27. Wartości PSNR badania efektywności kompresji dla zredukowanych opóźnień kodowania, opóźnienie o 3 obrazy, schemat HHUU, 4CIF 30Hz

Lp	Sekwencja	Wartości współczynnika PSNR[dB] dla rozdzielczości 4CIF 30Hz dla różnych wartości prędkości transmisji, k= 4									
		768 kb/s	1152 kb/s	1536 kb/s	1920 kb/s	2304 kb/s	2688 kb/s	3072 kb/s	3456 kb/s	3840 kb/s	4224 kb/s
1	City	29,50	31,18	32,44	33,36	34,11	34,62	35,26	35,80	36,15	36,53
2	Crew	32,28	33,69	34,76	35,54	36,16	36,82	37,27	37,69	38,09	38,40
3	Harbour	27,49	29,01	30,00	30,92	31,59	32,14	32,65	33,12	33,73	34,05
4	Ice	35,68	37,26	38,43	39,22	39,81	40,26	40,84	41,21	41,51	41,80
5	Soccer	30,49	31,99	33,19	34,12	34,89	35,54	36,19	36,77	37,19	37,63

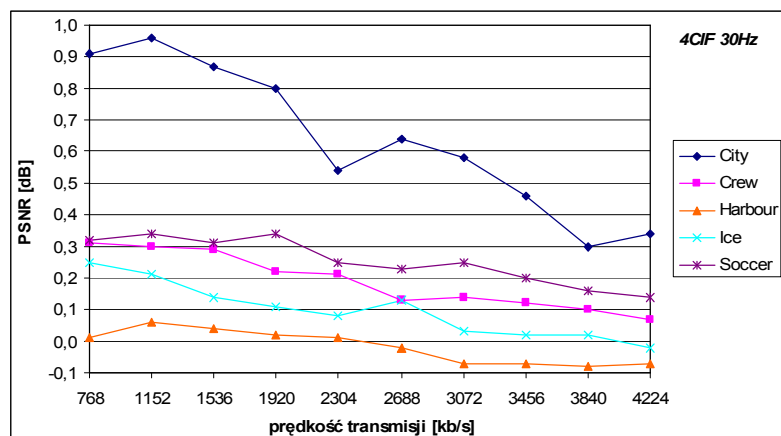
### Opóźnienie o 5 obrazów



Rys. D. 19. Przyrost wartości współczynnika PSNR dla schematu 53UU w stosunku do schematu 5HUU, opóźnienie o 5 obrazów, CIF 15Hz



Rys. D. 20. Przyrost wartości współczynnika PSNR dla schematu 53UU w stosunku do schematu 5HUU, opóźnienie o 5 obrazów, CIF 30Hz



Rys. D. 21. Przyrost wartości współczynnika PSNR dla schematu 53UU w stosunku do schematu 5HUU, opóźnienie o 5 obrazów, 4CIF 30Hz

Tabela D. 28. Wartości PSNR badania efektywności kompresji dla zredukowanych opóźnień kodowania, opóźnienie o 5 obrazów, schemat 53UU, CIF 15Hz

Lp	Sekwencja	Wartości współczynnika PSNR[dB] dla rozdzielczości CIF 15Hz dla różnych wartości prędkości transmisji, k= 4									
		128 kb/s	192 kb/s	256 kb/s	320 kb/s	384 kb/s	448 kb/s	512 kb/s	576 kb/s	640 kb/s	704 kb/s
1	City	29,89	31,91	33,32	34,46	35,50	36,30	37,00	37,63	38,20	38,65
2	Crew	30,28	31,76	32,93	33,76	34,47	35,13	35,72	36,30	36,80	37,25
3	Harbour	24,98	26,60	27,65	28,46	29,32	29,97	30,52	31,01	31,53	31,96
4	Ice	31,92	34,11	35,76	36,99	38,34	39,32	40,16	40,98	41,97	42,59
5	Soccer	28,46	30,21	31,48	32,51	33,35	34,17	34,98	35,65	36,28	36,78
6	Football	27,03	28,87	30,03	30,95	31,84	32,53	33,21	33,83	34,41	34,98
7	Silent	32,75	34,69	36,17	37,40	38,42	39,32	40,00	40,85	41,47	42,19
8	Mobile	21,79	24,41	26,05	27,18	28,11	28,71	29,56	30,20	30,65	31,15
9	Foreman	31,20	33,20	34,48	35,38	36,34	37,05	37,61	38,10	38,54	38,94

Tabela D. 29. Wartości PSNR badania efektywności kompresji dla zredukowanych opóźnień kodowania, opóźnienie o 5 obrazów, schemat 53UU, CIF 30Hz

Lp	Sekwencja	Wartości współczynnika PSNR[dB] dla rozdzielczości CIF 30Hz dla różnych wartości prędkości transmisji, k= 4									
		256 kb/s	384 kb/s	512 kb/s	640 kb/s	768 kb/s	896 kb/s	1024 kb/s	1152 kb/s	1280 kb/s	1408 kb/s
1	City	31,51	33,70	35,22	36,40	37,33	38,09	38,78	39,34	39,97	40,48
2	Crew	31,22	32,75	33,98	34,81	35,56	36,35	36,86	37,45	37,95	38,34
3	Harbour	26,34	28,09	29,11	30,16	30,95	31,63	32,23	32,77	33,52	33,94
4	Ice	34,17	36,53	38,11	39,69	40,76	41,73	42,82	43,62	44,28	44,90
5	Soccer	30,11	31,81	33,23	34,24	35,24	36,17	36,96	37,56	38,19	38,85
6	Football	27,26	29,40	30,65	31,63	32,55	33,29	33,97	34,59	35,31	35,81
7	Silent	33,94	35,95	37,62	38,89	39,98	40,74	41,77	42,56	43,21	43,77
8	Mobile	23,58	25,99	27,60	28,75	29,42	30,37	31,09	31,68	32,21	32,68
9	Foreman	32,87	34,89	36,04	37,14	37,93	38,55	39,08	39,51	40,20	40,63

**Tabela D. 30. Wartości PSNR badania efektywności kompresji dla zredukowanych opóźnień kodowania, opóźnienie o 5 obrazów, schemat 53UU, 4CIF 30Hz**

Lp	Sekwencja	Wartości współczynnika PSNR[dB] dla rozdzielczości 4CIF 30Hz dla różnych wartości prędkości transmisji, k= 4									
		768 kb/s	1152 kb/s	1536 kb/s	1920 kb/s	2304 kb/s	2688 kb/s	3072 kb/s	3456 kb/s	3840 kb/s	4224 kb/s
1	City	30,78	32,62	33,80	34,68	35,21	35,90	36,40	36,81	37,08	37,42
2	Crew	33,09	34,58	35,54	36,27	36,88	37,42	37,90	38,26	38,58	38,87
3	Harbour	27,69	29,39	30,47	31,42	32,13	32,68	33,18	33,64	34,26	34,63
4	Ice	36,97	38,63	39,94	40,84	41,50	42,18	42,80	43,29	43,69	44,04
5	Soccer	31,41	33,04	34,28	35,25	35,97	36,70	37,31	37,77	38,21	38,62

**Tabela D. 31. Wartości PSNR badania efektywności kompresji dla zredukowanych opóźnień kodowania, opóźnienie o 5 obrazów, schemat 5HUU, CIF 15Hz**

Lp	Sekwencja	Wartości współczynnika PSNR[dB] dla rozdzielczości CIF 15Hz dla różnych wartości prędkości transmisji, k= 4									
		128 kb/s	192 kb/s	256 kb/s	320 kb/s	384 kb/s	448 kb/s	512 kb/s	576 kb/s	640 kb/s	704 kb/s
1	City	29,39	31,22	32,74	33,89	34,67	35,68	36,42	37,12	37,68	38,15
2	Crew	30,12	31,56	32,72	33,57	34,31	34,96	35,50	36,14	36,61	37,11
3	Harbour	24,97	26,66	27,69	28,42	29,30	29,97	30,51	31,00	31,53	31,96
4	Ice	31,62	33,68	35,47	36,76	38,10	39,10	39,98	40,76	41,60	42,40
5	Soccer	28,45	30,15	31,31	32,40	33,24	33,99	34,73	35,50	36,11	36,65
6	Football	27,03	28,89	30,02	30,94	31,83	32,53	33,21	33,84	34,41	34,99
7	Silent	32,61	34,58	36,04	37,24	38,31	39,24	39,98	40,64	41,46	42,18
8	Mobile	21,30	23,98	25,40	26,77	27,68	28,37	29,10	29,70	30,29	30,81
9	Foreman	30,98	32,87	34,29	35,23	36,07	36,89	37,50	38,01	38,49	38,87

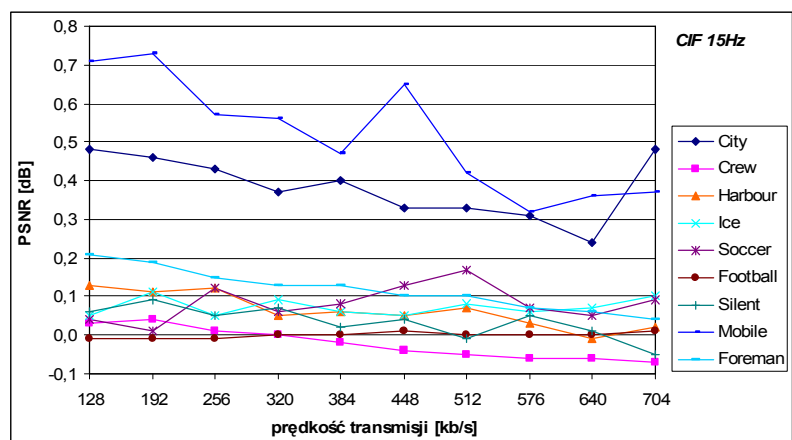
**Tabela D. 32. Wartości PSNR badania efektywności kompresji dla zredukowanych opóźnień kodowania, opóźnienie o 5 obrazów, schemat 5HUU, CIF 30Hz**

Lp	Sekwencja	Wartości współczynnika PSNR[dB] dla rozdzielczości CIF 30Hz dla różnych wartości prędkości transmisji, k= 4									
		256 kb/s	384 kb/s	512 kb/s	640 kb/s	768 kb/s	896 kb/s	1024 kb/s	1152 kb/s	1280 kb/s	1408 kb/s
1	City	31,10	33,21	34,71	35,88	36,89	37,71	38,35	38,85	39,59	40,04
2	Crew	31,02	32,53	33,76	34,64	35,38	36,11	36,73	37,26	37,74	38,21
3	Harbour	26,32	28,11	29,11	30,15	30,94	31,61	32,20	32,75	33,48	33,90
4	Ice	33,87	36,25	37,82	39,37	40,55	41,51	42,61	43,36	44,13	44,77
5	Soccer	29,80	31,49	32,90	33,93	34,87	35,83	36,52	37,19	37,87	38,48
6	Football	27,43	29,42	30,66	31,63	32,54	33,30	33,98	34,60	35,31	35,83
7	Silent	33,85	35,84	37,47	38,81	39,88	40,73	41,75	42,53	43,19	43,85
8	Mobile	23,27	25,71	27,33	28,50	29,17	30,10	30,81	31,41	31,85	32,30
9	Foreman	32,67	34,70	35,89	36,98	37,81	38,47	39,02	39,46	40,09	40,60

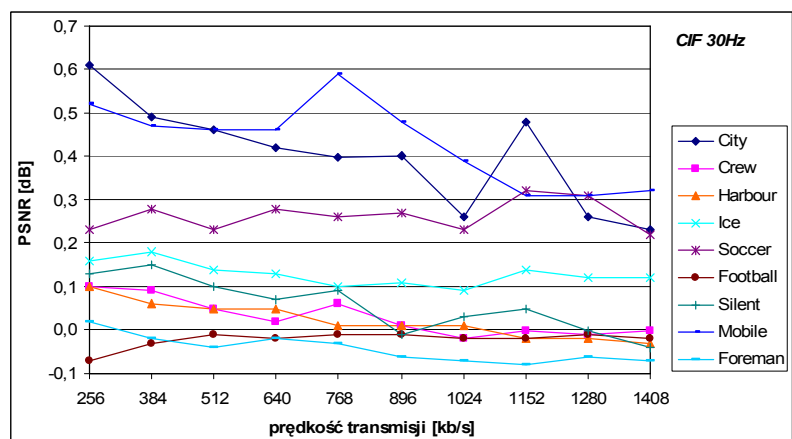
Tabela D. 33. Wartości PSNR badania efektywności kompresji dla zredukowanych opóźnień kodowania, opóźnienie o 5 obrazów, schemat 5HUU, 4CIF 30Hz

Lp	Sekwencja	Wartości współczynnika PSNR[dB] dla rozdzielczości 4CIF 30Hz dla różnych wartości prędkości transmisji, k= 4									
		768 kb/s	1152 kb/s	1536 kb/s	1920 kb/s	2304 kb/s	2688 kb/s	3072 kb/s	3456 kb/s	3840 kb/s	4224 kb/s
1	City	29,87	31,66	32,93	33,88	34,67	35,26	35,82	36,35	36,78	37,08
2	Crew	32,78	34,28	35,25	36,05	36,67	37,29	37,76	38,14	38,48	38,80
3	Harbour	27,68	29,33	30,43	31,40	32,12	32,70	33,25	33,71	34,34	34,70
4	Ice	36,72	38,42	39,80	40,73	41,42	42,05	42,77	43,27	43,67	44,06
5	Soccer	31,09	32,70	33,97	34,91	35,72	36,47	37,06	37,57	38,05	38,48

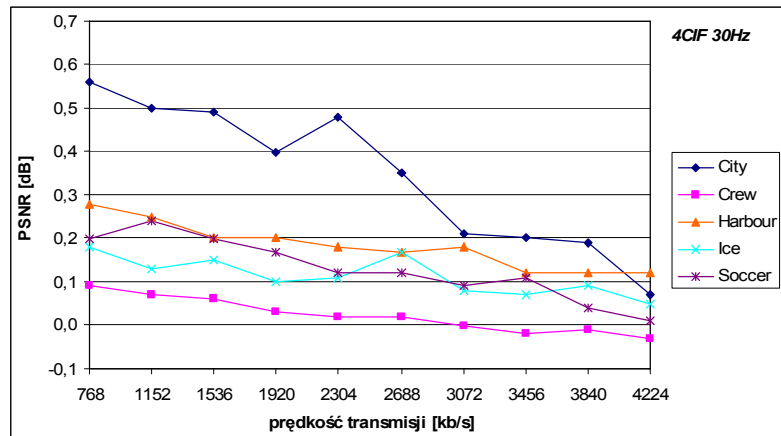
### Opóźnienie o 7 obrazów



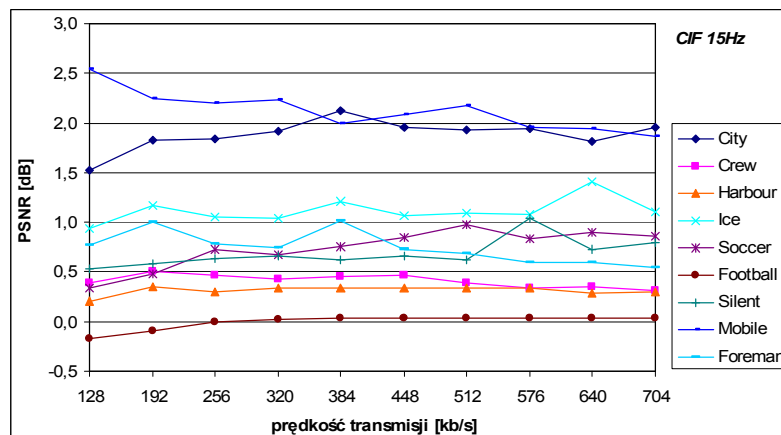
Rys. D. 22. Przyrost wartości współczynnika PSNR dla schematu 333U w stosunku do schematu 33HU, opóźnienie o 7 obrazów, CIF 15Hz



