

Politechnika Poznańska
Wydział Elektroniki i Telekomunikacji
Katedra Telekomunikacji Multimedialnej i Mikroelektroniki

Rozprawa doktorska

**Transkodowanie strumieni wizyjnych
wykorzystujące zaawansowane
techniki kompresji**

Jarosław Marek



Promotor: prof. dr hab. inż. Marek Domański

Poznań, 2009

Spis treści

Spis treści	i
1 Wprowadzenie	1
1.1. Transkodowanie	1
1.2. Cele i teza pracy	5
1.3. Przegląd pracy	6
2 Kodowanie i transkodowanie sekwencji wizyjnych	7
2.1. Hybrydowe kodowanie sekwencji wizyjnych	7
2.1.1. Wprowadzenie	7
2.1.2. Klasyczne techniki kompresji sekwencji wizyjnych	7
2.1.3. Zaawansowane techniki kodowania sekwencji wizyjnych	11
2.1.4. Standard MPEG-4 AVC/H.264	12
2.1.4.1. Wprowadzenie	12
2.1.4.2. Plastry	13
2.1.4.3. Makrobloki kodowane wewnątrzobrazowo	14
2.1.4.4. Makrobloki kodowane międzyobrazowo	17
2.1.4.5. Transformacja	19
2.1.4.6. Kwantyzacja	21
2.1.4.7. Szeregowanie próbek transformaty	23
2.1.4.8. Filtr deblokujący	23
2.1.4.9. Kodowanie entropijne	24
2.2. Transkodowanie sekwencji wizyjnych	24
2.2.1. Wprowadzenie	24
2.2.2. Transkodowanie pomiędzy strumieniami wizyjnymi zakodowanymi z użyciem klasycznych technik oraz zaawansowanych technik kompresji	29
2.2.3. Transkodowanie pomiędzy strumieniami wizyjnymi zakodowanymi z wykorzystaniem zaawansowanych technik kompresji	31
2.3. Pomiar jakości sekwencji wizyjnych	35
2.3.1. Wprowadzenie	35
2.3.2. Obiektywna miara jakości	36
2.3.3. Subiektywna ocena jakości	36
2.4. Podsumowanie	39
3 Analiza transkodera kaskadowego	41
3.1. Wprowadzenie	41
3.2. Metodologia badań	41

3.3.	Transkodowanie strumieni wizyjnych z kodowaniem wewnątrz- i międzyobrazowym	44
3.3.1.	Wprowadzenie	44
3.3.2.	Zależność strat jakości sekwencji transkodowanej kaskadowo od zmiany wartości parametru kwantyzacji	45
3.3.2.1.	Wpływ filtru deblokującego na jakość transkodowanej sekwencji	49
3.3.2.2.	Zależność jakości transkodowanych sekwencji wizyjnych od relacji pomiędzy wartościami indeksów QP dla obrazów typu I, P oraz B	51
3.3.2.3.	Wpływ struktury grupy obrazów na jakość transkodowanej sekwencji	52
3.3.3.	Zależność strat jakości transkodowanej sekwencji od wartości redukcji strumienia bitowego	52
3.4.	Transkodowanie strumieni wizyjnych kodowanych wewnątrzobrazowo	58
3.4.1.	Wprowadzenie	58
3.4.2.	Zależność strat jakości transkodowanej sekwencji od zmiany wartości parametru kwantyzacji	58
3.4.2.1.	Transkodowanie strumieni wizyjnych uzyskanych bez wykorzystania filtru deblokującego	58
3.4.2.2.	Transkodowanie strumieni wizyjnych uzyskanych z wykorzystaniem filtru deblokującego	59
3.4.3.	Zależność strat jakości transkodowanej sekwencji od wartości redukcji strumienia bitowego	62
3.4.3.1.	Transkodowanie strumieni wizyjnych uzyskanych bez wykorzystania filtru deblokującego	62
3.4.3.2.	Transkodowanie strumieni wizyjnych uzyskanych z wykorzystaniem filtru deblokującego	62
3.5.	Podsumowanie	66
4	Analiza redukcji prędkości transmisji	67
4.1.	Wprowadzenie	67
4.2.	Podstawowe założenia	68
4.2.1.	Typ obrazu	68
4.2.2.	Tryb kodowania makrobloku, submakrobloku i bloku	68
4.2.3.	Wektory ruchu i indeks obrazu odniesienia	69
4.2.4.	Otwarta pętla sprzężenia zwrotnego	70
4.2.5.	Parametr kwantyzacji	77
4.2.6.	Spiralne uporządkowanie makrobloków	79
4.3.	Zakres redukcji strumienia bitowego	80
4.4.	Transkodowanie makrobloków wykorzystywanych do przewidywania wartości próbek sąsiednich bloków	85
4.4.1.	Warunki modyfikacji próbek transformaty niezmienniejącej przewidywanych wartości próbek sąsiednich bloków	85
4.4.1.1.	Wprowadzenie	85
4.4.1.2.	Warunki niezmienności ostatniej kolumny w bloku o rozmiarze 4x4	88
4.4.1.3.	Warunki niezmienności ostatniego wiersza w bloku o rozmiarze 4x4	91
4.4.1.4.	Warunki niezmienności punktu w ostatniej kolumnie ostatniego wiersza bloku 4x4	92

4.4.2.	Modyfikacja próbek transformaty w makroblokach typu Intra kodowanych w trybie Intra_4x4	95
4.4.3.	Modyfikacja próbek transformaty w makroblokach typu Intra kodowanych w trybie Intra_16x16	95
4.4.4.	Modyfikacja próbek transformaty w makroblokach typu Intra kodowanych w trybie Intra_Chroma	97
4.4.5.	Modyfikacja próbek transformaty w makroblokach typu Inter	99
4.4.6.	Podsumowanie	99
4.5.	Analiza strat jakości sekwencji na skutek modyfikacji próbek transformaty .	99
4.5.1.	Sposoby modyfikacji próbek transformaty	99
4.5.2.	Metodologia badań	102
4.5.3.	Eliminacja próbek transformaty w makroblokach typu Inter	106
4.5.4.	Modyfikacja próbek transformaty w makroblokach typu Inter	109
4.5.5.	Modyfikacja próbek transformaty w makroblokach typu Intra i typu Inter	113
4.6.	Podsumowanie	118
5	Algorytmy transkodowania homogenicznego z ograniczonymi stratami jakości	121
5.1.	Wprowadzenie	121
5.2.	Algorytmy transkodowania	122
5.2.1.	Elementy wspólne proponowanych algorytmów transkodowania . . .	122
5.2.2.	Algorytm redukcji strumieni bitowych uzyskanych bez wykorzystania makrobloków Intra w obrazach P i B	122
5.2.3.	Algorytm redukcji strumieni bitowych uzyskanych z wykorzystaniem makrobloków Intra w obrazach P i B	123
5.3.	Transkodowanie strumieni z obrazami typu P i B bez kodowania wewnątrz-obrazowego	125
5.3.1.	Badanie właściwości zaproponowanej metody redukcji strumienia bitowego	125
5.3.2.	Efektywność zaproponowanego rozwiązania	128
5.3.3.	Zakres redukcji prędkości transmisji	131
5.4.	Transkodowanie strumieni z makroblokami typu Intra w obrazach typu P i B	137
5.4.1.	Badanie właściwości zaproponowanej metody redukcji strumienia bitowego	137
5.4.2.	Efektywność zaproponowanego rozwiązania	140
5.4.3.	Zakres redukcji prędkości transmisji	144
5.5.	Badania zaproponowanych technik transkodowania z wykorzystaniem subiektywnej metody oceny jakości	150
5.5.1.	Przygotowanie eksperymentu	150
5.5.2.	Wyniki testów	151
5.6.	Złożoność zaproponowanych rozwiązań	155
5.7.	Podsumowanie	159
6	Podsumowanie	161
6.1.	Wnioski	161
6.2.	Oryginalne osiągnięcia	163
6.3.	Dalsze badania	166
	Spis literatury	169
	Dodatki	D-1

A	Sekwencje testowe	D-3
B	Uzupełnienia do rozdziału: Analiza transkodera kaskadowego	D-7
B.1.	Uzupełnienia do punktu 3.3.2	D-7
B.2.	Uzupełnienia do punktu 3.3.2.1	D-26
B.3.	Uzupełnienia do punktu 3.3.2.2	D-30
B.4.	Uzupełnienia do punktu 3.3.2.3	D-34
B.5.	Uzupełnienia do punktu 3.3.3	D-39
B.6.	Uzupełnienia do punktu 3.4.2	D-54
B.7.	Uzupełnienia do punktu 3.3.2	D-56
C	Uzupełnienia do rozdziału: Analiza redukcji prędkości transmisji	D-57
D	Uzupełnienia do rozdziału: Algorytmy transkodowania homogenicznego z ograniczonymi stratami jakości	D-95
D.1.	Uzupełnienia do punktu 5.3.1	D-95
D.2.	Uzupełnienia do punktu 5.3.2	D-172
D.3.	Uzupełnienia do punktu 5.3.3	D-192
D.4.	Uzupełnienia do punktu 5.4.1	D-197
D.5.	Uzupełnienia do punktu 5.4.2	D-248

Podziękowania

Na wstępie chciałbym gorąco podziękować prof. dr. hab. inż. Markowi Domańskiemu, mojemu promotorowi, za nieograniczone pokłady optymizmu, który dodawał mi sił w trudnym okresie powstawania tej pracy. Dziękuję również za olbrzymie ilości czasu i wysiłku włożonego w to, by ta praca mogła powstać i osiągnąć aktualny kształt.

Dziękuję wszystkim Koleżankom i Kolegom z Katedry Telekomunikacji Multimedialnej i Mikroelektroniki Politechniki Poznańskiej za wsparcie i pomocne uwagi. Szczególnie chciałbym podziękować Maciejowi Bartkowiakowi, Tomaszowi Grajkowi, Damianowi Karwowskiemu, Krzysztofowi Klimaszewskiemu, Adamowi Łuczakowi, Krzysztofowi Wegnerowi i Tomaszowi Żernickiemu za niezliczone godziny merytorycznych dyskusji oraz za wszelkie wskazówki.

Chciałbym wyrazić ogromną wdzięczność moim rodzicom Krystynie i Kazimierzowi, za ich bezwarunkową miłość i wsparcie we wszystkich momentach życia.

Na koniec, w sposób szczególny, chcę podziękować Magdalenie. Za wszystko. Bez Ciebie życie nie smakowałoby tak dobrze.

Pracę poświęcam moim Rodzicom.

Jarosław Marek

Streszczenie

Praca dotyczy homogenicznego transkodowania strumieni binarnych reprezentujących obraz ruchomy zakodowany zgodnie ze standardem MPEG-4 AVC/H.264. W szczególności rozprawa koncentruje się na transkodowaniu mającym na celu redukcję prędkości transmisji.

W rozdziale 2 omówiono zagadnienie hybrydowego kodowania sekwencji wizyjnych oraz dokonano przeglądu literatury dotyczącej transkodowania strumieni wizyjnych. Ponadto przedstawiono problem oceny jakości sekwencji wizyjnych.

Rozdział 3 zawiera wyniki autorskich badań strat jakości sekwencji wizyjnych na skutek transkodowania kaskadowego. Z przeprowadzonych eksperymentów wynika konkluzja, że największe wartości strat transkodowania występują przy około 20–30 % zmniejszeniu prędkości bitowej. Zwiększanie redukcji prędkości bitowej ponad tę wartość powoduje zmniejszanie strat transkodowania.

Rozdział 4 poświęcono prezentacji narzędzi transkodowania, zarówno znanych z literatury, jak i zaproponowanych przez doktoranta. Znajdują one zastosowanie w przedstawionych w rozdziale 5, dwóch autorskich algorytmach redukcji prędkości transmisji.

Bazując na wynikach eksperymentalnych, otrzymanych dzięki wykorzystaniu stworzonych przez autora tej pracy programowych modeli, stwierdzić należy, że wykorzystanie proponowanych algorytmów pozwala uzyskać mniejsze straty transkodowania niż transkodowanie kaskadowe. Ponadto wykorzystanie zaproponowanych algorytmów pozwala wielokrotnie zmniejszyć liczbę obliczeń w stosunku do transkodera kaskadowego. Wadą proponowanych rozwiązań jest stosunkowo niewielki zakres redukcji prędkości transmisji, przypadający jednakże na obszar redukcji, w którym transkodowanie kaskadowe powoduje największe straty jakości.

Praca oparta jest na bardzo obszernym materiale eksperymentalnym, na który składało się łącznie około 263 godzin materiałów wizyjnych o rozdzielczości przestrzennej 704×576 punktów i rozdzielczości czasowej 30 Hz.

Abstract

The dissertation deals with transcoding of video bitstreams encoded according to MPEG-4 AVC/H.264 standard. In particular, the work concentrates on transcoding targeted on bitstream reduction.

Chapter 2 covers hybrid video coding and reviews video transcoding state of the art. Moreover, a problem of video quality assessment is presented.

Chapter 3 includes author's research results of quality loss due to cascaded video transcoding. The results lead to the conclusion that the highest losses are observed at around 20–30 % bitstream reduction. Bitstream reduction increase leads to drop of quality loss.

Chapter 4 is devoted to video transcoding tools known from literature as well as proposed by the author. The tools are being applied to two video bitstreams reduction algorithms proposed by the author in chapter 5. The algorithms base on experimental results achieved with software models prepared by the author of this dissertation.

It can be concluded that lower quality losses can be achieved with the proposed video transcoding algorithms compared to cascaded transcoder. Moreover, the latter is much more computationally demanding. The proposed transcoding techniques have a limited bitrate reduction range. However, this range covers the range of highest quality losses caused by cascaded transcoding.

The dissertation is based on a wide range of experimental data. During experiments video sequences of total length 263 hours were processed. Format of each sequence was 704×576 pixels at 30 Hz.

Spis symboli i skrótów

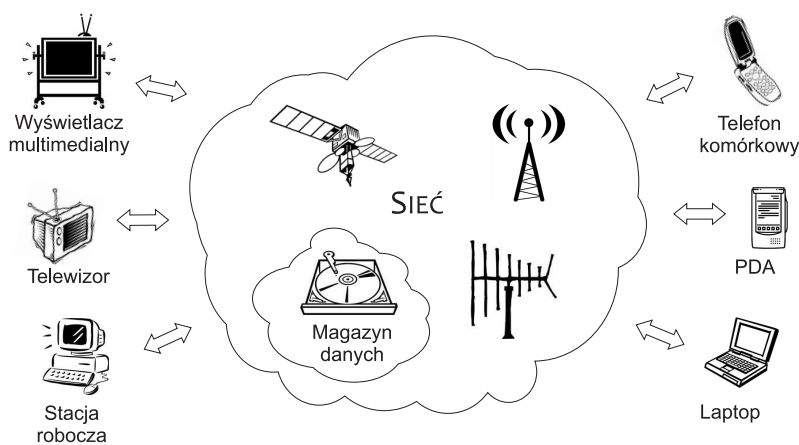
Skrót	Opis
AVC	Advanced Video Coding
AVS	Audio Video Standard
CABAC	Context-Adaptive Binary Arithmetic Coding
CAVLC	Context-Adaptive Variable-Length Coding
CBR	Constant Bit Rate
CPDT	Cascaded Pixel Domain Transcoder
CQS	Continuous Quality-Scale
CUDA	Compute Unified Device Architecture
DCT	Discrete Cosine Transform
DS	Double Stimulus
FMO	Flexible Macroblock Ordering
FPDT	Fast Pixel Domain Transcoder
GOP	Group Of Pictures
HD	High Definition
HVS	Human Visual System
IDR	Instantaneous Decoding Refresh
JM	Joint Model
MOS	Mean Opinion Score
MPEG	Moving/Motion Pictures Experts Group
MRA	Mixed Requantization Architecture
OLT	Overlapped Transform
PSNR	Peak Signal to Noise Ratio
QP	Quantization Parameter
RD	Rate Distortion
SMPTE	Society of Motion Picture and Television Engineers
SS	Single Stimulus
STB	Set-Top Box
UMA	Universal Multimedia Access
VBR	Variable Bit Rate

Skrót	Opis
VC-1	Video Coding – 1
VLC	Variable-Length Coding
WMV	Windows Media Video
4cif	format obrazu: sekwencja wizyjna o rozdzielczości 704×576 punktów, z wybieraniem kolejnoliniowym i próbkowaniem chrominancji 4:2:0
M	macierz „M”
m_{ij}	element ij macierzy M
v	wektor „v”
Δ	bezwzględna różnica dwóch wartości
$\otimes$	iloczyn Hadamarda (Schura) – poelementowe mnożenie macierzy

Wprowadzenie

1.1. Transkodowanie

Wraz z rozwojem technik telekomunikacyjnych pojawia się coraz większe zapotrzebowanie na transmisję treści multimedialnych, a w szczególności obrazu ruchomego. Z punktu widzenia odbiorcy pożądanym jest, aby dane wizyjne były dostępne w każdym czasie i sytuacji. Ich przesyłanie i prezentacja powinna następować bez przerw, niezależnie od rodzaju połączenia lub urządzenia końcowego.



Rysunek 1.1: Transmisja danych audiowizualnych

Kanały telekomunikacyjne różnią się m.in. przepustowością, stopą błędów oraz opóźnieniami transmisji. Co więcej, najczęściej droga od terminala do terminala prowadzi przez kilka rodzajów łączy i może ulegać zmianom w czasie transmisji danych. Ponadto użytkownicy mogą dysponować urządzeniami do prezentacji treści różniącymi się dostępną mocą obliczeniową lub właściwościami wyświetlacza. Aby sprostać tak dużym wymaganiom powstała idea multimedialnej struktury sieciowej, w której treść jest nieprzerwanie

dostarczana do dowolnego punktu poprzez heterogeniczne sieci transmisyjne, co przedstawiono na rysunku 1.1. Taka struktura jest często określana mianem uniwersalnego dostępu do treści multimedialnych UMA (ang. *Universal Multimedia Access*) [103, 182, 207, 208] i wymaga ona narzędzi dostosowujących transmitowany sygnał wizyjny do możliwości łącza sieciowego oraz terminali abonenckich.

W nieskompresowanej postaci sekwencja wizyjna o standardowej rozdzielczości telewizyjnej 704×576 punktów (4cif), częstotliwości obrazu 30 Hz i próbkowaniu chrominancji 4:2:0* wymaga prędkości bitowej niemal 146 Mbit/s. W przypadku telewizji wysokiej jakości (ang. *High Definition* – HD), gdzie rozdzielczości przestrzenna i czasowa wynoszą odpowiednio 1920×1080 punktów i 60 Hz, transmisja nieskompresowanego strumienia bitowego wymaga prędkości 1,5 Gbit/s. Powszechnie dostępne sieci telekomunikacyjne nie umożliwiają transmisji z tak dużą prędkością.

Cyfrowe sygnały wizyjne cechują się dużą redundancją statystyczną, a także zwiększoną zawartością informacji percepcyjnie nieistotnej, związanej z ograniczeniami ludzkiego systemu widzenia (ang. *Human Visual System* – HVS) [10, 32, 116, 153, 164, 177]. Z tego względu możliwe jest znaczne ograniczenie ilości magazynowanych i przesyłanych danych poprzez ich kompresję. Proces kompresji danych wizyjnych realizowany jest przez koder sekwencji wizyjnych, natomiast proces dekompresji przez komplementarny dekodery. Wspólnie elementy te nazywane są kodekiem.

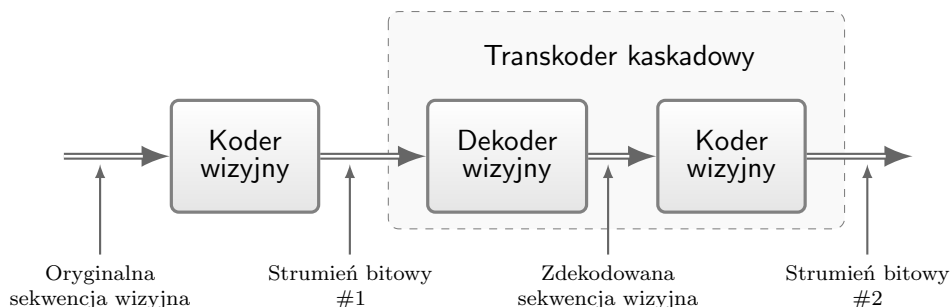
Aby umożliwić współpracę koderów i dekodery różnych producentów konieczne jest ujednolicenie struktury strumienia danych oraz narzędzi kompresji. W tym celu tworzone są standardy kompresji danych wizyjnych [138]. Standardy, które powstały w ostatniej dekadzie XX wieku, wykorzystywały stosunkowo proste narzędzia kodowania wewnątrz- i międzyobrazowego [32, 50]. Na początku XXI wieku zaproponowano nowe rozwiązania – *zaawansowane techniki kompresji*. Zostały one zdefiniowane w standardach kompresji: MPEG-4 część 10 (AVC) wraz z odpowiadającym mu zaleceniem ITU H.264 (w tej pracy skrótowo będą one oznaczane jako MPEG-4 AVC/H.264) [63], VC-1 [155] oraz AVS [157]. Nowe narzędzia pozwoliły znacznie podnieść efektywność kompresji, kosztem znacznego zwiększenia liczby niezbędnych obliczeń [41, 115, 132, 134].

Istnieją dwie możliwości adaptacji skompresowanego wizyjnego strumienia bitowego do możliwości sieci transmisyjnej oraz terminali abonenckich. Pierwsza z nich polega na

*Pojęcie to będzie wyjaśnione w rozdziale 2.

wykorzystaniu skalowalnych strumieni bitowych [140]. Pozwalają one ograniczyć prędkość bitową kosztem jakości obrazu, jego rozdzielczości czasowej, przestrzennej lub dowolnej kombinacji tych elementów. Rozwiązanie polegające na stosowaniu skalowalnych strumieni wizyjnych dotychczas nie upowszechniło się.

Inne podejście, mające obecnie duże znaczenie praktyczne, polega na wykorzystaniu efektywnych narzędzi pozwalających na zmianę postaci sygnału. Proces takiej konwersji nazywa się *transkodowaniem* i jest realizowany przez *transkoder* [3, 200, 208]. Największe znaczenie praktyczne ma transkodowanie służące zmniejszeniu szybkości bitowej strumienia danych. W najprostszej postaci transkoder jest kaskadowym zestawieniem dekodera i kodera wizyjnego, jak to zostało przedstawione na rysunku 1.2. Takie rozwiązanie będzie skrótowo nazywane *transkoderem kaskadowym*.



Rysunek 1.2: Transkoder kaskadowy

Ze względu na istotne znaczenie praktyczne transkodowania sekwencji wizyjnych, zainteresowanie tą tematyką wykazują duże firmy komercyjne. Przykładem mogą być przedsiębiorstwa projektujące i produkujące scalone układy graficzne. Firma NVIDIA w roku 2007 zaprezentowała architekturę przetwarzania równoległego danych o nazwie CUDA (ang. *Compute Unified Device Architecture*), wykorzystującą układy scalone tego producenta. Jednym z pierwszych publicznie pokazanych rozwiązań wykorzystujących tę technologię był właśnie transkoder sekwencji wizyjnych* [114]. Również firma ATI przedstawiła implementację transkodera wykorzystującą produkowane samodzielnie scalone układy graficzne† [102].

Problem transkodowania jest również dostrzegany przez polskie firmy. Autor rozprawy brał udział w projekcie badawczo-rozwojowym realizowanym przez Politechnikę Poznańską dla dużej firmy zajmującej się projektowaniem i wytwarzaniem dekodów telewizji kablowej

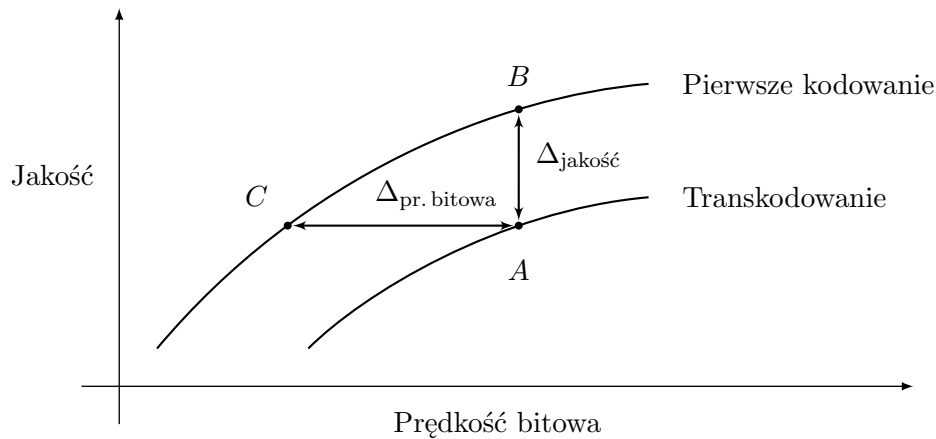
*Zaprezentowany na konferencji NVISION 2008, San Jose, CA.

†Zaprezentowana na konferencji SIGGRAPH 2008, Los Angeles, CA.

(ang. *Set-Top Box* – STB). Celem projektu było stworzenie koncepcji i implementacja transkodera, który wykorzystywałby zaawansowane techniki kompresji.

Wykorzystanie transkodera do zmniejszenia prędkości transmisji strumienia bitowego prowadzi zwykle do zmniejszenia efektywności kompresji*. Oznacza to, że dla takiej samej prędkości bitowej wyższą jakość uzyskuje się w przypadku kodowania oryginalnej sekwencji, niż transkodując strumień bitowy o większej początkowej prędkości transmisji. Analogicznie, taką samą jakość zdekodowanych obrazów możemy uzyskać przy mniejszym strumieniu bitowym, gdy kodowaniu poddawana jest oryginalna sekwencja niż redukując inny strumień.

Różnice jakości obrazu przy takiej samej prędkości bitowej strumienia wizyjnego ($\Delta_{\text{jakość}}$) będą w tej pracy nazywane *stratami jakości na skutek transkodowania kaskadowego*, bądź w skrócie *stratami transkodowania*. Różnice prędkości bitowych przy założeniu takiej samej jakości obrazu ($\Delta_{\text{pr. bitowa}}$) będą nazywane *nadmiarowością prędkości bitowej na skutek transkodowania*. Powyższe wielkości zilustrowane zostały na rysunku 1.3.



Rysunek 1.3: Strata jakości ($\Delta_{\text{jakość}}$) oraz nadmiarowość prędkości bitowej ($\Delta_{\text{pr. bitowa}}$) spowodowane transkodowaniem sekwencji wizyjnej

Ze względu na fakt, że transkodowanie kaskadowe wymaga znacznych nakładów obliczeniowych, dotychczasowe prace badawcze koncentrują się na zmniejszeniu złożoności tego procesu kosztem akceptowalnego zwiększenia strat transkodowania [11, 85, 120, 173]. Możliwe jest także odmienne zdefiniowanie problemu. Celem badań zaprezentowanych w pracy jest takie zmniejszanie prędkości bitowej strumieni wizyjnych skompresowanych z wykorzystaniem zaawansowanych technik kompresji, aby straty jakości były mniejsze niż w przypadku wykorzystania transkodera kaskadowego.

*Dokładniej to zjawisko zostanie omówione w rozdziałach 2 i 3.

Praca ta jest wynikiem przemyśleń, analiz, badań, jak również doświadczeń zdobytych przez doktoranta podczas realizacji wielu projektów badawczo-rozwojowych wykonywanych na zlecenia polskich i zagranicznych firm komercyjnych.

1.2. Cele i teza pracy

Głównym celem pracy jest *uzyskanie takich algorytmów transkodowania strumieni wizyjnych skompresowanych z wykorzystaniem najnowszych, zaawansowanych technik kompresji, które zapewniają mniejsze straty transkodowania niż transkoder kaskadowy.*

Zaawansowane techniki kompresji zdefiniowane są m.in w standardach VC-1, AVS oraz MPEG-4 AVC/H.264. Ponieważ ostatnie z wymienionych rozwiązań jest najbardziej rozpowszechnione oraz publicznie dostępna jest jego referencyjna implementacja [160], zostało ono wybrane do badań.

Dotychczas opisane w literaturze prace dotyczące transkodowania wykorzystującego zaawansowane techniki kompresji skupione były w głównej mierze na problemie zmniejszenia złożoności obliczeniowej. W odróżnieniu od tych prac, celem rozprawy jest *uzyskanie lepszej jakości sekwencji wynikowej niż to jest możliwe w przypadku wykorzystania transkodera kaskadowego.*

Dodatkowym celem jest *uzyskanie transkodera o złożoności mniejszej od transkodera kaskadowego.*

Teza pracy jest następująca:

Możliwe jest stworzenie transkodera sekwencji wizyjnych wykorzystującego zaawansowane techniki kompresji, który zapewni wyższą jakość transkodowanej sekwencji niż transkoder kaskadowy. Możliwe jest jednocześnie zmniejszenie nakładu obliczeniowego w stosunku do transkodera kaskadowego.

W celu sprawdzenia zaproponowanych rozwiązań założono stworzenie odpowiednich modeli programowych. Przyjęto, że podobnie jak w literaturze, wyniki badań porównywane będą z transkoderem kaskadowym, wykorzystującym oprogramowanie referencyjne MPEG-4 AVC/H.264.

1.3. Przegląd pracy

Praca dotyczy transkodowania strumieni binarnych reprezentujących obraz ruchomy zakodowany zgodnie ze standardem MPEG-4 AVC/H.264. W szczególności rozprawa koncentruje się na transkodowaniu mającym na celu redukcję prędkości transmisji.

Rozdział 2 wyjaśnia zagadnienia hybrydowego kodowania sekwencji wizyjnych oraz prezentuje istotne zaawansowane techniki kompresji zdefiniowane w standardzie MPEG-4 AVC/H.264. Ponadto znajduje się w nim przegląd literatury dotyczącej transkodowania skompresowanych strumieni wizyjnych. Oprócz tego przedstawiono w nim zagadnienie pomiaru jakości sekwencji wizyjnych.

Rozdział 3 zawiera prezentację wyników testów strat jakości transkodera kaskadowego, które zostały przeprowadzone przez autora tej pracy.

Rozdział 4 służy przedstawieniu technik pozwalających na redukcję prędkości bitowej strumienia wizyjnego. Zostały w nim przedstawione i udowodnione przez autora warunki modyfikacji próbek transformaty w strumieniu bitowym zgodnym ze standardem MPEG-4 AVC/H.264, których spełnienie zapewnia, że nie ulegną zmianie przewidywane wartości próbek sąsiednich bloków. Ponadto w rozdziale znajdują się wyniki przeprowadzonych przez doktoranta badań wpływu modyfikacji próbek transformaty na jakość sekwencji wizyjnej.

Rozdział 5 przedstawia zaproponowane przez autora algorytmy transkodowania strumieni bitowych wykorzystujących zaawansowane techniki kompresji. Ponadto prezentuje wyniki badań eksperymentalnych przeprowadzonych z wykorzystaniem przygotowanych przez autora tej pracy modeli zaproponowanych algorytmów transkodowania. Wyniki porównano z rezultatami uzyskanymi dla kodowania oryginalnych sekwencji wizyjnych oraz transkodowania kaskadowego opartego na wykorzystaniu referencyjnego oprogramowania standardu MPEG-4 AVC/H.264.

Rozdział 6 podsumowuje pracę. Zaprezentowane w nim są najważniejsze wnioski zaprezentowane w tej pracy oraz oryginalne osiągnięcia. Wskazany jest również kierunek dalszych badań.

Kodowanie i transkodowanie sekwencji wizyjnych

2.1. Hybrydowe kodowanie sekwencji wizyjnych

2.1.1. Wprowadzenie

W dziedzinie stratnej kompresji cyfrowych sekwencji wizyjnych najczęściej wykorzystywane są metody kodowania, które możemy zaliczyć do jednej z dwóch grup:

- *Hybrydowe*, bazujące na predykcjach wewnątrzbrazowej oraz międzyobrazowej z kompensacją ruchu, a także na transformacji blokowej sygnału [32, 165];
- *Falkowe* wykorzystujące analizę falkową w dziedzinie przestrzennej i/lub czasowej oraz techniki kompensacji ruchu [14, 116].

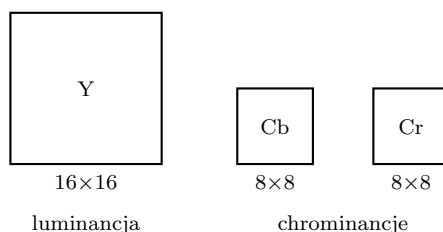
Kodowanie falkowe daje lepsze rezultaty w przypadku kompresji obrazów statycznych [1, 2, 64] niż rozwiązania bazujące na predykcji i transformacji blokowej [59, 126]. Pozwala na łatwe skalowanie strumienia binarnego i wprowadza zniekształcenia obrazu, które są percepcyjnie mniej dokuczliwe [32, 176]. Daje jednak gorsze rezultaty w przypadku kodowania sekwencji wizyjnych. Wszystkie aktualnie istniejące standardy bazują na metodzie kodowania hybrydowego, która zostanie przybliżona w kolejnych punktach.

2.1.2. Klasyczne techniki kompresji sekwencji wizyjnych

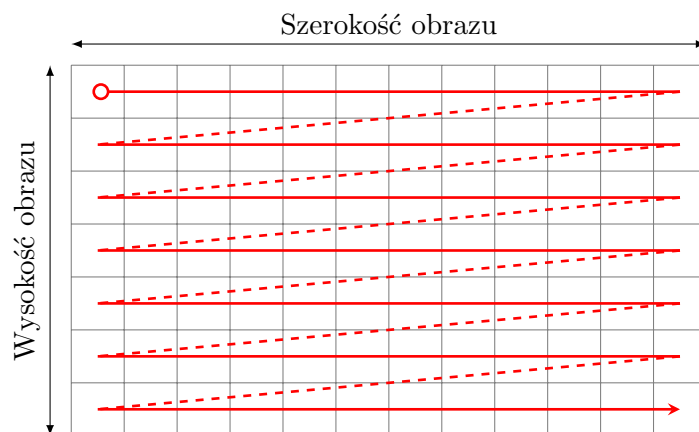
Nieskompresowany obraz cyfrowy reprezentowany jest zazwyczaj w postaci trzech prostokątnych macierzy zawierających wartości całkowite [165]. W przypadku kodowania sekwencji wizyjnych każda z nich zawiera jedną ze składowych koloru: Y, Cr i Cb [133].

Składowa Y reprezentuje jasność i będzie w tej pracy nazywana *luminancją*. Składowe Cr, Cb mówią o balansie składowych barwnych na płaszczyźnie chromatycznej wzdłuż osi czerwony-zielony i niebieski-żółty. W tej pracy będą nazywane *chrominancją**. Najczęściej macierze chrominancji są o połowę mniejsze od macierzy luminancji, zarówno w kierunku poziomym jak i pionowym[†] [133]. Ma to na celu wykorzystanie faktu, że wzrok człowieka wykazuje większą tolerancję na zniekształcenia składowych Cb i Cr niż składowej Y [1]. W tej pracy rozpatrywana będzie wyłącznie taka reprezentacja sygnału wizyjnego.

Obrazy poddawane kompresji dzielone są na kwadraty o rozmiarze 16×16 punktów składowej luminancji oraz odpowiadające im fragmenty o rozmiarach 8×8 punktów obu składowych chrominancji. Taka struktura nazywana jest *makroblokiem* i zilustrowana została na rysunku 2.1. Makrobloki poddawane są kodowaniu najczęściej w liniowej kolejności przedstawionej na rysunku 2.2.



Rysunek 2.1: Składowe luminancji i chrominancji w makrobloku. Schemat próbkowania 4:2:0



Rysunek 2.2: Liniowe uporządkowanie makrobloków

Jeżeli do kodowania makrobloku wykorzystywana jest wyłącznie informacja pochodząca z bieżącego obrazu, to jest on nazywany *makroblokiem typu Intra* lub w skrócie *makroblokiem*

*Spotkać się również można z nomenklaturą *luma* i *chroma* mającą podkreślić modyfikację wartości próbek współczynnikiem gamma.

[†]Nazywane jest to schematem próbkowania 4:2:0.

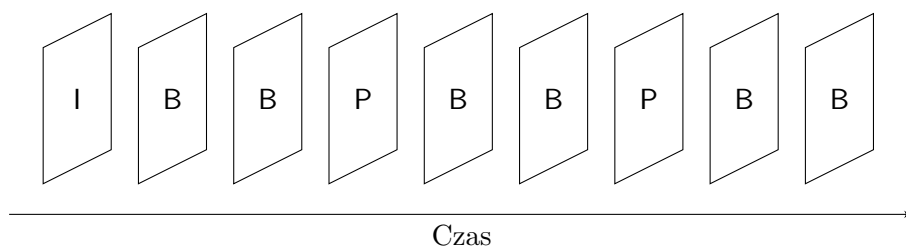
Intra, a takie kodowanie *wewnątrzobrazowym*. W przypadku wykorzystania informacji zawartej w innym obrazie lub obrazach mamy do czynienia z *makroblokiem typu Inter* bądź w skrócie *makroblokiem Inter*, a kodowanie nazywane jest *międzyobrazowym*.

Skompresowany obraz, w którym wystąpić mogą wyłącznie makrobloki Intra, nazywany jest obrazem typu I. W przypadku gdy dopuszcza się zastosowanie makrobloków Inter korzystających wyłącznie z wcześniejszych obrazów, obraz jest typu P. Jeśli dodatkowo możliwe jest użycie informacji z obrazów późniejszych niż aktualnie kodowany, to taki obraz nazywa się obrazem typu B.

W celu zapewnienia ochrony strumienia bitowego przed błędami transmisji, oraz aby umożliwić rozpoczęcie dekodowania od innego miejsca strumienia niż jego początek, obrazy łączą się w niezależnie dekodowalne struktury zwane grupami obrazów (ang. *Group Of Pictures – GOP*). Każdą taką grupę rozpoczyna obraz typu I, po którym występują obrazy typu P, ewentualnie przeplatane obrazami typu B. Przykład struktury GOP znaleźć można na rysunku 2.3. W pracy przyjęto dwa sposoby notacji struktury grupy obrazów:

- pełny np. I-BB-P-BB-P-BB-P-BB, który wprost wskazuje położenie danego typu obrazu w ciągu,
- skrócony np. 3P2B informujący, że po pierwszym obrazie I występują trzy obrazy P.

Wszystkie obrazy typu I oraz P rozdzielają po dwa obrazy typu B.



Rysunek 2.3: Przykładowa struktura grupy obrazów (GOP)

Historię tworzenia standardów kompresji cyfrowych sekwencji wizyjnych rozpoczyna powstanie standardu H.120 [66]. Zdefiniowane w nim proste techniki kompresji zostały następnie uzupełnione predykcją z kompensacją ruchu. W ten sposób powstała struktura, która znalazła zastosowanie we wszystkich kolejno powstałych standardach. Po raz pierwszy została ona użyta w standardzie H.261 [67], po którym powstały kolejno MPEG-1 [60], MPEG-2/H.262 [61], H.263 [68], MPEG-4 część 2 Visual [62]. Wymienione standardy są

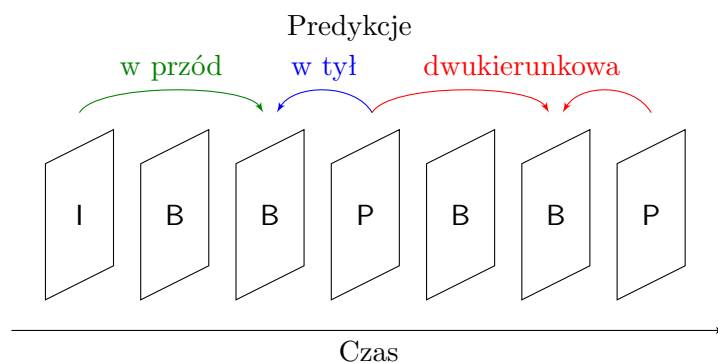
adresowane do różnych zastosowań, ale wykorzystują podobne narzędzia kompresji, które w tej pracy będą łącznie określane mianem *klasycznych technik kompresji* [33].

Klasyczne techniki kompresji sekwencji wizyjnych bazują na blokowym kodowaniu transformatowym wykorzystującym dyskretne przekształcenie kosinusowe (DCT)*. Realizacja transformacji DCT wymaga operacji na liczbach rzeczywistych, co może być źródłem rozbieżności wyników między koderem a dekerem. Z tego powodu klasyczne techniki kompresji nie wykorzystują predykcji wewnątrzobrazowej realizowanej w dziedzinie próbek obrazu. Wykorzystywana natomiast jest prosta predykcja pojedynczej próbki transformaty DCT (np. MPEG-2) lub bardziej zaawansowana predykcja wielu próbek transformaty DCT (H.263+, MPEG-4 Visual).

Technika predykcji z kompensacją ruchu, wprowadzona po raz pierwszy w standardzie H.261, polega na odszukaniu w innym obrazie (zwanym *obrazem odniesienia*) obszaru jak najbardziej podobnego do aktualnie kodowanego. Poszukiwany fragment może mieć rozmiar 16×16 (cały makroblok) lub 8×8 punktów (wyłącznie H.263 i MPEG4-Visual). W strumieniu bitowym umieszczana jest informacja o tym, jak bardzo znaleziony fragment oddalony jest w przestrzeni od aktualnie kodowanego. Ma ona postać dwóch wartości mówiących o odległości w poziomie i pionie, które łącznie nazywane są *wektorem ruchu*. Ich dokładność może być równa odstępowi próbkowania (H.261), jego połowie (MPEG-1, MPEG-2, H.263) bądź ćwiartce (MPEG-4 Visual, Advanced Simple Profile). Począwszy od standardu H.263, wektory mogą wskazywać na obszary poza granicami obrazu.

Wektory ruchu mogą wskazywać na obszar w obrazie wcześniejszym w czasie – predykcja w przód lub późniejszym – predykcja w tył. Rozwiązaniem, które pojawiło się po raz pierwszy w standardzie MPEG-1, jest jednoczesne wskazanie na obszary w obrazach wcześniejszym i późniejszym. Taki mechanizm nazywany jest predykcją dwukierunkową. Przedstawione powyżej typy predykcji zostały zademonstrowane na rysunku 2.4.

*W standardach H.263 (Aneks W) i MPEG-4 Visual zdefiniowane zostały dodatkowe przekształcenia całkowitoliczbowe, ale są one rzadko wykorzystywane.



Rysunek 2.4: Rodzaje predykcji międzyobrazowej w kodowaniu sekwencji wizyjnej. Uporządkowanie obrazów od lewej do prawej w kolejności prezentacji

2.1.3. Zaawansowane techniki kodowania sekwencji wizyjnych

Przedstawione w poprzednim punkcie standardy kompresji sekwencji wizyjnych wykazują wiele cech wspólnych i bazują na stosunkowo prostych narzędziach kodowania nazywanych klasycznymi technikami kompresji. Prowadzone badania doprowadziły do powstania bardziej złożonych narzędzi pozwalających na zwiększenie efektywności kompresji. Część z nich została wprowadzona do standardów MPEG-4 część 2 i H.263 jako narzędzia dodatkowe.

Ze względu na rozwój technologii produkcji układów scalonych, a co za tym idzie zwiększeniu dostępnej mocy obliczeniowej, podjęto decyzję o stworzeniu standardów kompresji sekwencji wizyjnych bazujących na nowych narzędziach kompresji nazwanych wspólnie *zaawansowanymi technikami kodowania*. Do standardów tych zaliczyć należy MPEG-4 AVC/H.264 [63], VC-1 [155] oraz AVS [157]. Efektywność kompresji oferowana przez te rozwiązania znacząco przewyższa możliwości oferowane przez wcześniejsze standardy [73, 130, 139, 158, 165, 194].

Definiując standardy VC-1 oraz AVS wykorzystano prostsze techniki kompresji niż w przypadku MPEG-4 AVC/H.264, aby ograniczyć złożoność obu rozwiązań [41, 71, 195]. W tabeli 2.1 przedstawiono najważniejsze cechy tych standardów, dodatkowo konfrontując je z cechami standardu MPEG-2, który bazuje na klasycznych technikach kodowania.

Spośród standardów, w których zdefiniowane zostały zaawansowane techniki kodowania, MPEG-4 AVC/H.264 wykorzystuje najbardziej złożone narzędzia kompresji. Ponadto publicznie dostępna jest jego referencyjna implementacja [160]. Powyższe powody sprawiły, że to kodek tego standardu został wybrany do badań, których wyniki zamieszczone zostały w niniejszej pracy.

Tabela 2.1: Porównanie standardów wykorzystujących klasyczne (MPEG-2) i zaawansowane techniki kompresji (MPEG-4 AVC/H.264, VC-1, AVS)

Cecha	MPEG-2	MPEG-4 AVC/H.264	VC-1	AVS
Typ obrazu	I, P, B	I, P, B, SI, SP	I, P, B, BI, Skip	I, P, B
Transformacja	DCT	całkowitoliczbowa	całkowitoliczbowa	całkowitoliczbowa
Rozmiar transf.	8×8	8×8, 4×4	8×8, 8×4, 4×8, 4×4	4×4
Pred. wewnobr. lum.	—	9 trybów 4×4, 4 tryby 16×16	—	5 trybów 8×8
Pred. wewnobr. chrom.	—	4 tryby 16×16, 4 tryby 8×8	—	4 tryby 4×4
Pred. międzyobr.	16×16	16×16, 16×8, 8×16, 8×8, 8×4, 4×8, 4×4	16×16, 8×8	16×16, 16×8, 8×16, 8×8
Dokł. komp. ruchu	1/2 punktu	1/4 punktu	1/4 punktu	1/4 punktu
Obrazy odniesienia	1	16	2	2
Red. efektu blok.	—	filtr deblokujący	OLT, filtr deblokujący	filtr deblokujący
Kod. entropijne	VLC	CAVLC, CABAC	adaptacyjne VLC	adaptacyjne VLC

Objaśnienia:

- OLT – transformacja na zakładkę,
- VLC – kodowanie kodami zmiennej długości,
- CAVLC – kontekstowe, adaptacyjne kodowanie kodami zmiennej długości,
- CABAC – kontekstowe, adaptacyjne kodowanie arytmetyczne.

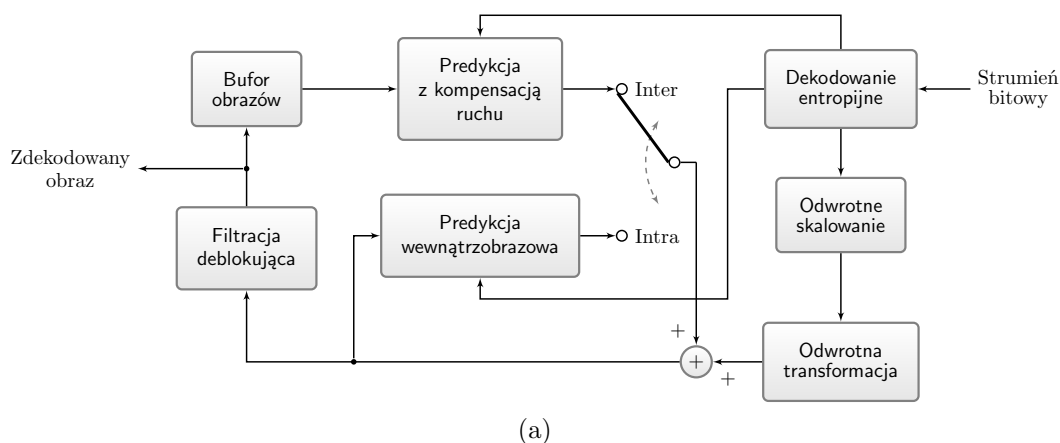
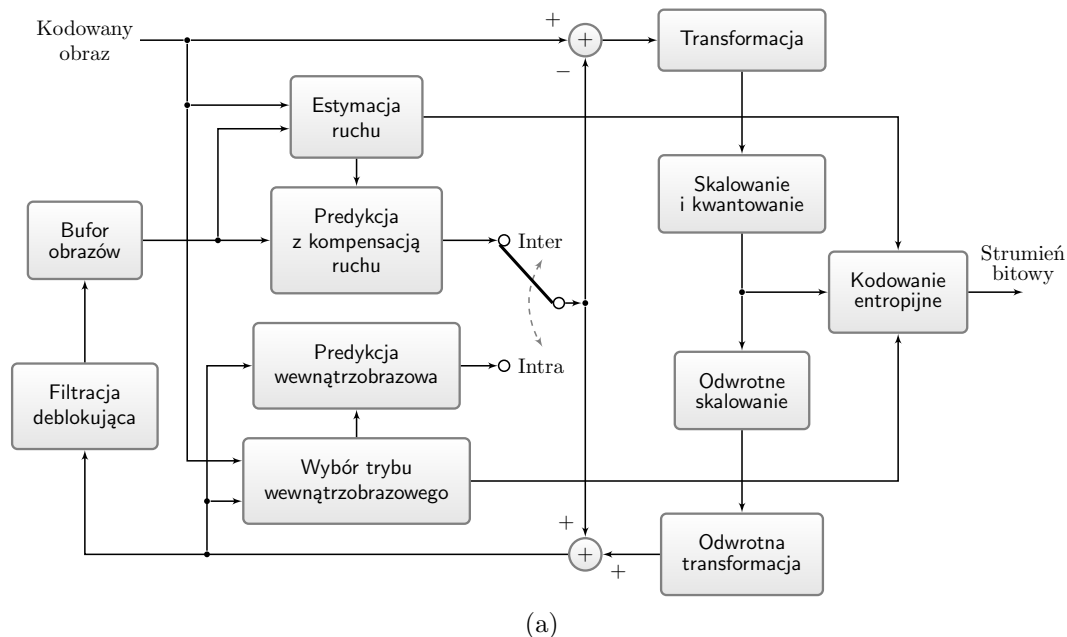
2.1.4. Standard MPEG-4 AVC/H.264

2.1.4.1. Wprowadzenie

Na rysunku 2.5 przedstawione zostały schematy blokowe kodera i dekodera strumieni bitowych zgodnych ze standardem MPEG-4 AVC/H.264. Ze względu na różnorodne zastosowania kodeków wizyjnych, w praktycznych realizacjach mogą występować ograniczenia co do złożoności koderów i dekodów. Aby zapewnić poprawną współpracę tych elementów, w standardzie MPEG-4 AVC/H.264 zdefiniowane zostały punkty zgodności określane przez profile i poziomy.

Na ogół profil definiuje składnię strumienia bitowego. Poziom natomiast określa ograniczenia istotnych parametrów, do których zaliczyć można rozdzielczość obrazu, dopuszczalną wartość prędkości bitowej itp. [165].

Standard MPEG-4 AVC/H.264 definiuje profile: podstawowy (ang. *Baseline*), główny (ang. *Main*), rozszerzony (ang. *Extended*) oraz cztery wysokie (ang. *High*) [63]. Ponieważ profil główny kładzie nacisk na efektywność kompresji [163], wszystkie przedstawione w tej pracy wyniki otrzymane zostały dla strumieni bitowych z nim zgodnych. W związku z tym autor ograniczy się do przedstawienia najważniejszych elementów standardu MPEG-4 AVC/H.264 zdefiniowanych dla tego profilu. Zainteresowany czytelnik więcej informacji odnaleźć może w [63, 134].

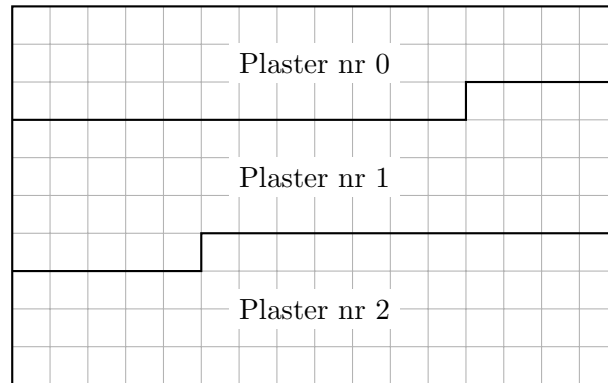


Rysunek 2.5: Schemat kodera (a) i dekodera (b) zgodnego ze standardem MPEG-4 AVC/H.264

2.1.4.2. Plastry

Podobnie jak we wszystkich wcześniejszych standardach kompresji cyfrowych sekwencji wizyjnych, MPEG-4 AVC/H.264 wymaga podziału obrazu na makrobloki. Te z kolei mogą być łączone w grupy zwane *plastrami*. Makrobloki tworzące plaster nie muszą tworzyć ciągów jak to zostało przedstawione na rysunku 2.6. Technika FMO (ang. *Flexible Macroblock Ordering*) dopuszcza różne schematy rozmieszczenia makrobloków w obrazie. Jej użycie nie jest jednak dozwolone w profilu głównym.

Standard MPEG-4 AVC/H.264 nie definiuje pojęć obrazu typu I, P lub B. Określa w zamian plastry takich typów. Technika podziału obrazu na plastry służy ochronie strumienia bitowego przed błędami, ale powoduje obniżenie efektywności kompresji [212].



Rysunek 2.6: Podział obrazu na plastry. Rysunek inspirowany ilustracją w [165]

W związku z tym, gdy takie zabezpieczenie nie jest konieczne, przyjmuje się zasadę, że na pojedynczy obraz przypada jeden plaster. We wszystkich przeprowadzonych w tej pracy badaniach eksperymentalnych przyjęto takie założenie. W związku z tym, dla uproszczenia, autor będzie posługiwał się pojęciami obrazu typu I, P, B. Będzie to oznaczało zawsze obraz zakodowany z wykorzystaniem pojedynczego plastra danego typu.

2.1.4.3. Makrobloki kodowane wewnątrzobrazowo

Klasyczne techniki kompresji sekwencji wizyjnych do kodowania wewnątrzobrazowego wykorzystują prostą predykcję składowej stałej, bądź predykcję w dziedzinie częstotliwości. W przeciwieństwie do nich, standard MPEG-4 AVC/H.264, definiuje schematy predykcji realizowane w dziedzinie próbek obrazu. Profil główny tego standardu dopuszcza wykorzystanie trzech trybów wewnątrzobrazowego kodowania makrobloków: I_PCM, Intra_4x4 oraz Intra_16x16.

Pierwszy z wymienionych trybów został wprowadzony do standardu, aby liczba bitów po kompresji nigdy nie przekroczyła rozmiaru oryginalnych danych. W praktycznych zastosowaniach kodeków wizyjnych nie jest on wykorzystywany.

Pozostałe dwa tryby służą wykorzystaniu korelacji kodowanych próbek z sąsiednimi próbkami i zostaną opisane poniżej. Należy zaznaczyć, że w przypadku wewnątrzobrazowego kodowania makrobloku, tryb kodowania określony jest niezależnie dla luminancji i chrominancji.

Intra_4x4. Tryb ten określa sposób kodowania próbek luminancji. Dla każdego z szesnastu bloków o rozmiarze 4×4 punkty tworzących makroblok, wyznaczany jest niezależnie

sygnał predykcji. Otrzymywany jest on na podstawie odpowiedniej kombinacji wartości sąsiednich próbek obrazu.

Na rysunku 2.7 przedstawiono blok o rozmiarze 4×4 punkty, wraz z sąsiadującymi próbkami, które mogą zostać wykorzystane w procesie predykcji. Tabela 2.2 zawiera wykaz dziewięciu trybów predykcji Intra_4x4 zdefiniowanych przez standard oraz informację, które z sąsiadujących punktów wykorzystywane są do przewidywania wartości próbek kodowanego bloku. Osiem z nich to tzw. tryby kierunkowe. Kierunki, w których wykonywana jest predykcja, zilustrowano na rysunku 2.8. Ostatni tryb predykcji to Intra_4x4_DC. Zakłada on, że przewidywane próbki mają taką samą wartość. Jest ona równa średniej wartości próbek przylegających do aktualnie kodowanego bloku od góry i z lewej strony.

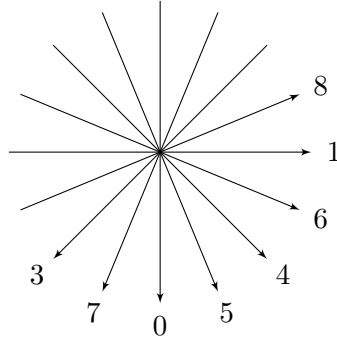
$p_{-1,-1}$	$p_{0,-1}$	$p_{1,-1}$	$p_{2,-1}$	$p_{3,-1}$	$p_{4,-1}$	$p_{5,-1}$	$p_{6,-1}$	$p_{7,-1}$
$p_{-1,0}$	$p_{0,0}$	$p_{1,0}$	$p_{2,0}$	$p_{3,0}$				
$p_{-1,1}$	$p_{0,1}$	$p_{1,1}$	$p_{2,1}$	$p_{3,1}$				
$p_{-1,2}$	$p_{0,2}$	$p_{1,2}$	$p_{2,2}$	$p_{3,2}$				
$p_{-1,3}$	$p_{0,3}$	$p_{1,3}$	$p_{2,3}$	$p_{3,3}$				

Rysunek 2.7: Blok o rozmiarze 4×4 wraz z otaczającymi go próbkami, które mogą zostać wykorzystane do wyznaczenia sygnału predykcji w trybie kodowania Intra_4x4

Tabela 2.2: Wykaz zdefiniowanych przez standard MPEG-4 AVC/H.264 trybów predykcji dla trybu kodowania makrobloku Intra_4x4, wraz z punktami $p_{i,-1}$, $p_{-1,j}$ sąsiadującymi z kodowanym blokiem, wykorzystywanymi do wyznaczenia sygnału predykcji. Oznaczenia punktów jak na rysunku 2.7

Nr	Tryb predykcji	i	j
0	Intra_4x4_Vertical	$0 \dots 3$	—
1	Intra_4x4_Horizontal	—	$0 \dots 3$
2	Intra_4x4_DC	$0 \dots 3$	$0 \dots 3$
3	Intra_4x4_Diagonal_Down_Left	$0 \dots 7$	—
4	Intra_4x4_Diagonal_Down_Right	$-1 \dots 3$	$0 \dots 3$
5	Intra_4x4_Vertical_Right	$-1 \dots 3$	$0 \dots 3$
6	Intra_4x4_Horizontal_Down	$-1 \dots 3$	$0 \dots 3$
7	Intra_4x4_Vertical_Left	$0 \dots 7$	—
8	Intra_4x4_Horizontal_Up	—	$0 \dots 3$

Intra_16x16. Użycie tego trybu oznacza, że sygnał predykcji luminancji wyznaczany jest jednocześnie dla całego makrobloku na podstawie próbek przylegających od góry i z lewej



Rysunek 2.8: Kierunki predykcji zdefiniowane przez standard MPEG-4 AVC/H.264 dla kodowania bloku, gdy makroblok jest kodowany w trybie Intra_4x4. Numery zgodne z tabelą 2.2. Rysunek na podstawie normy MPEG-4 AVC/H.264 [63]

strony. W trybie kodowania makrobloku Intra_16x16 dopuszcza się wykorzystanie czterech schematów predykcji próbek obrazu. Zostały one wyszczególnione w tabeli 2.3. Można tam również odnaleźć informację o tym, które punkty są wykorzystywane do wyznaczenia przewidywanych wartości próbek. Standard MPEG-4 AVC/H.264 definiuje zestaw trzech predykcji kierunkowych dla tego trybu oraz jeden przypadek, gdzie przewidywaną wartość wszystkich próbek w makrobloku stanowi średnia wartość próbek przylegających do aktualnie kodowanego makrobloku od góry i z lewej strony.

Tabela 2.3: Wykaz zdefiniowanych przez standard MPEG-4 AVC/H.264 trybów predykcji dla trybu kodowania makrobloku Intra_16x16, wraz z punktami $p_{i,-1}$, $p_{-1,j}$ sąsiadującymi z kodowanym makroblokiem, wykorzystywanymi do wyznaczenia sygnału predykcji

Nr	Tryb predykcji	i	j
0	Intra_16x16_Vertical	0 ... 15	—
1	Intra_16x16_Horizontal	—	0 ... 15
2	Intra_16x16_DC	0 ... 15	0 ... 15
3	Intra_16x16_Plane	-1 ... 15	0 ... 15

Intra_Chroma. Jest to tryb kodowania składowych chrominancji makrobloku. Sygnał predykcji wyznaczany może być na jeden z czterech sposobów, analogicznych jak w przypadku Intra_16x16. Różnica polega na tym, że w przypadku próbkowania obrazu 4:2:0 blok predykcji ma rozmiar 8×8 punktów. Ponadto odmienna jest numeracja trybów predykcji.

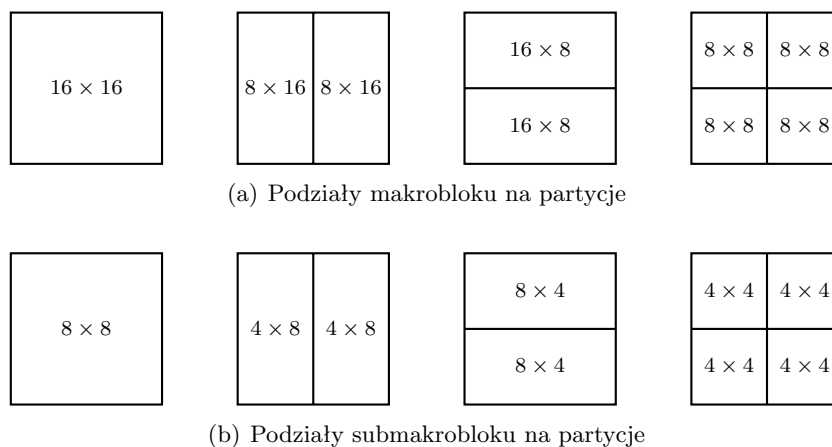
Tabela 2.4: Wykaz zdefiniowanych przez standard MPEG-4 AVC/H.264 trybów predykcji dla trybu kodowania makrobloku Intra_Chroma, wraz z punktami $p_{i,-1}$, $p_{-1,j}$ sąsiadującymi z kodowanym makroblokiem, wykorzystywanymi do wyznaczenia sygnału predykcji

Nr	Tryb predykcji	i	j
0	Intra_Chroma_DC	$0 \dots 7$	$0 \dots 7$
1	Intra_Chroma_Horizontal	—	$0 \dots 7$
2	Intra_Chroma_Vertical	$0 \dots 7$	—
3	Intra_Chroma_Plane	$-1 \dots 7$	$0 \dots 7$

2.1.4.4. Makrobloki kodowane międzyobrazowo

Predykcyjne kodowanie międzyobrazowe służy wykorzystaniu statystycznych zależności czasowych w sekwencji wizyjnej. Poniżej przedstawione zostaną najważniejsze elementy kodowania międzyobrazowego, zdefiniowanego w standardzie MPEG-4 AVC/H.264.

Zmienny rozmiar bloku. Makroblok może być podzielony na mniejsze części zwane partycjami, dla których niezależnie ustalane są obraz (lub obrazy) odniesienia oraz wektory ruchu. Dozwolone podziały makrobloku przedstawione zostały na rysunku 2.9a. Partycje o rozmiarze 8×8 punktów nazywane są submakroblokami. Submakrobloki mogą być dzielone na niezależne części w sposób przedstawiony na rysunku 2.9b.



Rysunek 2.9: Zdefiniowane w standardzie MPEG-4 AVC/H.264 podziały makrobloku (a) i submakrobloku (b) na partycje w przypadku kodowania międzyobrazowego. Rysunek inspirowany normą MPEG-4 AVC/H.264 [63]

Wiele obrazów odniesienia. Standard MPEG-4 AVC/H.264 dopuszcza wykorzystanie tak zwanej predykcji długoterminowej. Oznacza to, że kodowany obraz może być przewidywany na podstawie wielu obrazów odniesienia. Ich maksymalną liczbę definiuje poziom [163].

Kompensacja ruchu z dokładnością do ćwiartki odstępu próbkowania.

Rozwiązanie to pojawiło się po raz pierwszy w standardzie MPEG-4 Visual. Standard MPEG-4 AVC/H.264 jednak je usprawnia poprzez zdefiniowanie filtrów interpolacyjnych które mogą być bardzo efektywnie zaimplementowane w arytmetyce całkowitoliczbowej. W przypadku wykorzystywania schematu próbkowania 4:2:0, kompensacja ruchu składowej chrominancji realizowana jest z dokładnością do 1/8 odstępu próbkowania.

Warunkowe podstawienie (ang. *Conditional replenishment*). Jest to technika,

która pozwala na nie umieszczanie w strumieniu informacji o makrobloku, jeśli treść obrazu może być dobrze przewidziana. Makrobloki takie nazywane są makroblokami typu Skip. Standard MPEG-4 AVC/H.264 definiuje bardzo zaawansowane mechanizmy, które na podstawie sąsiedztwa przestrzennego i czasowego próbują przewidzieć, które bloki w sąsiednich obrazach są najbardziej podobne do aktualnie kodowanych i wskazać odpowiednie wektory ruchu i indeksy obrazów odniesienia.

Tryb Direct. Jest to tryb kodowania wykorzystywany wyłącznie w plastrach typu B.

Zakłada on wykorzystanie wektorów ruchu uzyskanych w identyczny sposób jak dla trybu Skip, natomiast w strumieniu umieszczane są dodatkowo skwantowane wartości próbek transformaty. Standard definiuje ten tryb kodowania dla makrobloków oraz submakrobloków.

Predykcja ważona. W przeciwieństwie do poprzednich standardów kompresji MPEG-4

AVC/H.264 zezwala na określenie jak sygnał predykcji ma być przeskalowany i/lub jaka wartość ma być do niego dodana. Wartość tych zmian może być wyznaczana automatycznie na podstawie zależności czasowych bądź określona w strumieniu bitowym. Narzędzie to powoduje wzrost efektywności kompresji w przypadku zmian jasności sekwencji [15].

2.1.4.5. Transformacja

Klasyczne techniki kompresji, jako podstawowe narzędzie transformacji sygnału wykorzystują dyskretne przekształcenie kosinusowe bloków o rozmiarze $8 \times 8^*$. Standard MPEG-4 AVC/H.264 bazuje na odmiennym przekształceniu. Posiada ono następujące cechy:

- jest realizowane w blokach o rozmiarze 4×4 punkty,
- zarówno transformacja wprost jak i odwrotna realizowane są w arytmetyce całkowitoliczbowej,
- wyniki przekształcenia, niezależnie od implementacji, są zawsze zgodne w koderze i dekodery,
- arytmetyka 16-bitowa jest wystarczającą do transformacji sygnału 8-bitowego,
- przekształcenie jest realizowane przez małą liczbę operacji dodawania, odejmowania i przesunięcia bitowego.

Standardy kompresji w zasadzie nie opisują rozwiązań stosowanych w koderze, a raczej dotyczą struktur strumienia bitowego i zasad jego dekodowania. Niemniej jednak zdefiniowana przez standard odwrotna transformacja posiada odpowiadającą mu transformację wykorzystywaną w procesie kompresji. Dla standardu MPEG-4 AVC/H.264 ta transformacja ma następującą postać [134]:

$$\mathbf{Y} = (\mathbf{C}_f \cdot \mathbf{X} \cdot \mathbf{C}_f^T) \otimes \mathbf{K}_f, \quad (2.1)$$

gdzie $\mathbf{X}$ to transformowany sygnał, a $\mathbf{Y}$ jest jego transformatą. Symbol $\otimes$ oznacza mnożenie odpowiadających sobie elementów macierzy (iloczyn Hadamarda). Macierze $\mathbf{C}_f$ i $\mathbf{K}_f$ zdefiniowane są następująco:

$$\mathbf{C}_f = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 2 & 1 & -1 & -2 \\ 1 & -1 & -1 & 1 \\ 1 & -2 & 2 & -1 \end{bmatrix}, \quad (2.2)$$

$$\mathbf{K}_f = \begin{bmatrix} a^2 & ab/2 & a^2 & ab/2 \\ ab/2 & b^2/4 & ab/2 & b^2/4 \\ a^2 & ab/2 & a^2 & ab/2 \\ ab/2 & b^2/4 & ab/2 & b^2/4 \end{bmatrix}, \quad (2.3)$$

*W standardach MPEG-4 Visual oraz H.263 zdefiniowane są także dodatkowe transformacje.

gdzie: $a = \frac{1}{2}$, $b = \sqrt{\frac{2}{5}}$. Przekształcenie odwrotne ma następującą postać:

$$\mathbf{X} = \mathbf{C}_i^T (\mathbf{Y} \otimes \mathbf{K}_i) \mathbf{C}_i, \quad (2.4)$$

gdzie:

$$\mathbf{C}_i = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1/2 & -1/2 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 \\ 1/2 & -1 & 1 & -1/2 \end{bmatrix}, \quad (2.5)$$

$$\mathbf{K}_i = \begin{bmatrix} a^2 & ab & a^2 & ab \\ ab & b^2 & ab & b^2 \\ a^2 & ab & a^2 & ab \\ ab & b^2 & ab & b^2 \end{bmatrix}. \quad (2.6)$$

Dla trybów kodowania makrobloku Intra_16x16 oraz Intra_Chroma standard MPEG-4 AVC/H.264 definiuje tak zwaną transformację hierarchiczną. Po wykonaniu opisanej równaniem (2.1) transformacji bloków w danym makrobloku, z otrzymanych transformat wybierane są próbki odpowiadające lokalnej średniej. Z tych próbek tworzona jest nowa macierz $\mathbf{S}_L$ poddawana następnie dwuwymiarowej transformacji Hadamarda. W przypadku trybu Intra_16x16 przekształcenie to przyjmuje następującą postać [134]:

$$\mathbf{U}_L = \frac{1}{2} \left(\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 \end{bmatrix} \mathbf{S}_L \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 \end{bmatrix} \right). \quad (2.7)$$

Macierz $\mathbf{U}_L$ jest transformatą macierzy $\mathbf{S}_L$. Odwrotne przekształcenie dane jest następującym wzorem:

$$\mathbf{S}_{L_Q} = \frac{1}{2} \left(\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 \end{bmatrix} \mathbf{U}_{L_Q} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 \end{bmatrix} \right). \quad (2.8)$$

Indeksy „ Q ” macierzy $\mathbf{S}_{L_Q}$ i $\mathbf{U}_{L_Q}$ informują, że macierze składają się z przeskalowanych wartości. Wynika to z faktu, że proces dekwantyzacji przeprowadzany jest po odwrotnej transformacji, a nie przed tą operacją.

W przypadku kodowania chrominancji, z próbek transformat odpowiadających lokalnym średnim, jest tworzona macierz $\mathbf{S}_C$ o rozmiarze 2×2 . Macierz ta poddawana jest dwuwymiarowemu przekształceniu Hadamarda, którego rezultatem jest transformata $\mathbf{U}_C$. Powyższa transformacja ma następującą postać [134]:

$$\mathbf{U}_C = \frac{1}{2} \left(\begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix} \mathbf{S}_C \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix} \right). \quad (2.9)$$

Przekształcenie odwrotne dane jest wzorem:

$$\mathbf{S}_{C_Q} = \frac{1}{2} \left(\begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix} \mathbf{U}_{C_Q} \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix} \right). \quad (2.10)$$

Podobnie jak przypadku opisanym powyżej, indeksy „Q” macierzy $\mathbf{S}_{C_Q}$ i $\mathbf{U}_{C_Q}$ informują, że elementy tych macierzy są przeskalowane.

2.1.4.6. Kwantyzacja

Kwantowanie skalarne próbek transformaty jest jednym z podstawowych mechanizmów kompresji sekwencji wizyjnych. Powoduje ono nieodwracalne obniżenie jakości zdekodowanego obrazu. Podobnie jak standardy bazujące na klasycznych technikach kompresji, standard MPEG-4 AVC/H.264 oparty jest na kwantyzacji równomiernej. Oznacza to, że szerokości przedziałów kwantyzacji Q mają jednakową wartość. W kodeku tego standardu operacje kwantowania i dekwantowania realizowane są wyłącznie w arytmetyce całkowitoliczbowej. Ponadto na żadnym etapie obliczeń, nie jest konieczna operacja dzielenia. W zamian wykorzystywane są operacje przesunięcia bitowego.

Standard MPEG-4 AVC/H.264 definiuje 52 szerokości przedziałów kwantyzacji Q , aby możliwa była precyzyjna regulacja prędkości strumienia bitowego. Wartości tych szerokości są indeksowane wartością parametru kwantyzacji (ang. *Quantization Parameter* – QP). Wartość parametru kwantyzacji luminancji (QP_Y) mieszcząca się w zakresie 0–51 jest umieszczana w strumieniu bitowym. Na jej podstawie wyznaczana jest wartość indeksu QP dla chrominancji (QP_C). Możliwe jest także zawarcie w strumieniu bitowym informacji o dodatkowej różnicy pomiędzy wartościami indeksów QP_Y i QP_C^* .

Tabela 2.5 przedstawia zdefiniowane przez standard MPEG-4 AVC/H.264 przedziały kwantyzacji wraz z odpowiadającymi im wartościami parametru kwantyzacji. Na jej

*Pole `chroma_qp_index_offset` w `Picture Parameter Set`.

Tabela 2.5: Wartości parametrów kwantyzacji luminancji (QP_Y) i chrominancji (QP_C) wraz z odpowiadającymi im szerokościami przedziałów kwantyzacji Q . Wartości określone w standardzie MPEG-4 AVC/H.264. Tabela przygotowana na podstawie [134]

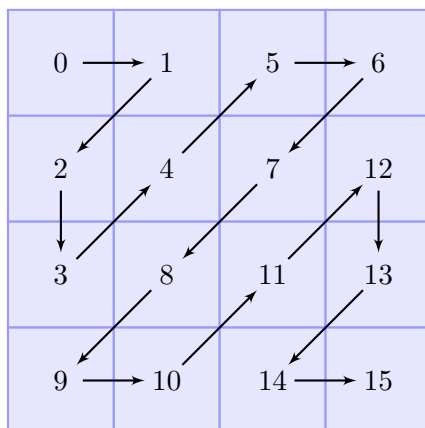
Luminancja		Chrominancja		Luminancja		Chrominancja	
QP_Y	Q	QP_C	Q	QP_Y	Q	QP_C	Q
0	0,625	0	0,625	26	13	26	13
1	0,6875	1	0,6875	27	14	27	14
2	0,8125	2	0,8125	28	16	28	16
3	0,875	3	0,875	29	18	29	18
4	1	4	1	30	20	29	18
5	1,125	5	1,125	31	22	30	20
6	1,25	6	1,25	32	26	31	22
7	1,375	7	1,375	33	28	32	26
8	1,625	8	1,625	34	32	32	26
9	1,75	9	1,75	35	36	33	28
10	2	10	2	36	40	34	32
11	2,25	11	2,25	37	44	34	32
12	2,5	12	2,5	38	52	35	36
13	2,75	13	2,75	39	56	35	36
14	3,25	14	3,25	40	64	36	40
15	3,5	15	3,5	41	72	36	40
16	4	16	4	42	80	37	44
17	4,5	17	4,5	43	88	37	44
18	5	18	5	44	104	37	44
19	5,5	19	5,5	45	112	38	52
20	6,5	20	6,5	46	128	38	52
21	7	21	7	47	144	38	52
22	8	22	8	48	160	39	56
23	9	23	9	49	176	39	56
24	10	24	10	50	208	39	56
25	11	25	11	51	224	39	56

podstawie można stwierdzić, że zakres wartości parametru kwantyzacji jest większy dla składowej luminancji niż dla składowych chrominancji. Związane jest to z mniejszą dynamiką sygnału chrominancji. Z tabeli 2.5 wynika, że w całym przedziale wartości indeksu QP , zwiększenie tej wartości o sześć powoduje dwukrotne poszerzenie przedziału kwantyzacji. Należy zauważyć, że ponieważ w strumieniu bitowym umieszczana jest wyłącznie informacja o parametrze kwantyzacji luminancji, a indeksowi QP_Y nie zawsze odpowiada taka sama wartość indeksu QP_C , to zmiana o 6 indeksu QP w strumieniu bitowym nie zawsze odpowiada dwukrotnemu poszerzeniu przedziałów kwantyzacji chrominancji.

W dalszej części pracy przyjęto dla uproszczenia, że oznaczenie QP będzie odnosiło się do składowej luminancji.

2.1.4.7. Szeregowanie próbek transformaty

Energia sygnału wizyjnego koncentruje się w niskich częstotliwościach. Aby wykorzystać to zjawisko do zwiększenia efektywności kompresji, wszystkie standardy kodowania sekwencji wizyjnych definiują w odpowiedni sposób kolejność umieszczania w strumieniu bitowym próbek transformaty. W standardzie MPEG-4 AVC/H.264, dla kodowania sekwencji z wybieraniem kolejnoliniowym, wykorzystuje się uporządkowanie wężykowe przedstawione na rysunku 2.10.



Rysunek 2.10: Zdefiniowane w standardzie MPEG-4 AVC/H.264 szeregowanie próbek transformaty w bloku 4×4 . Ilustracja dla kodowania obrazu z wybieraniem kolejnoliniowym

2.1.4.8. Filtr deblokujący

Cechą charakterystyczną algorytmów stratnego kodowania sekwencji wizyjnych, które bazują na blokowym kodowaniu transformatowym, jest występowanie tzw. efektu blokowego [32]. Są to zniekształcenia, które stają się szczególnie dokuczliwe, gdy współczynnik kompresji osiąga duże wartości. Ich występowanie powoduje znaczne obniżenie subiektywnej jakości sekwencji. Wpływają one negatywnie na efektywność kompresji oddziałując niekorzystnie na mechanizm predykcji z kompensacją ruchu.

Standard MPEG-4 AVC/H.264 odróżnia się od poprzednich rozwiązań między innymi tym, że definiuje adaptacyjny filtr usuwający efekt blokowy. Filtr ten będzie dalej nazywany *filtrem deblokującym*.

Filtr deblokujący działa wewnątrz pętli predykcji międzyobrazowej. Z tego względu predykcja z kompensacją ruchu realizowana jest na podstawie zdekodowanych obrazów, w których został zredukowany efekt blokowy. Ponieważ filtracja deblokująca realizowana

jest po procesie kodowania obrazu, rezultaty jej działania nie mają wpływu na mechanizmy predykcji wewnątrzbrazowej.

Standard MPEG-4 AVC/H.264 dopuszcza możliwość nieużywania mechanizmu filtracji usuwającej efekt blokowy.

2.1.4.9. Kodowanie entropijne

W standardzie MPEG-4 AVC/H.264 zdefiniowano dwie alternatywne techniki kontekstowego, adaptacyjnego kodowania entropijnego. Są to kodowania:

- słowami o zmiennej długości (ang. *Context-Adaptive Variable-Length Coding* – CAVLC) [134, 136, 137],
- arytmetyczne (ang. *Context-Adaptive Binary Arithmetic Coding* – CABAC) [101, 134, 136, 137].

Cechą pierwszego z nich jest stosunkowo niewielka złożoność. Drugi typ kodowania zapewnia większą efektywność kompresji, głównie dzięki bardzo zaawansowanym mechanizmom modelowania kontekstowego i estymacji prawdopodobieństwa. Nie pozostaje to bez wpływu na złożoność tego rozwiązania, która jest w tym przypadku znacząco większa.

2.2. Transkodowanie sekwencji wizyjnych

2.2.1. Wprowadzenie

Transkodowanie sekwencji wizyjnych to proces polegający na zmianie reprezentacji sygnału wizyjnego [180]. Różne mogą być cele takiej operacji, na przykład [3, 200]:

- zmiana prędkości bitowej strumienia binarnego i/lub jej zmienności w czasie tzn. zamiana pomiędzy kodowaniem ze stałą (CBR) lub zmienną (VBR) prędkością bitową,
- konwersja pomiędzy standardami zapisu skompresowanych danych wizyjnych,
- zmiana rozdzielczości przestrzennej i/lub czasowej,
- konwersja pomiędzy skalowalnym i nieskalowalnym strumieniem bitowym,
- zwiększenie zabezpieczenia strumienia bitowego przed błędami (np. poprzez odpowiednie rozlokowanie makrobloków Intra w obrazach P i B),
- dodanie logo lub znaków wodnych do zakodowanej sekwencji.

Niezależnie od celu transkodowania, proces jego realizacji powinien spełniać trzy podstawowe wymagania [3]:

- w jak największym stopniu powinny zostać wykorzystane informacje zawarte w oryginalnym strumieniu wizyjnym,
- jakość sekwencji wizyjnej po transkodowaniu powinna być jak najwyższa,
- w zastosowaniach, które wymagają niewielkich opóźnień związanych z kodowaniem sygnału, transkodowanie nie powinno prowadzić do przekroczenia dopuszczalnych limitów tego parametru (systemy czasu rzeczywistego).

W literaturze znaleźć można wiele podziałów transkoderów sekwencji wizyjnych. Zasadniczo, klasyfikacji dokonać można na trzy sposoby. W zależności od tego czy format zapisu strumienia wizyjnego ulega zmianie w wyniku konwersji, czy też pozostaje niezmieniony, to takie transkodowania nazywane są odpowiednio

- heterogenicznym [11, 58],
- homogenicznym [7, 85].

Kolejny podział dotyczy dziedziny sygnału, w której realizowane są operacje transkodowania. Rozróżnić możemy transkodowania:

- w dziedzinie przestrzennej [5, 11],
- w dziedzinie częstotliwości (próbek transformaty*) [74, 167],
- hybrydowe, łączące oba powyższe rozwiązania [29, 199].

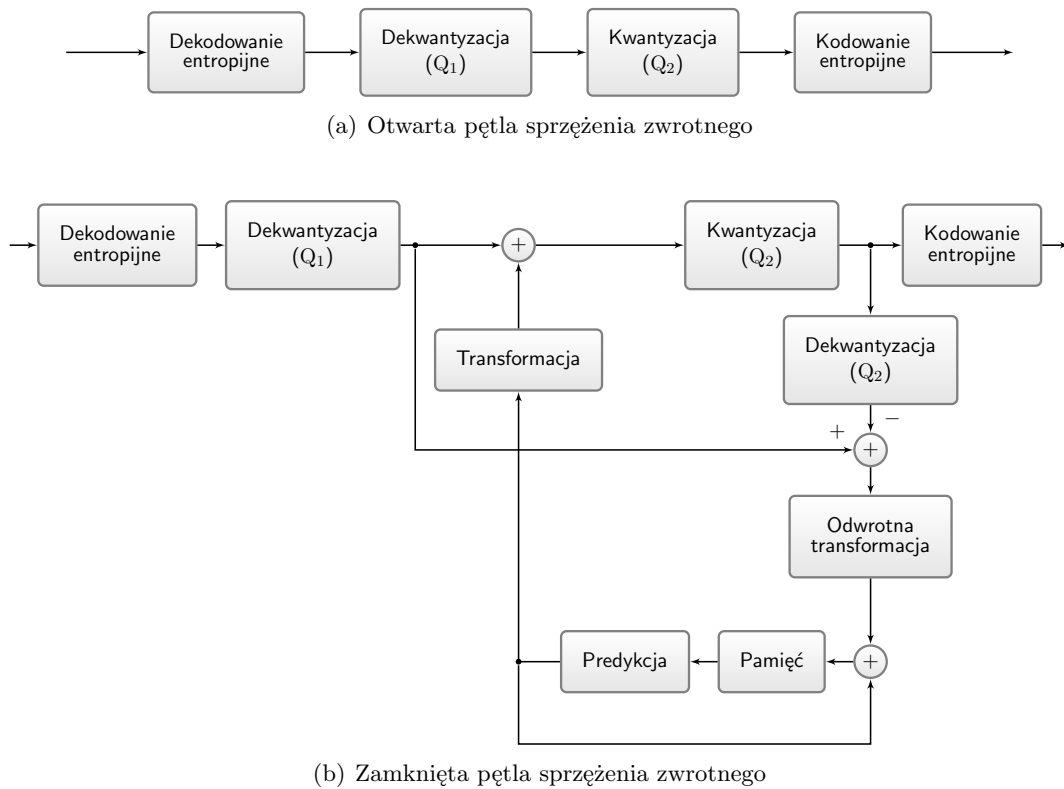
Ostatni podział technik transkodowania związany jest z faktem wykorzystania pętli sprzężenia zwrotnego w procesie transkodowania strumienia bitowego. Wyróżnić możemy architektury transkodowania:

- z otwartą pętlą [38, 167],
- z zamkniętą pętlą [7, 74].

Hybrydowe techniki kodowania sekwencji wizyjnych do kompresji wykorzystują mechanizmy predykcji zarówno wewnątrzbrazowej, jak i międzyobrazowej z kompensacją ruchu. Do poprawnego zdekodowania skompresowanego obrazu niezbędna jest zgodność przewidywanych próbek obrazu lub transformaty w koderze i dekerze. Jeżeli na skutek

*Taka nomenklatura zostanie przyjęta w tej pracy dla transkodowania strumieni zgodnych ze standardem MPEG-4 AVC/H.264, gdyż wartości próbek transformaty nie odpowiadają bezpośrednio składnikom częstotliwościowym widma sygnału.

transkodowania zmianie ulegną przewidywane wartości próbek w dekodерze, obraz zostanie niepoprawnie zrekonstruowany. Takie błędy obrazu będą się propagowały oraz kumulowały na skutek wykorzystywania mechanizmów predykcji. Tak powstający błąd dekodowania nazywany jest *błędem dryftu* lub krócej *dryftem* [3, 135]. Błąd dryftu powstający na skutek niezgodności sygnału predykcji międzyobrazowej będzie w tej pracy nazywany *dryftem międzyobrazowym*, natomiast błąd powstający na skutek niezgodności sygnału predykcji wewnątrzobrazowej *dryftem wewnątrzobrazowym*.



Rysunek 2.11: Uprozczone schematy architektur transkodowania w przypadku modyfikacji próbek transformaty

Na rysunku 2.11a przedstawiono schemat transkodera z otwartą pętlą sprzężenia zwrotnego. Taka architektura nie pozwala na korygowanie błędów wynikających z odmienności sygnałów predykcji w koderze i dekodерze, gdyż w transkodерze nie jest znana różnica tych wartości. Aby zapobiec zjawisku dryftu stosuje się architekturę z zamkniętą pętlą, której uproszczony schemat znaleźć można na rysunku 2.11b. Wykorzystanie pętli sprzężenia zwrotnego pozwala na kompensowanie błędów wynikających z odmienności sygnałów predykcji otrzymywanych w wyniku kodowania oryginalnej sekwencji oraz dekodowania

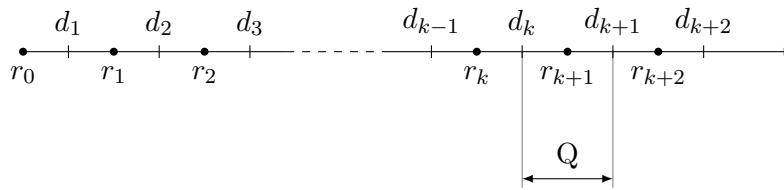
transkodowanych strumieni. Zastosowanie tej architektury nakłada dużo większe wymagania na dostępną pamięć i moc obliczeniową systemu dokonującego transkodowania niż rozwiązanie z otwartą pętlą.

Najczęściej celem transkodowania jest zmniejszenie prędkości transmisji strumienia bitowego. Można to osiągnąć kosztem:

- pogorszenia jakości obrazu,
- redukcji jego rozdzielczości przestrzennej,
- ograniczenia rozdzielczości czasowej sekwencji wizyjnej.

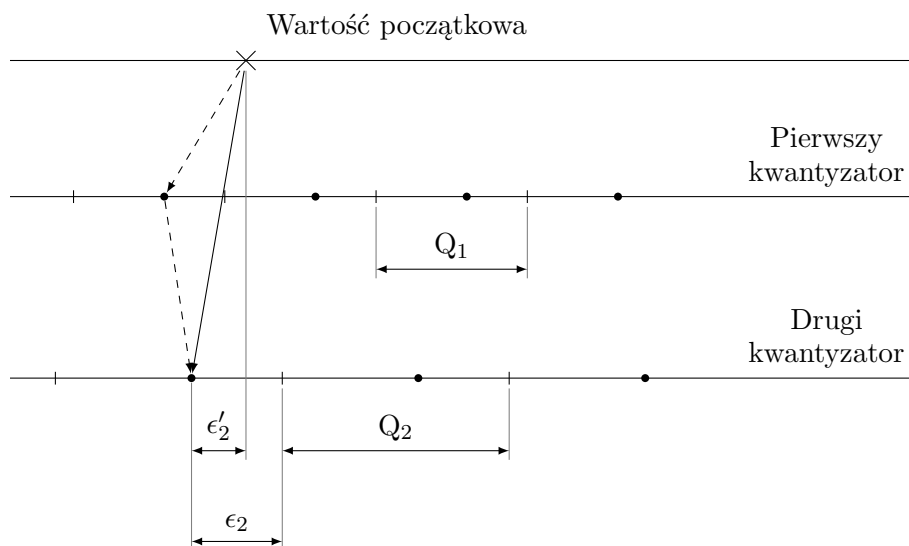
Pierwsza z wymienionych metod polega na redukcji próbek transformaty, która może być realizowane poprzez rekwantyzację [75, 156, 192] lub selektywną eliminację próbek [40, 167].

Rekwantyzacja wiąże się z wprowadzaniem dodatkowego błędu, który jest większy od błędu kwantyzacji. Dla uproszczenia rozważmy kwantyzator równomierny pokazany na rysunku 2.12. Szerokości przedziałów kwantyzacji wynoszą Q . Rozpatrzmy dwie, następujące po sobie kwantyzacje sygnału. Na początku dokonajmy analizy przypadku zilustrowanego na rysunku 2.13a. Wartości Q_1 oraz Q_2 oznaczają odpowiednio szerokości przedziałów dla pierwszej i drugiej kwantyzacji. Symbolem ϵ_2 oznaczony został maksymalny błąd kwantowania drugiego kwantyzatora. Możemy zauważyć, że w wyniku drugiego kwantowania, błąd reprezentacji oryginalnej wartości ϵ'_2 jest mniejszy niż maksymalny błąd kwantyzacji drugiego z kwantyzatorów ϵ_2 .

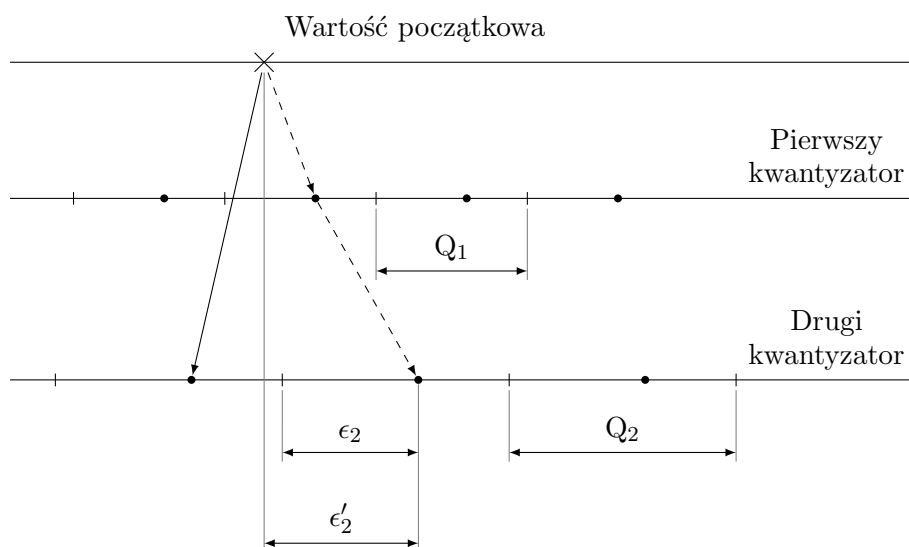


Rysunek 2.12: Poziomy decyzji (d_i) i rekonstrukcji (r_i) w kwantyzatorze równomiernym

Odmienna sytuacja została przedstawiona na rysunku 2.13b. W tym przypadku rzeczywista wartość błędu ϵ'_2 jest większa niż maksymalny błąd drugiego kwantyzatora ϵ_2 . W związku z tym należy stwierdzić, że w przypadku ogólnym błędy rekwantyzacji są większe od błędów kwantyzacji. Na podstawie powyższego możemy wnioskować, że transkodowanie wykorzystujące technikę rekwantyzacji powoduje zmniejszenie efektywności kompresji w stosunku do kodowania oryginalnej sekwencji.



(a) Błąd reprezentacji wartości próbki ϵ'_2 powstający na skutek dwukrotnej kwantyzacji jest mniejszy niż maksymalny błąd kwantyzacji drugiego kwantyzatora ϵ_2



(b) Błąd reprezentacji wartości próbki ϵ'_2 powstający na skutek dwukrotnej kwantyzacji jest większy niż maksymalny błąd kwantyzacji drugiego kwantyzatora ϵ_2

Rysunek 2.13: Ilustracja procesu rekwantyzacji próbek. Rysunek inspirowany ilustracjami w pracach [75, 156]

W literaturze znaleźć można przeglądy narzędzi stosowanych w procesie transkodowania, gdy strumienie przed i po konwersji powstają w wyniku wykorzystania klasycznych technik kompresji [3, 135, 166, 180, 200]. Brak jest natomiast publikacji pokazującej aktualny stan wiedzy w dziedzinie transkodowania sekwencji wizyjnych w przypadku, gdy jeden lub oba strumienie powstają dzięki zastosowaniu zaawansowanych technik kompresji. Ponieważ jest to istotne dla poniższej pracy, kolejne punkty służą zapełnieniu tej luki.

2.2.2. Transkodowanie pomiędzy strumieniami wizyjnymi zakodowanymi z użyciem klasycznych technik oraz zaawansowanych technik kompresji

Standard MPEG-4 AVC/H.264 definiuje wiele technik kodowania odmiennych od wcześniej stosowanych rozwiązań, co zostało szerzej przedstawione w punkcie 2.1. Jedną z najbardziej znaczących różnic jest wykorzystanie odmiennej transformacji. Zarówno stosowane wcześniej przekształcenie DCT, jak i transformacja zdefiniowana w standardzie MPEG-4 AVC/H.264 mają charakter liniowy. Istnieje zatem przekształcenie pozwalające zamienić próbki jednej transformaty w próbki drugiej transformaty. Takie przekształcenie zostało przedstawione w wielu pracach [17, 20, 21, 24, 48, 49, 55, 83, 121, 143, 204]. Niestety jego bezpośrednia implementacja powoduje, że nakłady obliczeniowe są większe niż w przypadku wykonania szybkiego odwrotnego przekształcenia DCT [22, 35, 51, 77] oraz transformacji wg standardu MPEG-4 AVC/H.264 [97]. W związku z tym większość autorów proponuje szybkie realizacje związane z utratą precyzji obliczeń.

Konwersja pomiędzy próbkami transformat pozwala na implementację transkodera pracującego w dziedzinie próbek transformaty. W przypadku kodowania wewnątrzbrazowego niezbędne wtedy staje się wykorzystanie technik predykcji wewnątrzbrazowej realizowanej w tej dziedzinie (w przeciwieństwie do technik predykcji w dziedzinie obrazu zdefiniowanych w standardzie MPEG-4 AVC/H.264). Stosowne rozwiązania znaleźć można w [18, 141, 154, 206].

Elementem wpływającym na efektywność kompresji jest mechanizm wyboru trybu kodowania wewnątrzbrazowego. W pracach [4, 42, 58, 70, 72, 94, 95, 108, 123, 128, 150, 159, 175, 202] opisane zostały efektywne algorytmy decyzyjne możliwe do wykorzystania w procesie transkodowania obrazów typu I.

Standard MPEG-4 AVC/H.264 wprowadza bardzo wiele nowych narzędzi kompresji międzyobrazowej. W związku z tym transkodowanie pomiędzy strumieniami zakodowanymi z wykorzystaniem klasycznych i zaawansowanych technik kompresji jest zagadnieniem nietrywialnym. Jednym z istniejących problemów jest fakt wykorzystywania odmiennych mechanizmów predykcji wektorów ruchu oraz interpolacji obrazów odniesienia. W efekcie zastosowanie wektorów ruchu z transkodowanego strumienia daje nieoptymalne rezultaty. Czasem jednak niezbędne jest poświęcenie efektywności kompresji kosztem szybkości transkodowania i wykorzystanie trybów kodowania oraz wektorów ruchu takich samych

jak w transkodowanym strumieniu bitowym. Możliwa jest wtedy konwersja próbek transformaty sygnału predykcji. Niestety w wyniku ich rekwantyzacji pojawia się dodatkowe zniekształcenie obrazu. Problem ten można rozwiązać poprzez kompensację powstających błędów [171, 173]. Pozostaje jeszcze zagadnienie odmiennych filtrów interpolacyjnych i związana z tym różnica przewidywanych wartości próbek obrazu. W pracach [129, 172–174] przedstawiono w jaki sposób można skompensować istniejące różnice.

Ponieważ wykorzystanie nieoptymalnych wektorów ruchu oraz trybów kodowania makrobloku może prowadzić do znacznej redukcji efektywności kompresji [84], w wielu pracach proponuje się szybkie mechanizmy decyzyjne. Bazują one na informacjach zawartych w wejściowym strumieniu bitowym, w celu usprawnienia procesu decyzyjnego. Propozycje takich algorytmów estymacji ruchu oraz mechanizmów wyboru trybu kodowania makrobloku, dla transkodowania strumieni bitowych zgodnych ze standardem MPEG-2 do postaci zgodnej ze standardem MPEG-4 AVC/H.264, znaleźć można w [19, 43–45, 78, 79, 96, 127, 170, 188–191, 202, 203, 213]. Prace [11–13, 47, 56, 205] przedstawiają takie algorytmy dla wejściowych strumieni bitowych zgodnych ze standardem H.263, natomiast publikacje [76, 92] dotyczą transkodowania strumieni zgodnych z normą MPEG-4 Visual.

Istotnym elementem wpływającym na efektywność kompresji jest algorytm sterowania prędkością bitową. Przykłady rozwiązań dedykowanych dla transkodera heterogenicznego strumieni bitowych zgodnych ze standardem MPEG-4 AVC/H.264 znaleźć można w [57, 107, 198].

Zmiana formatu skompresowanego strumienia wizyjnego może być powiązana z realizacją dodatkowej funkcji np. redukcją rozdzielczości przestrzennej. W przypadku wykorzystania transkodera kaskadowego dodanie takiej funkcjonalności jest stosunkowo proste i sprowadza się do decymacji obrazu poddawanego powtórnemu kodowaniu. Rozwiązania bardziej efektywne obliczeniowo wymagają algorytmów konwersji pomiędzy próbkami różnych transformat, połączonej z redukcją rozdzielczości, odpowiednich mechanizmów wyboru wektorów ruchu i trybu kodowania makrobloku. Rozwiązania powyższych problemów znaleźć można w [19, 58, 106, 108, 181, 201].

Powyżej przedstawione zostały techniki konwersji strumienia bitowego zakodowanego z wykorzystaniem klasycznych technik kompresji do strumienia zgodnego ze standardem MPEG-4 AVC/H.264. Czasami, ze względu na konieczność zachowania kompatybilności z istniejącymi systemami istnieje konieczność wykonania odwrotnej zamiany. Tematyka

transkodowania do strumieni zgodnych ze standardem MPEG-2 została podjęta między innymi w [23, 80, 104, 142], natomiast więcej informacji o transkodowaniu do standardu H.263 znaleźć można w [12, 108].

Format kompresji sekwencji wizyjnych *Windows Media Video* (WMV) został przedłożony do SMPTE i stanowił podstawę do utworzenia standardu VC-1. Wykorzystuje on również szereg zaawansowanych technik kompresji, a przykłady konwersji strumieni zakodowanych z wykorzystaniem klasycznych technik kompresji do tego właśnie formatu znaleźć można w [144, 146]. W pracy [145] przedstawiono dodatkowo techniki efektywnego transkodowania ze zmianą rozdzielczości przestrzennej.

Ostatnim ze standardów, które bazują na zaawansowanych technikach kompresji, jest ustanowiony przez *AVS Working Group of China* standard AVS. W artykule [54] zaprezentowane zostały techniki pozwalające na szybkie transkodowanie strumieni zgodnych ze standardem MPEG-2 do postaci zgodnej ze standardem AVS.

2.2.3. Transkodowanie pomiędzy strumieniami wizyjnymi zakodowanymi z wykorzystaniem zaawansowanych technik kompresji

Najbardziej upowszechnionym standardem wykorzystującym zaawansowane techniki kompresji jest MPEG-4 AVC/H.264. Transkodowanie homogeniczne strumieni wizyjnych zgodnych z tym standardem jest procesem bardzo wymagającym obliczeniowo. W związku z tym powstało wiele propozycji rozwiązań, które kosztem pewnego obniżenia jakości zdekodowanej sekwencji w stosunku do wykorzystania transkodera kaskadowego, pozwalają na zmniejszenie wymagań implementacyjnych.

Wykorzystywanie mechanizmów predykcji powoduje, że zmiana jednego bloku obrazu może mieć wpływ na kolejne kodowane bloki, co w praktyce oznacza pojawienie się dryftu. Jest to szczególnie istotne w przypadku wewnątrzbrazowego kodowania obrazu. W przypadku skrajnym, gdy obraz o rozdzielczości 704×576 punktów (4cif) jest zakodowany z wykorzystaniem makrobloków typu Intra_4x4 tworzących jeden plaster, błąd predykcji powstający na skutek modyfikacji próbek transformaty pierwszego bloku może propagować się ponad 300 razy prowadząc do znacznej degradacji jakości obrazu. Aby rozwiązać ten problem w pracach [25, 109, 111, 113] zaproponowano techniki kompensacji zmiany przewidywanych wartości próbek.