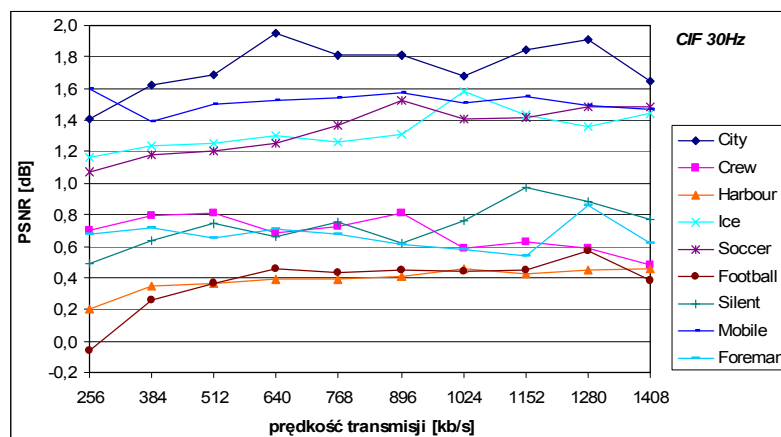
Rys. D. 23. Przyrost wartości współczynnika PSNR dla schematu 333U w stosunku do schematu 33HU, opóźnienie o 7 obrazów, CIF 30Hz



Rys. D. 24. Przyrost wartości współczynnika PSNR dla schematu 333U w stosunku do schematu 33HU, opóźnienie o 7 obrazów, 4CIF 30Hz

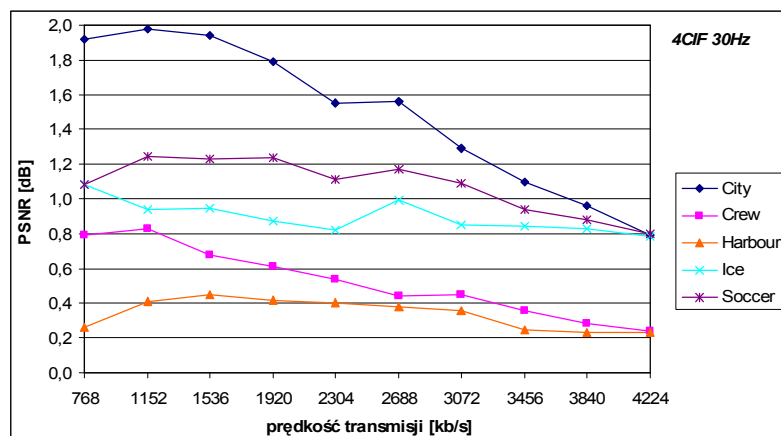


Rys. D. 25. Przyrost wartości współczynnika PSNR dla schematu 333U w stosunku do schematu HHHU, opóźnienie o 7 obrazów, CIF 15Hz



Rys. D. 26. Przyrost wartości współczynnika PSNR dla schematu 333U w stosunku do schematu HHHU, opóźnienie o 7 obrazów, CIF 30Hz





Rys. D. 27. Przyrost wartości współczynnika PSNR dla schematu 333U w stosunku do schematu HHHU, opóźnienie o 7 obrazów, 4CIF 30Hz

Tabela D. 34. Wartości PSNR badania efektywności kompresji dla zredukowanych opóźnień kodowania, opóźnienie o 7 obrazów, schemat 333U, CIF 15Hz

Lp	Sekwencja	Wartości współczynnika PSNR[dB] dla rozdzielczości CIF 15Hz dla różnych wartości prędkości transmisji, k= 4									
		128 kb/s	192 kb/s	256 kb/s	320 kb/s	384 kb/s	448 kb/s	512 kb/s	576 kb/s	640 kb/s	704 kb/s
1	City	30,54	32,62	34,04	35,12	36,16	36,93	37,61	38,18	38,64	39,32
2	Crew	30,25	31,72	32,84	33,66	34,35	34,96	35,50	36,11	36,59	37,04
3	Harbour	25,41	27,06	28,05	28,76	29,59	30,22	30,76	31,19	31,65	32,08
4	Ice	32,06	34,26	35,84	37,09	38,39	39,35	40,21	41,00	42,00	42,63
5	Soccer	28,49	30,22	31,54	32,56	33,42	34,26	35,08	35,72	36,33	36,86
6	Football	26,95	28,79	29,96	30,89	31,78	32,48	33,16	33,78	34,35	34,94
7	Silent	32,94	34,91	36,37	37,60	38,58	39,53	40,17	41,09	41,66	42,34
8	Mobile	22,72	25,39	26,92	28,11	28,91	29,67	30,31	30,83	31,33	31,80
9	Foreman	31,51	33,44	34,68	35,55	36,50	37,17	37,73	38,20	38,63	38,99

Tabela D. 35. Wartości PSNR badania efektywności kompresji dla zredukowanych opóźnień kodowania, opóźnienie o 7 obrazów, schemat 333U, CIF 30Hz

Lp	Sekwencja	Wartości współczynnika PSNR[dB] dla rozdzielczości CIF 30Hz dla różnych wartości prędkości transmisji, k= 4									
		256 kb/s	384 kb/s	512 kb/s	640 kb/s	768 kb/s	896 kb/s	1024 kb/s	1152 kb/s	1280 kb/s	1408 kb/s
1	City	32,25	34,39	35,90	37,07	38,01	38,77	39,29	40,01	40,48	40,95
2	Crew	31,33	32,82	34,00	34,79	35,53	36,27	36,78	37,34	37,81	38,20
3	Harbour	26,82	28,60	29,60	30,61	31,36	32,00	32,58	33,05	33,77	34,16
4	Ice	34,41	36,75	38,27	39,81	40,86	41,81	42,88	43,70	44,34	44,96
5	Soccer	30,32	32,05	33,43	34,50	35,48	36,43	37,18	37,88	38,51	39,07
6	Football	27,20	29,34	30,59	31,54	32,46	33,20	33,85	34,46	35,17	35,69
7	Silent	34,19	36,27	37,87	39,13	40,27	40,93	42,01	42,85	43,45	43,98
8	Mobile	24,19	26,66	28,30	29,50	30,28	31,13	31,76	32,29	32,76	33,19
9	Foreman	33,11	35,09	36,19	37,28	38,06	38,65	39,16	39,57	40,27	40,67

**Tabela D. 36. Wartości PSNR badania efektywności kompresji dla zredukowanych opóźnień kodowania, opóźnienie o 7 obrazów, schemat 333U, 4CIF 30Hz**

Lp	Sekwencja	Wartości współczynnika PSNR[dB] dla rozdzielczości 4CIF 30Hz dla różnych wartości prędkości transmisji, k= 4									
		768 kb/s	1152 kb/s	1536 kb/s	1920 kb/s	2304 kb/s	2688 kb/s	3072 kb/s	3456 kb/s	3840 kb/s	4224 kb/s
1	City	31,52	33,34	34,59	35,37	35,90	36,47	36,83	37,20	37,45	37,65
2	Crew	33,09	34,54	35,47	36,17	36,73	37,29	37,75	38,08	38,41	38,68
3	Harbour	28,21	29,84	30,85	31,76	32,42	32,96	33,48	33,87	34,46	34,81
4	Ice	37,18	38,76	40,08	40,93	41,59	42,32	42,90	43,38	43,78	44,13
5	Soccer	31,63	33,31	34,51	35,46	36,12	36,84	37,43	37,88	38,25	38,63

**Tabela D. 37. Wartości PSNR badania efektywności kompresji dla zredukowanych opóźnień kodowania, opóźnienie o 7 obrazów, schemat 33HU, CIF 15Hz**

Lp	Sekwencja	Wartości współczynnika PSNR[dB] dla rozdzielczości CIF 15Hz dla różnych wartości prędkości transmisji, k= 4									
		128 kb/s	192 kb/s	256 kb/s	320 kb/s	384 kb/s	448 kb/s	512 kb/s	576 kb/s	640 kb/s	704 kb/s
1	City	30,06	32,16	33,61	34,75	35,76	36,60	37,28	37,87	38,40	38,84
2	Crew	30,22	31,68	32,83	33,66	34,37	35,00	35,55	36,17	36,65	37,11
3	Harbour	25,28	26,95	27,93	28,71	29,53	30,17	30,69	31,16	31,66	32,06
4	Ice	32,01	34,15	35,79	37,00	38,33	39,30	40,13	40,94	41,93	42,53
5	Soccer	28,45	30,21	31,42	32,50	33,34	34,13	34,91	35,65	36,28	36,77
6	Football	26,96	28,80	29,97	30,89	31,78	32,47	33,16	33,78	34,35	34,93
7	Silent	32,88	34,82	36,32	37,53	38,56	39,49	40,18	41,04	41,65	42,39
8	Mobile	22,01	24,66	26,35	27,55	28,44	29,02	29,89	30,51	30,97	31,43
9	Foreman	31,30	33,25	34,53	35,42	36,37	37,07	37,63	38,13	38,57	38,95

**Tabela D. 38. Wartości PSNR badania efektywności kompresji dla zredukowanych opóźnień kodowania, opóźnienie o 7 obrazów, schemat 33HU, CIF 30Hz**

Lp	Sekwencja	Wartości współczynnika PSNR[dB] dla rozdzielczości CIF 30Hz dla różnych wartości prędkości transmisji, k= 4									
		256 kb/s	384 kb/s	512 kb/s	640 kb/s	768 kb/s	896 kb/s	1024 kb/s	1152 kb/s	1280 kb/s	1408 kb/s
1	City	31,64	33,90	35,44	36,65	37,61	38,37	39,03	39,53	40,22	40,72
2	Crew	31,23	32,73	33,95	34,77	35,47	36,26	36,80	37,34	37,82	38,20
3	Harbour	26,72	28,54	29,55	30,56	31,35	31,99	32,57	33,07	33,79	34,19
4	Ice	34,25	36,57	38,13	39,68	40,76	41,70	42,79	43,56	44,22	44,84
5	Soccer	30,09	31,77	33,20	34,22	35,22	36,16	36,95	37,56	38,20	38,85
6	Football	27,27	29,37	30,60	31,56	32,47	33,21	33,87	34,48	35,18	35,71
7	Silent	34,06	36,12	37,77	39,06	40,18	40,94	41,98	42,80	43,45	44,02
8	Mobile	23,67	26,19	27,84	29,04	29,69	30,65	31,37	31,98	32,45	32,87
9	Foreman	33,09	35,11	36,23	37,30	38,09	38,71	39,23	39,65	40,33	40,74

**Tabela D. 39. Wartości PSNR badania efektywności kompresji dla zredukowanych opóźnień kodowania, opóźnienie o 7 obrazów, schemat 33HU, 4CIF 30Hz**

Lp	Sekwencja	Wartości współczynnika PSNR[dB] dla rozdzielczości 4CIF 30Hz dla różnych wartości prędkości transmisji, k= 4									
		768 kb/s	1152 kb/s	1536 kb/s	1920 kb/s	2304 kb/s	2688 kb/s	3072 kb/s	3456 kb/s	3840 kb/s	4224 kb/s
1	City	30,96	32,84	34,10	34,97	35,42	36,12	36,62	37,00	37,26	37,58
2	Crew	33,00	34,47	35,41	36,14	36,71	37,27	37,75	38,10	38,42	38,71
3	Harbour	27,93	29,59	30,65	31,56	32,24	32,79	33,30	33,75	34,34	34,69
4	Ice	37,00	38,63	39,93	40,83	41,48	42,15	42,82	43,31	43,69	44,08
5	Soccer	31,43	33,07	34,31	35,29	36,00	36,72	37,34	37,77	38,21	38,62

**Tabela D. 40. Wartości PSNR badania efektywności kompresji dla zredukowanych opóźnień kodowania, opóźnienie o 7 obrazów, schemat HHHU, CIF 15Hz**

Lp	Sekwencja	Wartości współczynnika PSNR[dB] dla rozdzielczości CIF 15Hz dla różnych wartości prędkości transmisji, k= 4									
		128 kb/s	192 kb/s	256 kb/s	320 kb/s	384 kb/s	448 kb/s	512 kb/s	576 kb/s	640 kb/s	704 kb/s
1	City	29,02	30,80	32,20	33,20	34,04	34,97	35,68	36,24	36,83	37,36
2	Crew	29,86	31,22	32,37	33,23	33,90	34,50	35,11	35,77	36,24	36,73
3	Harbour	25,20	26,71	27,75	28,43	29,25	29,88	30,43	30,85	31,36	31,78
4	Ice	31,12	33,09	34,79	36,05	37,18	38,28	39,12	39,92	40,59	41,52
5	Soccer	28,15	29,74	30,81	31,88	32,67	33,41	34,10	34,89	35,43	36,00
6	Football	27,12	28,89	29,97	30,87	31,75	32,44	33,12	33,74	34,32	34,91
7	Silent	32,41	34,32	35,73	36,94	37,96	38,87	39,55	40,05	40,93	41,55
8	Mobile	20,18	23,15	24,72	25,88	26,91	27,58	28,13	28,88	29,39	29,94
9	Foreman	30,74	32,44	33,90	34,81	35,49	36,44	37,04	37,60	38,03	38,44

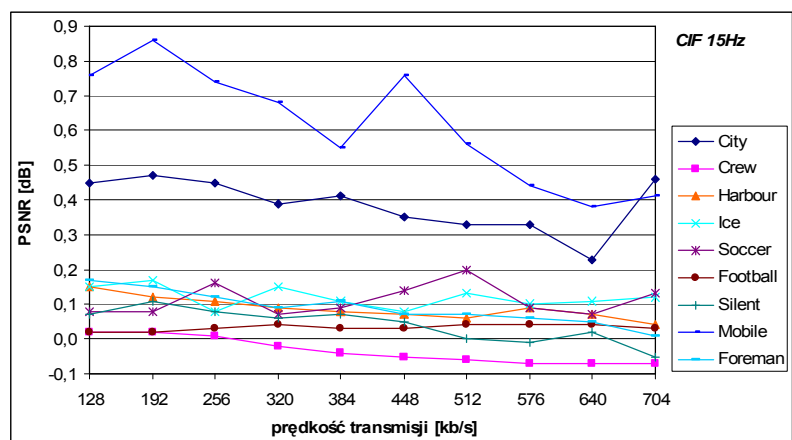
**Tabela D. 41. Wartości PSNR badania efektywności kompresji dla zredukowanych opóźnień kodowania, opóźnienie o 7 obrazów, schemat HHHU, CIF 30Hz**