W typowych zastosowaniach kompresji sekwencji wizyjnych struktura GOP składa się z niewielkiej liczby obrazów. Podział strumienia wizyjnego na stosunkowo niewielkie, niezależnie dekodowalne bloki powoduje, że ma on mniejszą podatność na błędy transmisji. Łatwiejsze staje się szybkie przeglądanie sekwencji wizyjnej w przód i w tył oraz jej modyfikacja. W zastosowaniach telewizyjnych pozwala na zminimalizowanie opóźnień pomiędzy czasem rozpoczęcia czytania strumienia bitowego i czasem rozpoczęcia prezentacji dekodowanej sekwencji wizyjnej. W takich zastosowaniach zakłada się, że obrazy kluczowe rozpoczynające grupę obrazów powinny pojawiać się w przybliżeniu co pół sekundy. Dla częstotliwości wyświetlania równej 30 Hz oznacza to strukturę GOP zbudowaną z 15 obrazów. Tak więc droga propagacji błędu predykcji jest znacznie krótsza w przypadku kodowania międzyobrazowego niż dla kodowania wewnątrzobrazowego, szczególnie uwzględniając fakt, że nie wszystkie obrazy są wykorzystywane do wyznaczania sygnału predykcji.

Analogiczne spostrzeżenia stały u podstaw stworzenia algorytmu transkodowania nazwanego przez autorów MRA (ang. *Mixed Requantization Algorithm*) [85]. Zakłada on transkodowanie obrazów typu I z wykorzystaniem schematu CPDT (ang. *Cascaded Pixel Domain Transcoder*) [180], gdyż taka struktura zapewnia, że błędy rekwantyzacji nie spowodują pojawienia się dryftu. Transkodowanie z wykorzystaniem techniki CPDT polega na wyznaczaniu błędów rekwantowania na podstawie próbek obrazu uzyskanych w wyniku zdekodowania strumienia wejściowego. Możliwe jest jednakże przybliżone określenie tych błędów bez konieczności dekodowania obrazu, na podstawie znajomości wartości próbek transformaty. Transkoder wykorzystujący taką technikę określany jest w literaturze jako FPDT (ang. *Fast Pixel Domain Transcoder*) [6]. Autorzy techniki MRA zaproponowali adaptację techniki FPDT do transkodowania obrazów kodowanych międzyobrazowo w strumieniach wizyjnych uzyskanych dzięki wykorzystaniu zaawansowanych metod kompresji. Jednak użycie techniki FPDT jest źródłem dryftu. W związku z tym, w pracy [29] zaproponowano rozwinięcie algorytmu MRA polegające na wykorzystaniu technik transkodowania makrobloków typu Intra przedstawionych w [25, 109]. Ponieważ obrazy typu B niewykorzystywane do predykcji nie są źródłem dryftu, zaproponowano zastosowanie techniki otwartej pętli do transkodowania makrobloków Inter w nich zawartych.

Aby poszerzyć zakres zastosowań architektury MRA, autorzy przedstawili jej rozwinięcie [28]. Dedykowane jest ono do transkodowania strumieni wizyjnych, w których część

obrazów typu B może być wykorzystana do wyznaczania sygnału predykcji w innych obrazach. Obrazy typu B tworzą hierarchiczną strukturę, umożliwiając w ten sposób realizację skalowalności czasowej. Takie strumienie mogą być następnie transkodowane do postaci zapewniającej skalowalność jakościową [26, 27, 30].

Innym rozszerzeniem przedstawionej powyżej metody, jest proponowana technika zmniejszenia liczby operacji niezbędnych do wyznaczenia zinterpolowanego obrazu wykorzystywanego w predykcji międzyobrazowej. Autorzy proponują wykorzystanie filtrów o mniejszej liczbie współczynników niż jest to definiowane przez standard MPEG-4 AVC/H.264 [112]. Taki zabieg powoduje jednakże obniżenie jakości transkodowanej sekwencji.

Efektywność kompresji sekwencji wizyjnych w dużej mierze uzależniona jest od mechanizmów wyboru odpowiedniego trybu kodowania makrobloku. Ma to szczególne znaczenie w przypadku kiedy dokonuje się znacznej redukcji prędkości transmisji strumienia bitowego [84]. W literaturze znaleźć można różne propozycje realizacji szybkiego i efektywnego procesu decyzyjnego [84, 86, 87, 105, 147, 149, 209, 210]. Wśród nich znajdują się rozwiązania polegające na ograniczaniu liczby dozwolonych trybów kodowania [84, 86, 105, 147, 149, 209] oraz takie w których proponuje się nowe podejście do problemu optymalizacji „prędkość bitowa-zniekształcenie” (ang. *Rate Distortion* – RD) [147, 149, 210].

W procesie transkodowania wpływ na efektywność kompresji ma również algorytm sterowania prędkością bitową. W przeciwieństwie do kodowania oryginalnej sekwencji, możliwe jest tu wykorzystanie dodatkowej informacji zawartej w wejściowym strumieniu wizyjnym. Przykłady takich rozwiązań znaleźć można w [52, 53, 110, 209].

W związku z upowszechnianiem się mobilnych terminali multimedialnych, zwiększa się zapotrzebowanie na efektywne techniki transkodowania dostosowujące strumienie wizyjne do możliwości dekodowania przez takie urządzenia. Wiąże się to często ze zmianą rozdzielczości przestrzennej obrazu, która może być realizowana w dziedzinie przestrzennej lub próbek transformaty [125]. Różne algorytmy estymacji ruchu oraz szybkiego wyboru trybu kodowania makrobloku w procesie transkodowania zmniejszającego rozdzielczość obrazu znaleźć można w [16, 31, 89, 148, 168, 211]. Takie transkodowanie powoduje zmniejszenie prędkości bitowej strumienia binarnego. Metody pozwalające na efektywną estymację prędkości bitowej transkodowanego strumienia, gdy zmniejszeniu uległa rozdzielczość przestrzenna obrazu zaproponowane zostały w pracach [169, 197].

Dostosowanie strumienia bitowego do możliwości mobilnych terminali może wiązać się z koniecznością redukcji rozdzielczości czasowej sekwencji wizyjnej. W takiej sytuacji konieczne jest wyznaczenie nowych wektorów ruchu. W pracy [152] zaproponowano efektywny sposób estymacji ruchu w procesie transkodowania redukującego rozdzielczość czasową sekwencji wizyjnej.

Skompresowany strumień wizyjny w pewnych zastosowaniach musi być transmitowany i przechowywany w zaszyfrowanej postaci. W przypadku, gdy zaistnieje potrzeba jego transkodowania pojawia się luka w systemie bezpieczeństwa, gdyż musi on być przed wykonaniem tej operacji odszyfrowany i zaszyfrowany tuż po niej. Rozwiązaniem jest szyfrowanie wyłącznie informacji o znaku próbek transformaty i wektorów ruchu [178]. W ten sposób możliwa jest regulacja prędkości transmisji strumienia wizyjnego bez możliwości jego odszyfrowania.

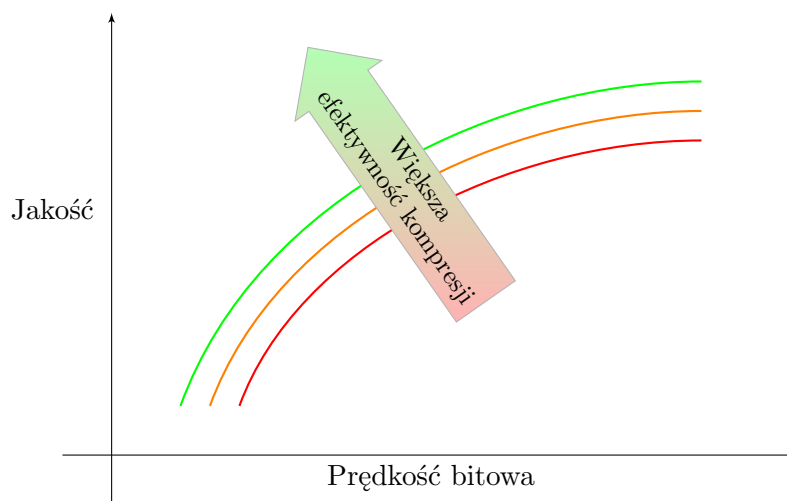
Niektóre zastosowania wymagają, aby do skompresowanej sekwencji wizyjnej dodane zostały pewne elementy, jak na przykład logo nadawcy. Pełna rekompresja powoduje obniżenie jakości obrazu i jest bardzo nieefektywna obliczeniowo. W związku z tym w pracach [88, 90, 91] zaproponowano techniki pozwalające na dodanie informacji wizyjnej do strumienia bitowego wymagające tylko fragmentarycznej rekompresji.

Brak publicznie dostępnych referencyjnych implementacji standardów VC-1 i AVS jest jednym z powodów pojawiania się bardzo niewielu prac dotyczących transkodowania heterogenicznego pomiędzy strumieniami uzyskanymi dzięki wykorzystaniu zaawansowanych technik kompresji. Ze względu na pewne podobieństwa między różnymi standardami możliwe jest wykorzystanie technik opracowanych dla innych przypadków. Dedykowane rozwiązania służące transkodowaniu strumieni zgodnych z VC-1 do MPEG-4 AVC/H.264 znaleźć można w [82, 120]. W pracy [183] zaproponowane zostały techniki pozwalające na wykorzystanie informacji zawartych w strumieniu zgodnym z AVS do przyspieszenia procesu wyznaczania trybu predykcji wewnątrzobrazowej w strumieniu zgodnym z MPEG-4 AVC/H.264, natomiast w pracy [184] przedstawiono efektywne algorytmy transkodowania obrazów kodowanych międzyobrazowo.

2.3. Pomiar jakości sekwencji wizyjnych

2.3.1. Wprowadzenie

Porównywanie algorytmów stratnej kompresji i rekompresji sekwencji wizyjnych jest nieodłącznie powiązane z oceną jakości obrazu. Zazwyczaj wraz ze zmniejszaniem się prędkości bitowej pogarsza się jakość zdekodowanej sekwencji. W zależności od zastosowanych rozwiązań możemy jednak otrzymać różną jakość dla różnych wartości prędkości bitowej. Powiązanie jakości obrazu bądź jego zniekształceń z prędkością bitową pozwala na określenie efektywności kompresji [117, 118, 131, 151, 153, 193]. Na rysunku 2.14 przedstawione zostały przykłady typowych zależności jakości sekwencji od prędkości bitowej.



Rysunek 2.14: Przykładowe krzywe „jakość-prędkość bitowa”

Ocenę jakości sekwencji wizyjnej trudno zobiektywizować, ze względu na złożoność ludzkiego systemu widzenia (HVS). Różni ludzie na różne sposoby oceniają dokuczliwość odmiennych zniekształceń. Ponadto odczucia człowieka odnośnie jakości obrazu mogą zmieniać się w związku z jego nastrojem, zmęczeniem, z czasem i okolicznościami oceny, itp. Mimo wszystko uśrednienie ocen wielu osób pozwala na wiarygodne określenie poziomu zniekształceń obrazu i jest miarą jego jakości. Takie miary jakości noszą nazwę subiektywnych (obserwacyjnych) [32, 153]. Prowadzenie testów z udziałem wielu ludzi jest jednak bardzo trudne i czasochłonne. W związku z tym powszechnie stosowane są obiektywne (automatyczne) miary zniekształceń, z których najpopularniejszą jest miara PSNR (ang. *Peak Signal to Noise Ratio*) [32, 153, 196]. Istnieją techniki, które wykazują większą korelację z psychowizualną oceną jakości przez obserwatorów [119, 124, 179, 185, 186], lecz

w większości przypadków mają one ograniczony obszar zastosowań i nie są wykorzystywane do oceny efektywności algorytmów kompresji sekwencji wizyjnych.

W kolejnych punktach zostaną przedstawione metody oceniania jakości sekwencji wizyjnych, wykorzystywane do badań, których wyniki są zaprezentowane w tej pracy. w rozprawie.

2.3.2. Obiektywna miara jakości

W rozprawie przyjęto, że do prezentacji wyników obiektywnej jakości sekwencji wizyjnej wykorzystywana będzie miara PSNR. Autor zdaje sobie sprawę, że jej wartość nie zawsze we właściwy sposób odzwierciedla subiektywną ocenę obserwatorów. Jest to jednak miara powszechnie stosowana, więc jej zastosowanie pozwala na porównanie otrzymanych wyników z rezultatami badań innych autorów.

Miara jakości PSNR określona jest następującym wzorem [32]:

$$\text{PSNR} = -10 \cdot \log_{10} \frac{\sum_{i=1}^N e_i^2}{N \cdot 255^2} \text{ [dB]}, \quad (2.11)$$

gdzie:

i – numer punktu obrazu,

N – liczba punktów obrazu,

255 – największa wartość próbki w obrazie oryginalnym,

e_i – wartość różnicy odpowiadających sobie próbek w porównywanych obrazach.

2.3.3. Subiektywna ocena jakości

Propozycje sposobu prowadzenia badań subiektywnej oceny jakości sekwencji wizyjnych zostały sformalizowane w zaleceniach ITU-R BT.500-11 [65] i ITU-T P.910 [69]. Pierwsze z wymienionych zaleceń jest dłużej rozwijane i dedykowane jest dla zastosowań telewizyjnych. Drugie natomiast przeznaczone jest do zastosowań multimedialnych [196]. Autor zdecydował się na wykorzystanie wskazań zawartych w zaleceniu BT.500-11.

Zalecenie BT.500-11 definiuje dwie klasy metod oceny jakości sekwencji:

- podwójnego wymuszenia (ang. *Double Stimulus* – DS),
- pojedynczego wymuszenia (ang. *Single Stimulus* – SS).

W pierwszym przypadku grupa obserwatorów bezpośrednio porównuje sekwencje zniekształcone z oryginalnymi. Druga klasa metod odnosi się do sytuacji, gdzie sekwencje zmodyfikowane oceniane są bez bezpośredniego porównania z sekwencjami nieznieskształconymi. Autor pracy zdecydował się na wykorzystanie właśnie tego podejścia, gdyż lepiej przybliża ono rzeczywiste warunki obserwacji materiałów wizyjnych, gdzie widz nie ma możliwości skonfrontowania oglądanej sekwencji wizyjnej z oryginałem.

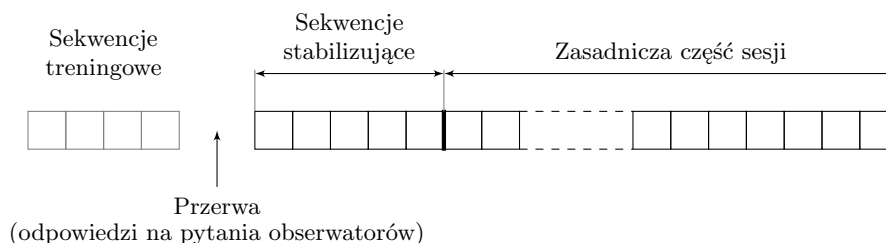
W zaleceniu BT.500 rozróżnia się dwa rodzaje skali oceny jakości: ciągłą (ang. *Continuous Quality-Scale* – CQS) i skokową. W badaniach przyjęte zostało wykorzystanie pierwszej z nich w celu uniknięcia błędów kwantyzacji oceny. Zastosowana skala została zilustrowana na rysunku 2.15. Etykiety po lewej stronie stanowią wskazówkę dla oceniającego, jak należy interpretować dany fragment skali jakości.



Rysunek 2.15: Ciągła skala głosowania dla metody oceny jakości subiektywnej. Rysunek bazujący na zaleceniu BT.500

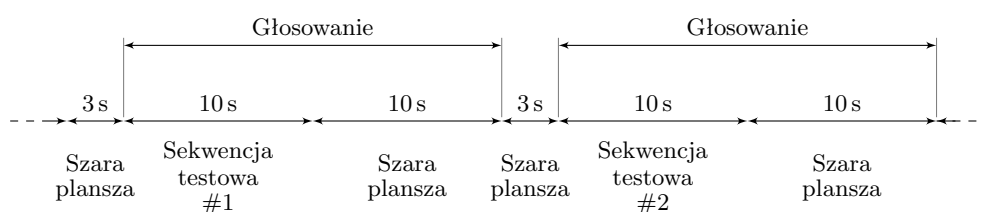
Każda sesja testowa rozpoczynała się wyświetleniem sekwencji treningowych powiązanym z zapoznaniem obserwatora z metodologią badań, rodzajami pojawiających się zniekształceń, skalą ocen, użytymi sekwencjami itp. Po udzieleniu odpowiedzi na ewentualne pytania rozpoczynała się zasadnicza część sesji testowej. Wyświetlenie pierwszych pięciu sekwencji służy wyłącznie ustabilizowaniu opinii obserwatora i wyniki ich oceny nie były uwzględniane w końcowym rezultacie. Kolejne wyświetlane sekwencje tworzą zasadniczą część sesji. Przebieg sesji testowej został zilustrowany na rysunku 2.16. Dana sekwencja z określonym zniekształceniem w sesji testowej mogła wystąpić tylko raz.

Wyświetlenie każdej sekwencji wizyjnej poprzedzone było prezentacją szarej planszy przez czas 3 s i kończyło się prezentacją takiej samej planszy przez okres 10 s. Głosowanie



Rysunek 2.16: Przebieg sesji testowej dla wyznaczania subiektywnej oceny jakości sekwencji wizyjnych według zalecenia BT.500. Każdy z kwadratów oznacza czas przeznaczony na prezentację i ocenę pojedynczego materiału wizyjnego

mogło odbywać się w czasie prezentacji sekwencji i w okresie wyświetlania szarej planszy tuż po niej. Ilustrację tych zależności czasowych znaleźć można na rysunku 2.17.



Rysunek 2.17: Struktura prezentacji materiału testowego według sugestii zawartych w BT.500

W testach wzięło udział 19 obserwatorów, którzy nie są specjalistami w dziedzinie kompresji sekwencji wizyjnych. Do badań wykorzystany został profesjonalny monitor *EIZO ColorEdge CG240W*, skalibrowany wcześniej przy użyciu kalibratora *Eye-One Display 2*. Testy prowadzone były z udziałem każdego z obserwatorów niezależnie.

Do testów użyta została przygotowana przez doktoranta aplikacja. Jej interfejs użytkownika został przedstawiony na rysunku 2.18. Oprogramowanie to zajmowało się kontrolą odpowiednich wymagań czasowych oraz umożliwiało za pomocą odpowiedniego suwaka wskazanie oceny w ciągłej skali jakości. Aplikacja zapewniała, że każdemu z obserwatorów materiał testowy był prezentowany w odmiennej kolejności. W ten sposób zminimalizowany został wpływ ułożenia sekwencji testowych na ocenę jakości.



Rysunek 2.18: Widok przygotowanej przez autora tej pracy aplikacji do prowadzenia testów subiektywnej jakości sekwencji wizyjnych

2.4. Podsumowanie

W rozdziale przedstawione zostały podstawy kompresji sekwencji wizyjnych z naciskiem na techniki wykorzystywane przez standard MPEG-4 AVC/H.264 oraz metody oceny zniekształceń obrazu. Ponadto zaprezentowano zagadnienia związane z transkodowaniem strumieni wizyjnych uzyskanych dzięki wykorzystaniu zaawansowanych technik kompresji.

Analizując literaturę dotyczącą homogenicznego transkodowania sekwencji wizyjnych zgodnych z MPEG-4 AVC/H.264 dojść można do wniosku, że uwaga autorów koncentruje się nad stworzeniem rozwiązania, które przy mniejszej złożoności niż transkoder kaskadowy zapewni tylko nieznacznie większe straty transkodowania. Doktorantowi nie są znane publikacje, w których przedstawione byłyby propozycje rozwiązań zapewniających wyższą jakość transkodowanej sekwencji niż jest to możliwe do uzyskania w przypadku transkodera kaskadowego. Celowym więc jest zaproponowanie takich technik.

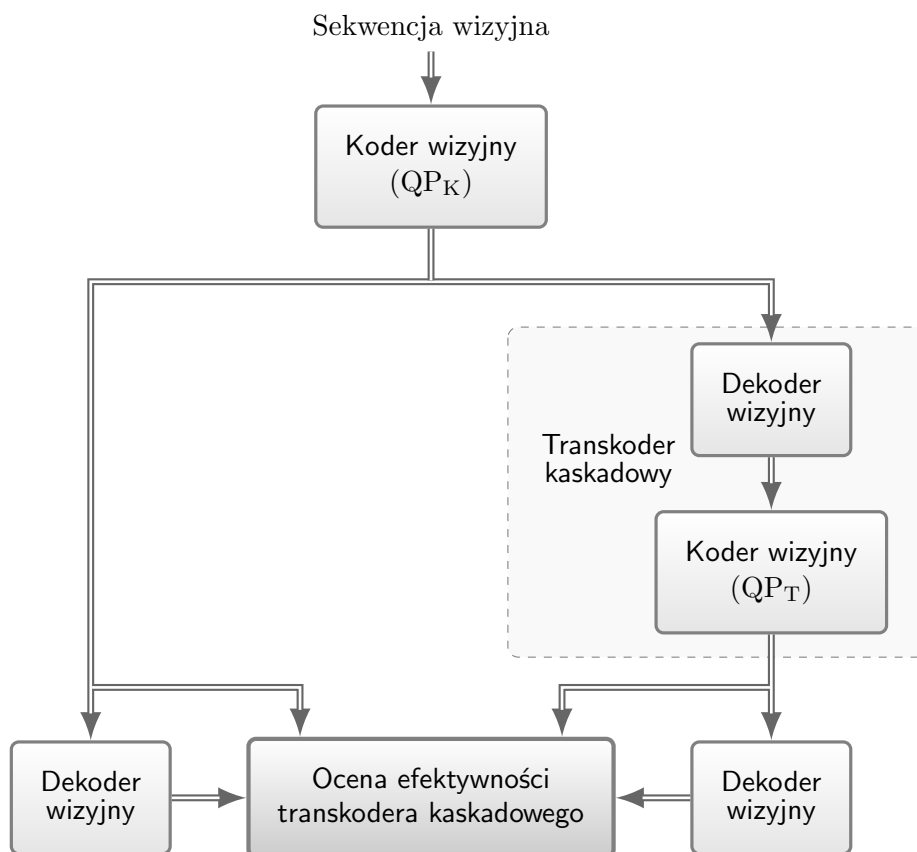
Analiza transkodera kaskadowego

3.1. Wprowadzenie

Kwantyzacja jest procesem stratnym, a więc nieodwracalnym. Ponowna kwantyzacja już raz skwantowanego sygnału wprowadza dodatkowe zniekształcenia (zjawisko to zostało dokładniej przedstawione w punkcie 2.2.1). Z tego powodu transkodowana sekwencja wizyjna, przy założeniu takiej samej prędkości transmisji strumienia binarnego, charakteryzuje się na ogół niższą jakością obrazu niż sekwencja wizyjna otrzymana w wyniku procesu kodowania sekwencji oryginalnej. Fragmentaryczne wyniki dotyczące strat jakości spowodowanych wykorzystaniem transkodera kaskadowego odnaleźć można w literaturze [75, 156]. Dotyczą one jednakże strumieni wizyjnych uzyskanych dzięki wykorzystaniu klasycznych technik kompresji. Autorowi nie są znane kompleksowe wyniki badań nad stratą jakości wynikającą z transkodowania strumieni wizyjnych powstałych w wyniku wykorzystania zaawansowanych technik kompresji. Wykorzystanie nowych narzędzi kompresji może mieć wpływ na zniekształcenia wynikające z ponownej kwantyzacji sygnału. W poniższym punkcie zaprezentowane zostaną własne, oryginalne wyniki badań pokazujące jaki wpływ na jakość zdekodowanej sekwencji ma zastosowanie transkodera kaskadowego.

3.2. Metodologia badań

Do badań wykorzystane zostały sekwencje testowe CITY, CREW HARBOUR i SOCCER. Zostały one przedstawione w dodatku A. Sposób przeprowadzania testów zilustrowany został na rysunku 3.1.



Rysunek 3.1: Badania efektywności transkodera kaskadowego

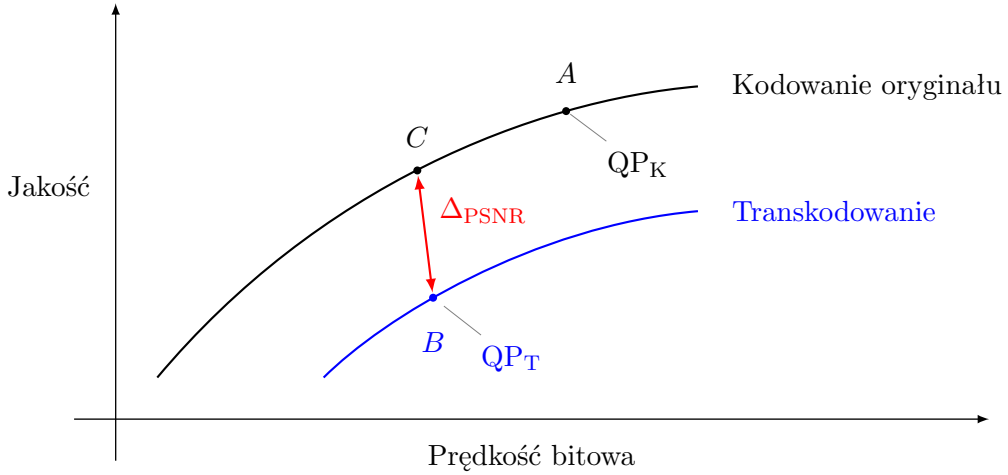
Badania przeprowadzono używając referencyjnego oprogramowania standardu MPEG-4 AVC/H.264 [160]. Aby uzyskać jak najlepszą jakość sekwencji dla danego strumienia binarnego, kodowanie następowało zawsze w trybie optymalizacji „prędkość bitowa-zniekształcenie” (RD).

Eksperymenty prowadzone były bez wykorzystania mechanizmu sterowania prędkością bitową, aby wyeliminować jego wpływ na otrzymane wyniki.

Kodery wizyjne: wykorzystywany do kodowania oryginalnych sekwencji oraz użyty w transkoderze były zawsze jednakowo skonfigurowane, a różnice dotyczyły tylko wartości parametru kwantyzacji (QP).

W pierwszej kolejności oryginalne sekwencje testowe zostały poddane kodowaniu z różnymi wartościami indeksu QP_K . Otrzymane w ten sposób strumienie binarne były dekodowane i w rezultacie możliwe stało się wykreślenie krzywych „prędkość bitowa-jakość” dla kodowania oryginalnych sekwencji wizyjnych. Aby zbadać jak zmienia się jakość sekwencji w wyniku transkodowania z wykorzystaniem transkodera kaskadowego, ze zbioru otrzymanych wcześniej strumieni binarnych wybrano te, dla których indeks kwantyzatora wynosił

odpowiednio $QP_K \in \{25, 28, 31, 34, 37, 40\}$. Następnie wybrane strumienie poddane zostały transkodowaniu z nowymi indeksami kwantyzatora: $QP_T = QP_K + n$, $n = 0, 1, 2, \dots$. Każdy z tak otrzymanych strumieni binarnych był dekodowany. Dzięki temu możliwe stało się wykreślenie odpowiednich krzywych „prędkość bitowa-jakość”.



Rysunek 3.2: Strata jakości (Δ_{PSNR}) spowodowana transkodowaniem kaskadowym

Straty jakości wynikające z transkodowania kaskadowego można przedstawić na wiele sposobów. Dwa z nich będą wykorzystane w tej pracy. Odpowiednie zależności zostały zilustrowane na rysunku 3.2. Kodując sekwencję oryginalną z wartością indeksu QP_K otrzymujemy punkt A na krzywej pierwszego kodowania.

W wyniku transkodowania kaskadowego otrzymanego strumienia bitowego z nową wartością parametru kwantyzacji QP_T otrzymujemy nowy strumień binarny, którego parametry umiejscawiają go w punkcie B na krzywej transkodowania. Znając prędkość bitową tak otrzymanego strumienia możemy na krzywej „jakość-prędkość bitowa” kodowania oryginalnej sekwencji wskazać punkt C odpowiadający takiej samej prędkości bitowej. Różnica odległości punktów B i C stanowi wartość strat jakości powstałych na skutek transkodowania kaskadowego Δ_{PSNR} . Takie straty przedstawić można przykładowo w funkcji różnicy wartości parametrów kwantyzacji w strumieniu wyjściowym i wejściowym $\Delta_{QP} = QP_T - QP_K$, lub w funkcji stosunku prędkości bitowej po transkodowaniu (punkt B) do prędkości bitowej przed transkodowaniem (punkt A). Takie zależności zostaną przedstawione w tej pracy.

Badania strat transkodowania strumieni bitowych, w których występują obrazy I, P oraz B przeprowadzone zostały dla wielu kombinacji parametrów kodowania wyszczególnionych poniżej.

- Filtr deblokujący:
 - włączony,
 - wyłączony.
- Struktura grupy obrazów (GOP):
 - I-BBB-P-BBB-P-BBB-P-BBB (3P3B),
 - I-BB-P-BB-P-BB-P-BB-P-BB (4P2B),
 - I-BB-P-BB-P-BB-P-BB-P-BB-P-BB (5P2B).
- Relacja pomiędzy wartościami parametrów kwantyzacji w obrazach typu I (QP^I), P (QP^P) oraz B (QP^B):
 - $QP^I = QP^P = QP^B$,
 - $QP^I = QP^P = QP^B - 2$,
 - $QP^I = QP^P = QP^B - 6$,
 - $QP^I + 2 = QP^P = QP^B - 2$.

Straty jakości obrazu powstające na skutek transkodowania kaskadowego strumieni wizyjnych składających się wyłącznie z obrazów typu I przebadane zostały dla przypadków transkodowania strumieni uzyskanych z wykorzystaniem filtru deblokującego, a także bez wykorzystania tego narzędzia.

3.3. Transkodowanie strumieni wizyjnych z kodowaniem wewnątrz- i międzyobrazowym

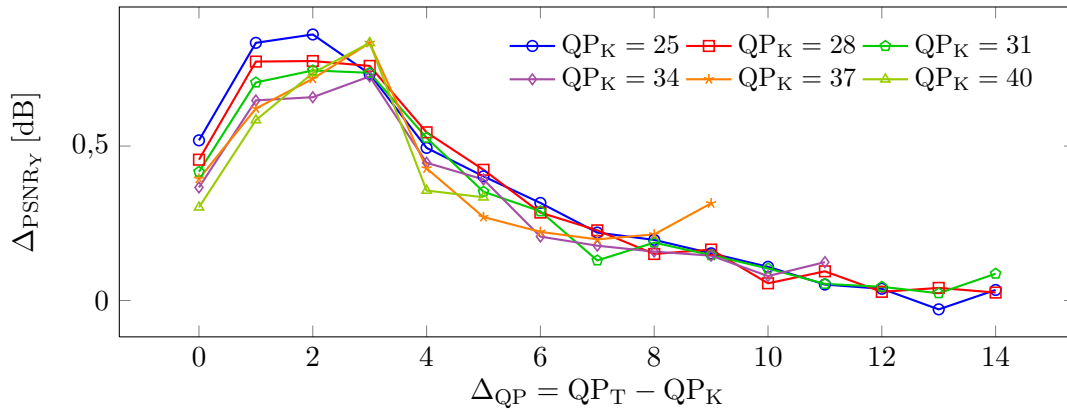
3.3.1. Wprowadzenie

Aby zapewnić wysoki stopień kompresji, do kodowania sekwencji wizyjnych wykorzystuje się zarówno techniki wewnątrzobrazowe jak i międzyobrazowe. W takiej sytuacji, w strumieniu wizyjnym pojawiają się z różną częstotliwością obrazy typu I, P oraz B. W kolejnych punktach zostaną przedstawione straty jakości, gdy takie strumienie są transkodowane z wykorzystaniem transkodera kaskadowego.

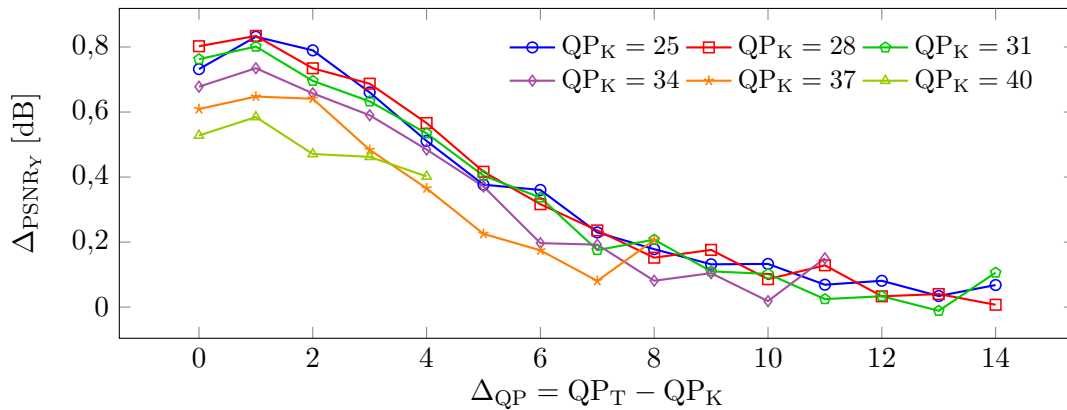
3.3.2. Zależność strat jakości sekwencji transkodowanej kaskadowo od zmiany wartości parametru kwantyzacji

Na rysunkach 3.3 i 3.4 przedstawione zostały, uśrednione dla czterech sekwencji, straty jakości spowodowane transkodowaniem kaskadowym w zależności od różnicy pomiędzy wartościami parametrów kwantyzacji kodera (QP_K) i transkodera kaskadowego (QP_T). Ze względu na obszerność przeprowadzonych badań, w pracy nie mogły znaleźć się wszystkie rezultaty doświadczeń. W dodatku B.1 przedstawione zostały przykłady wyników uzyskanych dla poszczególnych sekwencji.

Obserwując wyniki przeprowadzonych doświadczeń zauważyć można podobny charakter zmian strat jakości spowodowanych transkodowaniem kaskadowym w funkcji różnicy parametrów kwantyzacji w wyjściowym i wejściowym strumieniu wizyjnym.

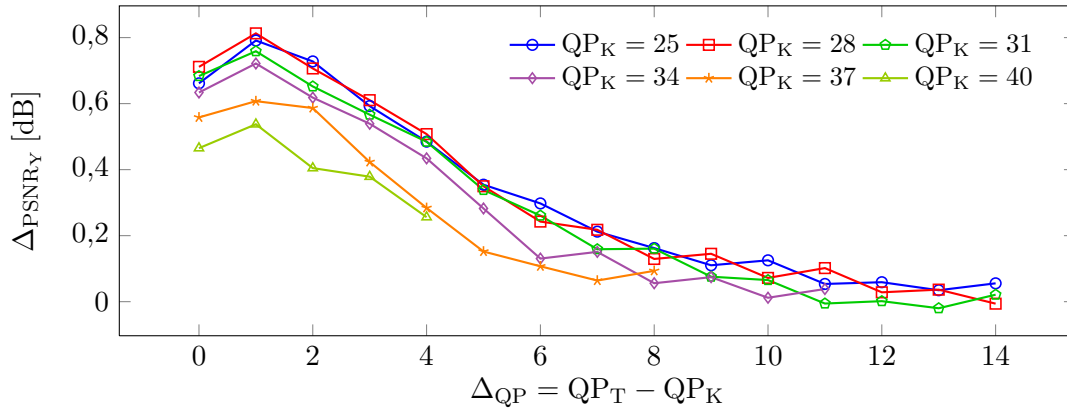


(a) Wyłączony filtr deblokujący

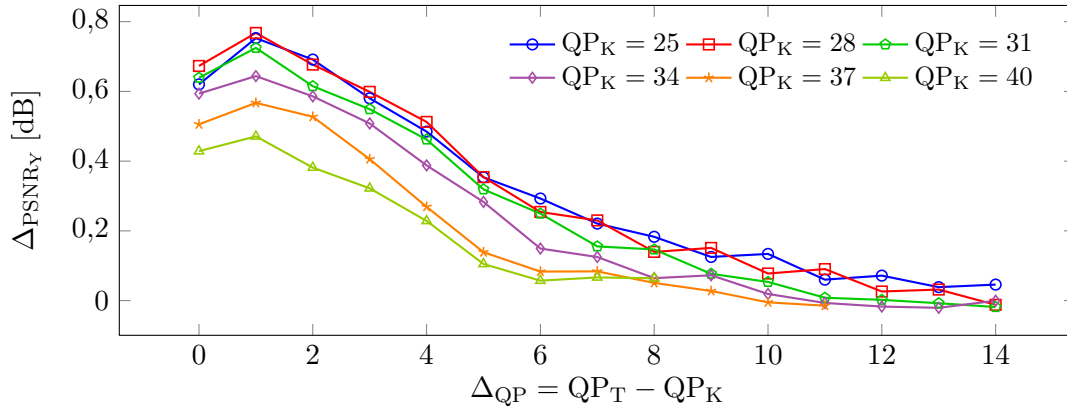


(b) Włączony filtr deblokujący

Rysunek 3.3: Straty jakości spowodowane wykorzystaniem transkodera kaskadowego w funkcji różnicy wartości parametrów kwantyzacji w wyjściowym (QP_K) i wyjściowym (QP_T) strumieniu bitowym. Wyniki uśrednione dla sekwencji CITY, CREW, HARBOUR i SOCCER (struktura GOP: 3P3B, $QP^I = QP^P = QP^B$, brak makrobloków Intra w obrazach P i B)



(a) Brak makrobloków Intra w obrazach P i B



(b) Dozwolone makrobloki Intra w obrazach P i B

Rysunek 3.4: Straty jakości spowodowane wykorzystaniem transkodera kaskadowego w funkcji różnicy wartości parametrów kwantyzacji w wejściowym (QP_K) i wyjściowym (QP_T) strumieniu bitowym. Wyniki uśrednione dla sekwencji CITY, CREW, HARBOUR i SOCCER (struktura GOP: 3P3B, $QP^I = QP^P = QP^B - 2$, włączony filtr deblokujący)

Transkodowanie kaskadowe, w wyniku którego nie ulega zmianie wartość parametru kwantyzacji ($QP_T = QP_K$), powoduje znaczące pogorszenie jakości zdekodowanej sekwencji. W przypadku transkodowania sekwencji skompresowanych bez wykorzystania filtra deblokującego straty transkodowania, dla zbadanych przypadków, zawierały się w granicach od 0,25 dB* do 0,7 dB[†]. Zastosowanie filtra spowodowało, że o ile dolna granica tego przedziału nie uległa zmianie[‡], to granica górna wzrosła do wartości 0,9 dB[§].

Zdefiniowane przez standard MPEG-4 AVC/H.264 transformacje są w pełni odwracalne, a rekwantyzacja sygnału z wykorzystaniem takiego samego kwantyzatora, jak w procesie

*Sekwencja CITY, $QP_K = 40$, struktura GOP: 3P3B, $QP^I = QP^P = QP^B$, brak makrobloków Intra w obrazach P i B.

[†] Sekwencja CREW, $QP_K = 25$, struktura GOP: 4P2B, $QP^I = QP^P = QP^B$, brak makrobloków Intra w obrazach P i B.

[‡] Sekwencja CREW, $QP_K = 40$, struktura GOP: 3P3B, $QP^I = QP^P = QP^B - 2$, dozwolone makrobloki Intra w obrazach P i B.

[§] Sekwencja HARBOUR, $QP_K = 25$, struktura GOP: 4P2B, $QP^I = QP^P = QP^B$, brak makrobloków Intra w obrazach P i B.

pierwszej kwantyzacji, nie powinna wprowadzać dodatkowych zniekształceń. Istnieje jednak wiele powodów, dla których zastosowanie takiego samego kwantyzatora nie zapewnia otrzymania niezmiennego zdekodowanego obrazu w przypadku transkodowania kaskadowego, pomimo niewykorzystywania filtru deblokującego. Problem modyfikacji obrazu jest związany ze sterowaniem kodera wizyjnego w transkoderze kaskadowym. Aby zapewnić wysoką efektywność kompresji stosuje się w procesie decyzyjnym optymalizację „prędkość bitowa-zniekształcenie” (RD). W trybie optymalizacji RD decyzja o wyborze trybu kodowania makrobloku, submakrobloku lub bloku podejmowana jest na podstawie liczby wygenerowanych bitów oraz poziomu wprowadzanych zniekształceń obrazu. Podczas transkodowania nie jest jednak znany obraz oryginalny. Do oceny wprowadzanych zniekształceń wykorzystywany jest więc obraz poddany kwantyzacji w procesie pierwszego kodowania. Istnieją przypadki, w których układ decyzyjny musi stwierdzić, czy korzystniejsze jest zapewnienie zerowych zniekształceń kosztem pewnej liczby bitów, czy też dopuszczenie niewielkich zniekształceń obrazu w zamian za zmniejszenie liczby niezbędnych bitów. Wybór drugiej opcji powoduje modyfikację obrazu, pomimo braku zmiany parametru kwantyzacji.

Następnym powodem, dla którego obraz transkodowany kaskadowo bez zmiany wartości indeksu QP ulega degradacji, jest mechanizm estymacji ruchu. Ze względu na to, że jest to proces wymagający znaczących nakładów obliczeniowych, w implementacjach stosowane są algorytmy szybkiego przeszukiwania obrazu. Nie gwarantują one jednakże przeszukania całego obrazu odniesienia, czy tym bardziej wszystkich dostępnych obrazów odniesienia. W związku z tym, nie zawsze znaleziony makroblok referencyjny będzie tym samym, który został wybrany w procesie pierwszego kodowania. W efekcie na skutek zmiany sygnału predykcji, zmianie ulegnie sygnał różnicowy. Jego rekwantyzacja spowoduje, że zmianie ulegnie obraz wynikowy.

Poza elementami przedstawionymi powyżej, należy uwzględnić fakt, że dobre kodery wizyjne wykorzystują wiele rozwiązań nienormatywnych, których celem jest optymalizacja ilości informacji umieszczanej w strumieniu bitowym, przy uwzględnieniu wymaganej jakości obrazu. Przykładem może tu być usuwanie próbek transformaty, których umieszczenie w strumieniu bitowym jest zbyt kosztowne w stosunku do oferowanej poprawy jakości obrazu. Nienormatywnym rozwiązaniem wpływającym na jakość kodowanego obrazu jest również mechanizm adaptacyjnej kwantyzacji [161, 162, 187]. Jego działanie może

powodować modyfikacje obrazu w przypadku transkodowania kaskadowego bez zmiany wartości parametru kwantyzacji.

W przypadku transkodowania strumieni bitowych skompresowanych z wykorzystaniem filtru deblokującego, zastosowanie mają wszystkie spostrzeżenia przedstawione powyżej. Ponadto należy uwzględnić fakt, iż filtr ten jest elementem nieliniowym, którego użycie powoduje nieodwracalną modyfikację próbek obrazu. Z tego względu, w transkoderze kaskadowym odbywa się rekwantyzacja sygnału, który różni się od sygnału otrzymanego w wyniku kwantyzacji. W efekcie, pomimo braku zmiany wartości parametru kwantyzacji, nastąpi modyfikacja próbek obrazu.

Rozważając przypadki, gdy na skutek transkodowania kaskadowego zmienia się wartość parametru kwantyzacji ($QP_T \neq QP_K$), dostrzec można odmienne właściwości transkodowania strumieni bitowych zakodowanych z wykorzystaniem filtru deblokującego i uzyskanych bez używania tego narzędzia.

W pierwszym przypadku największe straty transkodowania występują, gdy różnica $\Delta_{QP} = QP_T - QP_K$ wynosi odpowiednio 1, 2 i 3. Wynoszą one od 0,5 dB* do 1,38 dB†. We wszystkich zbadanych przypadkach, po przekroczeniu przez różnicę $\Delta_{QP} = QP_T - QP_K$ wartości 3, wraz z dalszym jej wzrostem maleją straty jakości. Nie mamy tu do czynienia z zależnością monotoniczną, ale trend zmian jest taki stały.

Transkodowanie kaskadowe strumieni bitowych uzyskanych z wykorzystaniem filtru deblokującego wykazuje nieco odmienne właściwości od przedstawionych powyżej. Największa wartość strat jakości występuje najczęściej, gdy $\Delta_{QP} = 1$. Największa zmierzona wartość strat w takim przypadku wyniosła 1,1 dB‡. Gdy różnica Δ_{QP} przekracza wartość jeden, to wraz z jej wzrostem straty jakości powstające na skutek transkodowania kaskadowego maleją. Podobnie jak w przypadku transkodowania sekwencji bez wykorzystania filtru deblokującego, nie jest to zależność monotoniczna, ale trend zmian jest wyraźny.

Można zauważyć, że niezależnie od struktury grupy obrazów, relacji pomiędzy wartościami parametrów kwantyzacji w różnych typach obrazów i wykorzystania filtru deblokującego, w większości przypadków straty jakości powstające na skutek transkodowania kaskadowego maleją wraz ze wzrostem wartości parametru kwantyzacji sekwencji wizyjnej poddawanej

*Sekwencja SOCCER, $QP_K = 40$, struktura GOP: 3P3B, $QP^I = QP^P = QP^B - 2$, brak makrobloków Intra w obrazach P i B.

†Sekwencja CITY, $QP_K = 40$, struktura GOP: 3P3B, $QP^I = QP^P = QP^B - 2$, brak makrobloków Intra w obrazach P i B.

‡Sekwencja HARBOUR, $QP_K = 25$, struktura GOP: 3P3B, $QP^I = QP^P = QP^B$, brak makrobloków Intra w obrazach P i B.

transkodowaniu (QP_K). Wyjątkiem jest sekwencja CITY, dla której największe straty występują najczęściej dla wartości QP_K wynoszącej około 25–28.

3.3.2.1. Wpływ filtru deblokującego na jakość transkodowanej sekwencji

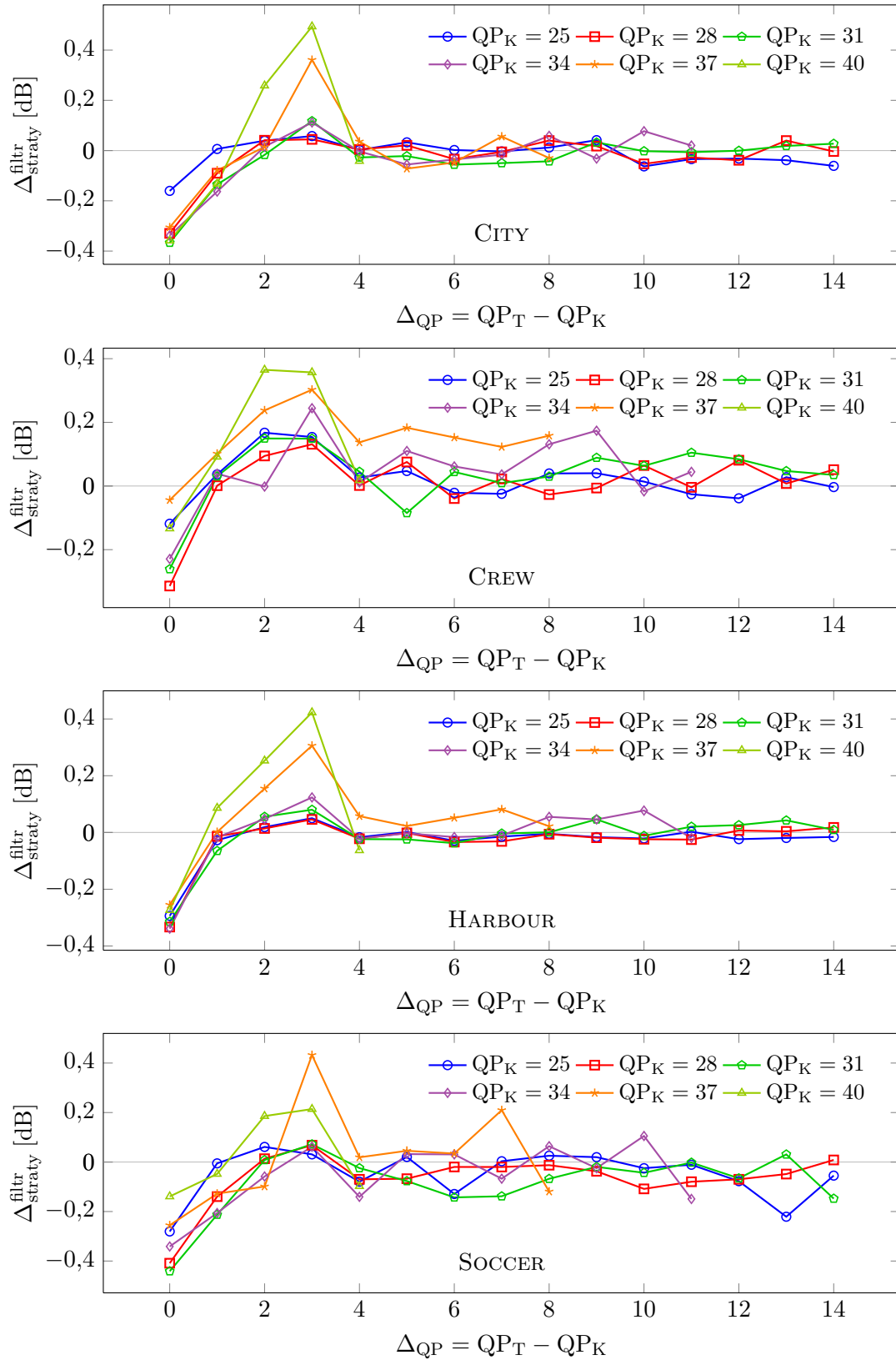
Istotnym elementem standardu MPEG-4 AVC/H.264 jest filtr deblokujący w pętli sprzężenia zwrotnego zarówno kodera jak i dekodera wizyjnego. Jest to jeden z elementów znacząco odróżniających standard MPEG-4 AVC/H.264 od standardów opartych na klasycznych technikach kompresji. Zastosowanie filtru deblokującego podnosi zarówno subiektywną jak i obiektywną jakość zdekodowanej sekwencji wizyjnej [165]. Jest to jednak nieliniowy element, który może mieć istotny wpływ na straty jakości wynikające z transkodowania. W związku z tym celowym jest poznanie jaki wpływ na straty jakości transkodowanych sekwencji wizyjnych ma użycie filtru deblokującego.

Zdefiniujmy w następujący sposób różnicę pomiędzy stratami transkodowania sekwencji kompresowanej bez wykorzystania filtru deblokującego ($\Delta_{PSNR_Y}^{\text{brak filtru}}$) i z zastosowaniem tego narzędzia ($\Delta_{PSNR_Y}^{\text{filtr}}$):

$$\Delta_{\text{straty}}^{\text{filtr}} = \Delta_{PSNR_Y}^{\text{brak filtru}} - \Delta_{PSNR_Y}^{\text{filtr}} \text{ [dB]}. \quad (3.1)$$

Na rysunku 3.5 przedstawiono przykładową, reprezentatywną ilustrację zależności wielkości $\Delta_{\text{straty}}^{\text{filtr}}$ od różnicy wartości parametru kwantyzacji kodera (QP_K) i transkodera kaskadowego (QP_T). Więcej przykładów znajduje się w dodatku B.2. Rozważmy przypadek transkodowania kaskadowego nie zmieniającego wartości parametrów kwantyzacji. Transkodowanie strumieni uzyskanych z wykorzystaniem filtru deblokującego powoduje do 0,44 dB większe straty transkodowania niż transkodowanie strumieni uzyskanych bez wykorzystania tego filtru.

Gdy różnica pomiędzy wartościami parametrów kwantyzacji w strumieniu wejściowym i wyjściowym transkodera Δ_{QP} wynosi 1, straty jakości zależne są od treści sekwencji wizyjnej. W eksperymentach okazały się one większe dla transkodowania strumieni uzyskanych z wykorzystaniem filtru deblokującego w przypadku sekwencji CITY i SOCCER, oraz mniejsze dla sekwencji CREW. W przypadku sekwencji HARBOUR, gdy wartość Δ_{QP} wynosiła 1, wykorzystanie filtru deblokującego wykazywało pomijalny wpływ na wyniki strat jakości powstałych na skutek transkodowania kaskadowego.



Rysunek 3.5: Różnica pomiędzy stratami jakości spowodowanymi wykorzystaniem transkodera kaskadowego dla sekwencji kodowanych z wykorzystaniem filtru deblokującego i bez niego. Wielkość przedstawiona w funkcji różnicy wartości parametrów kwantyzacji w wejściowy, (QP_K) i wyjściowym (QP_T) strumieniu bitowym. Dodatkowo wartości oznaczają mniejsze straty transkodowania sekwencji uzyskanych z wykorzystaniem filtru deblokującego (struktura GOP: 3P3B, $\text{QP}^I = \text{QP}^P = \text{QP}^B$, brak makrobloków Intra w obrazach P i B)

Zwiększenie wielkości Δ_{QP} do wartości 2 i 3 powoduje, że transkodując strumienie bitowe uzyskane z wykorzystaniem filtra deblokującego otrzymać można nawet o 0,7 dB mniejsze straty transkodowania, niż w przypadku transkodowania strumieni skompresowanych bez użycia takiego filtra. Jako przykład może tu służyć sekwencja CITY i przypadek, gdy strumień poddawany transkodowaniu uzyskany został z wykorzystaniem parametru kwantyzacji QP_K równym 40, a relacja pomiędzy wartościami indeksów kwantyzacji w obrazach I, P oraz B wyglądała następująco: $QP^I = QP^P = QP^B - 2$.

Po przekroczeniu przez różnicę wartości parametru kwantyzacji kodera (QP_K) i transkodera kaskadowego (QP_T) wartości 3, poziom strat jakości pozostaje zbliżony, niezależnie od tego czy sekwencja poddawana transkodowaniu została uzyskana z wykorzystaniem filtra deblokującego, czy bez niego.

3.3.2.2. Zależność jakości transkodowanych sekwencji wizyjnych od relacji pomiędzy wartościami indeksów QP dla obrazów typu I, P oraz B

Rozważmy wpływ relacji pomiędzy wartościami indeksów QP w obrazach typu I (QP^I), P (QP^P) oraz B (QP^B) na straty jakości spowodowane transkodowaniem kaskadowym. Przyjmijmy, że mamy dwa strumienie bitowe uzyskane z wykorzystaniem parametrów kwantyzacji odpowiednio:

$$QP_{K0}^I, QP_K^P, QP_{K0}^B \quad \text{ i } \quad QP_{K1}^I, QP_K^P, QP_{K1}^B.$$

Strumienie te są następnie transkodowane kaskadowo z wartościami parametrów kwantyzacji wynoszącymi odpowiednio:

$$QP_{T0}^I, QP_T^P, QP_{T0}^B \quad \text{ oraz } \quad QP_{T1}^I, QP_T^P, QP_{T1}^B.$$

Różnicę parametrów kwantyzacji w obrazach typu P przed i po transkodowaniu oznaczmy następująco:

$$\Delta_{QP} = QP_T^P - QP_K^P. \quad (3.2)$$

Powstałe w wyniku transkodowania kaskadowego obu strumieni straty jakości oznaczmy w następujący sposób:

$$\Delta_{PSNR_Y}^{QP_{T0}^I, QP_T^P, QP_{T0}^B} \quad \text{ i } \quad \Delta_{PSNR_Y}^{QP_{T1}^I, QP_T^P, QP_{T1}^B}.$$

Różnica strat jakości dana jest następującym wzorem:

$$\Delta_{straty}^{QP} = \Delta_{PSNR_Y}^{QP_{T0}^I, QP_T^P, QP_{T0}^B} - \Delta_{PSNR_Y}^{QP_{T1}^I, QP_T^P, QP_{T1}^B} \quad [dB]. \quad (3.3)$$

W wyniku przeprowadzonych eksperymentów otrzymane zostały zależności wartości wielkości $\Delta_{\text{straty}}^{\text{QP}}$ od różnicy parametrów kwantyzacji w obrazach typu P przed i po transkodowaniu (Δ_{QP}). Przykładowe rezultaty doświadczeń przedstawione zostały na rysunku 3.6, a większą ich liczbę odnaleźć można w załączniku B.3.

Można zauważyć, że zwiększenie wartości indeksu QP w obrazach typu B, w stosunku do wartości tych indeksów w obrazach I oraz P, powoduje niewielką redukcję strat jakości powstających na skutek transkodowania kaskadowego. Redukcja ta w większości przypadków nie przekracza wartości 0,1 dB.

3.3.2.3. Wpływ struktury grupy obrazów na jakość transkodowanej sekwencji

Przyjrzyjmy się jak struktura grupy obrazów wpływa na straty jakości spowodowane transkodowaniem. Straty jakości powstałe na skutek transkodowania kaskadowego dwóch strumieni o odmiennej strukturze grupy obrazów oznaczmy odpowiednio:

$$\Delta_{\text{PSNR}_Y}^{\text{GOP1}} \quad \text{ i } \quad \Delta_{\text{PSNR}_Y}^{\text{GOP2}}.$$

Różnica pomiędzy wartościami powyższych wielkości wyglądała będzie następująco:

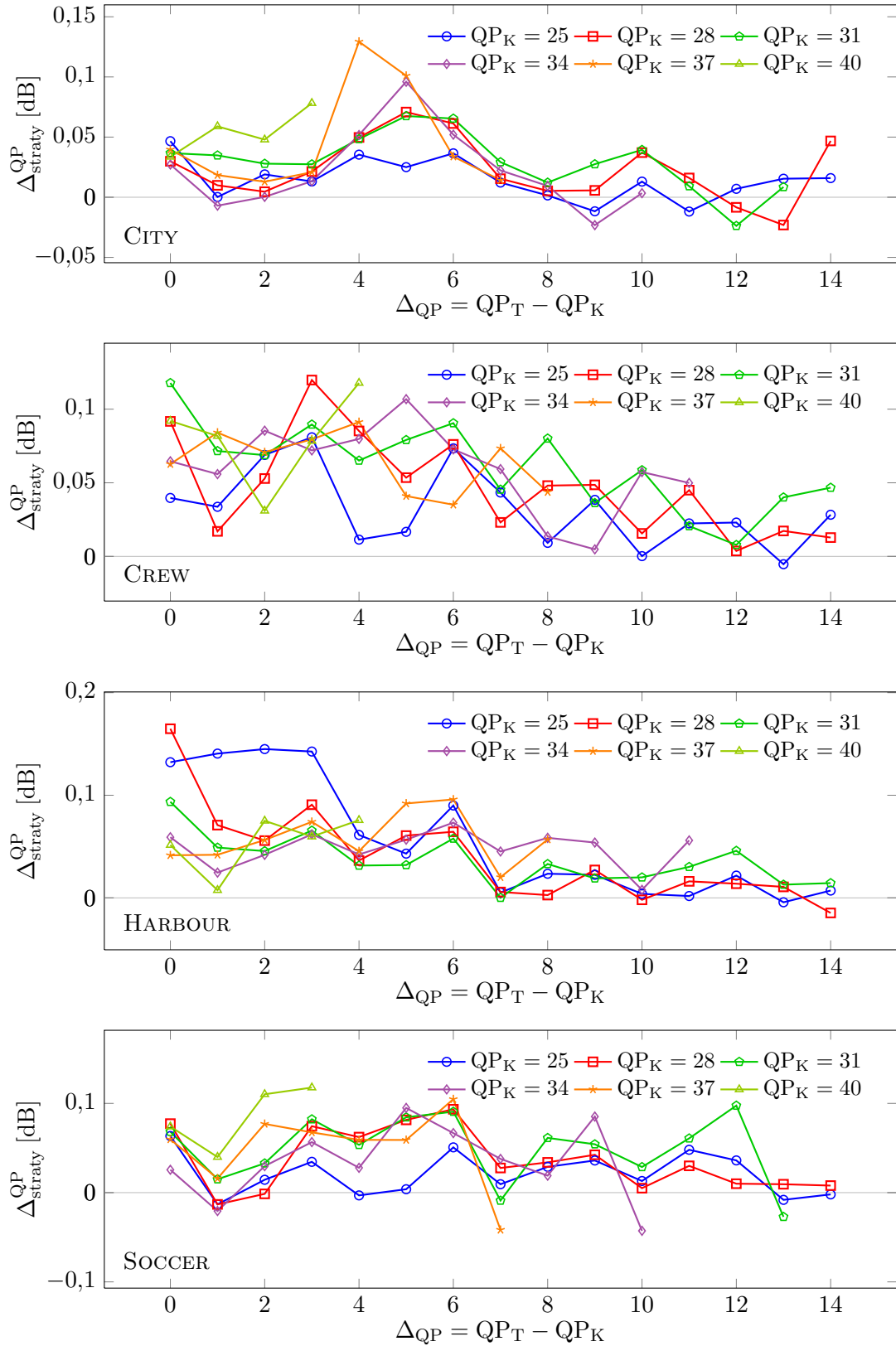
$$\Delta_{\text{straty}}^{\text{GOP}} = \Delta_{\text{PSNR}_Y}^{\text{GOP1}} - \Delta_{\text{PSNR}_Y}^{\text{GOP2}} \quad [\text{dB}]. \quad (3.4)$$

Autor przeprowadził eksperyment, którego przykładowe rezultaty przedstawione zostały na rysunku 3.7. Więcej wyników badań znaleźć można w dodatku B.4.

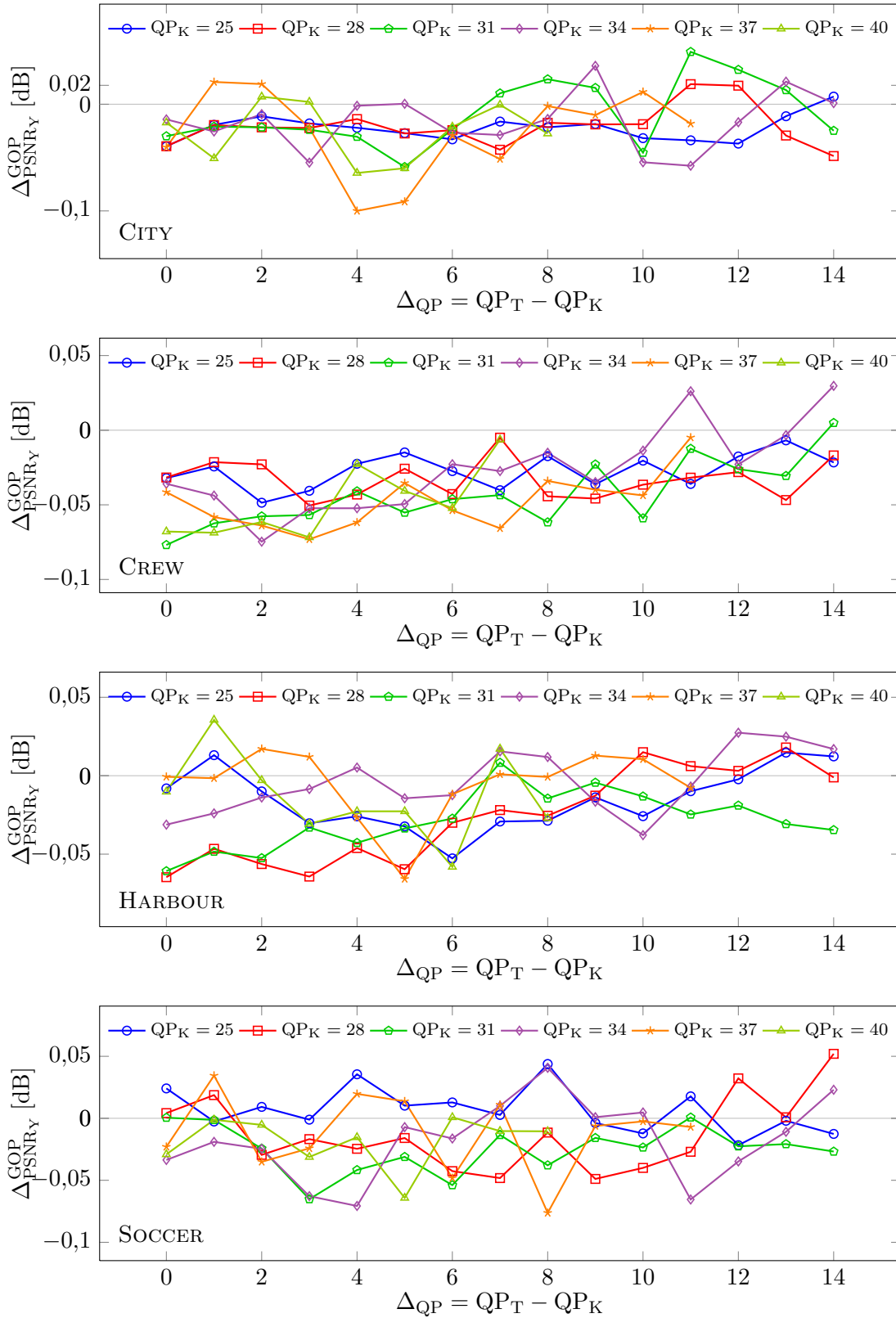
Na podstawie otrzymanych rezultatów stwierdzić należy, że struktura GOP ma niewielki wpływ na wartość strat jakości powstałych na skutek transkodowania kaskadowego. W znaczącej większości przebadanych przypadków, zmiana struktury grupy obrazów powoduje zmianę strat jakości o wartość nie większą niż 0,05 dB. Otrzymane wyniki nie pozwalają stwierdzić, iż zastosowanie określonej struktury GOP pozwala na zredukowanie strat jakości spowodowanych transkodowaniem kaskadowym.

3.3.3. Zależność strat jakości transkodowanej sekwencji od wartości redukcji strumienia bitowego

Przyjrzyjmy się teraz stratom jakości transkodera kaskadowego w funkcji stosunku prędkości transmisji po transkodowaniu, do prędkości transmisji przed transkodowaniem.



Rysunek 3.6: Różnica strat jakości transkodowania dla sekwencji, w których wartości parametrów kwantyzacji wynoszą odpowiednio $\text{QP}^I = \text{QP}^P = \text{QP}^B$ oraz $\text{QP}^I = \text{QP}^P = \text{QP}^B - 2$. Wartości dodatnie oznaczają większe straty transkodowania dla strumieni otrzymanych przy założeniu $\text{QP}^I = \text{QP}^P = \text{QP}^B$. Wielkości przedstawione w funkcji różnicy wartości parametrów kwantyzacji w wejściowym (QP_K) i wyjściowym (QP_T) strumieniu bitowym (struktura GOP: 3P3B, włączony filtr deblokujący)



Rysunek 3.7: Różnica strat jakości transkodowania dla sekwencji zakodowanych ze strukturami GOP o postaciach 3P3B i 4P2B. Wartości dodatnie oznaczają większe straty transkodowania dla struktury grupy obrazów o postaci 3P3B ($\text{QP}^I = \text{QP}^P = \text{QP}^B - 2$, włączony filtr deblokujący, dozwolone makrobloki Intra w obrazach P i B)

Na rysunku 3.8 przedstawione zostały przykłady dla czterech sekwencji testowych. Większą liczbę przykładów znaleźć można w dodatku B.5. Kolejne punkty na pojedynczej krzywej uzyskane zostały w wyniku transkodowania tego samego strumienia bitowego z coraz większą wartością różnicy $\Delta_{QP} = QP_T - QP_K$, jak to zostało zilustrowane na rysunku 3.9.

Należy zaznaczyć, że krzywa przedstawiona na rysunku 3.9 ma charakter uniwersalny i odpowiada uzyskanym danym eksperymentalnym. Aby to potwierdzić, ta sama krzywa została na rysunku 3.10 przedstawiona na tle wyników badań strat jakości transkodowania kaskadowego.

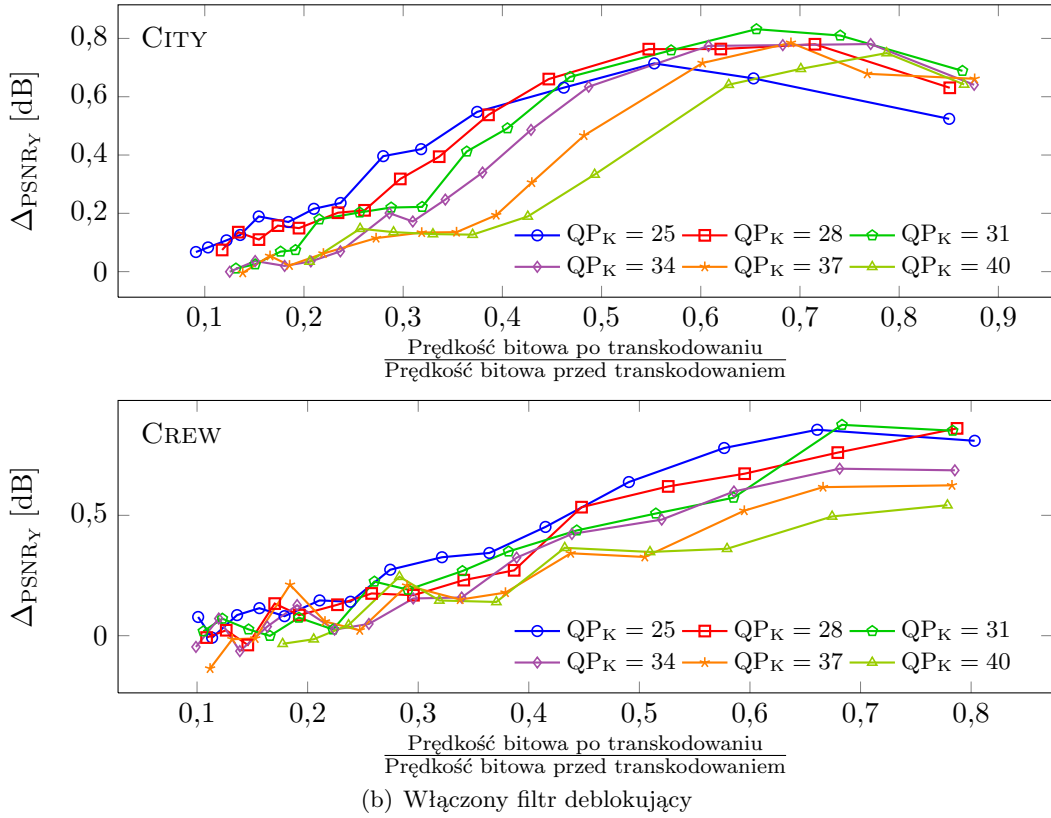
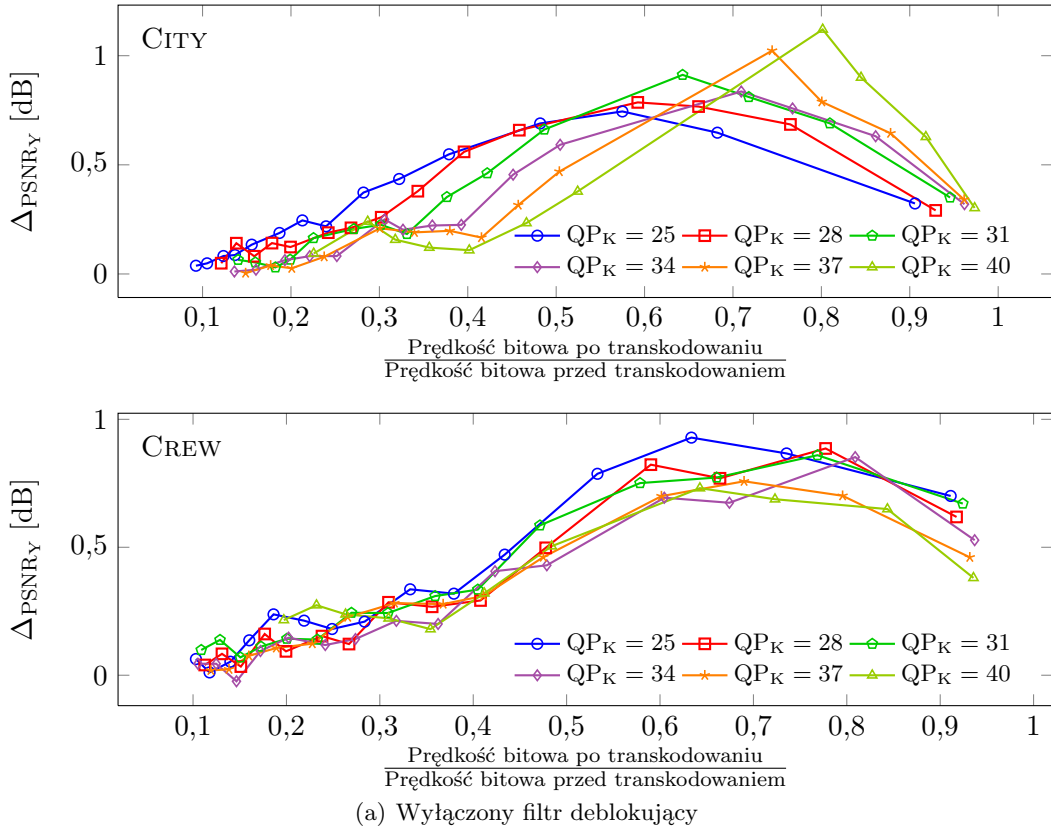
Transkodowanie kaskadowe skompresowanych strumieni wizyjnych bez zmiany wartości parametru kwantyzacji ($QP_T = QP_K$) powoduje zmniejszenie prędkości transmisji. W przebadanych przypadkach redukcja prędkości transmisji wynosiła do 10 % w przypadku niewykorzystywania filtru deblokującego do uzyskania strumieni bitowych poddawanych transkodowaniu* i sięgała 25 %, gdy filtr był użyty†.

Dla wszystkich przebadanych przypadków stwierdzić można, że największe straty jakości powstające na skutek transkodowania kaskadowego występują, gdy strumień bitowy zmniejszany jest o około 30 %. Po przekroczeniu tej wartości redukcji, dalsze jej zwiększanie prowadzi do systematycznego zmniejszania się strat transkodowania. Są to właściwości analogiczne jak dla transkodowania strumieni bitowych uzyskanych dzięki wykorzystaniu klasycznych technik kompresji [75].

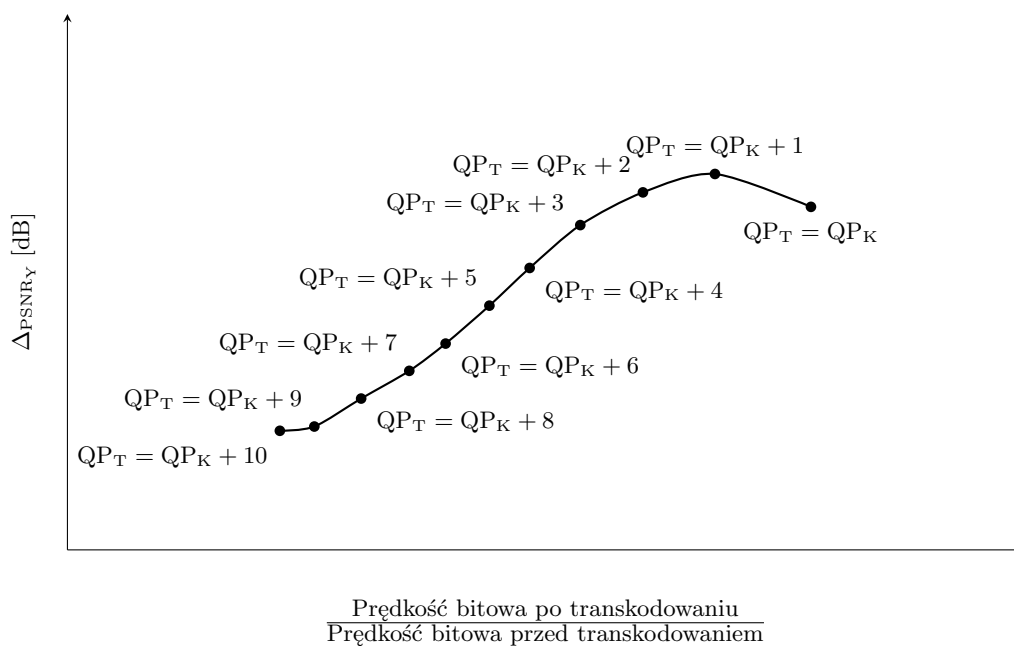
Ponieważ redukcja prędkości transmisji jest bezpośrednio powiązana ze zwiększaniem wartości parametru kwantyzacji, przedstawione w punkcie 3.3.2 wnioski dotyczące strat jakości mają tu również zastosowanie.

*Sekwencja HARBOUR, struktura GOP: 3P3B, $QP^I = QP^P = QP^B$.

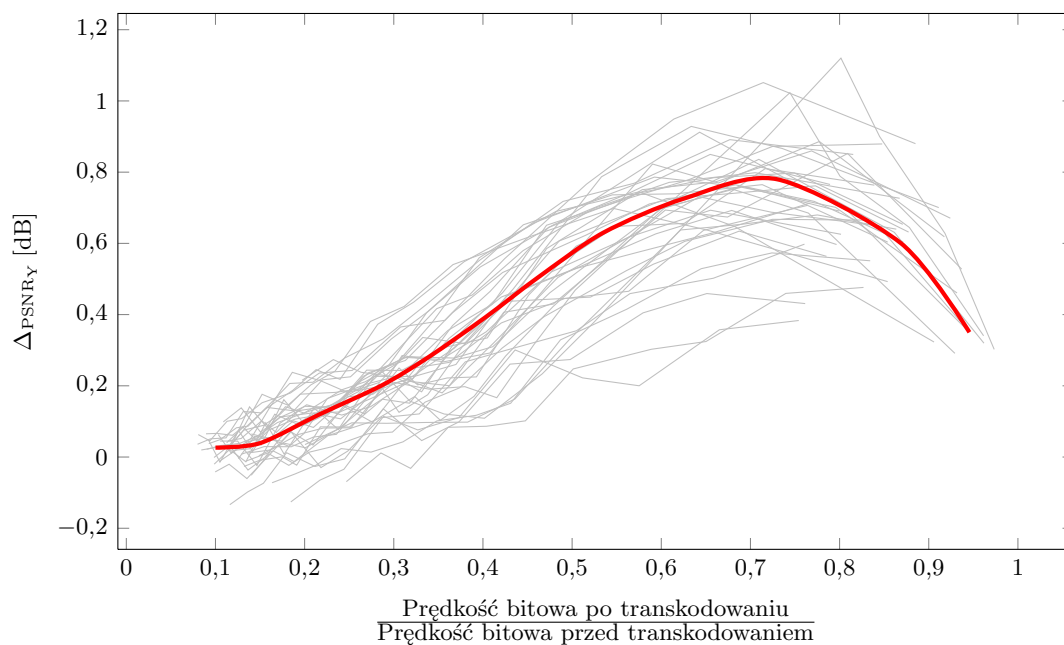
†Sekwencja CREW, struktura GOP: 3P3B, $QP^I = QP^P = QP^B$.



Rysunek 3.8: Straty jakości spowodowane wykorzystaniem transkodera kaskadowego w zależności od stosunku prędkości bitowej po transkodowaniu do prędkości bitowej przed transkodowaniem (struktura GOP: 4P2B, $Q_P^I = Q_P^P = Q_P^B$, brak makrobloków Intra w obrazach P i B)



Rysunek 3.9: Straty jakości spowodowane wykorzystaniem transkodera kaskadowego w zależności od stosunku prędkości bitowych po i przed transkodowaniem. Wykres wyidealizowany odpowiadający danym eksperymentalnym



Rysunek 3.10: Uniwersalna krzywa strat transkodowania kaskadowego strumieni bitowych zgodnych ze standardem MPEG-4 AVC/H.264, w których występują obrazy typu I, P oraz B, na tle wyników badań eksperymentalnych

3.4. Transkodowanie strumieni wizyjnych kodowanych wewnątrzobrazowo

3.4.1. Wprowadzenie

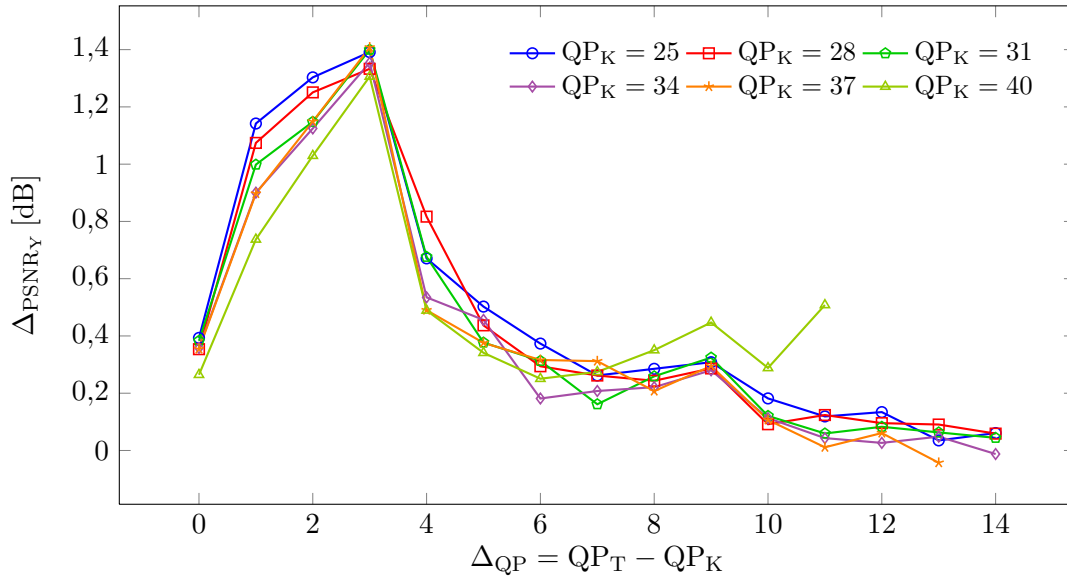
Wykorzystanie techniki kodowania międzyobrazowego powoduje, że dekompresja określonego obrazu sekwencji wymaga zdekodowania obrazów poprzedzających. Poza tym sprawia, że modyfikacja jednego obrazu wywołuje zmiany w obrazach kolejnych. W pewnych zastosowaniach takie właściwości są niewskazane. Stosuje się wtedy wyłącznie techniki kodowania wewnątrzobrazowego. W kolejnych punktach zaprezentowane zostały wyniki strat jakości spowodowanych transkodowaniem kaskadowym strumieni bitowych, w których występują wyłącznie obrazy typu I.

3.4.2. Zależność strat jakości transkodowanej sekwencji od zmiany wartości parametru kwantyzacji

3.4.2.1. Transkodowanie strumieni wizyjnych uzyskanych bez wykorzystania filtra deblokującego

Na rysunku 3.11 przedstawione zostały uśrednione dla czterech sekwencji testowych wyniki strat jakości transkodera kaskadowego. Rezultaty uzyskano dla transkodowania sekwencji kodowanych wewnątrzobrazowo, gdy nie był wykorzystywany filtr deblokujący. W dodatku B.7 znajdują się wyniki otrzymane dla każdej z sekwencji osobno.

W przebadanych przypadkach transkodowanie z niezmienną wartością parametru kwantyzacji powodowało straty jakości na poziomie od 0,2 dB do 0,47 dB. Gdy różnica pomiędzy współczynnikami kwantyzacji w strumieniu wyjściowym QP_T i wejściowym QP_K wynosi jeden, straty transkodowania osiągają bardzo duże wartości, dochodzące do poziomu 1,3 dB (sekwencja HARBOUR). Należy przy tym zauważyć, że straty te są tym większe, im mniejszą wartość ma współczynnik QP_K w strumieniu wchodzącym do transkodera. Dalsze zwiększanie wartości Δ_{QP} powoduje wzrost strat jakości spowodowanych zastosowaniem transkodera kaskadowego. Ich największa wartość jest osiągana dla $\Delta_{QP} = 3$, niezależnie od sekwencji i od wartości parametru kwantyzacji w strumieniu wizyjnym poddawany transkodowaniu. Mamy w tym przypadku do czynienia z bardzo dużymi stratami sięgającymi 1,52 dB (sekwencja HARBOUR, $QP_K = 37$). Najmniejsze straty



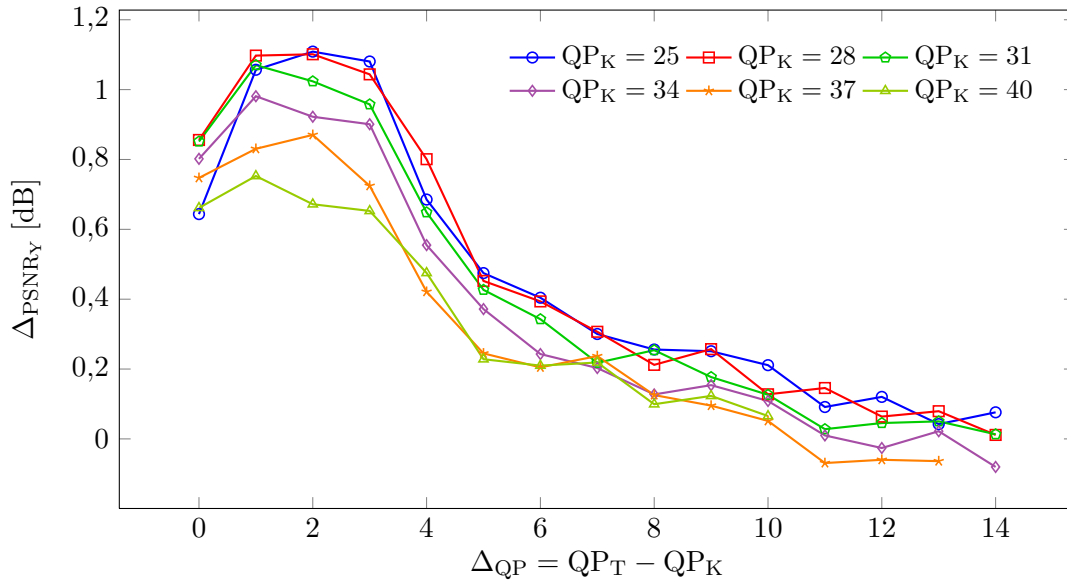
Rysunek 3.11: Straty jakości spowodowane wykorzystaniem transkodera kaskadowego w zależności od różnicy wartości parametrów kwantyzacji w wejściowym (QP_K) i wyjściowym (QP_T) strumieniu bitowym. Wyniki uśrednione dla sekwencji CITY, CREW, HARBOUR i SOCCER (wyłącznie obrazy typu I, wyłączony filtr deblokujący)

wynoszące ok. 1,15 dB zaobserwowano dla sekwencji SOCCER i wartości $QP_K = 40$. Zwiększenie wartości wielkości Δ_{QP} do 4 powoduje gwałtowne zmniejszenie wprowadzanych strat jakości. Dalsze zwiększanie wartości wielkości Δ_{QP} powoduje dalsze, już nie tak gwałtowne zmniejszanie się omawianych strat. Należy zauważyć, że istnieje odstępstwo od tego trendu spadkowego dla $\Delta_{QP} = 9$. Wynika to z faktu, że błędy rekwantowania zależą od relacji szerokości przedziałów kwantyzacji i rekwantyzacji [156, 192]. We wskazanym przypadku błędy rekwantyzacji okazują się być znacząco większe od błędów kwantyzacji.

3.4.2.2. Transkodowanie strumieni wizyjnych uzyskanych z wykorzystaniem filtru deblokującego

Przyjrzyjmy się teraz wynikom badań uzyskanym dla transkodowania kaskadowego sekwencji kodowanych z wykorzystaniem filtru deblokującego. Uśrednione dla czterech sekwencji rezultaty przedstawiono na rysunku 3.12. W dodatku B.7 znaleźć można wyniki uzyskane niezależnie dla każdej z sekwencji. W stosunku do wyników prezentowanych w poprzednim punkcie, znaczącej zmianie ulegają straty jakości spowodowane transkodowaniem kaskadowym, gdy różnica pomiędzy parametrem kwantyzacji kodowania i transkodowania wynosi od 0 do 3 ($0 \leq \Delta_{QP} \leq 3$). Na rysunku 3.13 przedstawiona została różnica strat

w przypadku transkodowania sekwencji zakodowanych z wykorzystaniem filtra deblokującego i bez niego ($\Delta_{\text{straty}}^{\text{filtr}}$).

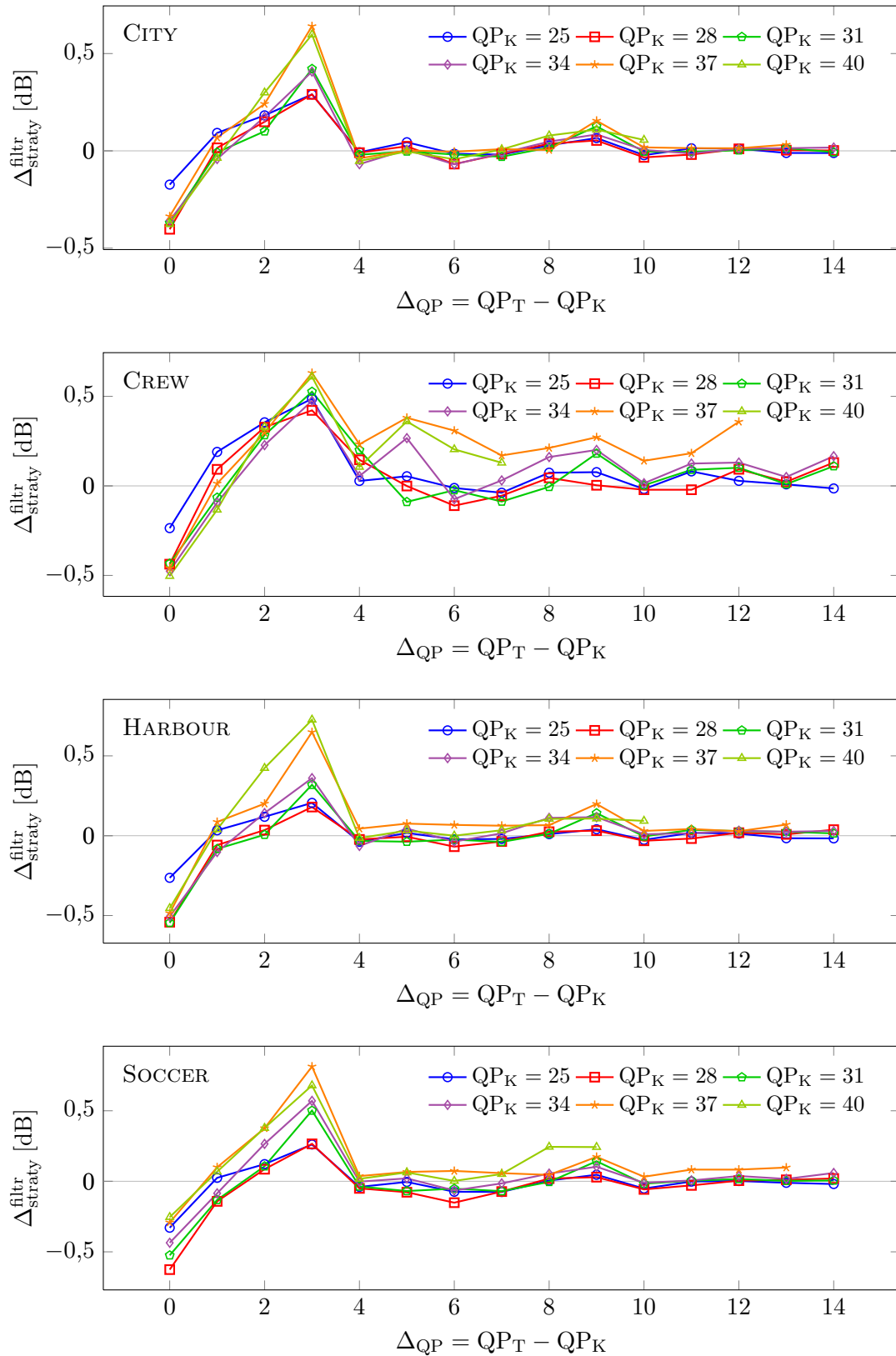


Rysunek 3.12: Straty jakości spowodowane wykorzystaniem transkodera kaskadowego w zależności od różnicy wartości parametrów kwantyzacji w wejściowym (QP_K) i wyjściowym (QP_T) strumieniu bitowym. Wyniki uśrednione dla sekwencji CITY, CREW, HARBOUR i SOCCER (wyłącznie obrazy typu I, włączony filtr deblokujący)

Transkodowanie z niezmienną wartością indeksu QP powoduje znacząco większe straty, gdy wykorzystywany jest filtr deblokujący. Różnica może wynosić nawet 0,63 dB (sekwencja SOCCER, $QP_K = 28$). Różnica ulega znaczącej redukcji dla $\Delta_{QP} = 1$. W tym przypadku od treści sekwencji wizyjnej zależy, czy mniejsze straty transkodowania wystąpią, gdy transkodowane są strumienie wizyjne uzyskane z wykorzystaniem filtra deblokującego, czy też przygotowane bez użycia tego narzędzia.

Dla wielkości Δ_{QP} wynoszącej 2 lub 3 mamy sytuację, w której włączony filtr deblokujący zapewnia dużo mniejsze straty jakości transkodowanej sekwencji. Wartość wielkości $\Delta_{\text{straty}}^{\text{filtr}}$ zależy w tym przypadku nie tylko od treści sekwencji wizyjnej, ale również w znacznym stopniu od wartości parametru kwantyzacji w wejściowym strumieniu wizyjnym. Największa uzyskana w eksperymencie wartość różnicy $\Delta_{\text{straty}}^{\text{filtr}}$ wyniosła 0,81 dB (sekwencja SOCCER, $QP_K = 28$).

W przypadku, gdy wielkość Δ_{QP} przyjmuje wartości większe od 3, straty spowodowane transkodowaniem mają podobne wartości, niezależnie od użycia filtra deblokującego.



Rysunek 3.13: Różnica pomiędzy stratami jakości wynikającymi z transkodowania strumieni wizyjnych z włączonym i wyłączonym filtrem deblokującym. Zależność od różnicy wartości parametrów kwantyzacji w wejściowym (QP_K) i wyjściowym (QP_T) strumieniu bitowym. Wyłącznie obrazy typu I. Dodatnie wartości oznaczają większe straty transkodowania strumieni z wyłączonym filtrem deblokującym

3.4.3. Zależność strat jakości transkodowanej sekwencji od wartości redukcji strumienia bitowego

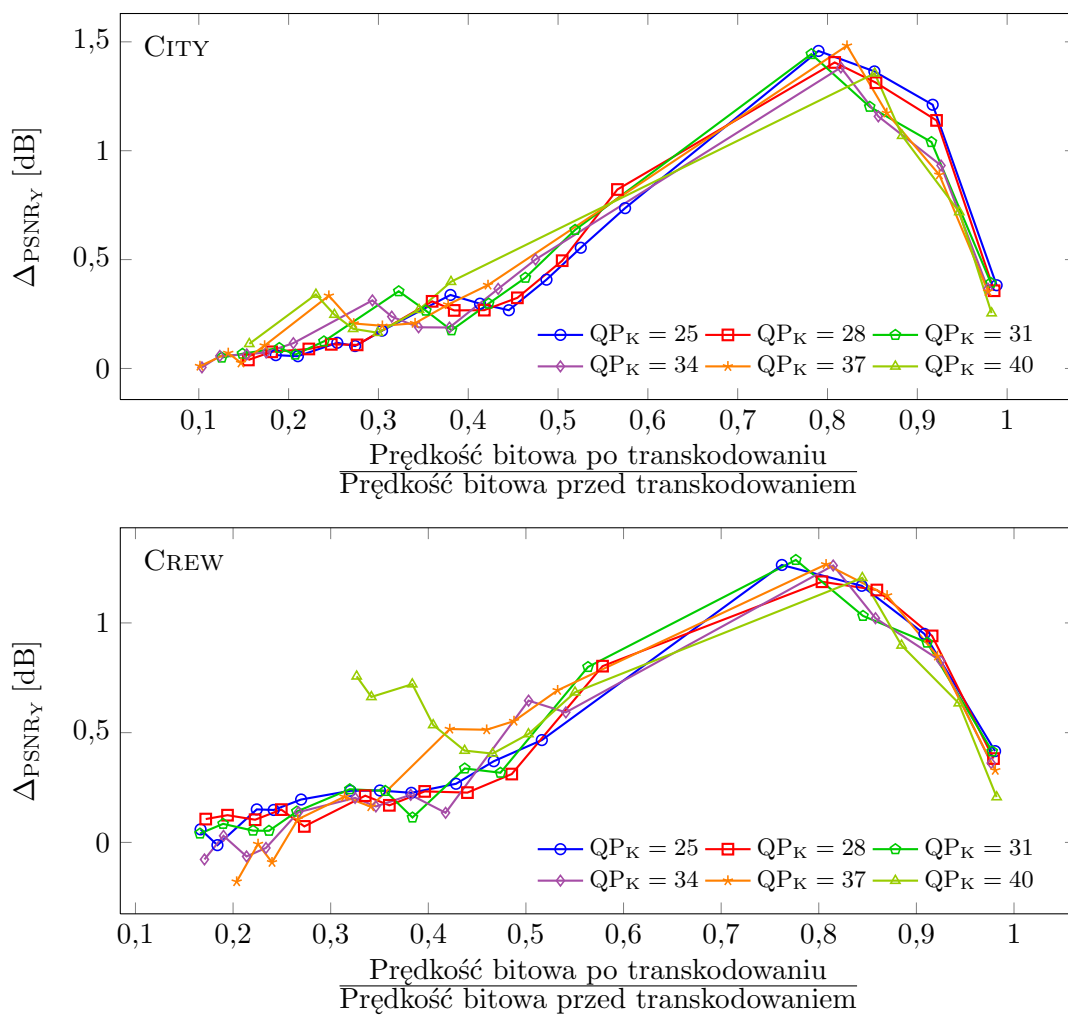
3.4.3.1. Transkodowanie strumieni wizyjnych uzyskanych bez wykorzystania filtru deblokującego

Na rysunku 3.14 przedstawione zostały straty jakości transkodowania kaskadowego w funkcji stosunku prędkości bitowej strumienia wizyjnego przed i po redukcji dla sekwencji CITY i CREW. Wyniki uzyskane dla sekwencji HARBOUR i SOCCER zamieszczone zostały w dodatku B.7. Powyższe rezultaty badań zostały uzyskane dla strumieni bitowych kodowanych bez wykorzystania filtru deblokującego. Należy zauważyć duże podobieństwo otrzymanych wyników, niezależnie od treści sekwencji wizyjnej i współczynnika kwantyzacji w strumieniu bitowym poddawany transkodowaniu. Możliwe jest więc wskazanie uniwersalnej krzywej strat transkodowania. Taka krzywa została przedstawiona na rysunku 3.15. W celu odniesienia do otrzymanych wyników badań, została ona zilustrowana na tle rezultatów otrzymanych dla czterech sekwencji testowych.

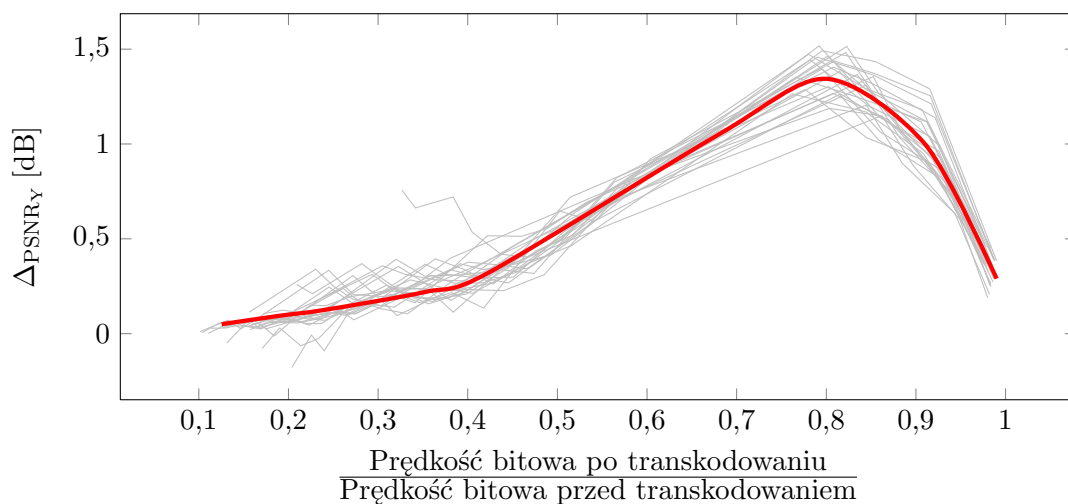
Należy zauważyć, że największe straty jakości w omawianym przypadku występują dla 20 % redukcji strumienia bitowego. Ponadto transkodowanie kaskadowe obrazów typu I nie poddanych filtracji deblokującej, w wyniku którego nie zmienia się parametr kwantyzacji w strumieniu wizyjnym, powoduje niewielkie, kilkuprocentowe zmniejszenie prędkości bitowej. Odbywa się to kosztem zmniejszenia wartości miary PSNR o 0,3–0,4 dB.