Lp	Sekwencja	Wartości współczynnika PSNR[dB] dla rozdzielczości CIF 30Hz dla różnych wartości prędkości transmisji, k= 4									
		256 kb/s	384 kb/s	512 kb/s	640 kb/s	768 kb/s	896 kb/s	1024 kb/s	1152 kb/s	1280 kb/s	1408 kb/s
1	City	30,84	32,77	34,21	35,12	36,20	36,96	37,61	38,17	38,57	39,30
2	Crew	30,63	32,03	33,19	34,10	34,80	35,46	36,19	36,71	37,22	37,72
3	Harbour	26,62	28,25	29,23	30,22	30,97	31,59	32,12	32,63	33,32	33,70
4	Ice	33,25	35,51	37,02	38,51	39,60	40,50	41,30	42,27	42,98	43,52
5	Soccer	29,25	30,87	32,23	33,25	34,11	34,91	35,77	36,46	37,03	37,59
6	Football	27,26	29,08	30,22	31,08	32,03	32,75	33,41	34,01	34,60	35,31
7	Silent	33,70	35,63	37,13	38,47	39,52	40,31	41,25	41,88	42,57	43,21
8	Mobile	22,59	25,27	26,80	27,98	28,74	29,56	30,25	30,74	31,27	31,72
9	Foreman	32,43	34,37	35,54	36,57	37,38	38,04	38,58	39,03	39,41	40,05

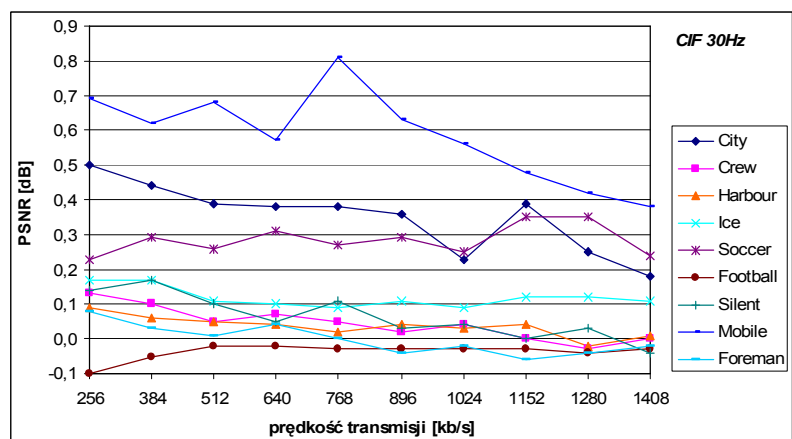
Tabela D. 42. Wartości PSNR badania efektywności kompresji dla zredukowanych opóźnień kodowania, opóźnienie o 7 obrazów, schemat HHHU, 4CIF 30Hz

Lp	Sekwencja	Wartości współczynnika PSNR[dB] dla rozdzielczości 4CIF 30Hz dla różnych wartości prędkości transmisji, k= 4									
		768 kb/s	1152 kb/s	1536 kb/s	1920 kb/s	2304 kb/s	2688 kb/s	3072 kb/s	3456 kb/s	3840 kb/s	4224 kb/s
1	City	29,60	31,36	32,65	33,58	34,35	34,91	35,54	36,10	36,49	36,86
2	Crew	32,30	33,71	34,79	35,56	36,19	36,85	37,30	37,72	38,13	38,44
3	Harbour	27,95	29,43	30,40	31,34	32,02	32,58	33,12	33,62	34,23	34,58
4	Ice	36,10	37,82	39,13	40,06	40,77	41,33	42,05	42,54	42,95	43,35
5	Soccer	30,55	32,06	33,28	34,22	35,01	35,67	36,34	36,94	37,37	37,83

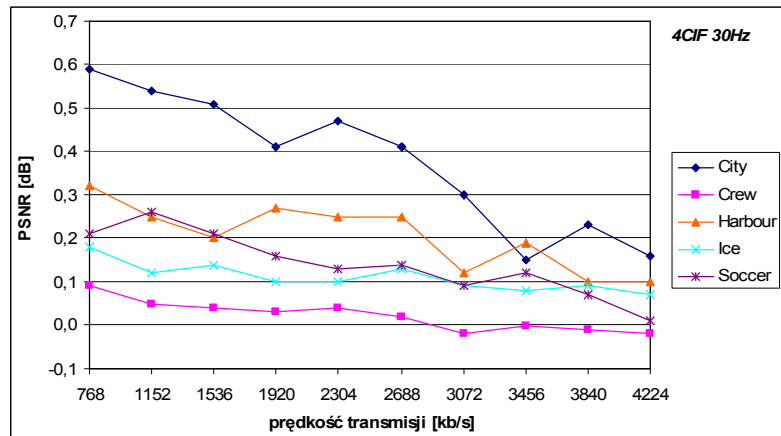
### Opóźnienie o 9 obrazów



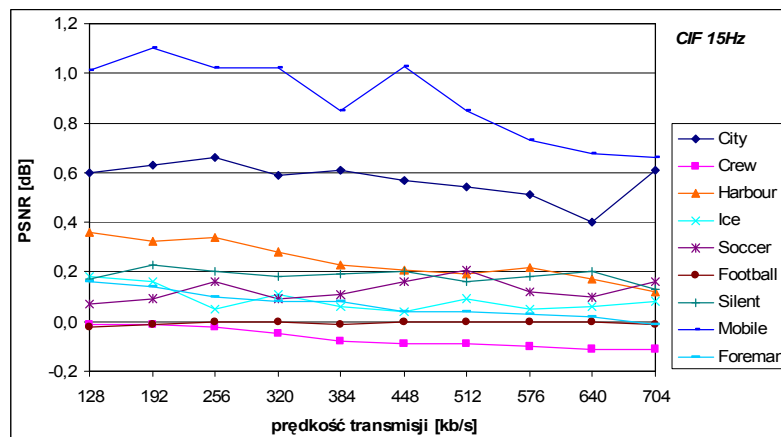
Rys. D. 28. Przyrost wartości współczynnika PSNR dla schematu 533U w stosunku do schematu 53HU, opóźnienie o 9 obrazów, CIF 15Hz



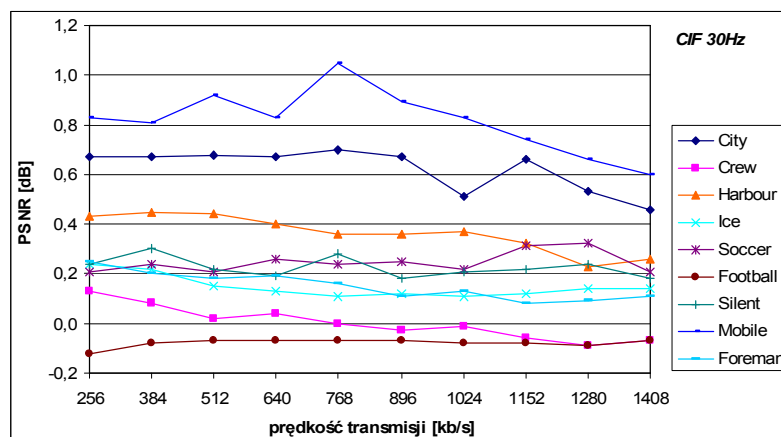
Rys. D. 29. Przyrost wartości współczynnika PSNR dla schematu 533U w stosunku do schematu 53HU, opóźnienie o 9 obrazów, CIF 30Hz



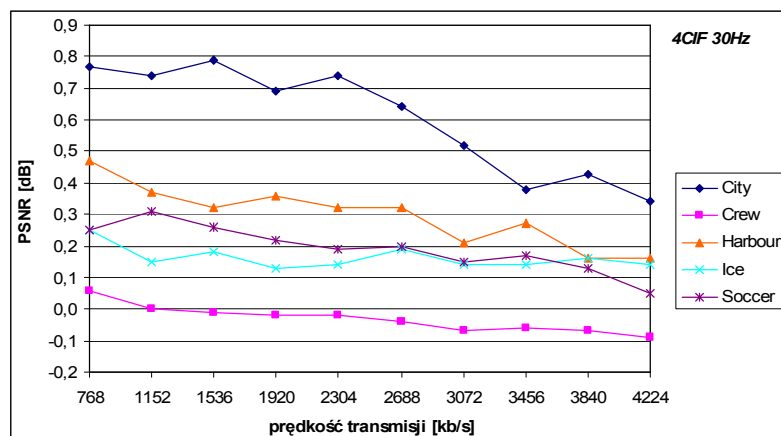
Rys. D. 30. Przyrost wartości współczynnika PSNR dla schematu 533U w stosunku do schematu 53HU, opóźnienie o 9 obrazów, 4CIF 30Hz



Rys. D. 31. Przyrost wartości współczynnika PSNR dla schematu 533U w stosunku do schematu 55UU, opóźnienie o 9 obrazów, CIF 15Hz



Rys. D. 32. Przyrost wartości współczynnika PSNR dla schematu 533U w stosunku do schematu 55UU, opóźnienie o 9 obrazów, CIF 30Hz



Rys. D. 33. Przyrost wartości współczynnika PSNR dla schematu 533U w stosunku do schematu 55UU, opóźnienie o 9 obrazów, 4CIF 30Hz

Tabela D. 43. Wartości PSNR badania efektywności kompresji dla zredukowanych opóźnień kodowania, opóźnienie o 9 obrazów, schemat 533U, CIF 15Hz

Lp	Sekwencja	Wartości współczynnika PSNR[dB] dla rozdzielczości CIF 15Hz dla różnych wartości prędkości transmisji, k= 4									
		128 kb/s	192 kb/s	256 kb/s	320 kb/s	384 kb/s	448 kb/s	512 kb/s	576 kb/s	640 kb/s	704 kb/s
1	City	30,54	32,67	34,13	35,23	36,29	37,08	37,77	38,38	38,82	39,53
2	Crew	30,31	31,80	32,96	33,77	34,45	35,10	35,68	36,25	36,75	37,20
3	Harbour	25,49	27,17	28,24	28,95	29,80	30,43	31,02	31,50	31,96	32,36
4	Ice	32,20	34,41	35,97	37,25	38,55	39,51	40,40	41,18	42,18	42,81
5	Soccer	28,59	30,36	31,70	32,67	33,54	34,40	35,26	35,85	36,47	37,03
6	Football	27,05	28,89	30,06	30,99	31,87	32,56	33,25	33,87	34,45	35,01
7	Silent	32,98	35,01	36,46	37,68	38,71	39,66	40,30	41,22	41,83	42,49
8	Mobile	22,81	25,56	27,14	28,31	29,09	29,89	30,58	31,09	31,53	31,99
9	Foreman	31,53	33,51	34,77	35,65	36,62	37,30	37,88	38,36	38,81	39,16

Tabela D. 44. Wartości PSNR badania efektywności kompresji dla zredukowanych opóźnień kodowania, opóźnienie o 9 obrazów, schemat 533U, CIF 30Hz

Lp	Sekwencja	Wartości współczynnika PSNR[dB] dla rozdzielczości CIF 30Hz dla różnych wartości prędkości transmisji, k= 4									
		256 kb/s	384 kb/s	512 kb/s	640 kb/s	768 kb/s	896 kb/s	1024 kb/s	1152 kb/s	1280 kb/s	1408 kb/s
1	City	32,21	34,44	35,99	37,19	38,17	38,94	39,47	40,21	40,71	41,17
2	Crew	31,40	32,92	34,11	34,95	35,69	36,44	36,97	37,52	37,99	38,42
3	Harbour	26,89	28,72	29,76	30,78	31,55	32,23	32,85	33,34	34,02	34,47
4	Ice	34,54	36,91	38,42	39,98	41,04	42,01	43,08	43,91	44,58	45,20
5	Soccer	30,40	32,16	33,56	34,64	35,61	36,56	37,32	38,04	38,69	39,25
6	Football	27,18	29,38	30,66	31,64	32,56	33,30	33,97	34,59	35,30	35,81
7	Silent	34,24	36,36	37,95	39,22	40,42	41,08	42,16	42,99	43,66	44,17
8	Mobile	24,50	26,98	28,71	29,76	30,68	31,48	32,14	32,66	33,12	33,50
9	Foreman	33,21	35,22	36,37	37,48	38,26	38,85	39,40	39,79	40,51	40,95

**Tabela D. 45. Wartości PSNR badania efektywności kompresji dla zredukowanych opóźnień kodowania, opóźnienie o 9 obrazów, schemat 533U, 4CIF 30Hz**

Lp	Sekwencja	Wartości współczynnika PSNR[dB] dla rozdzielczości 4CIF 30Hz dla różnych wartości prędkości transmisji, k= 4									
		768 kb/s	1152 kb/s	1536 kb/s	1920 kb/s	2304 kb/s	2688 kb/s	3072 kb/s	3456 kb/s	3840 kb/s	4224 kb/s
1	City	31,57	33,43	34,70	35,54	36,14	36,71	37,12	37,42	37,76	37,98
2	Crew	33,18	34,63	35,58	36,30	36,92	37,44	37,88	38,26	38,57	38,85
3	Harbour	28,32	29,96	31,01	32,02	32,69	33,27	33,73	34,18	34,70	35,07
4	Ice	37,33	38,91	40,25	41,10	41,79	42,57	43,10	43,58	44,02	44,34
5	Soccer	31,71	33,44	34,63	35,59	36,29	37,03	37,60	38,11	38,48	38,83

**Tabela D. 46. Wartości PSNR badania efektywności kompresji dla zredukowanych opóźnień kodowania, opóźnienie o 9 obrazów, schemat 53HU, CIF 15Hz**

Lp	Sekwencja	Wartości współczynnika PSNR[dB] dla rozdzielczości CIF 15Hz dla różnych wartości prędkości transmisji, k= 4									
		128 kb/s	192 kb/s	256 kb/s	320 kb/s	384 kb/s	448 kb/s	512 kb/s	576 kb/s	640 kb/s	704 kb/s
1	City	30,09	32,20	33,68	34,84	35,88	36,73	37,44	38,05	38,59	39,07
2	Crew	30,29	31,78	32,95	33,79	34,49	35,15	35,74	36,32	36,82	37,27
3	Harbour	25,34	27,05	28,13	28,86	29,72	30,36	30,96	31,41	31,89	32,32
4	Ice	32,05	34,24	35,89	37,10	38,44	39,43	40,27	41,08	42,07	42,69
5	Soccer	28,51	30,28	31,54	32,60	33,45	34,26	35,06	35,76	36,40	36,90
6	Football	27,03	28,87	30,03	30,95	31,84	32,53	33,21	33,83	34,41	34,98
7	Silent	32,91	34,90	36,38	37,62	38,64	39,61	40,30	41,23	41,81	42,54
8	Mobile	22,05	24,70	26,40	27,63	28,54	29,13	30,02	30,65	31,15	31,58
9	Foreman	31,36	33,36	34,65	35,56	36,51	37,23	37,81	38,30	38,76	39,15

**Tabela D. 47. Wartości PSNR badania efektywności kompresji dla zredukowanych opóźnień kodowania, opóźnienie o 9 obrazów, schemat 53HU, CIF 30Hz**

Lp	Sekwencja	Wartości współczynnika PSNR[dB] dla rozdzielczości CIF 30Hz dla różnych wartości prędkości transmisji, k= 4									
		256 kb/s	384 kb/s	512 kb/s	640 kb/s	768 kb/s	896 kb/s	1024 kb/s	1152 kb/s	1280 kb/s	1408 kb/s
1	City	31,71	34,00	35,60	36,81	37,79	38,58	39,24	39,82	40,46	40,99
2	Crew	31,27	32,82	34,06	34,88	35,64	36,42	36,93	37,52	38,02	38,42
3	Harbour	26,80	28,66	29,71	30,74	31,53	32,19	32,82	33,30	34,04	34,46
4	Ice	34,37	36,74	38,31	39,88	40,95	41,90	42,99	43,79	44,46	45,09
5	Soccer	30,17	31,87	33,30	34,33	35,34	36,27	37,07	37,69	38,34	39,01
6	Football	27,28	29,43	30,68	31,66	32,59	33,33	34,00	34,62	35,34	35,84
7	Silent	34,10	36,19	37,85	39,17	40,31	41,05	42,12	42,99	43,63	44,21
8	Mobile	23,81	26,36	28,03	29,19	29,87	30,85	31,58	32,18	32,70	33,12
9	Foreman	33,13	35,19	36,36	37,44	38,26	38,89	39,42	39,85	40,55	40,97

**Tabela D. 48. Wartości PSNR badania efektywności kompresji dla zredukowanych opóźnień kodowania, opóźnienie o 9 obrazów, schemat 53HU, 4CIF 30Hz**

Lp	Sekwencja	Wartości współczynnika PSNR[dB] dla rozdzielczości 4CIF 30Hz dla różnych wartości prędkości transmisji, k= 4									
		768 kb/s	1152 kb/s	1536 kb/s	1920 kb/s	2304 kb/s	2688 kb/s	3072 kb/s	3456 kb/s	3840 kb/s	4224 kb/s
1	City	30,98	32,89	34,19	35,13	35,67	36,30	36,82	37,27	37,53	37,82
2	Crew	33,09	34,58	35,54	36,27	36,88	37,42	37,90	38,26	38,58	38,87
3	Harbour	28,00	29,71	30,81	31,75	32,44	33,02	33,61	33,99	34,60	34,97
4	Ice	37,15	38,79	40,11	41,00	41,69	42,44	43,01	43,50	43,93	44,27
5	Soccer	31,50	33,18	34,42	35,43	36,16	36,89	37,51	37,99	38,41	38,82

**Tabela D. 49. Wartości PSNR badania efektywności kompresji dla zredukowanych opóźnień kodowania, opóźnienie o 9 obrazów, schemat 55UU, CIF 15Hz**

Lp	Sekwencja	Wartości współczynnika PSNR[dB] dla rozdzielczości CIF 15Hz dla różnych wartości prędkości transmisji, k= 4									
		128 kb/s	192 kb/s	256 kb/s	320 kb/s	384 kb/s	448 kb/s	512 kb/s	576 kb/s	640 kb/s	704 kb/s
1	City	29,94	32,04	33,47	34,64	35,68	36,51	37,23	37,87	38,42	38,92
2	Crew	30,32	31,81	32,98	33,82	34,53	35,19	35,77	36,35	36,86	37,31
3	Harbour	25,13	26,85	27,90	28,67	29,57	30,22	30,83	31,28	31,79	32,24
4	Ice	32,02	34,25	35,92	37,14	38,49	39,47	40,31	41,13	42,12	42,73
5	Soccer	28,52	30,27	31,54	32,58	33,43	34,24	35,05	35,73	36,37	36,87
6	Football	27,07	28,90	30,06	30,99	31,88	32,56	33,25	33,87	34,45	35,02
7	Silent	32,81	34,78	36,26	37,50	38,52	39,46	40,14	41,04	41,63	42,36
8	Mobile	21,80	24,46	26,12	27,29	28,24	28,86	29,73	30,36	30,85	31,33
9	Foreman	31,37	33,37	34,67	35,57	36,54	37,26	37,84	38,33	38,79	39,17

**Tabela D. 50. Wartości PSNR badania efektywności kompresji dla zredukowanych opóźnień kodowania, opóźnienie o 9 obrazów, schemat 55UU, CIF 30Hz**

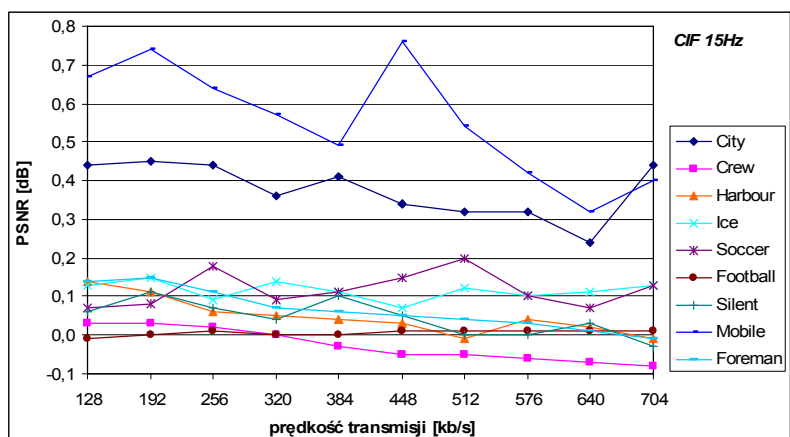
Lp	Sekwencja	Wartości współczynnika PSNR[dB] dla rozdzielczości CIF 30Hz dla różnych wartości prędkości transmisji, k= 4									
		256 kb/s	384 kb/s	512 kb/s	640 kb/s	768 kb/s	896 kb/s	1024 kb/s	1152 kb/s	1280 kb/s	1408 kb/s
1	City	31,54	33,77	35,31	36,52	37,47	38,27	38,96	39,55	40,18	40,71
2	Crew	31,27	32,84	34,09	34,91	35,69	36,47	36,98	37,58	38,08	38,49
3	Harbour	26,46	28,27	29,32	30,38	31,19	31,87	32,48	33,02	33,79	34,21
4	Ice	34,30	36,69	38,27	39,85	40,93	41,89	42,97	43,79	44,44	45,06
5	Soccer	30,19	31,92	33,35	34,38	35,37	36,31	37,10	37,73	38,37	39,04
6	Football	27,30	29,46	30,73	31,71	32,63	33,37	34,05	34,67	35,39	35,88
7	Silent	34,00	36,06	37,73	39,03	40,14	40,90	41,95	42,77	43,42	43,99
8	Mobile	23,67	26,17	27,79	28,93	29,63	30,59	31,31	31,92	32,46	32,90
9	Foreman	32,96	35,02	36,19	37,29	38,10	38,74	39,27	39,71	40,42	40,84



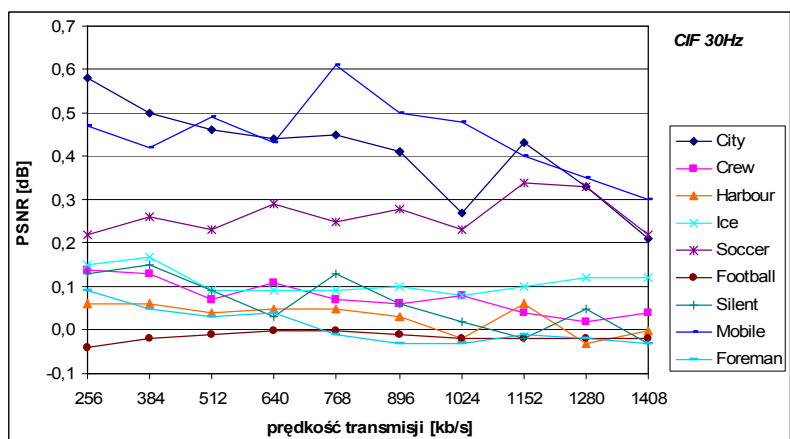
Tabela D. 51. Wartości PSNR badania efektywności kompresji dla zredukowanych opóźnień kodowania, opóźnienie o 9 obrazów, schemat 55UU, 4CIF 30Hz

Lp	Sekwencja	Wartości współczynnika PSNR[dB] dla rozdzielczości 4CIF 30Hz dla różnych wartości prędkości transmisji, k= 4									
		768 kb/s	1152 kb/s	1536 kb/s	1920 kb/s	2304 kb/s	2688 kb/s	3072 kb/s	3456 kb/s	3840 kb/s	4224 kb/s
1	City	30,80	32,69	33,91	34,85	35,40	36,07	36,60	37,04	37,33	37,64
2	Crew	33,12	34,63	35,59	36,32	36,94	37,48	37,95	38,32	38,64	38,94
3	Harbour	27,85	29,59	30,69	31,66	32,37	32,95	33,52	33,91	34,54	34,91
4	Ice	37,08	38,76	40,07	40,97	41,65	42,38	42,96	43,44	43,86	44,20
5	Soccer	31,46	33,13	34,37	35,37	36,10	36,83	37,45	37,94	38,35	38,78

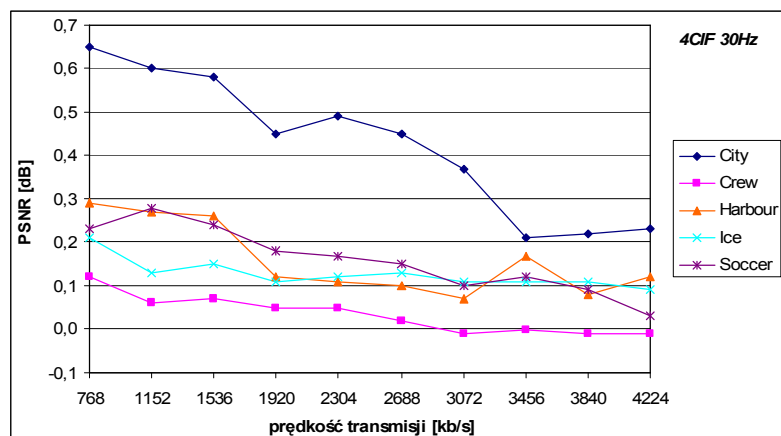
### Opóźnienie o 13 obrazów



Rys. D. 34. Przyrost wartości współczynnika PSNR dla schematu 553U w stosunku do schematu 55HU, opóźnienie o 13 obrazów, CIF 15Hz



Rys. D. 35. Przyrost wartości współczynnika PSNR dla schematu 553U w stosunku do schematu 55HU, opóźnienie o 13 obrazów, CIF 30Hz



Rys. D. 36. Przyrost wartości współczynnika PSNR dla schematu 553U w stosunku do schematu 55HU, opóźnienie o 13 obrazów, 4CIF 30Hz

Tabela D. 52. Wartości PSNR badania efektywności kompresji dla zredukowanych opóźnień kodowania, opóźnienie o 13 obrazów, schemat 553U, CIF 15Hz

Lp	Sekwencja	Wartości współczynnika PSNR[dB] dla rozdzielczości CIF 15Hz dla różnych wartości prędkości transmisji, k= 4									
		128 kb/s	192 kb/s	256 kb/s	320 kb/s	384 kb/s	448 kb/s	512 kb/s	576 kb/s	640 kb/s	704 kb/s
1	City	30,58	32,75	34,24	35,36	36,44	37,25	37,96	38,59	39,02	39,75
2	Crew	30,36	31,86	33,02	33,84	34,52	35,17	35,75	36,32	36,82	37,26
3	Harbour	25,58	27,35	28,42	29,14	30,00	30,66	31,25	31,78	32,24	32,61
4	Ice	32,30	34,55	36,13	37,40	38,70	39,65	40,54	41,33	42,32	42,95
5	Soccer	28,65	30,43	31,77	32,75	33,63	34,48	35,33	35,94	36,56	37,12
6	Football	27,06	28,90	30,07	30,99	31,88	32,57	33,26	33,88	34,46	35,03
7	Silent	33,04	35,11	36,55	37,76	38,83	39,80	40,42	41,36	41,99	42,65
8	Mobile	22,76	25,53	27,14	28,34	29,18	30,00	30,70	31,22	31,68	32,15
9	Foreman	31,71	33,70	34,96	35,84	36,81	37,50	38,09	38,58	39,03	39,38

Tabela D. 53. Wartości PSNR badania efektywności kompresji dla zredukowanych opóźnień kodowania, opóźnienie o 13 obrazów, schemat 553U, CIF 30Hz

Lp	Sekwencja	Wartości współczynnika PSNR[dB] dla rozdzielczości CIF 30Hz dla różnych wartości prędkości transmisji, k= 4									
		256 kb/s	384 kb/s	512 kb/s	640 kb/s	768 kb/s	896 kb/s	1024 kb/s	1152 kb/s	1280 kb/s	1408 kb/s
1	City	32,32	34,55	36,14	37,35	38,36	39,14	39,66	40,43	40,96	41,40
2	Crew	31,46	33,03	34,22	35,09	35,84	36,59	37,13	37,69	38,17	38,60
3	Harbour	26,99	28,87	29,92	30,99	31,81	32,50	33,08	33,67	34,27	34,76
4	Ice	34,65	37,06	38,56	40,14	41,21	42,17	43,23	44,06	44,74	45,37
5	Soccer	30,46	32,24	33,65	34,75	35,73	36,69	37,45	38,19	38,85	39,41
6	Football	27,28	29,47	30,75	31,74	32,66	33,40	34,07	34,69	35,40	35,90
7	Silent	34,29	36,44	38,03	39,31	40,57	41,23	42,29	43,15	43,86	44,36
8	Mobile	24,37	26,90	28,68	29,82	30,77	31,59	32,27	32,81	33,27	33,65
9	Foreman	33,32	35,37	36,53	37,64	38,42	39,04	39,59	40,02	40,71	41,15

**Tabela D. 54. Wartości PSNR badania efektywności kompresji dla zredukowanych opóźnień kodowania, opóźnienie o 13 obrazów, schemat 553U, 4CIF 30Hz**

Lp	Sekwencja	Wartości współczynnika PSNR[dB] dla rozdzielczości 4CIF 30Hz dla różnych wartości prędkości transmisji, k= 4									
		768 kb/s	1152 kb/s	1536 kb/s	1920 kb/s	2304 kb/s	2688 kb/s	3072 kb/s	3456 kb/s	3840 kb/s	4224 kb/s
1	City	31,62	33,52	34,82	35,68	36,30	36,90	37,34	37,64	37,96	38,23
2	Crew	33,25	34,69	35,67	36,38	37,00	37,51	37,94	38,33	38,64	38,93
3	Harbour	28,52	30,21	31,33	32,23	32,92	33,50	33,97	34,54	34,96	35,37
4	Ice	37,45	39,04	40,37	41,23	41,93	42,71	43,25	43,73	44,18	44,50
5	Soccer	31,78	33,54	34,73	35,70	36,43	37,15	37,73	38,26	38,64	39,00

**Tabela D. 55. Wartości PSNR badania efektywności kompresji dla zredukowanych opóźnień kodowania, opóźnienie o 13 obrazów, schemat 55HU, CIF 15Hz**

Lp	Sekwencja	Wartości współczynnika PSNR[dB] dla rozdzielczości CIF 15Hz dla różnych wartości prędkości transmisji, k= 4									
		128 kb/s	192 kb/s	256 kb/s	320 kb/s	384 kb/s	448 kb/s	512 kb/s	576 kb/s	640 kb/s	704 kb/s
1	City	30,14	32,30	33,80	35,00	36,03	36,91	37,64	38,27	38,78	39,31
2	Crew	30,33	31,83	33,00	33,84	34,55	35,22	35,80	36,38	36,89	37,34
3	Harbour	25,44	27,24	28,36	29,09	29,96	30,63	31,26	31,74	32,22	32,62
4	Ice	32,17	34,40	36,04	37,26	38,59	39,58	40,42	41,23	42,21	42,82
5	Soccer	28,58	30,35	31,59	32,66	33,52	34,33	35,13	35,84	36,49	36,99
6	Football	27,07	28,90	30,06	30,99	31,88	32,56	33,25	33,87	34,45	35,02
7	Silent	32,98	35,00	36,48	37,72	38,73	39,75	40,42	41,36	41,96	42,68
8	Mobile	22,09	24,79	26,50	27,77	28,69	29,24	30,16	30,80	31,36	31,75
9	Foreman	31,57	33,55	34,85	35,77	36,75	37,45	38,05	38,55	39,02	39,39