3.4.3.2. Transkodowanie strumieni wizyjnych uzyskanych z wykorzystaniem filtru deblokującego

Rozważmy przypadek strat jakości transkodowania kaskadowego strumieni wizyjnych uzyskanych z wykorzystaniem filtru deblokującego i składających się wyłącznie z obrazów typu I. Przykładowe wyniki eksperymentów zilustrowane zostały na rysunku 3.16, a więcej rezultatów badań znaleźć można w dodatku B.7. Przedstawione wyniki badań wykazują mniejsze wzajemne podobieństwo niż w przypadku transkodowania strumieni uzyskanych bez wykorzystania filtru deblokującego. Posiadają jednak wiele cech wspólnych. W związku z tym możliwe jest wskazanie uniwersalnej krzywej zależności strat transkodowania od redukcji prędkości bitowej strumienia bitowego. Taka krzywa, na tle wyników badań



Rysunek 3.14: Straty transkodowania kaskadowego w funkcji stosunku prędkości bitowych po i przed transkodowaniem (wyłącznie obrazy typu I, wyłączony filtr deblokujący)

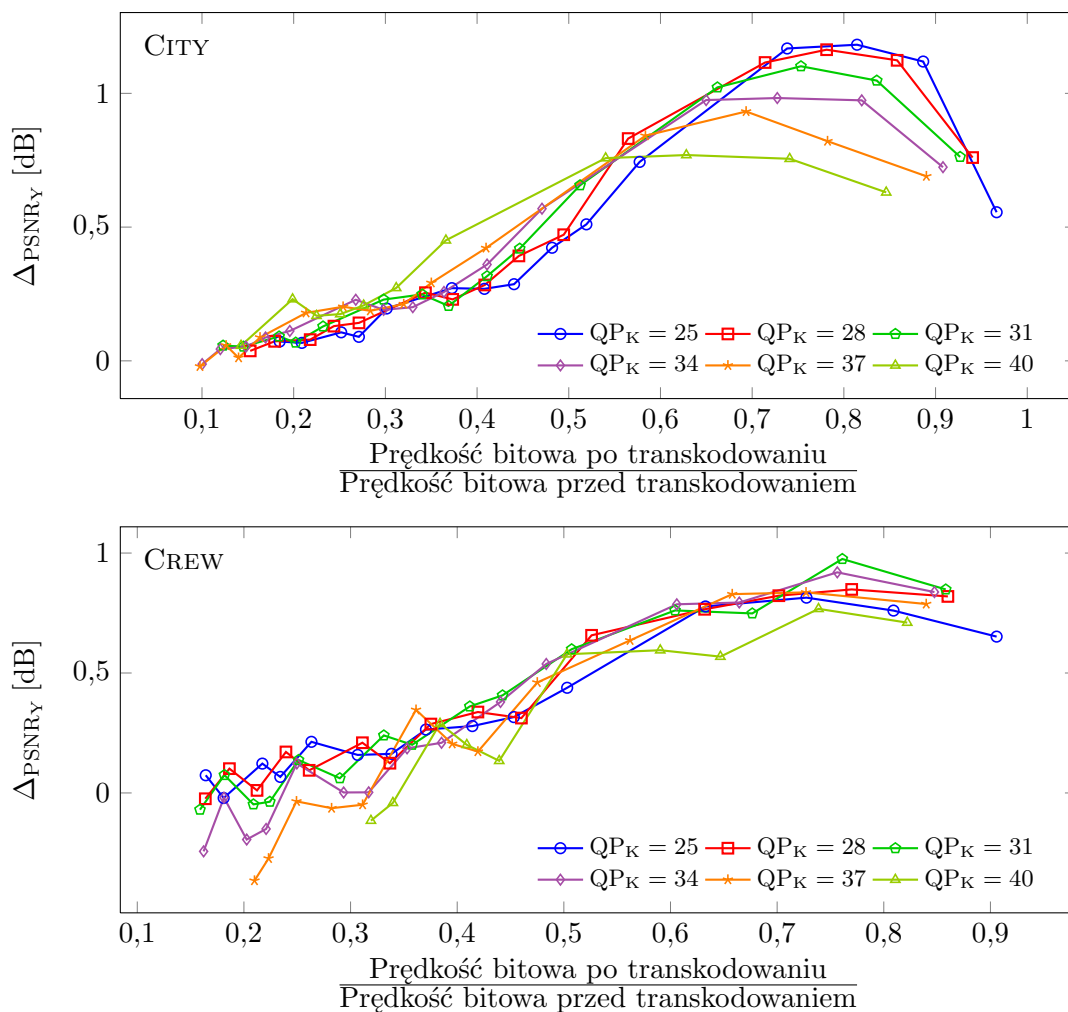


Rysunek 3.15: Uniwersalna krzywa strat transkodowania kaskadowego strumieni bitowych złożonych wyłącznie z obrazów typu I, zakodowanych bez wykorzystania filtra deblokującego. W tle umieszczone zostały wyniki badań eksperymentalnych

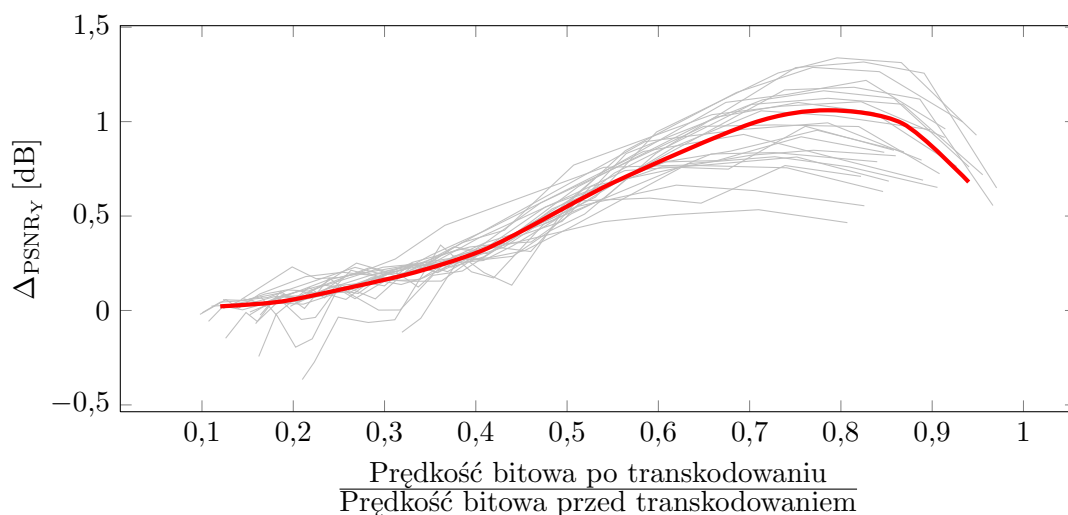
uzyskanych dla czterech sekwencji testowych, została zilustrowana na rysunku 3.17, celem potwierdzenia jej uniwersalnego charakteru.

W omawianym przypadku największe straty jakości na skutek transkodowania kaskadowego powstają przy 15–25 % redukcji strumienia bitowego. Należy zwrócić uwagę na fakt, że w przypadku gdy wartości parametru kwantyzacji są takie same w strumieniu wejściowym i wyjściowym transkodera, prędkość bitowa może ulec zmniejszeniu nawet o 19 % (sekwencja SOCCER i $QP_K = 40$).

Za wyjątkiem sekwencji CREW, dostrzec można znaczne różnice strat jakości transkodowanej sekwencji w zależności od wartości parametru kwantyzacji w strumieniu wejściowym (QP_K). Im mniejsza jest wartość indeksu QP_K , tym większe są straty transkodowania.



Rysunek 3.16: Straty transkodowania kaskadowego w funkcji stosunku prędkości bitowych po i przed transkodowaniem (wyłącznie obrazy typu I, włączony filtr deblokujący)



Rysunek 3.17: Uniwersalna krzywa strat transkodowania kaskadowego strumieni bitowych złożonych wyłącznie z obrazów typu I, zakodowanych z wykorzystaniem filtra deblokującego. W tle umieszczono zostały wyniki badań eksperymentalnych

3.5. Podsumowanie

W rozdziale przedstawione zostały wynik badań strat jakości sekwencji wizyjnych powstających na skutek transkodowania kaskadowego.

W pierwszej kolejności przebadane zostały strumienie wizyjne, w których występują obrazy I, P oraz B. Badania wykazały, że możliwe jest wykreślenie uniwersalnej krzywej, która oddaje charakter strat jakości obrazu w funkcji redukcji strumienia bitowego. Należy zauważyć, że największe straty występują, gdy strumień bitowy zmniejszany jest o około 30 %. Zwiększanie wartości redukcji ponad tę wartość powoduje stopniowe zmniejszanie strat transkodowania. Straty te praktycznie zanikają przy 90 % redukcji strumienia bitowego. Otrzymane wyniki wykazują pewne podobieństwo do rezultatów uzyskanych dla transkodowania strumieni wizyjnych uzyskanych dzięki wykorzystaniu klasycznych technik kompresji [75].

Eksperymenty wykazały niewielki wpływ struktury grupy obrazów i relacji pomiędzy wartościami parametrów kwantyzacji w obrazach I, P, B na wartość strat transkodowania. Większy wpływ na te straty ma wykorzystanie filtru deblokującego, ale wyłącznie gdy różnica pomiędzy parametrami kwantyzacji w strumieniach wejściowym i wyjściowym nie przekracza wartości 3.

Przebadano również straty jakości powstające na skutek transkodowania strumieni wizyjnych, w których występują wyłącznie obrazy typu I. Badania wykazały istotny wpływ filtru deblokującego na straty jakości. W związku z tym przedstawione zostały dwie krzywe. Jedna z nich oddaje charakter strat transkodowania strumieni bitowych uzyskanych bez wykorzystania filtru deblokującego, a druga oddaje charakter strat transkodowania strumieni otrzymanych z użyciem tego filtru. W obu przypadkach największe straty transkodowania można zaobserwować przy około 20 % zmniejszeniu prędkości transmisji. Zwiększanie redukcji powyżej tej wartości skutkuje zmniejszaniem strat jakości powstających w wyniku transkodowania.

Analiza redukcji prędkości transmisji

4.1. Wprowadzenie

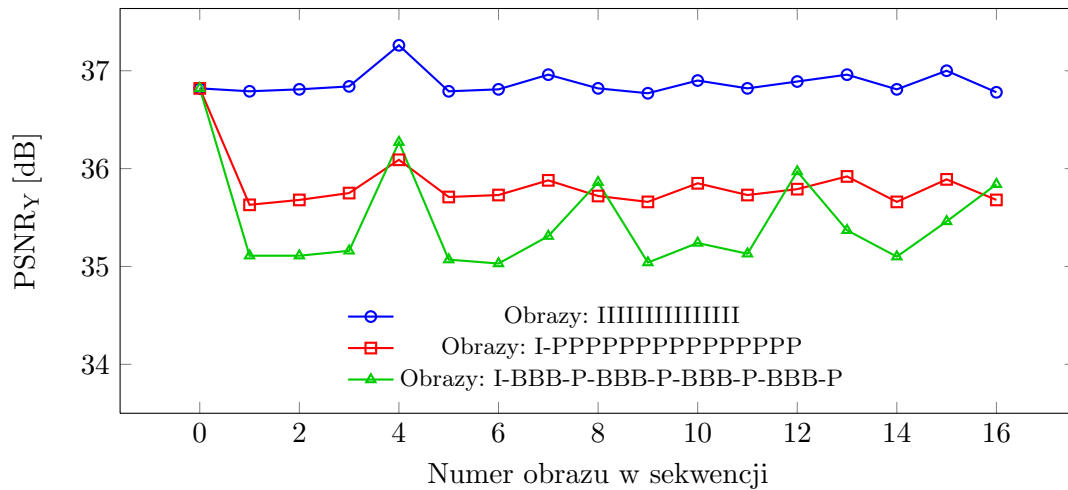
W rozdziale 3 przedstawione zostały właściwości transkodera kaskadowego. Okazuje się, że największe straty jakości spowodowane transkodowaniem powstają w wyniku stosunkowo niewielkich redukcji strumienia binarnego. Znaczne zmniejszenie prędkości bitowej wiąże się z istotnym poszerzeniem przedziałów kwantyzacji. W efekcie zniekształcenia obrazu spowodowane silną kwantyzacją stają się relatywnie duże w stosunku do zniekształceń spowodowanych rekwantyzacją, czego wynikiem są niewielkie straty jakości spowodowane transkodowaniem. Celowym jest więc opracowanie mechanizmu transkodowania, który zapewniałby mniejsze straty jakości niż transkoder kaskadowy dla niewielkich redukcji strumienia bitowego.

Straty jakości spowodowane transkodowaniem wynikają w głównej mierze z rekwantyzacji sygnału. Redukcja prędkości bitowej wizyjnego strumienia binarnego może się jednak odbywać bez wykorzystania tego procesu [38, 40, 167]. Wiąże się to z pojawieniem się innych źródeł zniekształceń. Istotne jest więc wykorzystanie odpowiednich technik i algorytmów, które pozwolą uzyskać mniejszą degradację jakości obrazu niż ma to miejsce w przypadku rekwantyzacji sygnału. W kolejnych punktach przedyskutowane zostaną rozwiązania powyższego problemu.

4.2. Podstawowe założenia

4.2.1. Typ obrazu

Jakość obrazu w sekwencji wizyjnej uzależniona jest od zastosowanych technik kompresji. W związku z powyższym, przy założeniu takiej samej wartości parametru kwantyzacji, jakość obrazu zależna będzie od tego czy jest to obraz typu I, P lub B. Zostało to przedstawione na rysunku 4.1.



Rysunek 4.1: Zależność jakości obrazu od jego typu. Wyniki uzyskano dla kodowania sekwencji HARBOUR przy użyciu referencyjnego kodera standardu MPEG-4 AVC/H.264 [160]. Wszystkie obrazy kodowano z wartością parametru kwantyzacji wynoszącą 28

Zapewnienie jak najwyższej średniej jakości sekwencji wymaga zróżnicowania parametrów kwantyzacji w różnych typach obrazów [46]. Rozpoczynający strukturę GOP obraz typu I powinien mieć najwyższą jakość, a obrazy kodowane międzyobrazowo i niewykorzystywane do predykcji jakość najniższą. Jeżeli w wyniku transkodowania uległaby zmianie struktura grupy obrazów, to część obrazów w strumieniu wynikowym, które powinny cechować się najwyższą jakością, powstałoby w wyniku transkodowania obrazów o jakości najniższej. W związku z powyższym, zapewnienie jak najmniejszych strat transkodowania wymaga, aby struktura GOP pozostała niezmienną.

4.2.2. Tryb kodowania makrobloku, submakrobloku i bloku

Standard MPEG-4 AVC/H.264 definiuje dużą liczbę narzędzi kompresji [63, 134, 195]. Zapewnienie najwyższej efektywności kompresji wymaga właściwego wyboru trybu kodowania makrobloku, submakrobloku oraz bloku o rozmiarze 4×4 punkty. Badania wskazują na

powiązanie wyboru tych trybów z docelową wartością prędkości bitowej [36]. Niewłaściwe decyzje prowadzą w oczywisty sposób do obniżenia efektywności kompresji [37].

Dla strumieni wizyjnych różniących się w niewielkim stopniu prędkością bitową, statystyki wyboru trybów kodowania są podobne [36]. Bazując na powyższym oraz wynikach przedstawionych w [84] wnioskować można, że dla stosunkowo niewielkich (do około 40 %) redukcji strumienia bitowego pozostawienie tych samych trybów kodowania wiąże się z niewielkim spadkiem efektywności kompresji. Należy jednak zaznaczyć, że znacząca redukcja prędkości bitowej (powyżej 90 %) bez zmiany trybów kodowania może prowadzić do bardzo dużych strat transkodowania [84].

Zmiana trybu kodowania makrobloku, submakrobloku bądź bloku, pociąga za sobą, w przypadku ogólnym, konieczność rekwantyzacji próbek transformaty ze względu na zmianę sygnału predykcji. Pozostawienie niezmiennego trybu kodowania pozwala na wykorzystanie innych niż rekwantyzacja metod modyfikacji próbek transformaty, co prowadzi do zmniejszenia strat transkodowania [39].

Na podstawie powyższego należy stwierdzić, że dla niewielkich redukcji prędkości transmisji, celowym jest pozostawienie niezmiennych trybów kodowania makrobloków, submakrobloków i bloków.

4.2.3. Wektory ruchu i indeks obrazu odniesienia

Dobry koder wizyjny balansuje pomiędzy liczbą bitów przeznaczonych na: informację sterującą, wektory ruchu wraz z indeksami obrazów odniesienia oraz reprezentację próbek transformaty. Zapewnienie najwyższej efektywności kompresji wymaga, aby zwiększeniu wartości parametru kwantyzacji towarzyszyło zmniejszenie liczby bitów przeznaczanych na wektory ruchu oraz indeksy obrazów odniesienia [36, 37]. Taka redukcja liczby bitów związana jest z ograniczeniem liczby wektorów ruchu. W efekcie zmianie ulegają przewidywane wartości próbek, co prowadzi do konieczności wyznaczenia nowych wartości próbek transformaty i związanej z tym rekwantyzacji. Jak pokazano w rozdziale 3, niewielka redukcja prędkości bitowej powoduje bardzo duże straty transkodowania. Uwzględniając powyższe oraz statystyki wyboru trybów kodowania w zależności od prędkości bitowej przyjąć można, że większe obniżenie jakości obrazu spowoduje ponowna kwantyzacja sygnału niż sub-optimalny dobór wektorów ruchu wraz z indeksami obrazów odniesienia.

4.2.4. Otwarta pętla sprzężenia zwrotnego

Transkodowanie sekwencji wizyjnej może być realizowane z zamkniętą lub otwartą pętlą sprzężenia zwrotnego. Pierwsza z technik nie pozwala na pojawienie się błędu dryftu. Jest jednak złożona obliczeniowo i związana jest z rekwantyzacją sygnału, która dla niewielkich redukcji prędkości transmisji powoduje większe straty jakości niż eliminacja próbek transformaty [39].

Jak to zostało przedstawione w punkcie 2.2.1, transkodowanie z otwartą pętlą jest związane z pojawieniem się błędu dryftu. Standard MPEG-4 AVC/H.264 dopuszcza, by obrazy typu B były obrazami odniesienia, jednak najczęściej nie są one wykorzystywane do przewidywania wartości próbek innych obrazów. W związku z tym, w przypadku transkodowania z otwartą pętlą, ich modyfikacja nie powoduje powstawania błędu dryftu [29].

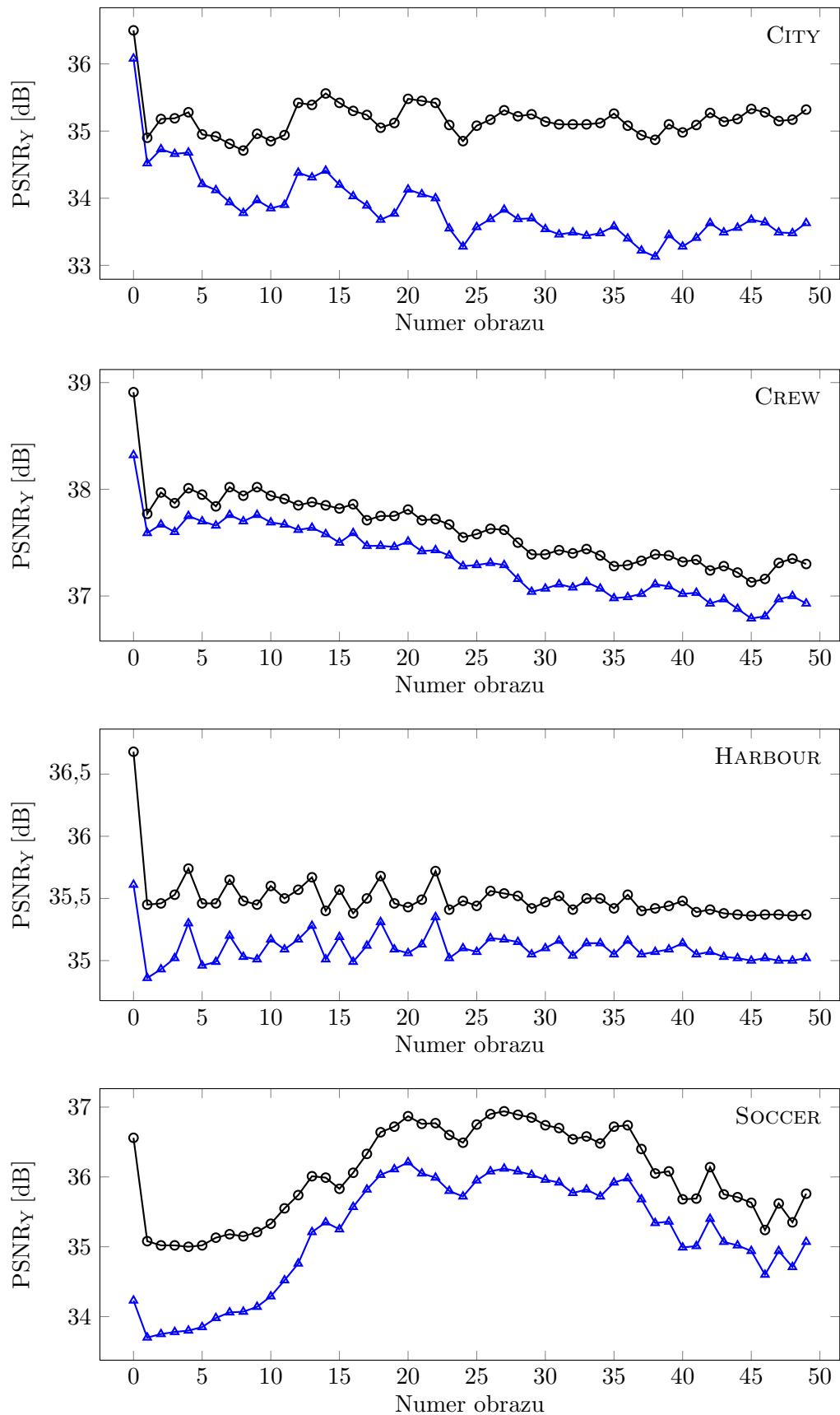
Dryft pojawia się na skutek modyfikacji obrazów typu I oraz P, które są wykorzystywane do predykcji innych obrazów. W wielu pracach autorzy wskazują, że błąd dryftu ma duży negatywny wpływ na jakość obrazu [31, 129, 171, 172, 180].

Najsilniejszy wpływ dryftu na jakość transkodowanej sekwencji ma miejsce, gdy po obrazie typu I następuje bardzo długi ciąg obrazów typu P. Na rysunkach 4.2 i 4.3 przedstawione zostały przykłady zgodne z takim scenariuszem, odpowiednio dla sekwencji zakodowanych z wykorzystaniem filtru deblokującego i bez niego. Zauważyć można, że modyfikacja pierwszego obrazu polegająca na usunięciu części próbek transformaty, powoduje pogorszenie jakości wszystkich obrazów następujących po nim. Następuje to pomimo braku ingerencji w ich skompresowaną reprezentację.

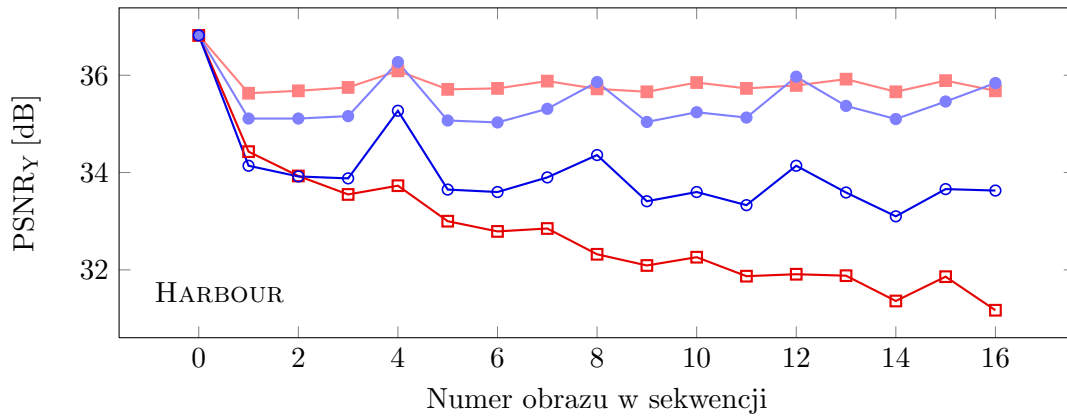
W typowych zastosowaniach transmisyjnych, do kodowania sekwencji wizyjnych oprócz obrazów I oraz P, wykorzystywane są również obrazy typu B. Ich użycie powoduje zmniejszenie liczebności obrazów typu P w sekwencji, co wiąże się ze skróceniem ścieżki propagacji zniekształceń i w rezultacie mniejszą łączną degradację jakości obrazu. Zostało to zilustrowane na rysunku 4.4.

W przypadku transmisji sygnałów wizyjnych jest wymagane, by widz bez zbędnej zwłoki mógł rozpocząć oglądanie danej transmisji. W związku z tym, odpowiednio często powinny się pojawiać w strumieniu bitowym obrazy kluczowe*, od których może rozpocząć się proces dekodowania strumienia. Jednocześnie ich występowanie powoduje obniżenie efektywności kompresji. Przyjmuje się, że dobrym kompromisem jest pojawianie się obrazu

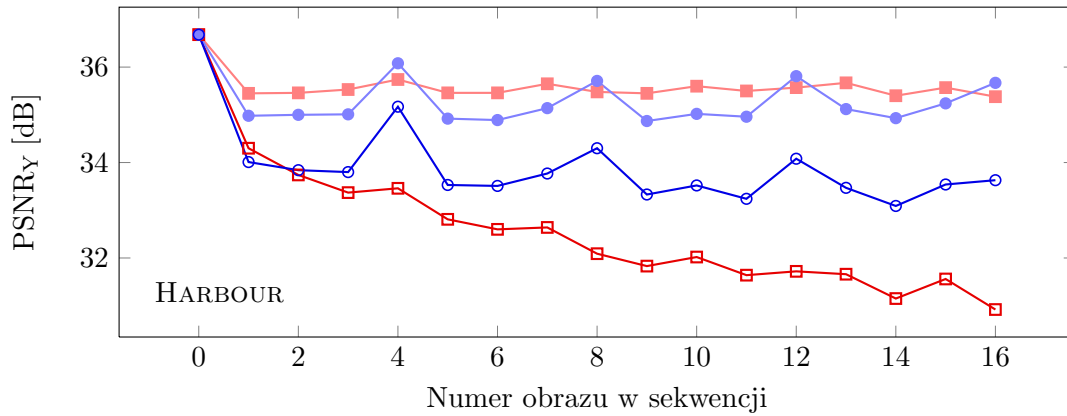
*W standardzie MPEG-4 AVC/H.264 oznaczone jako IDR (ang. *Instantaneous Decoding Refresh*).



Rysunek 4.3: Zjawisko dryftu. Krzywa $\circ$ — $\circ$ ukazuje jakość sekwencji, gdy pierwszy obraz jest typu I, a pozostałe typu P. Krzywa $\triangle$ powstała w wyniku zmodyfikowania wyłącznie rozpoczynającego sekwencję obrazu I. Wyłączony filtr deblokujący



(a) Wykorzystanie filtru deblokującego

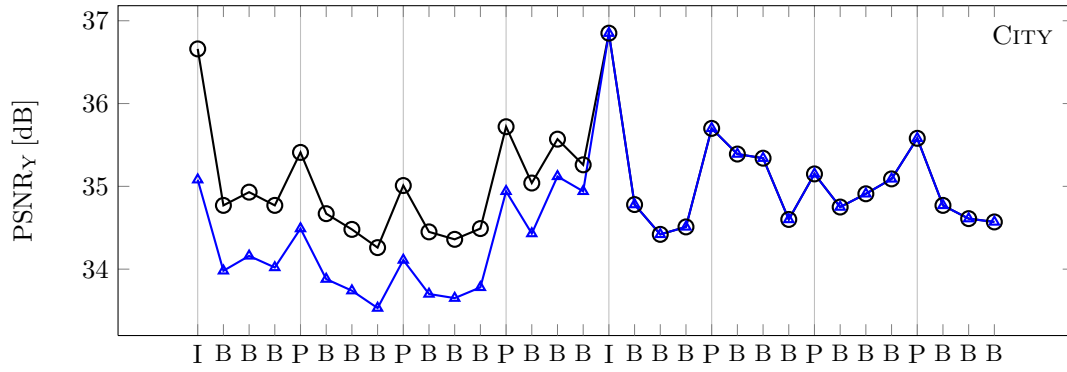


(b) Brak filtru deblokującego

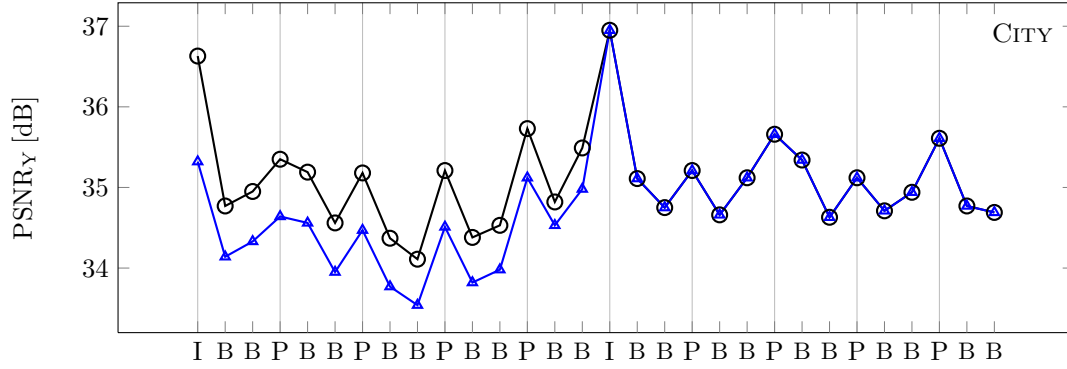
Rysunek 4.4: Porównanie dryftu powstającego na skutek transkodowania sekwencji w której występują (—○—) oraz nie występują (—□—) obrazy typu B. Krzywe —●— i —■— przedstawiają odpowiednie wartości miary PSNR sekwencji poddawanych transkodowaniu

kluczowego co około pół sekundy. W przypadku, gdy mamy do czynienia z sekwencją o częstotliwości 30 Hz, oznacza to, że co piętnasty obraz powinien być kluczowy.

Przyjmując, że w grupie obrazów, obrazy typu P oddzielone są dwoma obrazami typu B otrzymamy następujący schemat kodowania: I-BB-P-BB-P-BB-P-BB-P-BB. Jak można zauważyć, droga propagacji zniekształceń jest tu stosunkowo krótka, gdyż występują tylko cztery obrazy typu P. Gdyby strukturę GOP skonstruować w oparciu o trzy rozdzielające obrazy typu B, miałaby ona postać: I-BBB-P-BBB-P-BBB-P-BBB. Całkowita jej długość jest w tym przypadku większa i wynosi 16, ale zniekształcenia mogą się propagować przez zaledwie trzy obrazy typu P. Na rysunku 4.5 przedstawiono przykłady transkodowania sekwencji CITY zakodowanej z wykorzystaniem obu wymienionych powyżej struktur GOP. Modyfikowany był wyłącznie pierwszy obraz sekwencji. Zauważyć można, że straty jakości są mniejsze dla ostatnich obrazów B w strukturze GOP, gdyż korzystają one po części z niezmodyfikowanego obrazu rozpoczynającego drugą strukturę grupy obrazów.



(a) GOP: I-BBB-P-BBB-P-BBB-P-BBB

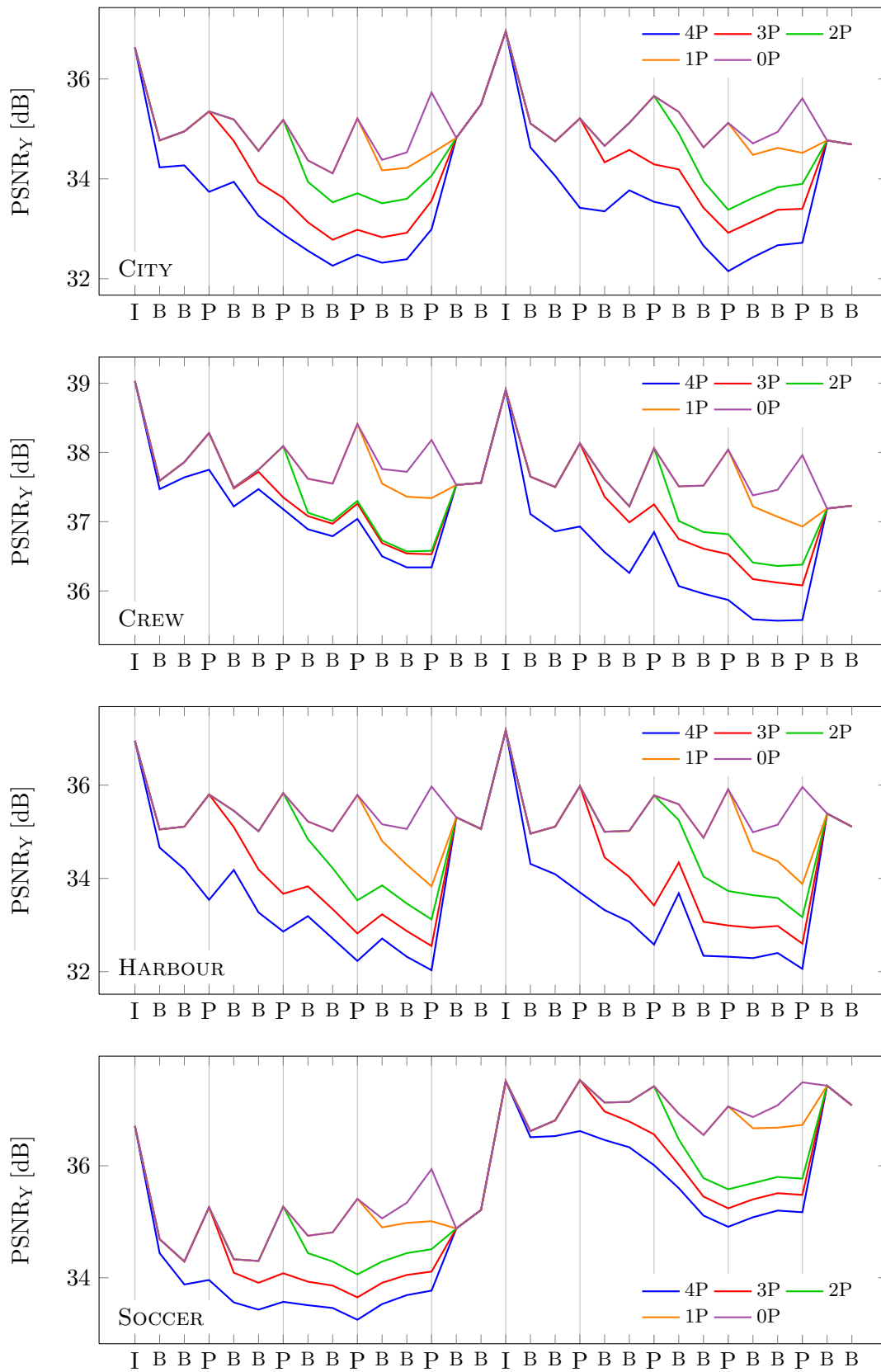


(b) GOP: I-BB-P-BB-P-BB-P-BB-P-BB

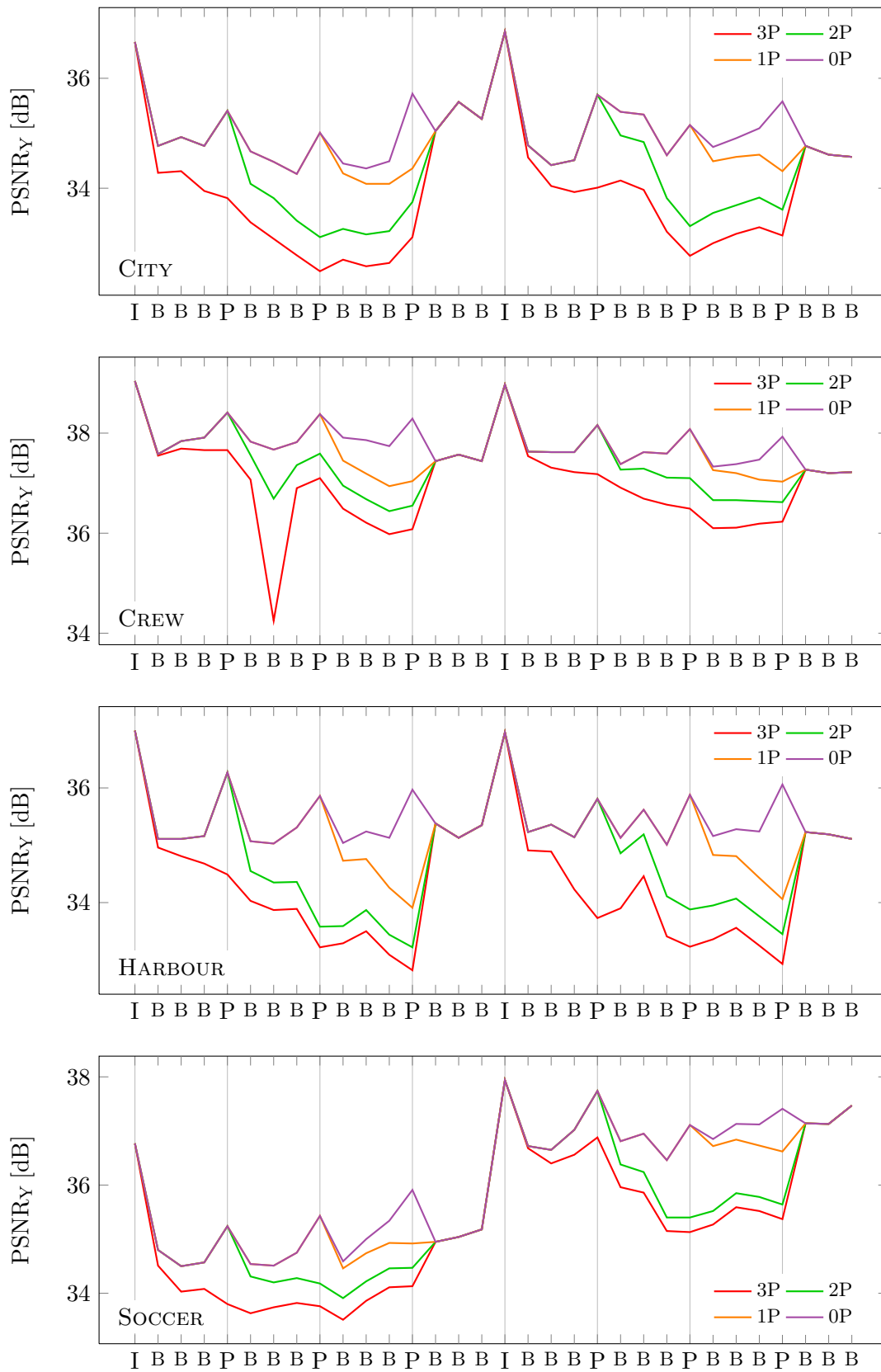
Rysunek 4.5: Dryft powstały w wyniku modyfikacji wyłącznie pierwszego obrazu w sekwencji. Krzywa $\text{---}\bigcirc\text{---}$ przedstawia jakość pierwszego kodowania, natomiast krzywa $\text{---}\blacktriangle\text{---}$ obrazuje jakość, gdy w transkodерze dokonano modyfikacji pierwszego obrazu w pierwszej strukturze GOP

Znając mechanizmy powstawania błędu dryftu i wzajemne zależności pomiędzy zakodowanymi obrazami można w taki sposób modyfikować strumień wizyjny, aby zminimalizować straty transkodowania. Jeżeli obrazy typu B nie są wykorzystywane do przewidywania wartości próbek innych obrazów, to należy je modyfikować w pierwszej kolejności. W ten sposób wprowadzane zniekształcenia nie propagują się na inne obrazy.

W przypadku, gdy wymagana jest dodatkowa redukcja strumienia bitowego należy modyfikować obrazy typu P. Istotne jest, by taką operację wykonywać rozpoczynając od ostatniego obrazu typu P w grupie obrazów i kolejno przesuwając się w kierunku jej początku, jeżeli znajdzie taka konieczność. Na rysunkach 4.6 i 4.7 pokazane zostały wyniki eksperymentu polegającego na modyfikacji różnej liczby kończących strukturę GOP obrazów typu P. Taki wybór obrazów poddawanych modyfikacji zapewnia, że ścieżka propagacji błędu będzie najkrótszą z możliwych. Dopiero w ostatniej kolejności powinien być modyfikowany obraz typu I rozpoczynający grupę obrazów, gdyż jego modyfikacja ma wpływ na wszystkie pozostałe obrazy tworzące GOP.



Rysunek 4.6: Dryft powstały w wyniku zwiększenia o 6 wartości parametru kwantyzacji w obrazach typu P (QP^P). Wykresy dla sekwencji niezmodyfikowanej (0P) oraz zmienionych od 1 do 4 obrazów typu P, licząc od końca struktury GOP (GOP: 4P2B, $QP^I = QP^P = QP^B = 28$, włączony filtr deblokujący)



Rysunek 4.7: Dryft powstały w wyniku zwiększenia o 6 wartości parametru kwantyzacji w obrazach typu P (QP^P). Wykresy dla sekwencji niezmodyfikowanej (0P) oraz zmienionych od 1 do 3 obrazów typu P, licząc od końca struktury GOP (GOP: 3P3B, $QP^I = QP^P = QP^B = 28$, włączony filtr deblokujący)

4.2.5. Parametr kwantyzacji

Zmiana parametru kwantyzacji jest podstawowym mechanizmem redukcji prędkości bitowej w procesie stratnej kompresji sekwencji wizyjnej. Rekwantyzacja sygnału prowadzi na ogół do zmiany zdekwantowanych wartości. W przypadku transkodowania strumieni zgodnych ze standardem MPEG-4 AVC/H.264 możliwa jest modyfikacja parametru kwantyzacji, która nie spowoduje zmiany wartości zdekwantowanych próbek, a więc i zdekodowanego obrazu. Taka operacja będzie w tej pracy nazywana *bezstratną rekwantyzacją*. Jej realizacja jest możliwa gdy spełnione jest równanie:

$$Q \cdot y = Q' \cdot y', \quad y, y' \in \mathbb{N}, \quad (4.1)$$

które można zapisać też w następujący sposób:

$$\frac{y}{y'} = \frac{Q'}{Q} = n, \quad y, y' \in \mathbb{N}, \quad (4.2)$$

gdzie:

Q – szerokość przedziałów kwantyzacji pierwszego kwantyzatora,

Q' – szerokość przedziałów kwantyzacji drugiego kwantyzatora,

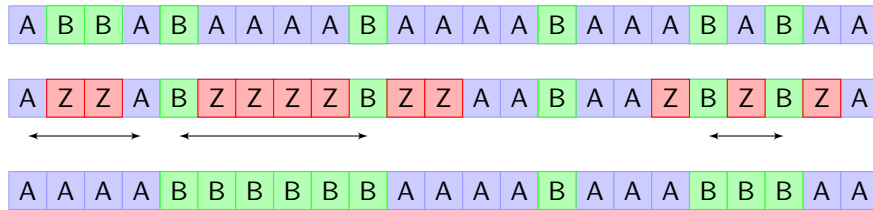
y – skwantowana wartość poddawana rekwantyzacji,

y' – wartość po rekwantyzacji.

Skwantowane próbki transformaty w strumieniu wizyjnym zgodnym ze standardem MPEG-4 AVC/H.264 mają w większości niewielkie wartości (patrz punkt 4.3). Operacja rekwantyzacji służy na ogół dodatkowemu zmniejszeniu amplitudy próbek, czyli $y' < y$. Uwzględniając te fakty oraz analizując wartości szerokości przedziałów kwantyzacji Q przedstawione w tabeli 2.5 stwierdzić należy, że spełnienie równania (4.2) nastąpi, gdy $n = 2^k$, $k \in \mathbb{N}^+$. Oznacza to, że *jeżeli wszystkie niezerowe, skwantowane próbki transformaty będą potęgą liczby dwa, możliwa jest bezstratna rekwantyzacja sygnału*. Analizując tabelę 2.5 należy stwierdzić, że sytuacja taka ma miejsce, gdy:

$$QP' - QP = 6 \cdot k \quad \text{dla} \quad k \in \mathbb{N}^+, \quad (4.3)$$

gdzie QP i QP' oznaczają odpowiednio wartości parametrów pierwszej i ponownej kwantyzacji. Wzór (4.3) jest prawdziwy dla parametrów kwantyzacji luminancji QP_Y i chrominancji QP_C .



Legenda:

- A – makrobloki kodowane z parametrem kwantyzacji QP_1
- B – makrobloki kodowane z parametrem kwantyzacji QP_2
- Z – makrobloki, w których wszystkie próbki transformaty mają wartość 0

Rysunek 4.8: Mechanizm redukcji liczby zmian wartości parametru kwantyzacji w obrazie

Istnieje niewielkie prawdopodobieństwo, że wszystkie próbki transformaty w danym makrobloku będą miały wartości podzielne bez reszty przez potęgę liczby dwa. Jednak wybranie nowego indeksu współczynnika kwantyzacji zgodnie z równaniem (4.3) spowoduje, że część wartości będzie rekwantowana bezstratnie, co zapewni wyższą jakość zdekodowanego obrazu.

Standard MPEG-4 AVC/H.264 dopuszcza, aby każdy makroblok posiadał odmienną wartość indeksu kwantyzacji. Należy jednak uwzględnić, że informacja o różnicy tych wartości w kolejnych makroblokach musi być umieszczona w strumieniu bitowym. W efekcie zysk efektywności kompresji wynikający z silniejszej kwantyzacji części makrobloków może ulec redukcji lub zamianie w stratę efektywności kompresji na skutek zbyt dużej ilości informacji sterującej.

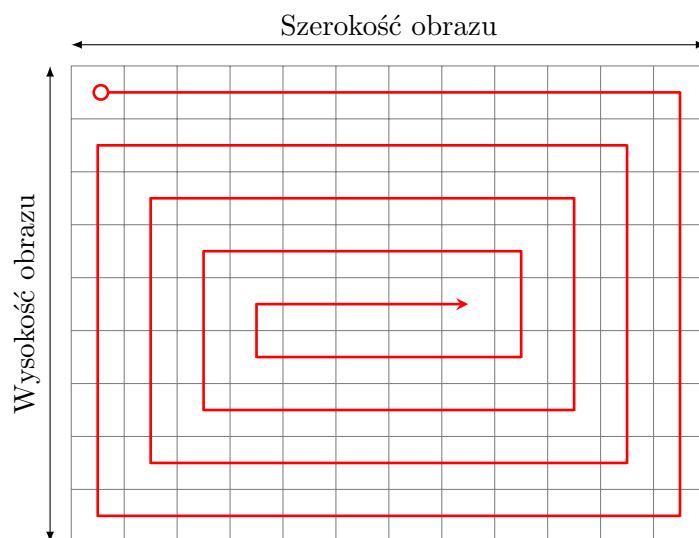
W związku z powyższym, doktorant proponuje wykorzystanie procedury redukcji liczby zmian wartości parametru kwantyzacji w obrazie. Przykład jej działania został zilustrowany na rysunku 4.8. Dla uproszczenia przyjmijmy, że wartość parametru kwantyzacji w makrobloku może przyjmować jedną z dwóch wartości. We wskazanym przykładzie, na początku w dwunastu miejscach sąsiadują ze sobą makrobloki o odmiennej wartości parametru kwantyzacji. Naszym celem jest zmniejszenie tej liczby. Należy zauważyć, że w części makrobloków wszystkie próbki transformaty mają wartość 0. W takim przypadku makroblok zostanie poprawnie zdekodowany niezależnie od przypisanej mu wartości parametru kwantyzacji, gdyż dekwantyzacji poddawana będzie wartość 0.

W dowolnie długim ciągu makrobloków o wyłącznie zerowych wartościach próbek transformaty, ograniczonym z dwóch stron makroblokami o nieróżniących się wartościach parametru kwantyzacji, możliwe jest przypisanie wartości indeksu QP zgodnej z makroblokami ograniczającymi. Na podstawie poprzedniego akapitu stwierdzić można, że taka

operacja pozostanie bez wpływu na dekodowany obraz. Jeżeli w modyfikowanym ciągu występowały wcześniej wartości parametrów kwantyzacji odmienne od wartości QP w ograniczających makroblokach, to redukcji ulegnie ilość informacji umieszczanej w strumieniu bitowym. W efekcie wzrośnie efektywność kompresji. W przykładzie przedstawionym na rysunku 4.8 dwukrotnie zredukowana została liczba zmian parametru kwantyzacji.

4.2.6. Spiralne uporządkowanie makrobloków

Człowiek, obserwując obrazy, koncentruje zwykle swą uwagę na pewnym ich fragmencie. W związku z tym, wprowadzanie zniekształceń do pozostałej części obrazu, pozostaje najczęściej niezauważone [9, 122]. W przypadku ogólnym niezbędna jest wiedza, gdzie w obrazie znajduje się element, na którym widz będzie skupiał uwagę. Możemy jednakże przyjąć, że dla dość dużej klasy sekwencji wizyjnych, obszar zainteresowania będzie znajdował się w okolicach środka kadru. W związku z tym, celowym wydaje się modyfikowanie w pierwszej kolejności makrobloków znajdujących się w zewnętrznej części obrazu. Autor proponuje modyfikację makrobloków w kolejności zgodnej z uporządkowaniem spiralnym przedstawionym na rysunku 4.9.



Rysunek 4.9: Spiralne uporządkowanie makrobloków

Jest to wykorzystanie idei proponowanej i wykorzystanej do implementacji skalowalności drobnoziarnistej (ang. *Fine Grain Scalability* – FGS) strumieni wizyjnych [9, 122]. Takie rozwiązanie zapewnia, że makrobloki znajdujące się w centralnej części kadru zmienione będą jako ostatnie. Należy tu podkreślić, że modyfikacja makrobloków w takiej kolejności ma na celu poprawę wyłącznie subiektywnej jakości obrazu.

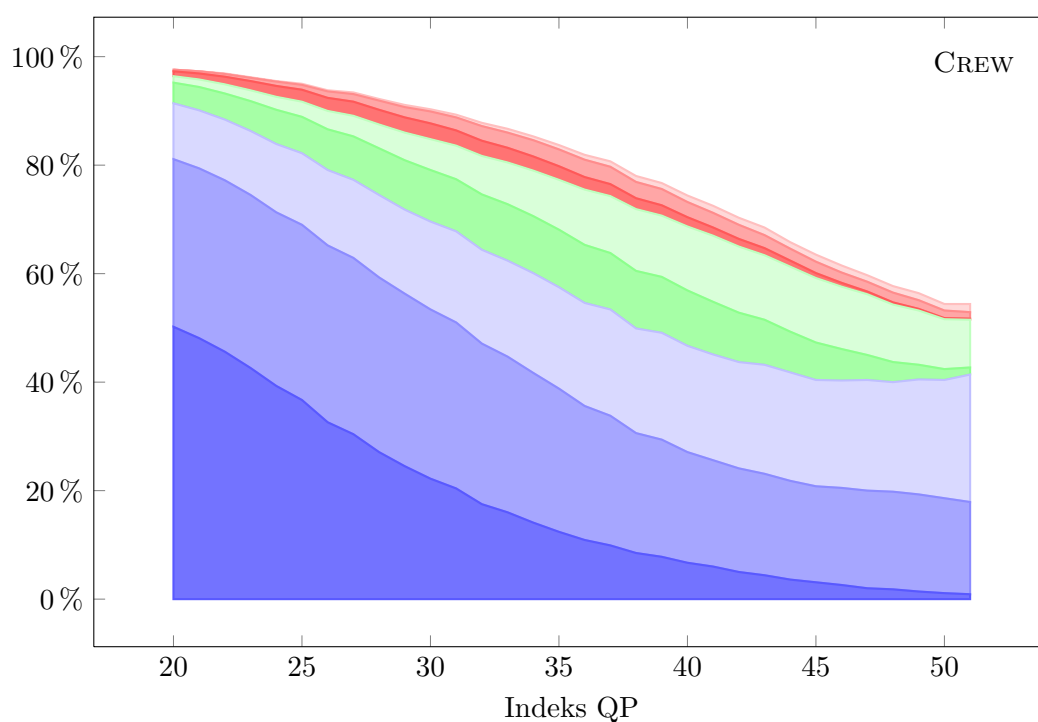
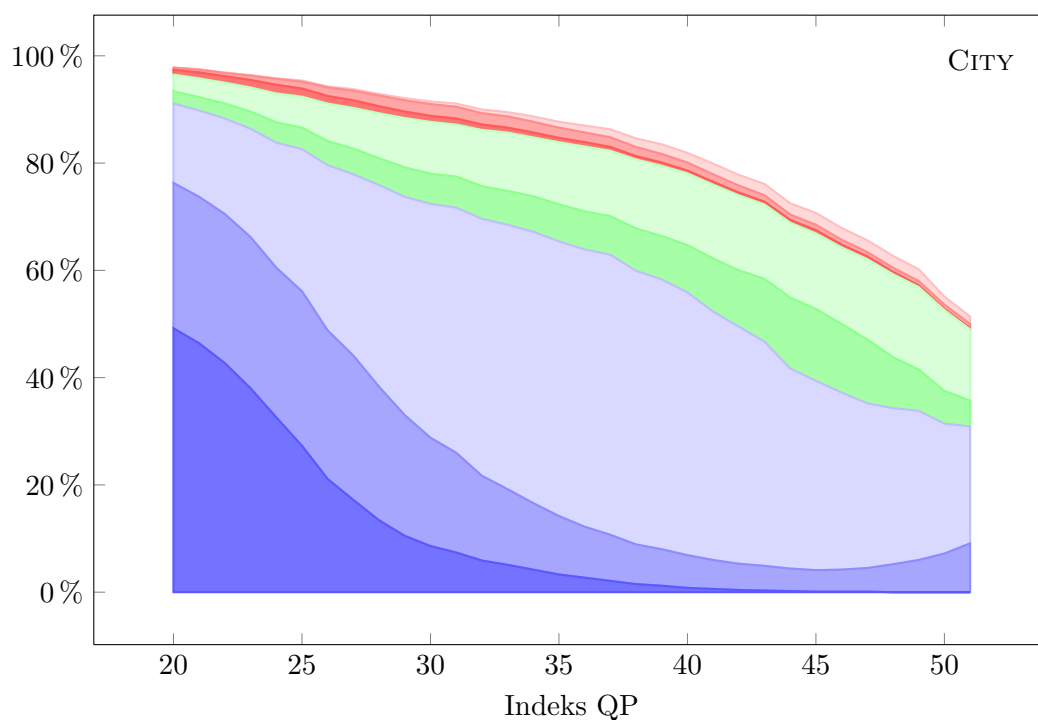
4.3. Zakres redukcji strumienia bitowego

Przyjęcie założeń o niezmienności trybów kodowania makrobloku oraz wektorów ruchu i indeksów obrazów odniesienia powoduje, że zmniejszenie prędkości transmisji może odbywać się wyłącznie poprzez modyfikację skwantowanych wartości próbek transformaty. Ich udział w całości strumienia bitowego określa w jakim stopniu może być on zmniejszony.

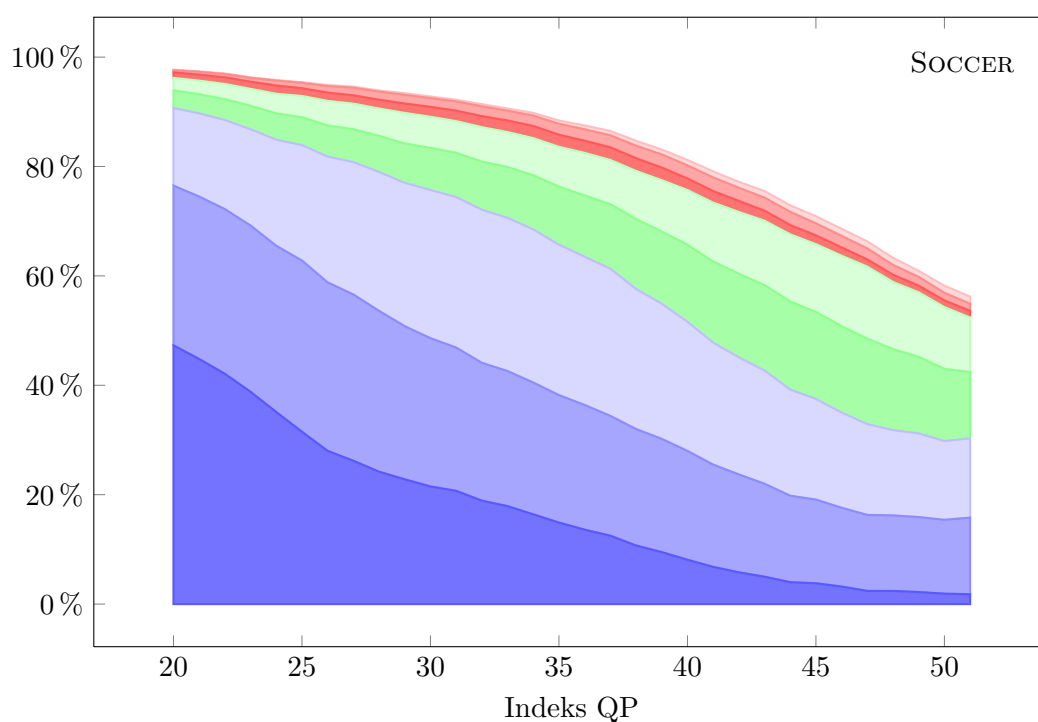
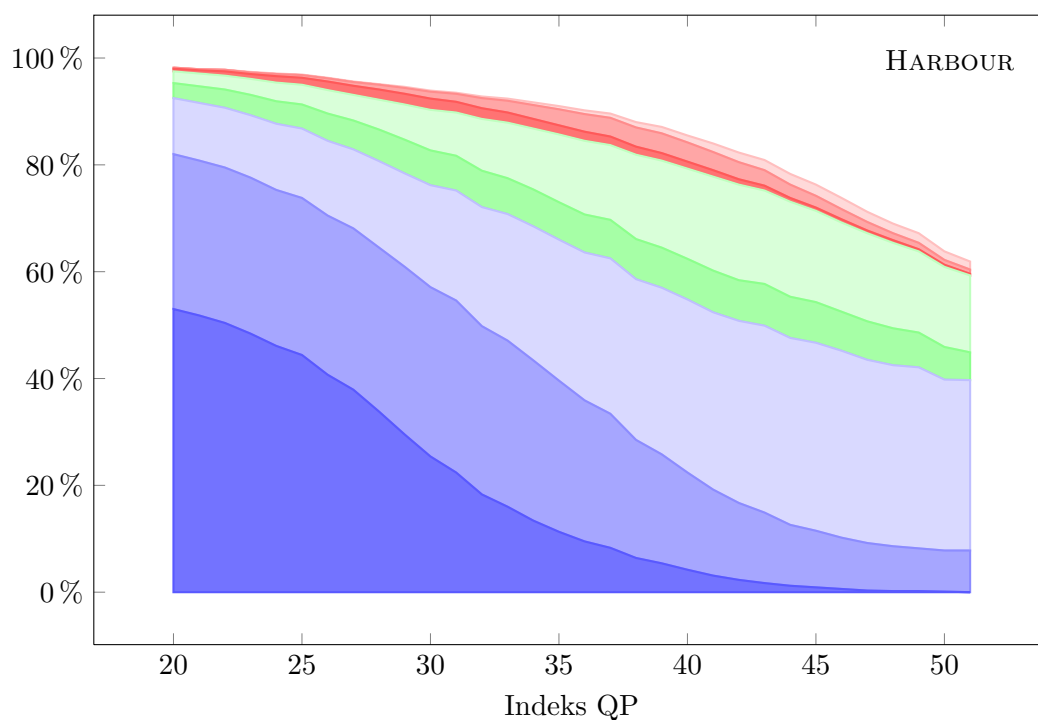
Na rysunku 4.10 został przedstawiony, dla obrazów typu I, P oraz B, procentowy udział różnych elementów strumienia w jego całości, w zależności od wartości indeksu QP. Wyniki zaprezentowano dla czterech sekwencji o zróżnicowanej treści. Struktura grupy obrazów w eksperymencie miała postać I-BB-P-BB-P-BB-P-BB-P-BB, a wartość indeksu QP była jednakowa dla wszystkich obrazów w sekwencji. Testy przeprowadzone zostały z wykorzystaniem kodera referencyjnego standardu MPEG-4 AVC/H.264 w wersji 13.2 [160]. Koder pracował w trybie optymalizacji „prędkość bitowa-jakość”.

Eksperyment przeprowadzony został dla wartości parametru kwantyzacji zawierających się w przedziale 20–51. Takie wartości indeksu QP pozwoliły na uzyskanie strumieni bitowych o przepływnościach od kilkuset kilobitów do kilkunastu megabitów, co z dużym zapasem pokrywa zakres typowych prędkości transmisji sekwencji wizyjnych o rozdzielczości 4cif. Dla wartości parametru kwantyzacji wynoszącej 20, próbki transformaty stanowią od 90 do 93 % całości strumienia wizyjnego. Wykorzystanie największej, dozwolonej przez standard MPEG-4 AVC/H.264, wartości parametru kwantyzacji powoduje, że dla badanych sekwencji udział próbek transformaty w całości strumienia wynosi od 30 do 40 %. Niezależnie od sekwencji, wraz ze wzrostem wartości indeksu QP w zakodowanym strumieniu, maleje udział informacji o próbkach transformaty w całości strumienia bitowego. Coraz większą część strumienia zaczynają stanowić informacje sterujące oraz wektory ruchu i indeksy obrazów odniesienia. Te grupy danych nie powinny być usuwane ze strumienia, gdyż ich brak najczęściej uniemożliwia zdekodowanie. Ewentualnie możliwe jest zastępowanie różnych trybów kodowania międzyobrazowego trybami o mniejszej liczbie umieszczanych w strumieniu wektorów ruchu lub trybami SKIP oraz DIRECT, w których nie przesyła się informacji o ruchu.

Usunięcie wszystkich próbek transformaty wiąże się z nieakceptowalnym pogorszeniem jakości transkodowanej sekwencji. W szczególności, eliminacja wszystkich próbek w obrazach typu I jest niedopuszczalna, gdyż wiąże się z całkowitym usunięciem treści obrazu. Obrazy tego typu powinny być modyfikowane w stopniu nieznacznym, gdyż ich jakość silnie



Rysunek 4.10: Udział w skompresowanym strumieniu bitowym zgodnym ze standardem MPEG-4 AVC/H.264: próbek transformaty w obrazach B(■), P(■), I(■), informacji związanej z ruchem w obrazach B(■), P(■), zmiennej CBP w obrazach B(■), P(■), I(■). Obrazy I, P oraz B kodowane z wykorzystaniem takiej samej wartości parametru kwantyzacji, struktura GOP: 4P2B

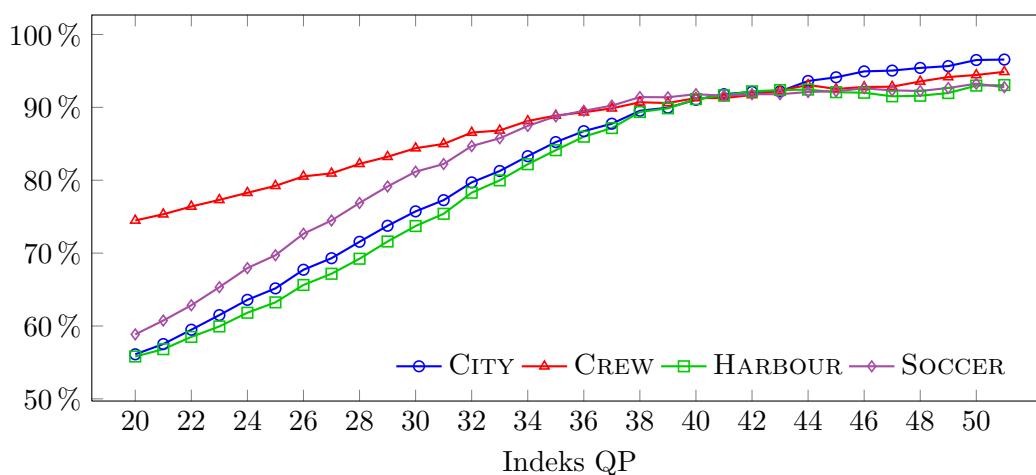


Rysunek 4.10: Udział w skompresowanym strumieniu bitowym zgodnym ze standardem MPEG-4 AVC/H.264: próbek transformaty w obrazach B(■), P(■), I(■), informacji związanej z ruchem w obrazach B(■), P(■), zmiennej CBP w obrazach B(■), P(■), I(■). Obrazy I, P oraz B kodowane z wykorzystaniem takiej samej wartości parametru kwantyzacji, struktura GOP: 4P2B

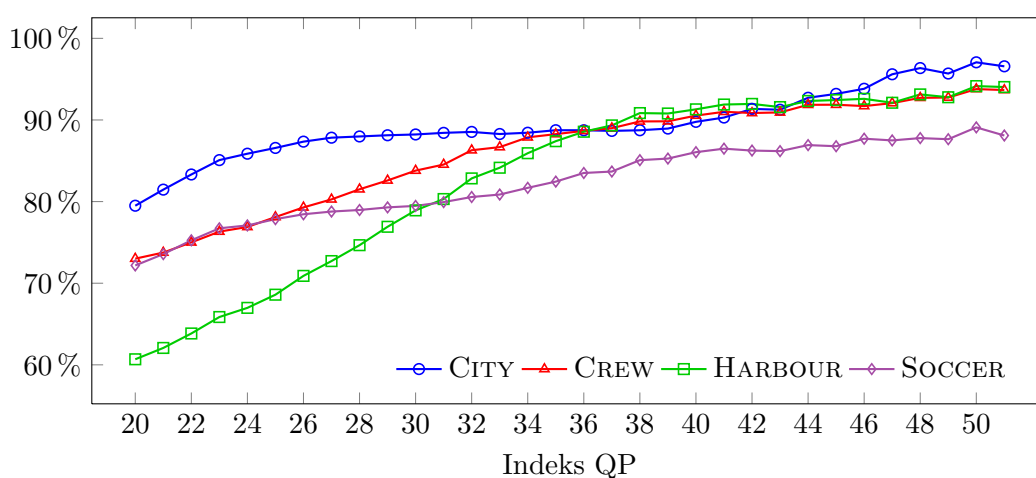
wpływa na jakość pozostałych obrazów w strukturze GOP. Istotna jest więc informacja, jaki odsetek w całości strumienia stanowią próbki transformaty w obrazach typu P i B. Dla przebadanych, reprezentatywnych sekwencji i zakresu parametru kwantyzacji od 20 do 51 wartości te mieściły się odpowiednio w zakresach 76–86 % i 8–18 %.

Usuwanie próbek transformaty powinny mieć niewielkie wartości, aby straty jakości powstałe na skutek tej operacji były możliwie najmniejsze. Przyjrzyjmy się więc jaki odsetek niezerowych próbek transformaty w skompresowanym strumieniu bitowym stanowią próbki o amplitudzie równej 1. Na rysunku 4.11 przedstawione zostały wyniki testów dla czterech różnorodnych sekwencji i indeksu QP zmieniającego się w zakresie 20–51. Można zauważyć, że niezależnie od sekwencji, próbki transformaty o amplitudzie równej jeden stanowią znaczącą większość. W obrazach typu I, dla wartości $QP = 20$, stanowią one około 55 % wszystkich niezerowych próbek transformaty. Wyjątkiem jest sekwencja CREW, dla której odsetek ten wynosi aż 74 %. Udział ten rośnie, wraz ze zwiększaniem się wartości parametru kwantyzacji. Od momentu osiągnięcia przez indeks QP wartości 40, udział ten stabilizuje się na poziomie około 93 %. W obrazach typu P oraz B możemy z pewnym przybliżeniem przyjąć, że niezależnie od wartości parametru kwantyzacji próbki o amplitudzie równej jeden stanowią około 80 % wszystkich próbek transformaty.

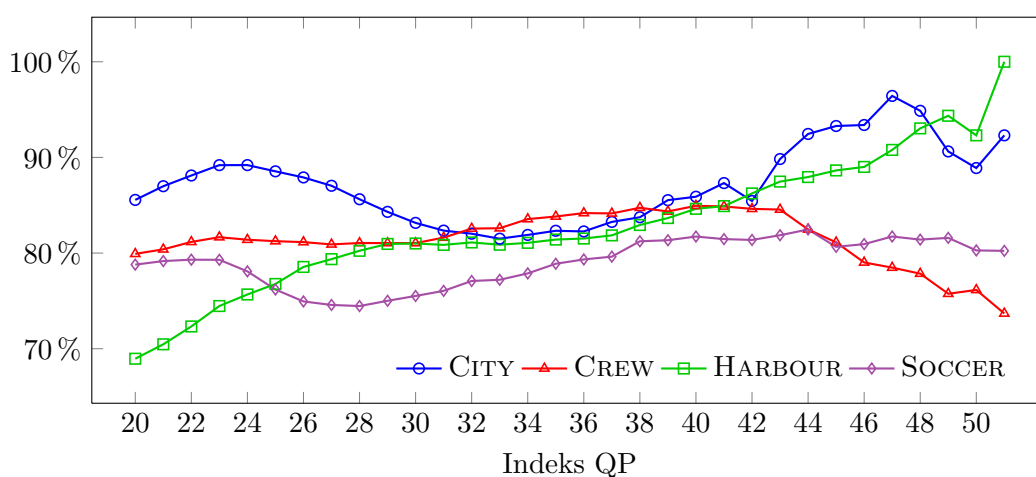
Podsumowując należy stwierdzić, że znacząca część próbek transformaty w skompresowanym strumieniu wizyjnym posiada wartość amplitudy równą jeden. Pozwala to domniemywać, że ich eliminacja w niewielkim stopniu wpłynie na jakość transkodowanej sekwencji. Uwzględniając wyniki zaprezentowane na rysunkach 4.10 i 4.11 stwierdzić należy, że duża część transkodowanego strumienia bitowego, może zostać usunięta, przy niedużej utracie jakości obrazu. Powyższe stwierdzenie zostało potwierdzone eksperymentalnie. Efektem badań są zaproponowane i przedstawione w tej pracy autorskie algorytmy redukcji prędkości transmisji.



(a) Obrazy typu I



(b) Obrazy typu P



(c) Obrazy typu B

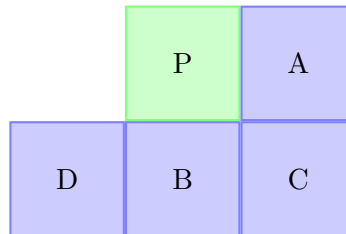
Rysunek 4.11: Udział próbek o amplitudzie równej 1 w łącznej liczbie niezerowych próbek transformaty (struktura GOP: 3P3B, $QP^I = QP^P = QP^B$, włączony filtr deblokujący, dozwolone makrobloki Intra w obrazach P i B)

4.4. Transkodowanie makrobloków wykorzystywanych do przewidywania wartości próbek sąsiednich bloków

4.4.1. Warunki modyfikacji próbek transformaty niezmieniającej przewidywanych wartości próbek sąsiednich bloków

4.4.1.1. Wprowadzenie

Standard MPEG-4 AVC/H.264 definiuje między innymi narzędzia predykcji wewnątrz-obrazowej realizowanej w dziedzinie próbek obrazu. W związku z tym, modyfikacja próbek transformaty w danym bloku może prowadzić do zmiany przewidywanych wartości próbek obrazu w sąsiednich blokach. Niezbędne jest więc określenie, jakie warunki powinny być spełnione, aby w wyniku modyfikacji próbek transformaty nie zmieniły się przewidywane wartości próbek w sąsiednich blokach.



Rysunek 4.12: Otoczenie bloku dla wewnątrzobrazowego kodowania luminancji. Wartości próbek bloków A–D mogą być przewidywane na podstawie wartości próbek bloku P

Rysunek 4.12 przedstawia kodowany blok P o rozmiarze 4×4 punkty składający się z próbek obrazu p_{ij} . Na podstawie wartości części punktów bloku P mogą być przewidywane wartości próbek sąsiednich bloków A, B, C, D. Możliwa jest taka modyfikacja wartości punktów w bloku P, aby nie uległy zmianie przewidywane wartości próbek w sąsiednich blokach. Zmiana ta jest jednak uzależniona od trybów predykcji bloków A–D. W zależności od tych trybów, istnieje konieczność spełnienia części z następujących warunków dotyczących modyfikacji bloku P:

- (W1) niezmiennosc wartości punktów w ostatniej kolumnie,
- (W2) niezmiennosc wartości punktów w ostatnim wierszu,
- (W3) niezmiennosc wartości w ostatnim punkcie ostatniego wiersza,
- (W4) niezmiennosc sumy wartości punktów w ostatniej kolumnie,
- (W5) niezmiennosc sumy wartości punktów w ostatnim wierszu.

O tym, które z powyższych warunków muszą zostać spełnione, gdy dany sąsiedni blok A–D wykorzystuje określony tryb predykcji, informuje tabela 4.1.

Tabela 4.1: Warunki modyfikacji bloku luminancji, których spełnienie zapewnia, że nie ulegnie zmianie sygnał predykcji sąsiadujących bloków. Oznaczenia sąsiadujących bloków zgodne z rysunkiem 4.12

Sąsiad	Tryb predykcji sąsiada	Warunek modyfikacji
A	Intra_4x4_DC	W4
	Intra_16x16_DC	W4
	Intra_4x4_Horizontal	W1
	Intra_4x4_Diagonal_Down_Right	W1
	Intra_4x4_Vertical_Right	W1
	Intra_4x4_Horizontal_Down	W1
	Intra_4x4_Horizontal_Up	W1
	Intra_16x16_Horizontal	W1
	Intra_16x16_Plane	W1
B	Intra_4x4_DC	W5
	Intra_16x16_DC	W5
	Intra_4x4_Vertical	W2
	Intra_4x4_Diagonal_Down_Left	W2
	Intra_4x4_Diagonal_Down_Right	W2
	Intra_4x4_Vertical_Right	W2
	Intra_4x4_Horizontal_Down	W2
	Intra_4x4_Vertical_Left	W2
	Intra_16x16_Vertical	W2
C	Intra_4x4_Diagonal_Down_Right	W3
	Intra_4x4_Vertical_Right	W3
	Intra_4x4_Horizontal_Down	W3
	Intra_16x16_Plane	W3
D	Intra_4x4_Diagonal_Down_Left	W2
	Intra_4x4_Vertical_Left	W2

Warunki modyfikacji:

- W1 – niezmiennosc wartości punktów w ostatniej kolumnie,
- W2 – niezmiennosc wartości punktów w ostatnim wierszu,
- W3 – niezmiennosc wartości w ostatnim punkcie ostatniego wiersza,
- W4 – niezmiennosc sumy wartości punktów w ostatniej kolumnie,
- W5 – niezmiennosc sumy wartości punktów w ostatnim wierszu.

Należy tu nadmienić, że spełnienie niektórych z powyższych warunków, powoduje automatyczne spełnienie innych. Jest sprawą oczywistą, że w przypadku, gdy nie zmieniły się wartości punktów ostatniej kolumny (warunek W1), to również nie uległa zmianie suma tych punktów, więc warunek W4 jest spełniony. Podobnie, gdy spełniony jest warunek W1 lub W2 to spełniony jest również warunek W3.

W trybach kodowania makrobloku: Intra_16x16, Intra_4x4 oraz Intra_Chroma wartości punktów obrazu otrzymywane są w wyniku zsumowania przewidywanych wartości punktów obrazu n_{ij} oraz wartości resztkowych x_{ij} . Należy jednak zauważyć, że standard MPEG-4 AVC/H.264 w profilu głównym nakazuje, by wartości próbek obrazu były zapisywane na ośmiu bitach i mieściły się w przedziale $\langle 0, 255 \rangle$. Na skutek kwantowania wartości resztkowych, odtworzone próbki obrazu mogą przyjmować wartości spoza tego przedziału. Dlatego standard MPEG-4 AVC/H.264 nakazuje poddanie każdej z odtworzonych wartości próbek obrazu operacji ograniczenia zakresu zdefiniowanej w następujący sposób:

$$\text{obcięcie}(y) = \begin{cases} 0 & \text{dla } y < 0 \\ 255 & \text{dla } y > 255 \\ y & \text{w pozostałych przypadkach} \end{cases}. \quad (4.4)$$

W związku z tym końcowa wartość próbki obrazu otrzymywana jest następująco:

$$p_{ij} = \text{obcięcie}(n_{ij} + x_{ij}). \quad (4.5)$$

Ponieważ wartości n_{ij} są dane i nie podlegają modyfikacji, to na podstawie równania (4.5) można stwierdzić, że spełnienie warunków W1–W3 dla bloku wartości resztkowych, powoduje spełnienie tych warunków dla bloku punktów obrazu. W związku z powyższym, istnieje możliwość zmiany wartości resztkowych (a więc i kodowanego obrazu), która nie powoduje zmiany przewidywanych wartości próbek sąsiednich bloków.

Istnieje także możliwość modyfikacji próbek transformaty bloku wartości resztkowych, w wyniku której spełnione będą warunki W1–W3. W kolejnych punktach przedstawione zostanie w jaki sposób należy taką modyfikację wykonywać.

Operacja «obcięcie» jest nieliniowa i w związku z tym może zachodzić:

$$\sum_{ij} \text{obcięcie}(n_{ij} + x_{ij} + \Delta_{x_{ij}}) \neq \sum_{ij} \text{obcięcie}(n_{ij}) + \sum_{ij} \text{obcięcie}(x_{ij} + \Delta_{x_{ij}}), \quad (4.6)$$

gdzie $\Delta_{x_{ij}}$ jest zmianą wartości resztkowej x_{ij} . W związku z tym należy stwierdzić, że w przypadku zmian wartości x_i , bez znajomości odpowiadających im wartości n_i , nie można określić zmian odpowiednich wartości p_{ij} . Dlatego do sprawdzenia warunków W4 i W5 niezbędna jest znajomość wartości punktów odtworzonego obrazu. Do przewidywania wartości próbek sąsiednich bloków wykorzystane mogą być wyłącznie: ostatnia kolumna, ostatni wiersz lub punkt w ostatniej kolumnie ostatniego wiersza bloku. W związku z tym, nie jest konieczne dekodowanie wszystkich punktów obrazu. Dekodowanie tylko części punktów obrazu pozwala na:

- redukcję liczby operacji w procesie wyznaczania odwrotnej transformacji,
- istotne zmniejszenie liczby operacji dekwantowania próbek transformaty,
- ograniczenie liczby przewidywanych próbek obrazu.

4.4.1.2. Warunki niezmienności ostatniej kolumny w bloku o rozmiarze 4×4

Przekształcenie odwrotne definiowane przez standard MPEG-4 AVC/H.264 dane jest równaniem (2.4). Macierz $\mathbf{Y}$ otrzymywana jest w wyniku dekwantyzacji próbek transformaty. Proces ten jest połączony z mnożeniem Hadamarda (poelementowym) przez macierz skalującą $\mathbf{K}_i$. Zdefiniujmy więc nową macierz:

$$\mathbf{T} = \mathbf{Y} \otimes \mathbf{K}_i, \quad (4.7)$$

o elementach:

$$\mathbf{T} = [t_{ij}]. \quad (4.8)$$

Równanie (2.4) przyjmie wtedy następującą postać:

$$\mathbf{X} = \mathbf{C}_i^T \cdot \mathbf{T} \cdot \mathbf{C}_i, \quad (4.9)$$

gdzie:

$$\mathbf{X} = [x_{ij}]. \quad (4.10)$$

Równanie (4.9) możemy zapisać też jako kombinację liniową wektorów bazowych:

$$\mathbf{X} = t_{00}\mathbf{A}_{00} + t_{01}\mathbf{A}_{01} + \dots + t_{33}\mathbf{A}_{33} = \sum_{ij} t_{ij}\mathbf{A}_{ij}, \quad (4.11)$$

gdzie $\mathbf{A}_{ij}$ są macierzami bazowymi przekształcenia odwrotnego definiowanego przez standard MPEG-4 AVC/H.264. Zostały one zaprezentowane w tabeli 4.2. Zdefiniujmy dodatkowo pomocniczą macierz $\mathbf{W}$ o postaci:

$$\mathbf{W} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}. \quad (4.12)$$

Wprowadźmy także dwie pomocnicze równości. Ostatnie kolumny macierzy bazowych odwrotnego przekształcenia zdefiniowanego w standardzie MPEG-4 AVC/H.264 są sobie

$i \backslash j$	0	1	2	3
0	$\begin{bmatrix} a^2 & a^2 & a^2 & a^2 \\ a^2 & a^2 & a^2 & a^2 \\ a^2 & a^2 & a^2 & a^2 \\ a^2 & a^2 & a^2 & a^2 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} ab & \frac{ab}{2} & -\frac{ab}{2} & -ab \\ ab & \frac{ab}{2} & -\frac{ab}{2} & -ab \\ ab & \frac{ab}{2} & -\frac{ab}{2} & -ab \\ ab & \frac{ab}{2} & -\frac{ab}{2} & -ab \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} a^2 & -a^2 & -a^2 & a^2 \\ a^2 & -a^2 & -a^2 & a^2 \\ a^2 & -a^2 & -a^2 & a^2 \\ a^2 & -a^2 & -a^2 & a^2 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} \frac{ab}{2} & -ab & ab & -\frac{ab}{2} \\ \frac{ab}{2} & -ab & ab & -\frac{ab}{2} \\ \frac{ab}{2} & -ab & ab & -\frac{ab}{2} \\ \frac{ab}{2} & -ab & ab & -\frac{ab}{2} \end{bmatrix}$
1	$\begin{bmatrix} ab & ab & ab & ab \\ \frac{ab}{2} & \frac{ab}{2} & \frac{ab}{2} & \frac{ab}{2} \\ -\frac{ab}{2} & -\frac{ab}{2} & -\frac{ab}{2} & -\frac{ab}{2} \\ -ab & -ab & -ab & -ab \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} b^2 & \frac{b^2}{2} & -\frac{b^2}{2} & -b^2 \\ \frac{b^2}{2} & \frac{b^2}{4} & -\frac{b^2}{4} & -\frac{b^2}{2} \\ -\frac{b^2}{2} & -\frac{b^2}{4} & \frac{b^2}{4} & \frac{b^2}{2} \\ -b^2 & -\frac{b^2}{2} & \frac{b^2}{2} & b^2 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} ab & -ab & -ab & ab \\ \frac{ab}{2} & -\frac{ab}{2} & -\frac{ab}{2} & \frac{ab}{2} \\ -\frac{ab}{2} & \frac{ab}{2} & \frac{ab}{2} & -\frac{ab}{2} \\ -ab & ab & ab & -ab \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} \frac{b^2}{2} & -b^2 & b^2 & -\frac{b^2}{2} \\ \frac{b^2}{4} & -\frac{b^2}{2} & \frac{b^2}{2} & -\frac{b^2}{4} \\ -\frac{b^2}{4} & \frac{b^2}{2} & -\frac{b^2}{2} & \frac{b^2}{4} \\ -\frac{b^2}{2} & b^2 & -b^2 & \frac{b^2}{2} \end{bmatrix}$
2	$\begin{bmatrix} a^2 & a^2 & a^2 & a^2 \\ -a^2 & -a^2 & -a^2 & -a^2 \\ -a^2 & -a^2 & -a^2 & -a^2 \\ a^2 & a^2 & a^2 & a^2 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} ab & \frac{ab}{2} & -\frac{ab}{2} & -ab \\ -ab & -\frac{ab}{2} & \frac{ab}{2} & ab \\ -ab & -\frac{ab}{2} & \frac{ab}{2} & ab \\ ab & \frac{ab}{2} & -\frac{ab}{2} & -ab \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} a^2 & -a^2 & -a^2 & a^2 \\ -a^2 & a^2 & a^2 & -a^2 \\ -a^2 & a^2 & a^2 & -a^2 \\ a^2 & -a^2 & -a^2 & a^2 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} \frac{ab}{2} & -ab & ab & -\frac{ab}{2} \\ -\frac{ab}{2} & ab & -ab & \frac{ab}{2} \\ -\frac{ab}{2} & ab & -ab & \frac{ab}{2} \\ \frac{ab}{2} & -ab & ab & -\frac{ab}{2} \end{bmatrix}$
3	$\begin{bmatrix} \frac{ab}{2} & \frac{ab}{2} & \frac{ab}{2} & \frac{ab}{2} \\ -ab & -ab & -ab & -ab \\ ab & ab & ab & ab \\ -\frac{ab}{2} & -\frac{ab}{2} & -\frac{ab}{2} & -\frac{ab}{2} \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} \frac{b^2}{2} & \frac{b^2}{4} & -\frac{b^2}{4} & -\frac{b^2}{2} \\ -b^2 & -\frac{b^2}{2} & \frac{b^2}{2} & b^2 \\ b^2 & \frac{b^2}{2} & -\frac{b^2}{2} & -b^2 \\ -\frac{b^2}{2} & -\frac{b^2}{4} & \frac{b^2}{4} & \frac{b^2}{2} \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} \frac{ab}{2} & -\frac{ab}{2} & -\frac{ab}{2} & \frac{ab}{2} \\ -ab & ab & ab & -ab \\ ab & -ab & -ab & ab \\ -\frac{ab}{2} & \frac{ab}{2} & \frac{ab}{2} & -\frac{ab}{2} \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} \frac{b^2}{4} & -\frac{b^2}{2} & \frac{b^2}{2} & -\frac{b^2}{4} \\ -\frac{b^2}{2} & b^2 & -b^2 & \frac{b^2}{2} \\ \frac{b^2}{2} & -b^2 & b^2 & -\frac{b^2}{2} \\ -\frac{b^2}{4} & \frac{b^2}{2} & -\frac{b^2}{2} & \frac{b^2}{4} \end{bmatrix}$

Tabela 4.2: Macierze $\mathbf{A}_{ij}$ tworzące bazę odwrotnego przekształcenia zdefiniowanego w standardzie MPEG-4 AVC/H.264, gdzie: $a = \frac{1}{2}$, $b = \sqrt{\frac{2}{5}}$ (patrz punkt 2.1.4.5)

równe, gdy:

$$\mathbf{A}_{i0}\mathbf{W} = \mathbf{A}_{i2}\mathbf{W}, \quad (4.13a)$$

$$\mathbf{A}_{i1}\mathbf{W} = 2\mathbf{A}_{i3}\mathbf{W}. \quad (4.13b)$$

dla $i = 0, 1, 2, 3$. Powyższe zależności wynikają z analizy tabeli 4.2.

W celu potwierdzenia prawdziwości równań (4.13) przeanalizujemy równość (4.13a)

dla $i = 0$:

$$\mathbf{A}_{00}\mathbf{W} = \mathbf{A}_{02}\mathbf{W}. \quad (4.14)$$

Podstawiając odpowiednie wartości otrzymujemy:

$$\begin{bmatrix} a^2 & a^2 & a^2 & a^2 \\ a^2 & a^2 & a^2 & a^2 \\ a^2 & a^2 & a^2 & a^2 \\ a^2 & a^2 & a^2 & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a^2 & -a^2 & -a^2 & a^2 \\ a^2 & -a^2 & -a^2 & a^2 \\ a^2 & -a^2 & -a^2 & a^2 \\ a^2 & -a^2 & -a^2 & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad (4.15)$$

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & a^2 \\ 0 & 0 & 0 & a^2 \\ 0 & 0 & 0 & a^2 \\ 0 & 0 & 0 & a^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & a^2 \\ 0 & 0 & 0 & a^2 \\ 0 & 0 & 0 & a^2 \\ 0 & 0 & 0 & a^2 \end{bmatrix}. \quad (4.16)$$

Dowodzi to prawdziwości równania (4.13a) dla $i = 0$. W taki sam sposób można udowodnić prawdziwość tego równania dla $i = 1, 2, 3$, oraz równania (4.13b) dla $i = 0, 1, 2, 3$.

Określmy teraz zależność ostatniej kolumny macierzy $\mathbf{X}$ od wartości próbek t_{ij} transformaty $\mathbf{T}$. W tym celu pomnożmy obie strony równania (4.11) prawostronnie przez macierz $\mathbf{W}$:

$$\mathbf{XW} = \left(\sum_{ij} t_{ij} \mathbf{A}_{ij} \right) \mathbf{W}. \quad (4.17)$$

Teza. Równanie (4.17) jest prawdziwe dla $i = 0, 1, 2, 3$, gdy:

$$\begin{cases} t_{i0} + t_{i2} = \text{const} \\ t_{i1} + \frac{1}{2}t_{i3} = \text{const}. \end{cases} \quad (4.18)$$

Dowiedźmy teraz, iż modyfikacja elementów macierzy $\mathbf{T}$ zgodnie z powyższymi warunkami zapewni, że nie zmieniają się wartości w ostatniej kolumnie macierzy $\mathbf{X}$.

Dowód. Równanie (4.17) możemy zapisać w następujący sposób:

$$\mathbf{XW} = \left(\sum_i t_{i0} \mathbf{A}_{i0} + \sum_i t_{i1} \mathbf{A}_{i1} + \sum_i t_{i2} \mathbf{A}_{i2} + \sum_i t_{i3} \mathbf{A}_{i3} \right) \mathbf{W}. \quad (4.19)$$

Powyższe możemy zapisać jako:

$$\mathbf{XW} = \left(\sum_i t_{i0} \mathbf{A}_{i0} \mathbf{W} + \sum_i t_{i2} \mathbf{A}_{i2} \mathbf{W} \right) + \left(\sum_i t_{i1} \mathbf{A}_{i1} \mathbf{W} + \sum_i t_{i3} \mathbf{A}_{i3} \mathbf{W} \right). \quad (4.20)$$

Korzystając z równań (4.13) wykonujemy podstawienia za macierze $\mathbf{A}_{i2}$ oraz $\mathbf{A}_{i3}$:

$$\mathbf{XW} = \left(\sum_i t_{i0} \mathbf{A}_{i0} \mathbf{W} + \sum_i t_{i2} \mathbf{A}_{i0} \mathbf{W} \right) + \left(\sum_i t_{i1} \mathbf{A}_{i1} \mathbf{W} + \sum_i \frac{1}{2} t_{i3} \mathbf{A}_{i1} \mathbf{W} \right), \quad (4.21)$$

$$\mathbf{XW} = \sum_i (t_{i0} + t_{i2}) \mathbf{A}_{i0} \mathbf{W} + \sum_i \left(t_{i1} + \frac{1}{2} t_{i3} \right) \mathbf{A}_{i1} \mathbf{W}. \quad (4.22)$$

Macierze $\mathbf{A}_{ij}$ i $\mathbf{W}$ mają stałe wartości elementów. W związku z tym, modyfikacja elementów t_{ij} macierzy $\mathbf{T}$ spełniająca warunki (4.18) zapewnia, że nie ulegnie zmianie wartość iloczynu $\mathbf{XW}$. Oznacza to, że nie zmieniają się wartości elementów w ostatniej kolumnie macierzy $\mathbf{X}$.

4.4.1.3. Warunki niezmienności ostatniego wiersza w bloku o rozmiarze 4×4

Spróbujemy określić jakie modyfikacje próbek transformaty można wykonać, aby nie uległ zmianie ostatni wiersz macierzy obrazu. Analogicznie jak w przypadku przedstawionym w poprzednim punkcie, możliwe jest wskazanie następujących zależności:

$$\mathbf{W}\mathbf{A}_{0j} = \mathbf{W}\mathbf{A}_{2j}, \quad (4.23a)$$

$$\mathbf{W}\mathbf{A}_{1j} = 2\mathbf{W}\mathbf{A}_{3j}. \quad (4.23b)$$

dla $j = 0, 1, 2, 3$. Przeanalizujemy przypadek (4.23b) gdy $j = 0$:

$$\mathbf{W}\mathbf{A}_{10} = 2\mathbf{W}\mathbf{A}_{30}. \quad (4.24)$$

Po podstawieniu odpowiednich wartości otrzymamy:

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} ab & ab & ab & ab \\ \frac{ab}{2} & \frac{ab}{2} & \frac{ab}{2} & \frac{ab}{2} \\ -\frac{ab}{2} & -\frac{ab}{2} & -\frac{ab}{2} & -\frac{ab}{2} \\ -ab & -ab & -ab & -ab \end{bmatrix} = 2 \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{ab}{2} & \frac{ab}{2} & \frac{ab}{2} & \frac{ab}{2} \\ -ab & -ab & -ab & -ab \\ ab & ab & ab & ab \\ -\frac{ab}{2} & -\frac{ab}{2} & -\frac{ab}{2} & -\frac{ab}{2} \end{bmatrix}. \quad (4.25)$$

Dokonajmy stosownych przekształceń:

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ -ab & -ab & -ab & -ab \end{bmatrix} = 2 \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{ab}{2} & -\frac{ab}{2} & -\frac{ab}{2} & -\frac{ab}{2} \end{bmatrix}, \quad (4.26)$$

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ -ab & -ab & -ab & -ab \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ -ab & -ab & -ab & -ab \end{bmatrix}. \quad (4.27)$$

Tak więc równanie (4.23b) jest prawdziwe dla $j = 0$. W podobny sposób możliwe jest udowodnienie prawdziwości tego równania dla przypadków $j = 1, 2, 3$, a także prawdziwości równości (4.23a) dla $j = 0, 1, 2, 3$.

Pomnóżmy teraz lewostronnie równanie (4.11) przez macierz $\mathbf{W}$ daną wzorem (4.12):

$$\mathbf{W}\mathbf{X} = \mathbf{W} \left(\sum_{ij} t_{ij} \mathbf{A}_{ij} \right). \quad (4.28)$$

W ten sposób określona została zależność ostatniego wiersza macierzy $\mathbf{X}$ od wartości próbek t_{ij} transformaty $\mathbf{T}$.

Teza. Równanie (4.28) jest prawdziwe dla $j = 0, 1, 2, 3$, gdy:

$$\begin{cases} t_{0j} + t_{2j} = \text{const} \\ t_{1j} + \frac{1}{2}t_{3j} = \text{const}. \end{cases} \quad (4.29)$$

Analogicznie jak w poprzednim punkcie udowodnijmy, że modyfikacja elementów macierzy $\mathbf{T}$ zgodnie z powyższymi warunkami zapewni, iż nie zmienia się wartości w ostatnim wierszu macierzy $\mathbf{X}$.

Dowód. Równanie (4.28) można zapisać następująco:

$$\mathbf{WX} = \mathbf{W} \left(\sum_j t_{0j} \mathbf{A}_{0j} + \sum_j t_{1j} \mathbf{A}_{1j} + \sum_j t_{2j} \mathbf{A}_{2j} + \sum_j t_{3j} \mathbf{A}_{3j} \right), \quad (4.30)$$

co można przekształcić do postaci:

$$\mathbf{WX} = \left(\sum_j t_{0j} \mathbf{WA}_{0j} + \sum_j t_{2j} \mathbf{WA}_{2j} \right) + \left(\sum_j t_{1j} \mathbf{WA}_{1j} + \sum_j t_{3j} \mathbf{WA}_{3j} \right). \quad (4.31)$$

Następnie, korzystając z równań (4.23) dokonajmy podstawienia za $\mathbf{A}_{2j}$ i $\mathbf{A}_{3j}$:

$$\mathbf{WX} = \left(\sum_j t_{0j} \mathbf{WA}_{0j} + \sum_j t_{2j} \mathbf{WA}_{0j} \right) + \left(\sum_j t_{1j} \mathbf{WA}_{1j} + \sum_j \frac{1}{2} t_{3j} \mathbf{WA}_{1j} \right), \quad (4.32)$$

$$\mathbf{WX} = \sum_j (t_{0j} + t_{2j}) \mathbf{WA}_{0j} + \sum_j \left(t_{1j} + \frac{1}{2} t_{3j} \right) \mathbf{WA}_{1j}. \quad (4.33)$$

Macierze $\mathbf{A}_{ij}$ i $\mathbf{W}$ mają stałe wartości elementów. Z tego powodu modyfikacja elementów t_{ij} macierzy $\mathbf{T}$ spełniająca warunki (4.29), zapewnia, że nie ulegnie zmianie wartość iloczynu $\mathbf{WX}$. Oznacza to, że nie zmieniają się wartości elementów w ostatnim wierszu macierzy $\mathbf{X}$.

4.4.1.4. Warunki niezmienności punktu w ostatniej kolumnie ostatniego wiersza bloku 4×4

Zajmijmy się przypadkiem, gdy wymagane jest, aby pomimo zmiany wartości próbek transformaty t_{ij} element x_{33} macierzy $\mathbf{X}$ pozostał niezmienny.

Wyznaczenie wpływu wartości t_{ij} na wartość x_{33} rozpoczniemy od wyznaczenia pomocniczej zależności. Na wstępie uformujmy pomocniczą macierz $\mathbf{A}_{ij33}$ składającą się z elementów znajdujących się w ostatniej kolumnie ostatnich wierszy (pozycja 3,3) macierzy $\mathbf{A}_{ij}$ przedstawionych w tabeli 4.2. Pozwoli to na łatwiejszą analizę istniejących między

nimi relacji.

$$\mathbf{A}_{ij33} = \begin{bmatrix} a^2 & -ab & a^2 & -\frac{ab}{2} \\ -ab & b^2 & -ab & \frac{b^2}{2} \\ a^2 & -ab & a^2 & -\frac{ab}{2} \\ -\frac{ab}{2} & \frac{b^2}{2} & -\frac{ab}{2} & \frac{b^2}{4} \end{bmatrix}, \quad (4.34)$$

$$\mathbf{A}_{ij33} = \begin{bmatrix} \boxed{a^2} & ab & \boxed{a^2} & ab \\ ab & \textcircled{b^2} & ab & \textcircled{b^2} \\ \boxed{a^2} & ab & \boxed{a^2} & ab \\ ab & \textcircled{b^2} & ab & \textcircled{b^2} \end{bmatrix} \otimes \mathbf{D}, \quad (4.35)$$

gdzie macierz $\mathbf{D}$, złożona ze współczynników skalujących, dana jest następująco:

$$\mathbf{D} = [d_{ij}] = \begin{bmatrix} 1 & -1 & 1 & -\frac{1}{2} \\ -1 & 1 & -1 & \frac{1}{2} \\ 1 & -1 & 1 & -\frac{1}{2} \\ -\frac{1}{2} & \frac{1}{2} & -\frac{1}{2} & \frac{1}{4} \end{bmatrix}. \quad (4.36)$$

Analiza macierzy w równaniu (4.35) pozwala, na podstawie położenia elementów oznaczonych kwadratami, owalami, a także elementów bez oznaczeń, wskazać poniższą równość:

$$d_{mn} \mathbf{W} \mathbf{A}_{kl} \mathbf{W} = d_{kl} \mathbf{W} \mathbf{A}_{mn} \mathbf{W}, \quad (4.37)$$

dla:

$$\left((k+l) \bmod 2 = 1 \quad \wedge \quad (m+n) \bmod 2 = 1 \right)$$

lub

$$\left((k+l) \bmod 2 = 0 \quad \wedge \quad (k+m) \bmod 2 = 1 \right),$$

gdzie $k, l, m, n \in \langle 0, 3 \rangle$ Aby potwierdzić prawdziwość równania (4.37), przeanalizujemy przypadek dla $k = 1, l = 1, m = 3, n = 3$. Podstawiając odpowiednie wartości do wzoru (4.37) otrzymujemy:

$$d_{33} \mathbf{W} \mathbf{A}_{11} \mathbf{W} = d_{11} \mathbf{W} \mathbf{A}_{33} \mathbf{W} \quad (4.38)$$

$$\frac{1}{4} \cdot \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} b^2 & \frac{b^2}{2} & -\frac{b^2}{2} & -b^2 \\ \frac{b^2}{2} & \frac{b^2}{4} & -\frac{b^2}{4} & -\frac{b^2}{2} \\ -\frac{b^2}{2} & -\frac{b^2}{4} & \frac{b^2}{4} & \frac{b^2}{2} \\ -b^2 & -\frac{b^2}{2} & \frac{b^2}{2} & b^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = 1 \cdot \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{b^2}{4} & -\frac{b^2}{2} & \frac{b^2}{2} & -\frac{b^2}{4} \\ -\frac{b^2}{2} & b^2 & -b^2 & \frac{b^2}{2} \\ \frac{b^2}{2} & -b^2 & b^2 & -\frac{b^2}{2} \\ -\frac{b^2}{4} & \frac{b^2}{2} & -\frac{b^2}{2} & \frac{b^2}{4} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4.39)$$

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{b^2}{4} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{b^2}{4} \end{bmatrix} \quad (4.40)$$

W analogiczny sposób możemy sprawdzić poprawność równania (4.37) dla pozostałych wartości indeksów k, l, m i n .

Określmy zależność ostatniego punktu w ostatnim wierszu macierzy $\mathbf{X}$ od wartości próbek t_{ij} transformaty $\mathbf{T}$. W tym celu pomnożmy obustronnie dwie strony równania (4.11) przez macierz $\mathbf{W}$:

$$\mathbf{W}\mathbf{X}\mathbf{W} = \mathbf{W} \left(\sum_{ij} t_{ij} \mathbf{A}_{ij} \right) \mathbf{W}. \quad (4.41)$$

Teza. Równanie 4.41 jest prawdziwe dla $i = 0, 1, 2, 3$, $j = 0, 1, 2, 3$, gdy:

$$\begin{cases} t_{kl} + \frac{d_{mn}}{d_{kl}} t_{mn} = \text{const} \\ \sum_{\substack{ij \\ i \neq k \wedge i \neq m \wedge \\ \wedge j \neq l \wedge j \neq n}} t_{ij} \mathbf{A}_{ij} \mathbf{W} = \text{const} \end{cases} \quad (4.42)$$

Dowiedzmy, że modyfikacja elementów macierzy $\mathbf{T}$ spełniająca warunki (4.42) nie powoduje zmiany elementu x_{33} macierzy $\mathbf{X}$.