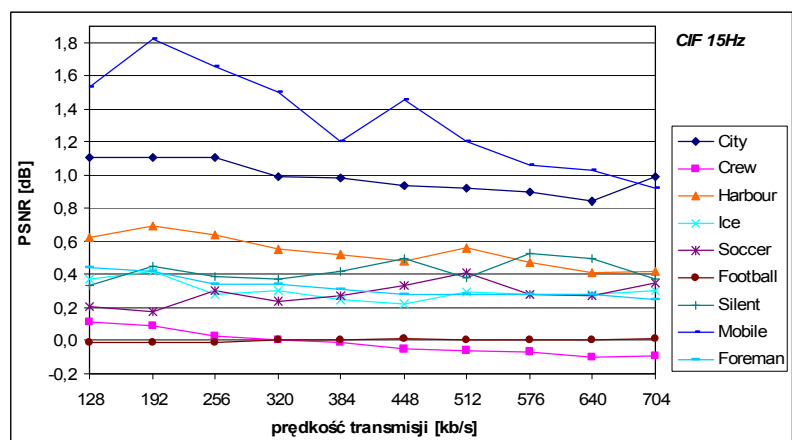
**Tabela D. 56. Wartości PSNR badania efektywności kompresji dla zredukowanych opóźnień kodowania, opóźnienie o 13 obrazów, schemat 55HU, CIF 30Hz**

Lp	Sekwencja	Wartości współczynnika PSNR[dB] dla rozdzielczości CIF 30Hz dla różnych wartości prędkości transmisji, k= 4									
		256 kb/s	384 kb/s	512 kb/s	640 kb/s	768 kb/s	896 kb/s	1024 kb/s	1152 kb/s	1280 kb/s	1408 kb/s
1	City	31,74	34,05	35,68	36,91	37,91	38,73	39,39	40,00	40,63	41,19
2	Crew	31,32	32,90	34,15	34,98	35,77	36,53	37,05	37,65	38,15	38,56
3	Harbour	26,93	28,81	29,88	30,94	31,76	32,47	33,10	33,61	34,30	34,76
4	Ice	34,50	36,89	38,47	40,05	41,12	42,07	43,15	43,96	44,62	45,25
5	Soccer	30,24	31,98	33,42	34,46	35,48	36,41	37,22	37,85	38,52	39,19
6	Football	27,32	29,49	30,76	31,74	32,66	33,41	34,09	34,71	35,42	35,92
7	Silent	34,16	36,29	37,94	39,28	40,44	41,17	42,27	43,17	43,81	44,39
8	Mobile	23,90	26,48	28,19	29,39	30,16	31,09	31,79	32,41	32,92	33,35
9	Foreman	33,23	35,32	36,50	37,60	38,43	39,07	39,62	40,03	40,73	41,18

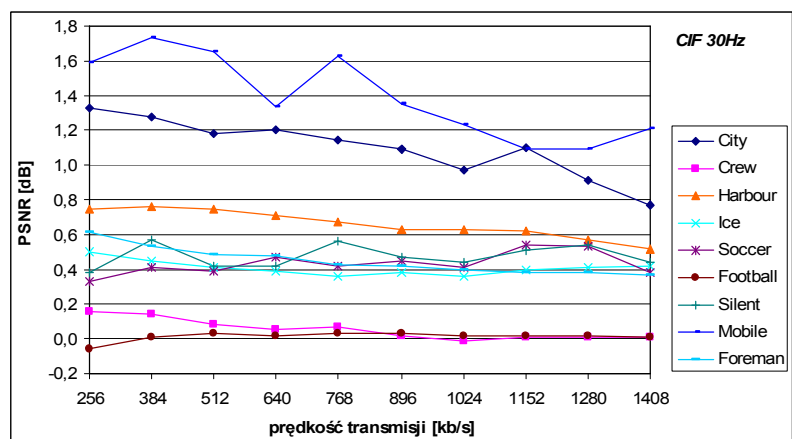
Tabela D. 57. Wartości PSNR badania efektywności kompresji dla zredukowanych opóźnień kodowania, opóźnienie o 13 obrazów, schemat 55HU, 4CIF 30Hz

Lp	Sekwencja	Wartości współczynnika PSNR[dB] dla rozdzielczości 4CIF 30Hz dla różnych wartości prędkości transmisji, k= 4									
		768 kb/s	1152 kb/s	1536 kb/s	1920 kb/s	2304 kb/s	2688 kb/s	3072 kb/s	3456 kb/s	3840 kb/s	4224 kb/s
1	City	30,97	32,92	34,24	35,23	35,81	36,45	36,97	37,43	37,74	38,00
2	Crew	33,13	34,63	35,60	36,33	36,95	37,49	37,95	38,33	38,65	38,94
3	Harbour	28,23	29,94	31,07	32,11	32,81	33,40	33,90	34,37	34,88	35,25
4	Ice	37,24	38,91	40,22	41,12	41,81	42,58	43,14	43,62	44,07	44,41
5	Soccer	31,55	33,26	34,49	35,52	36,26	37,00	37,63	38,14	38,55	38,97

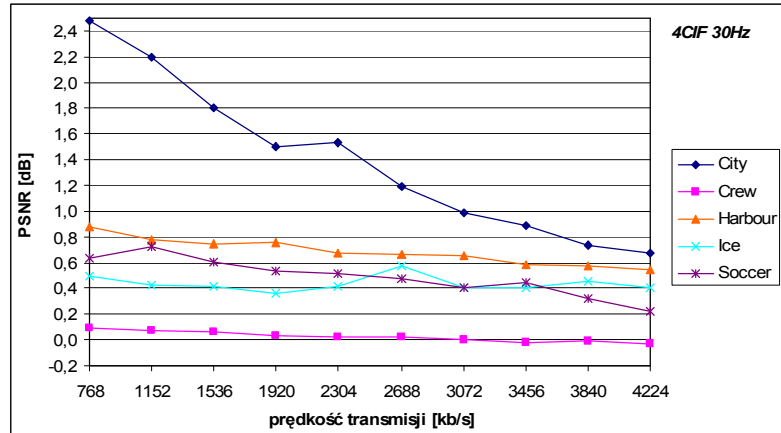
### Opóźnienie o 15 obrazów



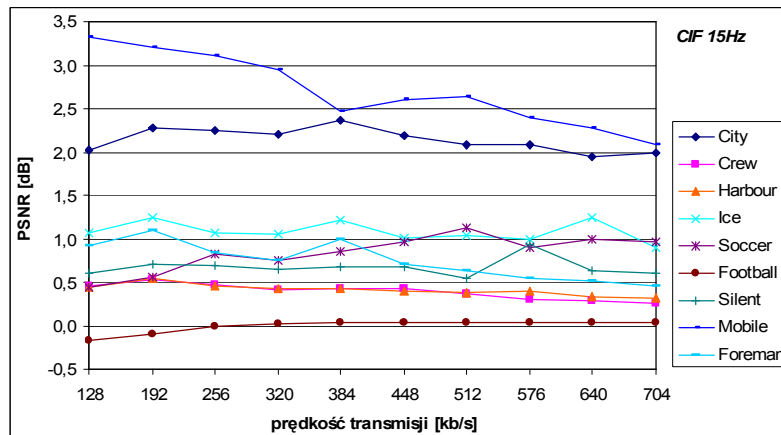
Rys. D. 37. Przyrost wartości współczynnika PSNR dla schematu 3333 w stosunku do schematu 33HH, opóźnienie o 15 obrazów, CIF 15Hz



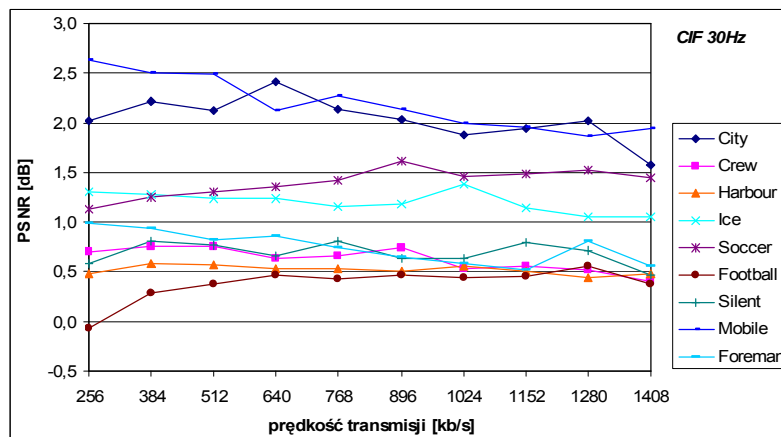
Rys. D. 38. Przyrost wartości współczynnika PSNR dla schematu 3333 w stosunku do schematu 33HH, opóźnienie o 15 obrazów, CIF 30Hz



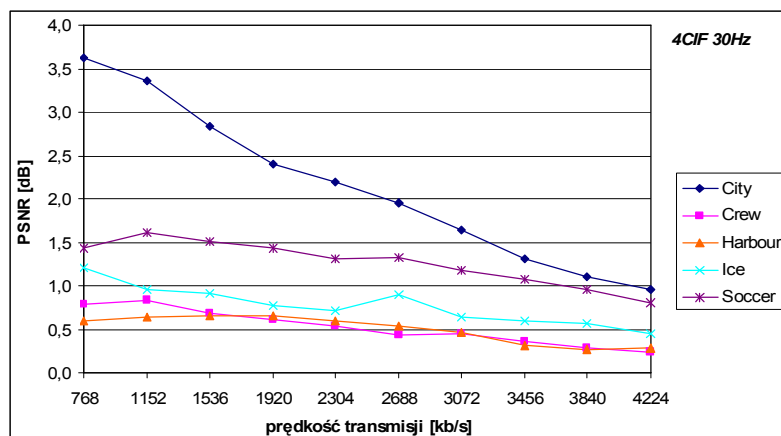
Rys. D. 39. Przyrost wartości współczynnika PSNR dla schematu 3333 w stosunku do schematu 33HH, opóźnienie o 15 obrazów, 4CIF 30Hz



Rys. D. 40. Przyrost wartości współczynnika PSNR dla schematu 3333 w stosunku do schematu HHHH, opóźnienie o 15 obrazów, CIF 15Hz



Rys. D. 41. Przyrost wartości współczynnika PSNR dla schematu 3333 w stosunku do schematu HHHH, opóźnienie o 15 obrazów, CIF 30Hz



Rys. D. 42. Przyrost wartości współczynnika PSNR dla schematu 3333 w stosunku do schematu HHHH, opóźnienie o 15 obrazów, 4CIF 30Hz

Tabela D. 58. Wartości PSNR badania efektywności kompresji dla zredukowanych opóźnień kodowania, opóźnienie o 15 obrazów, schemat 3333, CIF 15Hz

Lp	Sekwencja	Wartości współczynnika PSNR[dB] dla rozdzielczości CIF 15Hz dla różnych wartości prędkości transmisji, k= 4									
		128 kb/s	192 kb/s	256 kb/s	320 kb/s	384 kb/s	448 kb/s	512 kb/s	576 kb/s	640 kb/s	704 kb/s
1	City	31,15	33,23	34,63	35,62	36,63	37,38	38,03	38,59	39,07	39,65
2	Crew	30,32	31,75	32,84	33,64	34,33	34,92	35,47	36,07	36,53	36,99
3	Harbour	25,79	27,41	28,40	29,05	29,86	30,46	31,01	31,45	31,89	32,29
4	Ice	32,25	34,41	35,96	37,21	38,50	39,44	40,34	41,13	42,12	42,75
5	Soccer	28,62	30,35	31,70	32,70	33,58	34,43	35,29	35,87	36,49	37,05
6	Football	26,95	28,79	29,96	30,89	31,78	32,48	33,16	33,78	34,35	34,94
7	Silent	33,14	35,17	36,60	37,78	38,87	39,83	40,41	41,34	41,96	42,59
8	Mobile	23,55	26,43	27,93	28,94	29,52	30,33	30,92	31,42	31,82	32,18
9	Foreman	31,76	33,67	34,87	35,73	36,66	37,33	37,88	38,36	38,79	39,14

Tabela D. 59. Wartości PSNR badania efektywności kompresji dla zredukowanych opóźnień kodowania, opóźnienie o 15 obrazów, schemat 3333, CIF 30Hz

Lp	Sekwencja	Wartości współczynnika PSNR[dB] dla rozdzielczości CIF 30Hz dla różnych wartości prędkości transmisji, k= 4									
		256 kb/s	384 kb/s	512 kb/s	640 kb/s	768 kb/s	896 kb/s	1024 kb/s	1152 kb/s	1280 kb/s	1408 kb/s
1	City	33,02	35,19	36,59	37,80	38,66	39,33	39,85	40,48	40,97	41,31
2	Crew	31,33	32,78	33,95	34,74	35,46	36,20	36,72	37,27	37,74	38,12
3	Harbour	27,34	29,10	30,04	31,01	31,75	32,36	32,94	33,41	34,04	34,45
4	Ice	34,67	36,93	38,44	39,96	41,02	41,99	43,05	43,86	44,53	45,16
5	Soccer	30,42	32,17	33,58	34,67	35,61	36,59	37,33	38,06	38,68	39,17
6	Football	27,20	29,36	30,60	31,55	32,47	33,21	33,86	34,47	35,17	35,69
7	Silent	34,41	36,62	38,13	39,41	40,64	41,32	42,31	43,16	43,84	44,32
8	Mobile	25,31	27,93	29,47	30,32	31,23	31,92	32,48	32,94	33,39	33,92
9	Foreman	33,55	35,46	36,54	37,62	38,34	38,94	39,44	39,84	40,52	40,93

**Tabela D. 60. Wartości PSNR badania efektywności kompresji dla zredukowanych opóźnień kodowania, opóźnienie o 15 obrazów, schemat 3333, 4CIF 30Hz**

Lp	Sekwencja	Wartości współczynnika PSNR[dB] dla rozdzielczości 4CIF 30Hz dla różnych wartości prędkości transmisji, k= 4									
		768 kb/s	1152 kb/s	1536 kb/s	1920 kb/s	2304 kb/s	2688 kb/s	3072 kb/s	3456 kb/s	3840 kb/s	4224 kb/s
1	City	33,23	34,72	35,48	35,99	36,54	36,87	37,18	37,42	37,59	37,81
2	Crew	33,09	34,54	35,47	36,17	36,73	37,29	37,75	38,08	38,41	38,68
3	Harbour	28,68	30,22	31,21	32,15	32,76	33,29	33,77	34,14	34,70	35,05
4	Ice	37,43	38,96	40,26	41,10	41,80	42,59	43,11	43,59	44,02	44,35
5	Soccer	31,99	33,68	34,80	35,66	36,35	37,02	37,54	38,02	38,34	38,65

**Tabela D. 61. Wartości PSNR badania efektywności kompresji dla zredukowanych opóźnień kodowania, opóźnienie o 15 obrazów, schemat 33HH, CIF 15Hz**

Lp	Sekwencja	Wartości współczynnika PSNR[dB] dla rozdzielczości CIF 15Hz dla różnych wartości prędkości transmisji, k= 4									
		128 kb/s	192 kb/s	256 kb/s	320 kb/s	384 kb/s	448 kb/s	512 kb/s	576 kb/s	640 kb/s	704 kb/s
1	City	30,04	32,12	33,52	34,63	35,65	36,44	37,11	37,69	38,23	38,66
2	Crew	30,21	31,66	32,81	33,64	34,34	34,97	35,53	36,14	36,63	37,08
3	Harbour	25,17	26,72	27,76	28,50	29,34	29,98	30,45	30,98	31,48	31,87
4	Ice	31,88	33,99	35,68	36,91	38,25	39,22	40,05	40,85	41,84	42,45
5	Soccer	28,41	30,17	31,40	32,46	33,31	34,10	34,88	35,59	36,22	36,70
6	Football	26,96	28,80	29,97	30,89	31,78	32,47	33,16	33,78	34,35	34,93
7	Silent	32,81	34,72	36,21	37,41	38,45	39,33	40,03	40,81	41,46	42,22
8	Mobile	22,02	24,61	26,27	27,44	28,32	28,88	29,72	30,36	30,79	31,26
9	Foreman	31,32	33,25	34,53	35,39	36,35	37,05	37,60	38,08	38,51	38,89

**Tabela D. 62. Wartości PSNR badania efektywności kompresji dla zredukowanych opóźnień kodowania, opóźnienie o 15 obrazów, schemat 33HH, CIF 30Hz**

Lp	Sekwencja	Wartości współczynnika PSNR[dB] dla rozdzielczości CIF 30Hz dla różnych wartości prędkości transmisji, k= 4									
		256 kb/s	384 kb/s	512 kb/s	640 kb/s	768 kb/s	896 kb/s	1024 kb/s	1152 kb/s	1280 kb/s	1408 kb/s
1	City	31,69	33,91	35,41	36,60	37,52	38,24	38,88	39,38	40,06	40,54
2	Crew	31,17	32,64	33,87	34,69	35,39	36,18	36,73	37,26	37,73	38,11
3	Harbour	26,59	28,34	29,29	30,30	31,08	31,73	32,31	32,79	33,47	33,93
4	Ice	34,17	36,48	38,03	39,57	40,66	41,61	42,69	43,46	44,12	44,74
5	Soccer	30,09	31,76	33,19	34,20	35,19	36,14	36,92	37,52	38,15	38,79
6	Football	27,26	29,35	30,57	31,53	32,44	33,18	33,84	34,45	35,15	35,68
7	Silent	34,03	36,05	37,71	38,99	40,08	40,85	41,87	42,65	43,30	43,88
8	Mobile	23,72	26,20	27,82	28,98	29,60	30,57	31,25	31,85	32,30	32,71
9	Foreman	32,94	34,93	36,05	37,14	37,91	38,52	39,04	39,46	40,14	40,56

**Tabela D. 63. Wartości PSNR badania efektywności kompresji dla zredukowanych opóźnień kodowania, opóźnienie o 15 obrazów, schemat 33HH, 4CIF 30Hz**

Lp	Sekwencja	Wartości współczynnika PSNR[dB] dla rozdzielczości 4CIF 30Hz dla różnych wartości prędkości transmisji, k= 4									
		768 kb/s	1152 kb/s	1536 kb/s	1920 kb/s	2304 kb/s	2688 kb/s	3072 kb/s	3456 kb/s	3840 kb/s	4224 kb/s
1	City	30,75	32,52	33,68	34,49	35,01	35,68	36,19	36,53	36,85	37,13
2	Crew	33,00	34,47	35,41	36,14	36,71	37,27	37,75	38,10	38,42	38,71
3	Harbour	27,80	29,44	30,46	31,39	32,08	32,62	33,11	33,55	34,12	34,50
4	Ice	36,93	38,54	39,85	40,74	41,39	42,01	42,71	43,19	43,57	43,95
5	Soccer	31,35	32,95	34,19	35,12	35,83	36,55	37,14	37,58	38,02	38,43

**Tabela D. 64. Wartości PSNR badania efektywności kompresji dla zredukowanych opóźnień kodowania, opóźnienie o 15 obrazów, schemat HHHH, CIF 15Hz**

Lp	Sekwencja	Wartości współczynnika PSNR[dB] dla rozdzielczości CIF 15Hz dla różnych wartości prędkości transmisji, k= 4									
		128 kb/s	192 kb/s	256 kb/s	320 kb/s	384 kb/s	448 kb/s	512 kb/s	576 kb/s	640 kb/s	704 kb/s
1	City	29,13	30,95	32,38	33,42	34,27	35,20	35,95	36,51	37,12	37,65
2	Crew	29,86	31,22	32,37	33,23	33,90	34,50	35,11	35,77	36,24	36,73
3	Harbour	25,35	26,87	27,94	28,62	29,44	30,07	30,63	31,05	31,56	31,97
4	Ice	31,18	33,16	34,89	36,16	37,28	38,43	39,30	40,14	40,87	41,84
5	Soccer	28,18	29,79	30,87	31,94	32,72	33,47	34,16	34,96	35,50	36,08
6	Football	27,12	28,89	29,97	30,87	31,75	32,44	33,12	33,74	34,32	34,91
7	Silent	32,53	34,46	35,91	37,13	38,19	39,15	39,87	40,40	41,32	41,99
8	Mobile	20,23	23,23	24,82	25,99	27,05	27,73	28,28	29,03	29,55	30,10
9	Foreman	30,84	32,57	34,03	34,97	35,66	36,62	37,24	37,81	38,27	38,69

**Tabela D. 65. Wartości PSNR badania efektywności kompresji dla zredukowanych opóźnień kodowania, opóźnienie o 15 obrazów, schemat HHHH, CIF 30Hz**

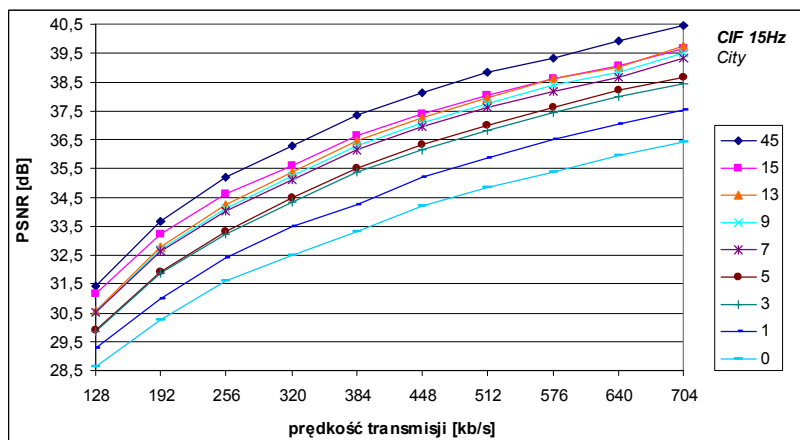
Lp	Sekwencja	Wartości współczynnika PSNR[dB] dla rozdzielczości CIF 30Hz dla różnych wartości prędkości transmisji, k= 4									
		256 kb/s	384 kb/s	512 kb/s	640 kb/s	768 kb/s	896 kb/s	1024 kb/s	1152 kb/s	1280 kb/s	1408 kb/s
1	City	31,00	32,98	34,47	35,39	36,52	37,30	37,97	38,54	38,95	39,73
2	Crew	30,63	32,03	33,19	34,10	34,80	35,46	36,19	36,71	37,22	37,72
3	Harbour	26,86	28,51	29,47	30,48	31,22	31,85	32,38	32,90	33,60	33,97
4	Ice	33,37	35,65	37,20	38,72	39,86	40,80	41,67	42,72	43,48	44,10
5	Soccer	29,29	30,92	32,28	33,32	34,19	34,98	35,87	36,57	37,15	37,73
6	Football	27,27	29,08	30,23	31,08	32,04	32,75	33,42	34,02	34,61	35,32
7	Silent	33,83	35,81	37,36	38,75	39,84	40,68	41,68	42,37	43,13	43,85
8	Mobile	22,68	25,43	26,98	28,19	28,96	29,78	30,49	30,98	31,53	31,98
9	Foreman	32,56	34,52	35,72	36,76	37,60	38,29	38,85	39,32	39,71	40,37



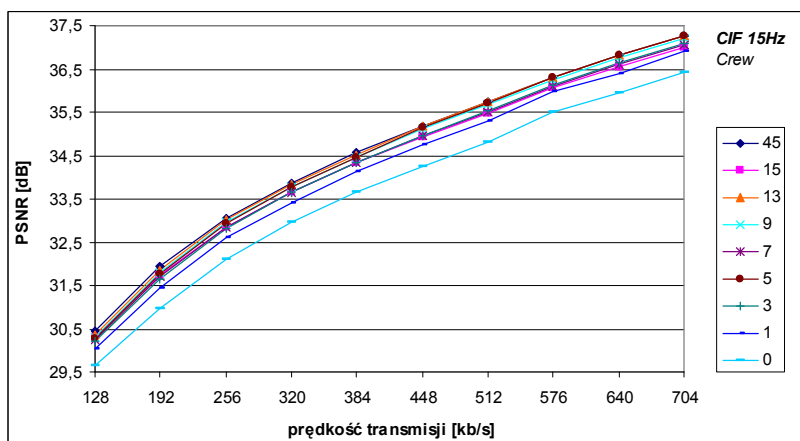
Tabela D. 66. Wartości PSNR badania efektywności kompresji dla zredukowanych opóźnień kodowania, opóźnienie o 15 obrazów, schemat HHHH, 4CIF 30Hz

Lp	Sekwencja	Wartości współczynnika PSNR[dB] dla rozdzielczości 4CIF 30Hz dla różnych wartości prędkości transmisji, k= 4									
		768 kb/s	1152 kb/s	1536 kb/s	1920 kb/s	2304 kb/s	2688 kb/s	3072 kb/s	3456 kb/s	3840 kb/s	4224 kb/s
1	City	29,60	31,36	32,65	33,58	34,35	34,91	35,54	36,10	36,49	36,86
2	Crew	32,30	33,71	34,79	35,56	36,19	36,85	37,30	37,72	38,13	38,44
3	Harbour	28,09	29,58	30,56	31,49	32,17	32,75	33,31	33,82	34,43	34,77
4	Ice	36,22	38,00	39,35	40,32	41,09	41,69	42,47	43,00	43,45	43,90
5	Soccer	30,56	32,07	33,29	34,23	35,03	35,69	36,36	36,95	37,39	37,85

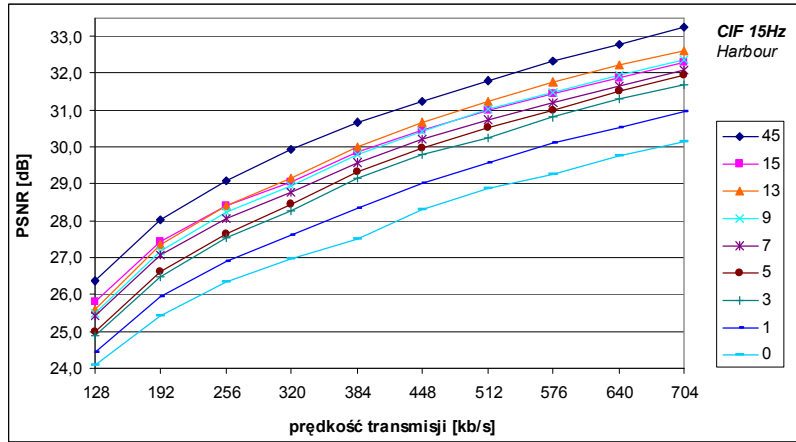
### Porównanie efektywności kompresji dla różnych opóźnień kodowania



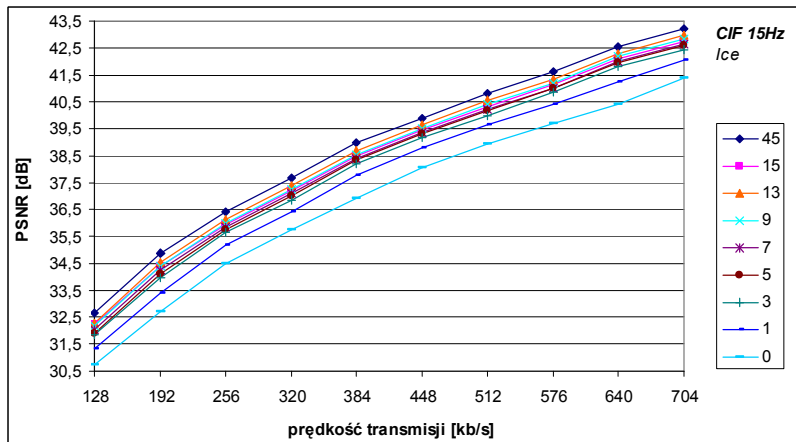
Rys. D. 43. Porównanie efektywności kompresji dla różnych opóźnień kodowania, sekwencja City, CIF 15Hz



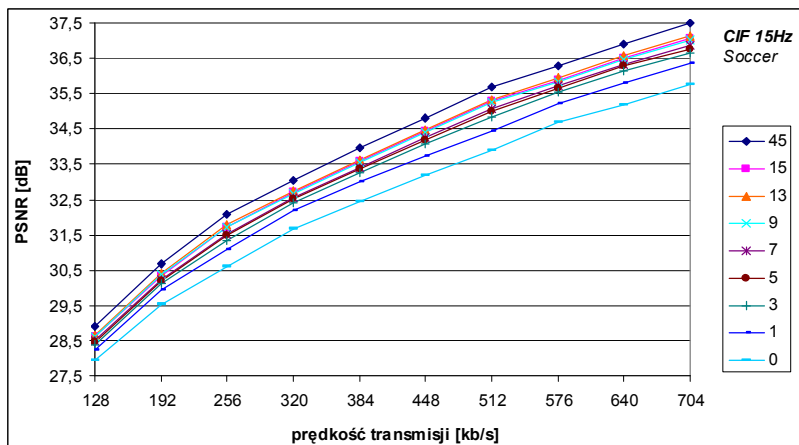
Rys. D. 44. Porównanie efektywności kompresji dla różnych opóźnień kodowania, sekwencja Crew, CIF 15Hz



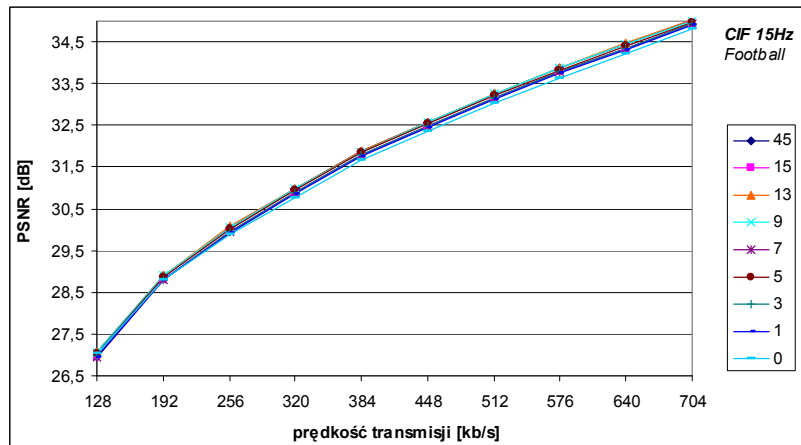
Rys. D. 45. Porównanie efektywności kompresji dla różnych opóźnień kodowania, sekwencja *Harbour*, CIF 15Hz