Dowód. Równanie (4.41) zapisać można w następujący sposób:

$$\mathbf{W}\mathbf{X}\mathbf{W} = \mathbf{W} \left(t_{kl} \mathbf{A}_{kl} + t_{mn} \mathbf{A}_{mn} + \sum_{\substack{ij \\ i \neq k \wedge i \neq m \wedge \\ \wedge j \neq l \wedge j \neq n}} t_{ij} \mathbf{A}_{ij} \right) \mathbf{W}, \quad (4.43)$$

$$\mathbf{W}\mathbf{X}\mathbf{W} = t_{kl} \mathbf{W}\mathbf{A}_{kl} \mathbf{W} + t_{mn} \mathbf{W}\mathbf{A}_{mn} \mathbf{W} + \sum_{\substack{ij \\ i \neq k \wedge i \neq m \wedge \\ \wedge j \neq l \wedge j \neq n}} t_{ij} \mathbf{W}\mathbf{A}_{ij} \mathbf{W}. \quad (4.44)$$

Korzystając z równania (4.37) możemy zapisać:

$$\mathbf{W}\mathbf{X}\mathbf{W} = t_{kl} \mathbf{W}\mathbf{A}_{kl} \mathbf{W} + \frac{d_{mn}}{d_{kl}} t_{mn} \mathbf{W}\mathbf{A}_{kl} \mathbf{W} + \sum_{\substack{ij \\ i \neq k \wedge i \neq m \wedge \\ \wedge j \neq l \wedge j \neq n}} t_{ij} \mathbf{W}\mathbf{A}_{ij} \mathbf{W}, \quad (4.45)$$

$$\mathbf{W}\mathbf{X}\mathbf{W} = \left(t_{kl} + \frac{d_{mn}}{d_{kl}}t_{mn}\right)\mathbf{W}\mathbf{A}_{kl}\mathbf{W} + \sum_{\substack{ij \\ i \neq k \wedge i \neq m \wedge \\ \wedge j \neq l \wedge j \neq n}} t_{ij}\mathbf{W}\mathbf{A}_{ij}\mathbf{W}. \quad (4.46)$$

Macierze $\mathbf{A}_{ij}$ i $\mathbf{W}$ mają stałe wartości elementów. W związku z tym modyfikacja elementów t_{ij} macierzy $\mathbf{T}$ spełniająca warunki (4.42) zapewnia, że nie ulegnie zmianie wartość iloczynu $\mathbf{W}\mathbf{X}\mathbf{W}$. Oznacza to, że nie zmieni się wartość elementu w ostatniej kolumnie ostatniego wiersza macierzy $\mathbf{X}$ (element x_{33}).

4.4.2. Modyfikacja próbek transformaty w makroblokach typu Intra kodowanych w trybie Intra_4x4

W makroblokach kodowanych w trybie Intra_4x4 każdy z bloków o rozmiarze 4×4 punkty może stanowić odniesienie w predykcji dla jednego z czterech sąsiadów, jak to zostało przedstawione na rysunku 4.12. W związku z tym, dla każdego z bloków należy sprawdzić tryby predykcji odpowiednich sąsiadów, i w razie konieczności wykonać procedurę modyfikacji próbek transformaty spełniającą warunki przedstawione w punkcie 4.4.1.

4.4.3. Modyfikacja próbek transformaty w makroblokach typu Intra kodowanych w trybie Intra_16x16

Na rysunku 4.13 przedstawiony został makroblok wraz z otaczającymi go blokami. Składa się on z bloków P_{ij} dla $i = 0, 1, 2, 3$ oraz $j = 0, 1, 2, 3$. Gdy do jego kodowania wykorzystany zostaje tryb Intra_16x16, bloki P_{ij} o indeksach $i = 0, 1, 2$ oraz $j = 0, 1, 2$ nie są wykorzystywane do przewidywania wartości próbek innych bloków. W związku z tym mogą być dowolnie modyfikowane. W przypadku, kiedy wymaga się, aby przewidywane wartości punktów obrazu w blokach A–J nie uległy zmianie, pozostałe bloki P_{ij} powinny być zmieniane tak, jak to zostało przedstawione w punkcie 4.4.1. Należy przy tym zaznaczyć, że w procesie analizy sąsiedztwa, żadnego z bloków P_{ij} nie należy uwzględniać jako bloku sąsiadującego, pomimo jego rzeczywistej lokalizacji w obrazie.

Do kodowania makrobloków w trybie Intra_16x16 wykorzystuje się transformację hierarchiczną przedstawioną w punkcie 2.1.4.5. W związku z tym, zasady opisane w poprzednim punkcie powinny być stosowane wyłącznie do modyfikacji próbek t_{kl} transformaty dla ($k \neq 0 \wedge l \neq 0$). Z próbek t_{00} transformaty wartości resztkowych w blokach P_{ij} tworzona

	P ₀₀	P ₁₀	P ₂₀	P ₃₀	A
	P ₀₁	P ₁₁	P ₂₁	P ₃₁	B
	P ₀₂	P ₁₂	P ₂₂	P ₃₂	C
	P ₀₃	P ₁₃	P ₂₃	P ₃₃	D
J	I	H	G	F	E

Rysunek 4.13: Makroblok wraz z sąsiadującymi blokami A–J, których przewidywane wartości punktów mogą być wyznaczone na podstawie punktów w blokach P_{ij} tworzących makroblok

jest macierz $\mathbf{S}_L$. Oznaczmy jej elementy w następujący sposób:

$$\mathbf{S}_L = [t_{00_{ij}}] = [s_{L_{ij}}]. \quad (4.47)$$

Macierz $\mathbf{S}_L$ jest poddawana kolejnej transformacji danej wzorem (2.7). W wyniku jej przekształcenia powstaje macierz $\mathbf{U}_L$.

Modyfikacja elementów macierzy $\mathbf{U}_L$ niewpływająca na przewidywane wartości próbek bloków sąsiadujących z modyfikowanym makroblokiem jest możliwa pod pewnymi warunkami. W jej wyniku nie mogą zmienić się te wartości elementów, które służą do wyznaczenia odpowiedniego bloku obrazu P_{ij} wykorzystywanego następnie do przewidywania wartości punktów w dowolnym z bloków A–J. W tabeli 4.3 zestawione zostały tryby predykcji sąsiednich bloków, które jako odniesienie wykorzystują bloki obrazu zdekodowane z wykorzystaniem elementów macierzy $\mathbf{S}_L$. Na tej podstawie można określić czy w wyniku podjętych działań ulegną zmianie przewidywane wartości próbek w sąsiednich blokach. Oczywiście jeśli dla danego bloku sąsiadującego z modyfikowanym makroblokiem jakiś tryb predykcji nie został wymieniony, oznacza to w przypadku jego wystąpienia, że odpowiedni element $s_{L_{ij}}$ macierzy $\mathbf{S}_L$ może przyjąć dowolną wartość.

4.4.4. Modyfikacja próbek transformaty w makroblokach typu Intra kodowanych w trybie Intra_Chroma

Podobnie jak dla składowej luminancji, także dla składowej chrominancji możliwe jest określenie warunków modyfikacji bloku, których spełnienie zapewnia, że sygnał predykcji sąsiednich bloków nie ulegnie zmianie. Zostały one zebrane w tabeli 4.4.

Tabela 4.3: W tabeli zestawiono tryby predykcji wykorzystujące jako odniesienie blok obrazu o rozmiarze 4×4 , w którym zmodyfikowano próbki DC transformaty. Oznaczenia sąsiadujących bloków zgodne z rysunkiem 4.13, trybów predykcji bloków/makrobloków zgodnie z tabelami 2.2 i 2.3

Element macierzy S_L	Sąsiedni blok	Tryb predykcji sąsiedniego bloku	
		Intra_4x4	Intra_16x16
$s_{L_{30}}$	A	1, 2, 4, 5, 6, 8	1, 2, 3
	B	4, 5, 6	3
$s_{L_{31}}$	B	1, 2, 4, 5, 6, 8	1, 2, 3
	C	4, 5, 6	3
$s_{L_{32}}$	C	1, 2, 4, 5, 6, 8	1, 2, 3
	D	4, 5, 6	3
$s_{L_{33}}$	D	1, 2, 4, 5, 6, 8	1, 2, 3
	E	4, 5, 6	3
	F	0, 2, 3, 4, 5, 6, 7	0, 2, 3
	G	3, 7	–
$s_{L_{23}}$	F	4, 5, 6	3
	G	0, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9	2, 3
	H	3, 7	–
$s_{L_{13}}$	G	4, 5, 6	3
	H	0, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9	2, 3
	I	3, 7	–
$s_{L_{03}}$	H	4, 5, 6	3
	I	0, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9	2, 3
	J	3, 7	–

Tabela 4.4: Warunki modyfikacji bloku chrominancji, których spełnienie zapewnia, że nie ulegnie zmianie sygnał predykcji sąsiadujących bloków. Oznaczenia sąsiadujących bloków zgodne z rysunkiem 4.12

Sąsiad	Tryb predykcji sąsiada	Warunek modyfikacji
A	Intra_Chroma_DC	W4
	Intra_Chroma_Horizontal	W1
	Intra_Chroma_Plane	W1
B	Intra_Chroma_DC	W5
	Intra_Chroma_Vertical	W2
	Intra_Chroma_Plane	W2
C	Intra_Chroma_Plane	W3

Warunki modyfikacji:

- W1 – niezmiennosc wartości punktów w ostatniej kolumnie,
- W2 – niezmiennosc wartości punktów w ostatnim wierszu,
- W3 – niezmiennosc wartości w ostatnim punkcie ostatniego wiersza,
- W4 – niezmiennosc sumy wartości punktów w ostatniej kolumnie,
- W5 – niezmiennosc sumy wartości punktów w ostatnim wierszu.

P_{00}	P_{10}	A
P_{01}	P_{11}	B
E	D	C

Rysunek 4.14: Składowa chrominancji makrobloku kodowanego wewnątrzbrazowo wraz z sąsiadującymi blokami. Wartości próbek obrazu w blokach P_{10}, P_{01}, P_{11} mogą być wykorzystane do przewidywania wartości próbek obrazu w blokach A–E

Na rysunku 4.14 przedstawiona została składowa chrominancji makrobloku, wraz z sąsiednimi blokami, dla których stanowić może odniesienie do wyznaczenia przewidywanych wartości próbek w sąsiednich blokach. Składowa chrominancji przy schemacie próbkowania 4:2:0 składa się z 4 bloków P_{ij} dla $i = 0, 1$ oraz $j = 0, 1$. Podobnie jak w przypadku kodowania składowej luminancji w trybie Intra_16x16, do kodowania każdej ze składowych chrominancji wykorzystuje się transformację hierarchiczną. W związku z tym, aby nie uległy zmianie przewidywane wartości próbek bloków A–E, stosuje się zasady analogiczne do opisanych w poprzednim punkcie.

W bloku P_{00} dowolnie modyfikowane mogą być próbki t_{kl} transformaty poza próbką t_{00} . W blokach P_{01}, P_{10} i P_{11} próbki transformaty t_{kl} dla $(k \neq 0 \wedge l \neq 0)$ mogą być modyfikowane po uprzednim sprawdzeniu sąsiedztwa zgodnie z tabelą 4.4 i uwzględnieniu odpowiednich warunków w sposób przedstawiony w punkcie 4.4.1.

Wyniki przeprowadzonych doświadczeń pokazały, że pomimo zapewnienia niezmienności przewidywanych wartości próbek sąsiednich bloków, eliminacja elementów macierzy $\mathbf{S}_C$, przedstawionej w punkcie 2.1.4.5, powoduje powstawanie dokuczliwych, miejscowych zniekształceń koloru. Z tego względu, takie modyfikacje nie powinny być wykonywane.

4.4.5. Modyfikacja próbek transformaty w makroblokach typu Inter

Wartości punktów z 7 na 16 bloków tworzących makroblok typu Inter, mogą być wykorzystane do przewidywania wartości sąsiednich bloków. W zilustrowanym na rysunku 4.13 makrobloku, bloki P_{ij} dla $i = 0, 1, 2$ i $j = 0, 1, 2$ mogą być dowolnie modyfikowane bez wpływu na przewidywane wartości próbek w sąsiednich blokach A–J. Wpływ taki ma modyfikacja części punktów w pozostałych blokach P_{ij} . Dlatego te bloki powinny być

modyfikowane w sposób przedstawiony w punkcie 4.4.1. Istnieje jedno zastrzeżenie. Jako sąsiadującego bloku, niezależnie od jego lokalizacji w obrazie, nie należy traktować żadnego z bloków P_{ij} .

4.4.6. Podsumowanie

W punkcie 4.4 przedstawione zostały sposoby transkodowania makrobloków wykorzystywanych do przewidywania wartości próbek sąsiednich bloków. Autor wskazał i udowodnił warunki, których spełnienie zapewnia, że pomimo modyfikacji próbek transformaty, przewidywane wartości próbek sąsiednich bloków nie ulegną zmianie. Ponadto określił, które tryby predykcji sąsiednich bloków wymagają, by pomimo zmiany wartości próbek transformaty, nie uległa zmianie wartość ostatniej kolumny, ostatniego wiersza oraz punktu w ostatniej kolumnie ostatniego wiersza zdekodowanego bloku. Ma to na celu wyeliminowanie zjawiska dryftu wewnątrzbrazowego, który powoduje znaczącą degradację jakości obrazu [29, 85].

4.5. Analiza strat jakości sekwencji na skutek modyfikacji próbek transformaty

4.5.1. Sposoby modyfikacji próbek transformaty

Dla niewielkiej redukcji strumienia bitowego selektywna eliminacja próbek transformaty powoduje mniejsze straty jakości spowodowane transkodowaniem niż ich rekwantyzacja [40]. W związku z tym, autor zdecydował się na wykorzystanie takiej metody zmniejszania prędkości bitowej strumienia wizyjnego. Ważnym problemem jest jednak wybór próbek transformaty, które powinny być usunięte.

Na rysunku 2.10 przedstawione zostało uporządkowanie próbek transformaty wykorzystywane w procesie tworzenia strumienia bitowego zgodnego ze standardem MPEG-4 AVC/H.264. Jednym ze scenariuszy eliminacji jest usuwanie niezerowych próbek z końca ciągu [40, 167]. Odpowiadają one wysokim częstotliwościom, a zmysł wzroku człowieka jest najbardziej wrażliwy na niskoczęstotliwościowe składniki sygnału wizyjnego [32]. Usuwanie próbek od końca uszeregowanego ciągu nie musi być jednak optymalne z punktu widzenia efektywności kompresji.

Możliwe jest zastosowanie bardziej uogólnionego podejścia polegającego na usuwaniu próbek transformaty z dowolnej pozycji w uporządkowanym ciągu. W pracy [40] zaproponowano efektywne algorytmy wyboru próbek transformaty, które powinny być eliminowane w procesie redukcji strumieni bitowych skompresowanych z wykorzystaniem klasycznych technik kompresji. Bazują one na optymalizacji „prędkość bitowa-jakość”. Tego typu technik nie można jednak wykorzystać do transkodowania strumieni zgodnych z MPEG-4 AVC/H.264, ze względu na adaptacyjny charakter kontekstowego kodowania binarnego CABAC oraz CAVLC, który prowadzi do olbrzymiego wzrostu złożoności obliczeniowej [40]. W związku z powyższym autor proponuje wykorzystanie nowych, heurystycznych technik eliminacji próbek transformaty.

Należy przyjąć domniemanie, że gdyby do kodowania zastosowana została większa wartość parametru kwantyzacji niż rzeczywiście użyta, to próbki transformaty o najmniejszych amplitudach otrzymałyby wartość zero. Chcąc naśladować zachowanie kodera, w celu uzyskania jak najmniejszych strat transkodowania, należałoby ze strumienia wizyjnego usuwać w pierwszej kolejności właśnie takie próbki. Problemem jednak jest decyzja, które z próbek o takiej samej skwantowanej amplitudzie, powinny być usuwane w pierwszej kolejności, ponieważ w transkoderze brak jest niezniekształconego obrazu odniesienia. W związku z tym, autor zdecydował się na wykorzystanie faktu większej wrażliwości człowieka na składniki niskoczęstotliwościowe. Dlatego przyjęto, że w pierwszej kolejności usuwane będą próbki transformaty odpowiedzialne za jak najwyższe częstotliwości. Dodatkowo autor postanowił wykorzystać fakt, że na ogół uwaga widza skoncentrowana jest na centralnej części obrazu. W związku z tym, makrobloki powinny być przetwarzane w kolejności spiralnej, przedstawionej w punkcie 4.2.6.

Procedura selektywnej eliminacji próbek transformaty wyglądać będzie następująco. Załóżmy, że k jest pozycją próbki transformaty w ciągu wężykowatym, który został przedstawiony na rysunku 2.10. Przeglądamy makrobloki w kolejności zgodnej ze spiralnym uporządkowaniem usuwając we wszystkich blokach próbki o amplitudzie 1 znajdujące się na pozycji k . Czynność powtarzamy, aż do uzyskania zakładanej redukcji. Jeśli przeanalizowane zostaną wszystkie makrobloki, a wyznaczony cel nie zostanie osiągnięty, zmniejszamy wartość k o 1 i ponawiamy całą procedurę. W przypadku, gdy usunięte będą wszystkie próbki o amplitudzie 1, a nie uda się osiągnąć założonej redukcji, kolejnym krokiem będzie zwiększenie indeksu parametru kwantyzacji o 6. Jak to zostało wyjaśnione w punkcie 4.2.5,

taka zmiana nie będzie miała żadnego wpływu na zdekwantowane wartości próbek, dla których skwantowana reprezentacja jest liczbą parzystą. Modyfikacja skwantowanych próbek o wartościach nieparzystych będzie miała taki sam wpływ na jakość obrazu jak wcześniejsza eliminacja próbek o amplitudzie 1. Po zabiegu zmiany indeksu parametru kwantyzacji ponawiamy opisany powyżej proces eliminacji próbek transformaty.

Zmiana wartości indeksu QP powinna być przeprowadzona wyłącznie dla składowej luminancji. Chrominancję należy modyfikować w mniejszym stopniu, gdyż zbyt mocna ingerencja powoduje dokuczliwe zjawisko pulsowania koloru, bądź jego utraty. Dodatkową barierą jest fakt, że powyższe własności zostały uwzględnione przez twórców standardu MPEG-4 AVC/H.264 w konstrukcji tablic odwzorowania $QP_Y \rightarrow QP_C$. Ze względu na ich postać nie każda zmiana wartości parametru kwantyzacji luminancji przekłada się na taką samą zmianę wartości indeksu kwantowania chrominancji. Tak więc, jeśli QP_Y zmieni się o 6 to QP_C może zmienić się o inną wartość, co spowoduje większe zniekształcenia składowej chrominancji spowodowane rekwantyzacją. Aby zapewnić, że wartość QP_C nie będzie zmieniona w wyniku transkodowania, pomimo zmiany wartości QP_Y , należy w strumieniu bitowym skorygować odpowiedni symbol sterujący `chroma_qp_index_offset`. Jego wartość określa dodatkową różnicę pomiędzy indeksami QP_Y i QP_C w pojedynczym plastrze.

Problem pojawia się w sytuacji, gdy w części makrobloków zmieniona zostanie wartość parametru kwantyzacji, a w innych nie. Może to mieć miejsce, gdy niektóre makrobloki kodowane są wewnątrzobrazowo i do ich transkodowania wykorzystane zostają techniki opisane w punkcie 4.4, aby nie był wprowadzany dryft. W takiej sytuacji, gdy skorygowany zostanie symbol `chroma_qp_index_offset`, wartość indeksu QP_C zmaleje w makroblokach, w których nie zmieniono wartości QP_Y . Prowadzić to będzie do nadmiarowości reprezentacji. Ponadto, jeśli indeks QP_C zmieni się o wartość nie będącą wielokrotnością liczby 6, to zwiększenie liczby bitów niezbędnych do umieszczenia w strumieniu bitowym połączone będzie z degradacją jakości obrazu ze względu na rekwantyzację. Możemy jednak założyć, że powyżej opisane zjawisko będzie miało marginalny wpływ na efektywność kompresji. Po pierwsze: w obrazach kodowanych międzyobrazowo występuje bardzo niewiele makrobloków kodowanych wewnątrzobrazowo. Po drugie: informacja o składowych chrominancji stanowi znikomą część skompresowanego strumienia wizyjnego. Trzeci argument wiąże się bezpośrednio z poprzednim. Silna kompresja składowych chrominancji związana jest ze znakomicie działającymi mechanizmami predykcji, które powodują, że znaczna część

bloków transformaty ma wszystkie próbki równe 0. Ich rekwantyzacja nie powoduje ani wzrostu reprezentacji binarnej, ani degradacji jakości obrazu.

4.5.2. Metodologia badań

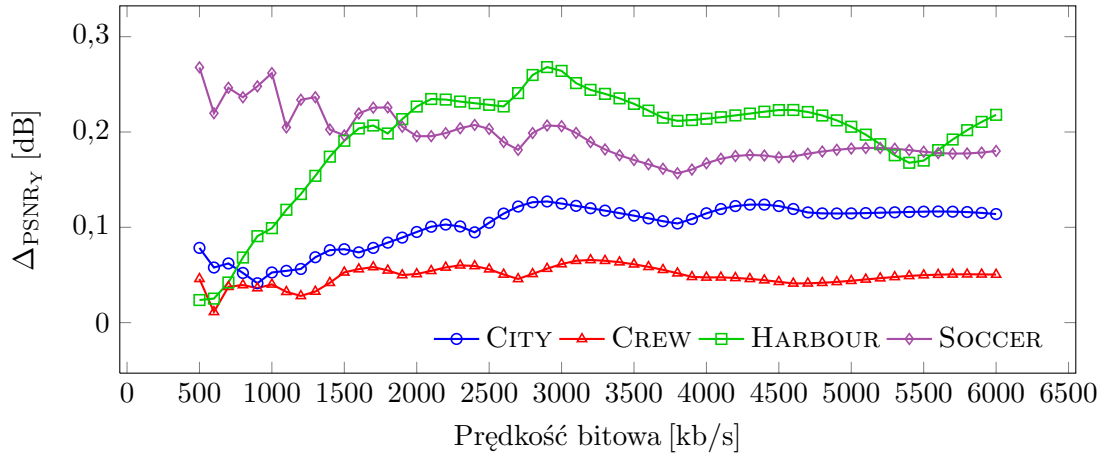
Celem badań było ustalenie w jakiej kolejności powinny być modyfikowane próbki transformaty w skompresowanym strumieniu bitowym, aby redukcja prędkości bitowej odbywała się jak najmniejszym kosztem zmniejszenia jakości obrazu.

Do badań wykorzystane zostały sekwencje testowe CITY, CREW, HARBOUR i SOCCER, których prezentację odnaleźć można w dodatku A. Eksperymenty przeprowadzono używając referencyjnego oprogramowania kodeka standardu MPEG-4 AVC/H.264 w wersji 13.2 [160]. Koder wizyjny wykorzystywany do kodowania oryginalnych sekwencji, jak i użyty w transkoderze kaskadowym posiadały zawsze tę samą konfigurację za wyjątkiem parametru kwantyzacji. Aby uzyskać jak najlepszą jakość sekwencji dla danej prędkości bitowej, kodery pracowały zawsze w trybie optymalizacji „prędkość bitowa-zniekształcenie” (RD).

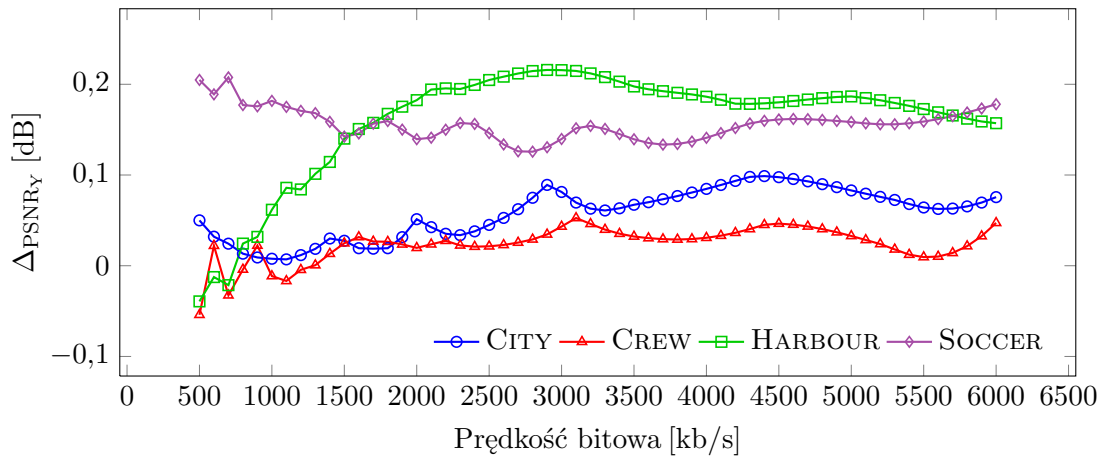
Wszystkie eksperymenty polegające na badaniu wpływu modyfikacji próbek transformaty na straty transkodowania przeprowadzone zostały przy wykorzystaniu programowych modeli stworzonych przez autora tej pracy.

Jak przedstawiono na rysunku 4.15 struktura grupy obrazów ma wpływ na efektywność kompresji. Dlatego może mieć również wpływ na straty transkodowania. W związku z tym eksperymenty zostały przeprowadzone dla różnych konstrukcji grupy obrazów. Kompleksowe badania zostały wykonane dla dwóch struktur GOP. Pierwsza z nich miała postać I-BB-P-BB-P-BB-P-BB-P-BB (4P2B), druga natomiast I-BBB-P-BBB-P-BBB-P-BBB (3P3B). Kodowanych było odpowiednio 118 i 117 obrazów. Przeprowadzono również częściowe badania dla struktury GOP I-BB-P-BB-P-BB-P-BB-P-BB-P-BB (5P2B) i długości sekwencji wynoszącej 118 obrazów, aby sprawdzić właściwości transkodowania dla dłuższej grupy obrazów.

Filtr deblokujący zdefiniowany w standardzie MPEG-4 AVC/H.264 pozwala na istotne podniesienie obiektywnej oraz subiektywnej jakości obrazu [165]. Aby zbadać wpływ tego elementu na proces transkodowania przeprowadzono eksperymenty dla dwóch niezależnych przypadków, gdy był on włączony i wyłączony.



(a) $QP^I = QP^P = QP^B$



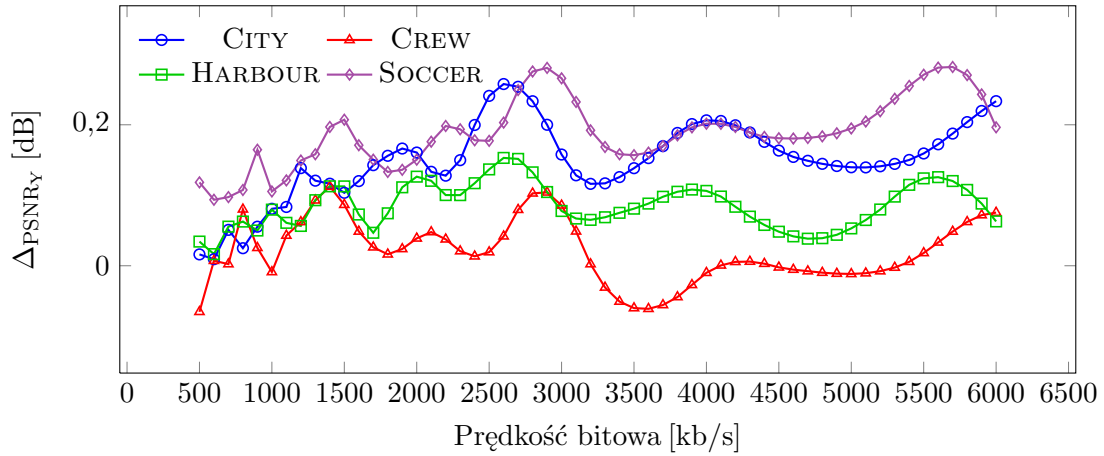
(b) $QP^I = QP^P = QP^B - 2$

Rysunek 4.15: Różnica efektywności kompresji w przypadku kodowania oryginalnej sekwencji z wykorzystaniem struktur GOP: 4P2B i 3P3B. Dodatnie wartości oznaczają wyższą jakość sekwencji dla struktury GOP 4P2B. Wyniki uzyskane dla krzywych „prędkość bitowa-jakość” interpolowanych funkcjami sklejającymi

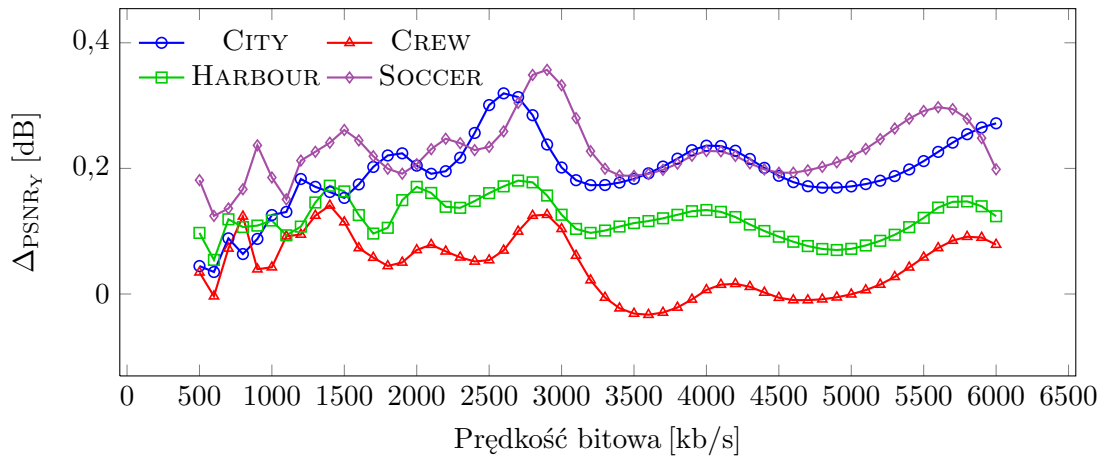
Na efektywność kompresji oraz rekompresji cyfrowych sekwencji wizyjnych duży wpływ ma zastosowany algorytm sterowania prędkością bitową [57, 81, 93, 110, 198]. Aby uniezależnić się od wpływu tego elementu na otrzymane wyniki, kodowanie było zawsze realizowane ze stałą wartością współczynnika kwantyzacji.

Wpływ na efektywność kompresji ma także wzajemna relacja wartości parametru kwantyzacji w obrazach typu I (QP^I), typu P (QP^P) oraz typu B (QP^B). Na rysunku 4.16 pokazano jak zakodowanie sekwencji wizyjnej ze zwiększoną o 2 wartością parametru kwantyzacji w obrazach typu B, w stosunku do pozostałych obrazów, powoduje zwiększenie jakości zdekodowanego obrazu przy tej samej prędkości bitowej uzyskanego strumienia. Wzrost wartości wskaźnika PSNR dla składowej luminancji w prezentowanym przykładzie

wynosi nawet 0,3 dB. W związku z powyższym zdecydowano się na przebadanie różnych relacji wartości indeksów QP^I , QP^P oraz QP^B . Zasadnicza część eksperymentów prowadzona była przy założeniach $QP^I = QP^P = QP^B$ i $QP^I = QP^P = QP^B - 2$. Przebadano również inne kombinacje relacji wartości parametrów kwantyzacji w poszczególnych typach obrazów: $QP^I = QP^P = QP^B - 6$, $QP^I + 2 = QP^P = QP^B - 2$, $QP^I + 2 = QP^P = QP^B - 6$.



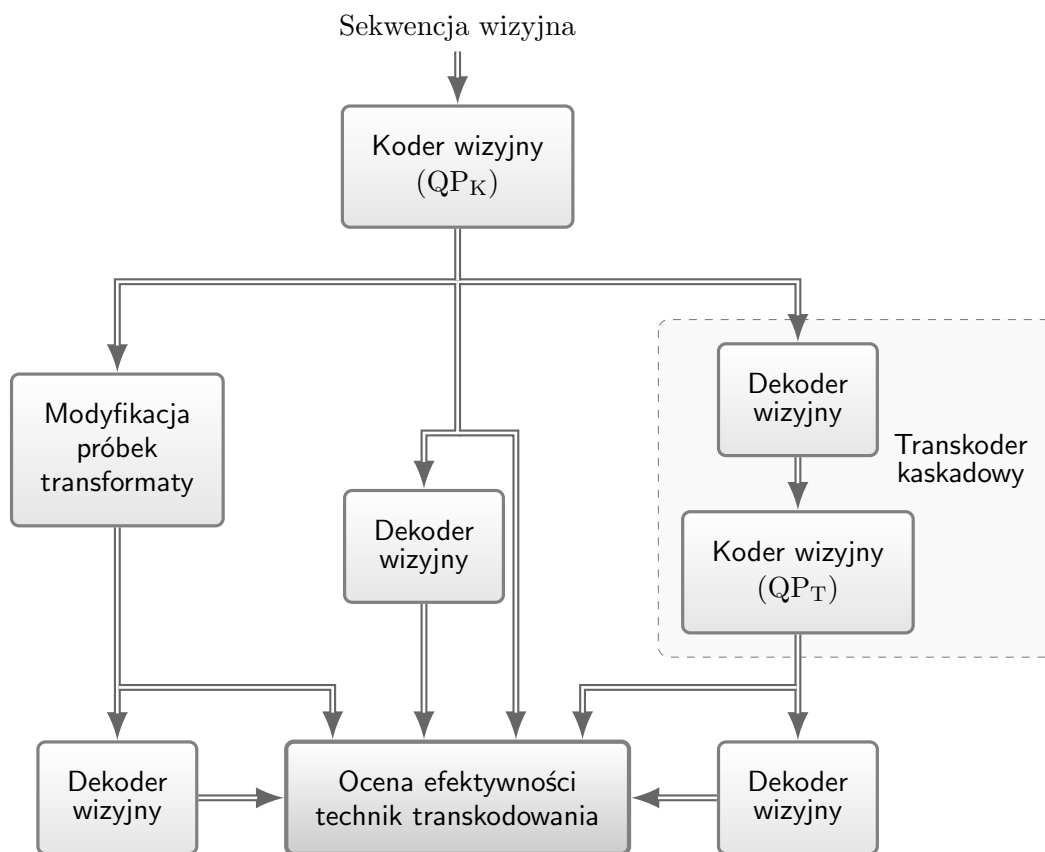
(a) GOP: I-BB-P-BB-P-BB-P-BB-P-BB



(b) GOP: I-BBB-P-BBB-P-BBB-P-BBB

Rysunek 4.16: Wzrost efektywności kompresji na skutek zwiększenia o 2 wartości indeksu QP w obrazach typu B. Wyniki uzyskane dla krzywych „prędkość bitowa-jakość” interpolowanych funkcjami sklejanymi

Sposób prowadzenia testów zilustrowany został na rysunku 4.17. W pierwszej kolejności oryginalne sekwencje testowe zostały poddane kodowaniu z różnymi wartościami indeksu QP_K . Otrzymane w ten sposób strumienie binarne były dekodowane i w rezultacie możliwe stało się wykreślenie krzywych „prędkość bitowa-jakość” dla kodowania oryginalnych sekwencji wizyjnych.



Rysunek 4.17: Badanie strat jakości spowodowanych selektywną eliminacją próbek transformaty w makroblokach typu Inter

Aby zbadać jak zmienia się jakość sekwencji w wyniku transkodowania z wykorzystaniem transkodera kaskadowego, ze zbioru otrzymanych wcześniej strumieni binarnych wybrano te, dla których parametr kwantyzacji w obrazach typu P wynosił odpowiednio $QP_K \in \{25, 28, 31, 34, 37, 40\}$. Następnie wybrane strumienie poddawane były transkodowaniu z nowymi wartościami parametru kwantyzacji: $QP_T = QP_K + n$, $n = 0, 1, 2, \dots$. Każdy z tak otrzymanych strumieni binarnych był dekodowany. Dzięki temu możliwe stało się wykreślenie odpowiednich krzywych „prędkość bitowa-jakość”.

Wyselekcjonowane strumienie bitowe poddawane były również redukcji zgodnie ze schematami postępowania zaproponowanymi przez autora tej pracy. Zdekodowanie otrzymanych w ten sposób nowych strumieni wizyjnych pozwoliło na określenie efektywności zaproponowanych rozwiązań.

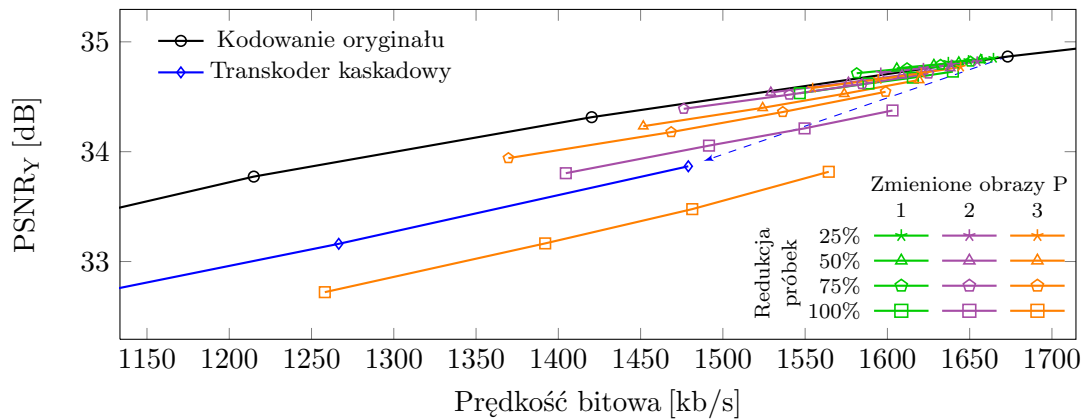
4.5.3. Eliminacja próbek transformaty w makroblokach typu Inter

Modyfikację próbek transformaty w zakodowanym strumieniu wizyjnym można przeprowadzić na wiele sposobów. W zależności od tego jaki przyjmie się scenariusz, możliwe będzie uzyskanie odmiennych rezultatów.

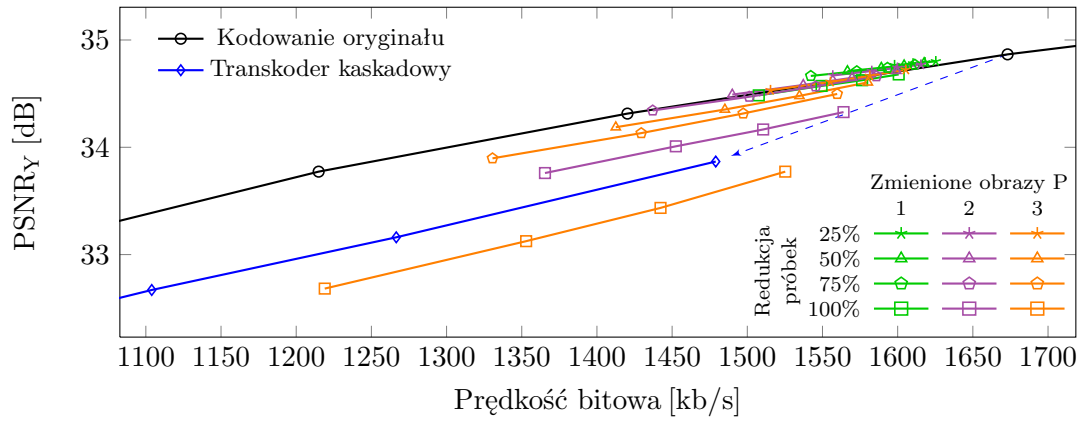
W pierwszej kolejności przebadano wpływ eliminacji próbek transformaty w makroblokach kodowanych międzyobrazowo na jakość zdekodowanej sekwencji. W tym celu usuwano odpowiednio 25, 50, 75, 100 % próbek transformaty w kolejno 25, 50, 75, 100 % makrobloków danego obrazu. Aby dowiedzieć się, jaki wpływ na jakość sekwencji ma modyfikacja obrazów typu P i B, przebadane zostały wszystkie powyższe kombinacje, gdy modyfikowane są obrazy typu B i odpowiednio po kolei coraz większa liczba obrazów typu P, rozpoczynając od końca struktury grupy obrazów. Aby otrzymane wyniki były wiarygodne, badania zostały przeprowadzone dla:

- dwóch konstrukcji struktury GOP: 3P3B, 4P2B,
- odmiennych relacji wartości indeksu QP pomiędzy poszczególnymi typami obrazów:
 $QP^I = QP^P = QP^B$, $QP^I = QP^P = QP^B - 2$,
- przypadków z włączonym i wyłączonym filtrem deblokującym.

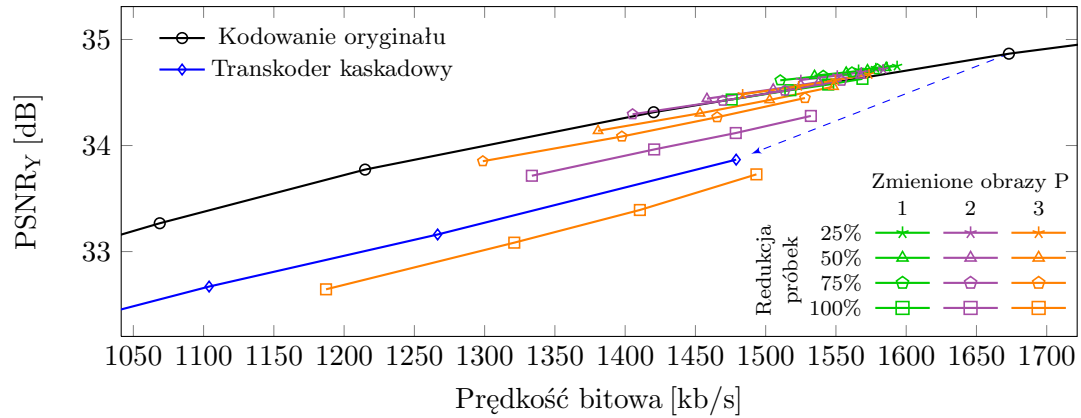
Przykładowe wyniki badań przedstawiono na rysunkach 4.18–4.25, a więcej przykładów znajduje się w dodatku C. Ze względu na obszerność zebranych wyników eksperymentu, w pracy może być zaprezentowana wyłącznie część wyników przeprowadzonych doświadczeń. Przedstawione wyniki są reprezentatywne dla całości otrzymanych wyników badań.



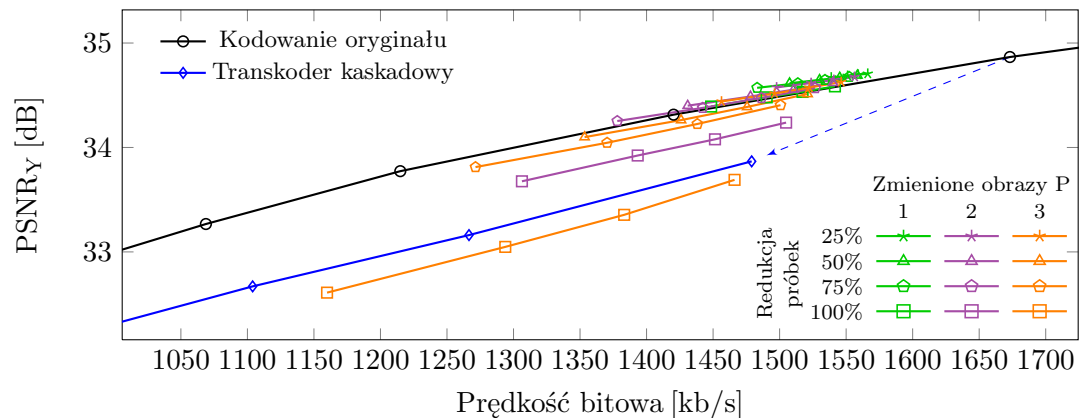
Rysunek 4.18: Straty jakości sekwencji wizyjnej spowodowane eliminacją próbek transformaty w obrazach typu P (sekwencja CITY, $QP_K = 28$, struktura GOP: 3P3B, $QP^I = QP^P = QP^B - 2$, włączony filtr deblokujący, obrazy B niezmodyfikowane)



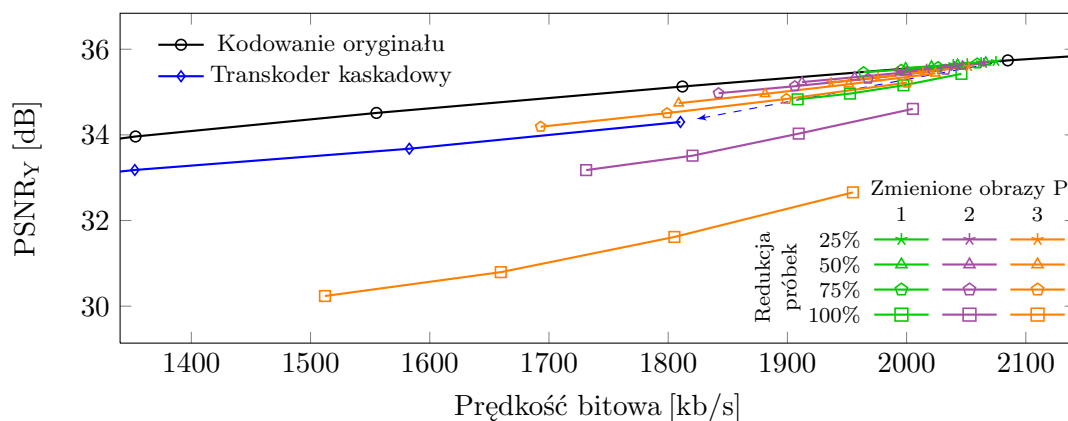
Rysunek 4.19: Straty jakości sekwencji wizyjnej spowodowane eliminacją próbek transformaty w obrazach typu P (sekwencja CITY, $QP_K = 28$, struktura GOP: 3P3B, $QP^I = QP^P = QP^B - 2$, włączony filtr deblokujący, w obrazach B usunięte 25 % próbek transformaty)



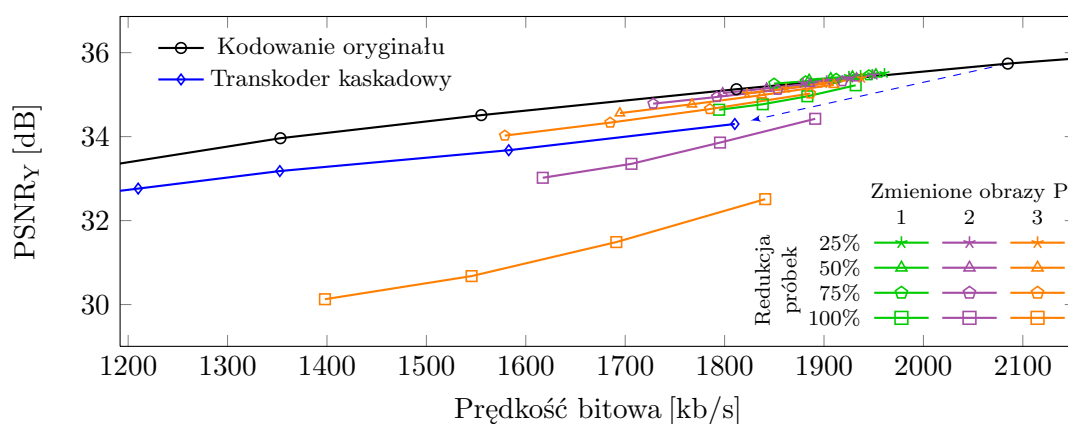
Rysunek 4.20: Straty jakości sekwencji wizyjnej spowodowane eliminacją próbek transformaty w obrazach typu P (sekwencja CITY, $QP_K = 28$, struktura GOP: 3P3B, $QP^I = QP^P = QP^B - 2$, włączony filtr deblokujący, w obrazach B usunięte 50 % próbek transformaty)



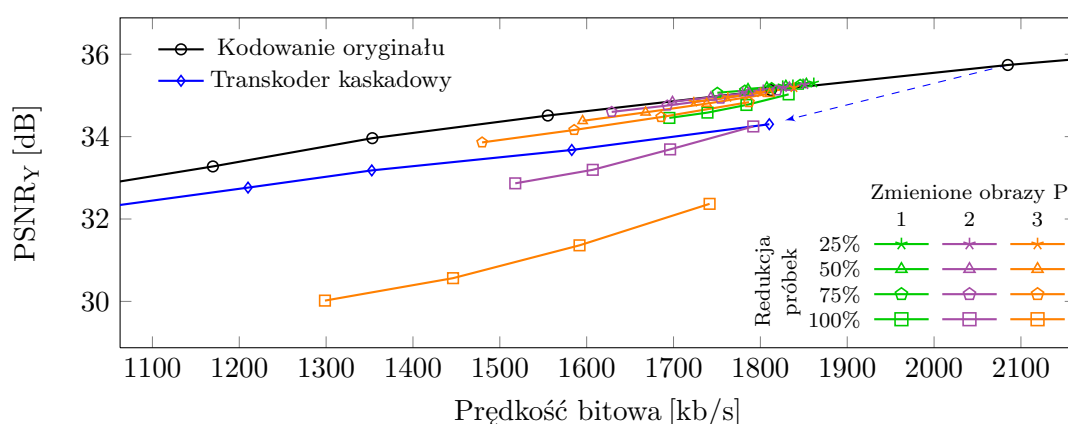
Rysunek 4.21: Straty jakości sekwencji wizyjnej spowodowane eliminacją próbek transformaty w obrazach typu P (sekwencja CITY, $QP_K = 28$, struktura GOP: 3P3B, $QP^I = QP^P = QP^B - 2$, włączony filtr deblokujący, w obrazach B usunięte 75 % próbek transformaty)



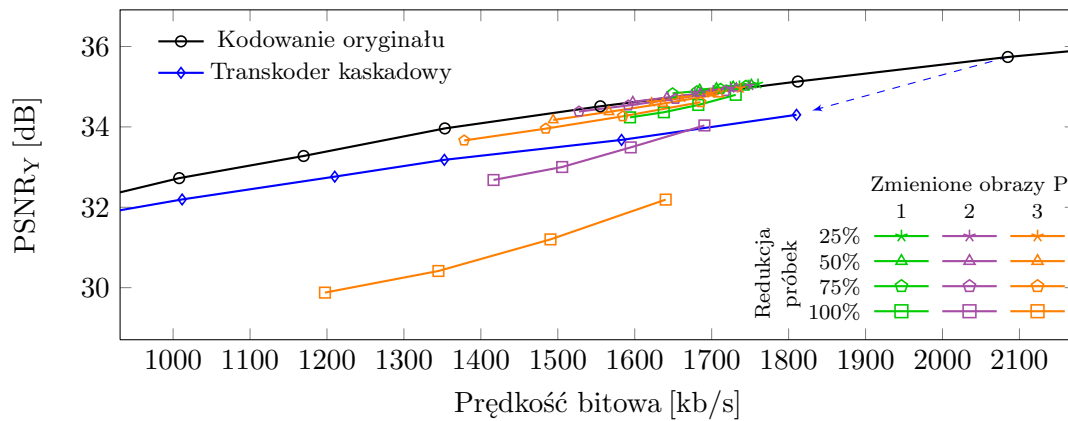
Rysunek 4.22: Straty jakości sekwencji wizyjnej spowodowane eliminacją próbek transformaty w obrazach typu P (sekwencja SOCCEK, $QP_K = 28$, struktura GOP: 3P3B, $QP^I = QP^P = QP^B - 2$, włączony filtr deblokujący, obrazy B niezmodyfikowane)



Rysunek 4.23: Straty jakości sekwencji wizyjnej spowodowane eliminacją próbek transformaty w obrazach typu P (sekwencja SOCCEK, $QP_K = 28$, struktura GOP: 3P3B, $QP^I = QP^P = QP^B - 2$, włączony filtr deblokujący, w obrazach B usunięte 25 % próbek transformaty)



Rysunek 4.24: Straty jakości sekwencji wizyjnej spowodowane eliminacją próbek transformaty w obrazach typu P (sekwencja SOCCEK, $QP_K = 28$, struktura GOP: 3P3B, $QP^I = QP^P = QP^B - 2$, włączony filtr deblokujący, w obrazach B usunięte 50 % próbek transformaty)



Rysunek 4.25: Straty jakości sekwencji wizyjnej spowodowane eliminacją próbek transformaty w obrazach typu P (sekwencja SOCCER, $QP_K = 28$, struktura GOP: 3P3B, $QP^I = QP^P = QP^B - 2$, włączony filtr deblokujący, w obrazach B usunięte 75 % próbek transformaty)

Analiza wyników prezentowanych na rysunkach 4.18–4.25, a także w dodatku C pozwala na wyciągnięcie wniosków zaprezentowanych poniżej.

- Modyfikacja obrazów typu B ma mniejszy negatywny wpływ na średnią jakość sekwencji niż modyfikacja obrazów typu P.
- Przy tej samej redukcji strumienia bitowego wyższą jakość zdekodowanej sekwencji uzyskuje się usuwając mniejszy odsetek próbek transformaty w większej liczbie makrobloków, niż w sytuacji odwrotnej.
- Lepsze rezultaty daje mocniejsza modyfikacja mniejszej liczby obrazów typu P, niż słabsza większej ich liczby.
- Usunięcie części próbek transformaty w obrazach P i B powoduje stosunkowo niewielkie pogorszenie jakości obrazu i może prowadzić do uzyskania lepszej jakości sekwencji niż użycie transkodera kaskadowego.
- Pozbycie się wszystkich próbek transformaty w kodowanym obrazie powoduje znaczne pogorszenie jakości sekwencji.
- Użycie filtru deblokującego, bądź rezygnacja z niego nie ma wpływu na wcześniejsze wnioski.

4.5.4. Modyfikacja próbek transformaty w makroblokach typu Inter

Rezultaty przedstawione w poprzednim punkcie wskazują, że nie powinno się usuwać wszystkich próbek transformaty, gdyż powoduje to znaczące pogorszenie jakości obrazu.

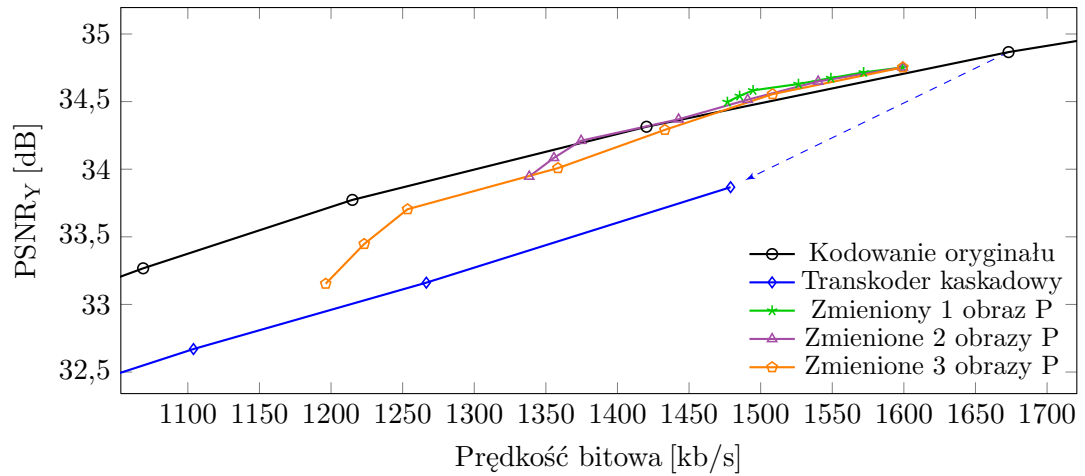
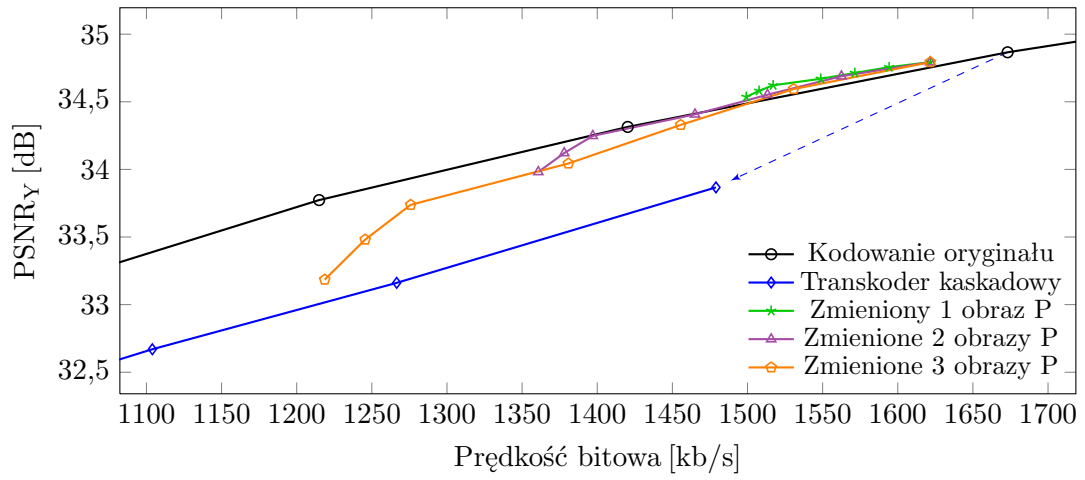
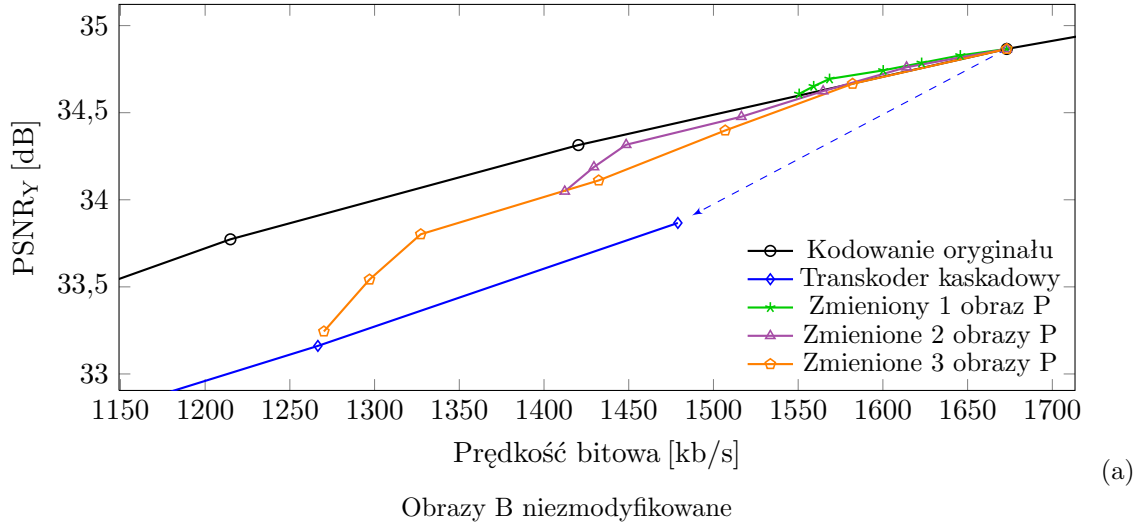
Silne artefakty w obrazie pojawiają się ze względu na eliminację próbek transformaty o dużych wartościach. Jak pokazano w punkcie 4.3, znaczącą część próbek transformaty stanowią próbki o wartości bezwzględnej równej jeden, których usunięcie nie powinno w istotny sposób obniżyć jakości obrazu. W związku z tym, przeprowadzone zostały kolejne eksperymenty. Przyjęto, że w wyniku modyfikacji próbek transformaty, nie mogą zostać usunięte próbki, których początkowa skwantowana amplituda jest większa niż dwa.

Badania przeprowadzono dla wszystkich kombinacji następujących przypadków modyfikacji próbek transformaty w obrazach typu P i typu B:

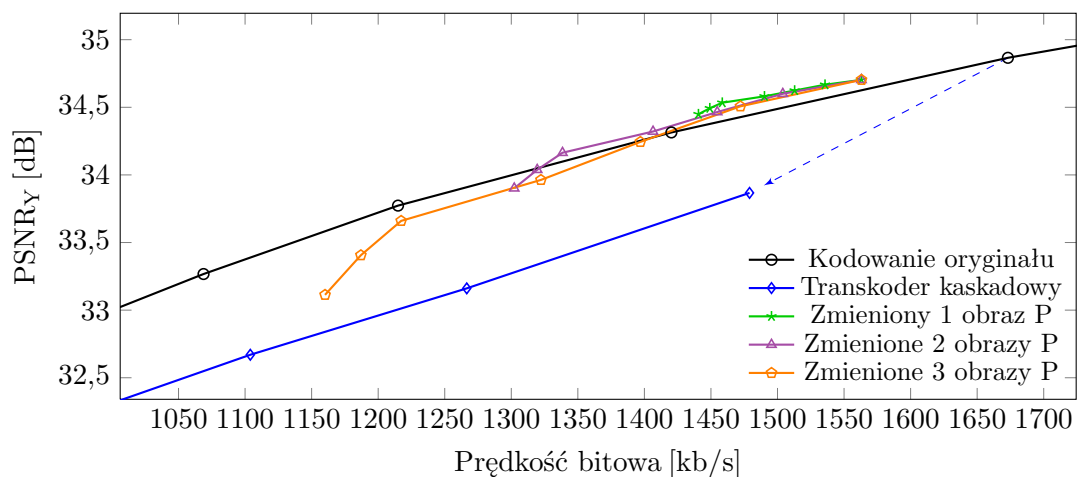
- usunięcie 0, 25, 50, 75 % próbek transformaty o amplitudzie równej 1,
- zwiększenie parametru kwantyzacji o 6 (i związane z tym przeskalowanie próbek transformaty), a następnie usuwanie odpowiednio 50 i 100 % próbek o amplitudzie równej 1.

Zastrzec należy, że w eksperymentach badano wpływ na jakość dekodowanej sekwencji jednoczesnej modyfikacji wszystkich obrazów typu B, a także wpływ modyfikacji coraz większej liczby obrazów typu P, licząc od końca struktury GOP.

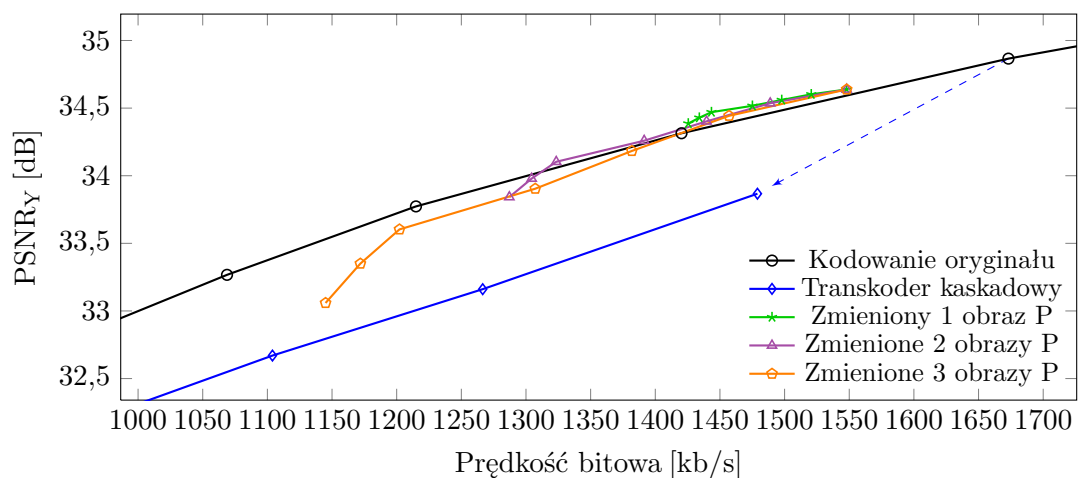
Ze względu na obszerność prac badawczych, otrzymane rezultaty nie mogły w całości znaleźć się w tej pracy. Przykładowe otrzymane wyniki zostały przedstawione na rysunku 4.26. Część rezultatów przeprowadzonych eksperymentów znajduje się również w dodatku D.1. Są one tam porównane z wynikami efektywności algorytmu transkodowania, który będzie przedstawiony w punkcie 5.2.2. Powyżej wskazane przykładowe wyniki są reprezentatywne dla całości rezultatów eksperymentu.



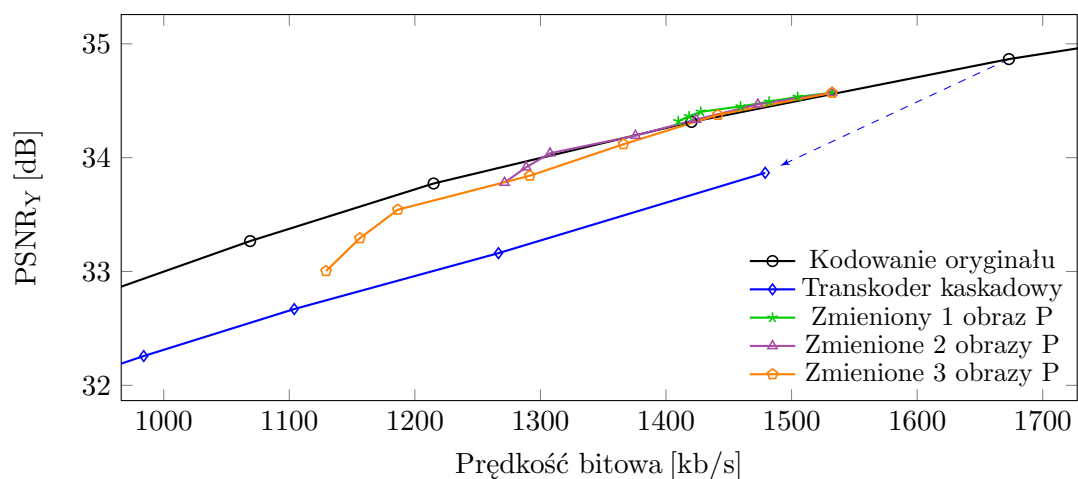
Rysunek 4.26: Strata jakości spowodowana eliminacją próbek transformaty w obrazach typu P (sekwencja C17Y, struktura GOP: 3P3B, $QP^I = QP^P = QP^B - 2$, $QP_K = 28$, włączony filtr deblokujący, brak makrobloków Intra w obrazach P i B)



(d) Wartość indeksu QP w obrazach B zwiększona o 6



(e) Wartość indeksu QP w obrazach B zwiększona o 6 i usuniętych 50 % próbek transformaty o amplitudzie równej 1



(f) Wartość indeksu QP w obrazach B zwiększona o 6 i usunięte wszystkie próbki transformaty o amplitudzie równej 1

Rysunek 4.26: (Kontynuacja) Strata jakości spowodowana eliminacją próbek transformaty w obrazach typu P (sekwencja CITY, struktura GOP: 3P3B, $QP^I = QP^P = QP^B - 2$, $QP^K = 28$, włączony filtr deblokujący, brak makrobloków Intra w obrazach P i B)

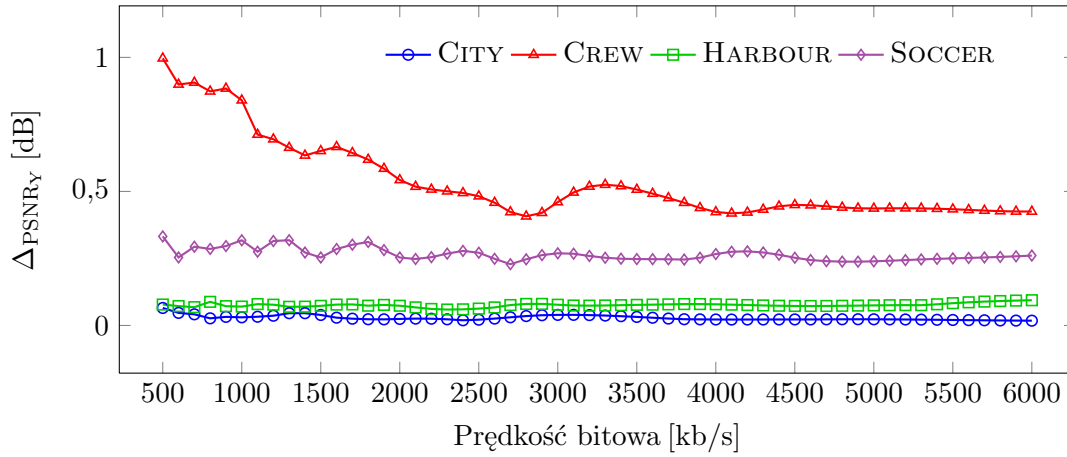
Analiza rysunku 4.26 oraz rysunków przedstawionych w dodatku D.1 prowadzi do konkluzji przedstawionych poniżej.

- Modyfikacja obrazów typu B ma najmniejszy wpływ na uśrednioną jakość zdekodowanej sekwencji wizyjnej.
- Aby zachowana była jak najwyższa uśredniona jakość sekwencji wizyjnej, korzystniejsza jest silniejsza modyfikacja mniejszej liczby końcowych obrazów typu P w strukturze GOP, niż równoważna mniejsza modyfikacja większej liczby obrazów tego typu.
- Eliminacja próbek transformaty o amplitudzie 1, a także zwiększenie o 6 wartości parametru kwantyzacji, powoduje niewielkie straty transkodowania.
- Usuwanie skwantowanych próbek transformaty o amplitudzie 1, po zwiększeniu wartości parametru kwantyzacji o 6, powoduje szybkie zwiększanie się strat transkodowania.

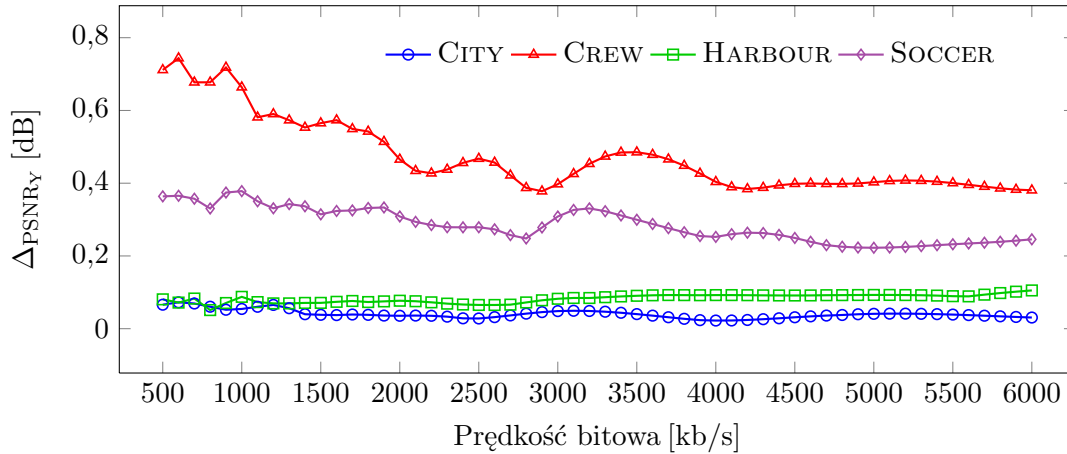
Dwa pierwsze z powyżej przedstawionych wniosków mają uzasadnienie w fakcie, że modyfikacja jak najmniejszej liczby obrazów stanowiących odniesienie do kodowania kolejnych, powoduje ograniczanie błędu dryftu. W rezultacie daje to wyższą uśrednioną jakość sekwencji. Badania pokazały jednak, że usuwanie próbek transformaty po zwiększeniu parametru kwantyzacji o 6 (jest to równoważne usuwaniu próbek o amplitudzie równej 2 przed zmianą kwantyzatora), powoduje tak duże straty jakości, że korzystniejsza jest modyfikacja większej liczby obrazów, dająca taką samą redukcję strumienia bitowego.

4.5.5. Modyfikacja próbek transformaty w makroblokach typu Intra i typu Inter

Standard MPEG-4 AVC/H.264 dopuszcza wykorzystanie makrobloków kodowanych wewnątrzobrazowo w obrazach typu P i B, w celu zwiększenia efektywności kompresji. Na rysunku 4.27 przedstawiony został taki wzrost efektywności kompresji dla czterech przebadanych sekwencji wizyjnych i dwóch rodzajów struktury GOP. Można zauważyć, że zależy on silnie od treści sekwencji wizyjnej i w mniejszym stopniu od struktury grupy obrazów. Ponieważ dla części strumieni wizyjnych możliwe jest znaczne zwiększenie efektywności kompresji poprzez wykorzystanie makrobloków Intra w obrazach P i B, należy również rozważyć problem transkodowania takich strumieni wizyjnych.



(a) GOP: I-BB-P-BB-P-BB-P-BB-P-BB.



(b) GOP: I-BBB-P-BBB-P-BBB-P-BBB.

Rysunek 4.27: Wzrost efektywności kompresji osiągnięty poprzez wykorzystanie makrobloków typu Intra w obrazach P i B. Wyniki uzyskane dla krzywych „prędkość bitowa-jakość” interpolowanych funkcjami sklejanymi

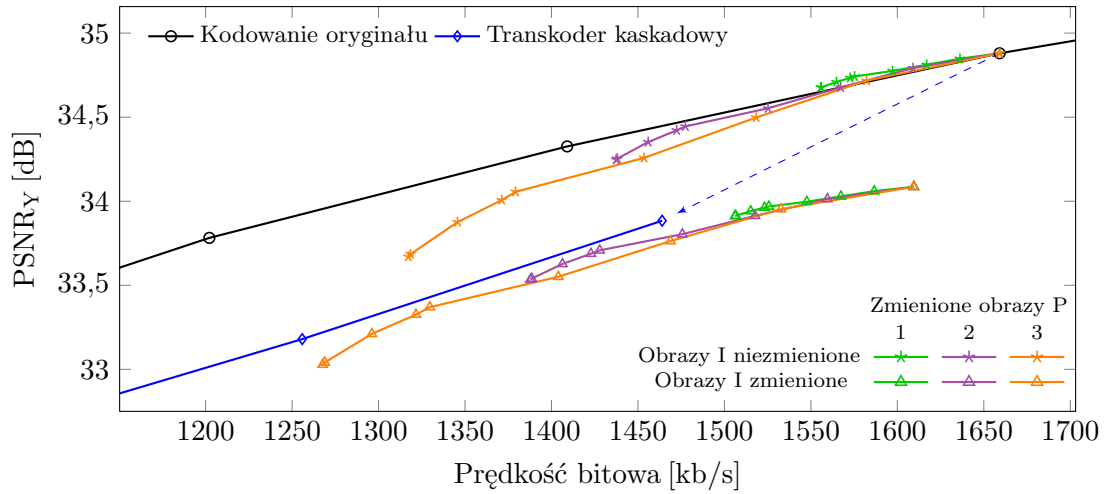
Sposób prowadzenia eksperymentów był analogiczny do zaprezentowanego w poprzednim punkcie. Przebadano dwie struktury grupy obrazów: 4P2B, 3P3B, oraz dwa układy relacji pomiędzy wartościami parametrów kwantyzacji w różnych typach obrazów: $QP^I = QP^P = QP^B$, $QP^I = QP^P = QP^B - 2$. Eksperymenty zostały poszerzone o sprawdzenie wpływu modyfikacji rozpoczynającej strukturę GOP obrazu typu I na straty efektywności kompresji spowodowane transkodowaniem strumieni wizyjnych oraz na zakres redukcji prędkości transmisji. Testy przeprowadzono wyłącznie dla sekwencji kodowanych z wykorzystaniem filtru deblokującego.

Należy zaznaczyć, że w przeciwieństwie do makrobloków kodowanych w trybie międzyobrazowym, dla makrobloków Intra nigdy nie była modyfikowana wartość parametru kwantyzacji. Ich transkodowanie realizowane było wyłącznie z wykorzystaniem procedur

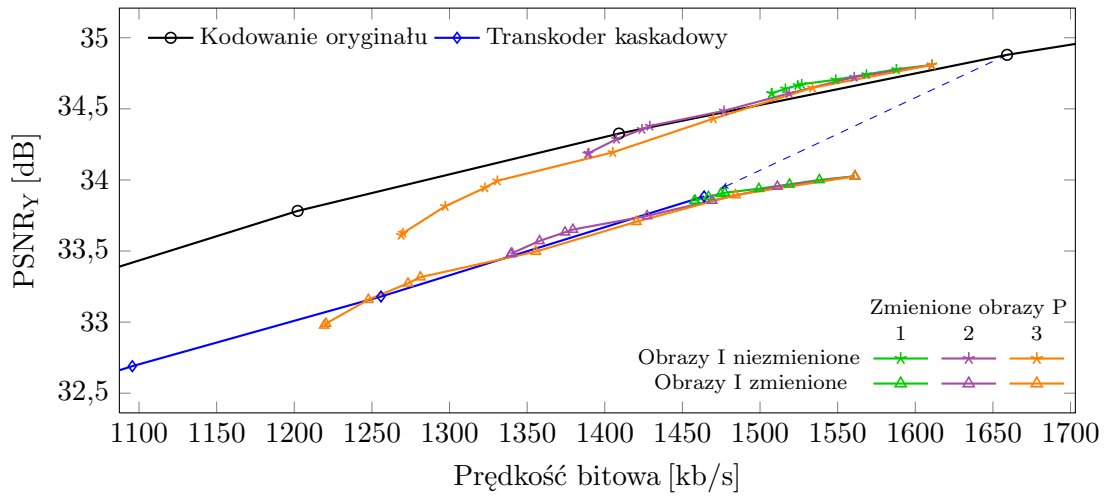
opisanych w punkcie 4.4. Dodatkowo wartość parametru kwantyzacji nie była modyfikowana w makroblokach typu Inter, jeśli były one wykorzystywane do wyznaczania przewidywanych wartości próbek sąsiednich bloków. Takie makrobloki modyfikowane były w sposób opisany w punkcie 4.4.5.

Autor zdaje sobie sprawę, iż zastosowanie takiego scenariusza nie gwarantuje, że sygnał predykcji pozostanie zawsze niezmieniony. Bloki wykorzystywane do predykcji wewnątrzobrazowej mogą ulec zmianie na skutek modyfikacji obrazu odniesienia. Zaproponowane podejście gwarantuje jednak, że nie powstanie dryft wewnątrzobrazowy, który powoduje znacznie większą degradację obrazu, niż błędy powstające na skutek modyfikacji obrazów odniesienia.

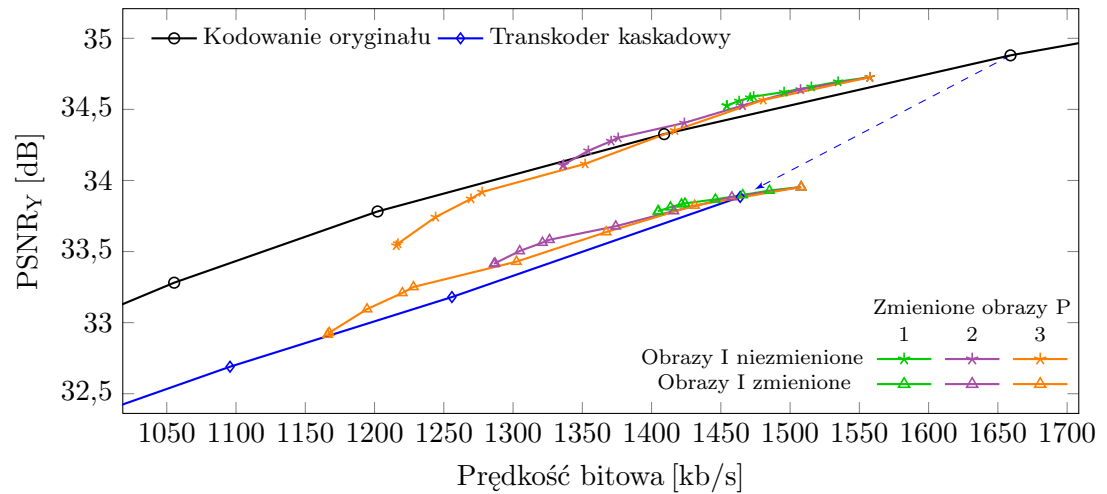
Przykładowe wyniki eksperymentu zostały przedstawione na rysunku 4.28. Pozostałe rezultaty badań znaleźć można w dodatku D.4, gdzie zaprezentowane zostały wraz z wynikami efektywności algorytmu transkodowania, który jest przedstawiony w punkcie 5.2.3.



(a) Obrazy B niezmodyfikowane

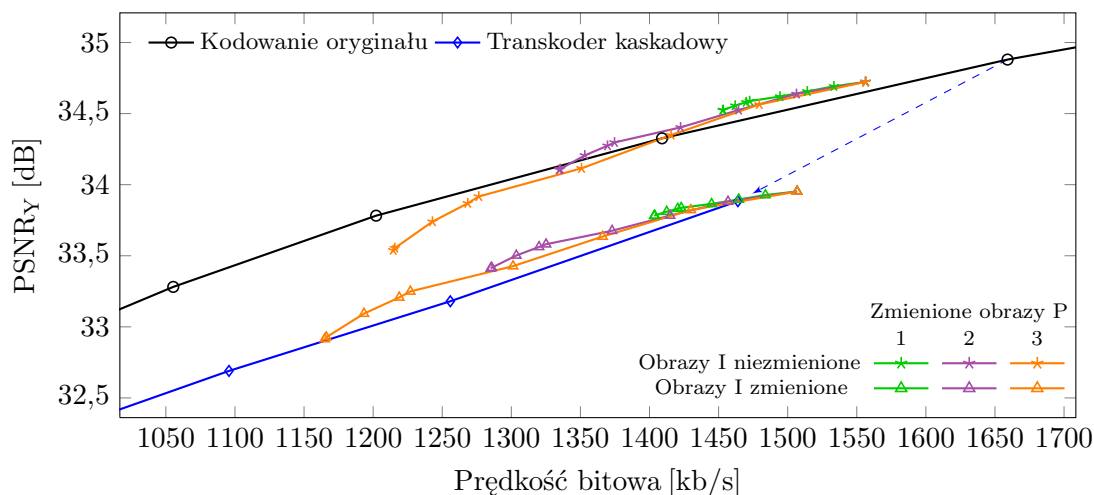


(b) W obrazach B usuniętych 50 % próbek transformaty o amplitudzie równej 1

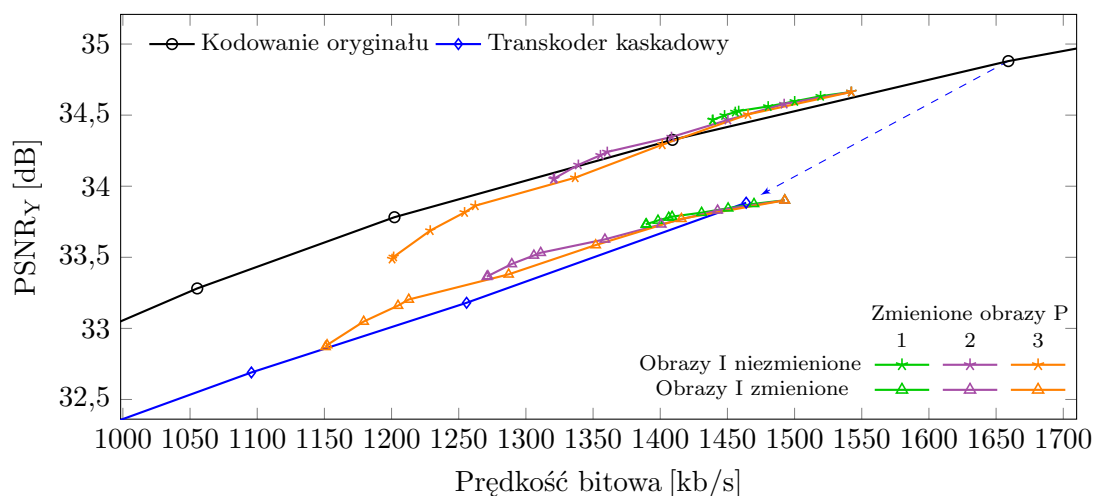


(c) W obrazach B wartość indeksu QP zwiększona o 6

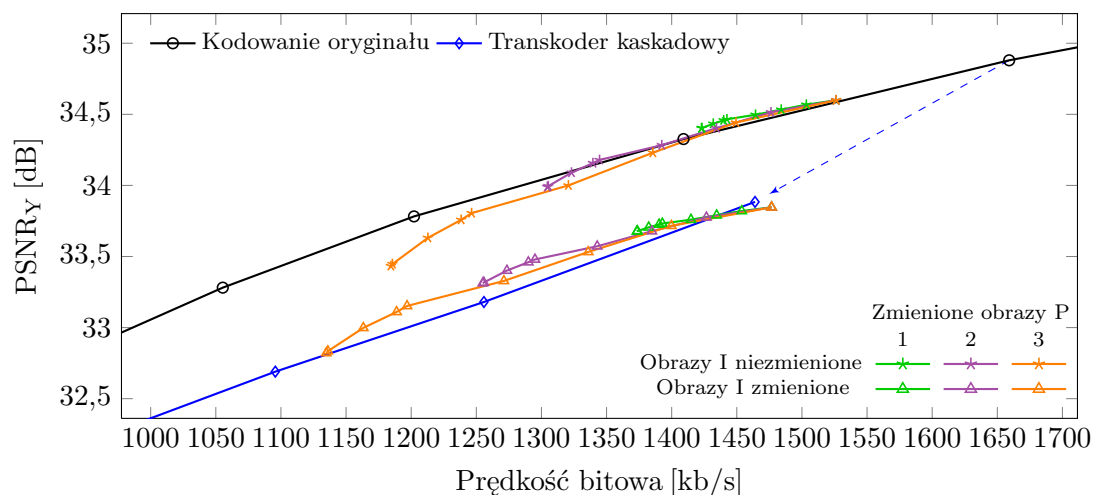
Rysunek 4.28: Strata jakości spowodowana eliminacją próbek transformaty w obrazach typu P i I (sekwencja CITY, GOP: 3P3B, $QP_K = 28$, $QP^I = QP^P = QP^B - 2$, włączony filtr deblokujący, dozwolone makrobloki Intra w obrazach P i B)



(d) W obrazach B: wartość indeksu QP zwiększona o 6, zmodyfikowane makrobloki typu Intra



(e) W obrazach B: wartość indeksu QP zwiększona o 6, usuniętych 50 % próbek transformaty o amplitudzie równej 1, zmodyfikowane makrobloki typu Intra



(f) W obrazach B: wartość indeksu QP zwiększona o 6, usunięte wszystkie próbki transformaty o amplitudzie równej 1, zmodyfikowane makrobloki typu Intra

Rysunek 4.28: (Kontynuacja) Strata jakości spowodowana eliminacją próbek transformaty w obrazach typu P i I (sekwencja CITY, GOP: 3P3B, $QP_K = 28$, $QP^I = QP^P = QP^B - 2$, włączony filtr deblokujący, dozwolone makrobloki Intra w obrazach P i B)

Analiza wskazanych wyników badań prowadzi do następujących wniosków:

- Modyfikacja obrazów typu B ma najmniejszy wpływ na uśrednioną jakość zdekodowanej sekwencji wizyjnej.
- Eliminacja próbek transformaty o amplitudzie 1, a także zwiększenie o 6 wartości parametru kwantyzacji, powoduje niewielkie straty transkodowania.
- Usuwanie skwantowanych próbek transformaty o amplitudzie 1 po zwiększeniu wartości parametru kwantyzacji o 6 w makroblokach typu Inter powoduje mniejszy wzrost strat transkodowania, niż w przypadku opisanym w punkcie 4.5.4.
- Aby zachowana była jak najwyższa uśredniona jakość sekwencji wizyjnej, korzystniejsza jest silniejsza modyfikacja mniejszej liczby końcowych obrazów typu P w strukturze GOP, niż równoważna mniejsza modyfikacja obrazów tego typu.
- Modyfikacja obrazów typu I powoduje znaczne obniżenie jakości transkodowanej sekwencji wizyjnej.
- Modyfikacja makrobloków typu Intra w obrazach kodowanych międzyobrazowo wprowadza niewielkie straty jakości, dając jednocześnie niewielkie możliwości redukcji strumienia bitowego.

Porównując rysunek 4.26 oraz rysunki przedstawione w dodatku D.1 wraz z rysunkiem 4.28 i rysunkami zamieszczonymi w dodatku D.4 zauważyć można, że w przypadku, gdy w obrazach typu P i typu B nie występują makrobloki kodowane wewnątrzobrazowo, straty transkodowania rosną szybciej, gdy usuwane są próbki transformaty po zwiększeniu wartości parametru kwantyzacji o 6, niż w przypadku gdy w tego typu obrazach występują makrobloki typu Intra.

4.6. Podsumowanie

W rozdziale przedstawione i uzasadnione zostały założenia metody redukcji strumienia bitowego z ograniczonymi stratami jakości. Ze względu na wykorzystywany schemat transkodowania z otwartą pętlą sprzężenia zwrotnego, zaproponowano metodę ograniczenia błędu dryftu międzyobrazowego. Ponadto zaproponowany został mechanizm redukcji w strumieniu bitowym informacji o zmianie wartości parametru kwantyzacji.

Ze względu na przyjętą strategię redukcji prędkości bitowej, polegającą na redukcji w strumieniu wizyjnym informacji o próbkach transformaty, przeanalizowano o jaką wartość może być w ten sposób zmniejszony strumień bitowy.

Propagacja błędów transkodowania wewnątrz obrazu powoduje znaczące obniżenie jego jakości [29, 85]. W związku z tym, autor przedstawił oryginalną technikę transkodowania makrobloków kodowanych wewnątrzobrazowo. Jej stosowanie zapewnia, że nie powstanie błąd dryftu wewnątrzobrazowego. Polega ona na odpowiedniej, warunkowej modyfikacji próbek transformaty. Autor przedstawił i udowodnił w jaki sposób należy modyfikować próbki transformaty w blokach o rozmiarze 4×4 punkty, aby nie uległy zmianie przewidywane wartości próbek sąsiednich bloków.

Redukcja próbek transformaty w procesie transkodowania strumienia wizyjnego może być realizowana na wiele sposobów. Niezbędne jest więc określenie, które próbki i w jaki sposób powinny być kolejno modyfikowane, aby zapewnić jak najmniejsze straty transkodowania. W rozdziale autor przedstawił wyniki swoich licznych badań, na podstawie których zostały zaproponowane własne, efektywne algorytmy transkodowania homogenicznego zaprezentowane w następnym rozdziale.

Algorytmy transkodowania homogenicznego z ograniczonymi stratami jakości

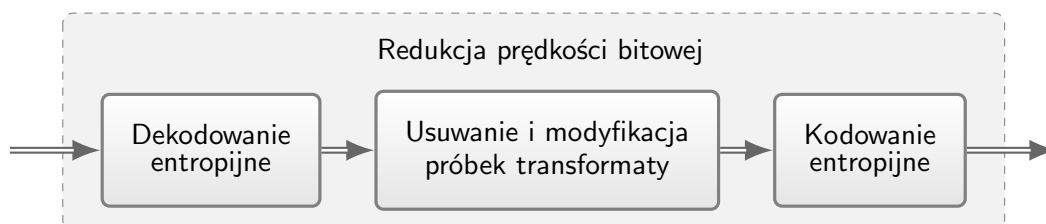
5.1. Wprowadzenie

W rozdziale 4 przedstawione zostały techniki służące efektywnej redukcji strumieni bitowych wykorzystujących zaawansowane techniki kompresji. Autor przeprowadził wiele wyników badań mających wskazać, w jaki sposób te narzędzia powinny być użyte, aby zapewnić jak najmniejsze straty transkodowania. Na podstawie analizy otrzymanych rezultatów zaproponowane zostały autorskie procedury transkodowania. Następnie efektywność kompresji powyższych rozwiązań została porównana z efektywnością kompresji transkodera kaskadowego poprzez ocenę jakości obiektywnej transkodowanych sekwencji. Aby potwierdzić uzyskane wyniki przeprowadzone również zostały badania jakości subiektywnej. Finalnie dokonana została ocena złożoności proponowanych rozwiązań. W kolejnych punktach zostały szczegółowo przedstawione procedury opisane powyżej. Część rezultatów wstępnych badań oraz wyników prezentowanych poniżej została zawarta we wcześniejszych publikacjach autora [34, 98–100].

5.2. Algorytmy transkodowania

5.2.1. Elementy wspólne proponowanych algorytmów transkodowania

Autor proponuje by procedura transkodowania wyglądała tak jak to przedstawiono na rysunku 5.1. W pierwszej kolejności dekodery entropijny powinien zdekodować strumień bitowy. W następnym kroku powinny zostać zmodyfikowane wartości próbek transformaty. Ostatnim etapem jest sformowanie nowego strumienia bitowego.



Rysunek 5.1: Schemat zaproponowanego transkodera homogenicznego

Makrobloki tworzące pojedynczy obraz powinny być modyfikowane w kolejności zgodnej ze spiralnym uporządkowaniem przedstawionym w punkcie 4.2.6. Zmiana próbek transformaty nie powinna wpływać na przewidywane wartości próbek sąsiednich bloków kodowanych w trybie Intra. Sposoby takich modyfikacji, zaproponowane przez autora tej pracy, zostały przedstawione w punkcie 4.4. W makroblokach kodowanych międzyobrazowo próbki transformaty powinny być modyfikowane w kolejności od odpowiadających najwyższym częstotliwościom do odpowiadających najniższym częstotliwościom, jak to zostało przedstawione w punkcie 4.5.1. W kolejnych punktach przedstawiono w jakiej kolejności powinny być modyfikowane obrazy w sekwencji wizyjnej i jak kolejno należy modyfikować w nich próbki transformaty, aby uzyskać jak najmniejsze straty transkodowania. Ze względu na wpływ występowania makrobloków Intra w obrazach typu P i typu B na straty transkodowania, autor zaproponował dwie procedury transkodowania, których wybór uzależniony jest od tego czynnika.

5.2.2. Algorytm redukcji strumieni bitowych uzyskanych bez wykorzystania makrobloków Intra w obrazach P i B

W punkcie 4.5.4 przedstawione zostały badania wpływu modyfikacji obrazów typu P i B, w których nie występują makrobloki kodowane wewnątrzobrazowo, na straty transkodowania. Wynikiem przeprowadzonych analiz jest propozycja schematu postępowania

zapewniającego osiągnięcie możliwie najmniejszych strat spowodowanych transkodowaniem wizyjnego strumienia binarnego. Zostanie ona przedstawiona poniżej.

Do momentu, w którym zostanie osiągnięta zamierzona redukcja strumienia bitowego, należy wykonywać następujące kroki:

1. Zmodyfikuj obrazy typu B:
 - usuwaj próbki transformaty o wartości bezwzględnej równej 1,
 - zwiększ o 6 wartość indeksu QP^B w transkodowanych makroblokach;
2. W obrazach typu P, rozpoczynając od ostatniego w strukturze GOP, kolejno w kierunku jej początku:
 - usuwaj próbki transformaty o wartości bezwzględnej równej 1,
 - zwiększ o 6 wartość indeksu QP^P w transkodowanych makroblokach;
3. W obrazach typu B usuwaj próbki transformaty o amplitudzie równej 1 w makroblokach, w których zwiększono wartość parametru kwantyzacji;
4. W obrazach typu P, rozpoczynając od ostatniego w strukturze GOP, kolejno w kierunku jej początku, usuwaj próbki transformaty o wartości bezwzględnej równej 1 w makroblokach, w których zwiększono wartość parametru kwantyzacji.

Postępowanie według schematu przedstawionego powyżej nie w każdej sytuacji zapewnia możliwie najmniejsze straty jakości, ze względu na różne właściwości transkodowanych sekwencji. Jednak jest to zapis usystematyzowanego postępowania, które w znaczącej większości przebadanych przypadków, daje najlepsze rezultaty.

5.2.3. Algorytm redukcji strumieni bitowych uzyskanych z wykorzystaniem makrobloków Intra w obrazach P i B

Badania przedstawione w punktach 4.5.4 i 4.5.5 wskazują, że obecność makrobloków typu Intra w obrazach P i B ma wpływ na straty transkodowania powstałe w wyniku modyfikacji próbek transformaty. W związku z tym, algorytm transkodowania powinien być uzależniony od występowania takich makrobloków w obrazach kodowanych międzyobrazowo. Autor proponuje, aby strumienie binarne, w których występują makrobloki typu Intra w obrazach P i B, redukowane były zgodnie z algorytmem przedstawionym poniżej. Należy zaznaczyć, że próbki transformaty w blokach wykorzystywanych do wyznaczenia

przewidywanych wartości próbek sąsiednich bloków należy modyfikować uwzględniając ograniczenia przedstawione w punkcie 4.4.

Do momentu, w którym zostanie osiągnięta zamierzona redukcja strumienia bitowego, wykonuj następujące kroki:

1. Zmodyfikuj obrazy typu B:

- usuwaj próbki transformaty o amplitudzie równej 1 zarówno w makroblokach kodowanych międzyobrazowo jak i wewnątrzobrazowo,
- zwiększ o 6 wartość indeksu QP^B w makroblokach kodowanych międzyobrazowo, które nie stanowią odniesienia do kodowania makrobloków typu Intra,
- usuwaj próbki transformaty o wartości bezwzględnej równej 1 w makroblokach kodowanych międzyobrazowo, w których zmieniono wartość parametru kwantyzacji, a także modyfikuj wartości próbek transformaty o wartość nie większą niż 2 w makroblokach kodowanych wewnątrzobrazowo.

2. W obrazach typu P, rozpoczynając od ostatniego w strukturze GOP, kolejno w kierunku jej początku:

- usuwaj próbki transformaty o wartości bezwzględnej równej 1 w makroblokach kodowanych międzyobrazowo jak i wewnątrzobrazowo,
- zwiększ o 6 wartość indeksu QP^P w makroblokach kodowanych międzyobrazowo, które nie stanowią odniesienia do kodowania makrobloków typu Intra,
- usuwaj próbki transformaty o wartości bezwzględnej równej 1 w makroblokach kodowanych międzyobrazowo, w których zmieniono wartość parametru kwantyzacji, a także modyfikuj wartości próbek transformaty o wartość nie większą niż 2 w makroblokach kodowanych wewnątrzobrazowo.

3. Modyfikuj próbki transformaty w obrazach typu I o wartość nie większą niż 2.

Podobnie jak dla algorytmu opisanego w punkcie 5.2.2, stosowanie się do powyższych procedur nie gwarantuje osiągnięcia optymalnych rezultatów w każdym przypadku, ze względu na różne właściwości skompresowanych strumieni wizyjnych. Pozwala jednakże w usystematyzowany sposób, w znaczącej większości przebadanych przypadków uzyskać najmniejsze straty transkodowania.

5.3. Transkodowanie strumieni z obrazami typu P i B bez kodowania wewnątrzobrazowego

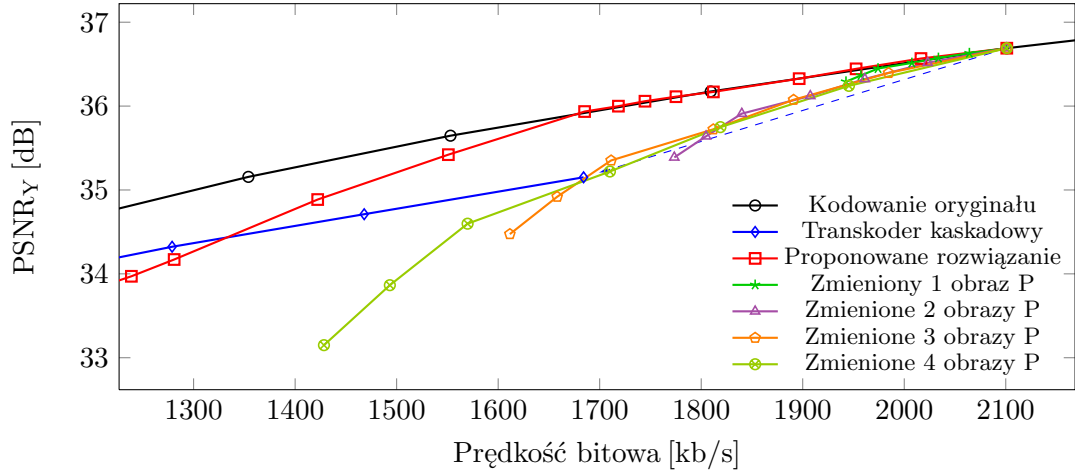
5.3.1. Badanie właściwości zaproponowanej metody redukcji strumienia bitowego

Zaprezentowane w rozdziale 4 techniki redukcji prędkości transmisji mogą być łącznie wykorzystane na wiele sposobów. W punkcie 5.2.2 zaproponowana została procedura systematyzująca ich użycie.