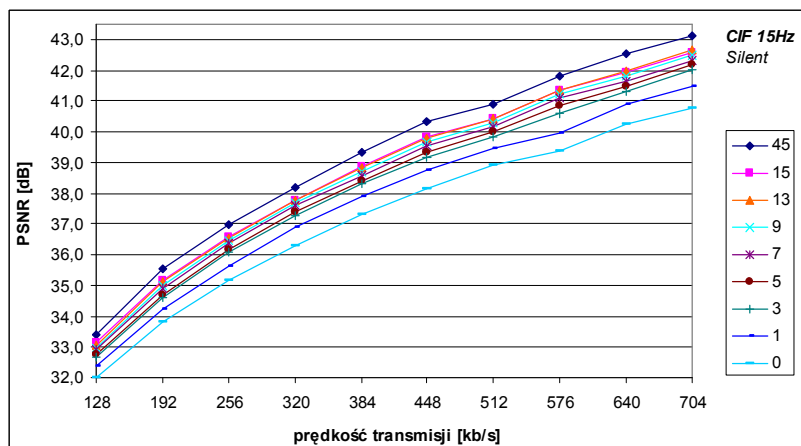
Rys. D. 46. Porównanie efektywności kompresji dla różnych opóźnień kodowania, sekwencja *Ice*, CIF 15Hz



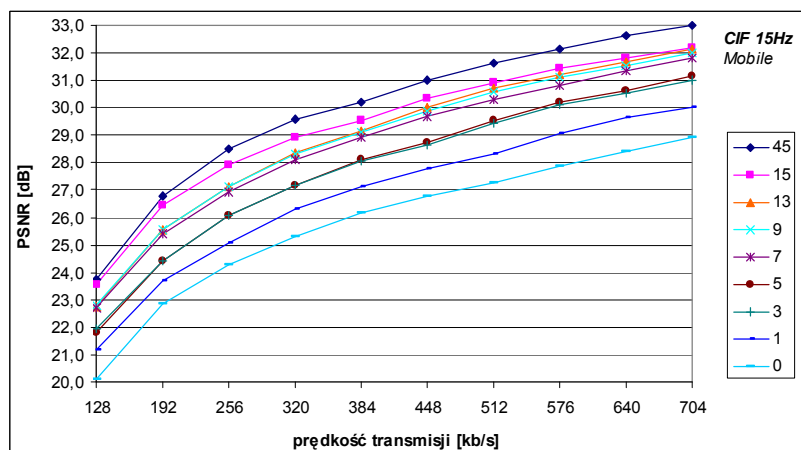
Rys. D. 47. Porównanie efektywności kompresji dla różnych opóźnień kodowania, sekwencja *Soccer*, CIF 15Hz



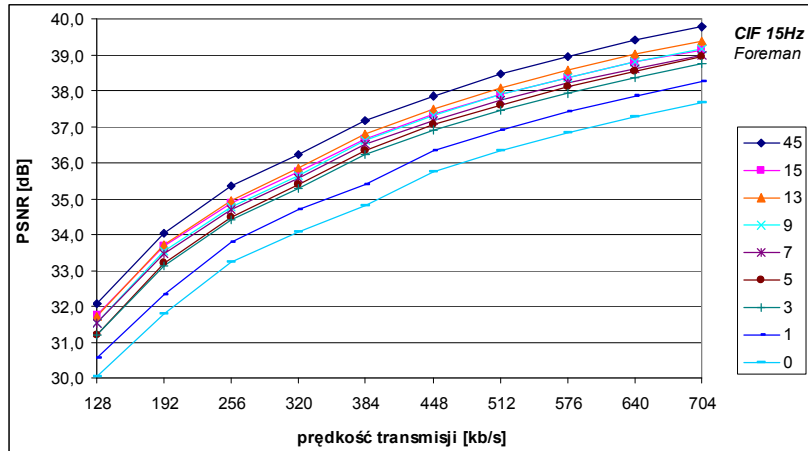
Rys. D. 48. Porównanie efektywności kompresji dla różnych opóźnień kodowania, sekwencja *Football*, CIF 15Hz



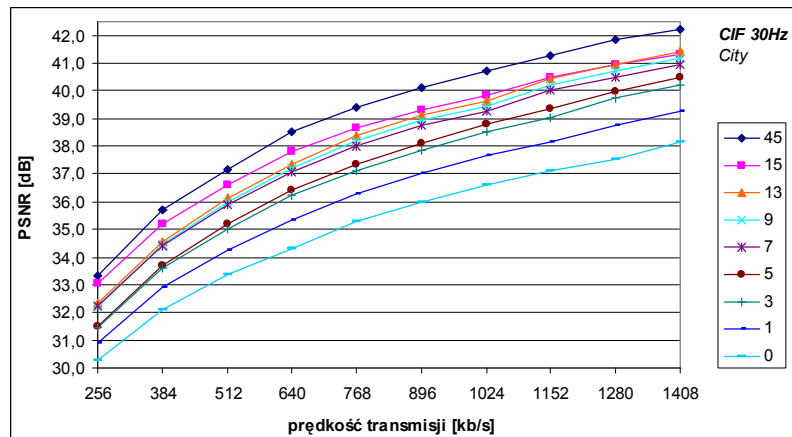
Rys. D. 49. Porównanie efektywności kompresji dla różnych opóźnień kodowania, sekwencja *Silent*, CIF 15Hz



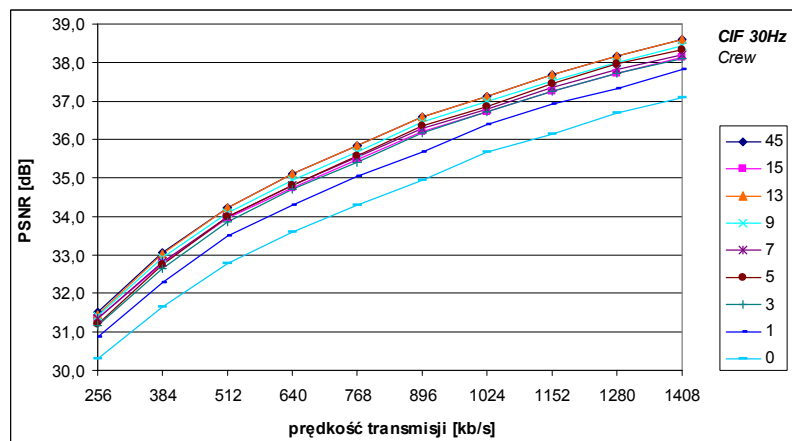
Rys. D. 50. Porównanie efektywności kompresji dla różnych opóźnień kodowania, sekwencja *Mobile*, CIF 15Hz



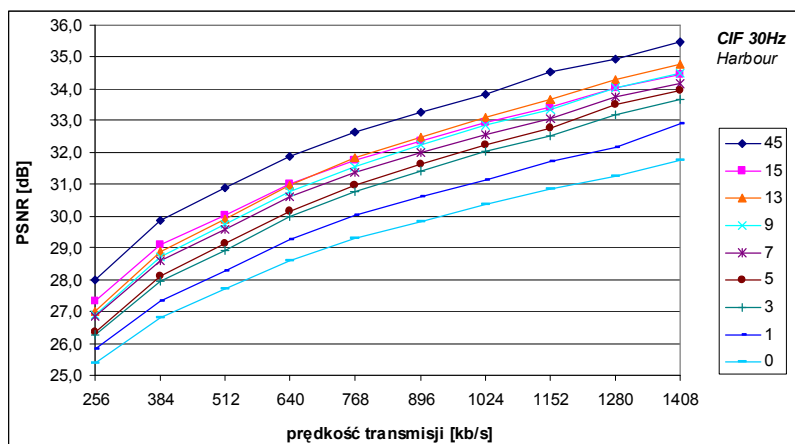
Rys. D. 51. Porównanie efektywności kompresji dla różnych opóźnień kodowania, sekwencja *Foreman*, CIF 15Hz



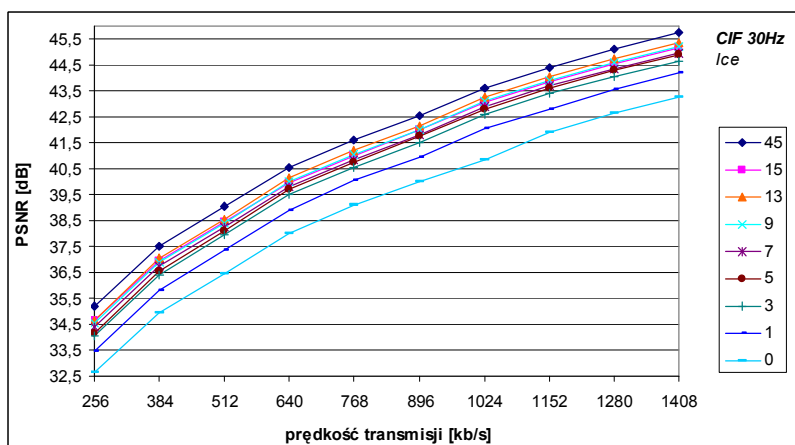
Rys. D. 52. Porównanie efektywności kompresji dla różnych opóźnień kodowania, sekwencja *City*, CIF 30Hz



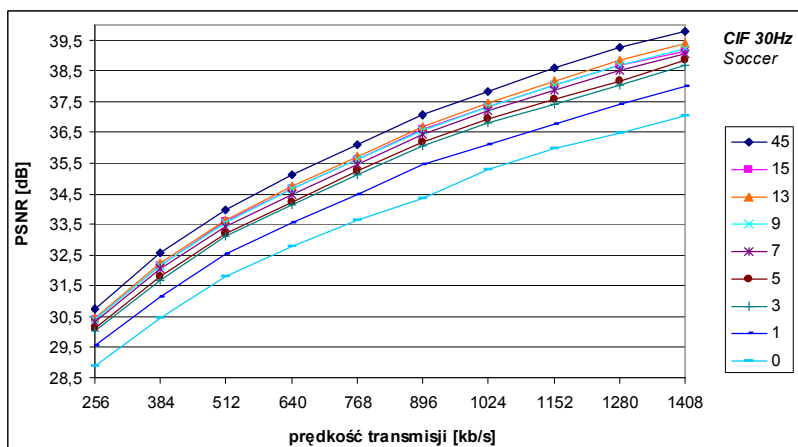
Rys. D. 53. Porównanie efektywności kompresji dla różnych opóźnień kodowania, sekwencja *Crew*, CIF 30Hz



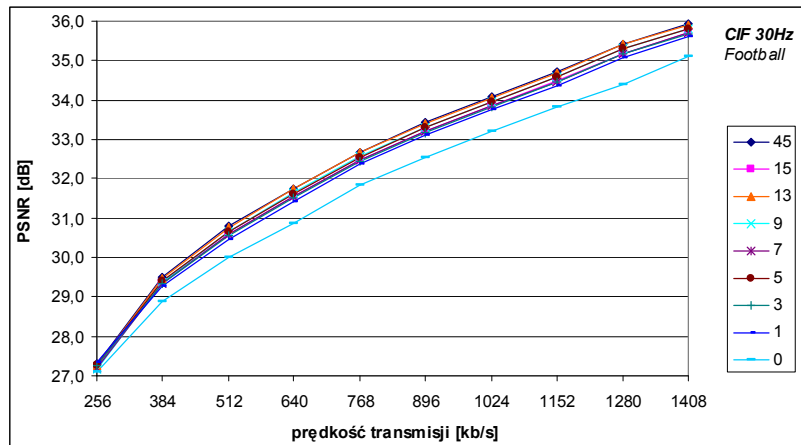
Rys. D. 54. Porównanie efektywności kompresji dla różnych opóźnień kodowania, sekwencja *Harbour*, CIF 30Hz



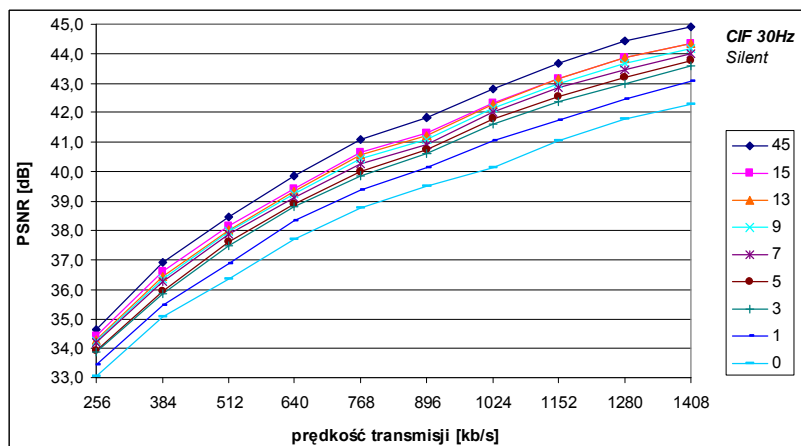
Rys. D. 55. Porównanie efektywności kompresji dla różnych opóźnień kodowania, sekwencja *Ice*, CIF 30Hz



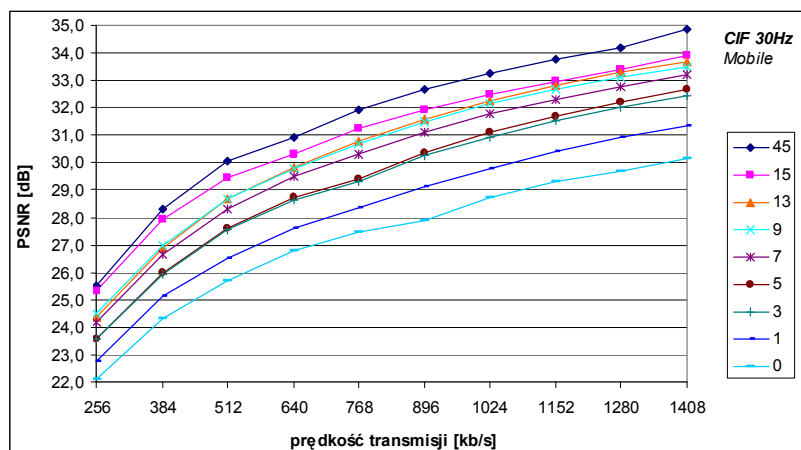
Rys. D. 56. Porównanie efektywności kompresji dla różnych opóźnień kodowania, sekwencja *Soccer*, CIF 30Hz



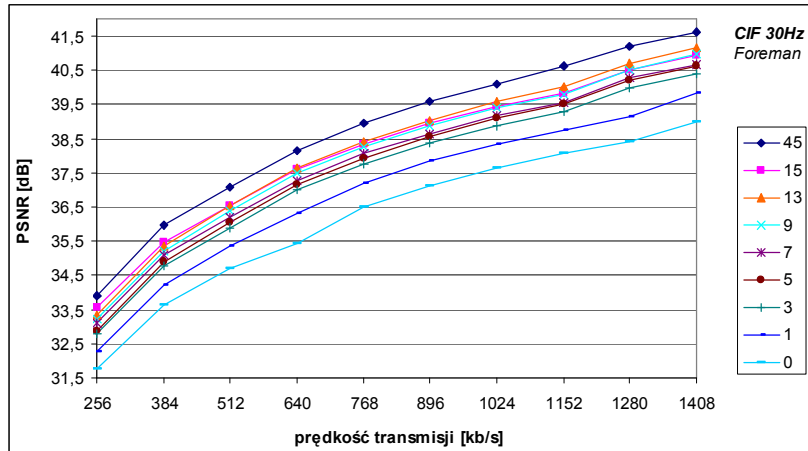
Rys. D. 57. Porównanie efektywności kompresji dla różnych opóźnień kodowania, sekwencja *Football*, CIF 30Hz