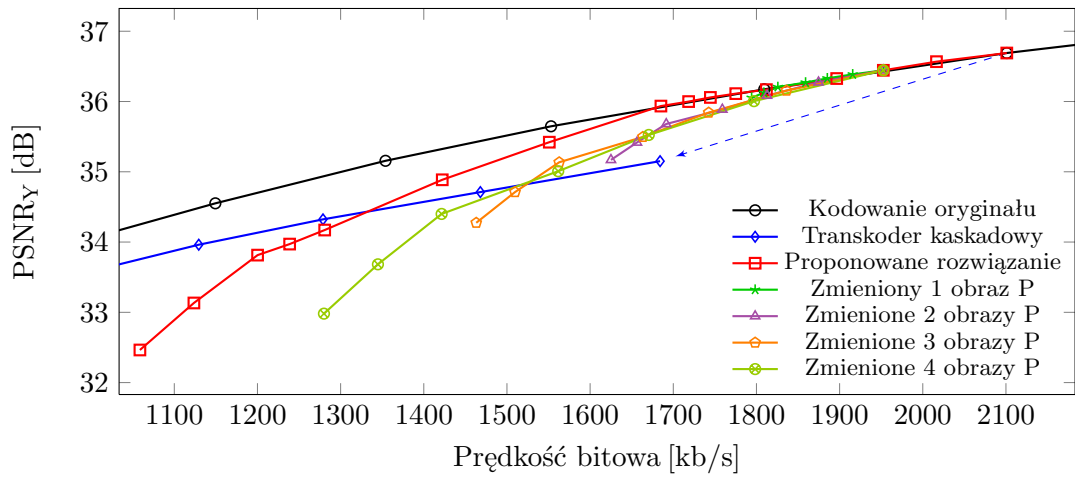
Aby ocenić efektywność proponowanego algorytmu transkodowania porównajmy otrzymaną w wyniku jego zastosowania krzywą „prędkość bitowa-jakość” z wynikami badań przedstawionych w punkcie 4.5.4. Takie porównanie przedstawione zostało na rysunku 5.2, a także na rysunkach zamieszczonych w dodatku D.1. Dla porównania dodane zostały krzywe „prędkość bitowa-jakość” dla transkodowania kaskadowego. W pracy zamieszczona została tylko część wyników przeprowadzonych doświadczeń. Są one jednak reprezentatywne dla całości badań i pozwalają na ocenę zaproponowanego algorytmu transkodowania.

Analizując rysunek 5.2 oraz rysunki przedstawione w dodatku D.1 stwierdzić należy, że nie w każdym przypadku stosowanie zaproponowanego algorytmu transkodowania gwarantuje uzyskanie najwyższej jakości transkodowanej sekwencji. Wynika to ze zróżnicowanych właściwości sekwencji wizyjnych. Uzyskanie optymalnych rezultatów w każdym przypadku, wymagałoby zastosowania adaptacyjnego algorytmu transkodowania. Stworzenie takiego algorytmu wykracza poza obszar tej pracy i może być celem dalszych badań.

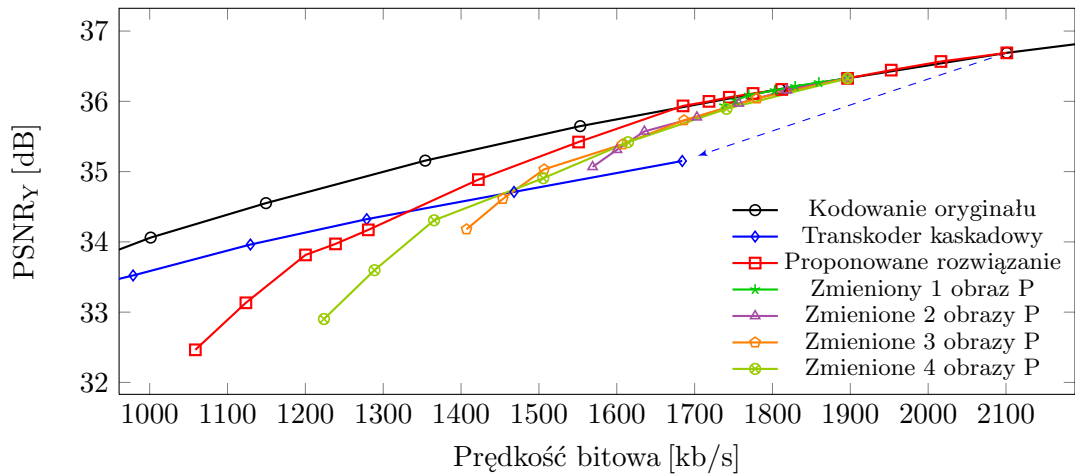
Na podstawie przeprowadzonych doświadczeń stwierdzić można, że w prawie 93 % przebadanych przypadków, z których fragment stanowią wyniki przedstawione na rysunku 5.2 i na rysunkach zamieszczonych w dodatku D.1, jakość sekwencji transkodowanej z wykorzystaniem zaproponowanego algorytmu była nie niższa niż jakość uzyskana w wyniku odmiennej modyfikacji próbek transformaty. W pozostałych przypadkach strata jakości nie przekroczyła wartości 0,2 dB.



(a) Obrazy B niezmodyfikowane

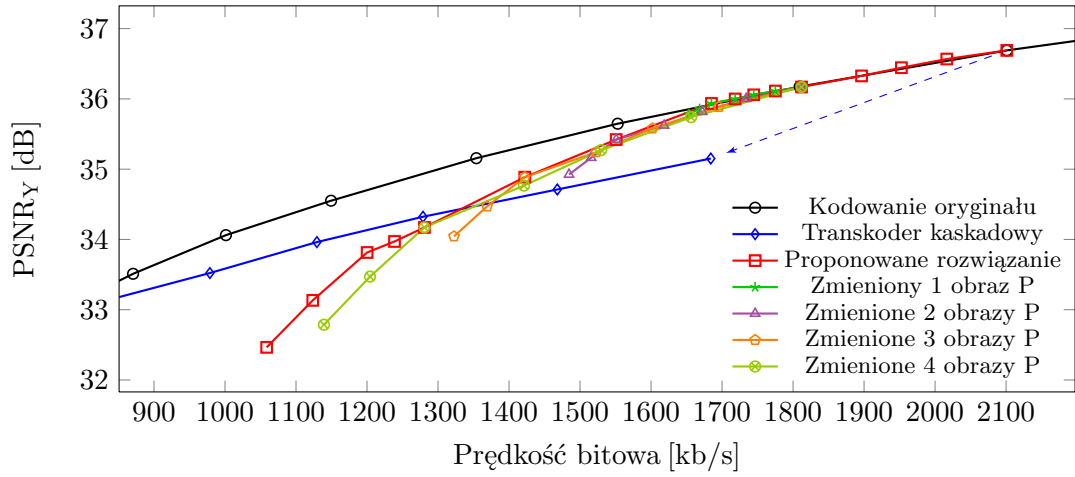


(b) W obrazach B usuniętych 50 % próbek transformaty o amplitudzie równej 1

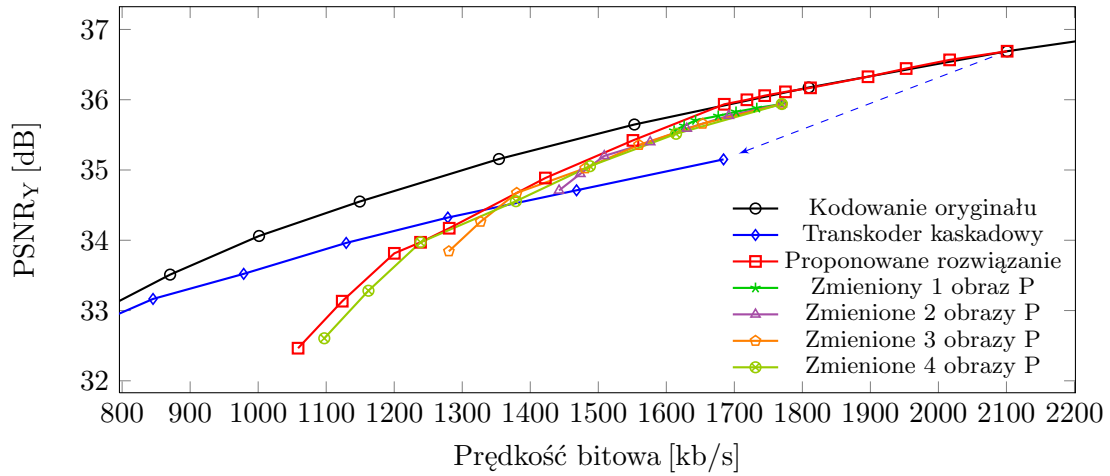


(c) W obrazach B usuniętych 75 % próbek transformaty o amplitudzie równej 1

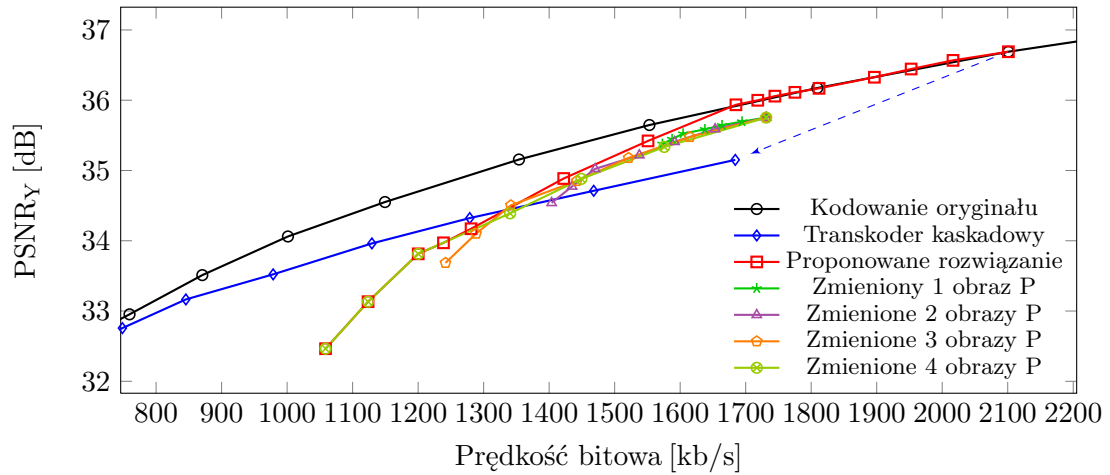
Rysunek 5.2: Strata jakości spowodowana równomierną eliminacją próbek transformaty w obrazach typu P (sekwencja CREW, struktura GOP: 4P2B, $QP^I = QP^P = QP^B - 2$, $QP^K = 28$, włączony filtr deblokujący, brak makrobloków Intra w obrazach P i B)



(d) Wartość indeksu QP w obrazach B zwiększona o 6



(e) Wartość indeksu QP w obrazach B zwiększona o 6 i usuniętych 50 % próbek transformaty o amplitudzie równej 1



(f) Wartość indeksu QP w obrazach B zwiększona o 6 i usunięte wszystkie próbki transformaty o amplitudzie równej 1

Rysunek 5.2: (Kontynuacja) Strata jakości spowodowana równomierną eliminacją próbek transformaty w obrazach typu P (sekwencja CREW, struktura GOP:4P2B, $QP^I = QP^P = QP^B - 2$, $QP_K = 28$, włączony filtr deblokujący, brak makrobloków Intra w obrazach P i B)

5.3.2. Efektywność zaproponowanego rozwiązania

Teza niniejszej pracy głosi, że możliwe jest stworzenie transkodera sekwencji wizyjnych wykorzystującego zaawansowane techniki kompresji, który zapewni wyższą jakość transkodowanej sekwencji niż transkoder kaskadowy. W punkcie 5.2.2 zaprezentowany został oryginalny algorytm takiego transkodera. Porównajmy więc straty jakości sekwencji powstałe na skutek użycia obu rozwiązań. Przykładowe porównania znaleźć można na rysunkach 5.3 i 5.4, a także w dodatku D.2.

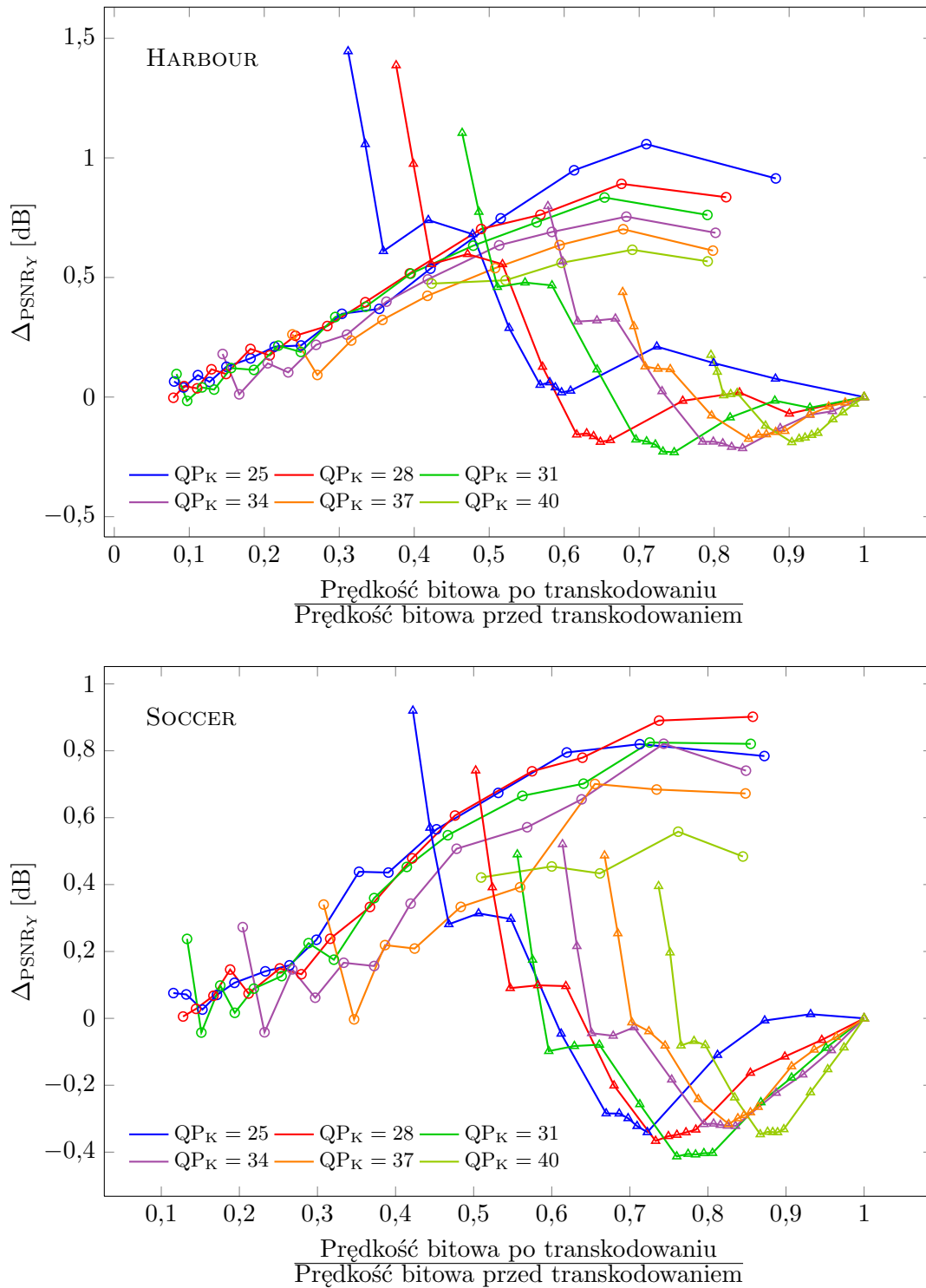
Analiza przedstawionych wyników pozwala na stwierdzenie, że dla redukcji prędkości bitowej nieprzekraczającej w większości przypadków 40–50 %, proponowana technika transkodowania zapewnia mniejsze straty jakości obrazu niż transkodowanie kaskadowe. Różnica jakości obrazu przy tej samej prędkości bitowej może sięgać nawet 1,2 dB*.

Rozważając rysunki 5.3 i 5.4 oraz rysunki zamieszczone w dodatku D.2 można zauważyć, że w pewnym zakresie redukcji prędkości bitowej, zależnym od wartości prędkości początkowej, dzięki wykorzystaniu proponowanego algorytmu transkodowania, możliwe jest osiągnięcie efektywności kompresji zbliżonej do kodowania oryginalnej sekwencji wizyjnej. Ma to miejsce, gdy modyfikowane są obrazy typu B oraz jeden do dwóch obrazów typu P, kończących strukturę GOP. Modyfikacja większej liczby obrazów typu P powoduje bardzo szybki wzrost strat transkodowania, ze względu na zwiększanie się błędu dryftu. W większości przypadków zmiana wszystkich obrazów typu P powoduje większe straty transkodowania niż transkodowanie kaskadowe.

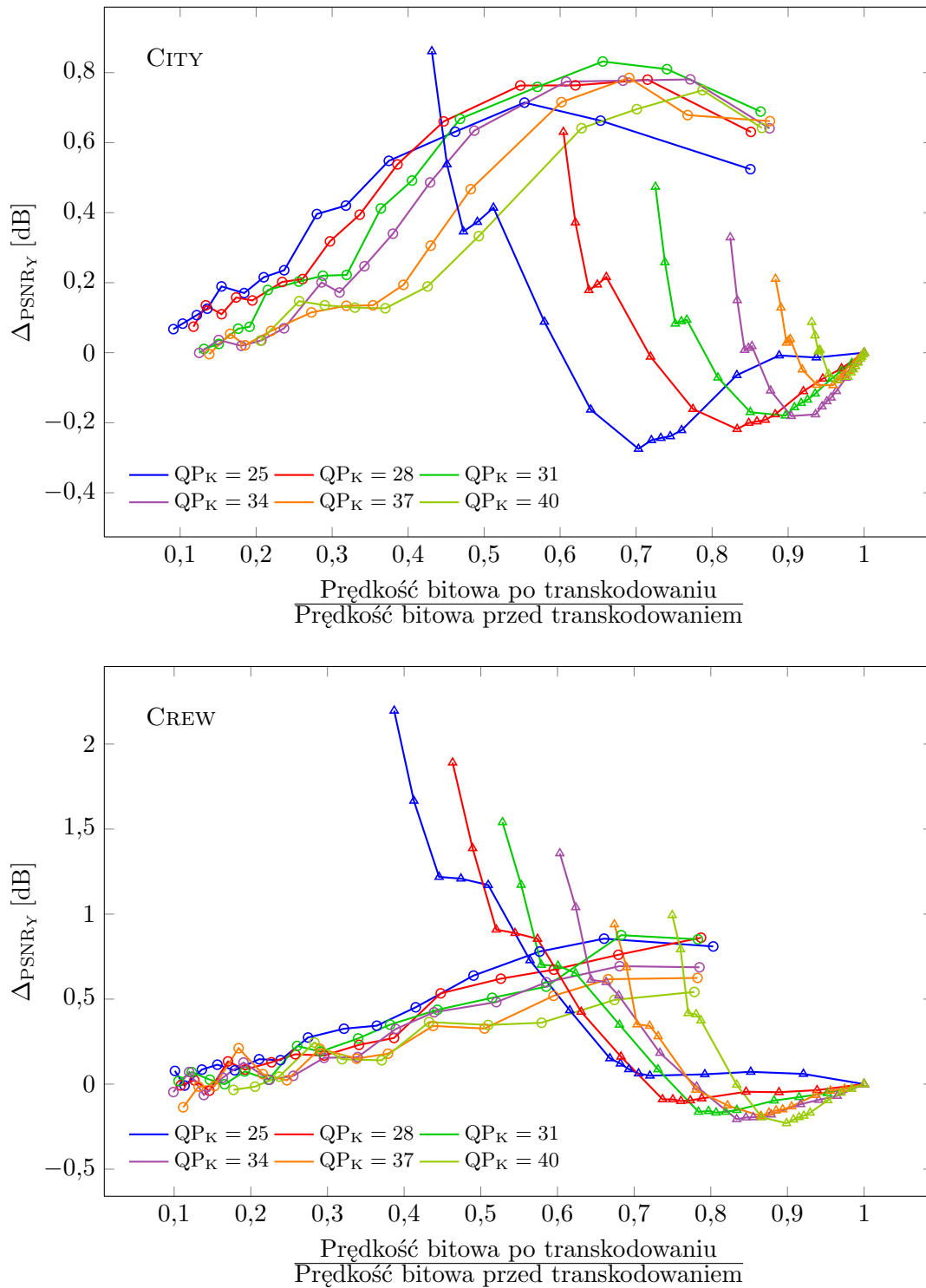
Analiza rysunków 5.3 i 5.4 pozwala dostrzec ciekawą właściwość proponowanego algorytmu transkodowania. W pewnych przypadkach jakość dekodowanego obrazu okazuje się wyższa niż interpolowana[†] jakość sekwencji powstałej w wyniku jednokrotnego kodowania oryginalnego materiału wizyjnego. Fakt ten można wytłumaczyć w ten sposób, że na wykresach prezentowane są wyniki jakości uśrednione dla całej sekwencji. Na otrzymane wartości wpływ ma alokacja bitów do poszczególnych obrazów. W przypadku kodowania oryginalnej sekwencji wizyjnej, przyjęte zostały określone, stałe wartości parametrów kwantyzacji dla poszczególnych typów obrazów, wymuszające określony przydział bitów. W związku z tym,

*Sekwencja SOCCER, 25 % redukcji strumienia, GOP: 3P3B, $QP_K = 31$, $QP^I = QP^P = QP^B$, włączony filtr deblokujący.

[†]Kodując ze stałą wartością parametru kwantyzacji otrzymuje się strumienia binarne o określonych prędkościach bitowych.



Rysunek 5.3: Straty jakości dla transkodera kaskadowego (—○—) i proponowanej metody redukcji strumienia bitowego (—▲—) w odniesieniu do jakości otrzymanej w wyniku jednokrotnej kompresji sekwencji oryginalnej (struktura GOP: 3P3B, $QP^I = QP^P = QP^B$, włączony filtr deblokujący, brak makrobloków Intra w obrazach P i B)



Rysunek 5.4: Straty jakości dla transkodera kaskadowego ($\circ$) i proponowanej metody redukcji strumienia bitowego ($\triangle$) w odniesieniu do jakości otrzymanej w wyniku jednokrotnej kompresji sekwencji oryginalnej (struktura GOP: 4P2B, $QP^I = QP^P = QP^B$, włączony filtr deblokujący, brak makrobloków Intra w obrazach P i B)

w omawianych przypadkach, na skutek transkodowania poprawie ulega alokacja bitów do poszczególnych obrazów sekwencji.

Największa zmierzona różnica pomiędzy stratami transkodowania, gdy straty transkodowania kaskadowego są mniejsze niż straty transkodowania z wykorzystaniem proponowanego algorytmu, wyniosła 2,2 dB przy 61 % redukcji strumienia binarnego*.

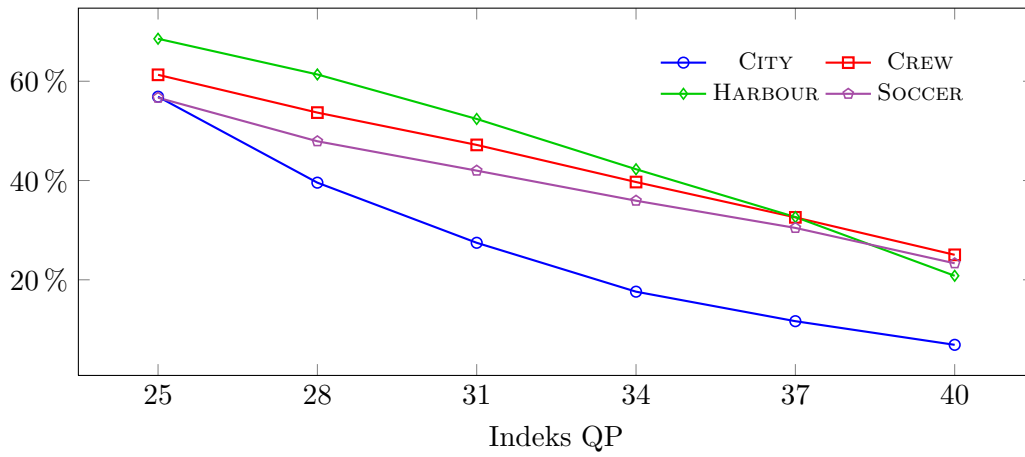
Nie jest możliwe wskazanie przy jakiej wartości prędkości bitowej nastąpi zrównanie strat jakości powstałych na skutek transkodowania z wykorzystaniem proponowanej metody i transkodowania kaskadowego. Wartość ta uzależniona jest od wielu czynników, w tym od: treści kodowanej sekwencji, wartości prędkości bitowej redukowanego strumienia binarnego, zależności pomiędzy rozmiarami poszczególnych typów obrazów, a także konstrukcji grupy obrazów.

Rozważając rysunki przedstawione w bieżącym i poprzednim punkcie stwierdzić należy, że wykorzystanie zaproponowanego algorytmu transkodowania pozwala na bardzo efektywną realizację niewielkich redukcji strumienia bitowego, tak zwaną drobnoziarnistą skalowalność strumienia wizyjnego [34]. Jest to niemożliwe do uzyskania w przypadku transkodowania kaskadowego, gdyż takie transkodowanie z niezmienną wartością parametru może powodować nawet 23 % redukcję strumienia bitowego, gdy wykorzystywany jest filtr deblokujący. Zastosowanie większej niż w strumieniu wejściowym wartości parametru kwantyzacji powoduje dużą nadmiarowość strumienia bitowego czyli znaczące zwiększenie strat transkodowania [75, 156].

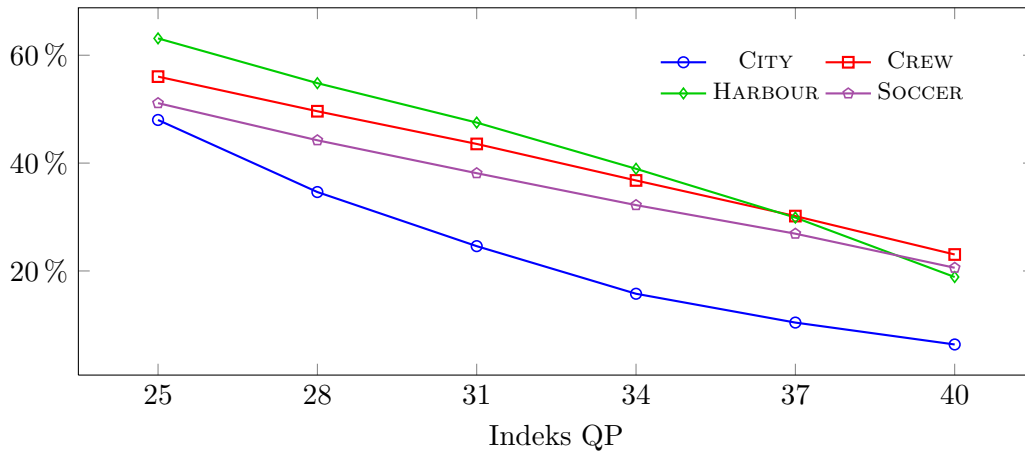
5.3.3. Zakres redukcji prędkości transmisji

W procedurze transkodowania zaproponowanej w punkcie 5.2.2 przyjęto, że nie będą usuwane wszystkie próbki transformaty. Zdecydowano tak, by nie dopuścić do zbyt dużej degradacji jakości obrazu. Decyzję podjęto na podstawie wyników badań zaprezentowanych w punkcie 4.5. Przyjrzyjmy się więc, wobec istniejącego ograniczenia, w jakim zakresie możliwa jest redukcja początkowej wartości prędkości bitowej. Poniżej zostanie zaprezentowana wyłącznie przykładowa, reprezentatywna część otrzymanych wyników badań. Formułowane wnioski będą jednak wspólne dla wyników zaprezentowanych na rysunkach w zasadniczej części pracy, oraz rezultatów eksperymentu przedstawionych w dodatku D.3.

*Sekwencja CREW, struktura GOP: 4P2B, $QP^I = QP^P = QP^B$, włączony filtr deblokujący.



(a) $QP^I = QP^P = QP^B$

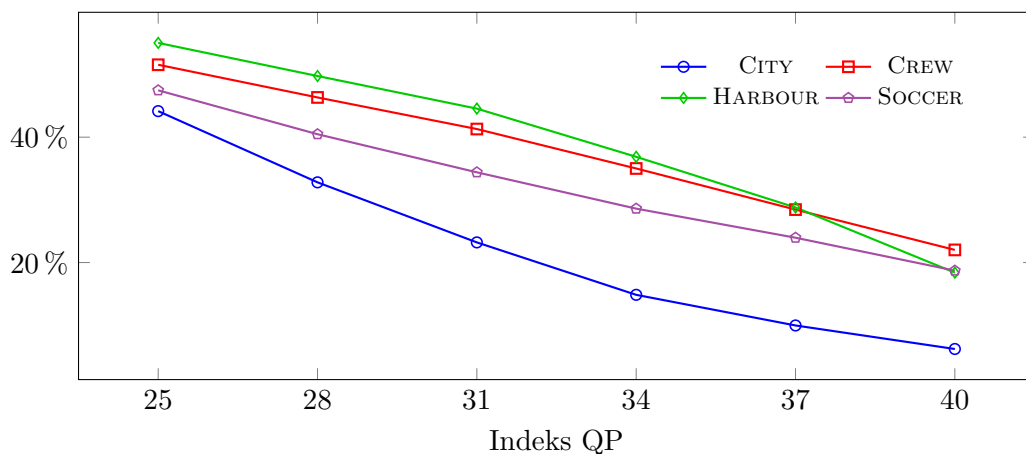


(b) $QP^I = QP^P = QP^B - 2$

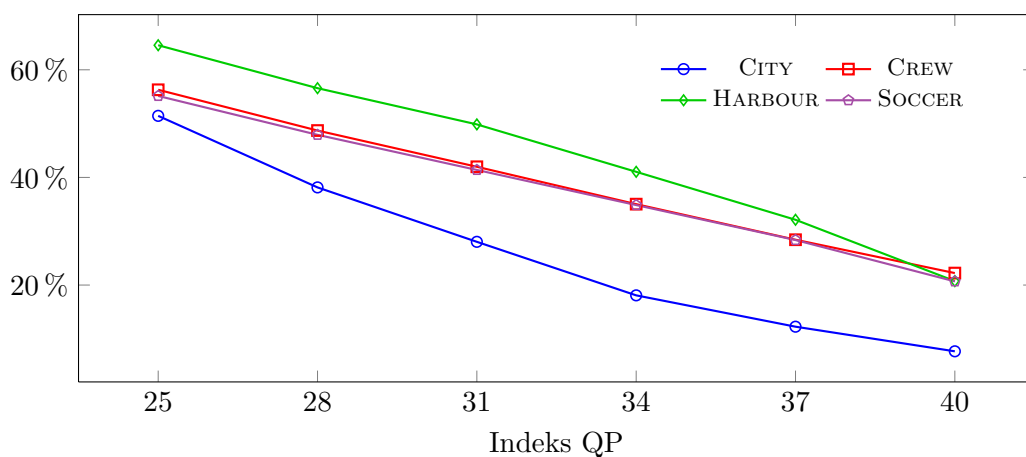
Rysunek 5.5: Zakres redukcji prędkości transmisji uzyskany dzięki zaproponowanej metodzie, gdy w obrazach typu P oraz B nie jest dozwolone użycie makrobloków typu Intra (struktura GOP: 4P2B, włączony filtr deblokujący)

Na rysunkach 5.5–5.8 przedstawiono uzyskane w eksperymentach wyniki badań zakresu redukcji prędkości transmisji uzyskanego dzięki wykorzystaniu zaproponowanego algorytmu transkodowania. Zakres redukcji prędkości bitowej monotonicznie maleje wraz ze zwiększaniem wartości indeksu QP użytego do uzyskania transkodowanych strumieni wizyjnych (QP_K). Zjawisko to ma miejsce ze względu na coraz mniejszy udział próbek transformaty w całości strumienia bitowego.

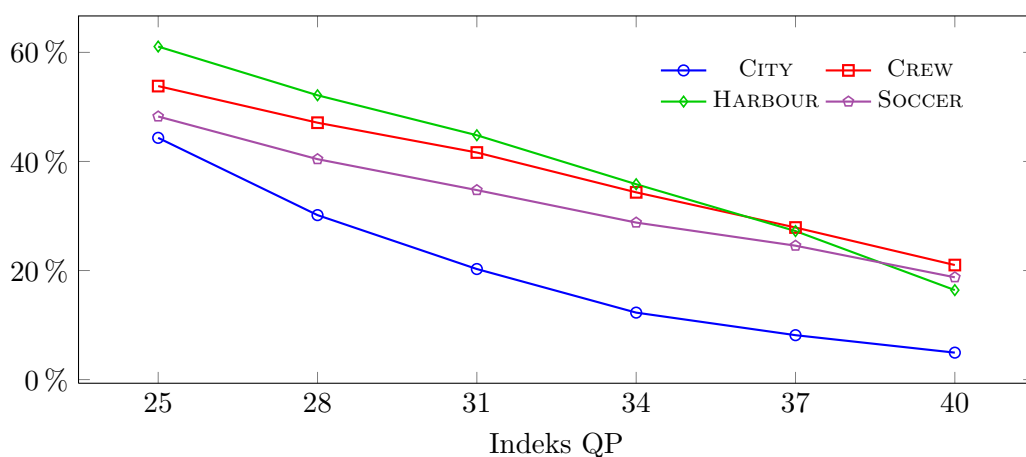
Rozważając rezultaty eksperymentu zauważyć można duże rozbieżności wyników otrzymanych dla sekwencji CITY w stosunku do pozostałych sekwencji. Przyczyną tego zjawiska jest fakt, iż znaczną część strumieni bitowych otrzymanych w wyniku kompresji tej sekwencji, stanowią obrazy typu I (patrz rysunek 4.10), które w eksperymencie nie podlegały modyfikacji. W efekcie zakres redukcji wraz ze wzrostem QP_K maleje znacznie szybciej niż



Rysunek 5.6: Zakres redukcji prędkości transmisji uzyskany dzięki zaproponowanej metodzie, gdy w obrazach typu P oraz B nie jest dozwolone użycie makrobloków typu Intra (struktura GOP: 4P2B, $QP^I = QP^P = QP^B - 6$, włączony filtr deblokujący)



Rysunek 5.7: Zakres redukcji prędkości transmisji uzyskany dzięki zaproponowanej metodzie, gdy w obrazach typu P oraz B nie jest dozwolone użycie makrobloków typu Intra (struktura GOP: 5P2B, $QP^I = QP^P = QP^B - 2$, włączony filtr deblokujący)

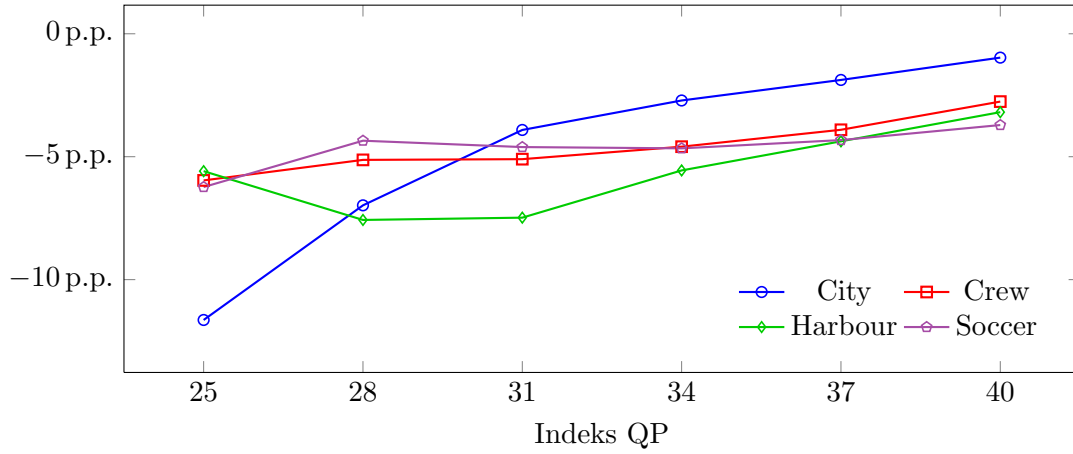


Rysunek 5.8: Zakres redukcji prędkości transmisji uzyskany dzięki zaproponowanej metodzie, gdy w obrazach typu P oraz B nie jest dozwolone użycie makrobloków typu Intra (struktura GOP: 4P2B, $QP^I + 2 = QP^P = QP^B - 2$, włączony filtr deblokujący)

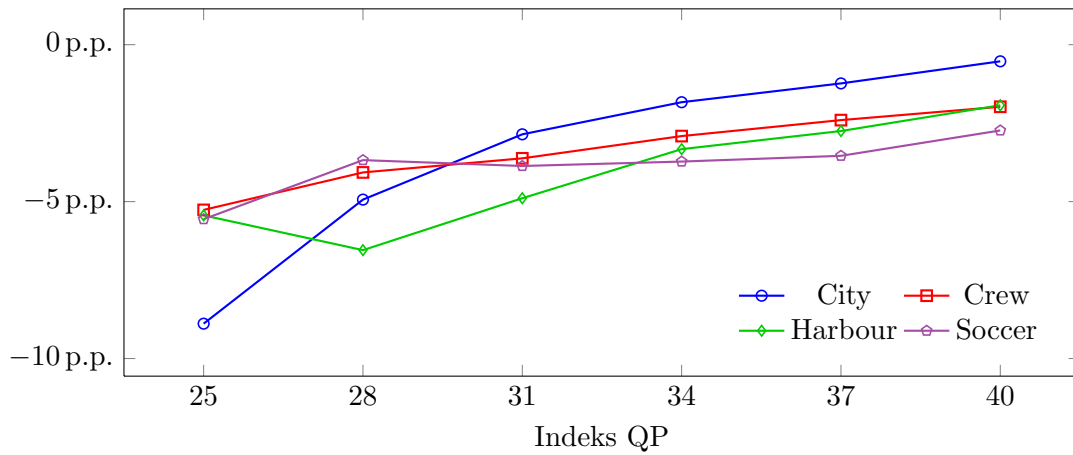
dla pozostałych sekwencji. W przebadanych przypadkach wynosił on 44–57 % dla $QP_K = 25$ i malał do poziomu 6–7 % przy $QP_K = 40$. Dla sekwencji CREW, HARBOUR i SOCCER wartości te wynosiły odpowiednio 47–69 % oraz 16–25 %.

Dobre implementacje koderów wizyjnych dokonują zazwyczaj kwantowania różnych typów obrazów z różniącymi się wartościami parametrów kwantyzacji, aby zapewnić jak najlepszą jakość sekwencji. W związku z tym, postanowiono sprawdzić, jaki wpływ ma zwiększenie o 2 wartości parametru kwantyzacji dla obrazów typu B (QP^B), w stosunku do indeksów w pozostałych typach obrazów (QP^I , QP^P) w strumieniu wizyjnym poddawanym transkodowaniu, na uzyskany zakres redukcji prędkości transmisji. Na rysunku 5.9 przedstawiono stosowne wyniki w zależności od wartości indeksu QP_K . Ponownie sekwencja CITY wykazuje odmienne właściwości w stosunku do reszty materiałów wizyjnych. W przebadanych przypadkach, różnica zakresu redukcji prędkości transmisji wynosi 8,8–11,6 punktu procentowego dla $QP_K = 25$ i 0,4–0,9 dla $QP_K = 40$, podczas gdy dla pozostałych sekwencji te wartości wynoszą odpowiednio 5,2–6,2 i 1,6–3,7 p.p.

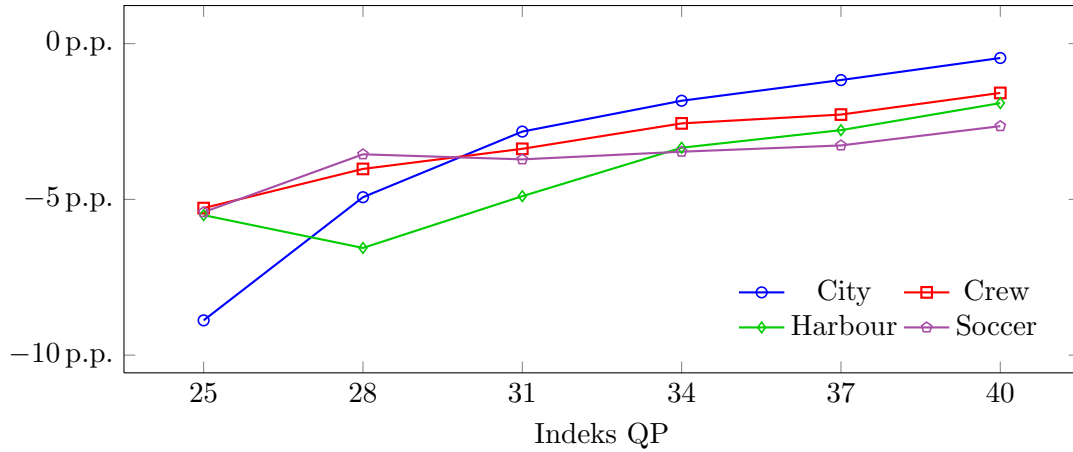
Choć zaproponowana technika, w przypadku niewielkich redukcji skompresowanych strumieni wizyjnych, wprowadza mniejsze zniekształcenia obrazu na skutek transkodowania niż transkoder kaskadowy, to w pewnych przypadkach ta relacja ulega odwróceniu. Na rysunkach 5.10–5.12 znajdują się przykładowe ilustracje w jakim stopniu ulega zmniejszeniu zakres redukcji strumienia bitowego dla proponowanej procedury transkodowania, jeśli przyjmiemy założenie, że straty jakości nie mogą być większe niż w przypadku transkodera kaskadowego. Wyniki uzależnione są od treści materiału wizyjnego i wszystkich parametrów kodowania. Cechą wspólną jest jednak fakt, że największe różnice w otrzymanym zakresie redukcji prędkości transmisji występują przy najmniejszej wartości parametru QP_K , po czym szybko, monotonicznie maleją wraz z jego wzrostem.



(a) Struktura GOP: 3P3B, włączony filtr deblokujący

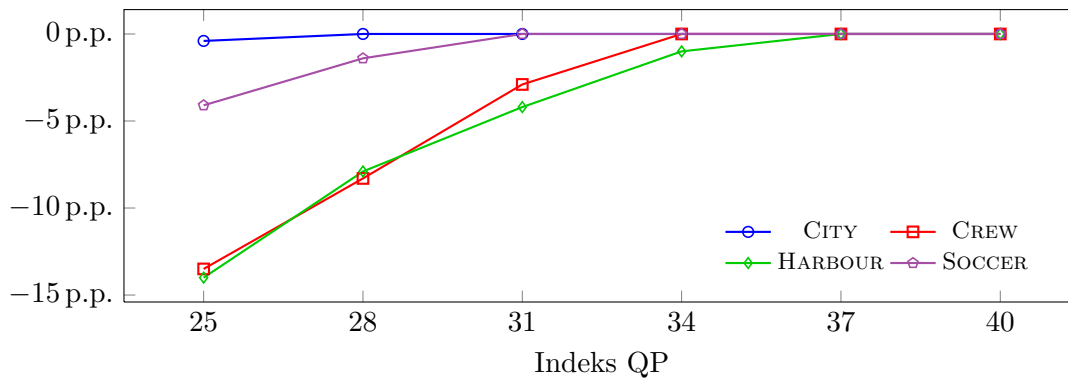


(b) Struktura GOP: 4P2B, włączony filtr deblokujący

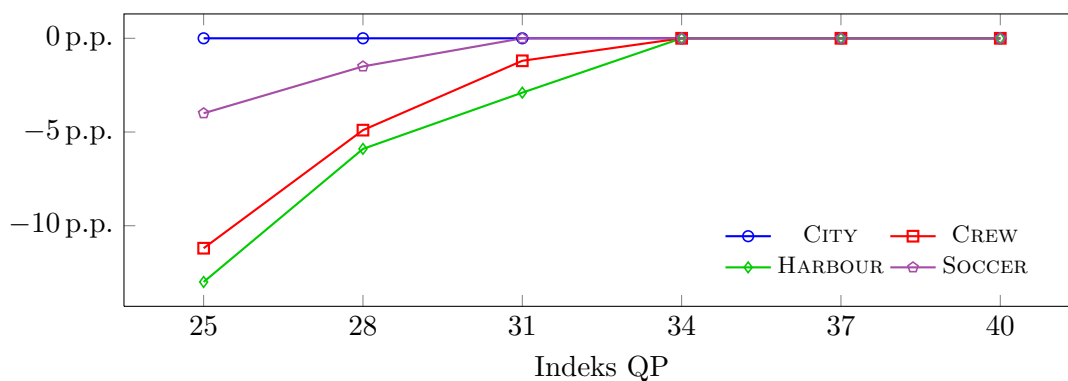


(c) Struktura GOP: 4P2B, wyłączony filtr deblokujący

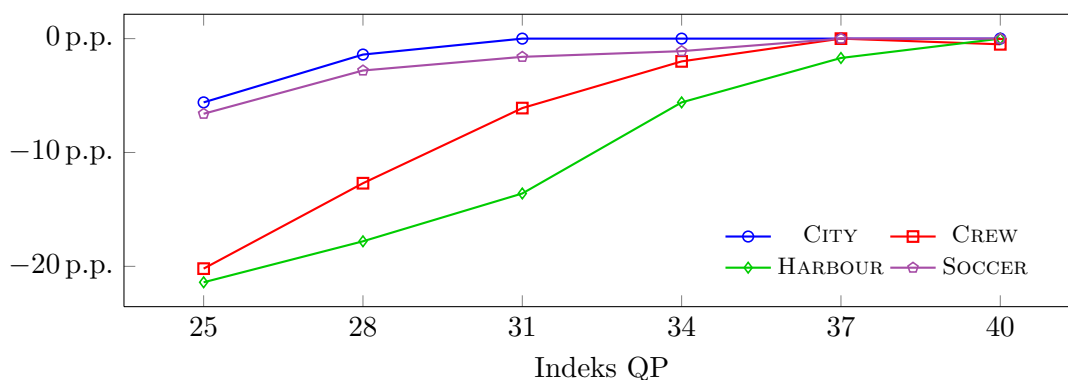
Rysunek 5.9: Zmniejszenie zakresu redukcji prędkości transmisji, spowodowane zwiększeniem o 2 wartości parametru kwantyzacji w obrazach typu B (QP^B) w stosunku do obrazów P i I. Wartości wyrażone w punktach procentowych. Brak makrobloków Intra w obrazach P i B



Rysunek 5.10: Zmniejszenie zakresu redukcji prędkości transmisji proponowanej metody transkodowania, przy przyjęciu założenia wprowadzania strat jakości nie większych niż transkoder kaskadowy. Wartości wyrażone w punktach procentowych (struktura GOP: 3P3B, $QP^I = QP^P = QP^B - 2$, włączony filtr deblokujący, brak makrobloków Intra w obrazach P i B)



Rysunek 5.11: Zmniejszenie zakresu redukcji prędkości transmisji proponowanej metody transkodowania, przy przyjęciu założenia wprowadzania strat jakości nie większych niż transkoder kaskadowy. Wartości wyrażone w punktach procentowych (struktura GOP: 3P3B, $QP^I = QP^P = QP^B - 2$, wyłączony filtr deblokujący, brak makrobloków Intra w obrazach P i B)



Rysunek 5.12: Zmniejszenie zakresu redukcji prędkości transmisji proponowanej metody transkodowania, przy przyjęciu założenia wprowadzania strat jakości nie większych niż transkoder kaskadowy. Wartości wyrażone w punktach procentowych (struktura GOP: 5P2B, $QP^I = QP^P = QP^B - 2$, włączony filtr deblokujący, brak makrobloków Intra w obrazach P i B)

5.4. Transkodowanie strumieni z makroblokami typu Intra w obrazach typu P i B

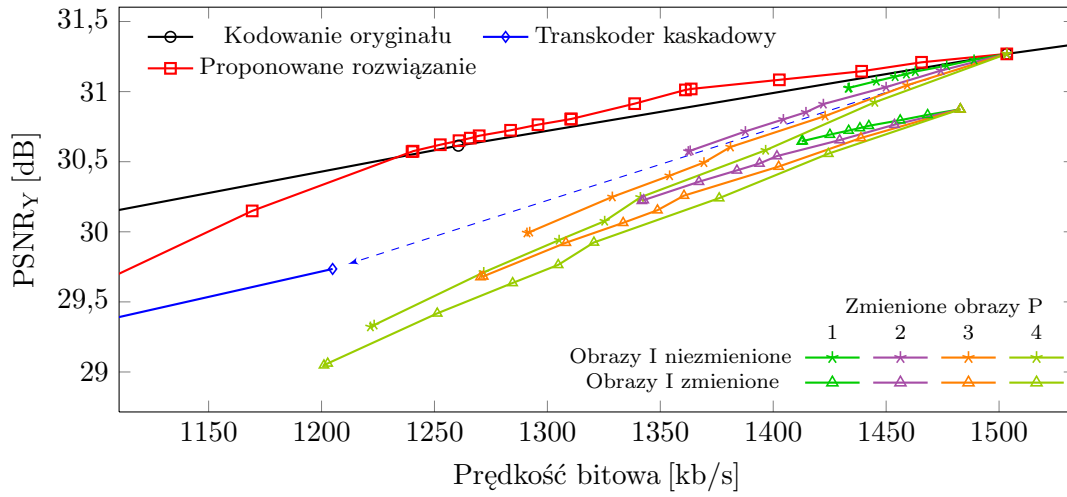
5.4.1. Badanie właściwości zaproponowanej metody redukcji strumienia bitowego

W punkcie 5.2.3 zaproponowany został algorytm redukcji prędkości transmisji strumieni wizyjnych, zakodowanych z wykorzystaniem makrobloków typu Intra w obrazach P i B. Łączy on techniki redukcji prędkości transmisji zaprezentowane w rozdziale 4, w celu zapewnienia możliwie najmniejszych strat jakości wynikających z transkodowania strumienia bitowego. Spróbujmy ocenić, czy techniki prezentowane w rozdziale 4 wykorzystywane są w sposób najbardziej efektywny.

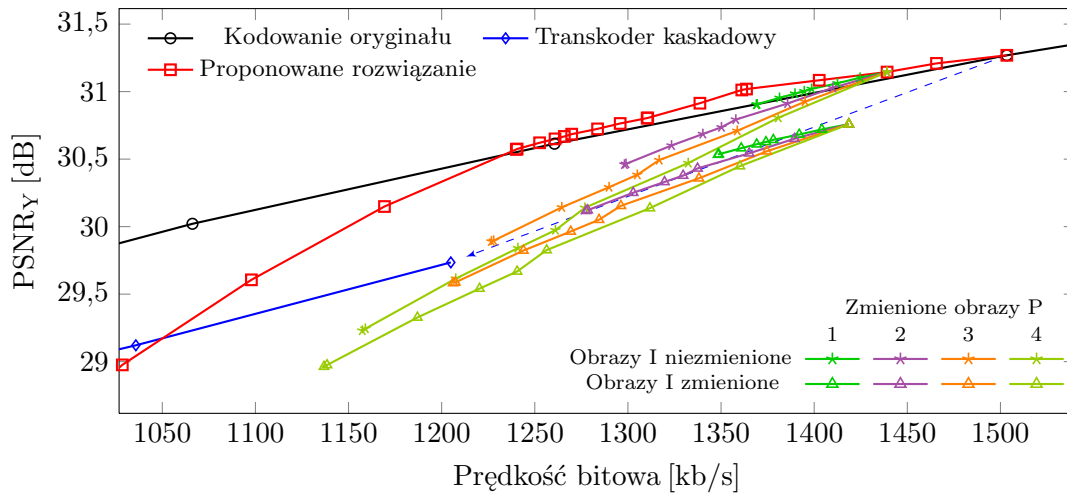
Do oceny zaproponowanego w punkcie 5.2.3 algorytmu transkodowania wykorzystane zostaną wyniki badań przedstawione w punkcie 4.5.5. Na rysunku 5.13, a także w dodatku D.4 zostały one porównane z krzywą „prędkość bitowa-jakość” uzyskaną w wyniku wykorzystania zaproponowanego algorytmu transkodowania.

Z powodu obszerności otrzymanych wyników badań, w tej pracy została przedstawiona ich część. Zaprezentowane rezultaty badań są reprezentatywne dla całości wyników eksperymentu i pozwalają na potwierdzenie sformułowanych poniżej wniosków.

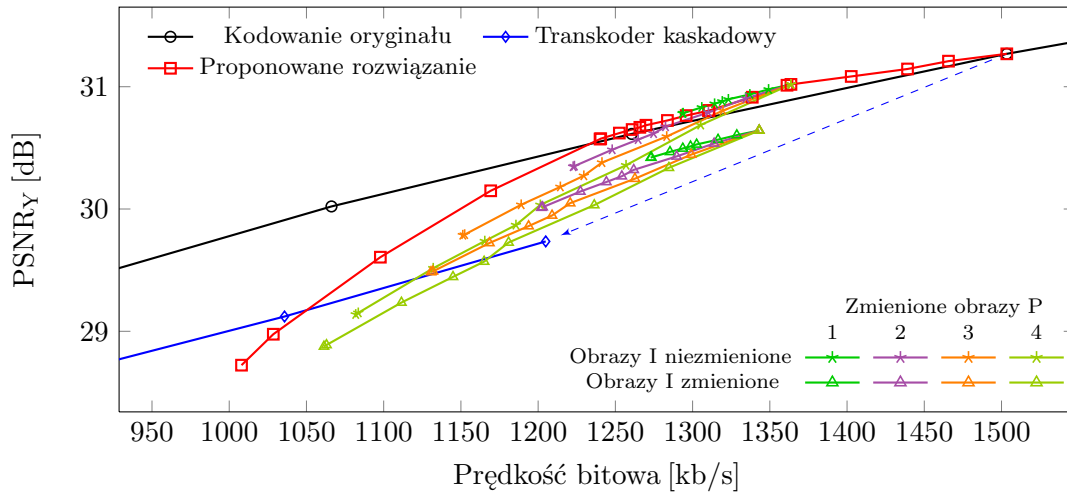
Analiza wyników badań potwierdza bardzo dobre właściwości zaproponowanego algorytmu transkodowania. W ponad 95 % przebadanych przypadków, z których część stanowią wyniki przedstawione na rysunku 5.13 i w dodatku D.4, zastosowanie zaproponowanej procedury modyfikacji próbek transformaty pozwala na uzyskanie jakości zdekodowanego obrazu nie niższej niż w przypadku odmiennej modyfikacji. Zwiększenie tej wartości wymagałoby zastosowania algorytmu adaptacyjnego. Problem stworzenia takiego algorytmu wykracza poza obszar tej pracy i może być celem dalszych badań. Stwierdzić należy jednakże, że w przeprowadzonych eksperymentach strata jakości obrazu uzyskanego w wyniku wykorzystania proponowanej metody, do najwyższej jakości uzyskanej w wyniku odmiennej modyfikacji próbek transformaty, nie przekroczyła wartości 0,1 dB.



(a) Obrazy B niezmodyfikowane

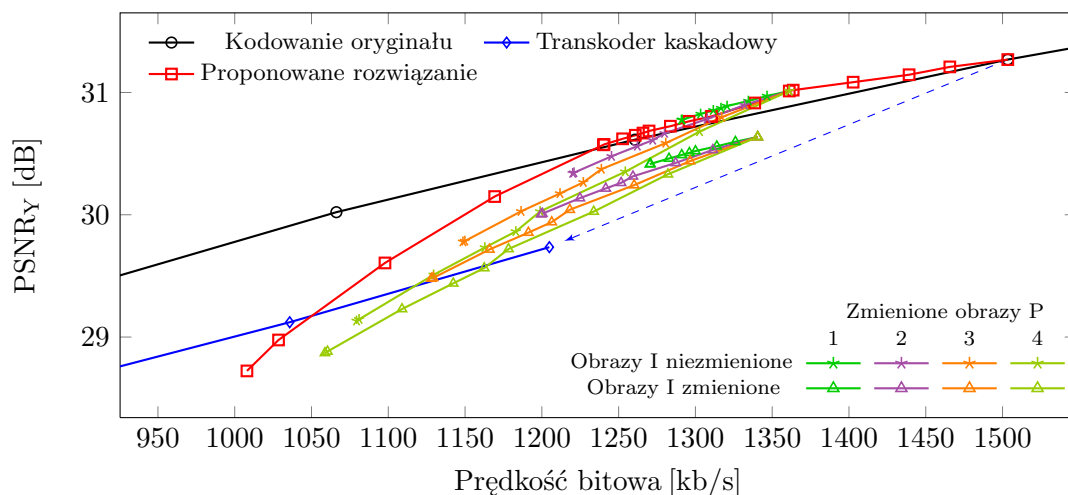


(b) W obrazach B usuniętych 50 % próbek transformaty o amplitudzie równej 1

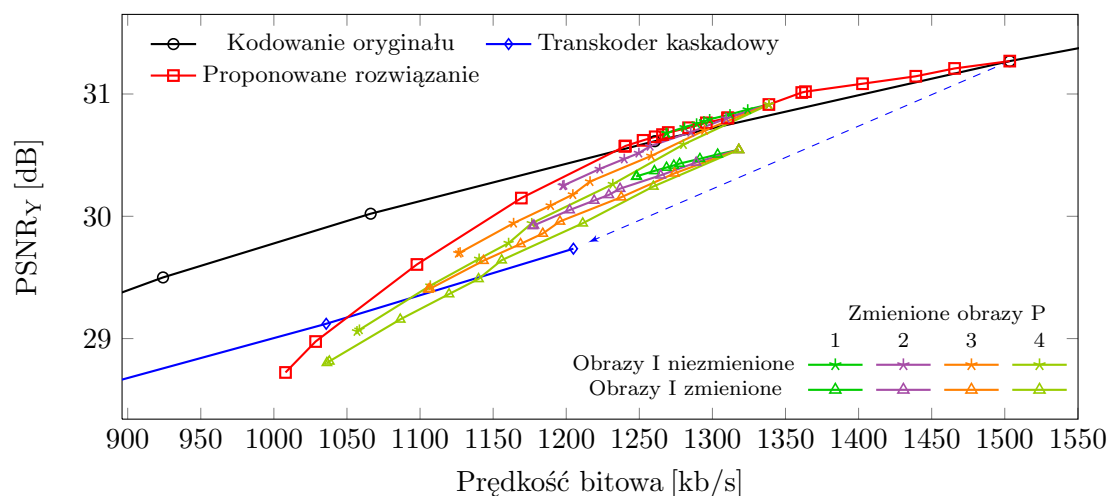


(c) W obrazach B wartość indeksu QP zwiększona o 6

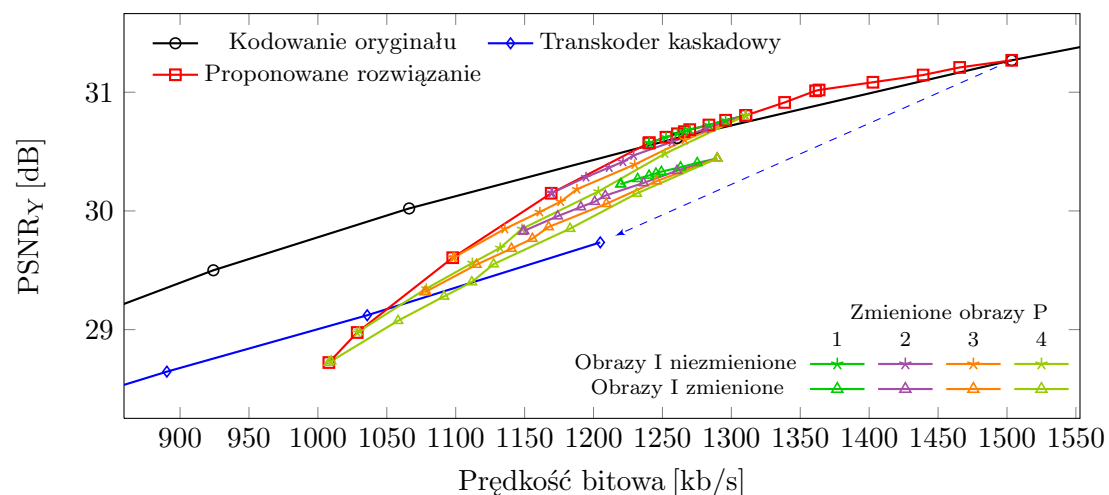
Rysunek 5.13: Strata jakości spowodowana modyfikacją próbek transformaty w obrazach typu P i I (sekwencja HARBOUR, GOP: 4P2B, $QP_K = 25$, $QP^I = QP^P = QP^B$, włączony filtr deblokujący, dozwolone makrobloki Intra w obrazach P i B)



(d) W obrazach B: wartość indeksu QP zwiększona o 6, zmodyfikowane makrobloki typu Intra



(e) W obrazach B: wartość indeksu QP zwiększona o 6, usuniętych 50 % próbek transformaty o amplitudzie równej 1, zmodyfikowane makrobloki typu Intra



(f) W obrazach B: wartość indeksu QP zwiększona o 6, usunięte wszystkie próbki transformaty o amplitudzie równej 1, zmodyfikowane makrobloki typu Intra

Rysunek 5.13: (Kontynuacja) Strata jakości spowodowana modyfikacją próbek transformaty w obrazach typu P i I (sekwencja HARBOUR, GOP: 4P2B, $QP_K = 25$, $QP^I = QP^P = QP^B$, włączony filtr deblokujący, dozwolone makrobloki Intra w obrazach P i B)

5.4.2. Efektywność zaproponowanego rozwiązania

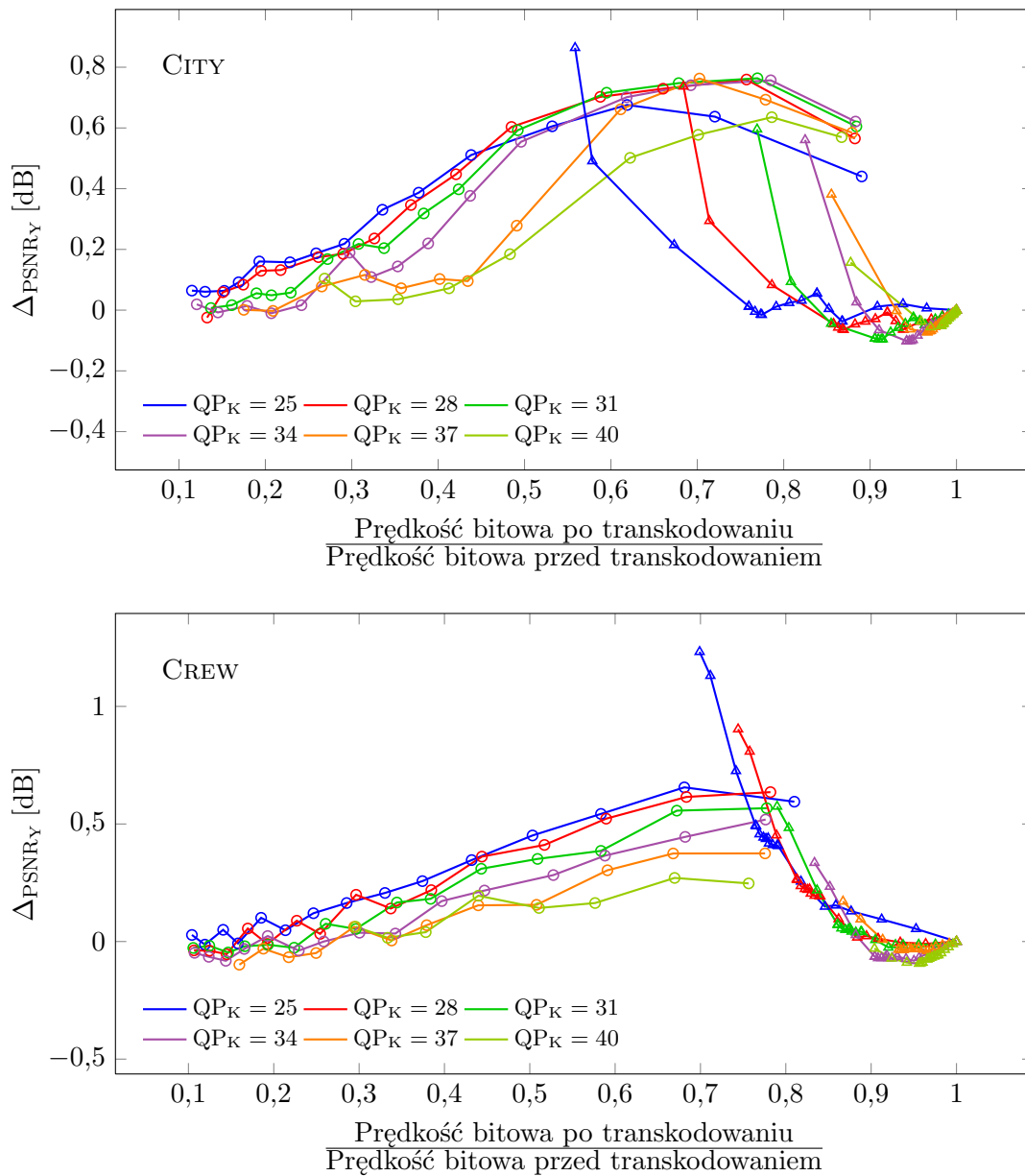
Zaproponowana technika redukcji skompresowanych strumieni wizyjnych uzyskanych z wykorzystaniem makrobloków typu Intra w obrazach P i B wykazuje podobne właściwości do zaproponowanej metody transkodowania strumieni, gdzie tego typu makrobloki nie występują w obrazach kodowanych międzyobrazowo. Na rysunkach 5.15 i 5.14 przedstawione zostały przykładowe wyniki porównania strat jakości powstających na skutek transkodowania kaskadowego i transkodowania z wykorzystaniem algorytmu zaprezentowanego w punkcie 5.2.3. Więcej rysunków znaleźć można w dodatku D.5. Przedstawione na tych rysunkach wyniki badań potwierdzają, że dla niewielkich redukcji prędkości bitowej, proponowana technika wykazuje lepsze właściwości niż transkodowanie kaskadowe. Największe zaobserwowane różnice pomiędzy jakością uzyskanego obrazu przy tej samej wartości prędkości bitowej wyniosły prawie 1 dB*. Należy zauważyć, że po przekroczeniu pewnej wartości redukcji strumienia wejściowego, zależnej od treści sekwencji, zastosowanej grupy obrazów i początkowej prędkości bitowej, następuje bardzo szybka utrata efektywności kompresji w przypadku wykorzystania proponowanego schematu transkodowania. W niektórych przypadkach następuje wtedy przekroczenie wartości strat jakości na skutek wykorzystania transkodera kaskadowego. Największe otrzymane w eksperymentach przekroczenie wartości strat jakości transkodowania kaskadowego wyniosło 1,5 dB†.

Podobnie jak w przypadku przedstawionym w punkcie 5.3.2, badania wykazały możliwość osiągnięcia zbliżonej, a nawet wyższej jakości sekwencji po transkodowaniu, niż sekwencji uzyskanej w wyniku jednokrotnego kodowania oryginalnego materiału wizyjnego. Ponownie jest to spowodowane nieoptymalną alokacją bitów do poszczególnych typów obrazów, gdy kodowanie następowało ze stałą wartością parametru kwantyzacji.

W eksperymentach zaobserwowano przypadki, kiedy wykorzystanie proponowanej metody transkodowania pozwalało na redukcję strumienia binarnego w mniejszym stopniu, niż transkodowanie kaskadowe bez zmiany wartości parametru kwantyzacji. Zjawisko to jest charakterystyczne dla sekwencji CREW i jest ono spowodowane dwoma przyczynami. Po pierwsze sekwencja ta cechuje się bardzo dużą zmiennością treści w czasie, na skutek pojawiających się błysków fleszy. W związku z tym, nieefektywne stają się algorytmy

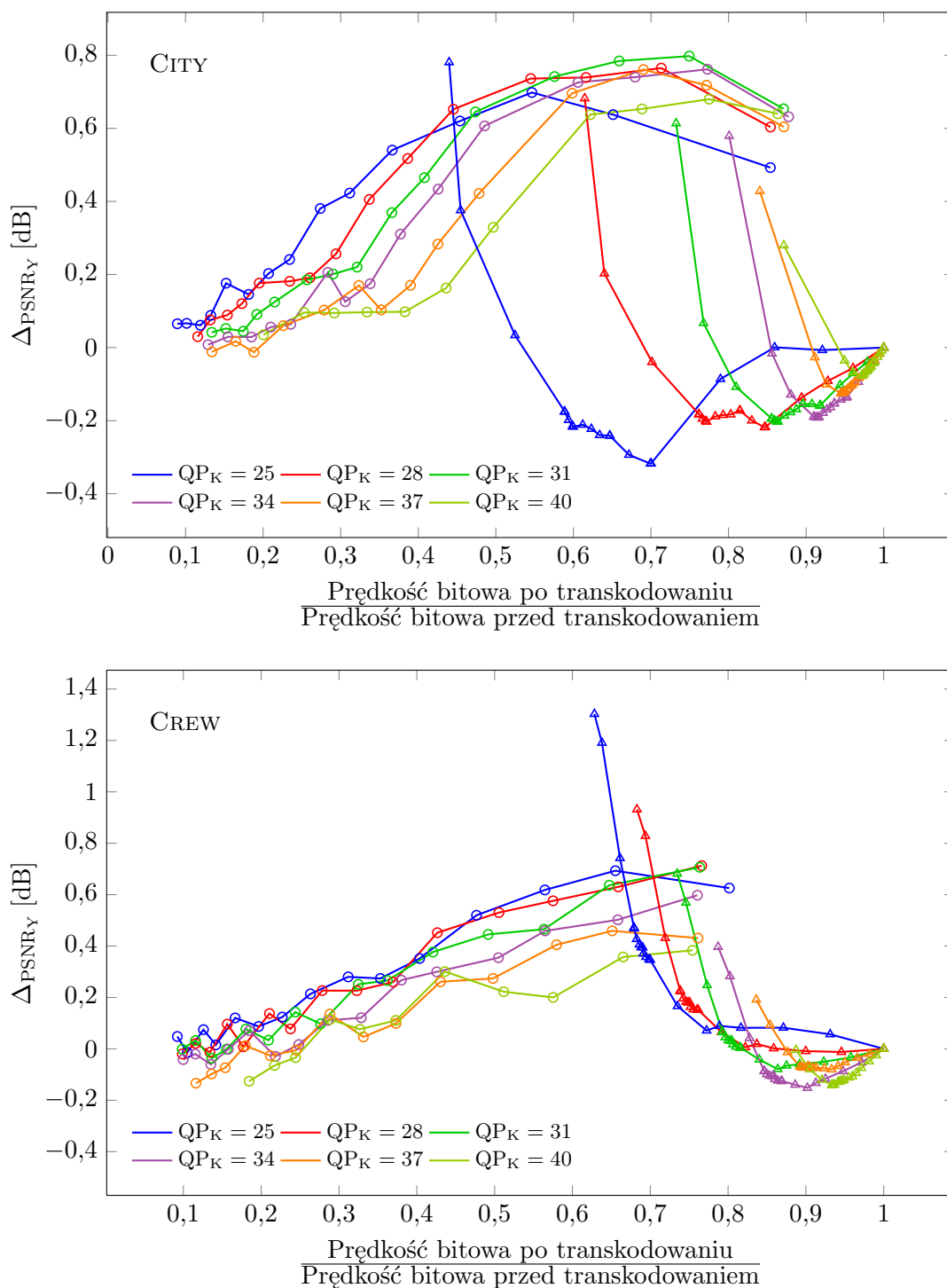
*Sekwencje CITY i SOCCER przy odpowiednio 30 % i 22 % redukcji prędkości bitowej, struktura GOP: 3P3B, $QP_K = 25$, $QP^I = QP^P = QP^B$, włączony filtr deblokujący, dozwolone makrobloki Intra w obrazach P i B.

†Sekwencja HARBOUR, GOP: 4P2B, $QP^I = QP^P = QP^B - 2$, włączony filtr deblokujący.

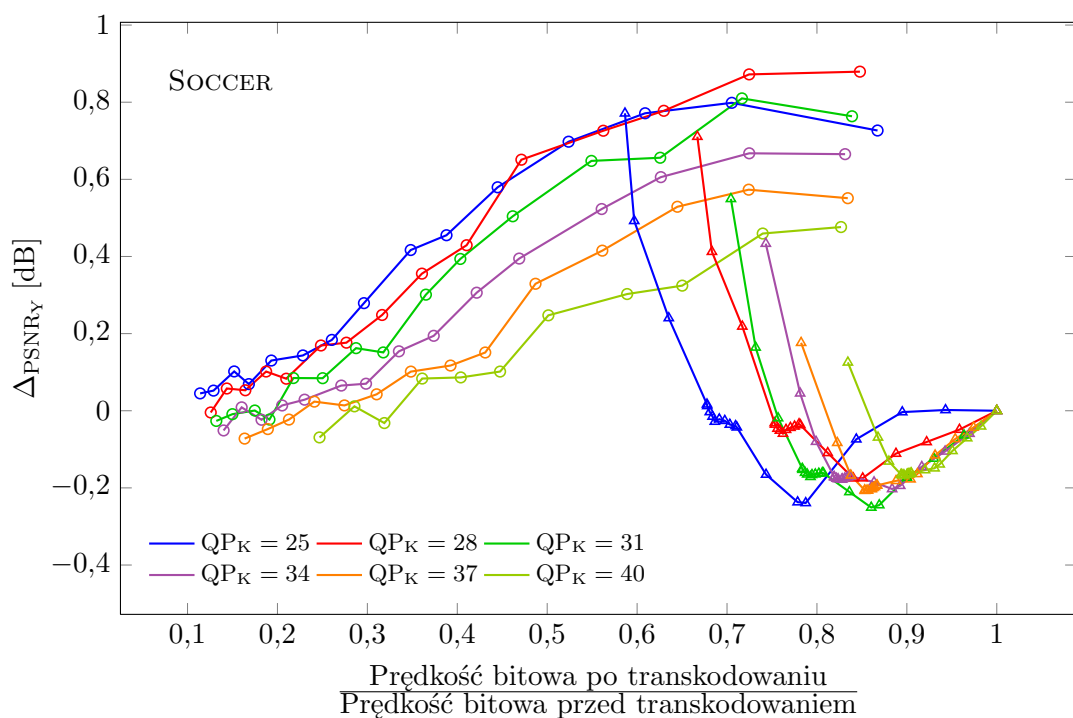
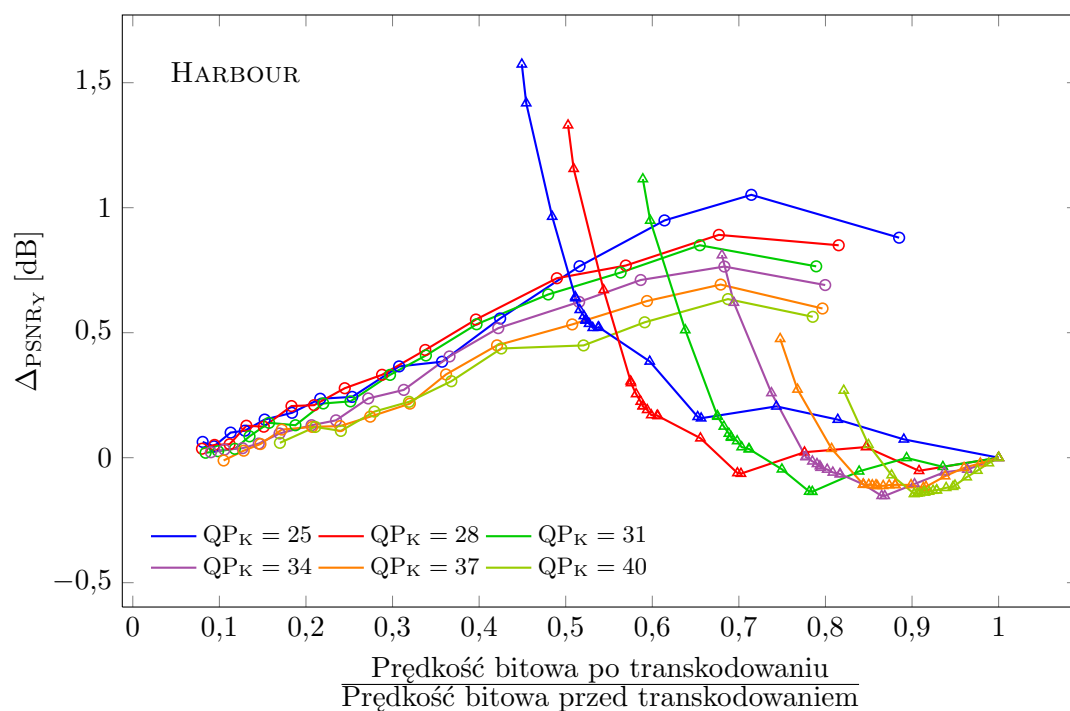


Rysunek 5.14: Straty jakości dla transkodera kaskadowego ($\circ$) i proponowanej metody redukcji strumienia bitowego ($\triangle$) w odniesieniu do jakości otrzymanej w wyniku jednokrotnej kompresji sekwencji oryginalnej (struktura GOP: 3P3B, $QP^I = QP^P = QP^B - 2$, włączony filtr deblokujący, dozwolone makrobloki Intra w obrazach P i B)

kompensacji ruchu i wiele makrobloków kodowanych jest wewnątrzobrazowo. Efektem jest niewielki zakres redukcji prędkości transmisji uzyskiwany dla proponowanej metody transkodowania. Drugą przyczyną wynika z faktu, że w wyniku transkodowania kaskadowego z niezmienną wartością parametru kwantyzacji, następuje relatywnie duża, ponad 20 % redukcja prędkości bitowej. Należy zauważyć, że proponowany w punkcie 5.2.3 algorytm transkodowania pozwala na realizację skalowalności drobnoziarnistej strumieni wizyjnych, na co nie pozwala transkodowanie kaskadowe.



Rysunek 5.15: Straty jakości dla transkodera kaskadowego (—○—) i proponowanej metody redukcji strumienia bitowego (—△—) w odniesieniu do jakości otrzymanej w wyniku jednokrotnej kompresji sekwencji oryginalnej (struktura GOP: 3P3B, $QP^I = QP^P = QP^B$, włączony filtr deblokujący, dozwolone makrobloki Intra w obrazach P i B)

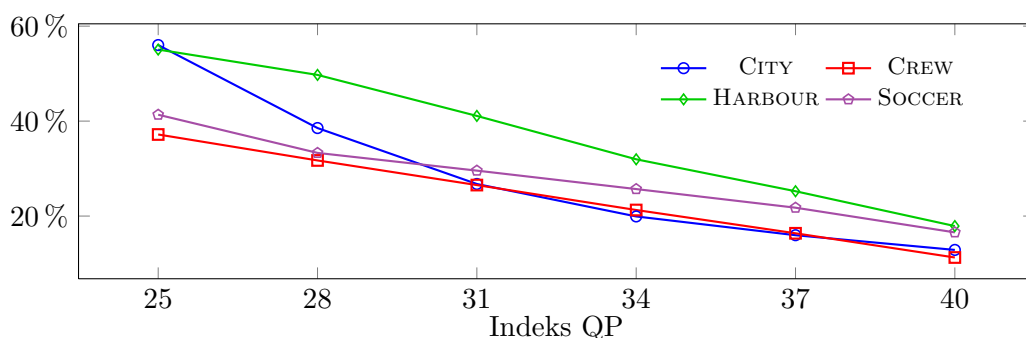


Rysunek 5.15: (Kontynuacja) Straty jakości dla transkodera kaskadowego (—○—) i proponowanej metody redukcji strumienia bitowego (—▲—) w odniesieniu do jakości otrzymanej w wyniku jednokrotnej kompresji sekwencji oryginalnej (struktura GOP: 3P3B, $QP^I = QP^P = QP^B$, włączony filtr deblokujący, dozwolone makrobloki Intra w obrazach P i B)

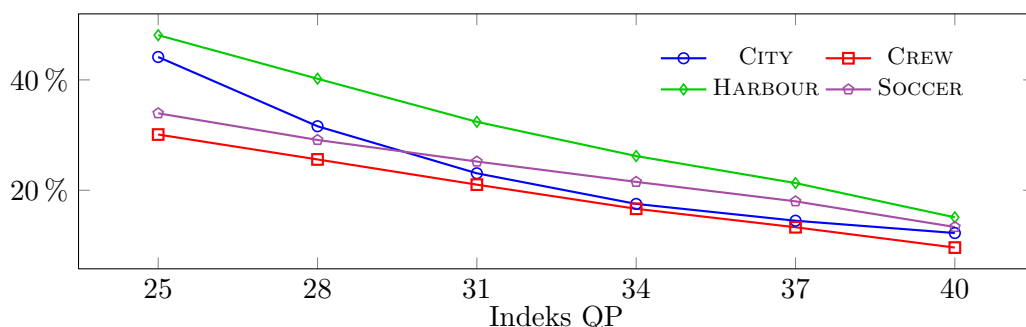
5.4.3. Zakres redukcji prędkości transmisji

Na rysunkach 5.16 i 5.17 przedstawiony zostały wyniki badań zakresu redukcji prędkości transmisji dla proponowanej metody redukcji strumienia bitowego w funkcji wartości parametru kwantyzacji wykorzystanego do uzyskania strumienia bitowego poddanego transkodowaniu. Ze względu na malejący udział próbek transformaty wraz ze wzrostem wartości parametru kwantyzacji (patrz rysunek 4.10), zmniejszeniu ulega zakres redukcji prędkości transmisji. Zauważyć można ponadto, że ten zakres zależy silnie od treści sekwencji wizyjnej. Różnice dochodzą do dwudziestu punktów procentowych dla najmniejszych przebadanych wartości indeksu QP. Wraz ze zwiększaniem się wartości parametru kwantyzacji rozbieżności maleją, by dla największej zbadanej wartości wynoszącej 40 osiągnąć nie więcej niż 7 punktów procentowych.

Przedstawione na rysunkach 5.16 i 5.17 wartości zakresu redukcji prędkości transmisji zostały wyznaczone przy założeniu, że zostaną wyczerpane wszystkie możliwości redukcji próbek transformaty wskazane w proponowanym algorytmie transkodowania. W poprzednim punkcie zostało jednak pokazane, że powyżej pewnej wartości redukcji transkodowanie

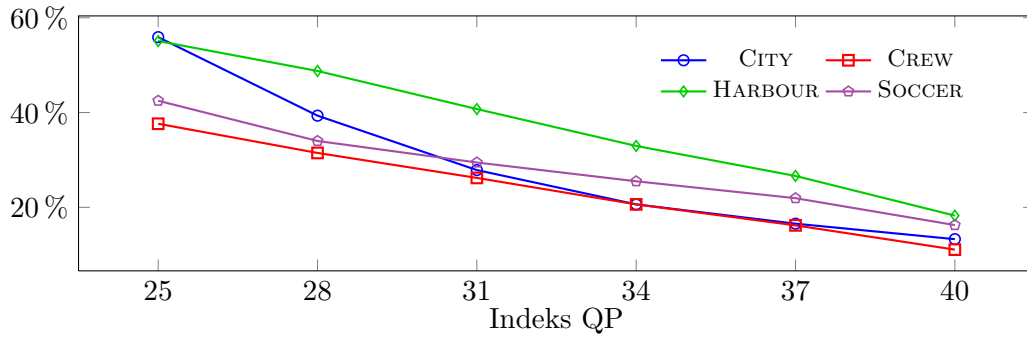


(a) $QP^I = QP^P = QP^B$

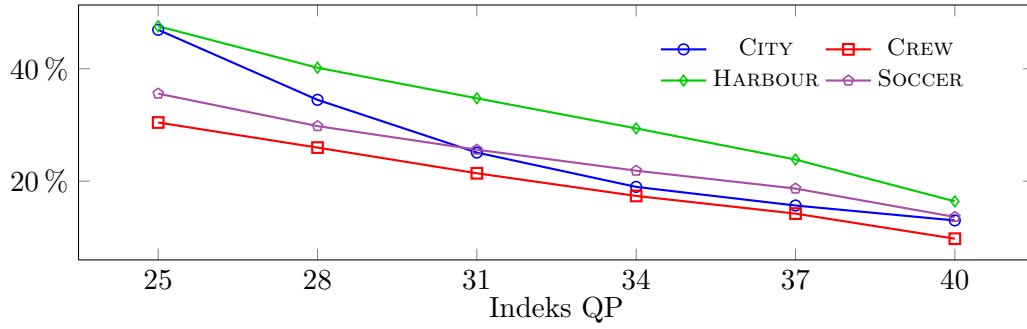


(b) $QP^I = QP^P = QP^B - 2$

Rysunek 5.16: Zakres redukcji prędkości transmisji uzyskany dzięki zaproponowanej metodzie, gdy w obrazach typu P oraz B dozwolone są makrobloki typu Intra (struktura GOP: 3P3B, włączony filtr deblokujący)



(a) $QP^I = QP^P = QP^B$

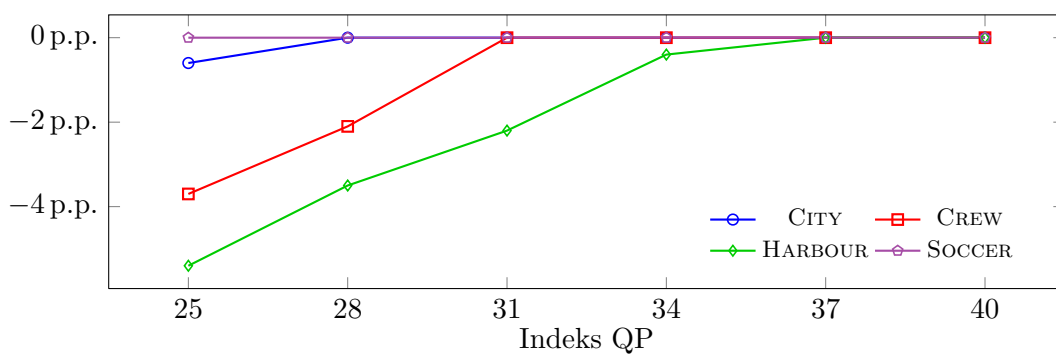


(b) $QP^I = QP^P = QP^B - 2$

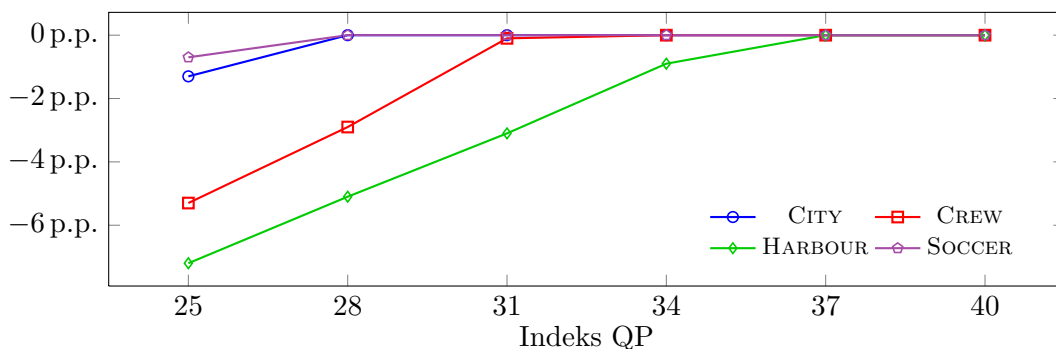
Rysunek 5.17: Zakres redukcji prędkości transmisji uzyskany dzięki zaproponowanej metodzie, gdy w obrazach typu P oraz B dozwolone są makrobloki typu Intra (struktura GOP: 4P2B, włączony filtr deblokujący)

kaskadowe jest w stanie zapewnić wyższą jakość wynikowej sekwencji wizyjnej. Na rysunku 5.18 zaprezentowane zostało o ile punktów procentowych zmniejszyłby się zakres redukcji prędkości transmisji dla proponowanej metody transkodowania, gdybyśmy założyli, że wprowadzane straty nie mogą być większe niż dla transkodera kaskadowego. Jak widać, wyniki zależą bardzo silnie od treści sekwencji wizyjnej oraz od wartości parametru kwantyzacji w wejściowym strumieniu bitowym (QP_K). Największe zmiany występują dla najmniejszej przebadanej wartości QP_K (mogą wtedy wynosić do 11,5 p.p.), a następnie dążą do zera wraz z jej wzrostem.

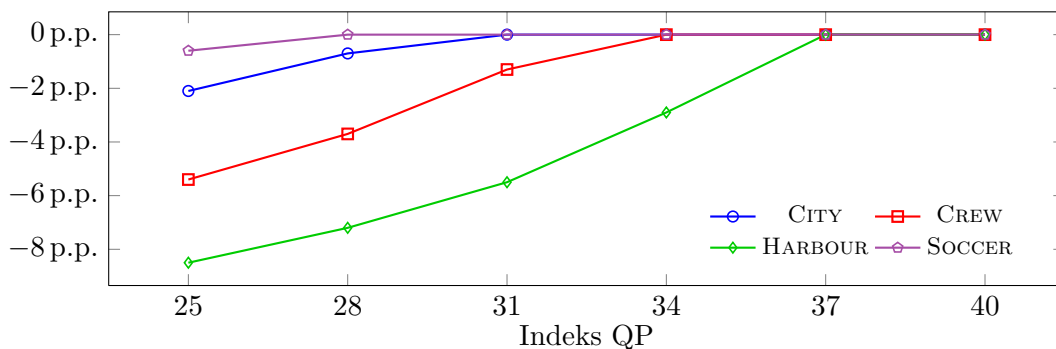
Z powodu silniejszej kwantyzacji obrazów typu B, ograniczeniu ulega zakres redukcji prędkości transmisji, co zostało przedstawione na rysunku 5.19. Zmniejszenie to jest zależne od wartości parametru kwantyzacji użytego do otrzymania wejściowego strumienia bitowego oraz treści sekwencji wizyjnej. Przykładowo, w badanym przedziale zmian wartości parametru kwantyzacji 25–40, największe zmiany wystąpiły dla sekwencji CITY (zmiana z 12 do 0,5 punktu procentowego), najmniejsze dla sekwencji SOCCER (zmiana z 7,4 do 3,2 punktu procentowego). Dla żadnego z przebadanych przypadków zmniejszenie



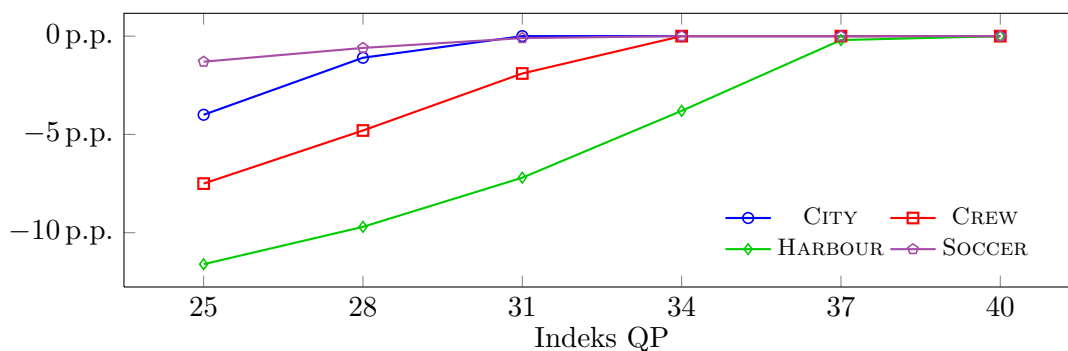
(a) GOP: 3P3B, $QP^I = QP^P = QP^B$



(b) GOP: 3P3B, $QP^I = QP^P = QP^B - 2$

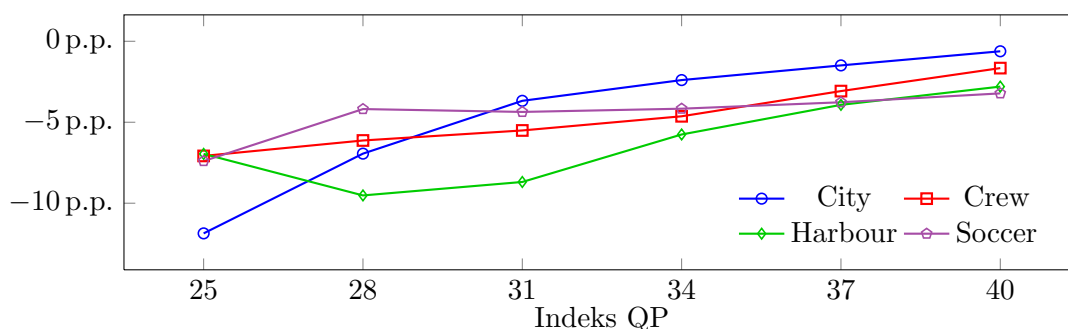


(c) GOP: 4P2B, $QP^I = QP^P = QP^B$

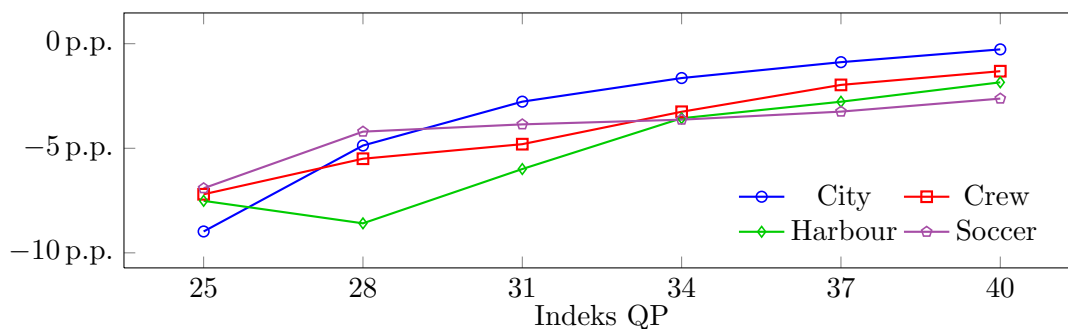


(d) GOP: 4P2B, $QP^I = QP^P = QP^B - 2$

Rysunek 5.18: Zmniejszenie zakresu redukcji prędkości transmisji proponowanej metody transkodowania, przy przyjęciu założenia wprowadzania strat jakości nie większych niż transcoder kaskadowy (włączony filtr deblokujący, dozwolone makrobloki Intra w obrazach P i B). Wartości wyrażone w punktach procentowych



(a) GOP: 3P3B



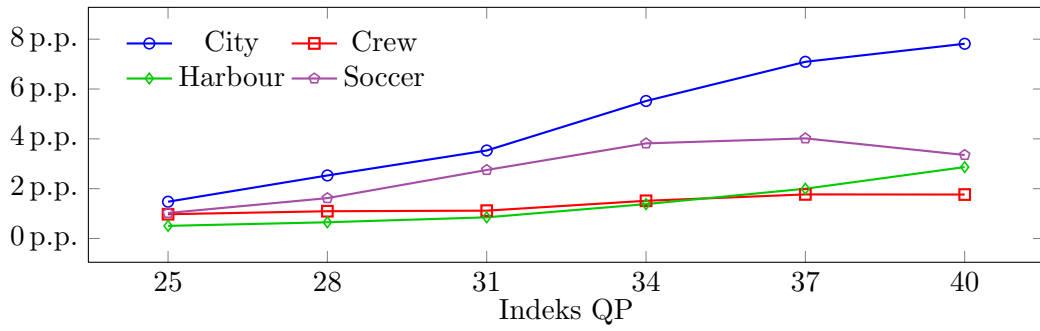
(a) GOP: 4P2B

Rysunek 5.19: Zmniejszenie zakresu redukcji prędkości transmisji spowodowane zwiększeniem o 2 wartości parametru kwantyzacji (QP^B) w obrazach typu B (włączony filtr deblokujący, makrobloki Intra dozwolone w obrazach P i B)

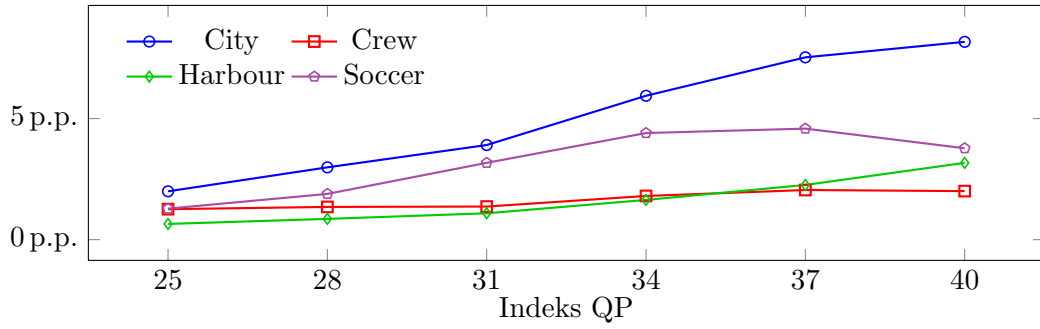
zakresu redukcji spowodowane silniejszym kwantowaniem obrazów typu B w wejściowych strumieniach bitowych nie przekroczyło 12 punktów procentowych, przy czym dla większości z nich było ono mniejsze niż 6 punktów procentowych.

Przyjrzyjmy się teraz jaki wpływ na zakres redukcji prędkości transmisji ma modyfikacja obrazów typu I. Stosowne wyniki znajdują się na rysunkach 5.20 i 5.21. Wraz ze zwiększaniem się wartości parametru kwantyzacji, rośnie udział próbek transformaty z obrazów typu I w całości strumienia bitowego. W związku z tym, zwiększa się wpływ modyfikacji obrazów typu I na względną wartość zakresu redukcji prędkości transmisji. Wzrost ten jest zależny od treści sekwencji wizyjnej. W przebadanych przypadkach, dla wartości indeksu QP zmieniającej się w zakresie 25–40 modyfikacja obrazów typu I pozwalała zwiększyć zakres redukcji strumienia bitowego od 0,5 do 8 punktów procentowych. Różnice wynikające z wykorzystania odmiennej struktury grupy obrazów oraz odmiennego kwantowania obrazów typu B uznać można za pomijalnie małe.

Zobaczmy teraz jak stosowanie makrobloków typu Intra w obrazach P i B wpływa na zakresy redukcji proponowanych w punktach 5.2.2 i 5.2.3 metod transkodowania. Przyjmijmy,

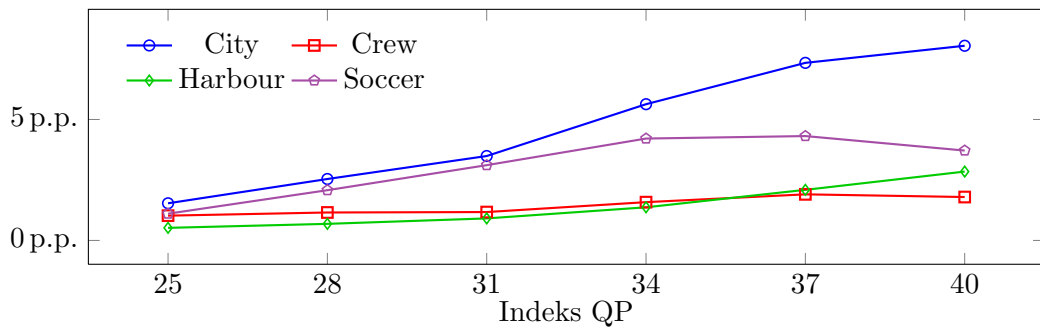


(a) $QP^I = QP^P = QP^B$

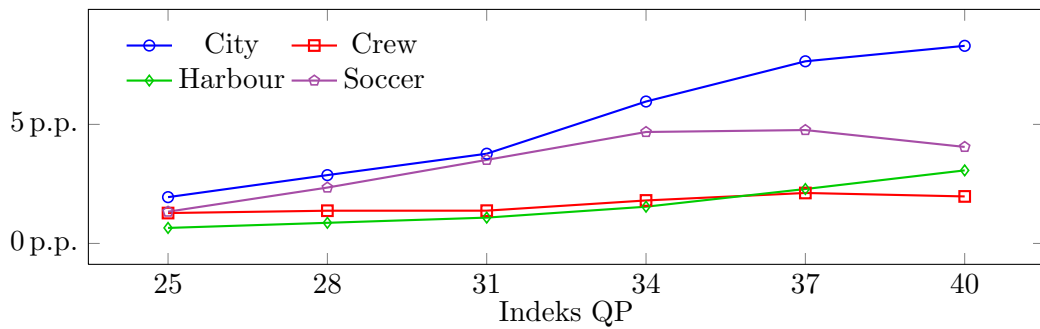


(b) $QP^I = QP^P = QP^B - 2$

Rysunek 5.20: Zwiększenie zakresu redukcji prędkości transmisji osiągnięte dzięki modyfikacji obrazów typu I (struktura GOP: 3P3B, włączony filtr deblokujący, dozwolone makrobloki Intra w obrazach P i B)



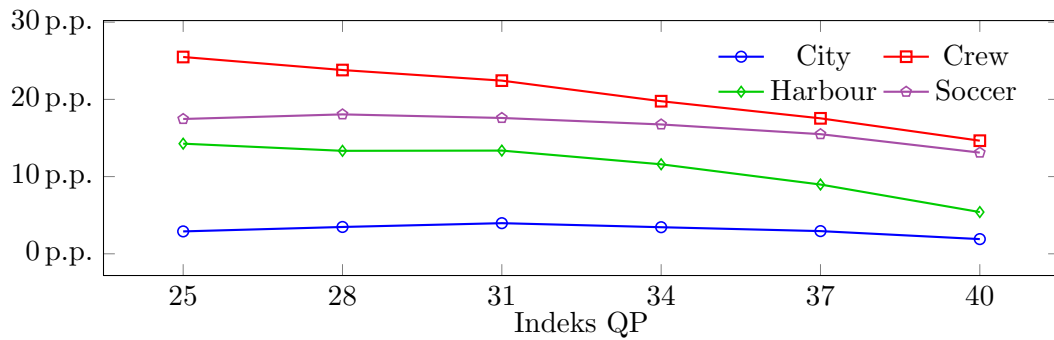
(a) $QP^I = QP^P = QP^B$



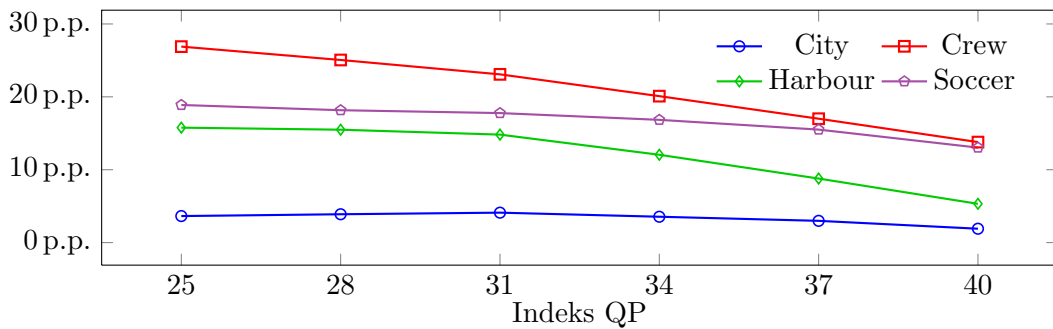
(a) $QP^I = QP^P = QP^B - 2$

Rysunek 5.21: Zwiększenie zakresu redukcji prędkości transmisji osiągnięte dzięki modyfikacji obrazów typu I (struktura GOP: 4P2B, włączony filtr deblokujący, dozwolone makrobloki Intra w obrazach P i B)

że w żadnym ze strumieni bitowych nie będą modyfikowane obrazy typu I. Na rysunkach 5.22 i 5.23 zilustrowane zostały wyniki stosownych doświadczeń. Stwierdzić należy, że zwiększenie zakresu redukcji prędkości transmisji związane z niewykorzystywaniem makrobloków typu Intra w obrazach P i B zależy w bardzo silnym stopniu od treści sekwencji wizyjnej i w stosunkowo niewielkim stopniu od wykorzystywanej podczas kompresji grupy obrazów, czy też różnic w kwantowaniu obrazów typu B. Największy zysk zaobserwować można dla sekwencji CREW i wynosi on od 14 do 26 punktów procentowych. Wynika to z faktu, że ze względu na jej treść, w obrazach P i B, intensywnie wykorzystywane jest kodowanie wewnątrzobrazowe. Najmniejszy wzrost zakresu redukcji prędkości transmisji zaobserwowano dla sekwencji CITY, dla której, ze względu na występujący powolny ruch translacyjny, dobrze działa predykcja z kompensacją ruchu.