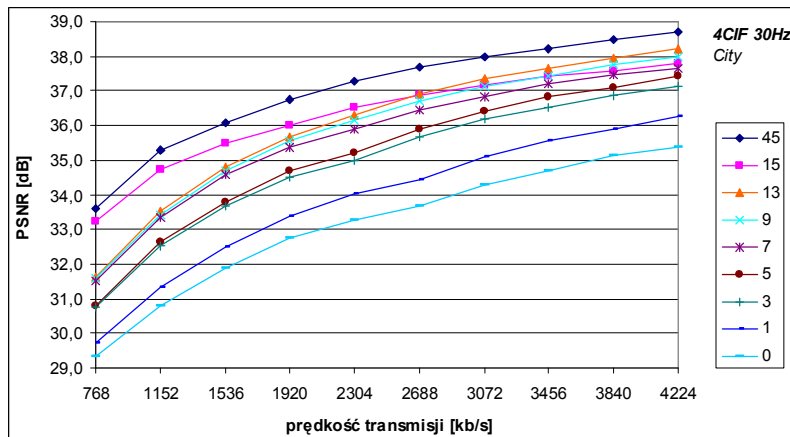
Rys. D. 58. Porównanie efektywności kompresji dla różnych opóźnień kodowania, sekwencja *Silent*, CIF 30Hz



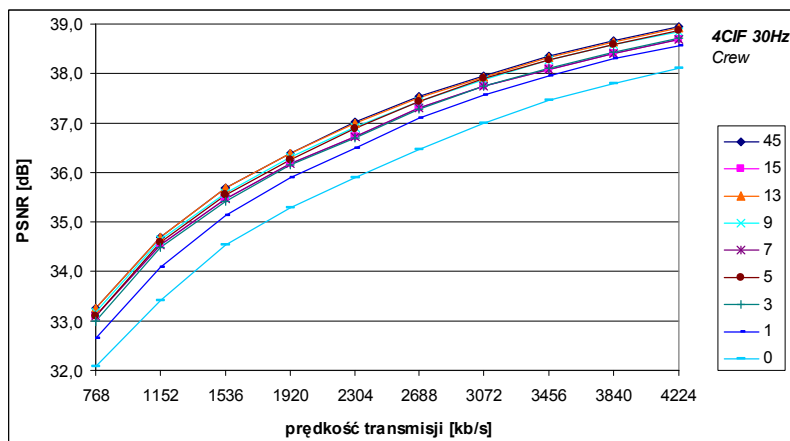
Rys. D. 59. Porównanie efektywności kompresji dla różnych opóźnień kodowania, sekwencja *Mobile*, CIF 30Hz



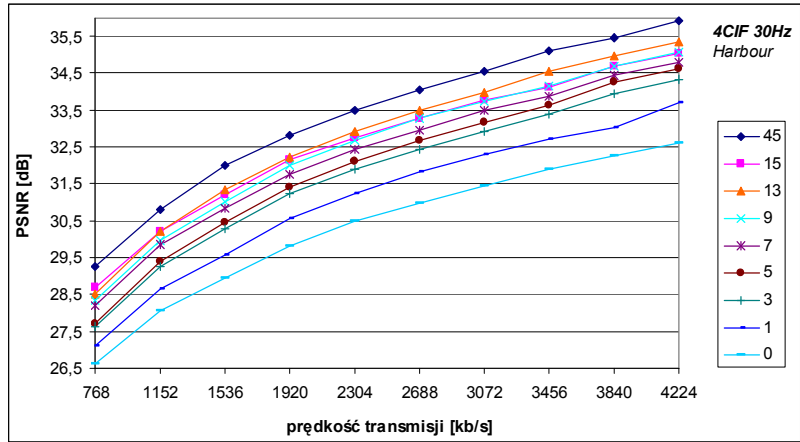
Rys. D. 60. Porównanie efektywności kompresji dla różnych opóźnień kodowania, sekwencja *Foreman*, CIF 30Hz



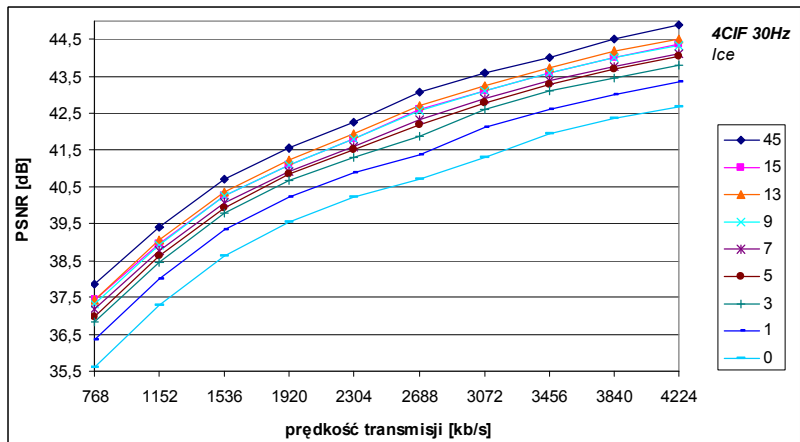
Rys. D. 61. Porównanie efektywności kompresji dla różnych opóźnień kodowania, sekwencja *City*, 4CIF 30Hz



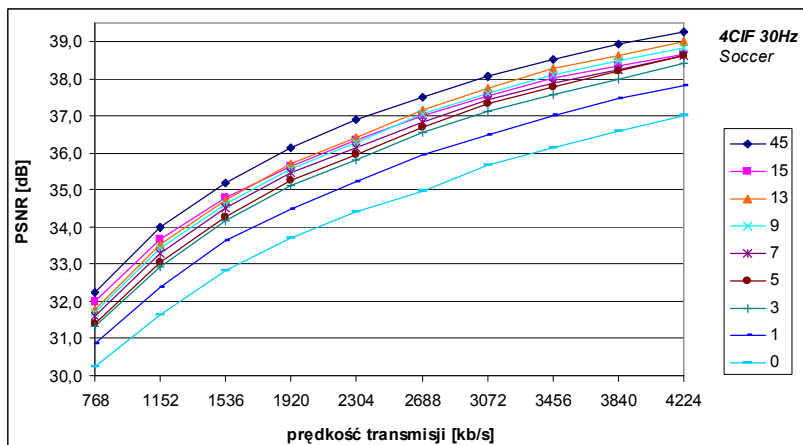
Rys. D. 62. Porównanie efektywności kompresji dla różnych opóźnień kodowania, sekwencja *Crew*, 4CIF 30Hz



Rys. D. 63. Porównanie efektywności kompresji dla różnych opóźnień kodowania, sekwencja *Harbour*, 4CIF 30Hz



Rys. D. 64. Porównanie efektywności kompresji dla różnych opóźnień kodowania, sekwencja *Ice*, 4CIF 30Hz



Rys. D. 65. Porównanie efektywności kompresji dla różnych opóźnień kodowania, sekwencja *Soccer*, 4CIF 30Hz



## Załącznik E.

### Wyniki badań eksperymentalnych dla zmodyfikowanych wartości współczynników filtrów 5/3 pozbawionych kroku uaktualnienia

Tabela E. 1. Wartości współczynnika PSNR dla zmodyfikowanych współczynników filtrów 5/3 bez kroku uaktualnienia, opóźnienie o 3 obrazy, schemat 33UU, CIF 15Hz

Lp	Sekwencja	Wartości współczynnika PSNR[dB] dla rozdzielczości CIF 15Hz dla różnych wartości prędkości transmisji, k= 4									
		128 kb/s	192 kb/s	256 kb/s	320 kb/s	384 kb/s	448 kb/s	512 kb/s	576 kb/s	640 kb/s	704 kb/s
1	City	29,98	31,94	33,40	34,50	35,37	36,28	36,97	37,60	38,17	38,64
2	Crew	30,24	31,71	32,84	33,70	34,37	34,97	35,56	36,21	36,59	37,09
3	Harbour	24,94	26,57	27,61	28,38	29,08	29,82	30,38	30,91	31,35	31,81
4	Ice	31,93	34,03	35,70	36,99	38,28	39,23	40,09	40,92	41,79	42,50
5	Soccer	28,44	30,20	31,42	32,49	33,36	34,14	34,87	35,64	36,22	36,79
6	Football	26,89	28,70	29,93	30,86	31,74	32,47	33,13	33,74	34,32	34,89
7	Silent	32,85	34,76	36,18	37,33	38,42	39,29	40,05	40,57	41,46	42,04
8	Mobile	21,85	24,57	26,13	27,32	28,17	28,87	29,51	30,13	30,67	31,16
9	Foreman	31,25	33,09	34,49	35,35	36,09	36,94	37,54	38,00	38,45	38,84

Tabela E. 2. Wartości współczynnika PSNR dla zmodyfikowanych współczynników filtrów 5/3 bez kroku uaktualnienia, opóźnienie o 3 obrazy, schemat 33UU, CIF 30Hz

Lp	Sekwencja	Wartości współczynnika PSNR[dB] dla rozdzielczości CIF 30Hz dla różnych wartości prędkości transmisji, k= 4									
		256 kb/s	384 kb/s	512 kb/s	640 kb/s	768 kb/s	896 kb/s	1024 kb/s	1152 kb/s	1280 kb/s	1408 kb/s
1	City	31,54	33,75	35,14	36,27	37,26	38,03	38,70	39,23	39,84	40,28
2	Crew	31,21	32,74	33,86	34,74	35,45	36,09	36,77	37,29	37,70	38,18
3	Harbour	26,39	28,04	29,08	29,98	30,82	31,48	32,06	32,66	33,11	33,79
4	Ice	34,16	36,49	38,06	39,54	40,65	41,61	42,67	43,40	44,12	44,76
5	Soccer	30,07	31,77	33,16	34,22	35,14	36,13	36,80	37,49	38,14	38,73
6	Football	27,23	29,36	30,60	31,55	32,50	33,24	33,90	34,51	35,12	35,71
7	Silent	33,95	36,00	37,54	38,85	39,97	40,85	41,57	42,42	43,12	43,70
8	Mobile	23,55	25,96	27,56	28,70	29,51	30,25	30,94	31,51	32,05	32,55
9	Foreman	32,89	34,85	35,98	36,86	37,80	38,41	38,93	39,39	39,81	40,43

Tabela E. 3. Wartości współczynnika PSNR dla zmodyfikowanych współczynników filtrów 5/3 bez kroku uaktualnienia, opóźnienie o 3 obrazy, schemat 33UU, 4CIF 30Hz

Lp	Sekwencja	Wartości współczynnika PSNR[dB] dla rozdzielczości 4CIF 30Hz dla różnych wartości prędkości transmisji, k= 4									
		768 kb/s	1152 kb/s	1536 kb/s	1920 kb/s	2304 kb/s	2688 kb/s	3072 kb/s	3456 kb/s	3840 kb/s	4224 kb/s
1	City	30,72	32,54	33,73	34,56	35,20	35,70	36,18	36,61	36,94	37,19
2	Crew	33,03	34,46	35,46	36,16	36,73	37,32	37,74	38,10	38,42	38,68
3	Harbour	27,72	29,37	30,44	31,32	32,00	32,57	33,05	33,48	33,83	34,41
4	Ice	36,89	38,50	39,81	40,68	41,35	41,90	42,62	43,08	43,48	43,84
5	Soccer	31,40	33,03	34,25	35,15	35,90	36,63	37,14	37,65	38,10	38,44

**Tabela E. 4. Wartości współczynnika PSNR dla zmodyfikowanych współczynników filtrów 5/3 bez kroku uaktualnienia, opóźnienie o 15 obrazów, schemat 3333, CIF 15Hz**

Lp	Sekwencja	Wartości współczynnika PSNR[dB] dla rozdzielczości CIF 15Hz dla różnych wartości prędkości transmisji, k= 4									
		128 kb/s	192 kb/s	256 kb/s	320 kb/s	384 kb/s	448 kb/s	512 kb/s	576 kb/s	640 kb/s	704 kb/s
1	City	31,26	33,34	34,76	35,82	36,79	37,50	38,15	38,71	39,20	39,77
2	Crew	30,31	31,80	32,85	33,70	34,35	34,92	35,49	36,12	36,52	36,97
3	Harbour	25,76	27,46	28,46	29,17	29,94	30,52	31,01	31,49	31,97	32,38
4	Ice	32,38	34,42	36,05	37,31	38,59	39,53	40,39	41,22	42,17	42,78
5	Soccer	28,65	30,42	31,70	32,78	33,66	34,45	35,19	35,96	36,56	37,07
6	Football	26,92	28,73	29,96	30,89	31,77	32,50	33,16	33,78	34,36	34,93
7	Silent	33,32	35,31	36,77	38,03	39,06	39,94	40,67	41,31	42,08	42,72
8	Mobile	23,48	26,46	28,05	29,08	29,75	30,45	31,01	31,47	31,89	32,31
9	Foreman	31,82	33,63	34,95	35,81	36,67	37,37	37,91	38,41	38,84	39,24

**Tabela E. 5. Wartości współczynnika PSNR dla zmodyfikowanych współczynników filtrów 5/3 bez kroku uaktualnienia, opóźnienie o 15 obrazów, schemat 3333, CIF 30Hz**

Lp	Sekwencja	Wartości współczynnika PSNR[dB] dla rozdzielczości CIF 30Hz dla różnych wartości prędkości transmisji, k= 4									
		256 kb/s	384 kb/s	512 kb/s	640 kb/s	768 kb/s	896 kb/s	1024 kb/s	1152 kb/s	1280 kb/s	1408 kb/s
1	City	33,01	35,33	36,82	37,93	38,73	39,46	39,99	40,59	41,01	41,43
2	Crew	31,41	32,87	33,99	34,80	35,50	36,15	36,79	37,29	37,70	38,16
3	Harbour	27,61	29,16	30,19	31,12	31,82	32,44	32,99	33,51	34,11	34,51
4	Ice	34,81	37,02	38,58	40,04	41,11	42,09	43,14	43,90	44,55	45,18
5	Soccer	30,54	32,34	33,73	34,81	35,78	36,74	37,48	38,11	38,74	39,35
6	Football	27,01	29,34	30,59	31,55	32,49	33,21	33,88	34,48	35,07	35,70
7	Silent	34,53	36,71	38,16	39,61	40,75	41,57	42,51	43,21	43,82	44,40
8	Mobile	25,41	28,08	29,59	30,56	31,34	32,04	32,60	33,05	33,51	33,95
9	Foreman	33,65	35,57	36,64	37,67	38,40	38,98	39,50	39,95	40,55	40,96

**Tabela E. 6. Wartości współczynnika PSNR dla zmodyfikowanych współczynników filtrów 5/3 bez kroku uaktualnienia, opóźnienie o 15 obrazów, schemat 3333, 4CIF 30Hz**

Lp	Sekwencja	Wartości współczynnika PSNR[dB] dla rozdzielczości 4CIF 30Hz dla różnych wartości prędkości transmisji, k= 4									
		768 kb/s	1152 kb/s	1536 kb/s	1920 kb/s	2304 kb/s	2688 kb/s	3072 kb/s	3456 kb/s	3840 kb/s	4224 kb/s
1	City	33,30	34,82	35,64	36,05	36,60	36,98	37,28	37,48	37,74	37,91
2	Crew	33,12	34,54	35,48	36,19	36,73	37,32	37,72	38,08	38,40	38,65
3	Harbour	28,74	30,31	31,31	32,13	32,77	33,30	33,75	34,17	34,69	35,04
4	Ice	37,48	39,02	40,31	41,16	41,85	42,47	43,17	43,64	44,02	44,42
5	Soccer	32,03	33,69	34,86	35,74	36,39	37,06	37,60	38,01	38,40	38,76