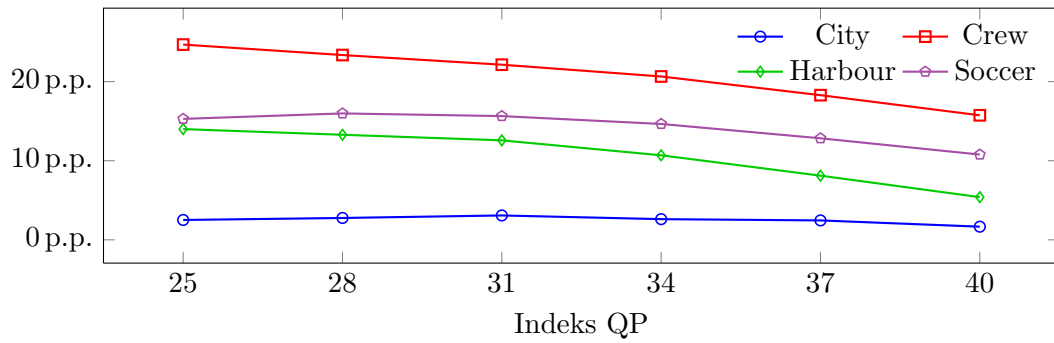


(a) $QP^I = QP^P = QP^B$

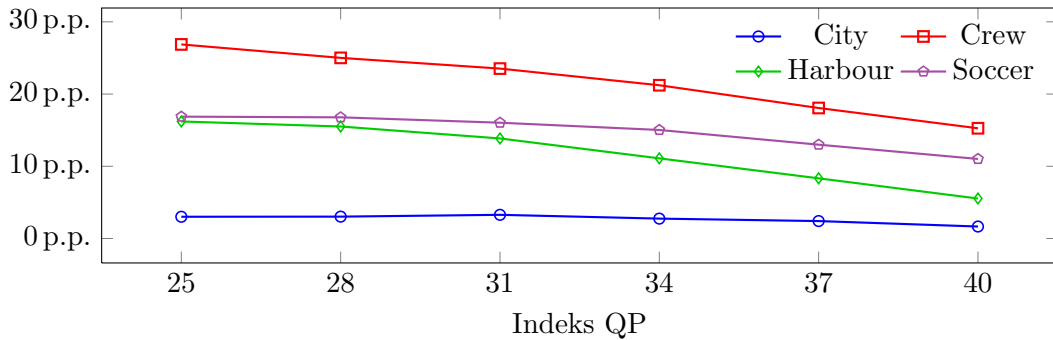


(b) $QP^I = QP^P = QP^B - 2$

Rysunek 5.22: Zwiększenie zakresu redukcji prędkości transmisji wynikające z niewykorzystywania makrobloków typu Intra w obrazach typu P i B (struktura GOP: 3P3B, włączony filtr deblokujący, obrazy typu I niemodyfikowane)



(a) $QP^I = QP^P = QP^B$



(b) $QP^I = QP^P = QP^B - 2$

Rysunek 5.23: Zwiększenie zakresu redukcji prędkości transmisji wynikające z niewykorzystywania makrobloków typu Intra w obrazach typu P i B (struktura GOP: 4P2B, włączony filtr deblokujący, obrazy typu I niemodyfikowane)

5.5. Badania zaproponowanych technik transkodowania z wykorzystaniem subiektywnej metody oceny jakości

5.5.1. Przygotowanie eksperymentu

Celem eksperymentu było potwierdzenie właściwości proponowanych algorytmów transkodowania określonych na podstawie badań obiektywnej miary jakości.

Do badań zostały wykorzystane cztery sekwencje testowe przedstawione w dodatku A. Dla każdej z nich wykonano operacje opisanych poniżej, aby uzyskać zbiór sekwencji testowych podlegających ocenie.

W pierwszym kroku sekwencja oryginalna o długości 300 obrazów (10 s przy 30 Hz) poddawana była kompresji z wykorzystaniem kilku wybranych wartości parametru kwantyzacji QP_K . Następnie wybierany był jeden z otrzymanych strumieni bitowych. Strumień ten był transkodowany z wykorzystaniem transkodera kaskadowego. Ponadto, w zależności od tego czy w obrazach P i B występowały makrobloki Intra, strumień ten był również

transkodowany z zastosowaniem jednego ze schematów postępowania zaprezentowanych w punktach 5.2.2 i 5.2.3. Ponieważ badane transkodery nie wykorzystywały mechanizmów sterowania prędkością bitową, autor starał się tak dobrać parametry transkodowania porównywanych transkoderów, aby otrzymać strumienie binarne o możliwie zbliżonych prędkościach bitowych.

Otrzymane w wyniku transkodowania strumienie bitowe zostały zdekodowane i poddane ocenie jakości subiektywnej. Testy przeprowadzone zostały zgodnie z procedurami opisanymi w punkcie 2.3.3.

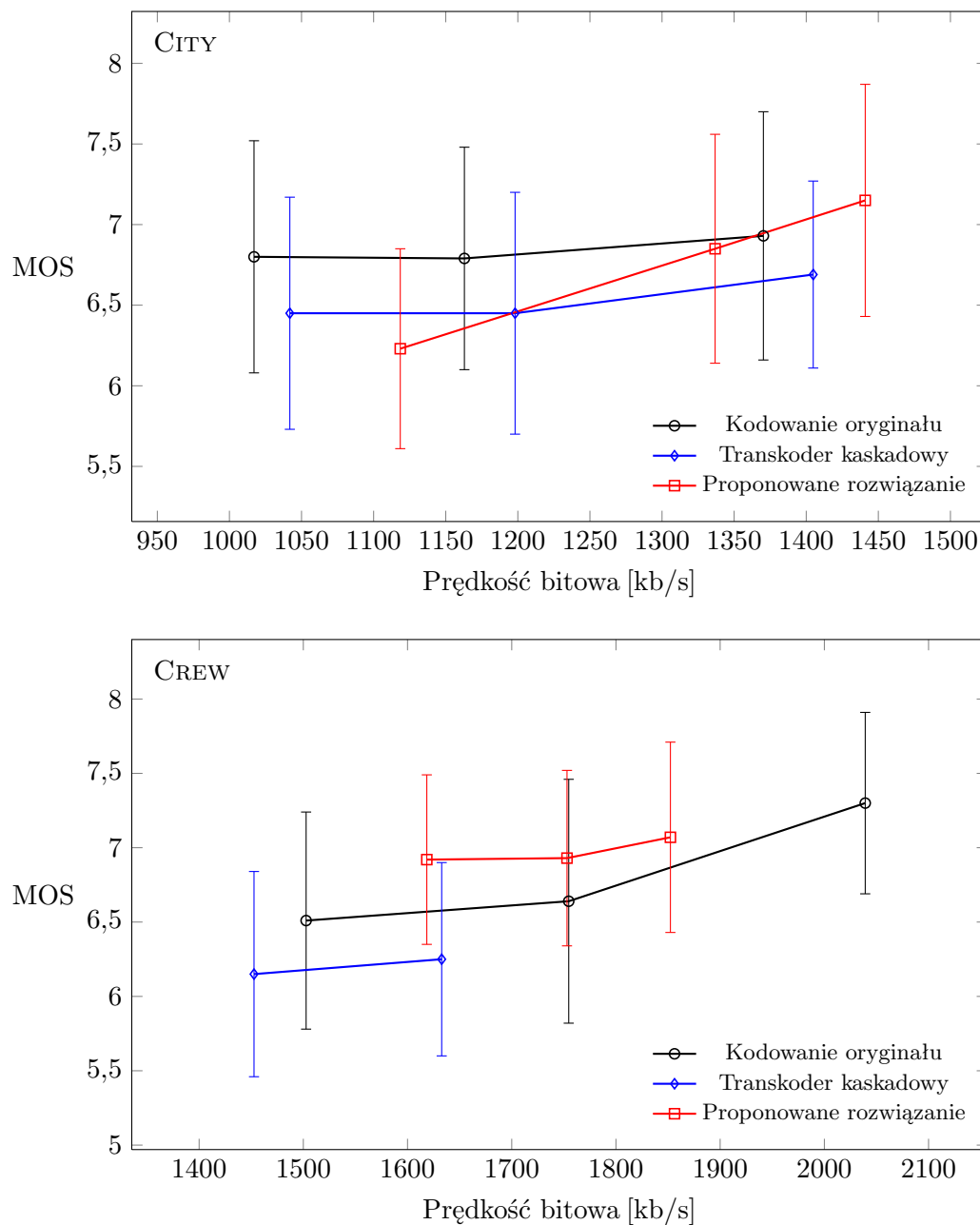
5.5.2. Wyniki testów

Wyniki przeprowadzonych testów znajdują się na rysunkach 5.24 i 5.25. Ponieważ poziom zniekształceń przy danej prędkości bitowej bardzo silnie zależy od treści sekwencji, autor zdecydował się na przedstawienie wyników niezależnie dla każdej z sekwencji testowych. Na rysunkach przedstawione zostały uśrednione wyniki opinii obserwatorów (ang. *Mean Opinion Score* – MOS) oraz przedziały ufności uzyskane zgodnie z zaleceniem ITU-R BT.500 [65].

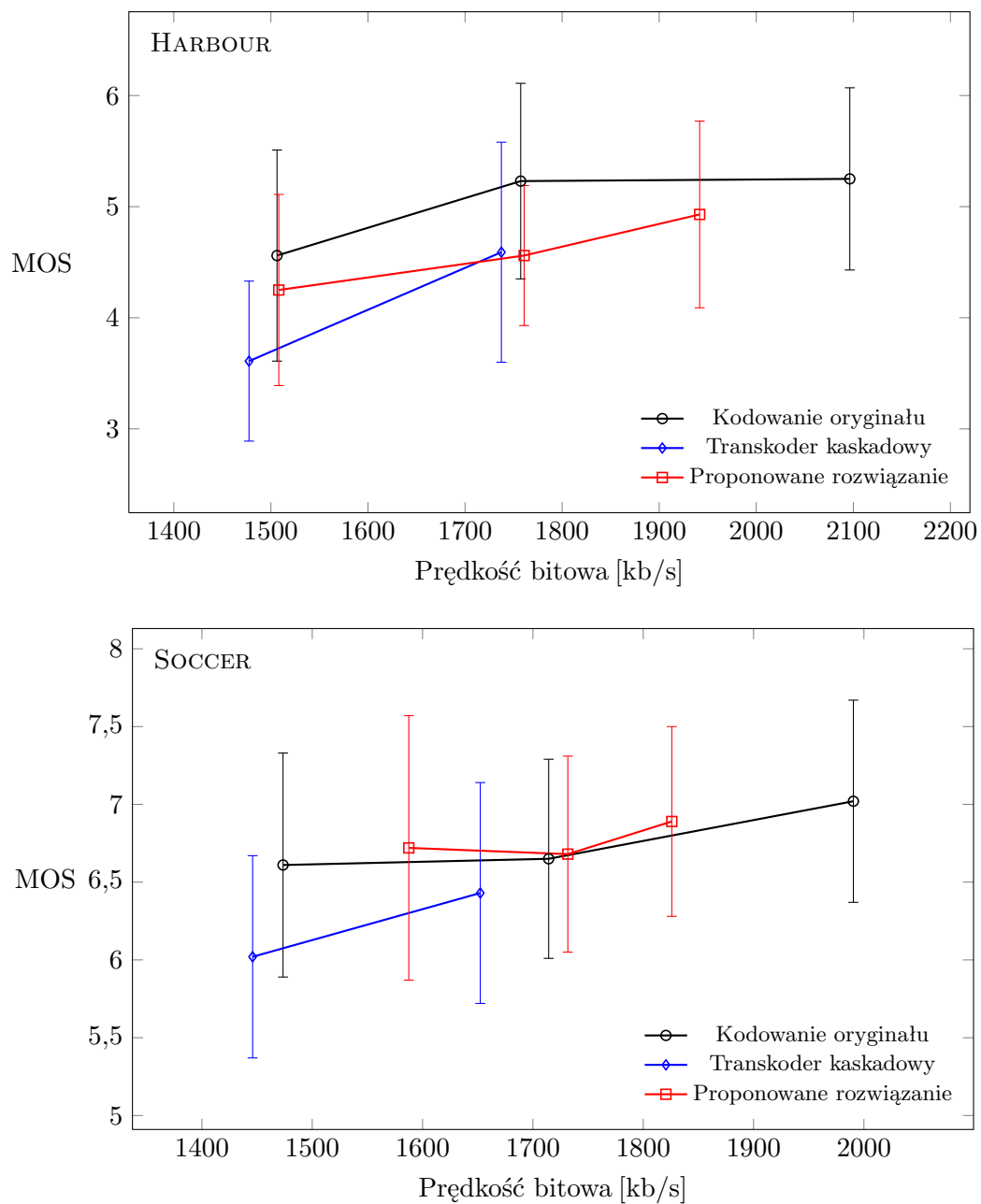
Wyniki przedstawione na rysunkach 5.24 i 5.25 nie pozwalają na statystyczną ocenę, czy widzowie byli w stanie rozróżnić jakość sekwencji otrzymanych w wyniku zakodowania oryginalnego materiału wizyjnego oraz sekwencji otrzymanych w wyniku transkodowania z wykorzystaniem badanych metod, gdyż uzyskane przedziały ufności nie są rozłączne. Zawężenie tych przedziałów wymagałoby przeprowadzenia eksperymentu ze znacząco większą grupą obserwatorów. Jest to zadanie niezwykle trudne, ze względu na potrzebę znalezienia odpowiedniej liczby osób chętnych do wzięcia udziału w eksperymencie, jak i z powodu bardzo długiego czasu testów. W związku z tym, do oceny jakości subiektywnej, stosuje się również analizę uśrednionych wyników [8].

Na podstawie rysunków 5.24 i 5.25 można stwierdzić, że zaledwie cztery z dwudziestu jeden sekwencji uzyskanych w wyniku transkodowania z wykorzystaniem zaproponowanych algorytmów cechowało się niższą wartością wskaźnika MOS, niż interpolowane wartości wskaźnika MOS dla sekwencji transkodowanych kaskadowo. Należy zauważyć, że trzy z tych przypadków mają miejsce dla największych przebadanych redukcji strumienia bitowego, a w czwartym przypadku różnica jest pomijalnie mała.

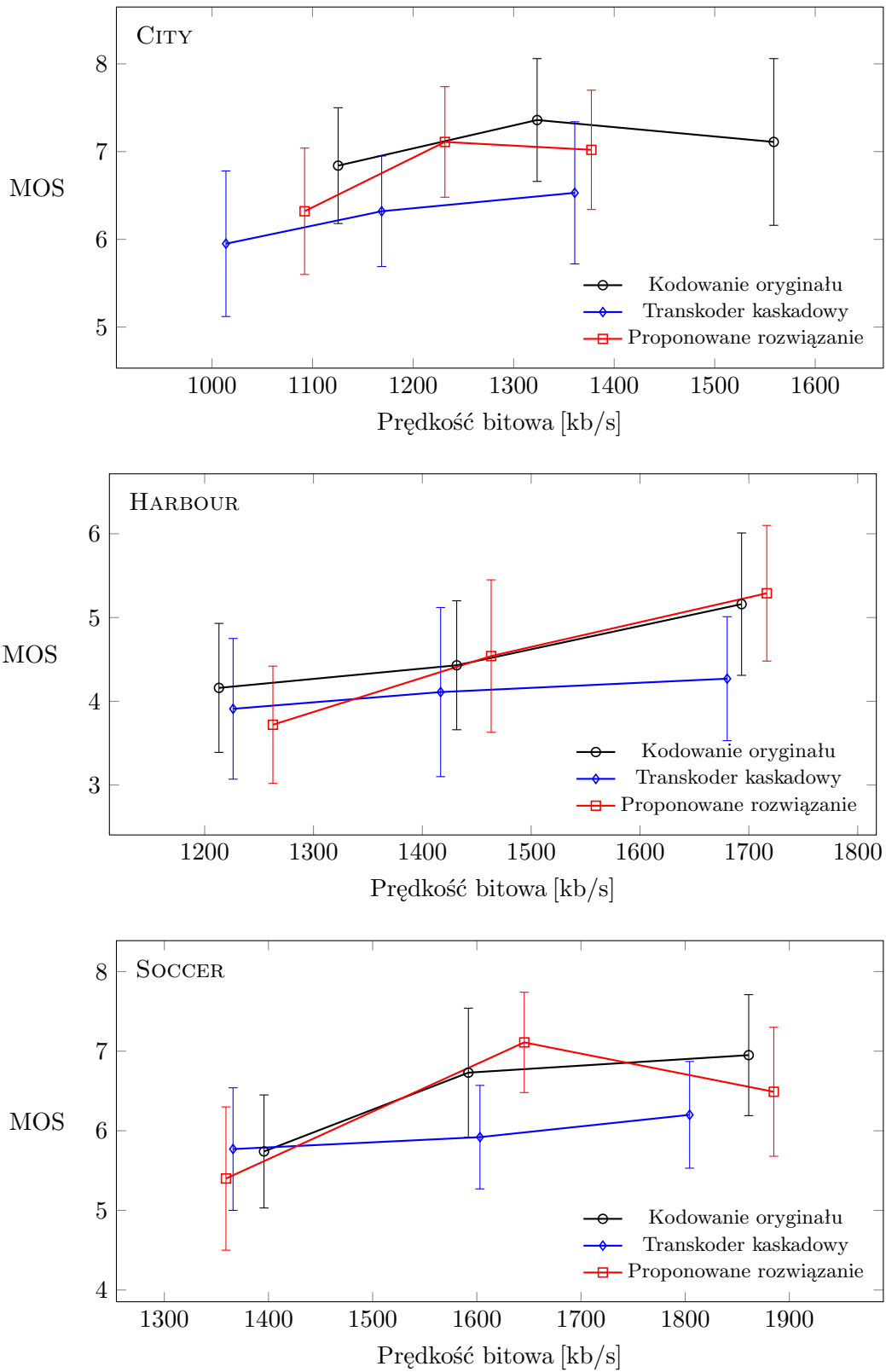
Powyższe potwierdza wyniki badań obiektywnej miary jakości transkodowanych sekwencji. W ograniczonym przedziale redukcji prędkości bitowej zaproponowane algorytmy pozwalają na uzyskanie mniejszych strat transkodowania niż transkodowanie kaskadowe.



Rysunek 5.24: Wyniki uśrednionej subiektywnej oceny jakości sekwencji wizyjnych wraz z 95 % przedziałami ufności. Prędkości bitowe strumieni binarnych poddawanych transkodowaniu wynosiły odpowiednio: C1TY – 1632 kb/s, CREW – 2039 kb/s (struktura GOP: 4P2B, $QP^I = QP^P = QP^B - 2$, włączony filtr deblokujący, dozwolone makrobloki Intra w obrazach P i B)



Rysunek 5.24: (Kontynuacja) Wyniki uśrednionej subiektywnej oceny jakości sekwencji wizyjnych wraz z 95 % przedziałami ufności. Prędkości bitowe strumieni binarnych poddawanych transkodowaniu wynosiły odpowiednio: HARBOUR – 2096 kb/s, SOCCER – 1990 kb/s (struktura GOP: 4P2B, $QP^I = QP^P = QP^B - 2$, włączony filtr deblokujący, dozwolone makrobloki Intra w obrazach P i B)



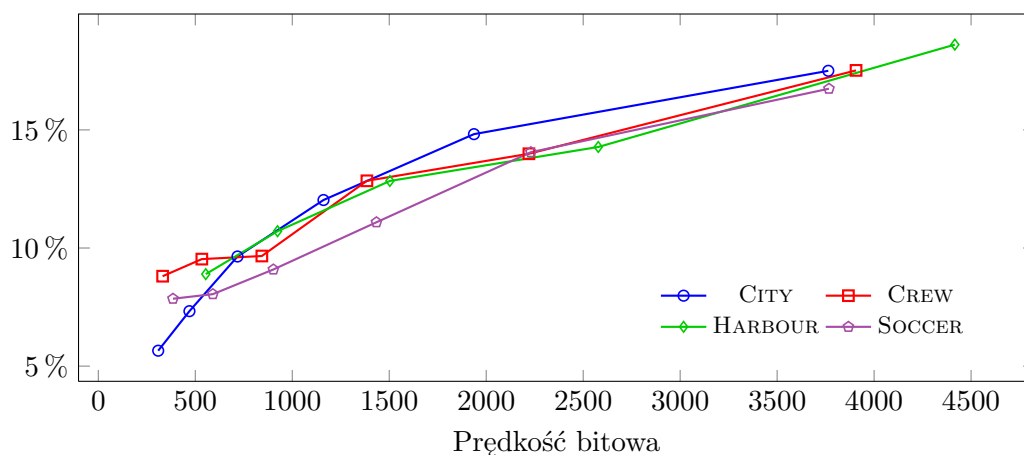
Rysunek 5.25: Wyniki uśrednionej subiektywnej oceny jakości sekwencji wizyjnych wraz z 95 % przedziałami ufności. Prędkości bitowe strumieni binarnych poddawanych transkodowaniu wynosiły odpowiednio: CITY – 1559 kb/s, HARBOUR – 2045 kb/s, SOCCER – 2126 kb/s (struktura GOP: 3P3B, $QP^I = QP^P = QP^B - 2$, włączony filtr deblokujący, brak makrobloków Intra w obrazach P i B)

5.6. Złożoność zaproponowanych rozwiązań

W pracy położono główny nacisk na to, aby proponowane mechanizmy redukcji prędkości bitowej zapewniały możliwie najmniejszą stratę jakości sekwencji spowodowaną transkodowaniem. Dodatkowo, realizacja zaproponowanych metod transkodowania wymaga niewielkich nakładów obliczeniowych, co zostanie wyjaśnione poniżej.

Autor dysponował wyłącznie niezoptymalizowanymi modelami zaproponowanych rozwiązań. W związku z tym, nie jest możliwe porównanie czasów transkodowania z wykorzystaniem zaproponowanych algorytmów, z czasami transkodowania kaskadowego. Możliwe jest jednak oszacowanie ich wzajemnej relacji.

Zaproponowane algorytmy transkodowania wymagają wykorzystania elementów kodeka wizyjnego. Najbardziej złożone z nich to koder i dekodek entropijny, dekwantyzacja oraz odwrotna transformacja. Dodatkowo, realizacja tych algorytmów wymaga wykonania prostych operacji modyfikacji próbek transformaty poprzez nadanie im wartości 0 lub podzielenie przez dwa, realizowane poprzez operację przesunięcia bitowego. Ponieważ nakłady obliczeniowe niezbędne do wykonania modyfikacji próbek transformaty są znacząco mniejsze od nakładów obliczeniowych niezbędnych do wykonania pozostałych operacji, to zostaną one dalej pominięte.

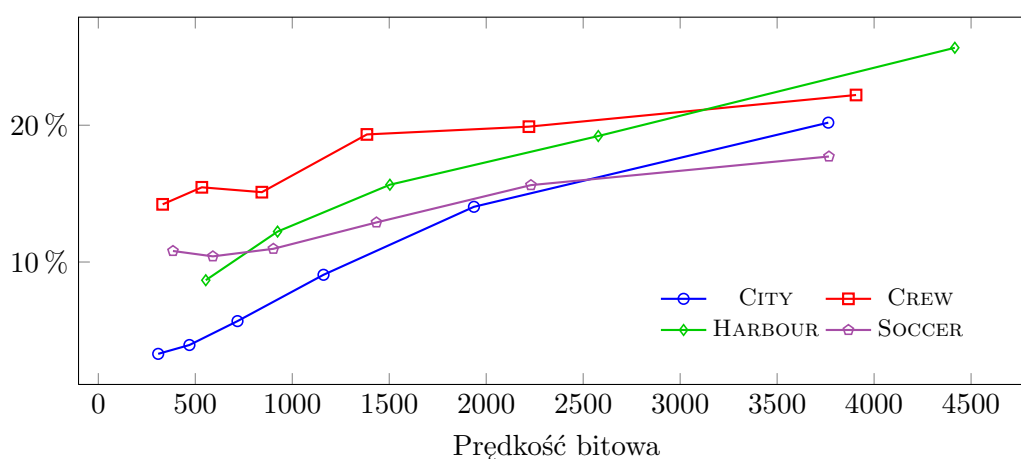


Rysunek 5.26: Udział czasu dekodowania entropijnego i dekwantowania próbek transformaty w całości czasu dekodowania strumienia wizyjnego. Testy przeprowadzone z użyciem referencyjnego oprogramowania standardu MPEG-4 AVC/H.264 [160]. Dekodowane strumienie uzyskano wykorzystując kodowanie CABAC

Na rysunku 5.26 przedstawiony został udział czasu dekodowania strumienia binarnego i dekwantowania próbek transformaty w całości czasu dekodowania sekwencji wizyjnej.

Zauważyć można, że rośnie on wraz ze wzrostem prędkości bitowej dekodowanego strumienia. Typowe prędkości transmisji strumieni wizyjnych zgodnych ze standardem MPEG-4 AVC/H.264, dla rozdzielczości obrazu 704×576 punktów mieszczą się w granicach od 1 do 4 Mbit/s. W takim przedziale dekodowanie strumienia binarnego i wykonanie dekwantowania zajmuje od 9 do 18 % całkowitego czasu dekodowania.

Realizacja zaproponowanych technik transkodowania wymaga wykonania odwrotnej transformacji, gdy w aktualnie przetwarzanym bloku modyfikowane są próbki transformaty, a sąsiedni blok wykorzystuje tryb predykcji Intra_4x4_DC, Intra_16x16_DC lub Intra_Chroma_DC. W najgorszym przypadku, do kodowania wszystkich bloków będą użyte wyłącznie takie tryby. Przyjrzyjmy się więc jaką część czasu dekodowania sekwencji wizyjnej stanowi realizacja odwrotnej transformacji. Zależność tej wielkości od prędkości bitowej strumienia wizyjnego została przedstawiona na rysunku 5.27. Analiza tego rysunku pozwala stwierdzić, że dla typowych prędkości transmisji wartości tej wielkości mieszczą się w przedziale 7–22 %.



Rysunek 5.27: Udział czasu wykonywania odwrotnej transformacji w całości czasu dekodowania strumienia wizyjnego. Testy przeprowadzone z użyciem referencyjnego oprogramowania standardu MPEG-4 AVC/H.264 [160]. Dekodowane strumienie uzyskano wykorzystując kodowanie CABAC

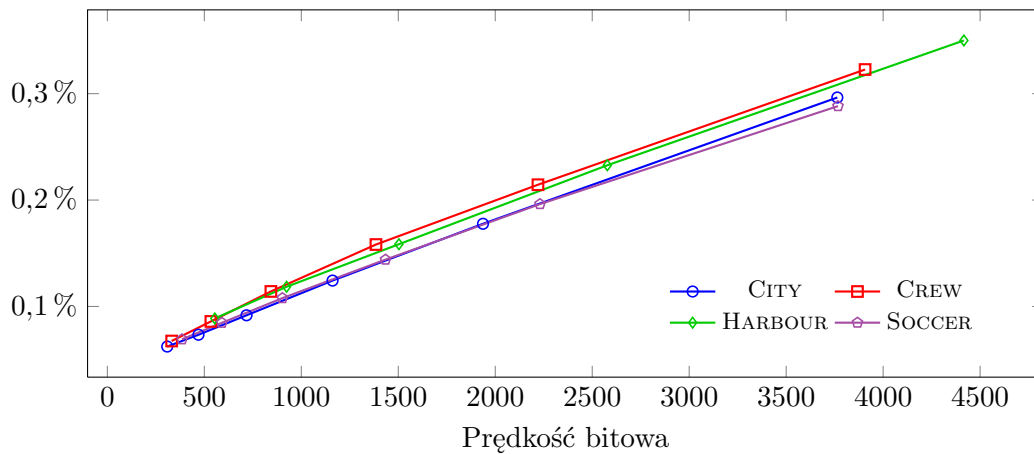
Zauważmy, że do realizacji zaproponowanych technik transkodowania nie jest konieczne wykonywanie pełnej odwrotnej transformacji. W zależności od trybów predykcji sąsiednich bloków, może zaistnieć konieczność uzyskania wartości punktów znajdujących się w ostatniej kolumnie bloku i/lub ostatnim wierszu bloku. Wykonanie szybkiej odwrotnej transformacji wymaga 64 sumowań i 16 operacji przesunięcia bitowego [63, 160]. Do wyznaczenia wyłącznie wartości znajdujących się w ostatniej kolumnie lub ostatnim wierszu bloku

wymaganych jest 20 sumowań i 6 operacji przesunięcia bitowego. Znalezienie wartości położonych w ostatnim wierszu i ostatniej kolumnie bloku wymaga 49 sumowań i 13 przesunięć bitowych. Czas wykonania operacji sumowania i przesunięcia bitowego zależy jest od wykorzystywanej platformy sprzętowej, ale są to proste operacje i przyjmijmy dla uproszczenia, że są one wykonywane w takim samym czasie. Wtedy czas wykonywania odwrotnej transformacji ulegnie skróceniu o 67,5 %, gdy niezbędne jest wyznaczenie jednego wiersza lub jednej kolumny bloku, oraz o 22,5 % w przypadku wyznaczania jednego wiersza i jednej kolumny bloku. W związku z powyższym, możliwe jest ograniczenie czasu przeznaczonego na realizację odwrotnej transformacji. Trzeba jednak zaznaczyć, że może zaistnieć konieczność kilkukrotnego wykonania odwrotnej transformacji w celu sprawdzenia, czy po zmianie próbek transformaty nie zmieniła się suma próbek wykorzystywanych do przewidywania wartości punktów sąsiednich bloków. Wykonanie transformacji odwrotnej nie jest wymagane w przypadku modyfikacji próbek transformaty w blokach, na podstawie których nie są wyznaczone przewidywane wartości próbek sąsiednich bloków.

Na skutek modyfikacji próbek transformaty konieczne jest ponowne utworzenie strumienia bitowego. W transkoderze kaskadowym operacja kodowania entropijnego realizowana jest w koderze wizyjnym. Przyjrzyjmy się jaką część czasu kodowania stanowi ta operacja. Wyniki badań uzyskane dla referencyjnego kodera standardu MPEG-4 AVC/H.264 [160] przedstawione zostały na rysunku 5.28. Na podstawie przedstawionych wyników eksperymentu należy stwierdzić, iż udział czasu kodowania entropijnego w całkowitym czasie kodowania sekwencji wizyjnej zależy liniowo od prędkości bitowej. Zauważmy, że dla prędkości bitowych poniżej 4 Mbit/s nie przekracza on wartości 0,35 %. Wynika to z faktu, że znacząca część czasu kodowania przeznaczana jest na proces estymacji ruchu oraz wyboru trybu kodowania.

Podsumowując należy stwierdzić, że najbardziej złożonymi operacjami, realizowanymi przez zaproponowane algorytmy transkodowania są kodowanie i dekodowanie entropijne, dekwantowanie oraz odwrotne przekształcenie próbek transformaty. Dla prędkości bitowych poniżej 4 Mbit/s dekodowanie entropijne, dekwantyzacja i odwrotna transformacja zajmują łącznie poniżej 40 % czasu dekodowania. Kodowanie entropijne zajmuje dla takich strumieni poniżej 0,35 % czasu kodowania.

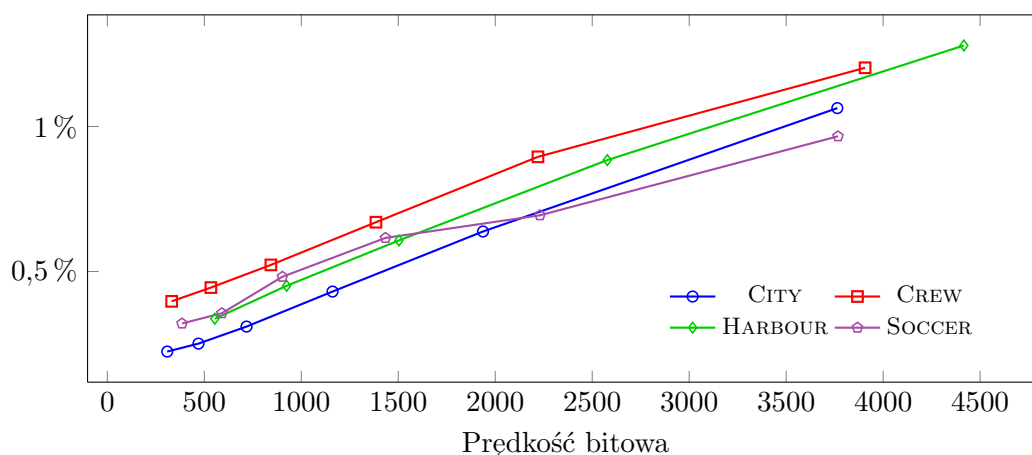
Należy jednakże uwzględnić fakt, że operacja kodowania wymaga znacznie większych nakładów obliczeniowych niż operacja dekodowania. W związku z tym, przyjrzyjmy się jaką



Rysunek 5.28: Udział czasu kodowania entropijnego w całości czasu kodowania sekwencji wizyjnej. Testy przeprowadzone z użyciem referencyjnego oprogramowania standardu MPEG-4 AVC/H.264 [160] wykorzystującego kodowanie CABAC i szybki algorytm estymacji ruchu

część łącznego czasu kodowania i dekodowania sekwencji wizyjnej stanowią łącznie operacje kodowania i dekodowania entropijnego, dekwantyzacji i odwrotnej transformacji. Wyniki eksperymentu przeprowadzonego z wykorzystaniem referencyjnego kodeka standardu MPEG-4 AVC/H.264 przedstawione zostały na rysunku 5.29. Na podstawie tych wyników stwierdzić można, że badana wielkość zależy niemal liniowo od prędkości strumienia bitowego. W badanym zakresie prędkości nie przekroczyła ona wartości 1,3 %. Przyjmując, że czas wykonania danego algorytmu jest wprost proporcjonalny do wymaganych nakładów obliczeniowych, to po uwzględnieniu przeprowadzonej powyżej analizy należy stwierdzić, że realizacja zaproponowanych algorytmów redukcji strumienia bitowego wymaga dwa rzędy wielkości mniej nakładów obliczeniowych niż transkodowanie kaskadowe.

Zastosowanie zaproponowanych procedur redukcji strumienia bitowego, poza redukcją nakładów obliczeniowych, powoduje ograniczenie wymaganej pamięci w stosunku do transkodowania kaskadowego. Następuje to głównie dzięki temu, że nie jest konieczne przechowywanie obrazów odniesienia wykorzystywanych w koderze i dekodерze wizyjnym. Ponadto, ze względu na znaczące uproszczenie algorytmiczne, zmniejszeniu ulega zapotrzebowanie na pamięć programu.



Rysunek 5.29: Udział czasów kodowania entropijnego w koderze, dekodowania entropijnego, dekwantowania próbek transformaty oraz odwrotnej transformacji realizowanych w dekodерze, w łącznym czasie kodowania i dekodowania strumienia wizyjnego. Testy przeprowadzone z użyciem referencyjnego oprogramowania standardu MPEG-4 AVC/H.264 [160] wykorzystującego kodowanie CABAC i szybki algorytm estymacji ruchu

5.7. Podsumowanie

W rozdziale przedstawione zostały nowe, autorskie procedury redukcji prędkości transmisji strumieni wizyjnych zgodnych ze standardem MPEG-4 AVC/H.264. Zaproponowano dwie autorskie procedury transkodowania, których wybór zależny jest od występowania makrobloków Intra w obrazach P i B. Ich obecność powoduje, że wzrasta efektywność kompresji niektórych sekwencji. Jednakże badania wykazały, że tak uzyskane sekwencje mogą być redukowane w mniejszym stopniu. Maksymalna redukcja strumienia bitowego może być mniejsza nawet o 26 punktów procentowych w stosunku do zmniejszania prędkości transmisji strumieni bitowych, w których nie występują makrobloki Intra w obrazach typu P i typu B. W związku z tym, przygotowując skompresowane strumienie wizyjne można zdecydować, czy celowym jest uzyskanie możliwości większej redukcji strumienia bitowego kosztem pewnego obniżenia efektywności kompresji.

Zakres redukcji prędkości transmisji dla algorytmów transkodowania przedstawionych w tym rozdziale zależy w dużym stopniu od treści sekwencji wizyjnej. Największa redukcja w zbadanych przypadkach wyniosła prawie 70 %, a najmniejsza 6 % przy braku modyfikacji obrazów typu I. Modyfikacja obrazów typu I, przeprowadzona zgodnie z procedurami przedstawionymi w punkcie 4.4, w przebadanych przypadkach, pozwoliła na zwiększenie zakresu redukcji prędkości transmisji o maksymalnie 8 p.p.

Do najważniejszych zalet zaproponowanych metod redukcji prędkości transmisji zaliczyć należy:

- prawie w całości oferowanego zakresu redukcji prędkości bitowej mniejsze straty jakości spowodowane transkodowaniem niż w przypadku wykorzystania transkodera kaskadowego. Wyniki testów jakości obiektywnej potwierdzone zostały wynikami badań jakości subiektywnej.
- znacząco mniejsze nakłady obliczeniowe i mniejsze wymagania dostępnych ilości pamięci programu i danych niż w przypadku transkodowania kaskadowego.

Podsumowanie

6.1. Wnioski

Badania przedstawione w niniejszej pracy koncentrowały się na stworzeniu nowych technik transkodowania homogenicznego sekwencji wizyjnych kodowanych z wykorzystaniem zaawansowanych technik kompresji. Uzyskane wyniki badań *potwierdzają tezę pracy*, to znaczy zostały zaproponowane procedury transkodowania sekwencji wizyjnych wykorzystujące zaawansowane techniki kompresji, zapewniające wyższą jakość transkodowanej sekwencji niż transkodowanie kaskadowe. Równocześnie, realizacja zaproponowanych algorytmów transkodowania wymaga mniejszych nakładów obliczeniowych niż transkodowanie kaskadowe.

Najważniejsze wnioski rozprawy:

- Możliwe jest transkodowanie strumieni wizyjnych z otwartą pętlą sprzężenia zwrotnego, zapewniające mniejsze straty transkodowania niż w przypadku transkodowania kaskadowego.
- Realizacja zaproponowanych algorytmów redukcji strumienia bitowego wymaga dwa rzędy wielkości mniej nakładów obliczeniowych niż transkodowanie kaskadowe.
- Zakres redukcji prędkości transmisji dla algorytmów transkodowania zaproponowanych w rozdziale 5 zależy w dużym stopniu od treści sekwencji wizyjnej. Największa redukcja, w przypadku niemodyfikowania obrazów typu I, wyniosła, w przebadanych przypadkach, prawie 70 %, a najmniejsza 6 %. Modyfikacja obrazów typu I, przeprowadzona zgodnie z procedurami przedstawionymi w punkcie 4.4, w przebadanych przypadkach, pozwoliła na zwiększenie zakresu redukcji prędkości transmisji o maksymalnie 8 p.p.

- Zakres redukcji prędkości transmisji oferowany przez zaproponowane algorytmy jest uzależniony od występowania makrobloków Intra w obrazach P i B. Kiedy takie makrobloki nie występują, zakres redukcji może być nawet o 26 punktów procentowych większy.
- Możliwe jest ograniczenie błędu dryftu poprzez modyfikację obrazów typu P w kolejności odwrotnej do kolejności ich kodowania.
- Wyniki badań przedstawione w punkcie 4.5 pokazują, że w celu uzyskania najmniejszych strat transkodowania, w przypadku transkodowania z otwartą pętlą sprzężenia zwrotnego, należy mniejszą liczbę obrazów typu P poddać większym modyfikacjom, aniżeli w mniejszym stopniu modyfikować większą liczbę obrazów tego typu.
- Na podstawie wyników badań przedstawionych w punkcie 4.5.3 stwierdzono, że dla takiej samej redukcji prędkości bitowej, mniejsze straty transkodowania zostaną uzyskane w wyniku modyfikacji mniejszego odsetka próbek transformaty we wszystkich makroblokach, niż zmiany większego odsetka próbek transformaty w części makrobloków tworzących pojedynczy obraz.
- Po spełnieniu warunków przedstawionych w punkcie 4.4, możliwa jest taka modyfikacja próbek transformaty, która nie zmienia przewidywanych wartości próbek obrazu w sąsiednich blokach kodowanych wewnątrzobrazowo.
- Liczba zmian parametru kwantyzacji może być ograniczona poprzez wykorzystanie faktu, że w części makrobloków wszystkie próbki transformaty mają zerową wartość.
- Straty transkodowania kaskadowego strumieni wizyjnych zawierających wyłącznie obrazy typu I zależne są od wykorzystania filtra deblokującego. W zależności od wykorzystania tego narzędzia, możliwe jest wskazanie uniwersalnych zależności strat transkodowania w funkcji redukcji strumienia bitowego. Największe straty występują przy około 20 % redukcji prędkości transmisji strumienia bitowego.
- Zależność strat transkodowania kaskadowego strumieni wizyjnych zawierających obrazy typu P i B od redukcji prędkości bitowej ma uniwersalny charakter. Największe straty występują przy 30 % redukcji strumienia bitowego i maleją wraz ze zwiększaniem stopnia redukcji.

- Badania przeprowadzone z wykorzystaniem referencyjnego oprogramowania standardu MPEG-4 AVC/H.264 wykazały, że w zakresie wartości parametru kwantyzacji 20–51, reprezentacja próbek transformaty stanowić może od 30 do 93 % całości strumienia bitowego.
- Znacząca większość niezerowych próbek transformaty w strumieniu bitowym ma amplitudę równą jeden. W obrazach P i B takie próbki stanowią około 80 % liczby niezerowych próbek, niezależnie od wartości parametru kwantyzacji.

6.2. Oryginalne osiągnięcia

Głównym osiągnięciem autora jest opracowanie technik transkodowania homogenicznego strumieni wizyjnych zgodnych ze standardem MPEG-4 AVC/H.264. Autor pracy stworzył programowe modele zaproponowanych algorytmów. Pozwoliło to na przeprowadzenie eksperymentalnej analizy ich właściwości. W punkcie 5.2 przedstawiono dwa algorytmy, które umożliwiają redukcję prędkości bitowej. Wybór najlepszego algorytmu uzależniony jest od występowania makrobloków Intra w obrazach typu P i typu B. Oba zaprezentowane rozwiązania pozwalają na uzyskanie mniejszych strat jakości sekwencji niż transkodowanie kaskadowe. Różnica może wynosić nawet 1,2 dB. Jednocześnie, realizacja zaproponowanych algorytmów redukcji strumienia bitowego wymaga dwa rzędy wielkości mniej nakładów obliczeniowych niż transkodowanie kaskadowe. Zaproponowane metody redukcji strumienia binarnego umożliwiają realizację skalowalności drobnoziarnistej strumieni wizyjnych.

Istotnym osiągnięciem przedstawionym w pracy jest analiza właściwości transkodowania kaskadowego strumieni wizyjnych zgodnych ze standardem MPEG-4 AVC/H.264 (rozdział 3). Wynikiem przeprowadzonych przez autora pracy badań jest stwierdzenie, że zależność strat takiego transkodowania od redukcji prędkości bitowej strumienia wizyjnego ma charakter uniwersalny. Dla strumieni wizyjnych, w których występują wyłącznie obrazy typu I, największe straty transkodowania kaskadowego występują przy 20 % redukcji prędkości bitowej. W przypadku transkodowania strumieni w których występują dodatkowo obrazy typu P i typu B, największa wartość strat ma miejsce przy około 30 % redukcji strumienia bitowego. W obu przypadkach zwiększanie redukcji strumieni bitowych

ponad wskazane powyżej wartości powoduje stopniowe zmniejszanie strat transkodowania. Podobne właściwości charakteryzują transkodowanie kaskadowe strumieni wizyjnych zakodowanych z wykorzystaniem klasycznych technik kompresji [75].

Oryginalnymi osiągnięciami autora pracy, wspierającymi główne osiągnięcia są:

- Analiza eksperymentalna zaproponowanych algorytmów (punkty 5.3 i 5.4), w tym przede wszystkim:
 - porównanie strat transkodowania z wykorzystaniem zaproponowanych algorytmów i strat transkodowania kaskadowego,
 - wyznaczenie zakresu redukcji strumienia bitowego uzyskanej dzięki wykorzystaniu proponowanych algorytmów,
 - wskazanie zakresu redukcji strumienia bitowego, w którym straty jakości na skutek transkodowania z wykorzystaniem zaproponowanych algorytmów są nie większe niż straty transkodowania kaskadowego.
- Przeprowadzenie badań eksperymentalnych wskazujących jak modyfikacja różnej liczby próbek transformaty w różnej liczbie makrobloków tworzących obraz wpływa na jakość transkodowanej sekwencji przy określonym stopniu redukcji strumienia bitowego. Ponadto zbadanie wpływu liczby zmodyfikowanych obrazów w strukturze GOP na jakość transkodowanej sekwencji (punkt 4.5).
- Wskazanie i udowodnienie warunków modyfikacji próbek transformaty, których spełnienie zapewnia, że nie zmieniają się przewidywane wartości próbek sąsiednich bloków kodowanych w trybie Intra (punkt 4.4).
- Zaproponowanie sposobu minimalizacji dryftu powstającego na skutek transkodowania z otwartą pętlą sprzężenia zwrotnego (punkt 4.2.4).
- Propozycja procedury redukcji liczby zmian wartości parametru kwantyzacji w obrazie, polegająca na wykorzystaniu faktu, że w części makrobloków wszystkie próbki transformaty mają zerową wartość. W wyniku działania zaproponowanej procedury nie zmieniają się wartości próbek w zdekodowanym obrazie (punkt 4.2.5).
- Przeprowadzenie badań zaproponowanych algorytmów transkodowania z wykorzystaniem subiektywnej metody oceny jakości (punkt 5.5).
- Porównanie nakładów obliczeniowych wymaganych do realizacji zaproponowanych algorytmów i do wykonania transkodowania kaskadowego (punkt 5.6).
- Zbadanie udziału w strumieniu bitowym informacji o próbkach transformaty, a także wskazanie, jaka część niezerowych próbek ma amplitudę równą jeden (punkt 4.3).

- Przedstawienie aktualnego stanu techniki w dziedzinie transkodowania strumieni wizyjnych wykorzystującego zaawansowane techniki kompresji (punkt 2.2).
- Implementacja aplikacji służącej do prowadzenia testów subiektywnej oceny jakości sekwencji wizyjnych (punkt 2.3.3).

Rezultaty zaprezentowane w pracy powstały w wyniku ogromnej pracy eksperymentalnej, na którą składało się wykonanie około 250 tysięcy kodowań i transkodowań. Autor zakodował i transkodował łącznie około 263 godzin sekwencji wizyjnych o rozdzielczości przestrzennej 704×576 punkty i rozdzielczości czasowej 30 Hz. Na trud powstania tej pracy złożyły się również przetworzenie i analiza otrzymanych wyników.

Tak obszerna praca eksperymentalna została przeprowadzona w celu oceny i udokumentowania powtarzalności analizowanych w pracy właściwości transkodowania kaskadowego, a także transkodowania polegającego na modyfikacji próbek transformaty. Dzięki dużej liczbie przeprowadzonych testów potwierdzona została uniwersalność zaproponowanych algorytmów. Podkreślenia wymaga fakt, że ocena jakości obrazu wykonywana była zawsze na podstawie sekwencji zdekodowanych z wykorzystaniem referencyjnego dekodera standardu MPEG-4 AVC/H.264. Pozwoliło to na potwierdzenie poprawności przygotowanych implementacji zaproponowanych algorytmów transkodowania.

6.3. Dalsze badania

Dalsze badania powinny koncentrować się na poszerzeniu zakresu redukcji prędkości transmisji zaproponowanych metod. Oprócz próbek transformaty, na prędkość bitową strumienia wizyjnego duży wpływ mają zastosowane tryby kodowania makrobloków. Celowym wydaje się sprawdzenie jakie zmiany trybów kodowania powodują największą redukcję strumienia bitowego, przy jednocześnie jak najmniejszej degradacji jakości dekodowanego obrazu.

W pracy przedstawiono algorytmy transkodowania strumieni wizyjnych zgodnych z profilem głównym standardu MPEG-4 AVC/H.264. Ze względu na upowszechnianie się telewizji wysokiej jakości (HD), dalsze badania powinny dotyczyć transkodowania strumieni wizyjnych zgodnych z profilami wysokimi.

Po wyczerpaniu możliwości transkodowania z otwartą pętlą sprzężenia zwrotnego, badania mogą zmierzać w kierunku adaptacyjnych struktur wykorzystujących zalety

transkodowania z otwartą i zamkniętą pętlą. Pozwolą one, kosztem zwiększenia wymaganych nakładów obliczeniowych, zmniejszyć degradację jakości obrazu spowodowaną błędem dryftu. Problemem, na który należy zwrócić szczególną uwagę jest wykorzystywanie filtra deblokującego, którego obecność znacząco utrudnia efektywne stosowanie mechanizmów kompensacji błędów rekwantyzacji realizowanej w dziedzinie próbek transformaty.

Spis literatury

- [1] Tinku Acharya, Ajoy. K Ray. *Image Processing. Principles and Applications*. John Wiley & Sons, Inc., 2005.
- [2] Tinku Acharya, Ping-Sing Tsai. *JPEG2000 Standard for Image Compression: Concepts, Algorithms and VLSI Architectures*. John Wiley & Sons, Inc., 2005.
- [3] Ishfaq Ahmad, Xiaohui Wei, Yu Sun, Ya-Qin Zhang. Video transcoding: an overview of various techniques and research issues. *IEEE Transactions on Multimedia*, 7(5):793–804, 2005.
- [4] Alessandro Andreoli, Folco Fioretti, Samuele Pasqualini, Paola Pierleoni, Sandro Tumini. A fast method for H.263 to H.264 Intra smart-transcoding. <http://www.gtti.it/GTTI08/papers/fioretti.pdf>, 2008.
- [5] Pedro A. A. Assuncao, Mohammed Ghanbari. Post-processing of MPEG2 coded video for transmission at lower bitrates. *Proc. IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing ICASSP*, strony 1998–2001, Atlanta, GA, 1996.
- [6] Pedro A. A. Assuncao, Mohammed Ghanbari. Transcoding of single-layer MPEG video into lower rates. *IEE Proc. Vision, Image and Signal Processing*, wolumen 144, strony 377–383, grudzień 1997.
- [7] Pedro A. A. Assuncao, Mohammed Ghanbari. A frequency-domain video transcoder for dynamic bit-rate reduction of MPEG-2 bit streams. *IEEE Transactions on Circuits and Systems For Video Technology*, 8(8):953–967, grudzień 1998.
- [8] Vittorio Baronchini, Tobias Oelbaum. Subjective test results for the CfP on Scalable Video Coding Technology. ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 MPEG2004/M10737, Munich, marzec 2004.
- [9] Łukasz Błaszak. *Advanced Scalable Hybrid Video Coding*. Praca doktorska, Politechnika Poznańska, 2006.
- [10] Gregory A. Baxes. *Digital Image Processing: Principles and Applications*. John Wiley & Sons, Inc., 1994.
- [11] Jens Bialkowski, Marcus Barkowsky, Andre Kaup. Fast video transcoding from H.263 to H.264/MPEG-4 AVC. *Multimedia Tools and Applications*, 35(2):127–146, listopad 2007.

- [12] Jens Bialkowski, Andre Kaup, Klaus Illgner. Fast transcoding of Intra frames between H.263 and H.264. *Proc. IEEE International Conference on Image Processing ICIP*, wolumen 4, strony 2785–2788, 2004.
- [13] Jens Bialkowski, Mirko Menden, Marcus Barkowsky, Klaus Illgner, Andre Kaup. A fast H.263 to H.264 inter-frame transcoder with motion vector refinement. http://www.lnt.de/LMS/publications/web/lnt2004_30.pdf, 2004.
- [14] Alan Bovik, redaktor. *Handbook of Image and Video Processing*. Academic Press, wydanie 2, 2005.
- [15] Jill M. Boyce. Weighted prediction in the H.264/MPEG AVC video coding standard. *Proc. International Symposium on Circuits and Systems ISCAS*, wolumen 3, strony 789–792, 2004.
- [16] Jia-jun Bu, Lin-jian Mo, Chun Chen, Zhi Yang. Fast mode decision algorithm for spatial resolutions down-scaling transcoding to H.264. *Journal of Zhejiang University - Science A*, 7(I):70–75, 2006.
- [17] Andrzej Buchowicz. Wyznaczanie współczynników transformaty całkowitoliczbowej standardu MPEG-4/H.264 na podstawie współczynników DCT. *Materiały konferencyjne: V Sympozjum Naukowe Techniki Przetwarzania Obrazu*, listopad 2006.
- [18] Chen Chen, Ping-Hao Wu, Homer Chen. Transform-domain intra prediction for H.264. *Proc. International Symposium on Circuits and Systems ISCAS*, wolumen 2, strony 1497–1500, 2005.
- [19] Chen Chen, Ping-Hao Wu, Homer H. Chen. MPEG-2 to H.264 transcoding. *Proc. Picture Coding Symposium PCS*, grudzień 2004.
- [20] Gao Chen, Shouxun Lin, Yongdong Zhang. A fast coefficients conversion method for the transform domain MPEG-2 to H.264 transcoding. *Proc. International Conference on Digital Telecommunications ICDT*, strony 17–17, 2006.
- [21] Gao Chen, Shouxun Lin, Yongdong Zhang, Gang Cao. An new coefficients transform matrix for the transform domain MPEG-2 to H.264/AVC transcoding. *Proc. IEEE International Conference on Multimedia and Expo ICME*, strony 321–324, 2006.
- [22] Wen-Hsiung Chen, C. Harrison Smith, S. C. Fralick. A fast computational algorithm for the discrete cosine transform. *IEEE Transactions on Communications*, 25(9):1004–1009, 1977.
- [23] Jinghui Chu, Wei Lu, Yu Liu, Yuan Song, Xiaowei Song, Sile Yu. H.264/MPEG-2 transcoding based on personal video recorder platform. *Proc. IEEE International Symposium on Consumer Electronics ISCE*, strony 438–440, 2005.
- [24] Yuh-Jue Chuang, Ja-Ling Wu. An efficient matrix-based DCT splitter/merger for MPEG-2-to-AVC/H.264 transform kernel conversion. *IEEE Transactions on Circuits and Systems For Video Technology*, 17(1):120–125, styczeń 2007.
- [25] Jan De Cock, Stijn Notebaert, Peter Lambert, Davy De Schrijver, Rik Van de Walle. Requantization transcoding in pixel and frequency domain for intra 16x16 in H.264/AVC. *Lecture Notes in Computer Science*, 4179(4179):533–544, wrzesień 2006.

- [26] Jan De Cock, Stijn Notebaert, Peter Lambert, Rik Van de Walle. Bridging the gap: Transcoding from single-layer H.264/AVC to scalable SVC video streams. *Proc. Advanced Concepts for Intelligent Vision Systems, 9th International Conference, ACIVS*, strony 652–662, 2007.
- [27] Jan De Cock, Stijn Notebaert, Peter Lambert, Rik Van de Walle. Advanced bitstream rewriting from H.264/AVC to SVC. *Proc. IEEE International Conference on Image Processing ICIP*, strony 2472–2475, 2008.
- [28] Jan De Cock, Stijn Notebaert, Rik Van de Walle. Combined SNR and temporal scalability for H.264/AVC using requantization transcoding and hierarchical B pictures. *Proc. IEEE International Conference on Multimedia and Expo ICME*, strony 448–451, lipiec 2007.
- [29] Jan De Cock, Stijn Notebaert, Rik Van de Walle. A novel hybrid requantization transcoding scheme for H.264/AVC. *Proceedings of the 9th International Symposium on Signal Processing and its Applications*, strony 1–4, luty 2007.
- [30] Jan De Cock, Stijn Notebaert, Rik Van de Walle. Transcoding from H.264/AVC to SVC with CGS layers. *Proc. IEEE International Conference on Image Processing ICIP*, wolumen 4, strony 73–76, 2007.
- [31] Jan De Cock, Stijn Notebaert, Kenneth Vermeirsch, Peter Lambert, Rik Van de Walle. Efficient spatial resolution reduction transcoding for H.264/AVC. *Proc. IEEE International Conference on Image Processing ICIP*, strony 1208–1211, 2008.
- [32] Marek Domański. *Zaawansowane Techniki Kompresji Obrazów i Sekwencji Wizyjnych*. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań, 1998.
- [33] Marek Domański, Maciej Bartkowiak. Multimedia – przełom technologiczny. *Przegląd Telekomunikacyjny*, LXXVIII(6):209–210, czerwiec 2005.
- [34] Marek Domański, Jarosław Marek. Fine grain scalability of bitrate using AVC/H.264 bitstream truncation. *Picture Coding Symposium*, maj 2009. Przyjęte do publikacji.
- [35] Pierre Duhamel, Martin Vetterli. Fast fourier transforms: a tutorial review and a state of the art. *Signal Processing*, 19(4):259–299, 1990.
- [36] Tomasz Dziegielewski, Tomasz Grajek, Jarosław Marek. Eksperymentalna analiza częstotliwości wyboru trybów zaawansowanego kodowania wizyjnego. *Materiały konferencyjne: X Poznańskie Warsztaty Telekomunikacyjne*, Poznań, 2005.
- [37] Tomasz Dziegielewski, Tomasz Grajek, Jarosław Marek. Eksperymentalna analiza efektywności trybów kodowania międzyobrazowego w zaawansowanym koderze wizyjnym. *Materiały konferencyjne: Krajowa Konferencja Radiokomunikacji, Radiofonii i Telewizji*, strony 219–222, Poznań, czerwiec 2006.
- [38] Alexandros Eleftheriadis, Bimitris Anastassiou. Constrained and general dynamic rate shaping of compressed digital video. *Proc. IEEE International Conference on Image Processing ICIP*, wolumen 3, strony 396–399, październik 1995.
- [39] Alexandros Eleftheriadis, Dimitris Anastassiou. Meeting arbitrary QOS constraints using dynamic rate shaping of coded digital video. *Proc. 5th International Workshop on Network and Operating System Support for Digital Audio and Video*, strony 95–106, 1995.

- [40] Alexandros Eleftheriadis, Pankaj Batra. Dynamic rate shaping of compressed digital video. *IEEE Transactions on Multimedia*, 8(2):297–314, kwiecień 2006.
- [41] Liang Fan, Siwei Ma, Feng Wu. Overview of AVS video standard. *Proc. IEEE International Conference on Multimedia and Expo ICME*, wolumen 1, strony 423–426, 2004.
- [42] Gerardo Fernandez-Escribano, Pedro Cuenca, Luis Orozco-Barbosa, Antonio Garrido. A fast intra-frame prediction algorithm for MPEG-2/H.264 video transcoders. *Proc. IEEE International Conference on Image Processing ICIP*, wolumen 3, strony 684–687, 2005.
- [43] Gerardo Fernandez-Escribano, Hari Kalva, Pedro Cuenca, Luis Orozco-Barbosa. RD-optimization for MPEG-2 to H.264 transcoding. *Proc. IEEE International Conference on Multimedia and Expo ICME*, strony 309–312, 2006.
- [44] Gerardo Fernandez-Escribano, Hari Kalva, Pedro Cuenca, Luis Orozco-Barbosa. Speeding-up the macroblock partition mode decision in MPEG-2/H.264 transcoding. *Proc. IEEE International Conference on Image Processing ICIP*, strony 869–872, 2006.
- [45] Gerardo Fernandez-Escribano, Hari Kalva, Pedro Cuenca, Luis Orozco-Barbosa. Reducing motion estimation complexity in MPEG-2 to H.264 transcoding. *Proc. IEEE International Conference on Multimedia and Expo ICME*, strony 440–443, 2007.
- [46] Markus Flierl, Bernd Girod. Generalized B pictures and the draft H.264/AVC video-compression standard. *IEEE Transactions on Circuits and Systems For Video Technology*, 13(7):587–597, lipiec 2003.
- [47] Kai-Tat Fung, Wan-Chi Siu. Low complexity H.263 to H.264 video transcoding using motion vector decomposition. *Proc. International Symposium on Circuits and Systems ISCAS*, wolumen 2, strony 908–911, 2005.
- [48] Kai-Tat Fung, Wan-Chi Siu, A.G. Constantinides. Fast DCT to IT conversion using integer approximation for H.263 to H.264 video transcoding. *Proc. IEEE International Workshop on VLSI Design and Video Technology*, wolumen III-57, strony 377–380, maj 2005.
- [49] Kai-Tat Fung, Wan-Shi Siu. Conversion between DCT coefficients and IT coefficients in the compressed domain for H.263 to H.264 video transcoding. *Proc. IEEE International Conference on Image Processing ICIP*, wolumen 3, strony 57–60, 2005.
- [50] Mohammed Ghanbari. *Video Coding – an Introduction to Standard Codecs*. Institution Electrical Engineers, grudzień 1999.
- [51] Edward A. Grissom, P. K. Rajan. An algorithm for a fast two-dimensional discrete cosine transform. *Proc. Twenty-Second Southeastern Symposium on System Theory*, strony 646–651, 1990.
- [52] Naama Hait, David Malah. Towards model-based transrating of H.264 coded video. *Proc. IEEE 24th Convention of Electrical and Electronics Engineers in Israel*, strony 133–137, 2006.
- [53] Naama Hait, David Malah. Model-based transrating of H.264 intra-coded frames. *Proc. Picture Coding Symposium PCS*, 2007.

- [54] Zhen Han, Ruimin Hu, Li Zhu, Xincheng Zhang, Qiong Liu. Fast Inter mode selection algorithm in MPEG-2-to-AVS transcoder. *Proc. First International Conference on Innovative Computing, Information and Control ICICIC*, wolumen 2, strony 213–216, 2006.
- [55] Zhihua He, Maja Bystrom. A fast algorithm for conversion from DCT blocks to integer cosine transform blocks. *Proc. IEEE International Conference on Image Processing ICIP*, strony 3081–3084, październik 2006.
- [56] Chi-Wang Ho, Oscar C. Au, S.-H. Gary Chan, Hoi-Ming Wong, Shu-Kei Yip. Improved refinement search for H.263 to H.264/AVC transcoding based on the minimum cost tendency search. *Proc. International Symposium on Circuits and Systems ISCAS*, strony 5275–5278, 2006.
- [57] Chi-Wang Ho, Oscar C. Au, S.-H. Gary Chan, Shu-Kei Yip, Hoi-Ming Wong. Low-complexity rate control for efficient H.263 to H.264/AVC video transcoding. *Proc. IEEE International Conference on Image Processing ICIP*, strony 853–856, 2006.
- [58] YongTaek Hong, KyungHo Lee, Jingsang Kim, Won-Kyung Cho. High speed architecture for MPEG-2/H.264 video transcoding. *Proc. International Symposium on Communications and Information Technologies ISCIT*, strony 674–678, 2006.
- [59] ISO/IEC 10918-1 (JPEG) / ITU-T Rec. T.81. Digital Compression and Coding of Continuous-Tone Still Images. International Organization for Standardization / International Electrotechnical Commission, International Telecommunications Union – Telecommunication, wrzesień 1992.
- [60] ISO/IEC 11172-2 (MPEG-1). Information technology – Coding of moving pictures and associated audio for digital storage media at up to about 1,5 Mbits/sec – Part 2: Video. International Organization for Standardization / International Electrotechnical Commission Joint Technical Committee 1, 1993.
- [61] ISO/IEC 13818-2 (MPEG-2 Video) / ITU-T Rec. H.262. Generic Coding of Moving Pictures and Associated Audio – Part 2: Video. International Organization for Standardization / International Electrotechnical Commission Joint Technical Committee 1, International Telecommunications Union – Telecommunication, listopad 1994.
- [62] ISO/IEC 14496-2 (MPEG-4 Visual). Information technology – Coding of audiovisual objects – Part 2: Visual. International Organization for Standardization / International Electrotechnical Commission Joint Technical Committee 1, lipiec 1999–2003.
- [63] ISO/IEC 14496-10 (MPEG-4 AVC) / ITU-T Rec. H.264. Advanced Video Coding for Generic Audiovisual Services. International Organization for Standardization / International Electrotechnical Commission Joint Technical Committee 1, International Telecommunications Union – Telecommunication, 2003–2007.
- [64] ISO/IEC 15444-1 (JPEG2000) / ITU-T Rec. T.800. Information Technology - JPEG 2000 image coding system. International Organization for Standardization / International Electrotechnical Commission, International Telecommunications Union – Telecommunication, 2000.
- [65] ITU-R Rec. BT.500-11. Methodology for the Subjective Assessment of the Quality of Television Pictures. International Telecommunications Union – Radiocommunications, 2003.

- [66] ITU-T Rec. H.120. Codec for videoconferencing using primary digital group transmission. International Telecommunications Union – Telecommunication, wersja 1: 1984, wersja 2: 1988, wersja 3: 1993.
- [67] ITU-T Rec. H.261. Video codec for audiovisual services at $p \times 64$ kbit/s. International Telecommunications Union – Telecommunication, wersja 1: 1990, wersja 2: 1993.
- [68] ITU-T Rec. H.263. Video Coding for Low Bit Rate Communication. International Telecommunications Union – Telecommunication, wersja 1: 1995, wersja 2: 1998, wersja 3: 2000.
- [69] ITU-T Rec. P.910. Subjective video quality assessment methods for multimedia applications. International Telecommunications Union – Telecommunication, 1999.
- [70] Mehdi Jafari, Shohreh Kasaei. An efficient intra prediction mode decision algorithm for H.263 to H.264 transcoding. *Proc. IEEE International Conference on. Computer Systems and Applications*, strony 1082–1089, 2006.
- [71] Hari Kalva, Jae-Beom Lee. The vc-1 video coding standard. 14(4):88–91, 2007.
- [72] Hari Kalva, Branko Petljanski, Borko Furht. Complexity reduction tools for MPEG-2 to H.264 video transcoding. *WSEAS Transactions on Information Science & Applications*, 2:295–300, marzec 2005.
- [73] Nejat Kamaci, Yucel Altunbasak. Performance comparison of the emerging H.264 video coding standard with the existing standards. *Proc. IEEE International Conference on Multimedia and Expo ICME*, wolumen 1, strony 345–348, 2003.
- [74] Gertjan Keesmana, Robert Hellinghuizen, Fokke Hoeksemab, Geert Heidemanb. Transcoding of MPEG bitstreams. *Signal Processing: Image Communication*, 8(6):481–500, 1996.
- [75] Jongho Kim, Ki-cheol Jeon, Donghyung Kim, Jechang Jeong. Adaptive requantization based on a novel Q-D model for efficient bit-rate transcoding of MPEG bitstreams. *Proc. International Workshop on Advanced Image Technology IWAIT*, strony 117–121, styczeń 2006.
- [76] Sung-Eun Kim, Jong-Ki Han, Jae-Gon Kim. Efficient motion estimation algorithm for MPEG-4 to H.264 transcoder. *Proc. IEEE International Conference on Image Processing ICIP*, wolumen 3, strony 656–659, 2005.
- [77] C.W. Kok. Fast algorithm for computing discrete cosine transform. *IEEE Transactions on Signal Processing*, 45(3):757–760, 1997.
- [78] H. Koto, A. Yoneyama, Y. Takishima, Y. Kaji. Coding mode decision for high quality MPEG-2 to H.264 transcoding. *Proc. IEEE International Conference on Image Processing ICIP*, wolumen 4, strony 77–80, 2007.
- [79] Mehmet Kucukgoz, Ming-Ting Sun. Early-stop and motion vector reuse for MPEG-2 to H.264 transcoding. *Proceedings of the SPIE*, wolumen 5308, strony 932–936, styczeń 2004.
- [80] P. Kunzelmann, H. Kalva. Reduced complexity H.264 to MPEG-2 transcoder. *Proc. Digest of Technical Papers. International Conference on Consumer Electronics ICCE*, strony 1–2, 2007.

- [81] Gwo Giun Lee, He-Yuan Lin, Ming-Jiun Wang. Textural complexity-based rate control algorithm. *Proc. IEEE International Conference on Multimedia and Expo ICME*, strony 1109–1112, 2008.
- [82] Jae-Beom Lee, Hari Kalva. An efficient algorithm for VC-1 to H.264 video transcoding in progressive compression. *Proc. IEEE International Conference on Multimedia and Expo ICME*, strony 53–56, 2006.
- [83] Joo-Kyong Lee, Ki-Dong Chung. Quantization/DCT conversion scheme for DCT-domain MPEG-2 to H.264/AVC transcoding. *IEICE Transactions on Communications*, 88(7):2856–2863, 2005.
- [84] Damien Lefol, Dave Bull. Mode refinement algorithm for H.264 inter frame requantization. *Proc. IEEE International Conference on Image Processing ICIP*, strony 845–848, 2006.
- [85] Damien Lefol, Dave Bull, Nishan Canagarajah. Performance evaluation of transcoding algorithms for H.264. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 52(1):215–222, luty 2006.
- [86] Damien Lefol, David Bull, Nishan Canagarajah, David Redmill and. An efficient complexity-scalable video transcoder with mode refinement. *Image Communication*, 22(4):421–433, kwiecień 2007.
- [87] Damien Lefol, David R. Bull, Cedric Nishan Canagarajah. Mode refinement algorithm for H.264 intra frame requantization. *Proc. IEEE International Symposium on Circuits and Systems ISCAS*, strony 4459–4463, 2006.
- [88] Chih-Hung Li, Han Lin, Chung-Neng Wang, Tihao Chiang. A fast H.264-based picture-in-picture (PIP) transcoder. *Proc. IEEE International Conference on Multimedia and Expo ICME*, wolumen 3, strony 1691–1694, 2004.
- [89] Chih-Hung Li, Chung-Neng Wang, Tihao Chiang. A fast downsizing video transcoder based on H.264/AVC standard. *Lecture Notes in Computer Science*, 3333/2005:215–223, 2004.
- [90] Chih-Hung Li, Chung-Neng Wang, Tihao Chiang. A low complexity picture-in-picture transcoder for video-on-demand. *Proc. International Conference on Wireless Networks, Communications and Mobile Computing*, wolumen 2, strony 1382–1387, 2005.
- [91] Chih-Hung Li, Chung-Neng Wang, Tihao Chiang. A multiple-window video embedding transcoder based on H.264/AVC standard. *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing*, 2007(2):17, 2007.
- [92] Yongfang Liang, Xiaohui Wei, Ishfaq Ahmad, Vishwanathan Swaminathan. MPEG-4 to H.264/AVC transcoding. *Proc. International Conference On Communications And Mobile Computing*, strony 689–693, Honolulu, Hawaii, USA, 2007.
- [93] Sung-Chang Lim, Hyeong-Ryul Na, Yung-Lyul Lee. Rate control based on linear regression for H.264/MPEG-4 AVC. *Signal Processing: Image Communication*, 22(1):39–58, 2007.
- [94] Xingang Liu, Kook-Yeol Yoo. Statistical analysis and derivation of intra MB mode decision rules for MPEG-2 to H.264/AVC transcoding. *Proc. Digest of Technical Papers. International Conference on Consumer Electronics ICCE*, strony 1–2, 2008.

- [95] Xingang Liu, Wei Zhu, Kook-Yeol Yoo. MB energy trend-based intra prediction algorithm for MPEG-2 to H.264/AVC transcoding. *Proc. International Symposium on Parallel and Distributed Processing with Applications ISPA*, strony 510–515, 2008.
- [96] Yu Liu, Wei Lu, Li Wang, Kaihua Liu. Design of MPEG-2 to H. 264/AVC transcoder. *Proc. IEEE International Symposium on Consumer Electronics ISCE*, strony 1–3, 2006.
- [97] Henrique S. Malvar, Antti Hallapuro, Marta Karczewicz, Louis Kerofsky. Low-complexity transform and quantization in H.264/AVC. *IEEE Transactions on Circuits and Systems For Video Technology*, 13(7):598–603, 2003.
- [98] Jarosław Marek. Transkodowanie sekwencji wizyjnych wykorzystujące zaawansowane techniki kompresji. *Przegląd Telekomunikacyjny*, 4:565–568, 2008.
- [99] Jarosław Marek. Homogeneous video transcoding of H.264/AVC intra coded frames. *Lecture Notes in Computer Science*, 5337:198–207, 2009. W druku.
- [100] Jarosław Marek, Marek Domański. Direct transcoding of AVC/H.264 bitstreams for bitrate reduction with optimized video quality losses. *The 2009 International Conference on Image Processing, Computer Vision, and Pattern Recognition IPCV'09*, Las Vegas, lipiec 2009. Przyjęte do publikacji.
- [101] Detlev Marpe, Heiko Schwarz, Thomas Wiegand. Context-based adaptive binary arithmetic coding in the H.264/AVC video compression standard. *IEEE Transactions on Circuits and Systems For Video Technology*, 13(7):620–636, 2003.
- [102] Alexis Mather. GPU-accelerated video encoding. The state of the art. http://ati.amd.com/products/firepro/Siggraph_2008_video_encode_final.pdf, sierpień 2008.
- [103] Rakesh Mohan, John R. Smith, Chung-Sheng Li. Adapting multimedia Internet content for universal access. *IEEE Transactions on Multimedia*, 1(1):104–114, 1999.
- [104] S. Moiron, S. Faria, P. Assuncao, V. Silva, A. Navarro. Fast interframe transcoding from H.264 to MPEG-2. *Proc. IEEE International Conference on Image Processing ICIP*, wolumen 4, strony 69–72, 2007.
- [105] Hyeong-Min Nam, Byoung-Kyu Dan, Hye-Soo Kim, Jae-Yun Jeong, Sung-Jea Ko. Low complexity H.264 transcoder for bitrate reduction. *Proc. International Symposium on Communications and Information Technologies ISCIT*, strony 679–682, 2006.
- [106] Toan Dinh Nguyen, Gueesang Lee, June-Young Chang, Han-Jin Cho. Efficient MPEG-4 to H.264/AVC transcoding with spatial downscaling. *ETRI Journal*, 29(6):826–828, grudzień 2007.
- [107] Viet-Anh Nguyen, Yap-Peng Tan. Efficient H.263 to H.264/AVC video transcoding using enhanced rate control. *Proc. IEEE International Conference on Image Processing ICIP*, wolumen 3, strony 652–655, 2005.
- [108] Viet-Anh Nguyen, Yap-Peng Tan. Efficient video transcoding between H.263 and H.264/AVC standards. *Proc. International Symposium on Circuits and Systems ISCAS*, wolumen 2, strony 904–907, 2005.
- [109] Stijn Notebaert, Jan De Cock, Koen De Wolf, Rik Van de Walle. Requantization transcoding of H.264/AVC bitstreams for Intra 4x4 prediction modes. *Lecture Notes in Computer Science*, 4261:808–817, listopad 2006.

- [110] Stijn Notebaert, Jan De Cock, Peter Lambert, Rik Van de Walle. Rate-controlled requantization transcoding for H.264/AVC video streams. *Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE) Conference Series*, wolumen 7073 serii *Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE) Conference Series*, październik 2008.
- [111] Stijn Notebaert, Jan De Cock, Davy De Schrijver, Koen De Wolf, Rik Van de Walle. Quality analysis of requantization transcoding architectures for H.264/AVC. Andrew G. Tescher, redaktor, *Proc. Applications of Digital Image Processing XXIX*, wolumen 6312, strona 63120X. SPIE, 2006.
- [112] Stijn Notebaert, Jan De Cock, Rik Van de Walle. Improved H.264/AVC requantization transcoding using low-complexity interpolation filters for 1/4-pixel motion compensation. *Proc. IEEE Symposium Series on Computational Intelligence*, strony 307–312, kwiecień 2007.
- [113] Stijn Notebaert, Jan De Cock, Kenneth Vermeersch, Peter Lambert, Rik Van de Walle. Improved dynamic rate shaping for H.264/AVC video streams. *Proc. IEEE International Conference on Image Processing ICIP*, strony 1616–1619, 2008.
- [114] NVIDIA. NVIDIA Cuda delivers 446% speed increase to Pegasys video processing solution. http://www.nvidia.com/object/io_1219659328915.html, sierpień 2008.
- [115] Tobias Oelbaum, Vittorio Baroncini, Thiow Keng Tan, Charles Fenimore. Subjective quality assessment of the emerging AVC/H.264 video coding standard. *International Broadcasting Convention IBC*, Amsterdam, 2004.
- [116] Jens R. Ohm. *Multimedia Communication Technology. Representation, Transmission and Identification of Multimedia Signals*. Springer-Verlag, Berlin, 2004.
- [117] Jens R. Ohm. Advances in scalable video coding. *Proceedings of the IEEE*, 93(1):42–56, 2005.
- [118] Antonio Ortega, Kamman Ramchandran. Rate-distortion methods for image and video compression. *IEEE Signal Processing Magazine*, 15(6):23–50, listopad 1998.
- [119] F. Pan, X. Lin, S. Rahardja, W. Lin, E. Ong, S. Yao, Z. Lu, X. Yang. A locally-adaptive algorithm for measuring blocking artifacts in images and videos. *Proc. International Symposium on Circuits and Systems ISCAS*, 3:925–928, maj 2004.
- [120] Maria Pantoja, Hari Kalva, Jae-Beom Lee. P-frame transcoding in VC-1 to H.264 transcoders. *Proc. IEEE International Conference on Image Processing ICIP*, wolumen 5, strony 297–300, 2007.
- [121] Chan Yul Park, Nam Ik Cho. A fast algorithm for the conversion of DCT coefficients to H.264 transform coefficients. *Proc. IEEE International Conference on Image Processing ICIP*, wolumen 3, strony 664–667, wrzesień 2005.
- [122] Gwang Hoon Park, Yoon Jin Lee. Water ring scan method for H.26L based FGS. Joint Video Team (JVT) of ISO/IEC MPEG & ITU-T VCEG (ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 and ITU-T SG16 Q.6), JVT-B094, Geneva, styczeń–luty 2002.
- [123] Samuele Pasqualini, Paola Pierleoni, Folco Fioretti, Alessandro Andreoli. Adaptive threshold for Intra frame prediction in H.263 to H.264 smart-transcoder. *Proc. 10th International Conference on Advanced Communication Technology ICACT*, wolumen 2, strony 1439–1444, luty 2008.

- [124] Ricardo R. Pastrana-Vidal, Jean-Charles Gicquel. Automatic quality assessment of video uidity impairments using a no-reference metric. *Proc. of International Workshop on Video Processing and Quality Metrics for Consumer Electronics VPQM*, Scottsdale, styczeń 2006.
- [125] Vasant Patil, Rajeev Kumar. A fast arbitrary factor H.264/AVC video re-sizing algorithm. *Proc. IEEE International Conference on Image Processing ICIP*, wolumen 4, strony 65–68, październik 2007.
- [126] William B. Pennebaker, Joan L. Mitchell. *JPEG: Still Image Data Compression Standard (Digital Multimedia Standards)*. Kluwer Academic Publishers, 1993.
- [127] R. Pereira, K. R. Rao, A. Kruafak. Efficient transcoding of an MPEG-2 bit stream to an H.264 bit stream. *Proc. International Symposium on Communications and Information Technologies ISCIT*, strony 687–691, październik – wrzesień 2006.
- [128] Branko Petjanski, Hari Kalva. DCT domain intra MB mode decision for MPEG-2 to H.264 transcoding. *Proc. Digest of Technical Papers. International Conference on Consumer Electronics ICCE*, strony 419–420, 2006.
- [129] Tuanjie Qian, Jun Sun, Dian Li, Xiaokang Yang, Jia Wang. Transform domain transcoding from MPEG-2 to H.264 with interpolation drift-error compensation. *IEEE Transactions on Circuits and Systems For Video Technology*, (4):523–534, kwiecień 2006.
- [130] Gulistan Raja, Muhammad J. Mirza. Performance comparison of advanced video coding H.264 standard with baseline H.263 and H.263+ standards. *IEEE International Symposium on Communications and Information Technology ISCIT*, wolumen 2, strony 743–746, październik 2004.
- [131] Kannan Ramchandran, Antonio Ortega, Martin Vetterli. Bit allocation for dependent quantization with applications to multiresolution and MPEG video coders. *IEEE Transactions on Image Processing*, 3(5):533–545, 1994.
- [132] Jordi Ribas-Corbera. Windows Media 9 series a platform to deliver compressed audio and video for internet and broadcast applications. http://www.ebu.ch/en/technical/trev/trev_293-ribas.pdf, styczeń 2003. EBU Technical Review.
- [133] Iain E. G. Richardson. *Video Codec Design: Developing Image and Video Compression Systems*. John Wiley & Sons, Inc., Chichester, wydanie 4, 2002.
- [134] Iain E. G. Richardson. *H.264 and MPEG-4 Video Compression, Video Coding for Next-generation Multimedia*. John Wiley & Sons, Inc., Chichester, 2003.
- [135] Abdul H. Sadka. *Compressed video communications*. John Wiley & Sons, Inc., New York, 2002.
- [136] David Salomon. *Data Compression: The Complete Reference*. Springer Verlag, wydanie 4, 2007.
- [137] Khalid Sayood. *Introduction To Data Compression*. Academic Press, wydanie 3, 2005.
- [138] Ralf Schafer, Thomas Sikora. Digital video coding standards and their role in video communications. *Proceedings of the IEEE*, 83(6):907–924, 1995.

- [139] Ralf Schafer, Thomas Wiegand, Heiko Schwarz. The emerging H.264/AVC standard. *EBU Technical Review*, styczeń 2003.
- [140] Heiko Schwarz, Detlev Marpe, Thomas Wiegand. Overview of the scalable video coding extension of the H.264/AVC standard. *IEEE Transactions on Circuits and Systems For Video Technology*, 17(9):1103–1120, wrzesień 2007.
- [141] M. Shaaban, M. Bayoumi. An efficient frequency domain intra prediction for H.264/AVC. *Proc. IEEE International Conference on Image Processing ICIP*, strony 2460–2463, 2008.
- [142] S. Sharma, K. R. Rao. Transcoding of H.264 bitstream to MPEG-2 bitstream. *Proc. Asia-Pacific Conference on Communications APCC*, strony 391–396, 2007.
- [143] Bo Shen. From 8-tap DCT to 4-tap integer-transform for MPEG to H.264/AVC transcoding. *Proc. IEEE International Conference on Image Processing ICIP*, wolumen 1, strony 115–118, październik 2004.
- [144] Guobin Shen, Y. He, Wanyong Cao, Shipeng Li. MPEG-2 to WMV transcoder with adaptive error compensation and dynamic switches. *IEEE Transactions on Circuits and Systems For Video Technology*, 16(12):1460–1476, listopad 2006.
- [145] Guobin Shen, Yuwen He, Wanyong Cao, Shipeng Li. Complexity scalable 2 : 1 resolution downscaling MPEG-2 to WMV transcoder with adaptive error compensation. *Proc. IEEE International Conference on Multimedia and Expo ICME*, strony 1449–1452, lipiec 2006.
- [146] Guobin Shen, Yuwen He, Wanyong Cao, Shipeng Li. Complexity scalable MPEG-2 to WMV transcoder with adaptive error compensation. *Proc. International Symposium on Circuits and Systems ISCAS*, strony 1711–1714, 2006.
- [147] Huifeng Shen, Xiaoyan Sun, Feng Wu. Fast H.264/MPEG-4 AVC transcoding using power-spectrum based rate-distortion optimization. *IEEE Transactions on Circuits and Systems For Video Technology*, 18(6):746–755, 2008.
- [148] Huifeng Shen, Xiaoyan Sun, Feng Wu, Houqiang Li, Shipeng Li. A fast downsizing video transcoder for H.264/AVC with rate-distortion optimal mode decision. *Proc. IEEE International Conference on Multimedia and Expo ICME*, strony 2017–2020, 2006.
- [149] Huifeng Shen, Xiaoyan Sun, Feng Wu, Shipeng Li. Rate-distortion optimization for fast hierarchical B-picture transcoding. *Proc. International Symposium on Circuits and Systems ISCAS*, strony 5279–5282, 2006.
- [150] Yu Shengfa, Chen Zhenping, Zhuang Zhaowen. Efficient Intra mode prediction decision for MPEG-2 to H.264/AVC transcoding. *Proc. 8th International Conference on Signal Processing*, wolumen 2, 2006.
- [151] Yun Q. Shi, Huifang Sun. *Image and Video Compression for Multimedia Engineering: Fundamentals, Algorithms and Standards*. CRC Press, Boca Raton, 2000.
- [152] Il-Hong Shin, Yung-Lyul Lee, HyunWook Park. Motion estimation for frame-rate reduction in H.264 transcoding. *Proc. Second IEEE Workshop on Software Technologies for Future Embedded and Ubiquitous Systems*, strony 63–67, 2004.
- [153] Władysław Skarbek, redaktor. *Multimedia. Algorytmy i Standardy Kompresji*. Akademicka Oficyna Wydawnicza PLJ, Warszawa, 1998.

- [154] Władysław Skarbek, Andrzej Buchowicz. Transkodowanie MPEG-2/H.264 w trybie Intra. *Przegląd Telekomunikacyjny*, 4:569–572, 2008.
- [155] SMPTE 421M. Proposed SMPTE Standard for Television: VC-1 Compressed Video Bitstream Format and Decoding Process. SMPTE Technology Committee C24 on Video Compression Technology, sierpień 2005.
- [156] Hani Sorial, William E. Lynch, Andre Vincent. Selective requantization for transcoding of MPEG compressed video. *Proc. IEEE International Conference on Multimedia and Expo ICME*, wolumen 1, strony 217–220, lipiec – sierpień 2000.
- [157] The Standards of People’s Republic of China GB/T 20090.2-2006. Information Technology – Advanced Coding of Audio and Video - Part 2:Video. Audio Video Coding Standard Workgroup of China (AVS), 2006.
- [158] Thomas Stockhammer, Thomas Wiegand. H.264/AVC for wireless applications. *IEEE International Workshop on Mobile Multimedia Communications MoMuC*, Munich, październik 2003.
- [159] Yeping Su, Jun Xin, Anthony Vetro, Huifang Sun. Efficient MPEG-2 to H.264/AVC intra transcoding in transform-domain. *Proc. International Symposium on Circuits and Systems ISCAS*, wolumen 2, strony 1234–1237, 2005.
- [160] Karsten Sühning. H.264/AVC software coordination. <http://iphome.hhi.de/suehring/tml/>.
- [161] Gary J. Sullivan. Adaptive quantization encoding technique using an equal expected-value rule. Joint Video Team (JVT) of ISO/IEC MPEG & ITU-T VCEG (ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 and ITU-T SG16 Q.6), JVT-N011, Hong Kong, styczeń 2005.
- [162] Gary J. Sullivan. Adaptive quantization yielding 10 db gain. Joint Video Team (JVT) of ISO/IEC MPEG & ITU-T VCEG (ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 and ITU-T SG16 Q.6), JVT-P015, Poznań, lipiec 2005.
- [163] Gary J. Sullivan, Pankaj N. Topiwala, Ajay Luthra. The H.264/AVC Advanced Video Coding standard: overview and introduction to the fidelity range extensions. *Proceedings of the SPIE, Applications of Digital Image Processing XXVII*, wolumen 5558, strony 454–474, sierpień 2004.
- [164] Gary J. Sullivan, Thomas Wiegand. Rate-distortion optimization for video compression. *IEEE Signal Processing Magazine*, 15(6):74–90, listopad 1998.
- [165] Gary J. Sullivan, Thomas Wiegand. Video compression – from concepts to the H.264/AVC standard. *Proceedings of the IEEE*, 93(1):18–31, styczeń 2005.
- [166] Huifang Sun, Xuemin Chen, Tihao Chiang. *Digital Video Transcoding for Transmission & Storage*. CRC Press, 2005.
- [167] Huifang Sun, Wilson Kwok, Joel W. Zdepski. Architectures for MPEG compressed bitstream scaling. *IEEE Transactions on Circuits and Systems For Video Technology*, 6(2):191–199, kwiecień 1996.
- [168] Yap-Peng Tan, Haiwei Sun. Fast motion re-estimation for arbitrary downsizing video transcoding using H.264/AVC standard. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 50(3):887–894, sierpień 2004.

- [169] Qiang Tang, Hassan Mansour, Panos Nasiopoulos, Rabab Ward. Bit-rate estimation for bit-rate reduction H.264/AVC video transcoding in wireless networks. *Proc. International Symposium on Wireless Pervasive Computing ISWPC*, strony 464–467, 2008.
- [170] Qiang Tang, P. Nasiopoulos, R. Ward. Fast block size prediction for MPEG-2 to H.264/AVC transcoding. *Proc. IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing ICASSP*, strony 1029–1032, 2008.
- [171] Qiang Tang, Panos Nasiopoulos, Rabab Ward. An efficient re-quantization error compensation for MPEG2 to H.264 transcoding. *Proc. IEEE International Symposium on Signal Processing and Information Technology*, strony 530–535, 2006.
- [172] Qiang Tang, Panos Nasiopoulos, Rabab Ward. Efficient chrominance compensation for MPEG2 to H.264 transcoding. *Proc. IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing ICASSP*, wolumen 1, strony 1129–1132, 2007.
- [173] Qiang Tang, Panos Nasiopoulos, Rabab K. Ward. Compensation of requantization and interpolation errors in MPEG-2 to H.264 transcoding. *IEEE Transactions on Circuits and Systems For Video Technology*, 18(3):314–325, 2008.
- [174] Qiang Tang, Rabab K. Ward, Panos Nasiopoulos. An efficient MPEG2 to H.264 half-pixel motion compensation transcoding. *Proc. IEEE International Conference on Image Processing ICIP*, strony 865–868, 2006.
- [175] Xiaojun Tang, Qingxiu Du, Shulin Shang. Fast Intra prediction mode decision for MPEG-2 to H.264 transcoding. *Proc. IEEE International Conference on Multimedia and Expo ICME*, strony 428–431, 2007.
- [176] David S. Taubman, Michael W. Marcellin. *JPEG2000: Image Compression Fundamentals, Standards, and Practice*. Kluwer Academic Publishers, Boston, 2002.
- [177] A. Murat Tekalp. *Digital Video Processing*. Prentice Hall PTR, Upper Saddle River, 1995.
- [178] Nithin M. Thomas, Damien Lefol, David R. Bull, David Redmill. A novel secure H.264 transcoder using selective encryption. *Proc. IEEE International Conference on Image Processing ICIP*, wolumen 4, strony 85–88, 2007.
- [179] Xin Tong, David J. Heeger, Christian J. van den Branden Lambrecht. Video quality evaluation using ST-CIELAB. Bernice E. Rogowitz, Thrasyvoulos N. Pappas, redaktorzy, *Proceedings of the SPIE*, wolumen 3644, strony 185–196, San Jose, styczeń 1999.
- [180] Anthony Vetro, Charilaos Christopoulos, Huifang Sun. Video transcoding architectures and techniques: an overview. *IEEE Signal Processing Magazine*, 20(2):18–29, 2003.
- [181] Xiang-Wen Wang, Jun Sun, Rong Xie, Song-Yu Yu. Efficient video downscaling transcoder from MPEG-2 to H.264. *Journal of Zhejiang University - Science A*, 9(4):457–463, kwiecień 2008.
- [182] Yong Wang, Jae-Gon Kim, Shih-Fu Chang, Hyung-Myung Kim. Utility-based video adaptation for Universal Multimedia Access (UMA) and content-based utility function prediction for real-time video transcoding. *IEEE Transactions on Multimedia*, 9(2):213–220, luty 2007.

- [183] Zhihang Wang, Wen Gao, Debin Zhao, Qingming Huang. A fast Intra mode decision algorithm for AVS to H.264 transcoding. *Proc. IEEE International Conference on Multimedia and Expo ICME*, strony 61–64, lipiec 2006.
- [184] Zhihang Wang, Xiangyang Ji, Wen Gao, Qingming Huang, Debin Zhao. Effective algorithms for fast transcoding of AVS to H.264/AVC in the spatial domain. *Multimedia Tools and Applications*, 35(2):175–202, listopad 2007.
- [185] Zhou Wang, Al Bovik. *Modern Image Quality Assessment*. Morgan & Claypool Publishers, 2006.
- [186] Zhou Wang, Hamid R. Sheikh, Alan C. Bovik. No-reference perceptual quality assessment of JPEG compressed images. *Proc. IEEE International Conference on Image Processing ICIP*, 1:477–480, 2002.
- [187] Thomas Wedi, Steffen Wittmann. Rate-distortion constrained estimation of quantization offsets. Joint Video Team (JVT) of ISO/IEC MPEG & ITU-T VCEG (ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 and ITU-T SG16 Q.6), JVT-O066, Busan, kwiecień 2005.
- [188] Xiang Hui Wei, Shen Li, S. Goto. A motion vector prediction scheme for MPEG-2 to H.264 transcoding based on smoothness of motion vector field. *Proc. IEEE International Conference on Multimedia and Expo ICME*, strony 424–427, 2007.
- [189] Xianghui Wei, Wenming Tang, Guifen Tian, Satoshi Goto. A low bandwidth integer motion estimation module for MPEG-2 to H.264 transcoding. *Proc. IEEE Asia Pacific Conference on Circuits and Systems APCCAS*, strony 1470–1473, 2008.
- [190] Xianghui Wei, Wenming Tang, Guifen Tian, T. Ikenaga, S. Goto. A hardware-oriented high precision motion vector prediction scheme for MPEG-2 to H.264 transcoding. *Proc. Congress on Image and Signal Processing CISP*, wolumen 1, strony 278–282, 2008.
- [191] Xianghui Weir, Shen Li, Yang Song, Satoshi Goto. An irregular search window reuse scheme for motion estimation in MPEG-2 to H.264 transcoding. *Proc. International Symposium on Circuits and Systems ISCAS*, strony 1987–1990, 2007.
- [192] Oliver Werner. Requantization for transcoding of MPEG-2 intraframes. *IEEE Transactions on Image Processing*, 8(2):179–191, luty 1999.
- [193] Thomas Wiegand, Michael Lightstone, Debargha Mukherjee, T. George Campbell, Sanjit K. Mitra. Rate-distortion optimized mode selection for very low bit rate video coding and the emerging H.263 standard. *IEEE Transactions on Circuits and Systems For Video Technology*, 6(2):182–190, kwiecień 1996.
- [194] Thomas Wiegand, Heiko Schwarz, Anthony Joch, Faouzi Kossentini, Gary J. Sullivan. Rate-constrained coder control and comparison of video coding standards. *IEEE Transactions on Circuits and Systems For Video Technology*, 13(7):688–703, lipiec 2003.
- [195] Thomas Wiegand, Gary J. Sullivan, Gisle Bjøntegaard, Ajay Luthra. Overview of the H.264/AVC video coding standard. *IEEE Transactions on Circuits and Systems For Video Technology*, 13(7):560–576, lipiec 2003.
- [196] Stefan Winkler. *Digital Video Quality. Vision Models and Metrics*. John Wiley & Sons, Inc., Chichester, 2005.

- [197] Peter H. W. Wong, Robert T. W. Hung, Jack Y. B. Lee, S. C. Liew, C. S. Kim, Roland T. Chin. Rate estimation for H.264/AVC spatial resolution reduction. *Proc. IEEE International Conference on Image Processing ICIP*, wolumen 4, strony 2773–2776, 2004.
- [198] You-Neng Xiao, Hong Lu, Xiangyang Xue, Viet-Anh Nguyen, Yap-Peng Tan. Efficient rate control for MPEG-2 to H.264/AVC transcoding. *Proc. International Symposium on Circuits and Systems ISCAS*, wolumen 2, strony 1238–1241, 2005.
- [199] Rong Xie, Jilin Liu, Xingguo Wang. Efficient MPEG-2 to MPEG-4 compressed video transcoding. *Proc. SPIE – Visual Communications and Image Processing*, wolumen 4671, strony 192–201, San Jose, CA, styczeń 2002.
- [200] Jun Xin, Chia-Wen Lin, Ming-Ting Sun. Digital video transcoding. *Proceedings of the IEEE*, 93(1):84–97, 2005.
- [201] Jun Xin, A. Vetro, S. Sekiguchi. A study of MPEG-2 to H.264/AVC transcoding with half-horizontal resolution. *Proc. Digest of Technical Papers. International Conference on Consumer Electronics ICCE*, strony 1–2, 2008.
- [202] Jun Xin, A. Vetro, S. Sekiguchi, K. Sugimoto. MPEG-2 to H.264/AVC transcoding for efficient storage of broadcast video bitstreams. *Proc. Digest of Technical Papers. International Conference on Consumer Electronics ICCE*, strony 417–418, 2006.
- [203] Jun Xin, A. Vetro, S. Sekiguchi, K. Sugimoto. Motion and mode mapping for MPEG-2 to H.264/AVC transcoding. *Proc. IEEE International Conference on Multimedia and Expo ICME*, strony 313–316, 2006.
- [204] Jun Xin, Anthony Vetro, Huifang Sun. Converting DCT coefficients to H.264/AVC transform coefficients. *Lecture Notes in Computer Science*, 3332/2005:939–946, 2005.
- [205] Tianxiao Ye, Yap-Peng Tan, Ping Xue. A low complexity H.263 to H.264 transcoder. *Proc. International Symposium on Circuits and Systems ISCAS*, strony 5287–5290, 2006.
- [206] Sang-Jun Yu, Jin-Su Myung, Dong-Gyu Sim, Seoung-Jun Oh. Enhanced transform domain intra prediction for MPEG-2 to H.264/AVC transcoding. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 54(2):703–708, 2008.
- [207] Jijun Zhang, Andrew Perkis. A media research engine for Universal Multimedia Access (UMA). *Proc. The First Cost #276 Workshop On Information and Knowledge Management for Integrated Media Communication*, Madrid, listopad 2001.
- [208] Jijun Zhang, Andrew Perkis, Nicolas D. Georganas. H.264/AVC and transcoding for multimedia adaptation. http://www.q2s.ntnu.no/publications/open/2004/Paper_rev/2004_zhang_HTM.pdf, grudzień 2004.
- [209] Peng Zhang, Qing-Ming Huang, Wen Gao. Key techniques of bit rate reduction for H.264 streams. *Lecture Notes in Computer Science*, 3332:985–992, 2004.
- [210] Peng Zhang, Xiangyang Ji, Wen Gao, Qingming Huang. Drift-compensated coding optimization for fast bit-rate reduction transcoding. *Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE) Conference Series*, wolumen 6508, styczeń 2007.
- [211] Peng Zhang, Yan Lu, Qingming Huang, Wen Gao. Mode mapping method for H.264/AVC spatial downscaling transcoding. *Proc. IEEE International Conference on Image Processing ICIP*, wolumen 4, strony 2781–2784, 2004.

- [212] Jie Zhao, Andrew Segall. New results using entropy slices for parallel decoding. *VCEG-AI32*, 2008.
- [213] Zhi Zhou, Shijun Sun, Shawmin Lei, Ming-Ting Sun. Motion information and coding mode reuse for MPEG-2 to H.264 transcoding. *Proc. International Symposium on Circuits and Systems ISCAS*, wolumen 2, strony 1230–1233, 2005.

Dodatki

Sekwencje testowe

Na rysunkach A.1–A.4 przedstawione zostały przykładowe kadry z sekwencji używanych do badań. Jest to również materiał wizyjny, który był wykorzystywany w procesie tworzenia standardu MPEG-4 AVC/H.264. Rozdzielczości przestrzenna i czasowa przedstawionych sekwencji wynosiły odpowiednio 704×576 punktów i 30 obrazów na sekundę. Są to sekwencje z wybieraniem kolejnoliniowym.



Rysunek A.1: Przykładowy kadr z sekwencji CITY.



Rysunek A.2: Przykładowy kadr z sekwencji CREW



Rysunek A.3: Przykładowy kadr z sekwencji HARBOUR

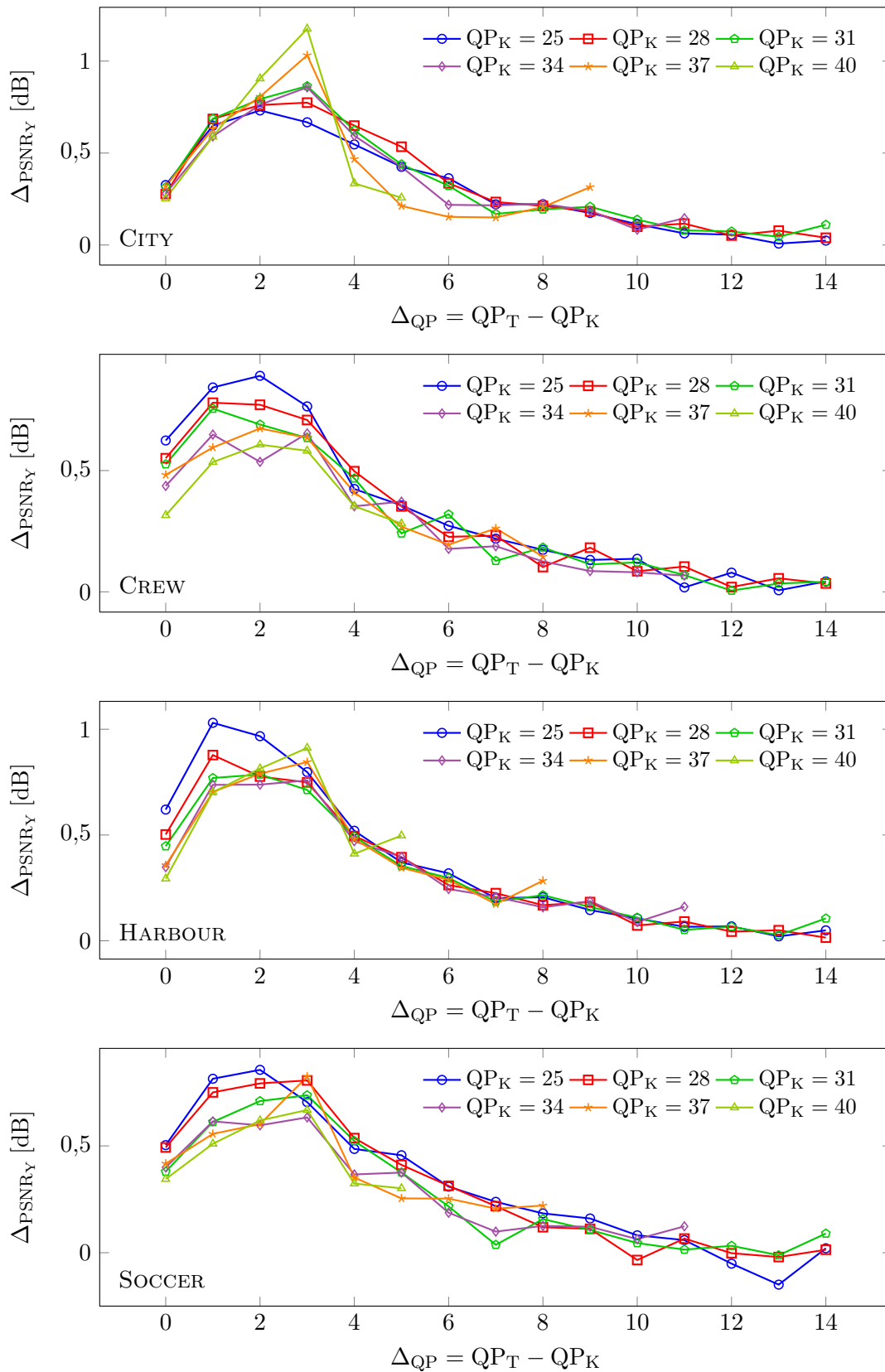


Rysunek A.4: Przykładowy kadr z sekwencji SOCCER

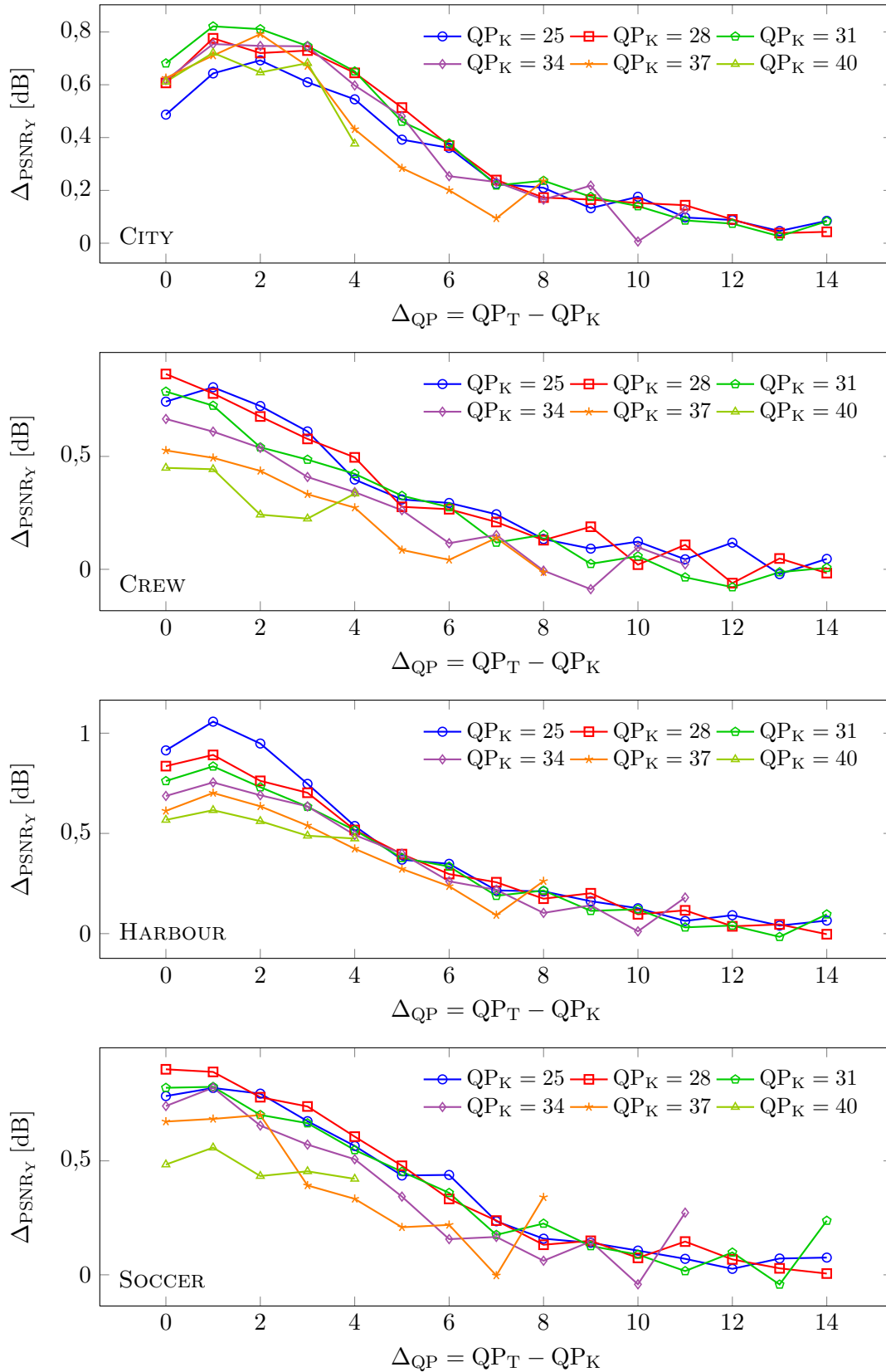
Uzupełnienia do rozdziału: Analiza transkodera kaskadowego

Poniżej znajdują się wyniki badań, które ze względu na obszerność nie mogły znaleźć się w zasadniczej części pracy. Jest to wybrany podzbiór, który jest reprezentatywny dla całości otrzymanych wyników.

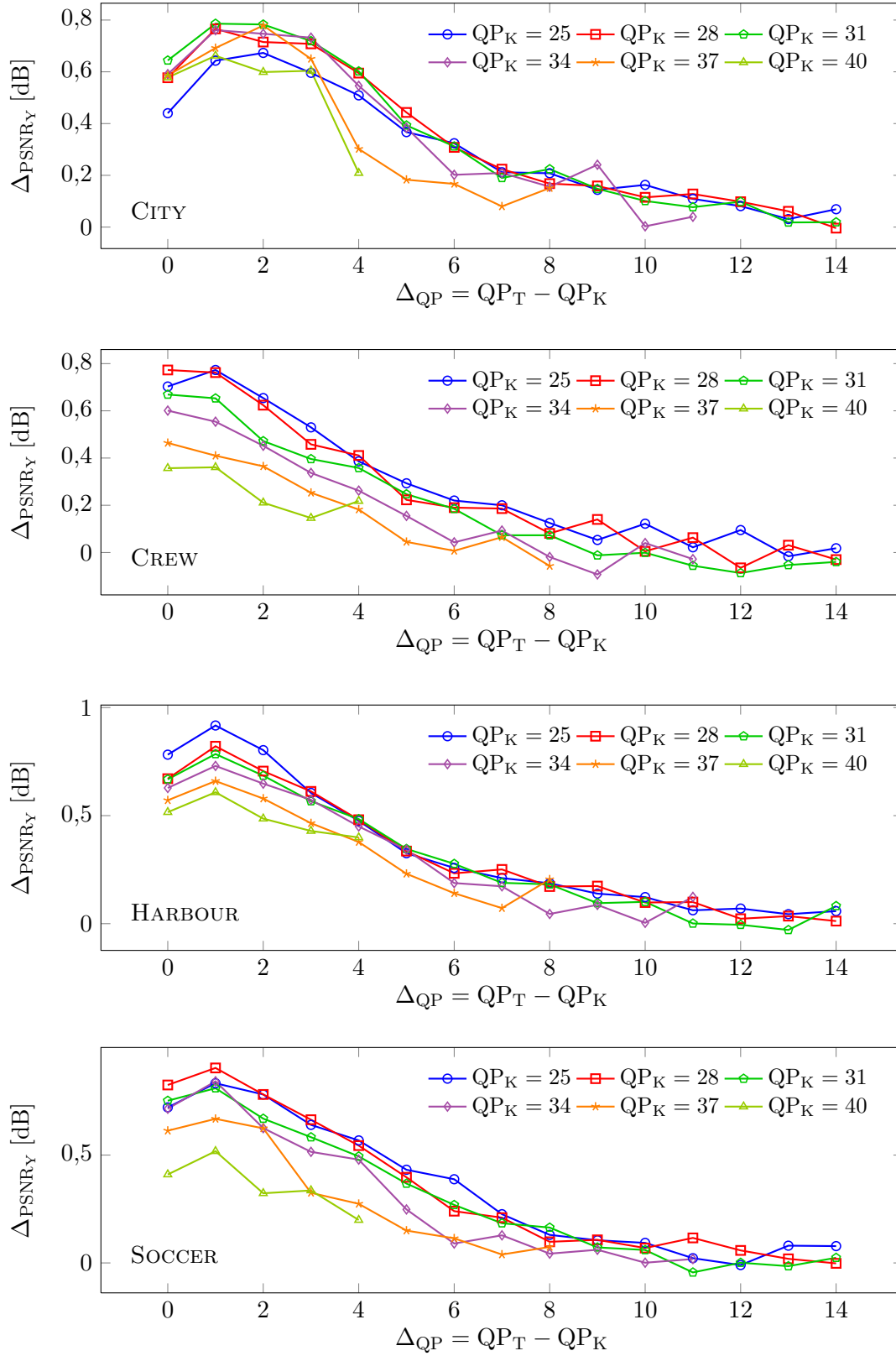
Dodatek B.1 Uzupełnienia do punktu 3.3.2



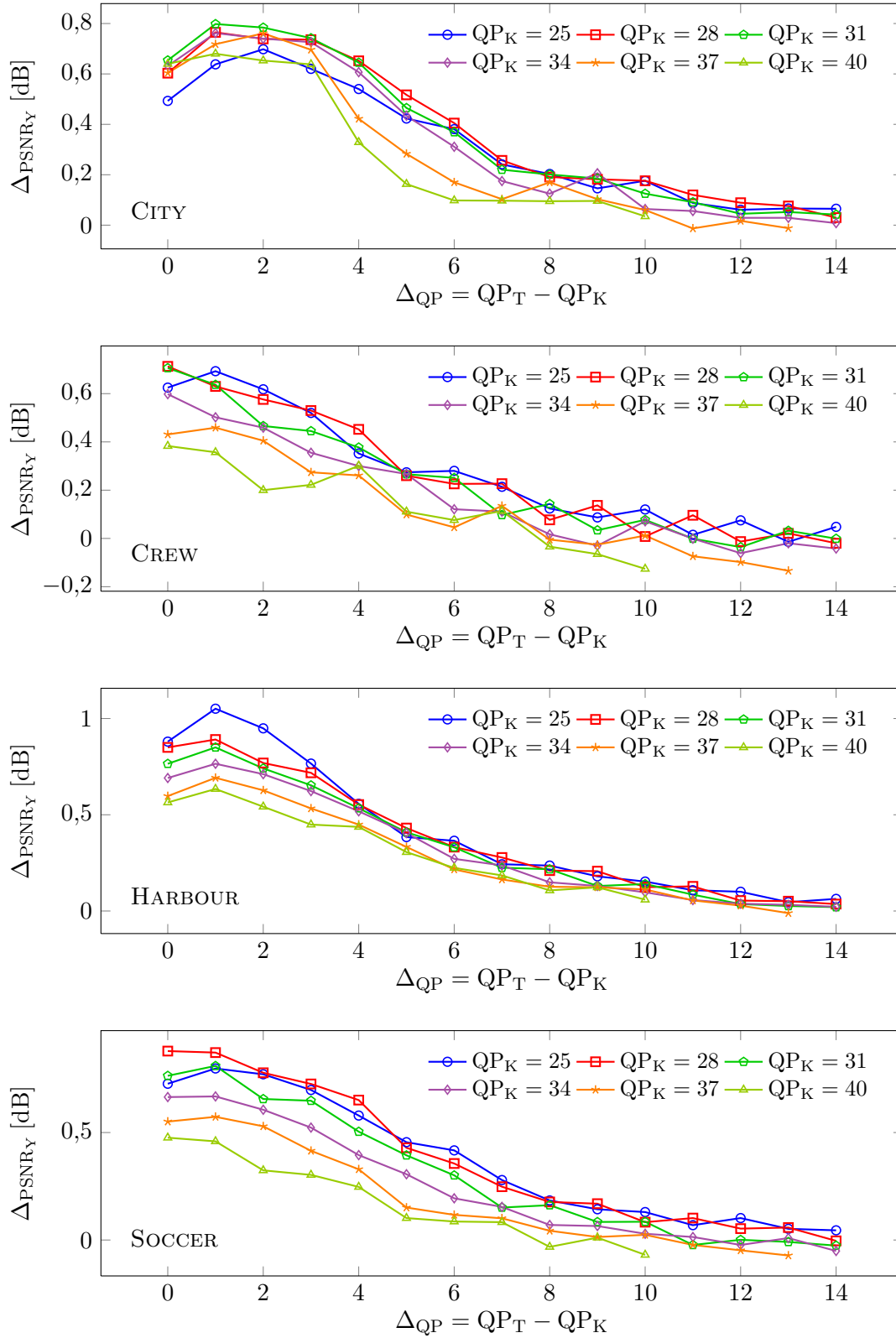
Rysunek B.1: Straty jakości spowodowane wykorzystaniem transkodera kaskadowego w zależności od różnicy wartości indeksu QP kodera (QP_K) i transkodera kaskadowego (QP_T) (struktura GOP: 3P3B, $QP^I = QP^P = QP^B$, wyłączony filtr deblokujący, brak makrobloków Intra w obrazach P i B)



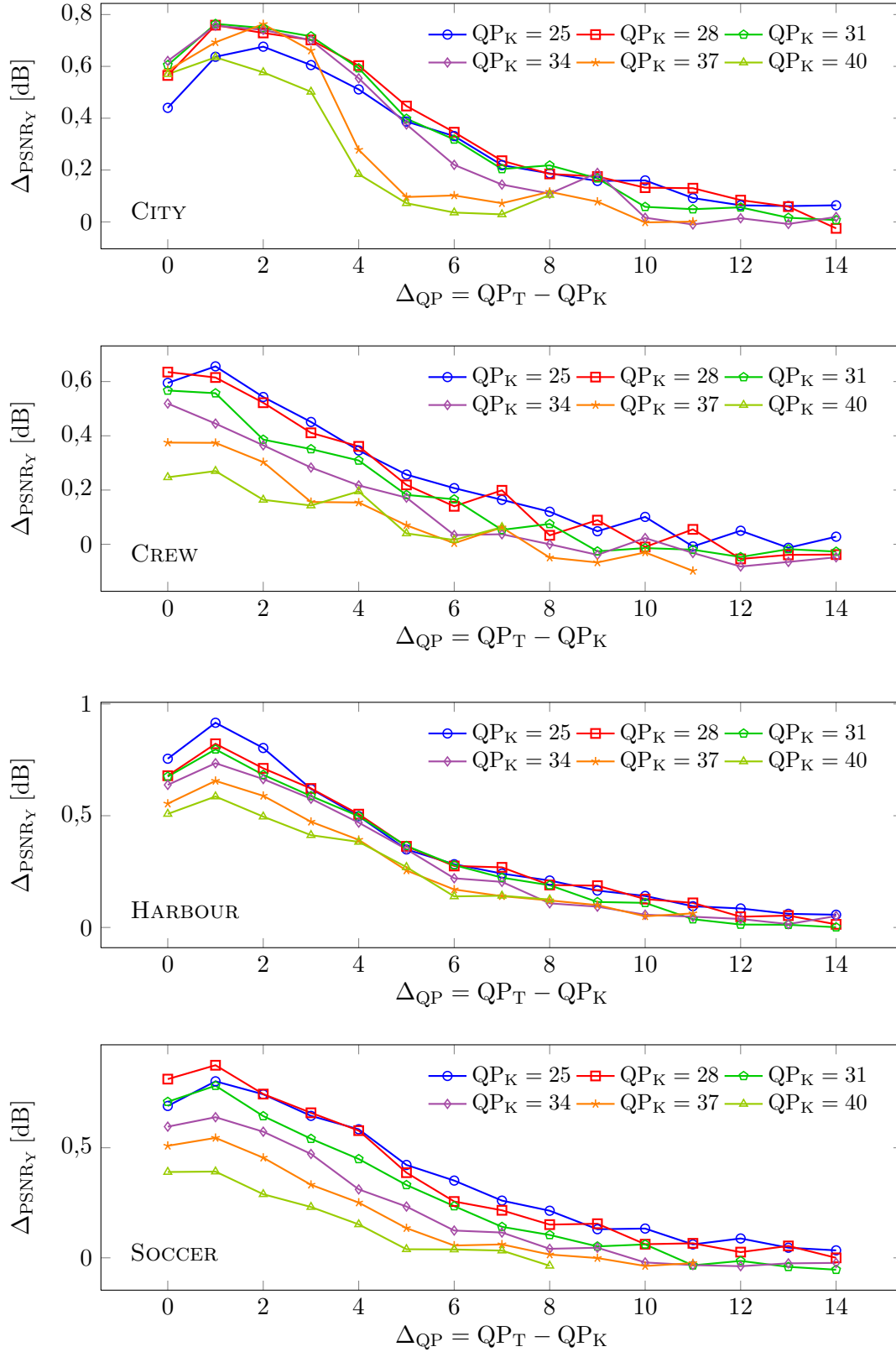
Rysunek B.2: Straty jakości spowodowane wykorzystaniem transkodera kaskadowego w zależności od różnicy wartości indeksu QP kodera (QP_K) i transkodera kaskadowego (QP_T) (struktura GOP: 3P3B, $QP^I = QP^P = QP^B$, włączony filtr deblokujący, brak makrobloków Intra w obrazach P i B)



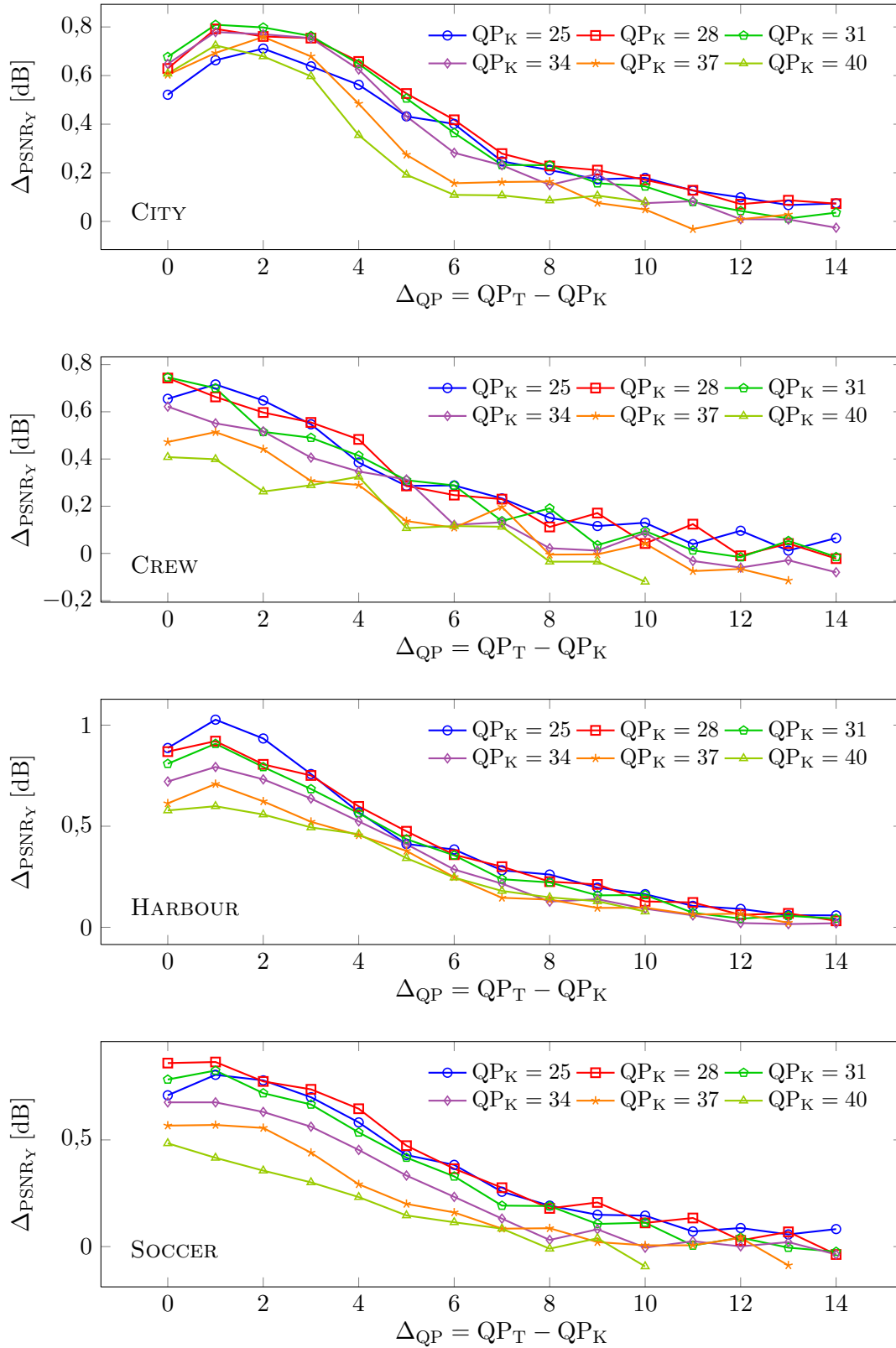
Rysunek B.3: Straty jakości spowodowane wykorzystaniem transkodera kaskadowego w zależności od różnicy wartości indeksu QP kodera (QP_K) i transkodera kaskadowego (QP_T) (struktura GOP: 3P3B, $\text{QP}^I = \text{QP}^P = \text{QP}^B - 2$, włączony filtr deblokujący, brak makrobloków Intra w obrazach P i B)



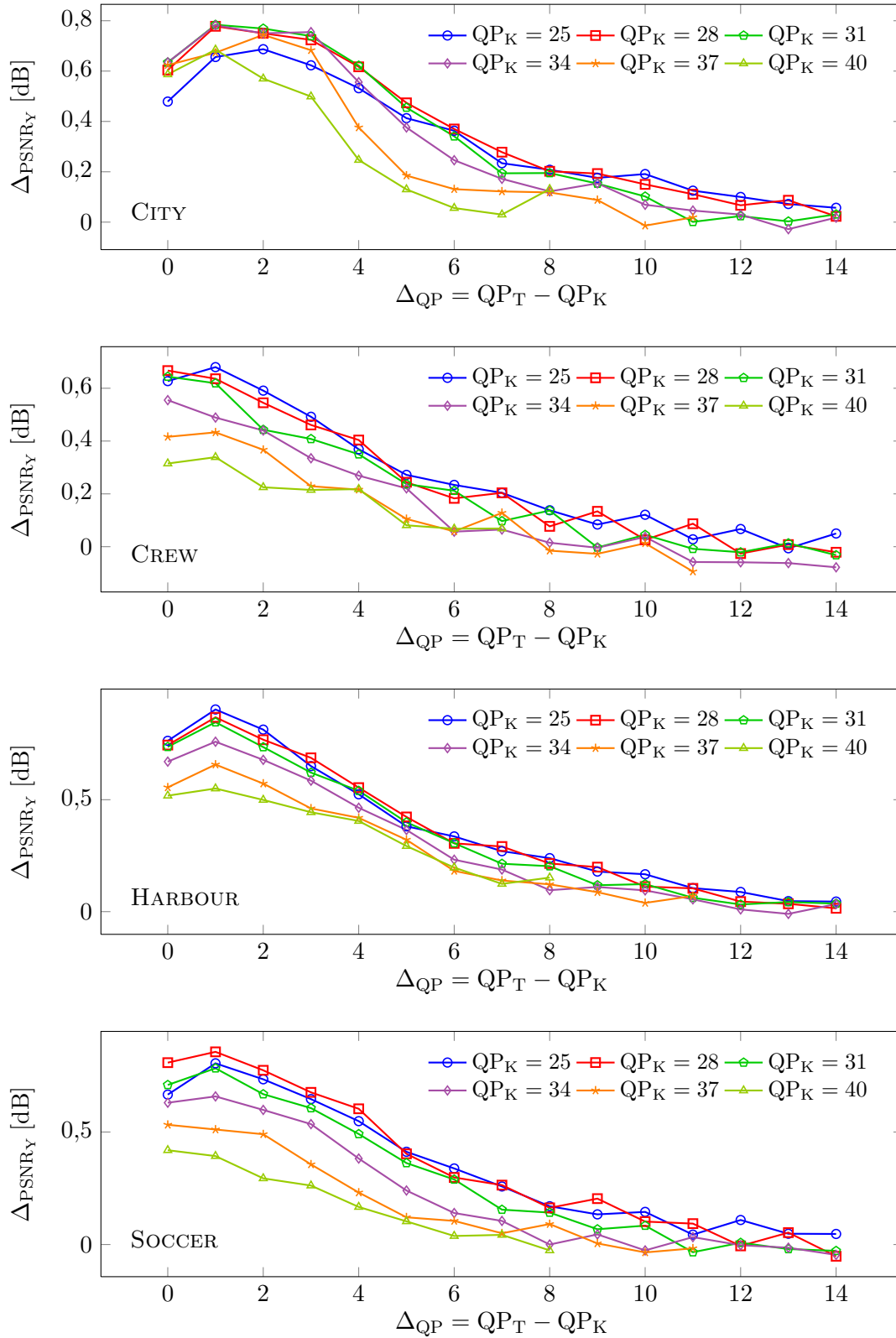
Rysunek B.4: Straty jakości spowodowane wykorzystaniem transkodera kaskadowego w zależności od różnicy wartości indeksu QP kodera (QP_K) i transkodera kaskadowego (QP_T) (struktura GOP: 3P3B, $\text{QP}^I = \text{QP}^P = \text{QP}^B$, włączony filtr deblokujący, dozwolone makrobloki Intra w obrazach P i B)



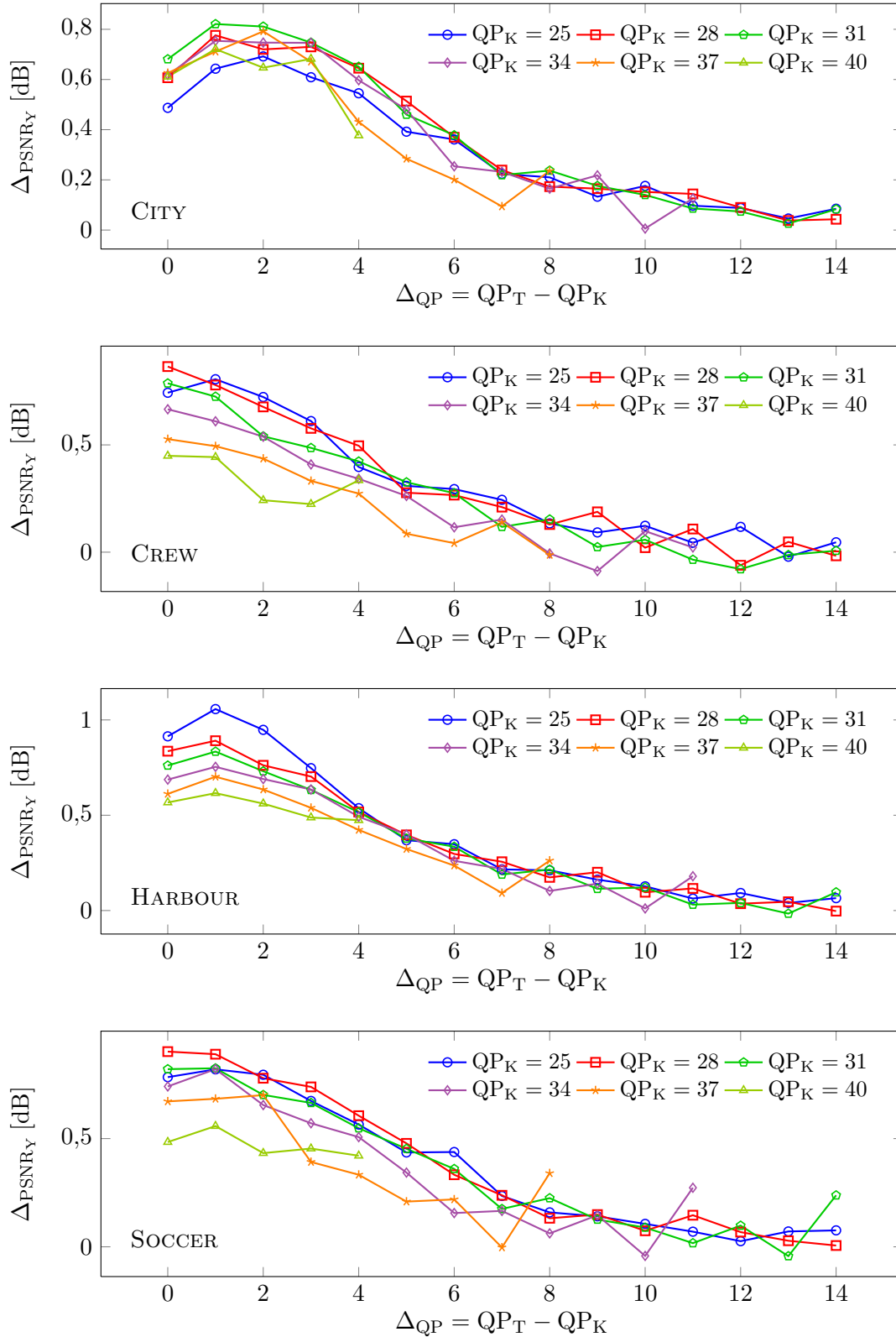
Rysunek B.5: Straty jakości spowodowane wykorzystaniem transkodera kaskadowego w zależności od różnicy wartości indeksu QP kodera (QP_K) i transkodera kaskadowego (QP_T) (struktura GOP: 3P3B, $\text{QP}^I = \text{QP}^P = \text{QP}^B - 2$, włączony filtr deblokujący, dozwolone makrobloki Intra w obrazach P i B)



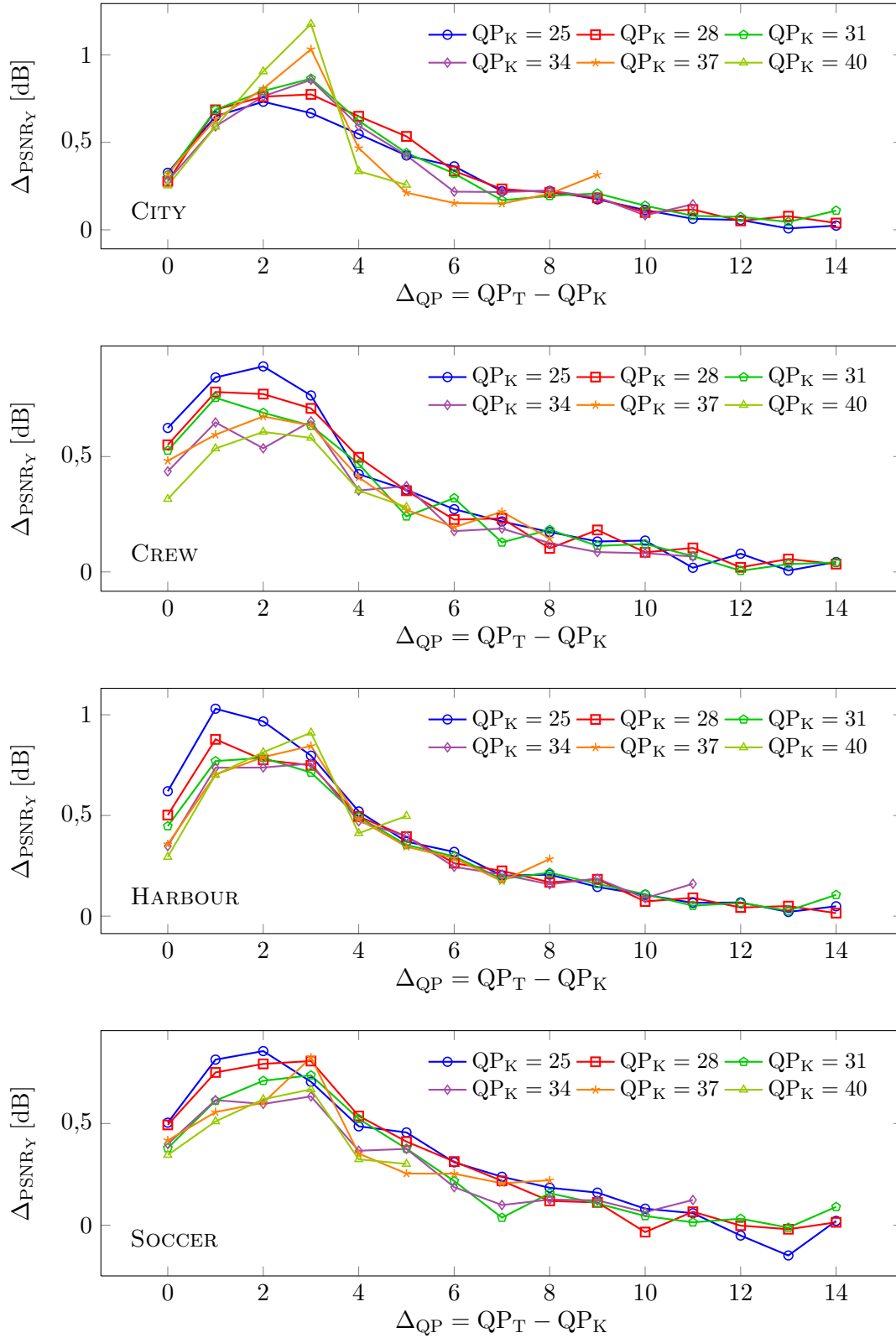
Rysunek B.6: Straty jakości spowodowane wykorzystaniem transkodera kaskadowego w zależności od różnicy wartości indeksu QP kodera (QP_K) i transkodera kaskadowego (QP_T) (struktura GOP: 4P2B, $\text{QP}^I = \text{QP}^P = \text{QP}^B$, włączony filtr deblokujący, dozwolone makrobloki Intra w obrazach P i B)



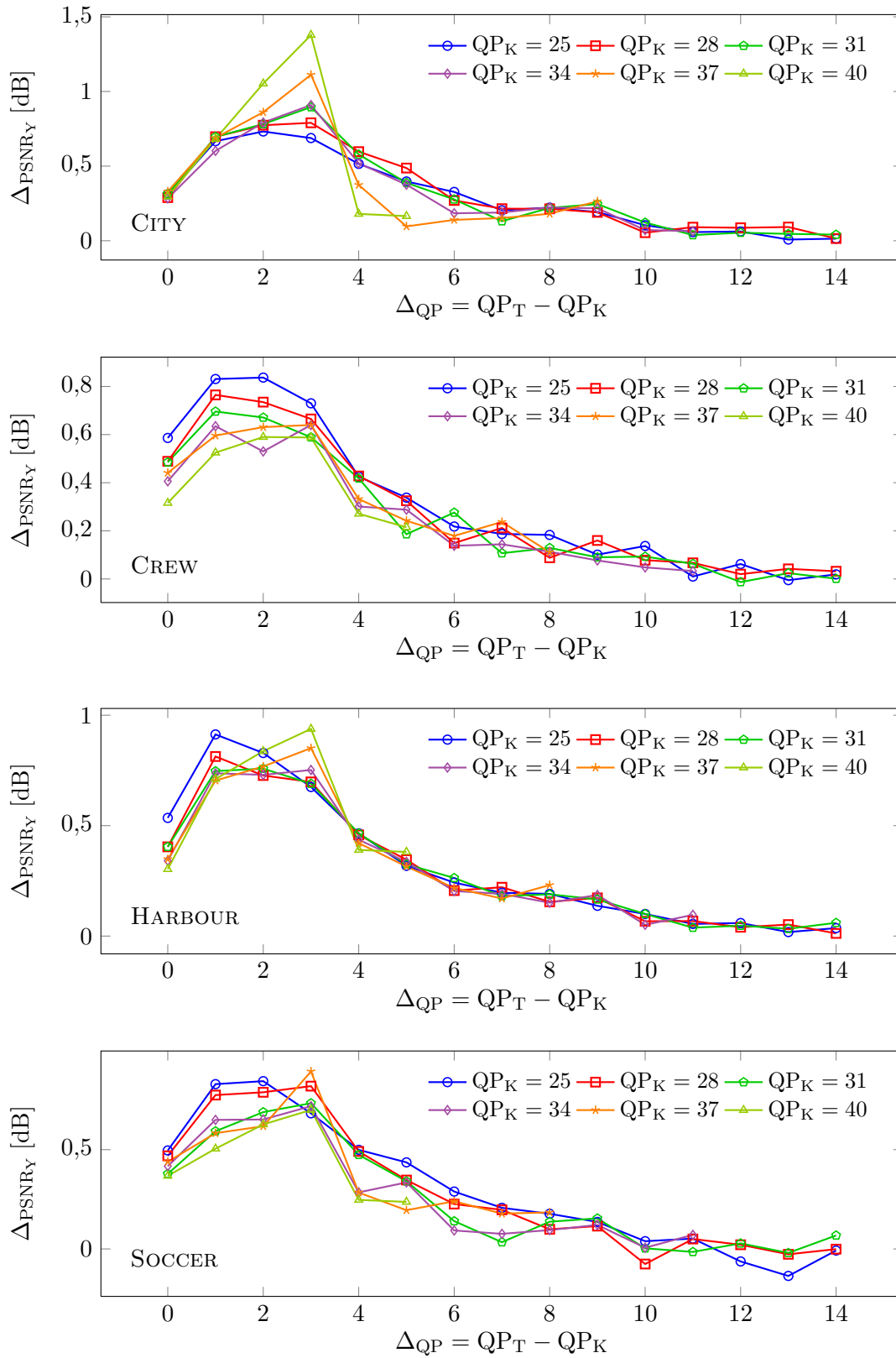
Rysunek B.7: Straty jakości spowodowane wykorzystaniem transkodera kaskadowego w zależności od różnicy wartości indeksu QP kodera (QP_K) i transkodera kaskadowego (QP_T) (struktura GOP: 4P2B, $\text{QP}^I = \text{QP}^P = \text{QP}^B - 2$, włączony filtr deblokujący, dozwolone makrobloki Intra w obrazach P i B)



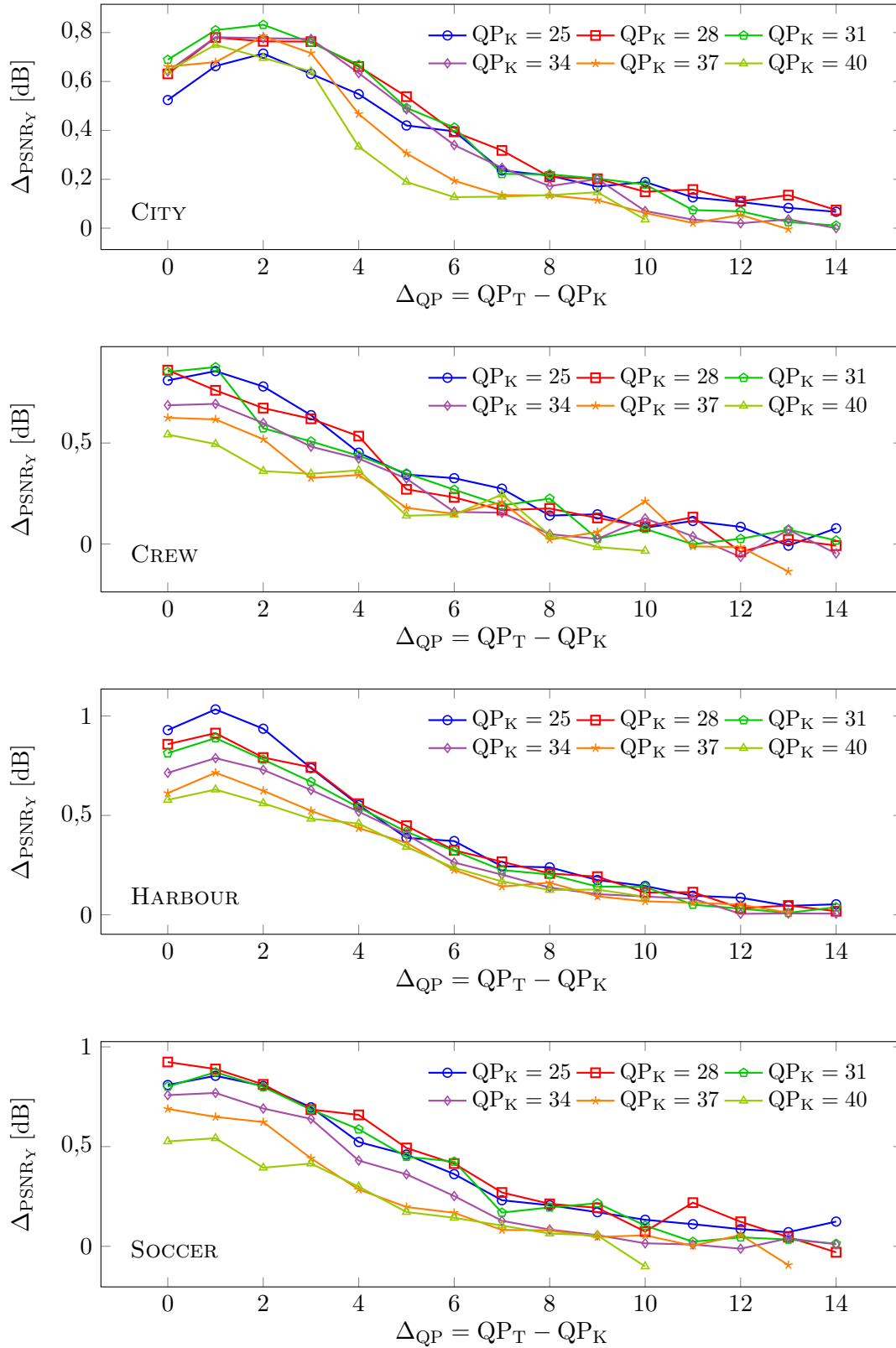
Rysunek B.8: Straty jakości spowodowane wykorzystaniem transkodera kaskadowego w zależności od różnicy wartości indeksu QP kodera (QP_K) i transkodera kaskadowego (QP_T) (struktura GOP: 3P3B, $\text{QP}^I = \text{QP}^P = \text{QP}^B$, włączony filtr deblokujący, brak makrobloków Intra w obrazach P i B)



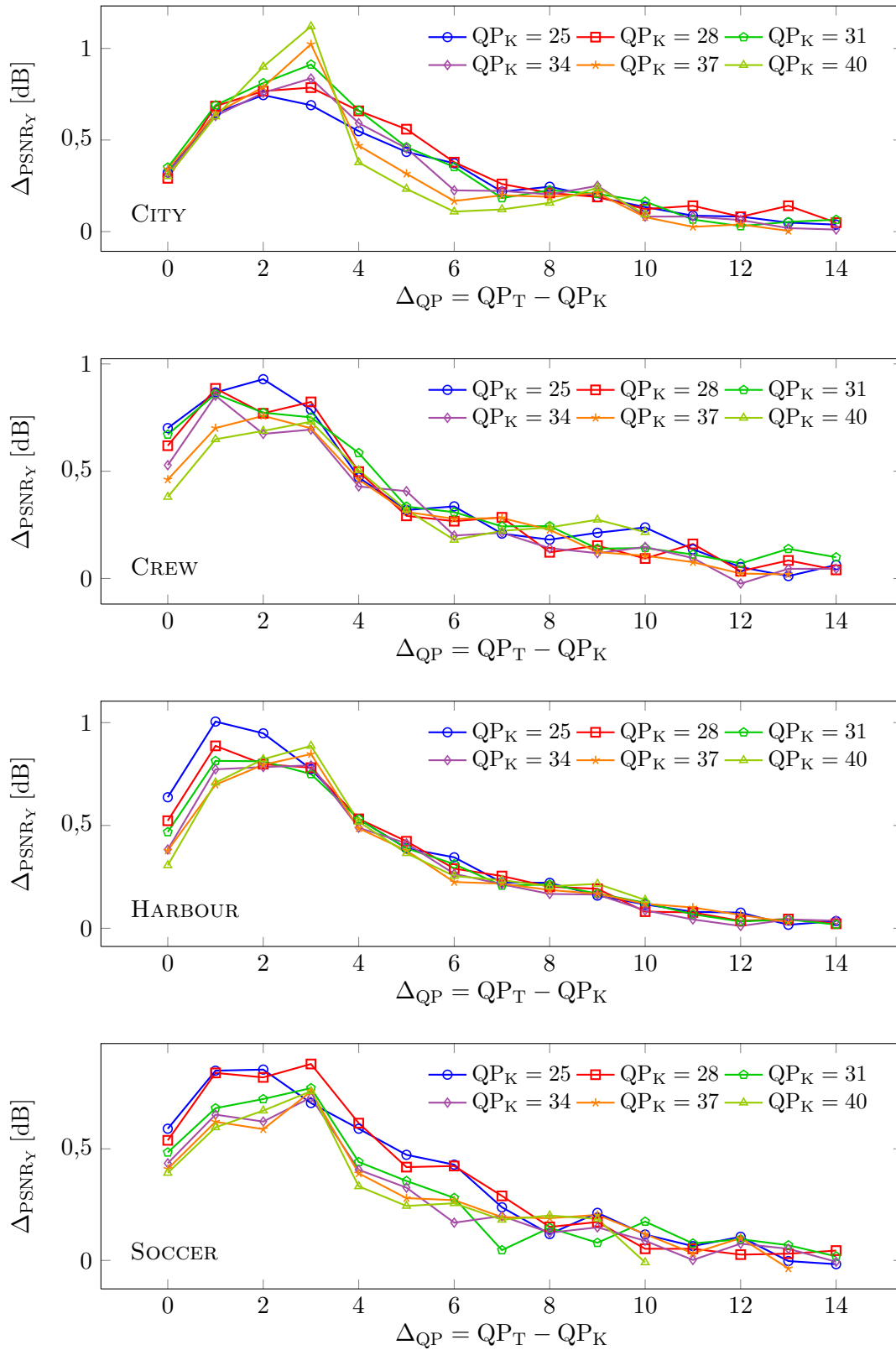
Rysunek B.9: Straty jakości spowodowane wykorzystaniem transkodera kaskadowego w zależności od różnicy wartości indeksu QP kodera (QP_K) i transkodera kaskadowego (QP_T) (struktura GOP: 3P3B, $\text{QP}^I = \text{QP}^P = \text{QP}^B$, wyłączony filtr deblokujący, brak makrobloków Intra w obrazach P i B)



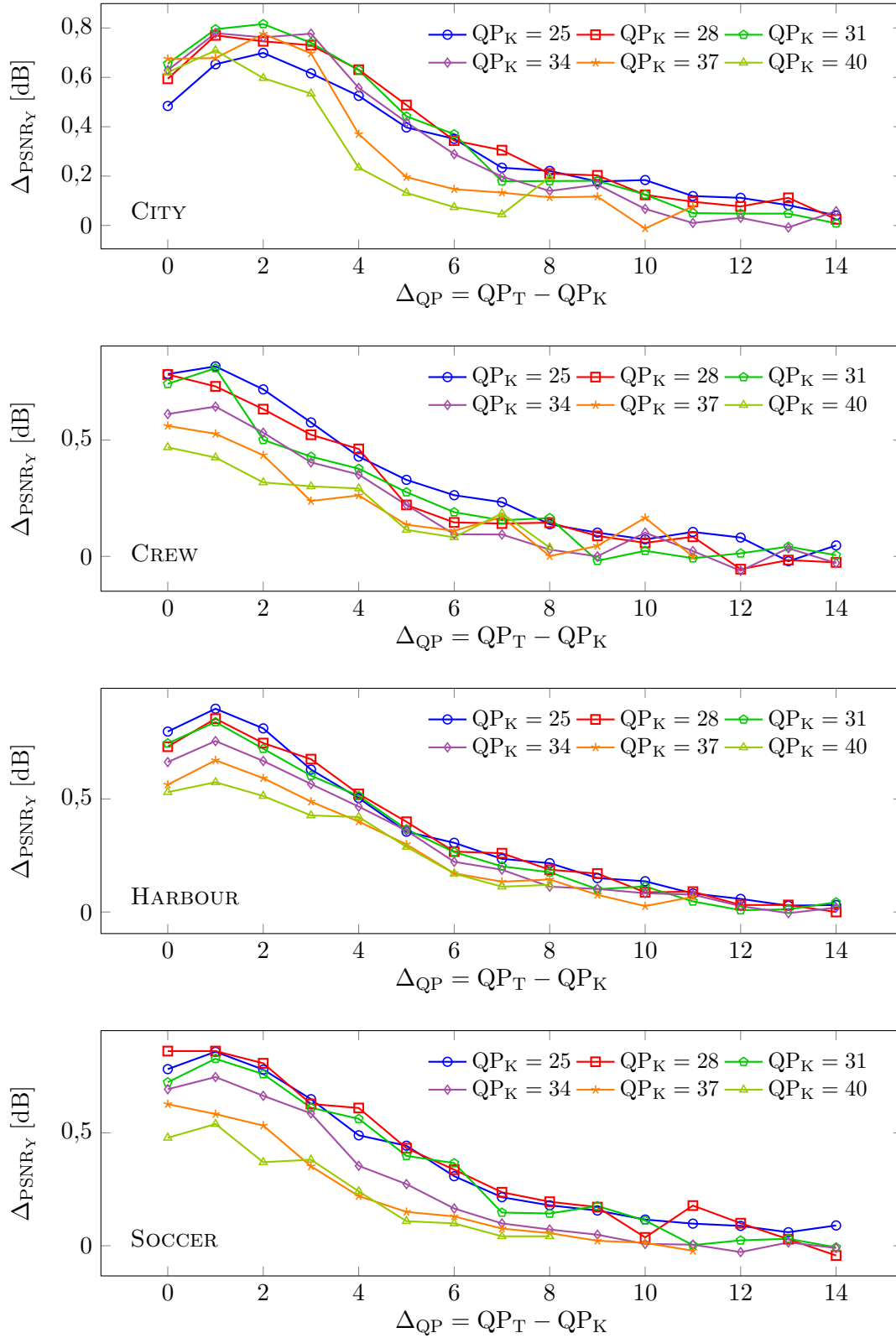
Rysunek B.10: Straty jakości spowodowane wykorzystaniem transkodera kaskadowego w zależności od różnicy wartości indeksu QP kodera (QP_K) i transkodera kaskadowego (QP_T) (struktura GOP: 3P3B, $QP^I = QP^P = QP^B - 2$, wyłączony filtr deblokujący, brak makrobloków Intra w obrazach P i B)



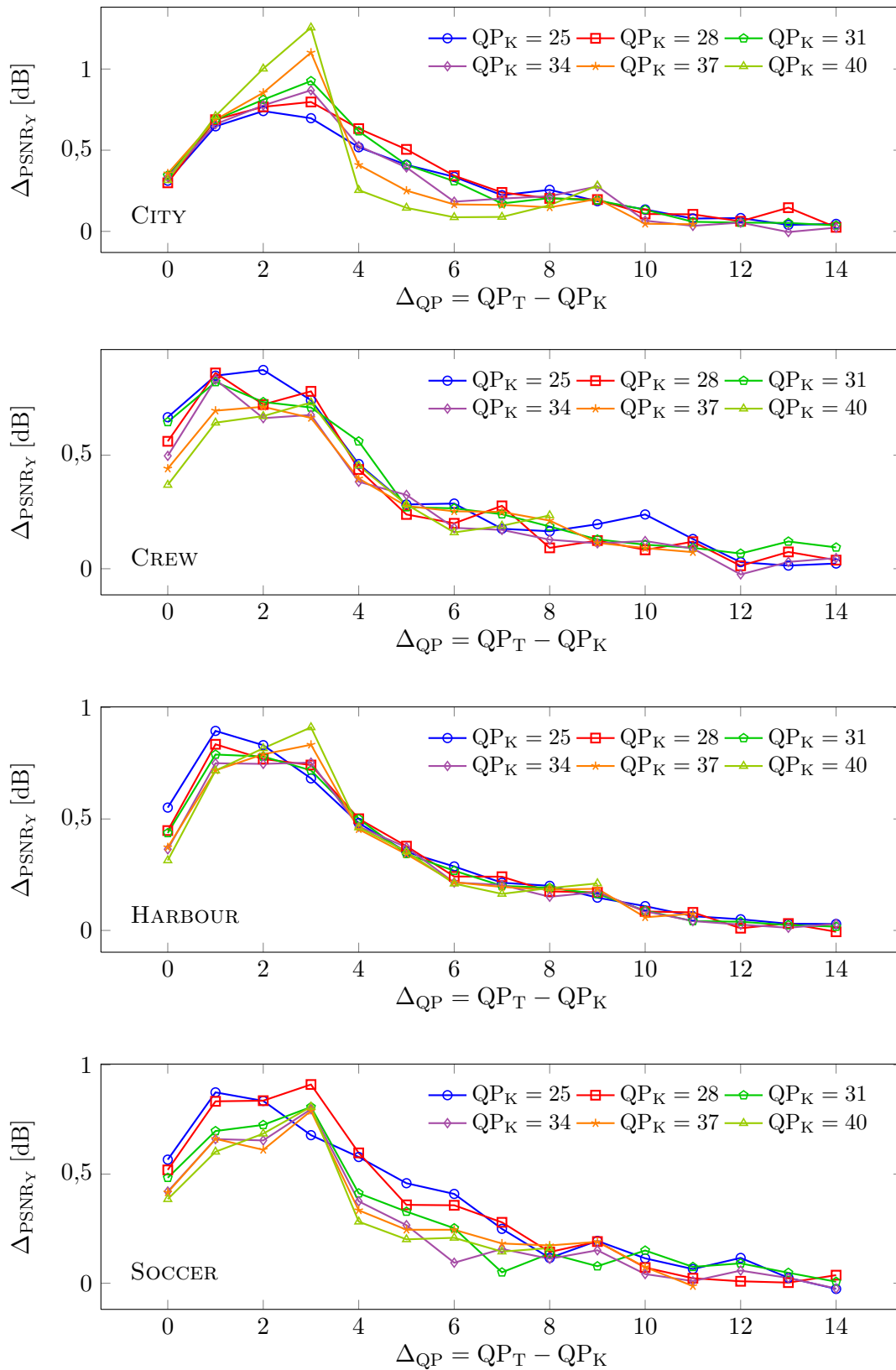
Rysunek B.11: Straty jakości spowodowane wykorzystaniem transkodera kaskadowego w zależności od różnicy wartości indeksu QP kodera (QP_K) i transkodera kaskadowego (QP_T) (struktura GOP: 4P2B, $QP^I = QP^P = QP^B$, włączony filtr deblokujący, brak makrobloków Intra w obrazach P i B)



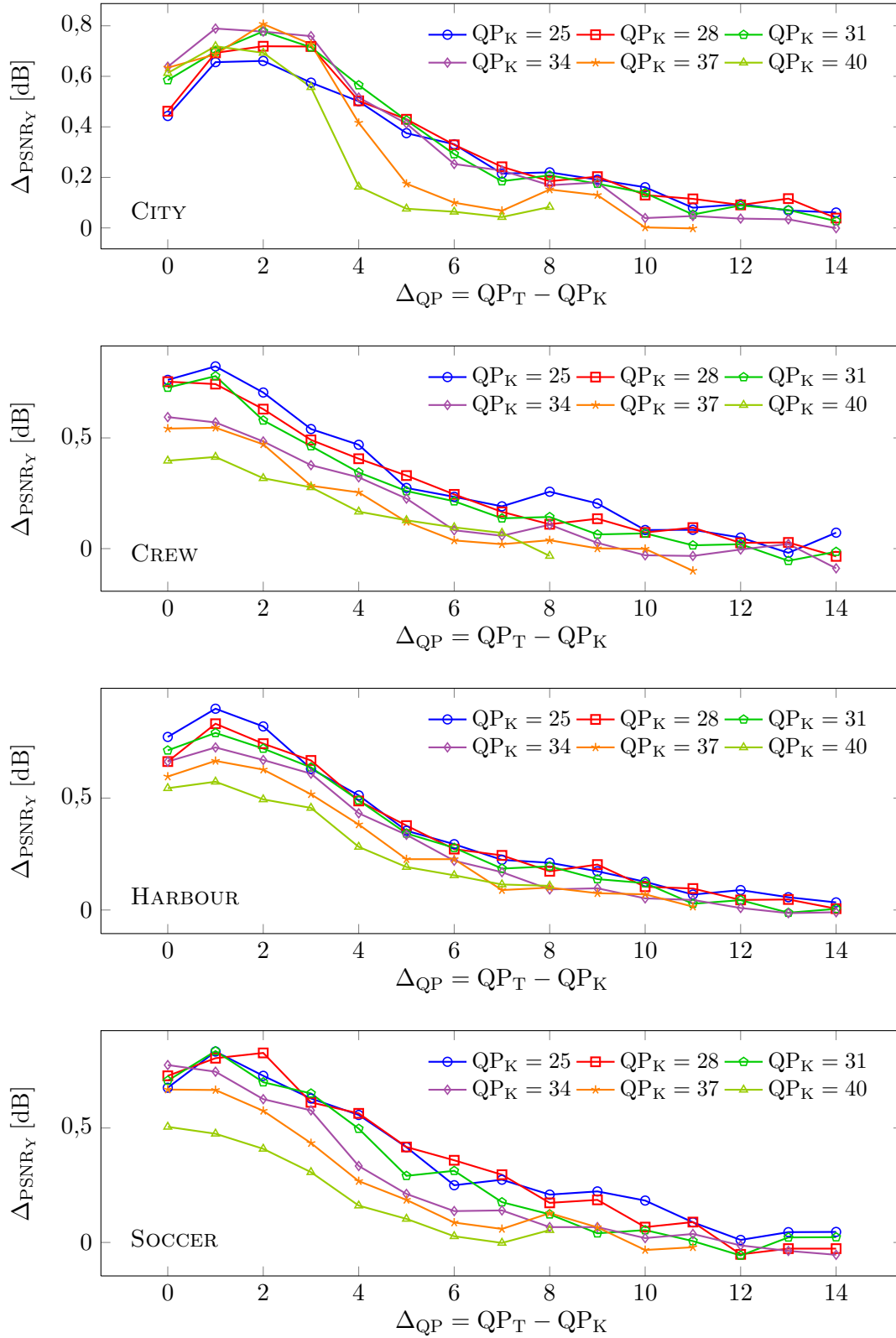
Rysunek B.12: Straty jakości spowodowane wykorzystaniem transkodera kaskadowego w zależności od różnicy wartości indeksu QP kodera (QP_K) i transkodera kaskadowego (QP_T) (struktura GOP: 4P2B, $\text{QP}^I = \text{QP}^P = \text{QP}^B$, wyłączony filtr deblokujący, brak makrobloków Intra w obrazach P i B)



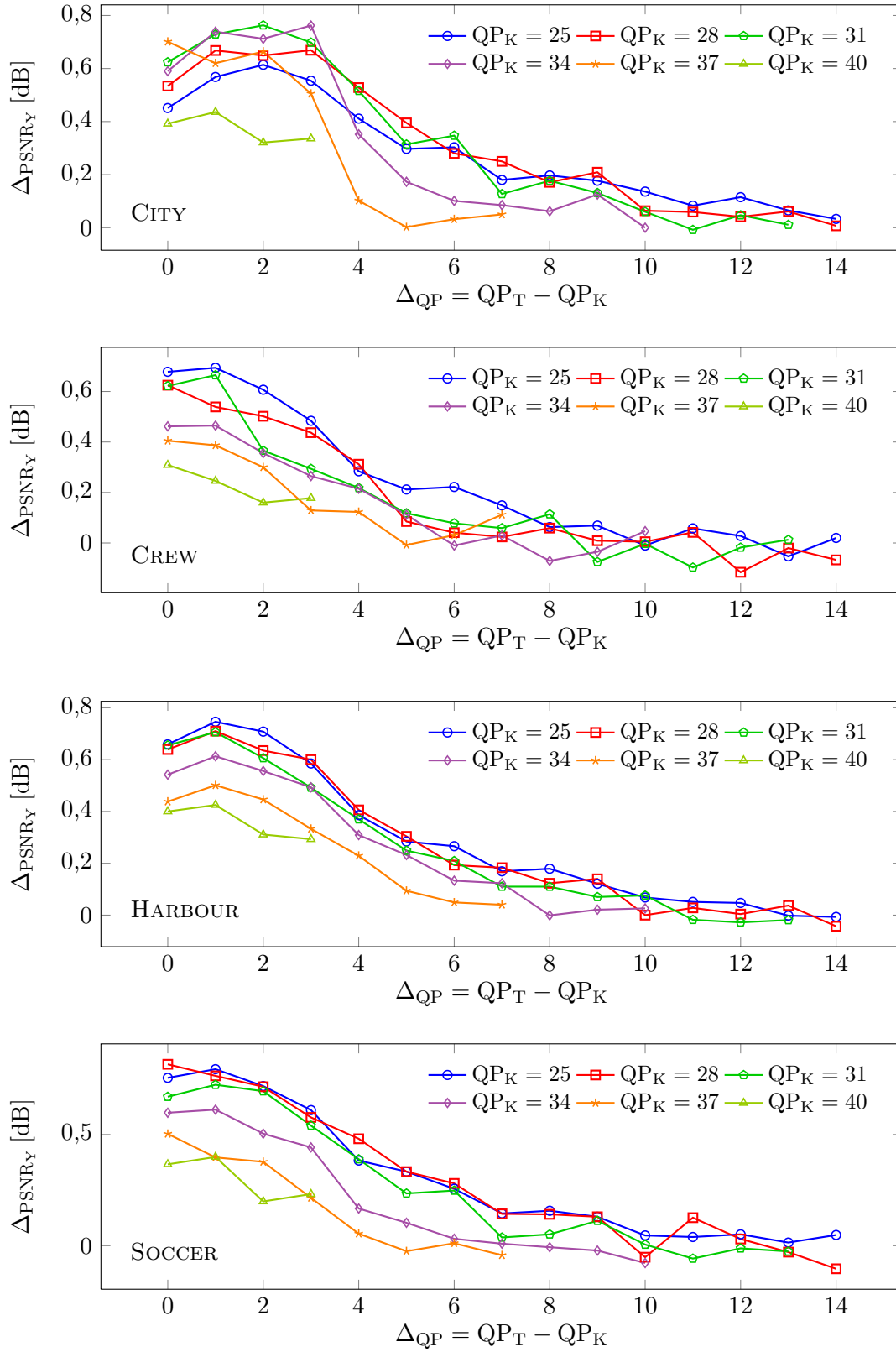
Rysunek B.13: Straty jakości spowodowane wykorzystaniem transkodera kaskadowego w zależności od różnicy wartości indeksu QP kodera (QP_K) i transkodera kaskadowego (QP_T) (struktura GOP: 4P2B, $\text{QP}^I = \text{QP}^P = \text{QP}^B - 2$, włączony filtr deblokujący, brak makrobloków Intra w obrazach P i B)



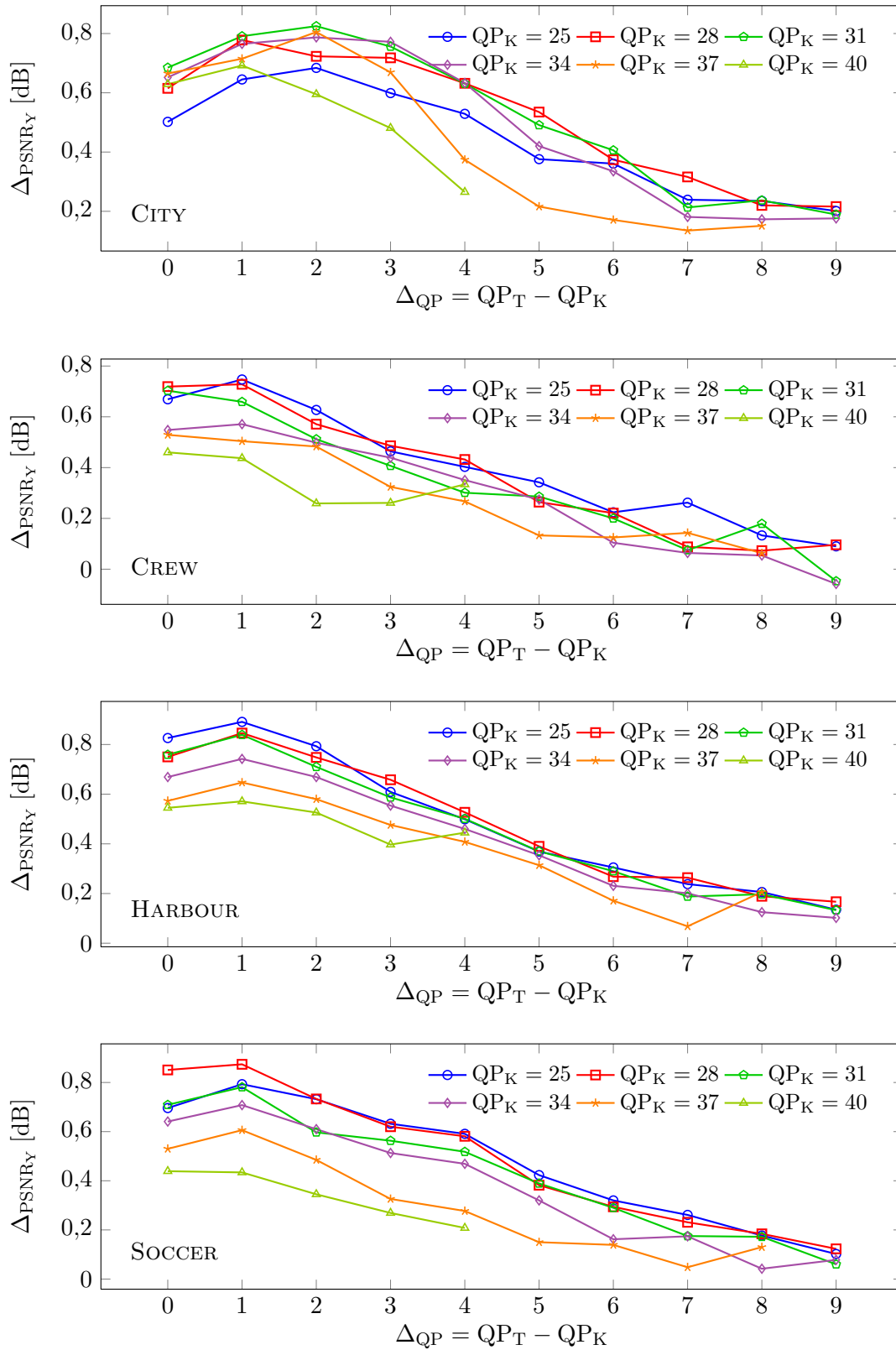
Rysunek B.14: Straty jakości spowodowane wykorzystaniem transkodera kaskadowego w zależności od różnicy wartości indeksu QP kodera (QP_K) i transkodera kaskadowego (QP_T) (struktura GOP: 4P2B, $\text{QP}^I = \text{QP}^P = \text{QP}^B - 2$, wyłączony filtr deblokujący, brak makrobloków Intra w obrazach P i B)



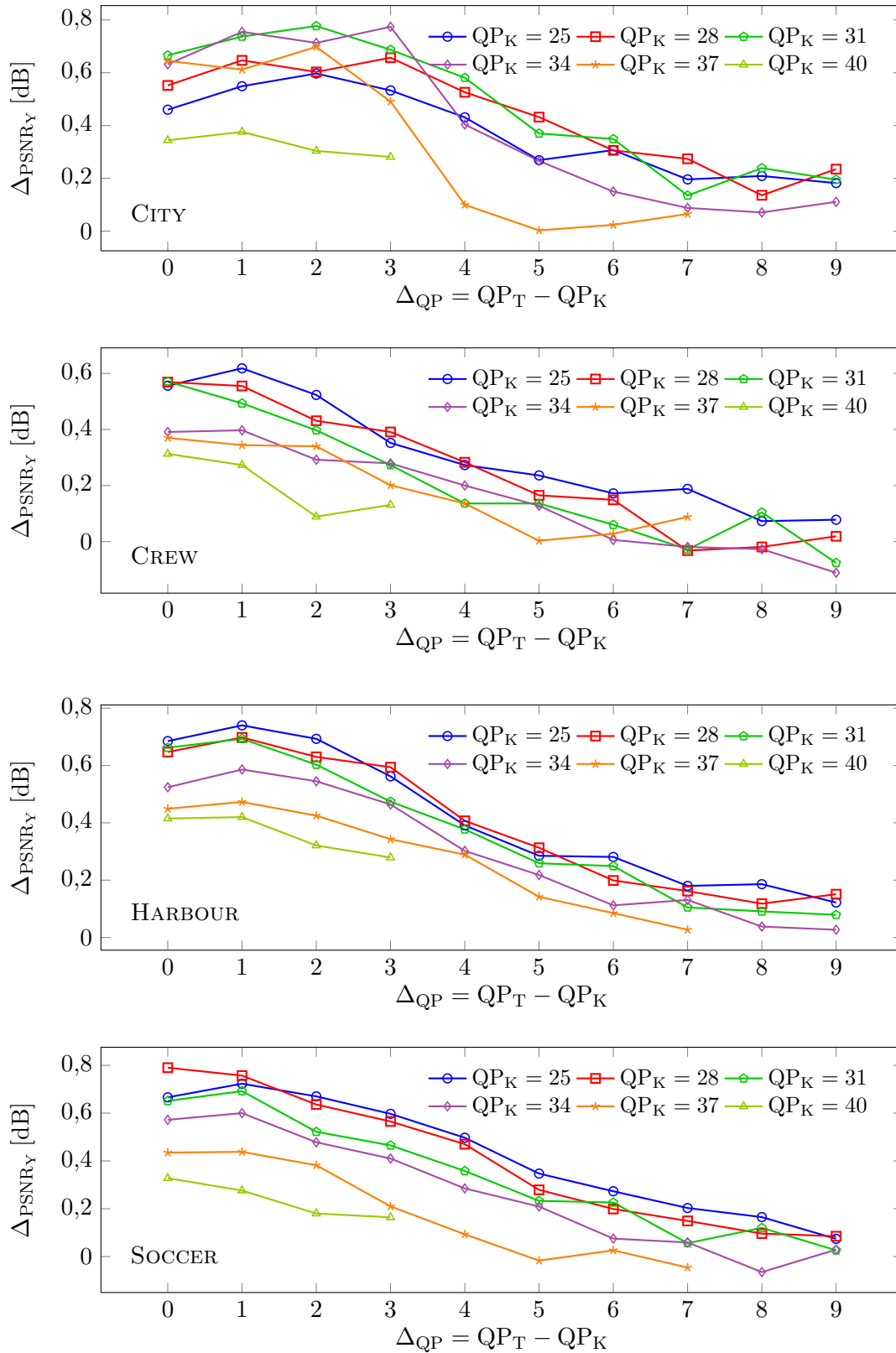
Rysunek B.15: Straty jakości spowodowane wykorzystaniem transkodera kaskadowego w zależności od różnicy wartości indeksu QP kodera (QP_K) i transkodera kaskadowego (QP_T) (struktura GOP: 4P2B, $QP^I + 2 = QP^P = QP^B - 2$, włączony filtr deblokujący, brak makrobloków Intra w obrazach P i B)



Rysunek B.16: Straty jakości spowodowane wykorzystaniem transkodera kaskadowego w zależności od różnicy wartości indeksu QP kodera (QP_K) i transkodera kaskadowego (QP_T) (struktura GOP: 4P2B, $\text{QP}^I = \text{QP}^P = \text{QP}^B - 6$, włączony filtr deblokujący, brak makrobloków Intra w obrazach P i B)

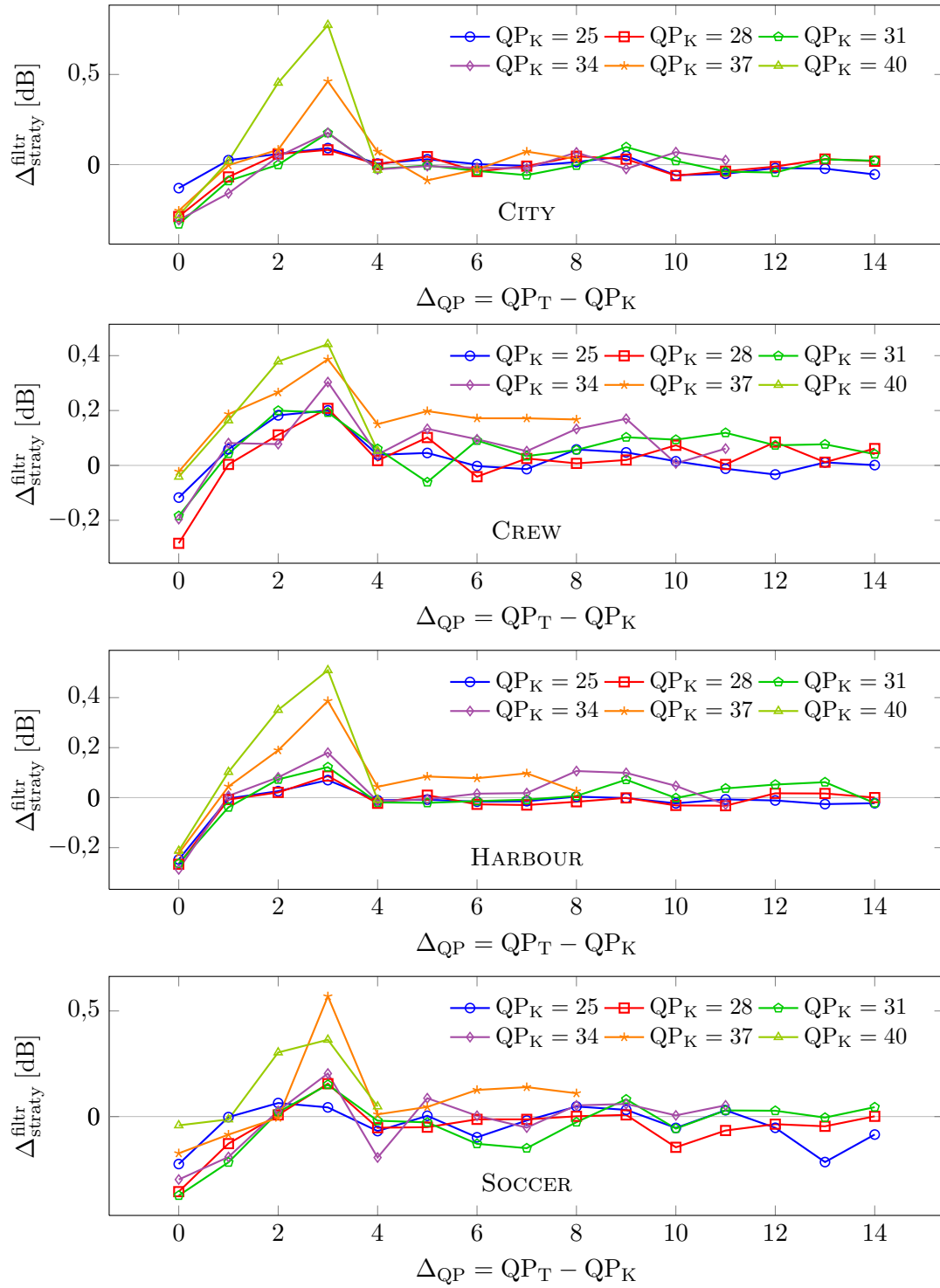


Rysunek B.17: Straty jakości spowodowane wykorzystaniem transkodera kaskadowego w zależności od różnicy wartości indeksu QP kodera (QP_K) i transkodera kaskadowego (QP_T) (struktura GOP: 5P2B, $\text{QP}^I = \text{QP}^P = \text{QP}^B - 2$, włączony filtr deblokujący, brak makrobloków Intra w obrazach P i B)

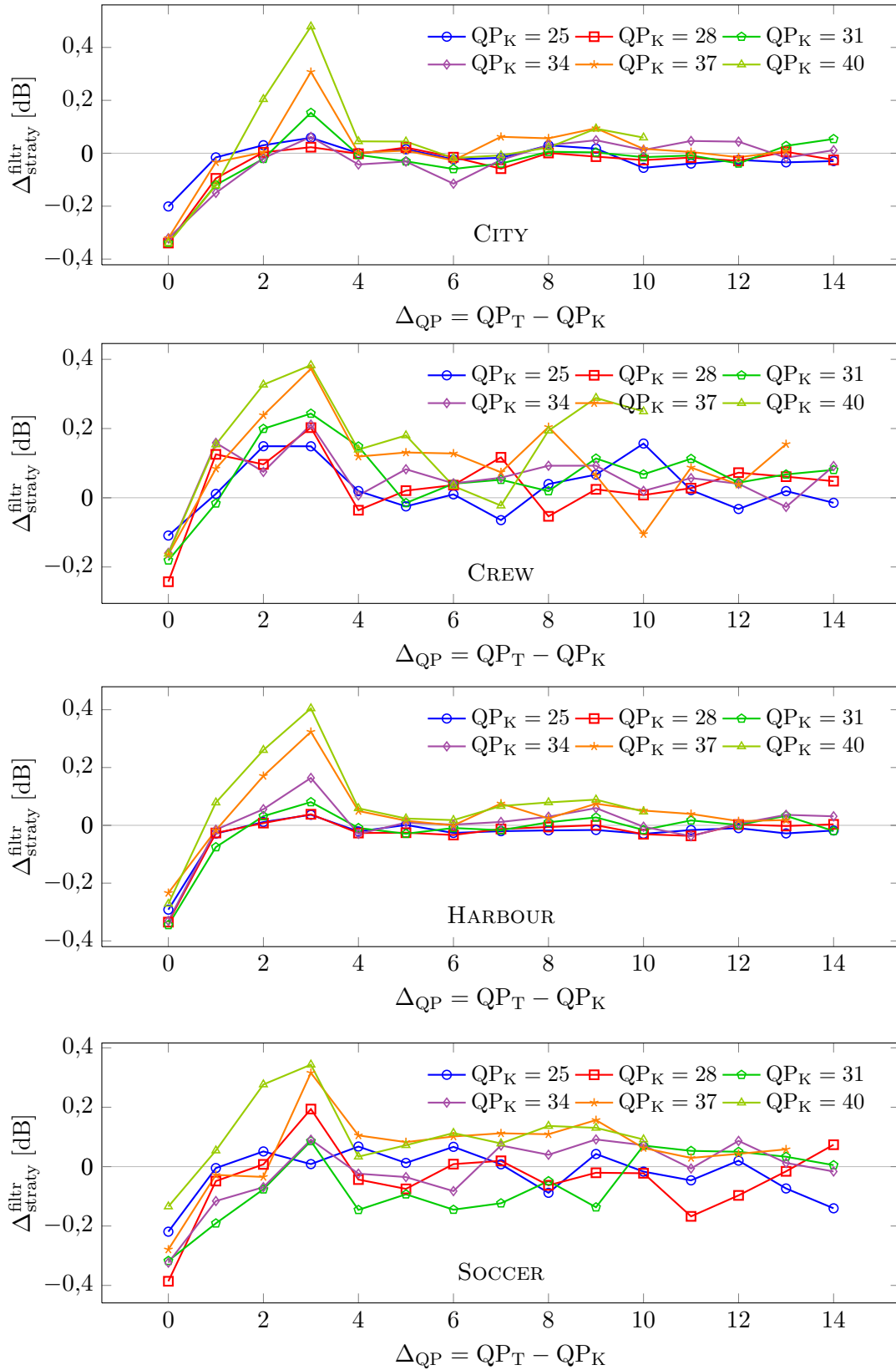


Rysunek B.18: Straty jakości spowodowane wykorzystaniem transkodera kaskadowego w zależności od różnicy wartości indeksu QP kodera (QP_K) i transkodera kaskadowego (QP_T) (struktura GOP: 5P2B, $\text{QP}^I = \text{QP}^P = \text{QP}^B - 6$, włączony filtr deblokujący, brak makrobloków Intra w obrazach P i B)

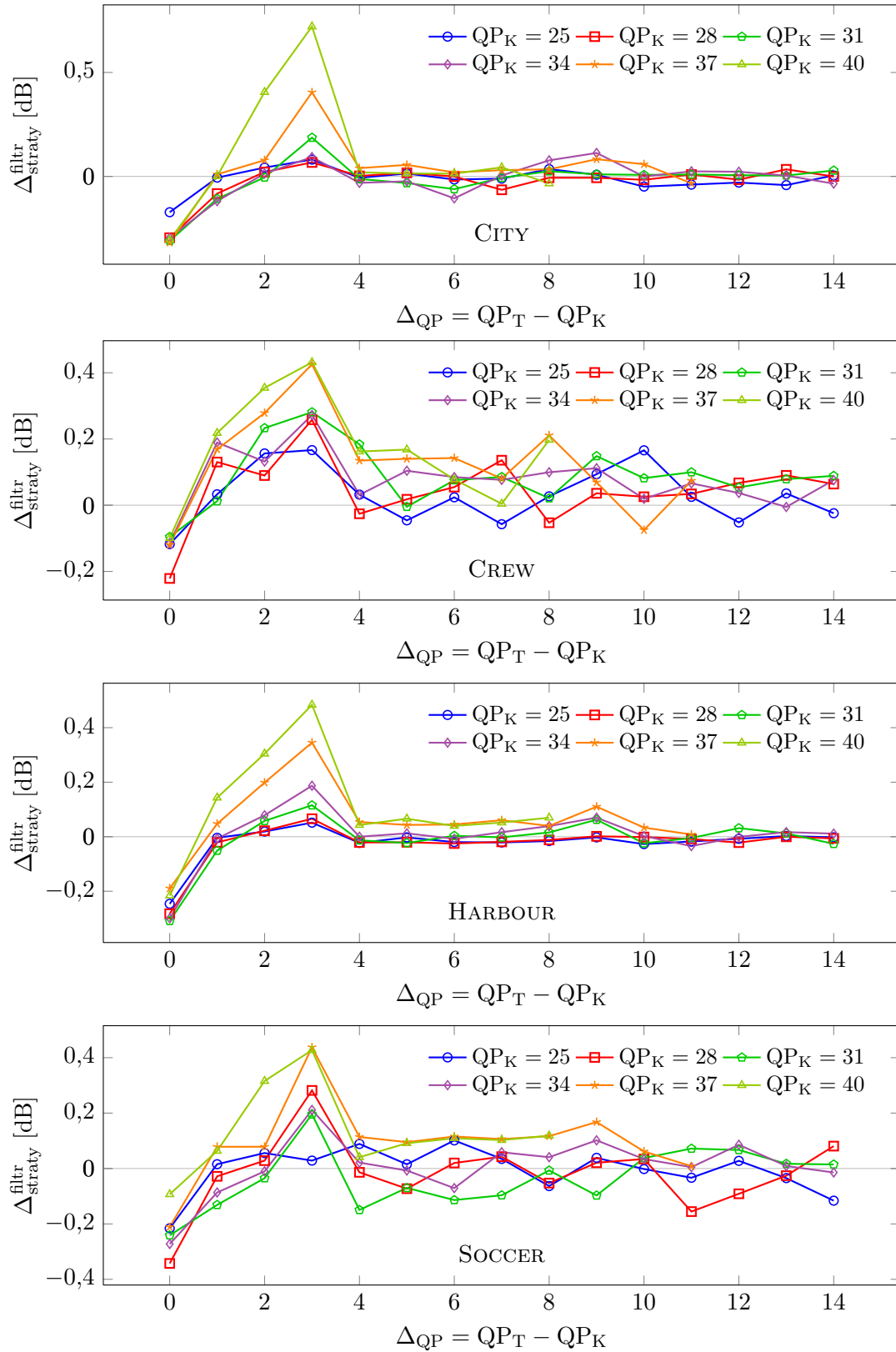
Dodatek B.2 Uzupełnienia do punktu 3.3.2.1



Rysunek B.19: Różnica pomiędzy stratami jakości spowodowanymi wykorzystaniem transkodera kaskadowego dla sekwencji kodowanych z wykorzystaniem filtra deblokującego i bez niego. Wielkość przedstawiona w funkcji różnicy wartości parametrów kwantyzacji w wejściowym (QP_K) i wyjściowym (QP_T) strumieniu bitowym. Dodatkowo wartości oznaczają mniejsze straty transkodowania sekwencji uzyskanych z wykorzystaniem filtra deblokującego (struktura GOP: 3P3B, $\text{QP}^I = \text{QP}^P = \text{QP}^B - 2$, brak makrobloków Intra w obrazach P i B)

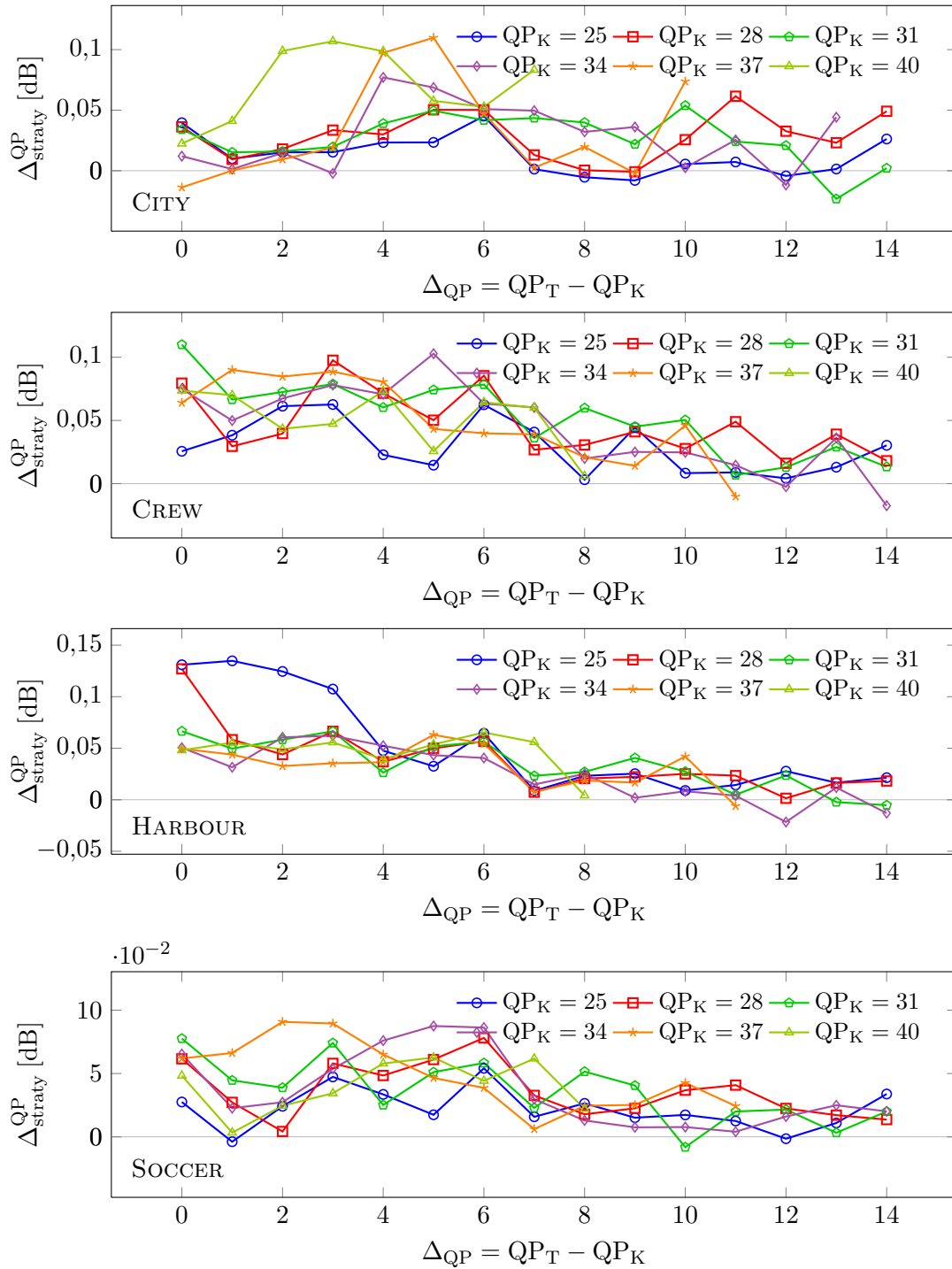


Rysunek B.20: Różnica pomiędzy stratami jakości spowodowanymi wykorzystaniem transkodera kaskadowego dla sekwencji kodowanych z wykorzystaniem filtra deblokującego i bez niego. Wielkość przedstawiona w funkcji różnicy wartości parametrów w wejściowym (QP_K) i wyjściowym (QP_T) strumieniu bitowym. Dodatkowo wartości oznaczają mniejsze straty transkodowania sekwencji uzyskanych z wykorzystaniem filtra deblokującego (struktura GOP: 4P2B, $\text{QP}^I = \text{QP}^P = \text{QP}^B$, brak makrobloków Intra w obrazach P i B)

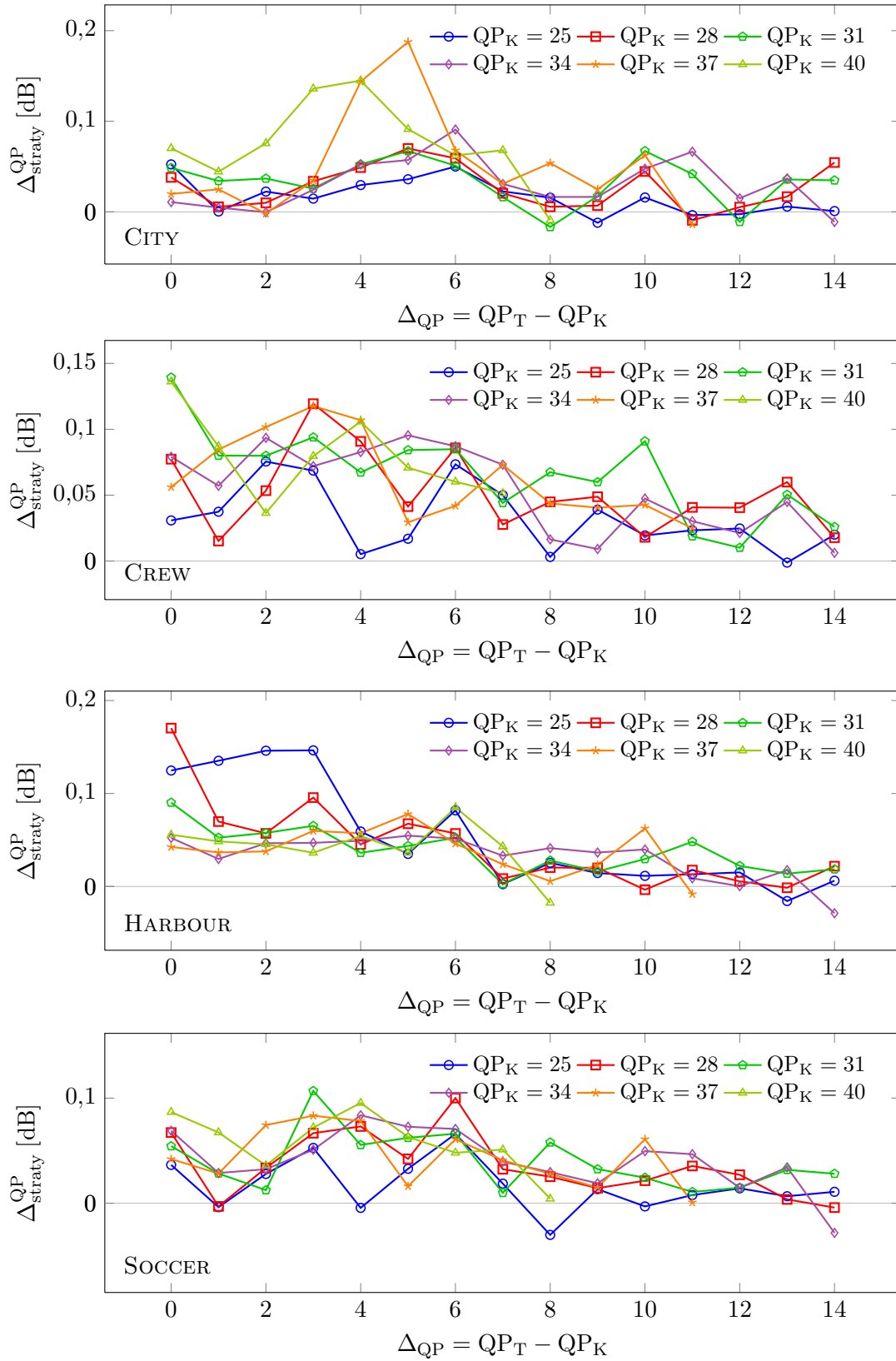


Rysunek B.21: Różnica pomiędzy stratami jakości spowodowanymi wykorzystaniem transkodera kaskadowego dla sekwencji kodowanych z wykorzystaniem filtra deblokującego i bez niego. Wielkość przedstawiona w funkcji różnicy wartości parametrów kwantyzacji w wejściowym (QP_K) i wyjściowym (QP_T) strumieniu bitowym. Dodatkowo wartości oznaczają mniejsze straty transkodowania sekwencji uzyskanych z wykorzystaniem filtra deblokującego (struktura GOP: 4P2B, $\text{QP}^I = \text{QP}^P = \text{QP}^B - 2$, brak makrobloków Intra w obrazach P i B)

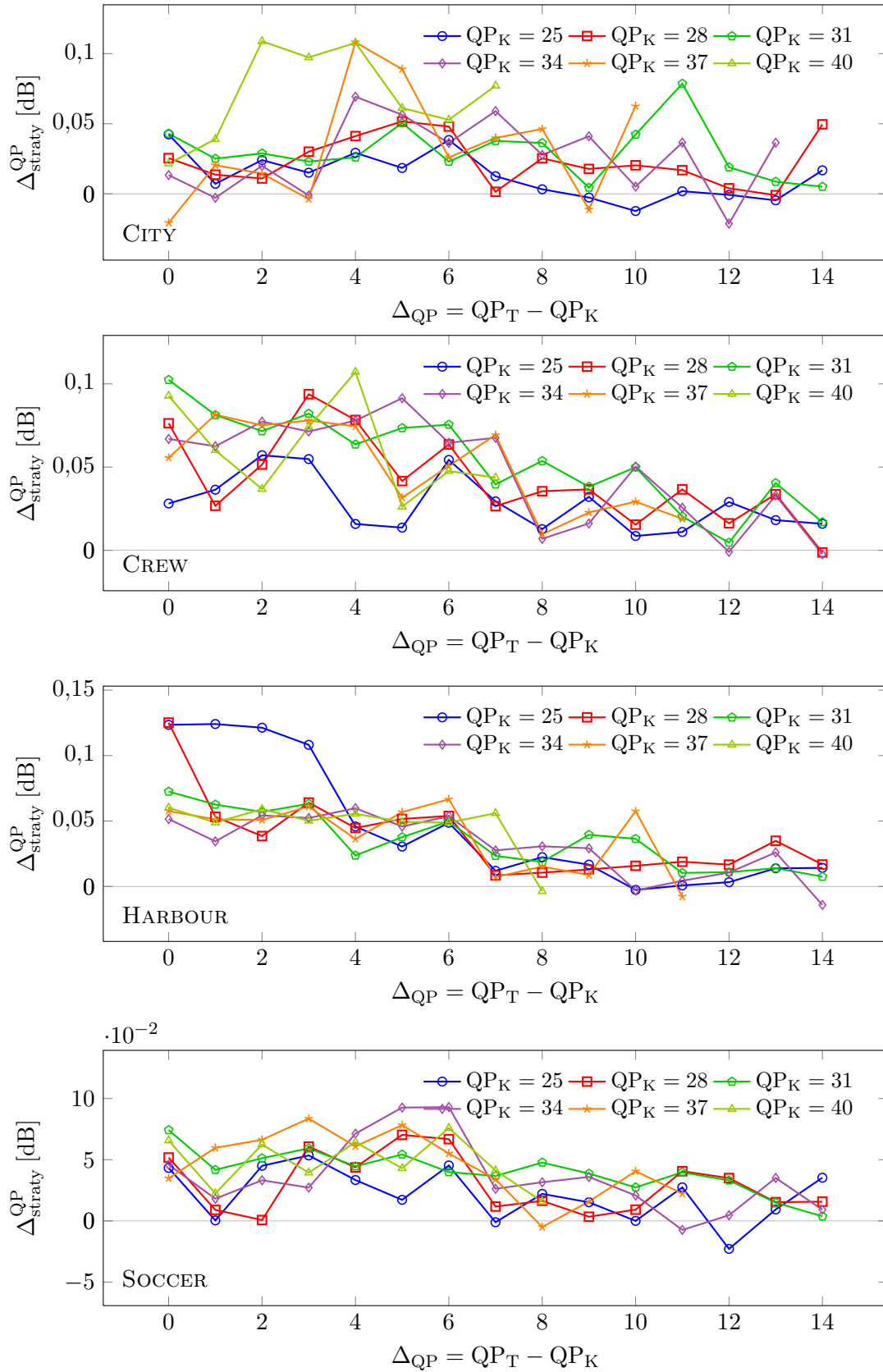
Dodatek B.3 Uzupełnienia do punktu 3.3.2.2



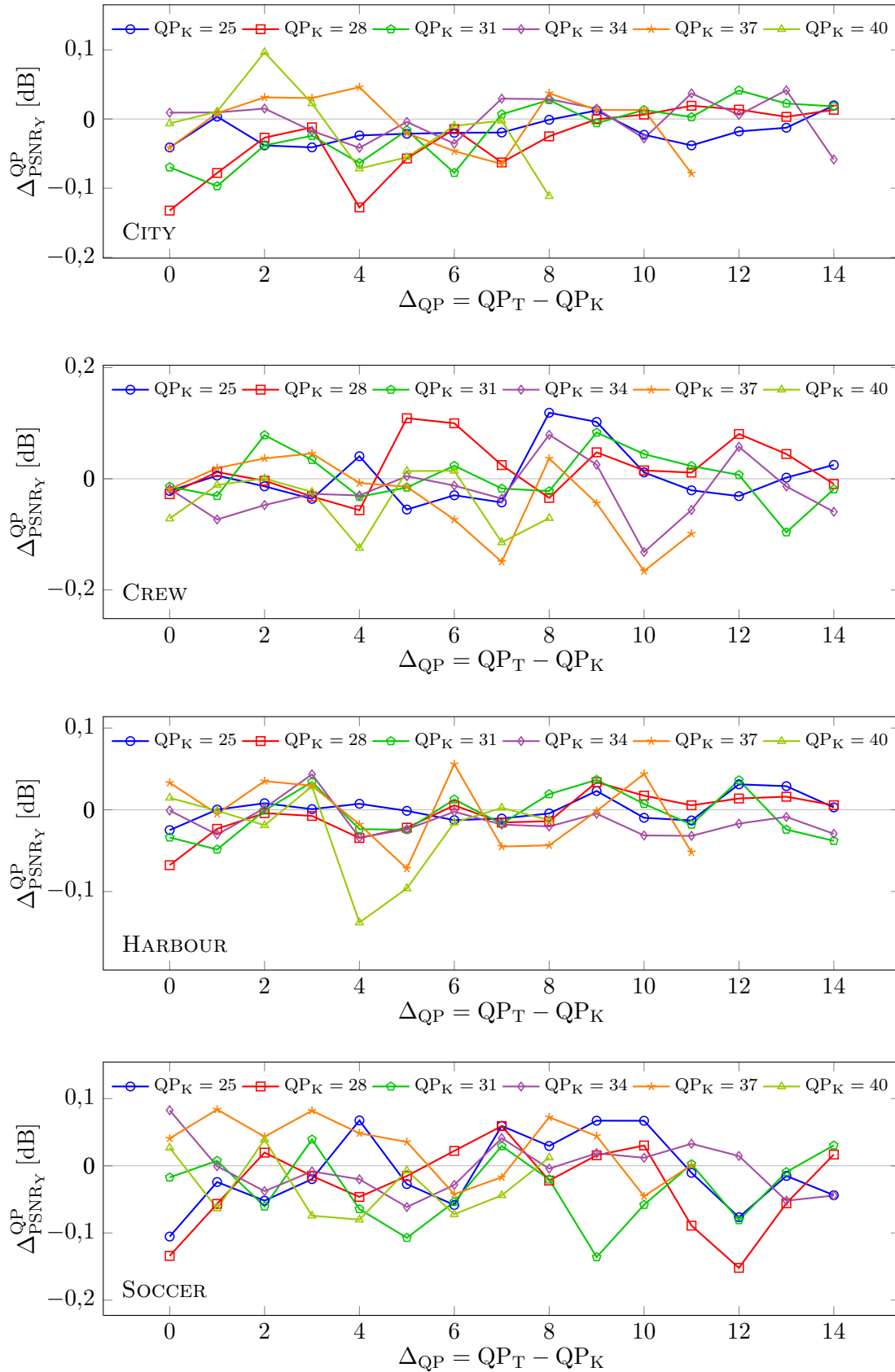
Rysunek B.22: Różnica strat jakości transkodowania dla sekwencji, w których wartości parametrów kwantyzacji wynoszą odpowiednio $QP^I = QP^P = QP^B$ oraz $QP^I = QP^P = QP^B - 2$. Wartości dodatnie oznaczają większe straty transkodowania dla strumieni otrzymanych przy założeniu $QP^I = QP^P = QP^B$. Wielkości przedstawione w funkcji różnicy wartości parametrów kwantyzacji w wejściowym (QP_K) i wyjściowym (QP_T) strumieniu bitowym (struktura GOP: 4P2B, włączony filtr deblokujący, brak makrobloków Intra w obrazach P i B)



Rysunek B.23: Różnica strat jakości transkodowania dla sekwencji, w których wartości parametrów kwantyzacji wynoszą odpowiednio $\text{QP}^I = \text{QP}^P = \text{QP}^B$ oraz $\text{QP}^I = \text{QP}^P = \text{QP}^B - 2$. Wartości dodatnie oznaczają większe straty transkodowania dla strumieni otrzymanych przy założeniu $\text{QP}^I = \text{QP}^P = \text{QP}^B$. Wielkości przedstawione w funkcji różnicy wartości parametrów kwantyzacji w wejściowym (QP_K) i wyjściowym (QP_T) strumieniu bitowym (struktura GOP: 3P3B, włączony filtr deblokujący, dozwolone makrobloki Intra w obrazach P i B)

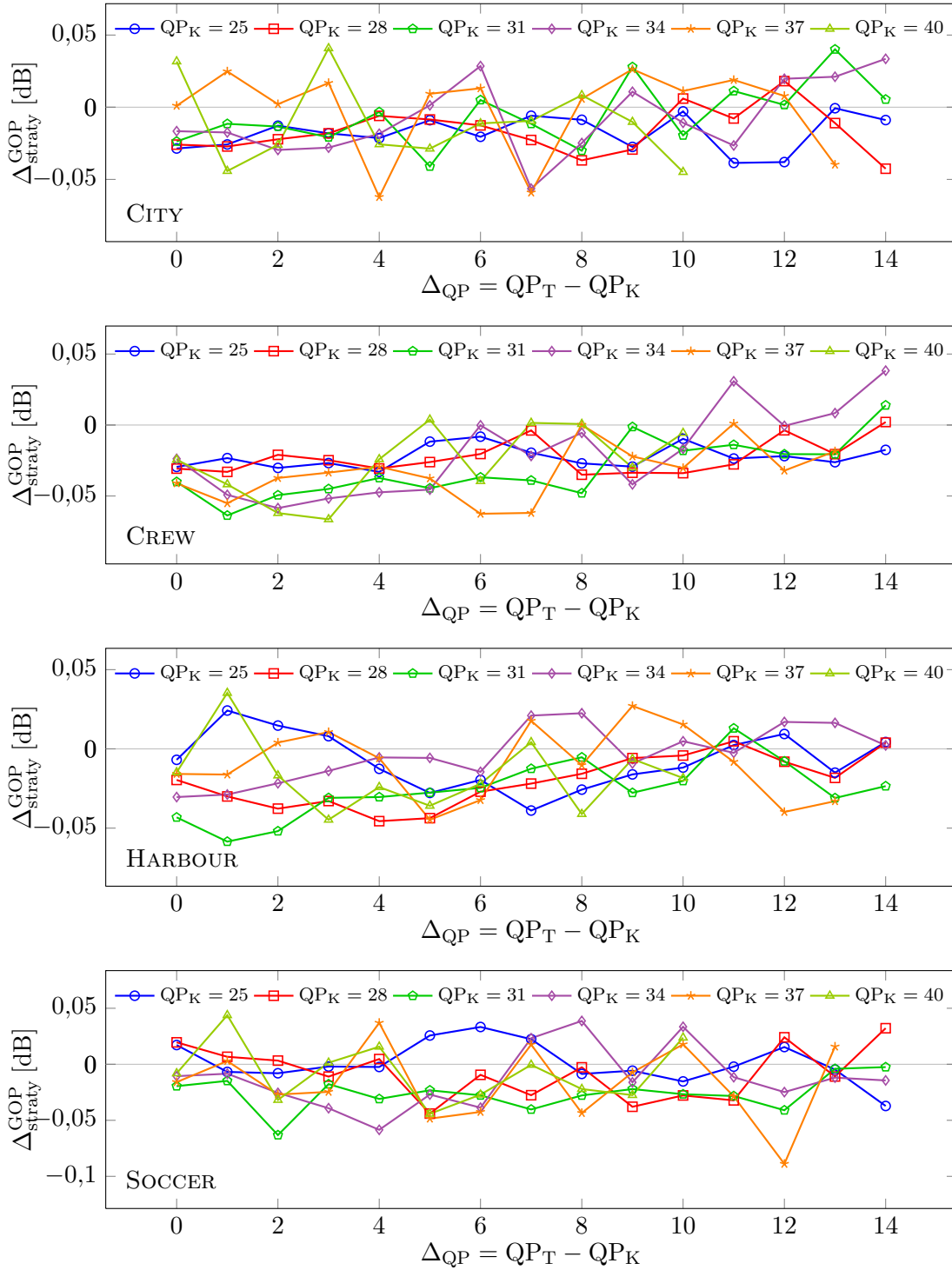


Rysunek B.24: Różnica strat jakości transkodowania dla sekwencji, w których wartości parametrów kwantyzacji wynoszą odpowiednio $\text{QP}^I = \text{QP}^P = \text{QP}^B$ oraz $\text{QP}^I = \text{QP}^P = \text{QP}^B - 2$. Wartości dodatnie oznaczają większe straty transkodowania dla strumieni otrzymanych przy założeniu $\text{QP}^I = \text{QP}^P = \text{QP}^B$. Wielkości przedstawione w funkcji różnicy wartości parametrów kwantyzacji w wejściowym (QP_K) i wyjściowym (QP_T) strumieniu bitowym (struktura GOP: 4P2B, włączony filtr deblokujący, dozwolone makrobloki Intra w obrazach P i B)

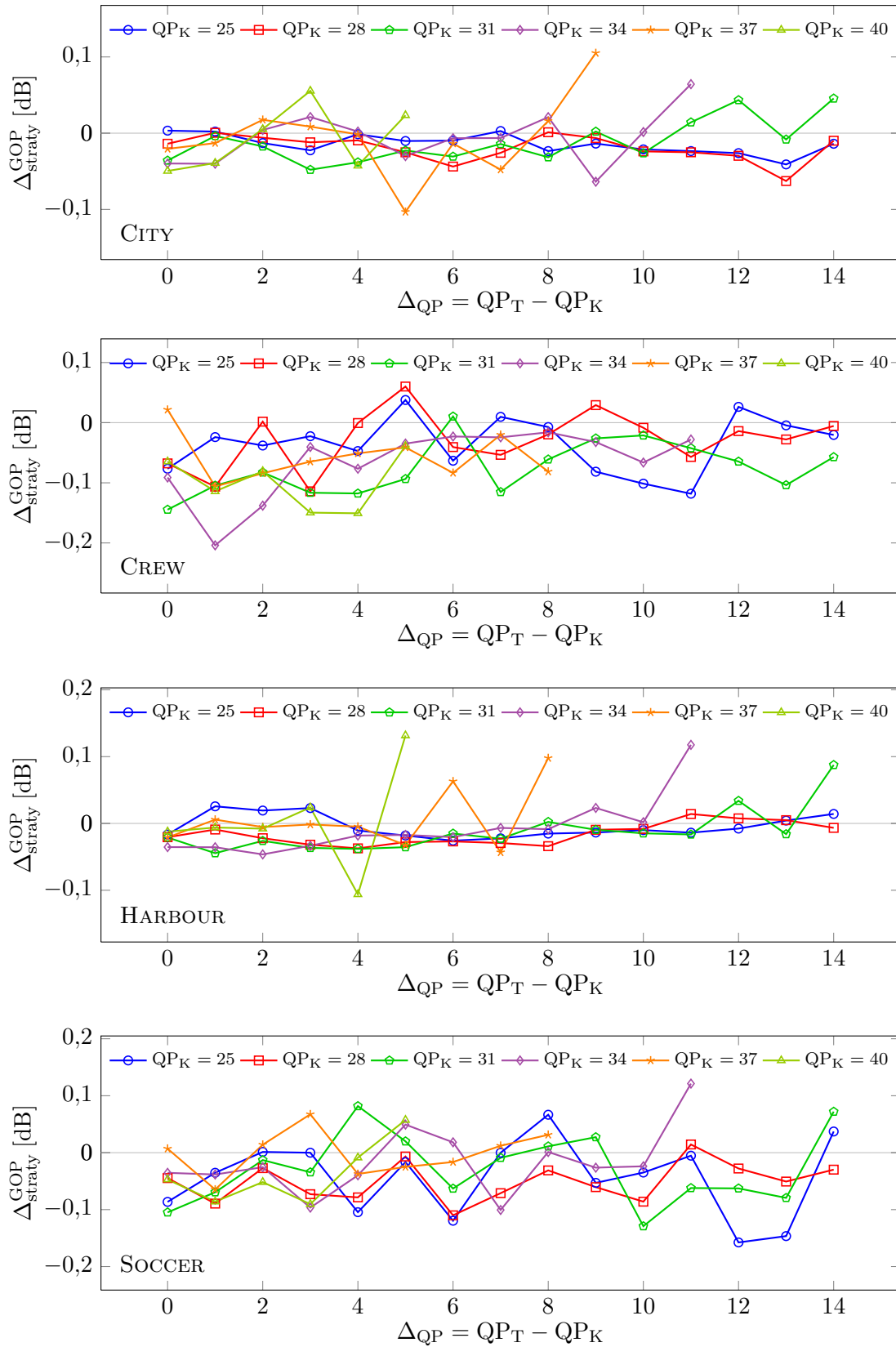


Rysunek B.25: Różnica strat jakości transkodowania dla sekwencji, w których wartości parametrów kwantyzacji wynoszą odpowiednio $\text{QP}^I + 2 = \text{QP}^P = \text{QP}^B$ oraz $\text{QP}^I = \text{QP}^P = \text{QP}^B$. Wartości dodatnie oznaczają większe straty transkodowania dla strumieni otrzymanych przy założeniu $\text{QP}^I + 2 = \text{QP}^P = \text{QP}^B$. Wielkości przedstawione w funkcji różnicy wartości parametrów kwantyzacji w wejściowym (QP_K) i wyjściowym (QP_T) strumieniu bitowym (struktura GOP: 4P2B, wyłączony filtr deblokujący, brak makrobloków Intra w obrazach P i B)

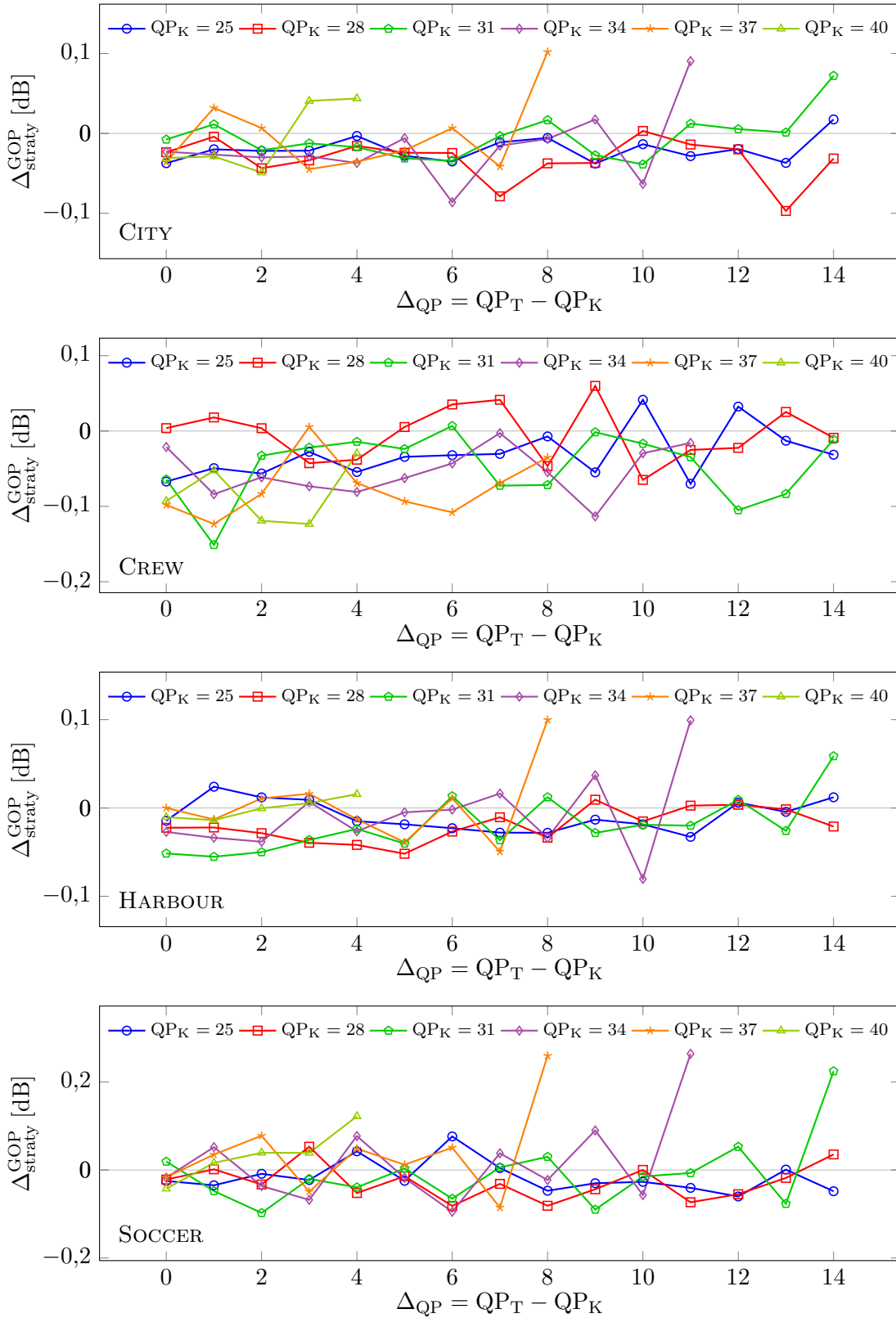
Dodatek B.4 Uzupełnienia do punktu 3.3.2.3



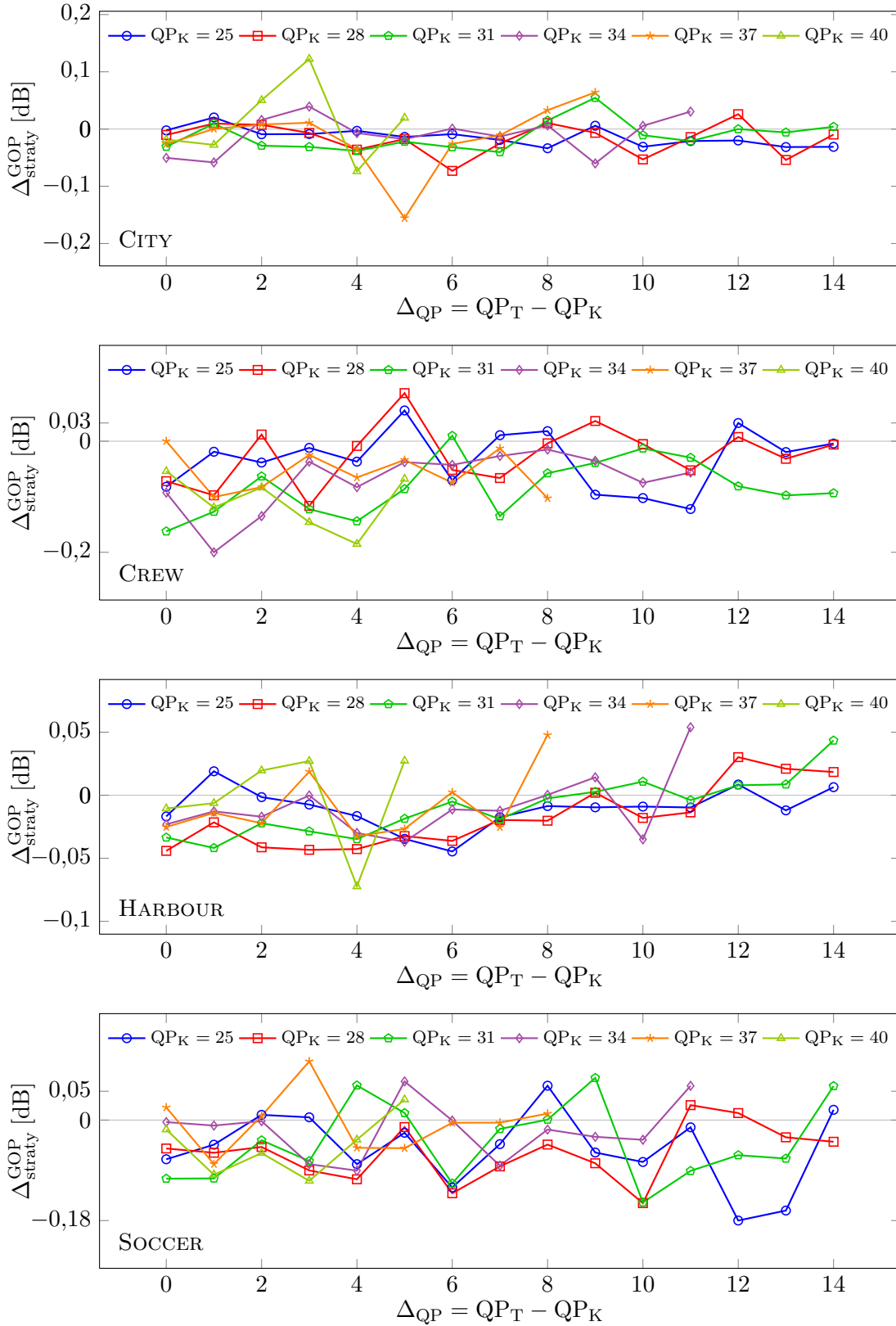
Rysunek B.26: Różnica strat jakości transkodowania dla sekwencji zakodowanych ze strukturami GOP o postaciach 3P3B i 4P2B. Wartości dodatnie oznaczają większe straty transkodowania dla struktury grupy obrazów o postaci 3P3B ($\text{QP}^I = \text{QP}^P = \text{QP}^B$, włączony filtr deblokujący, dozwolone makrobloki Intra w obrazach P i B)



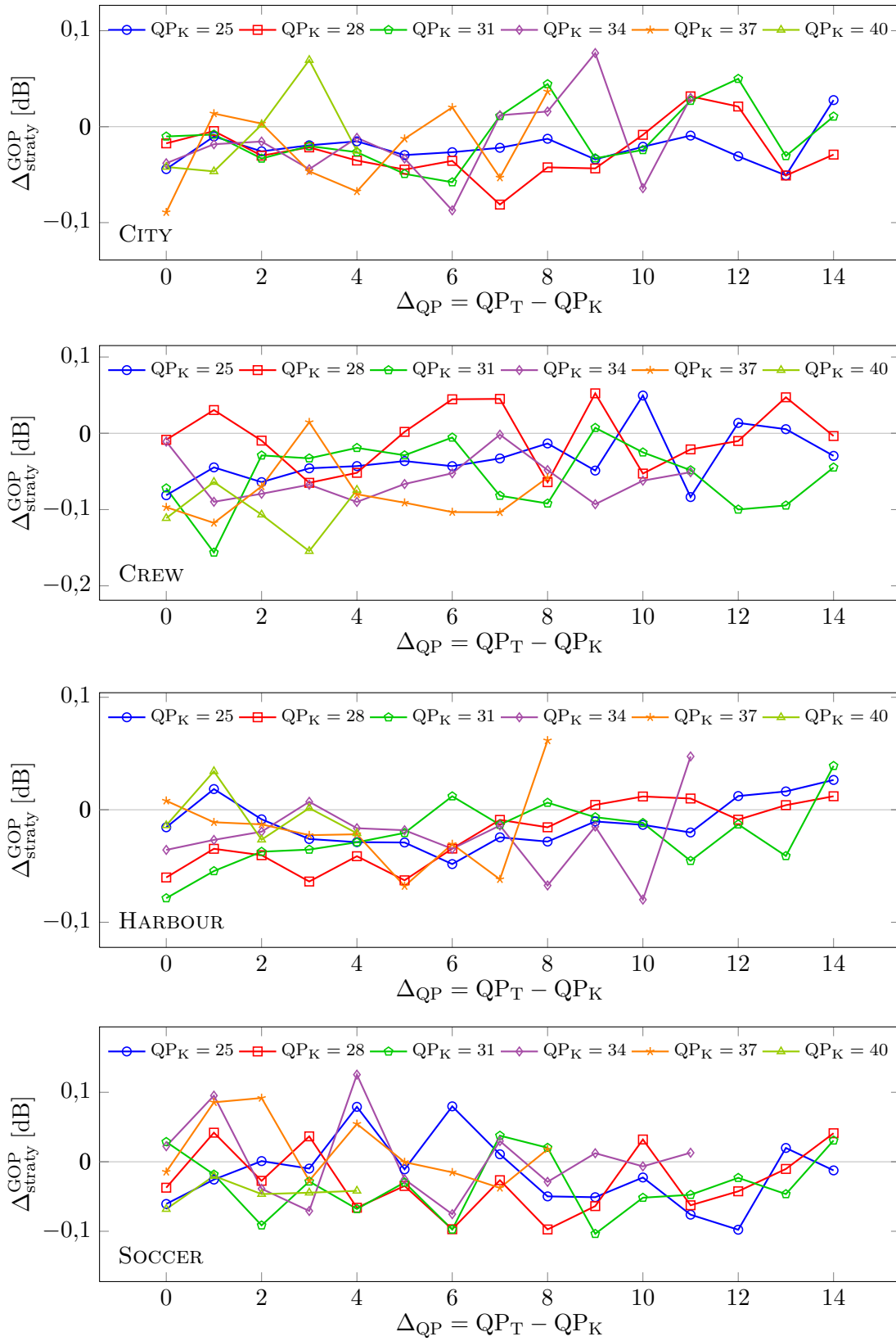
Rysunek B.27: Różnica strat jakości transkodowania dla sekwencji zakodowanych ze strukturami GOP o postaciach 3P3B i 4P2B. Wartości dodatnie oznaczają większe straty transkodowania dla struktury grupy obrazów o postaci 3P3B ($\text{QP}^I = \text{QP}^P = \text{QP}^B$, wyłączony filtr deblokujący, brak makrobloków Intra w obrazach P i B)



Rysunek B.28: Różnica strat jakości transkodowania dla sekwencji zakodowanych ze strukturami GOP o postaciach 3P3B i 4P2B. Wartości dodatnie oznaczają większe straty transkodowania dla struktury grupy obrazów o postaci 3P3B ($\text{QP}^I = \text{QP}^P = \text{QP}^B$, włączony filtr deblokujący, brak makrobloków Intra w obrazach P i B)

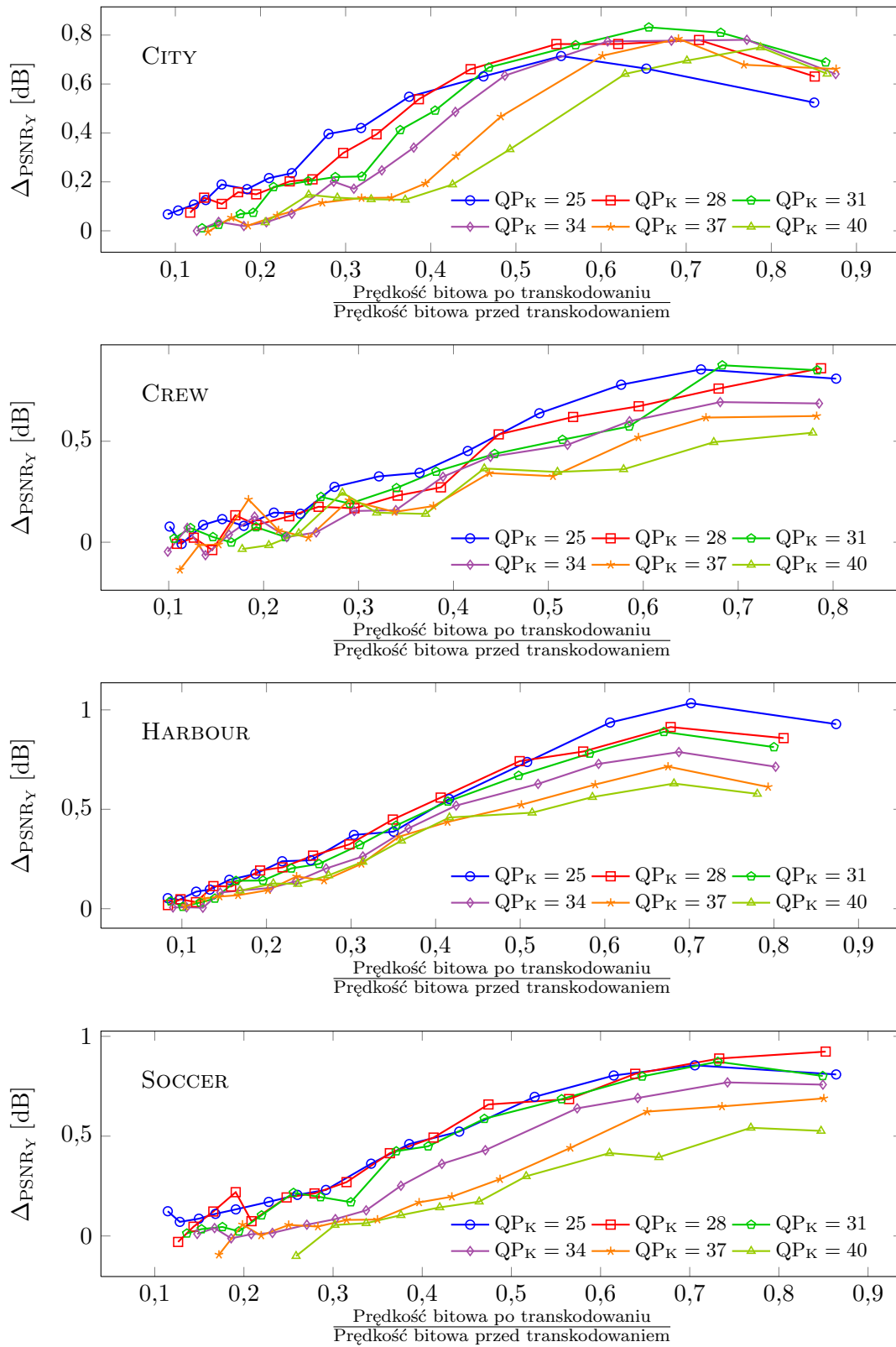


Rysunek B.29: Różnica strat jakości transkodowania dla sekwencji zakodowanych ze strukturami GOP o postaciach 3P3B i 4P2B. Wartości dodatnie oznaczają większe straty transkodowania dla struktury grupy obrazów o postaci 3P3B ($\text{QP}^I = \text{QP}^P = \text{QP}^B + 2$, wyłączony filtr deblokujący, brak makrobloków Intra w obrazach P i B)

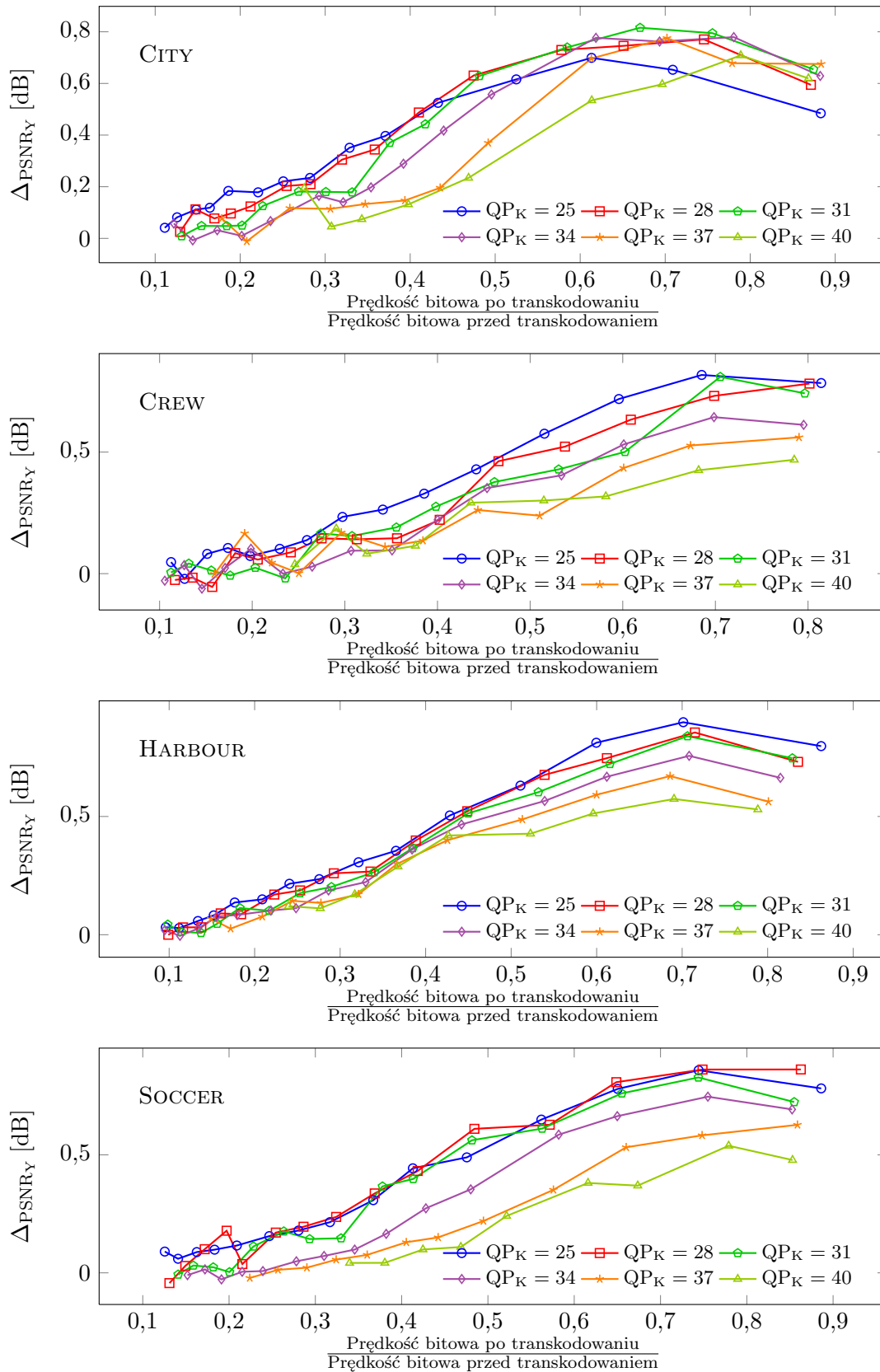


Rysunek B.30: Różnica strat jakości transkodowania dla sekwencji zakodowanych ze strukturami GOP o postaciach 3P3B i 4P2B. Wartości dodatnie oznaczają większe straty transkodowania dla struktury grupy obrazów o postaci 3P3B ($QP^I = QP^P = QP^B + 2$, włączony filtr deblokujący, brak makrobloków Intra w obrazach P i B)

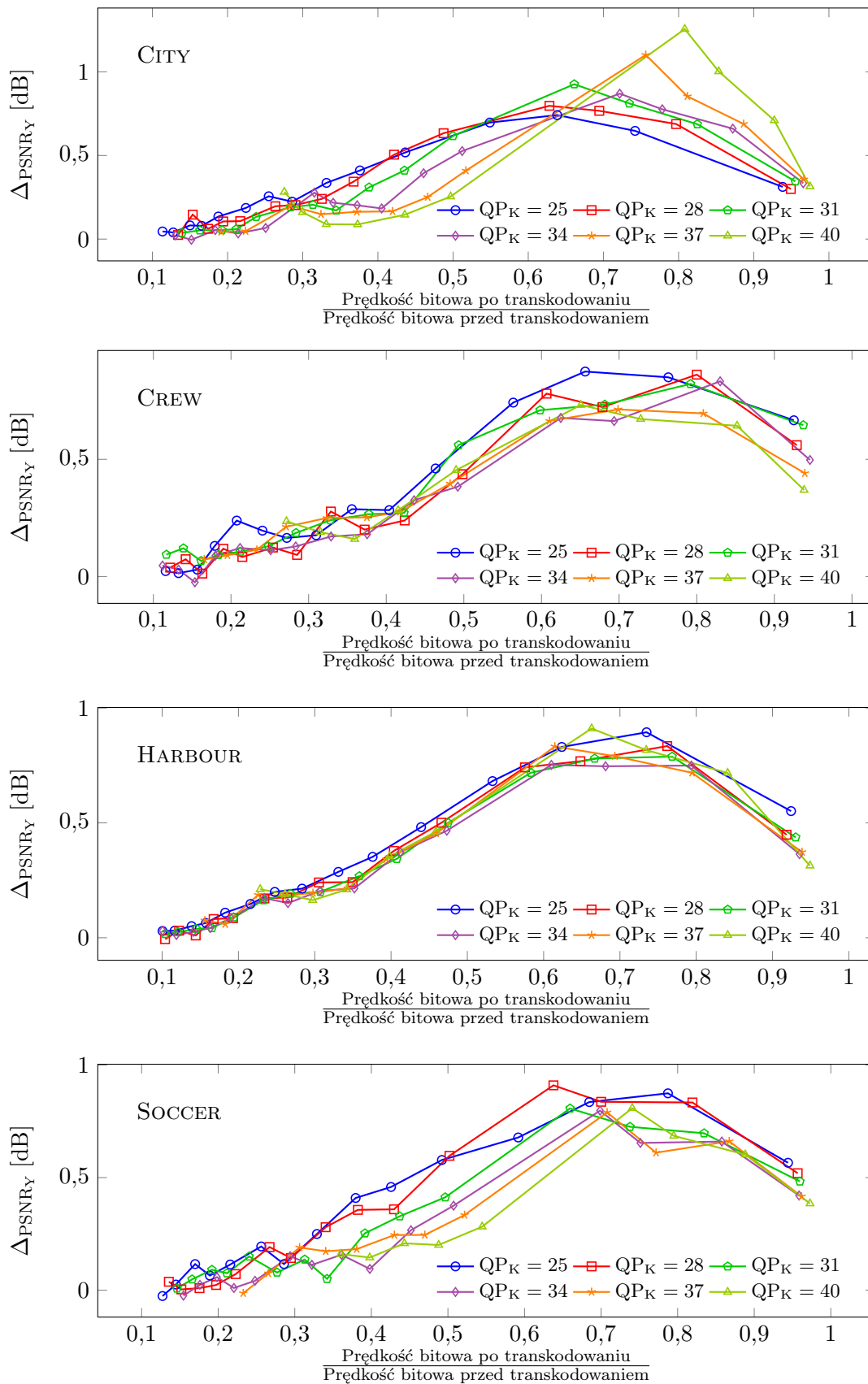
Dodatek B.5 Uzupełnienia do punktu 3.3.3



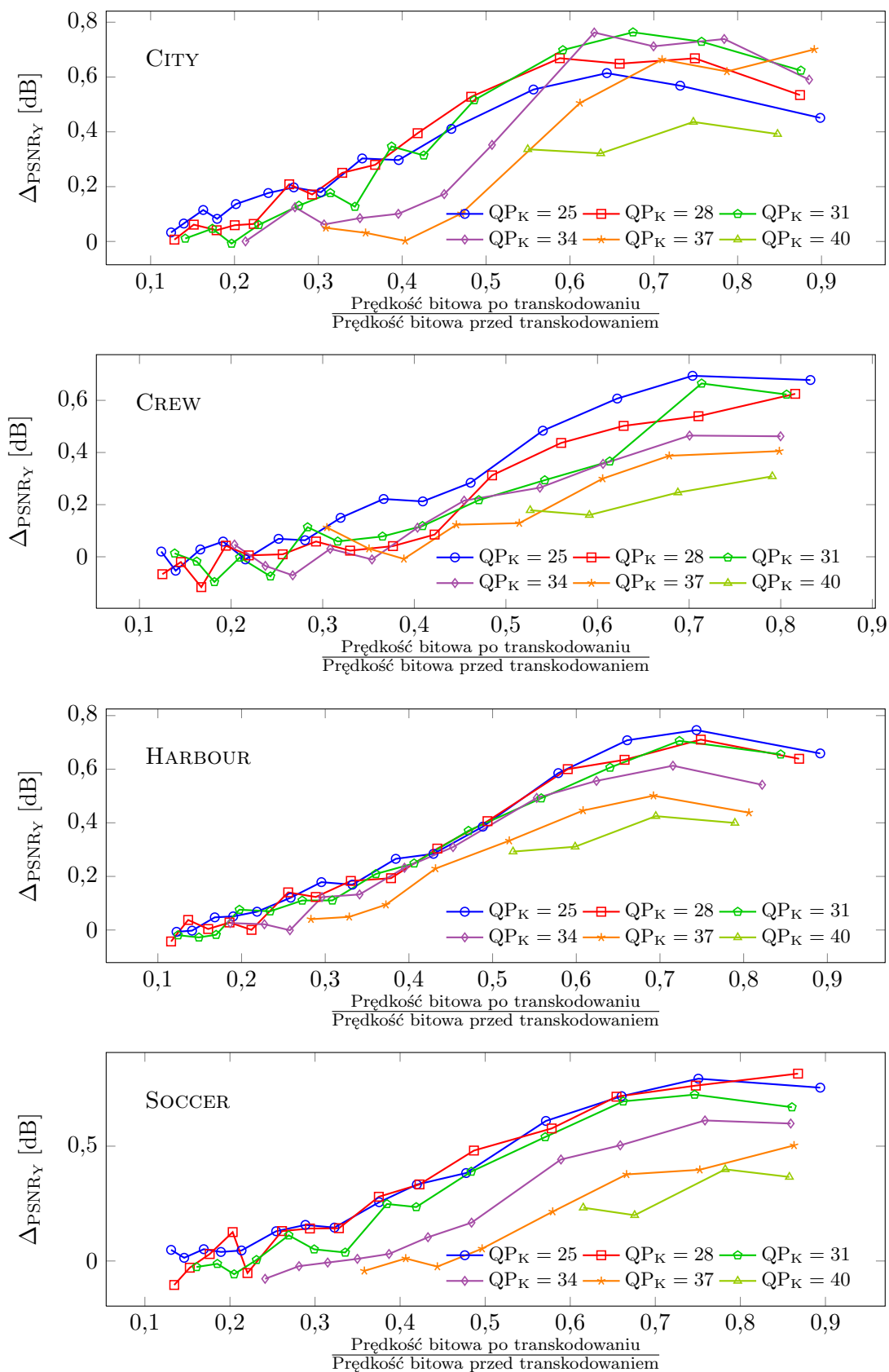
Rysunek B.31: Straty jakości spowodowane wykorzystaniem transkodera kaskadowego w zależności od stosunku prędkości bitowej po transkodowaniu do prędkości bitowej przed transkodowaniem (struktura GOP: 4P2B, $QP^I = QP^P = QP^B$, włączony filtr deblokujący)



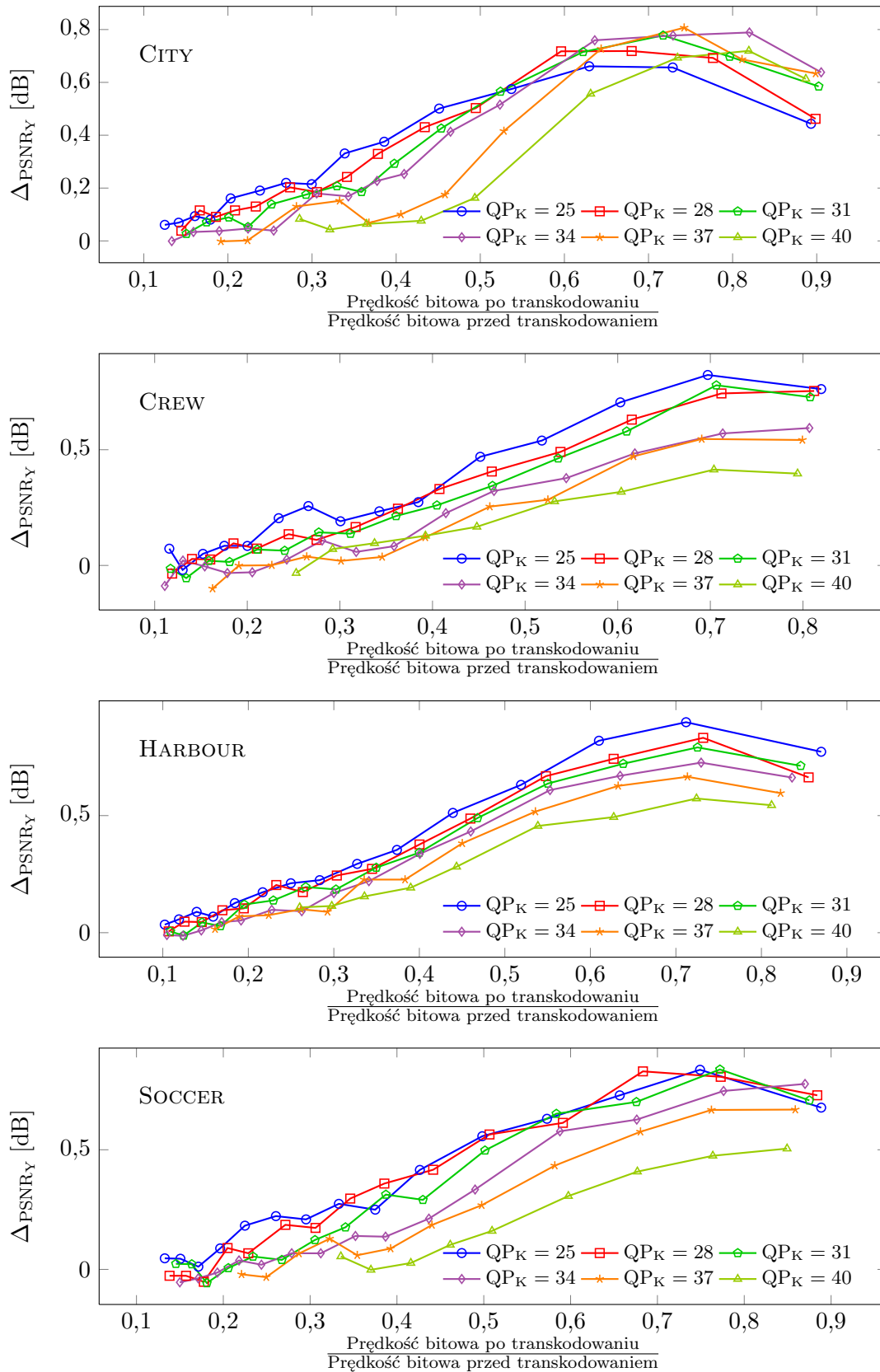
Rysunek B.32: Straty jakości spowodowane wykorzystaniem transkodera kaskadowego w zależności od stosunku prędkości bitowej po transkodowaniu do prędkości bitowej przed transkodowaniem (struktura GOP: 4P2B, $QP^I = QP^P = QP^B - 2$, włączony filtr deblokujący)



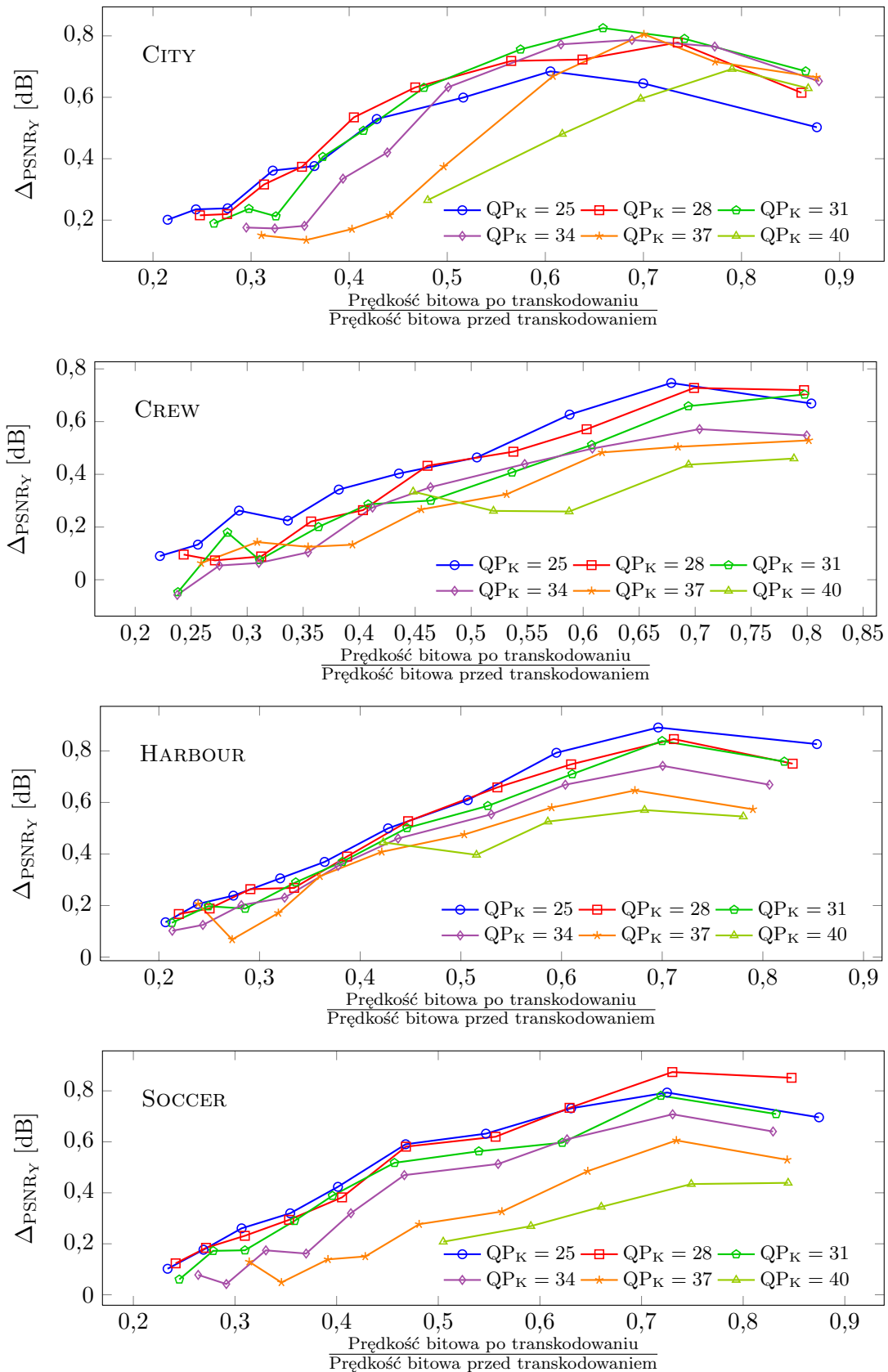
Rysunek B.33: Straty jakości spowodowane wykorzystaniem transkodera kaskadowego w zależności od stosunku prędkości bitowej po transkodowaniu do prędkości bitowej przed transkodowaniem (struktura GOP: 4P2B, $QP^I = QP^P = QP^B - 2$, wyłączony filtr deblokujący)



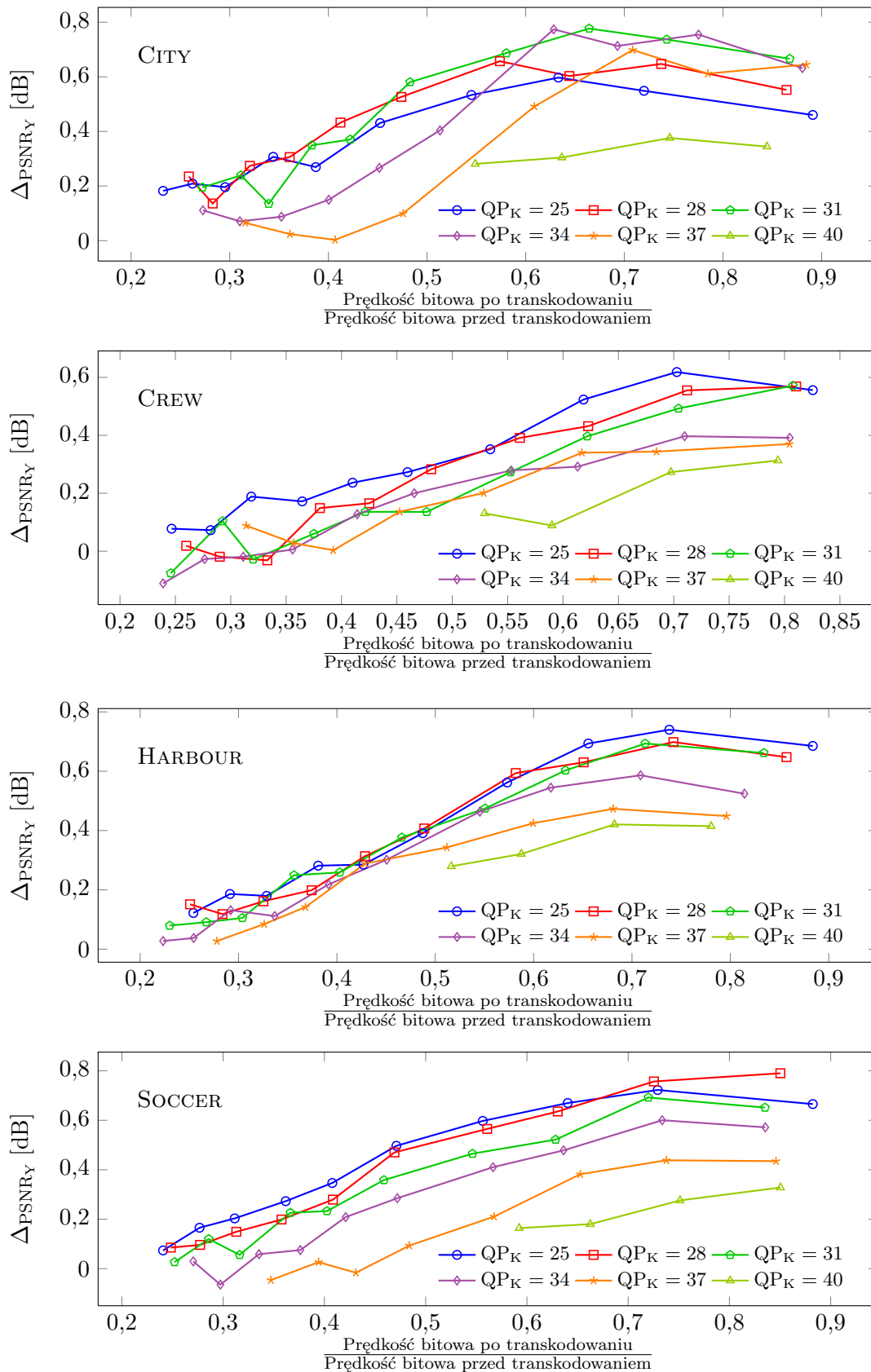
Rysunek B.34: Straty jakości spowodowane wykorzystaniem transkodera kaskadowego w zależności od stosunku prędkości bitowej po transkodowaniu do prędkości bitowej przed transkodowaniem (struktura GOP: 4P2B, $QP^I = QP^P = QP^B - 6$, włączony filtr deblokujący)



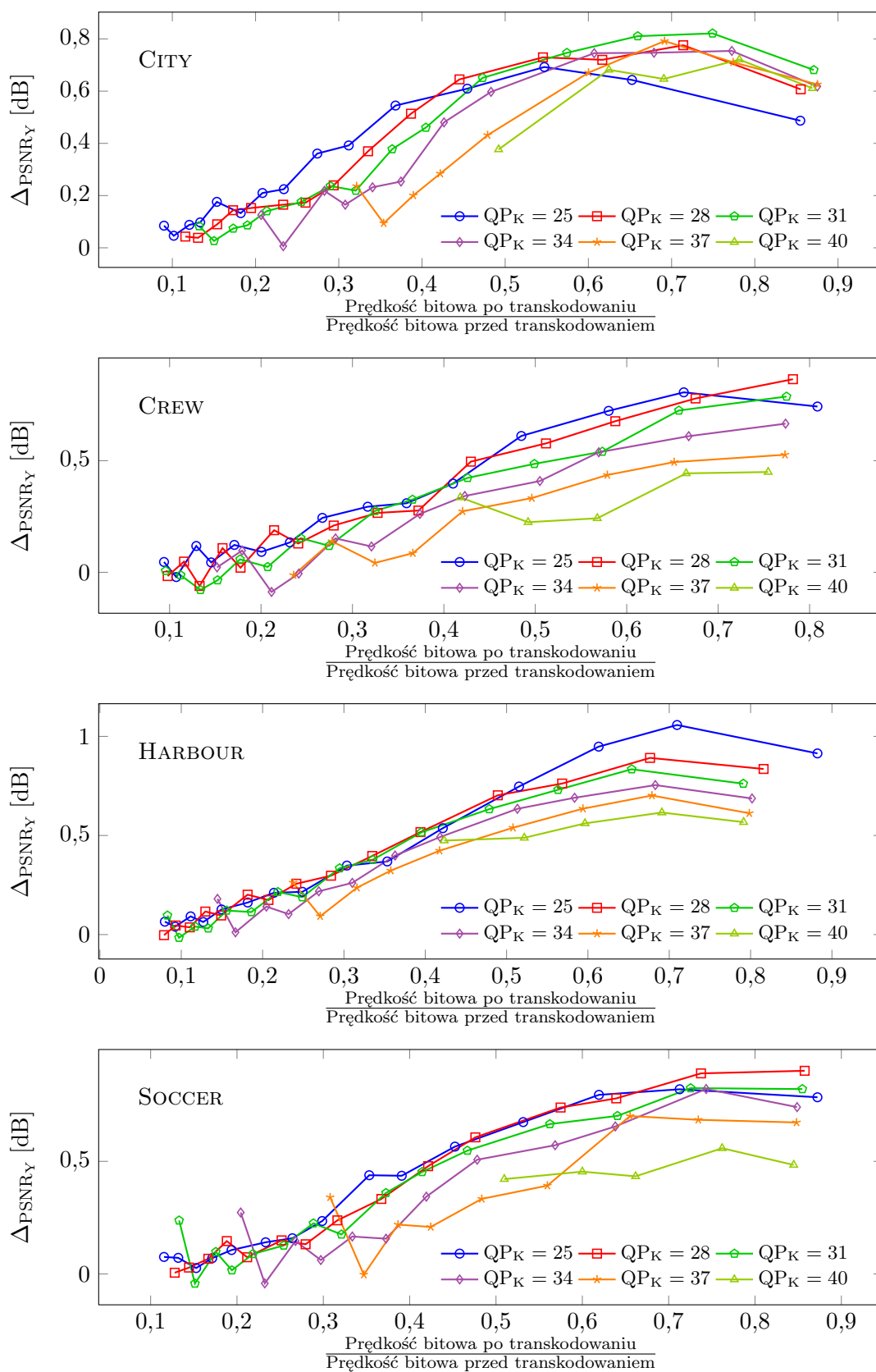
Rysunek B.35: Straty jakości spowodowane wykorzystaniem transkodera kaskadowego w zależności od stosunku prędkości bitowej po transkodowaniu do prędkości bitowej przed transkodowaniem (struktura GOP: 4P2B, $QP^I = QP^P = QP^B - 2$, włączony filtr deblokujący)



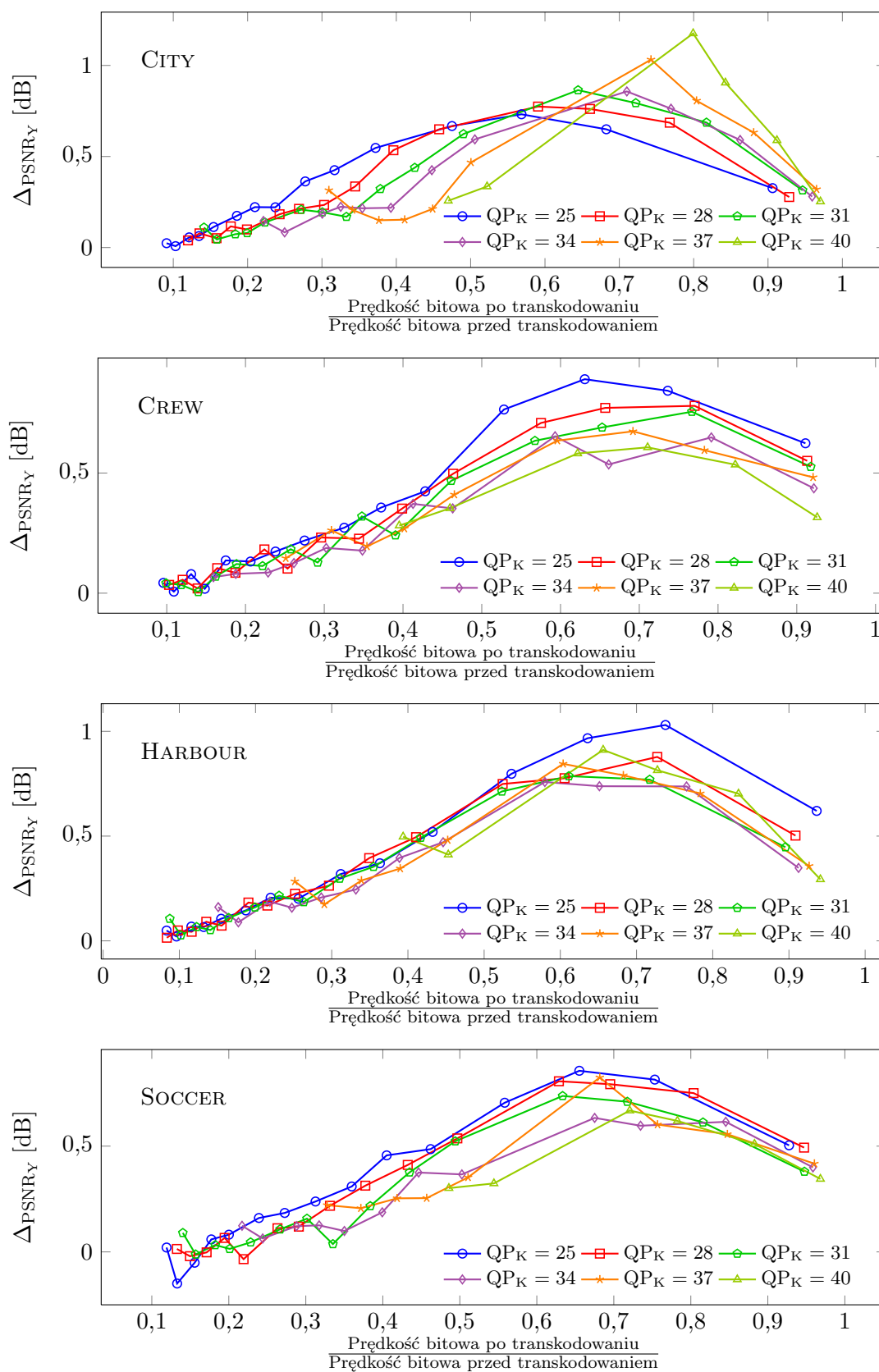
Rysunek B.36: Straty jakości spowodowane wykorzystaniem transkodera kaskadowego w zależności od stosunku prędkości bitowej po transkodowaniu do prędkości bitowej przed transkodowaniem (struktura GOP: 5P2B, $QP^I = QP^P = QP^B - 2$, włączony filtr deblokujący)



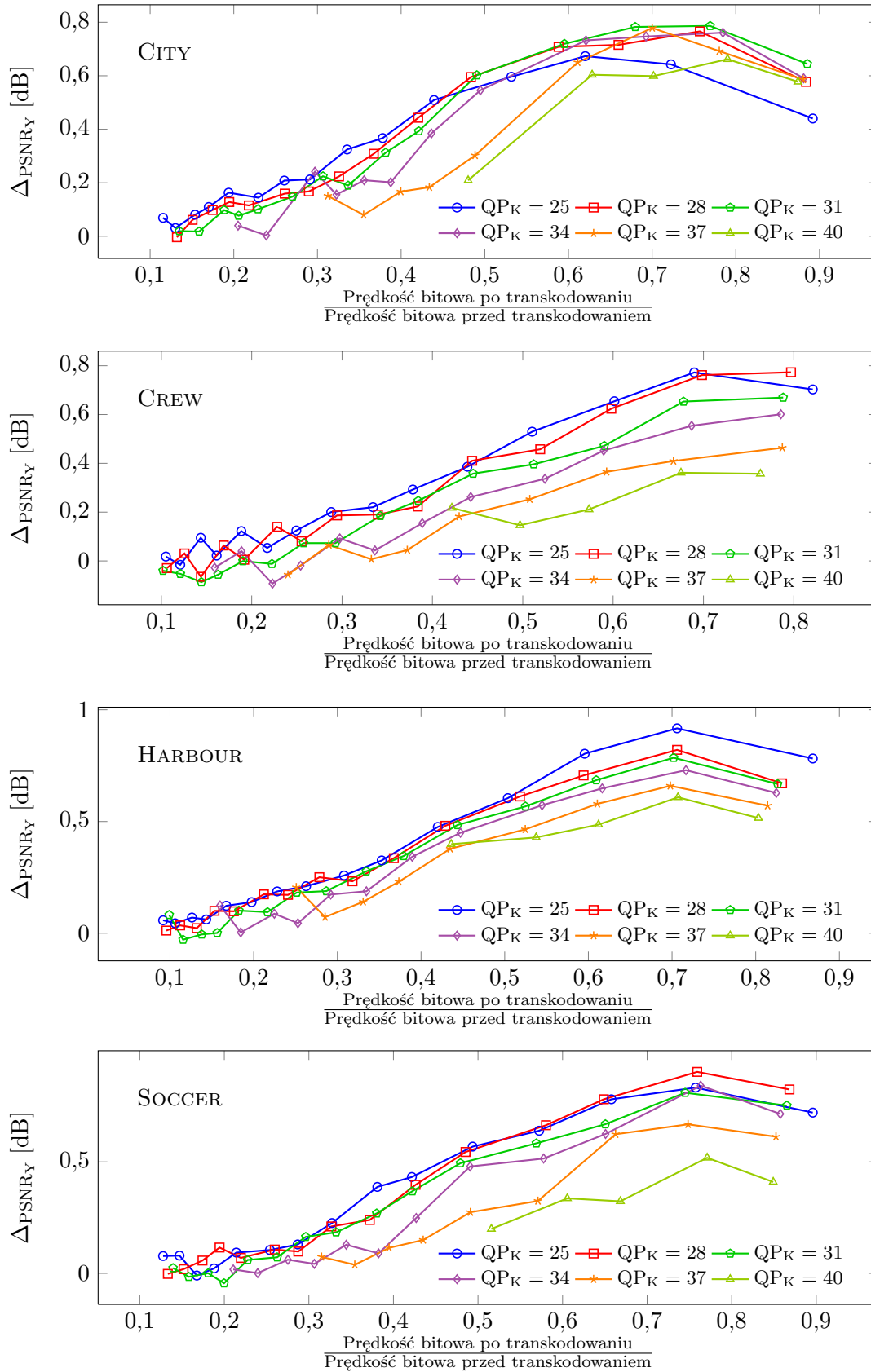
Rysunek B.37: Straty jakości spowodowane wykorzystaniem transkodera kaskadowego w zależności od stosunku prędkości bitowej po transkodowaniu do prędkości bitowej przed transkodowaniem (struktura GOP: 5P2B, $QP^I = QP^P = QP^B - 6$, włączony filtr deblokujący)



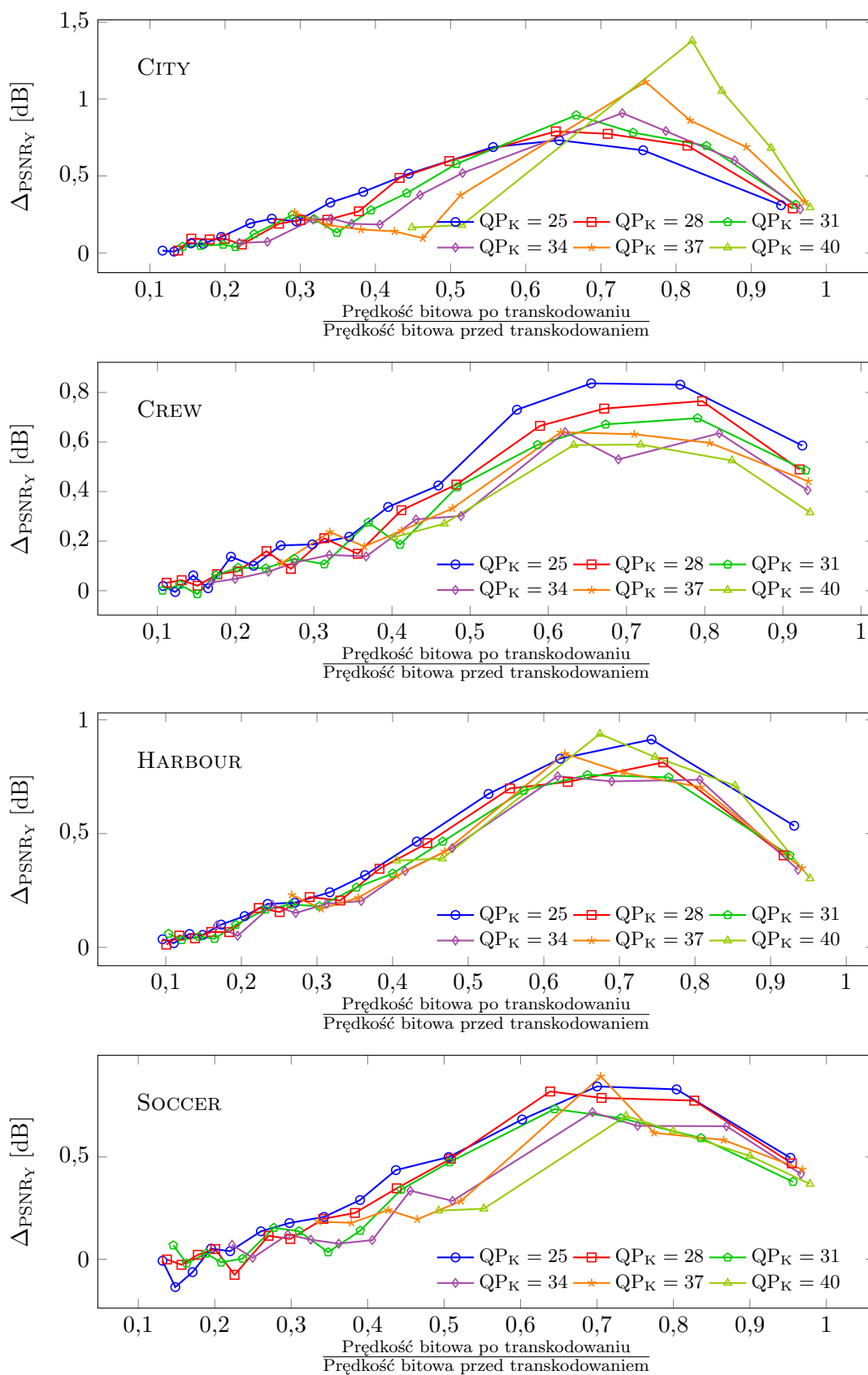
Rysunek B.38: Straty jakości spowodowane wykorzystaniem transkodera kaskadowego w zależności od stosunku prędkości bitowej po transkodowaniu do prędkości bitowej przed transkodowaniem (struktura GOP: 3P3B, $QP^I = QP^P = QP^B$, włączony filtr deblokujący)



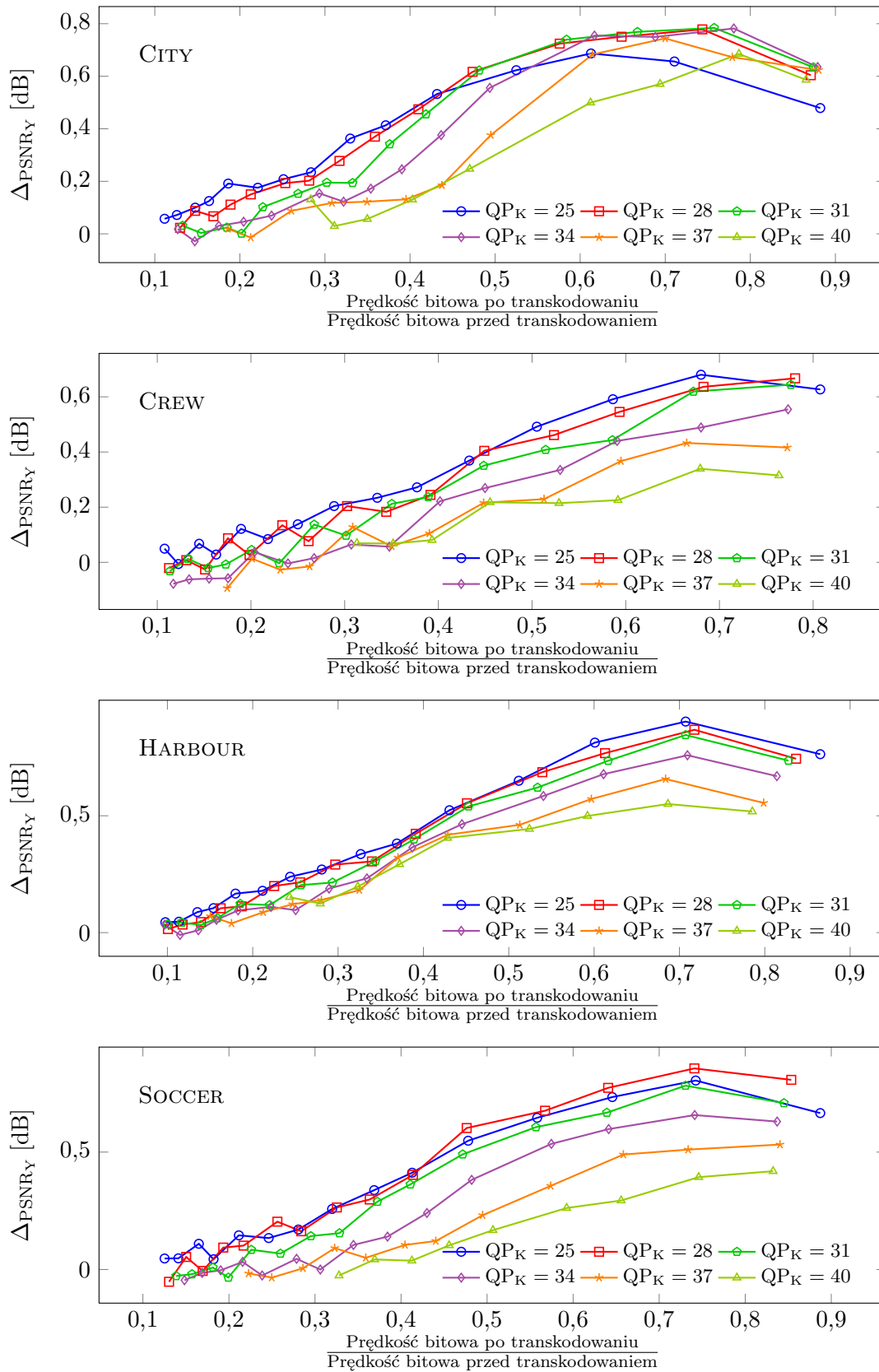
Rysunek B.39: Straty jakości spowodowane wykorzystaniem transkodera kaskadowego w zależności od stosunku prędkości bitowej po transkodowaniu do prędkości bitowej przed transkodowaniem (struktura GOP: 3P3B, $QP^I = QP^P = QP^B$, wyłączony filtr deblokujący)



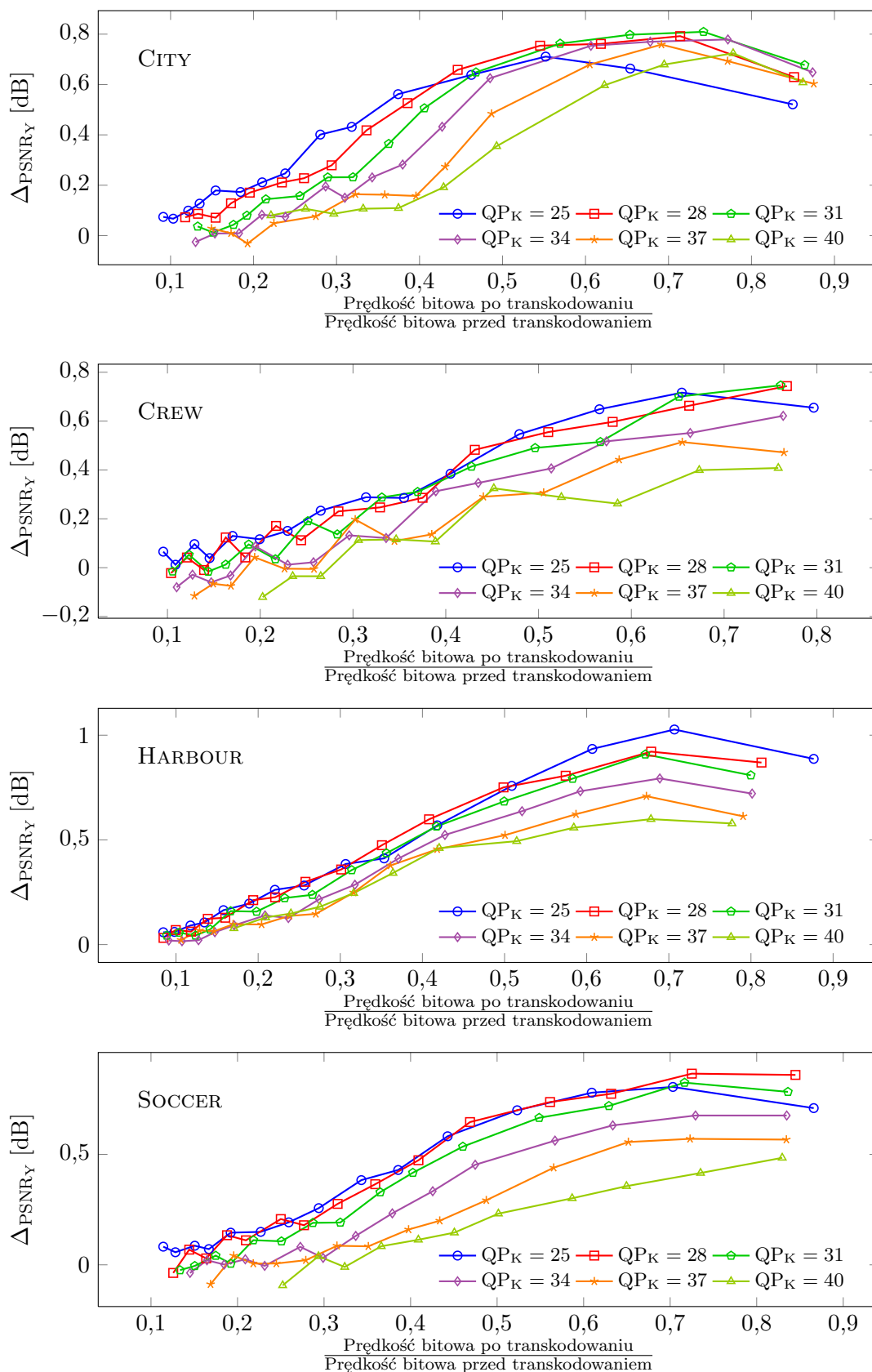
Rysunek B.40: Straty jakości spowodowane wykorzystaniem transkodera kaskadowego w zależności od stosunku prędkości bitowej po transkodowaniu do prędkości bitowej przed transkodowaniem (struktura GOP: 3P3B, $QP^I = QP^P = QP^B - 2$, włączony filtr deblokujący)



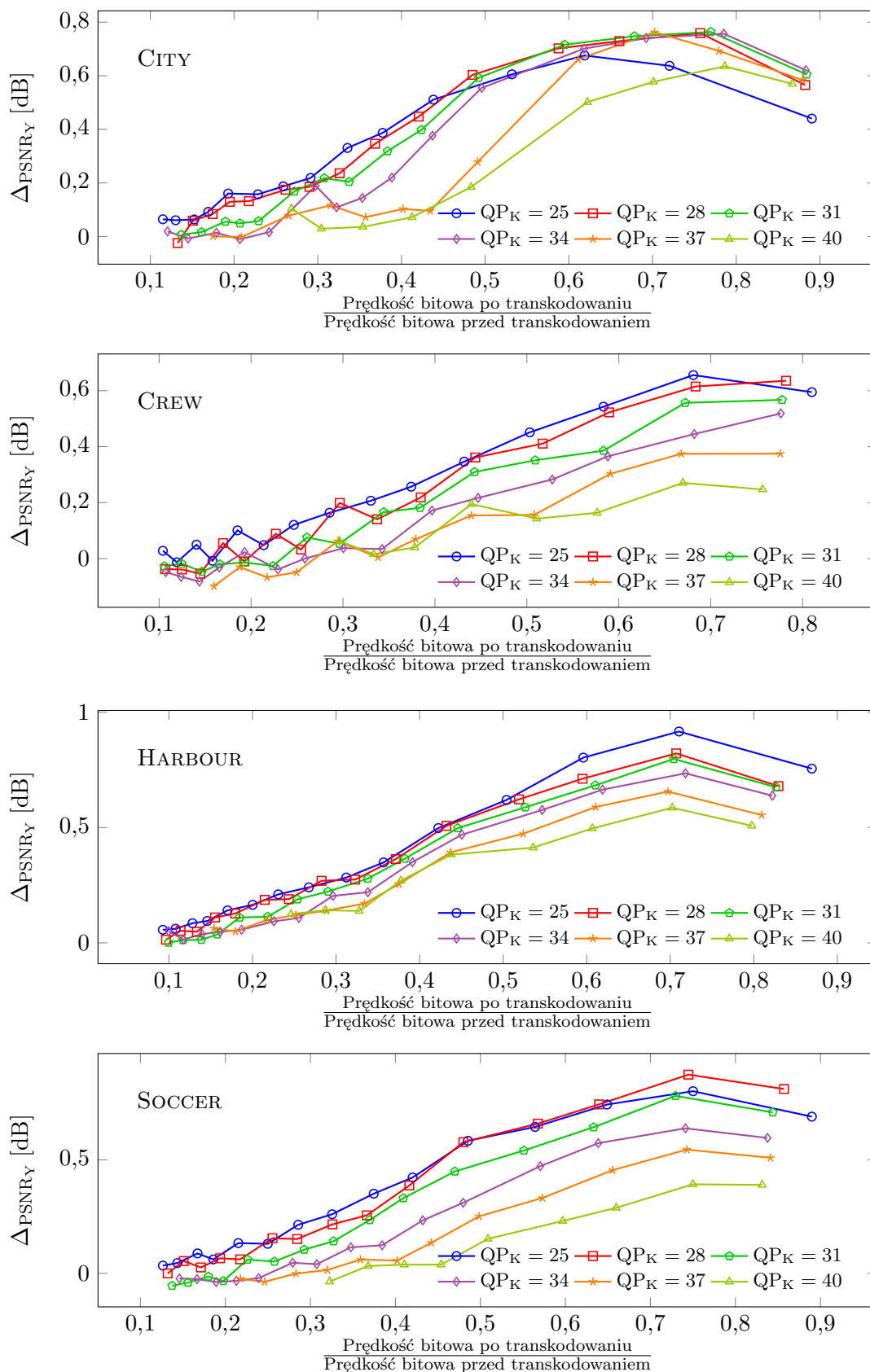
Rysunek B.41: Straty jakości spowodowane wykorzystaniem transkodera kaskadowego w zależności od stosunku prędkości bitowej po transkodowaniu do prędkości bitowej przed transkodowaniem (struktura GOP: 3P3B, $QP^I = QP^P = QP^B - 2$, wyłączony filtr deblokujący)



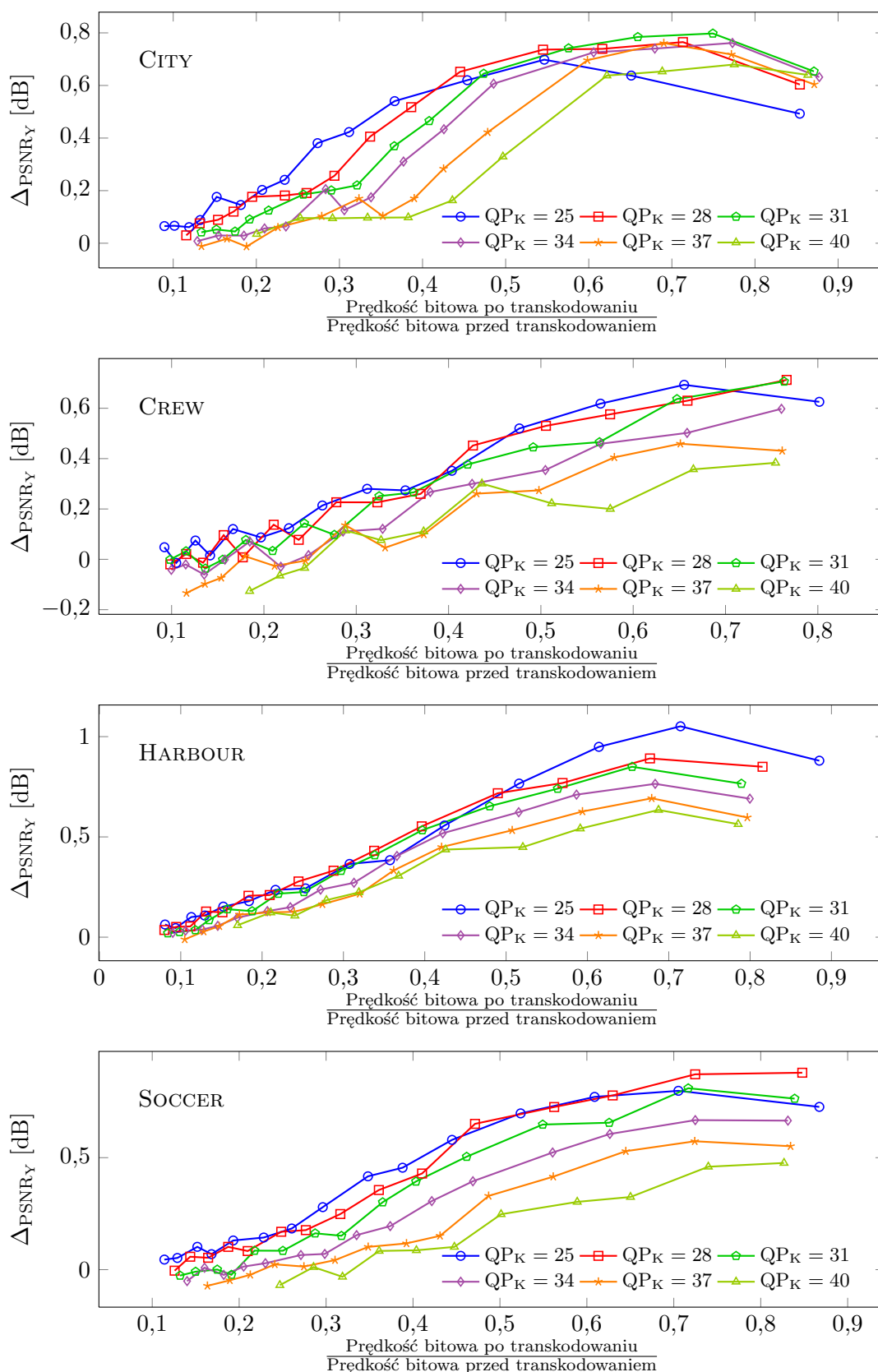
Rysunek B.42: Straty jakości spowodowane wykorzystaniem transkodera kaskadowego w zależności od stosunku prędkości bitowej po transkodowaniu do prędkości bitowej przed transkodowaniem (struktura GOP: 4P2B, $QP^I = QP^P = QP^B - 2$, włączony filtr deblokujący)



Rysunek B.43: Straty jakości spowodowane wykorzystaniem transkodera kaskadowego w zależności od stosunku prędkości bitowej po transkodowaniu do prędkości bitowej przed transkodowaniem (struktura GOP: 4P2B, $QP^I = QP^P = QP^B$, włączony filtr deblokujący)

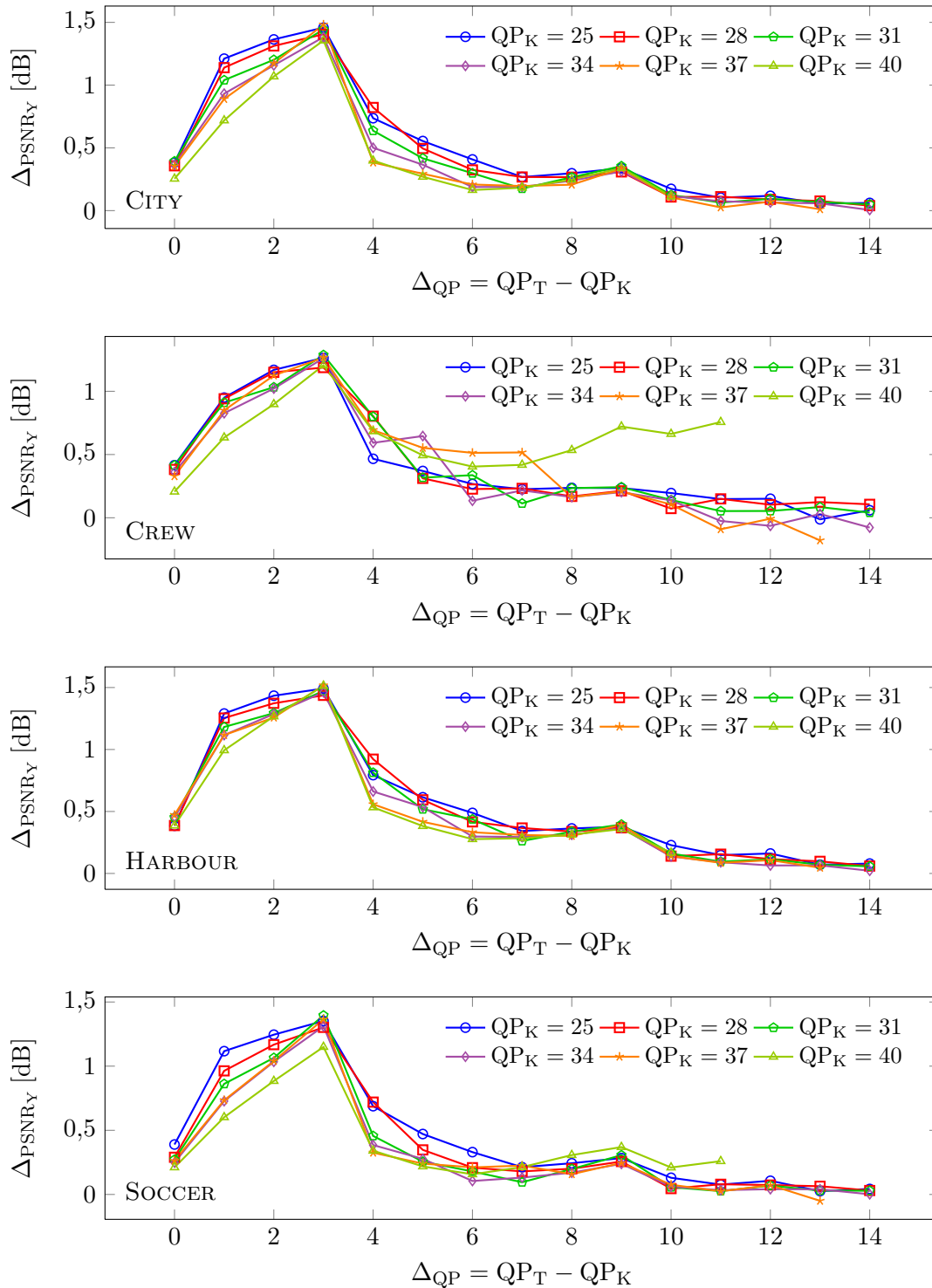


Rysunek B.44: Straty jakości spowodowane wykorzystaniem transkodera kaskadowego w zależności od stosunku prędkości bitowej po transkodowaniu do prędkości bitowej przed transkodowaniem (struktura GOP: 3P3B, $QP^I = QP^P = QP^B - 2$, włączony filtr deblokujący)

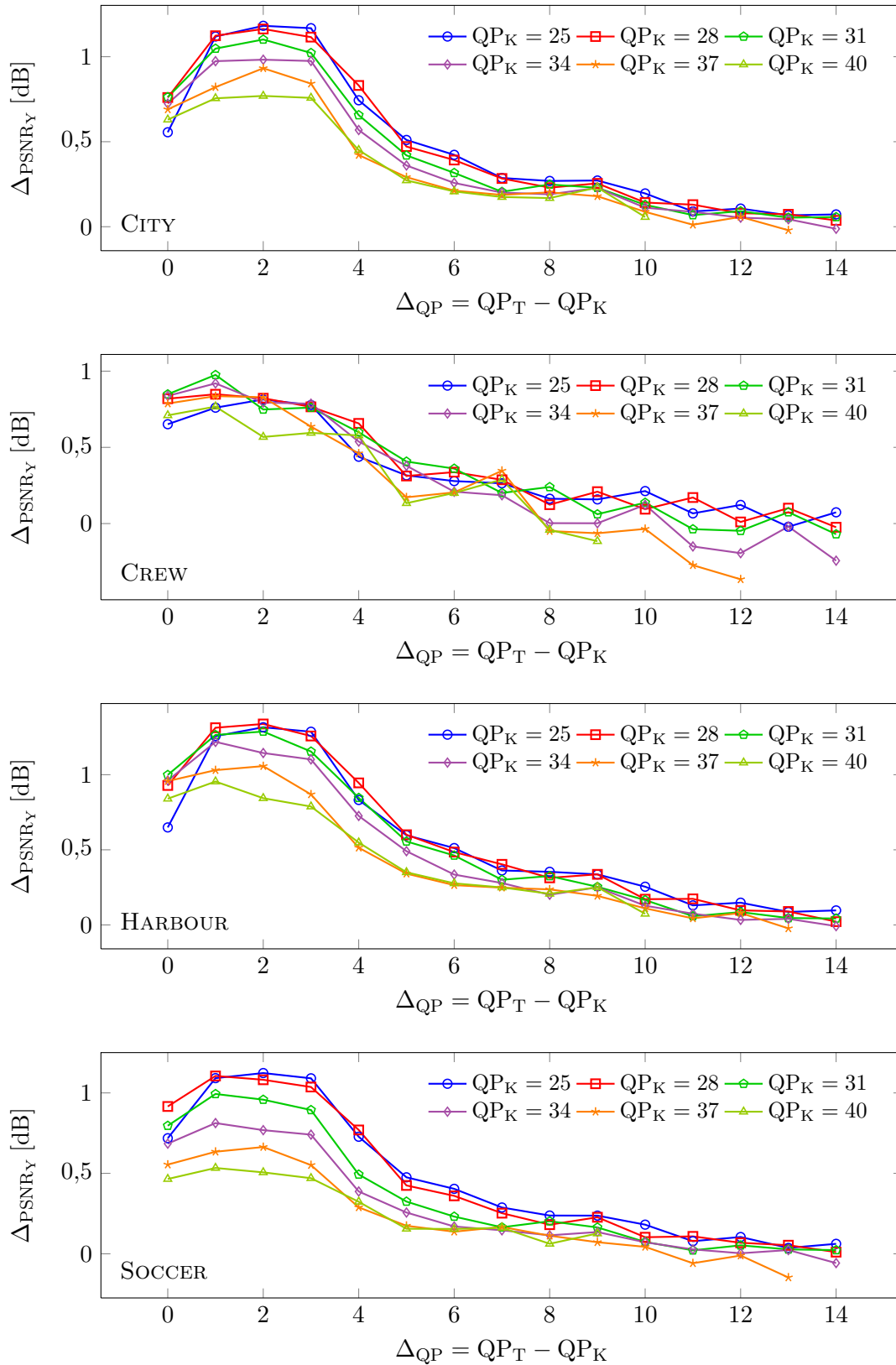


Rysunek B.45: Straty jakości spowodowane wykorzystaniem transkodera kaskadowego w zależności od stosunku prędkości bitowej po transkodowaniu do prędkości bitowej przed transkodowaniem (struktura GOP: 3P3B, $QP^I = QP^P = QP^B$, włączony filtr deblokujący)

Dodatek B.6 Uzupełnienia do punktu 3.4.2

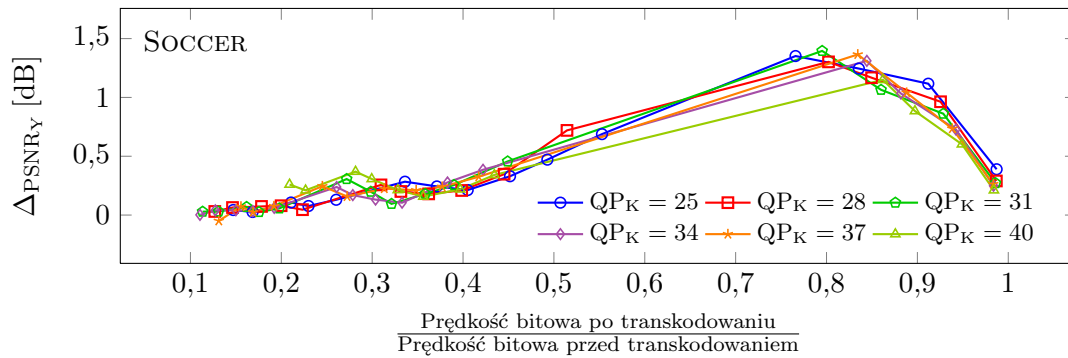
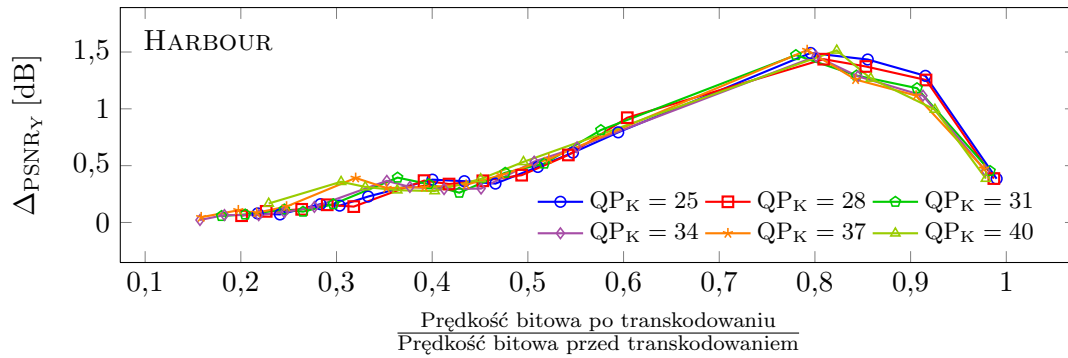


Rysunek B.46: Straty jakości spowodowane wykorzystaniem transkodera kaskadowego w zależności od różnicy wartości indeksu QP kodera (QP_K) i transkodera kaskadowego (QP_T) (wyłącznie obrazy typu I, wyłączony filtr deblokujący)

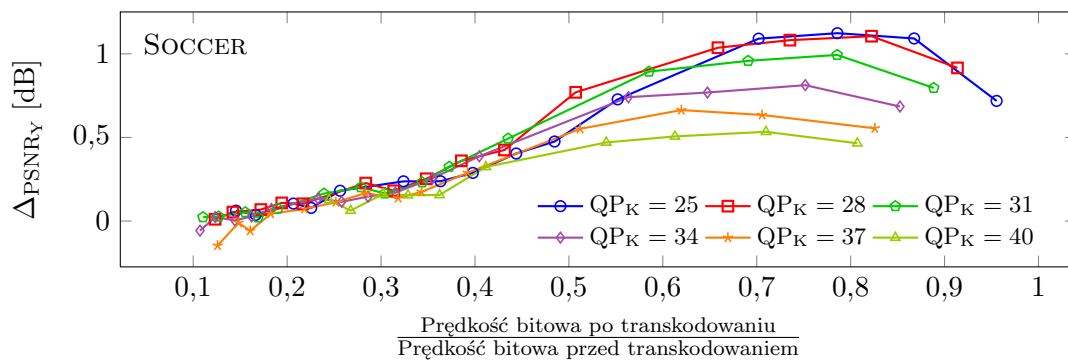
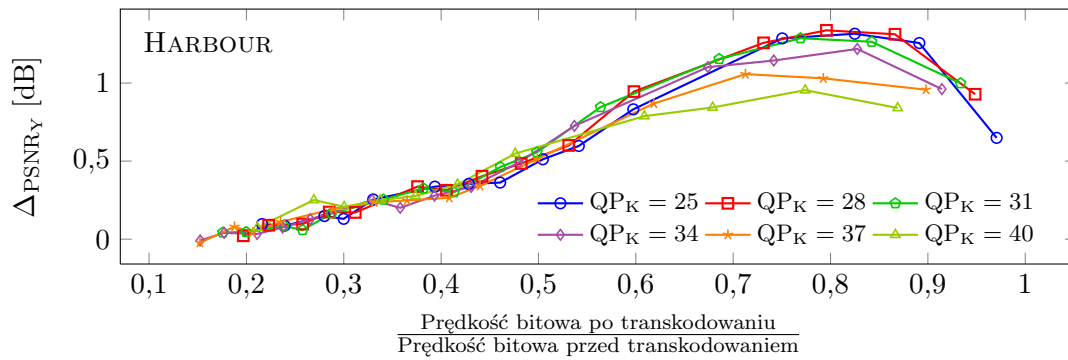


Rysunek B.47: Straty jakości spowodowane wykorzystaniem transkodera kaskadowego w zależności od różnicy wartości indeksu QP kodera (QP_K) i transkodera kaskadowego (QP_T) (wyłącznie obrazy typu I, włączony filtr deblokujący)

Dodatek B.7 Uzupełnienia do punktu 3.3.2



(a) Wyłączony filtr deblokujący



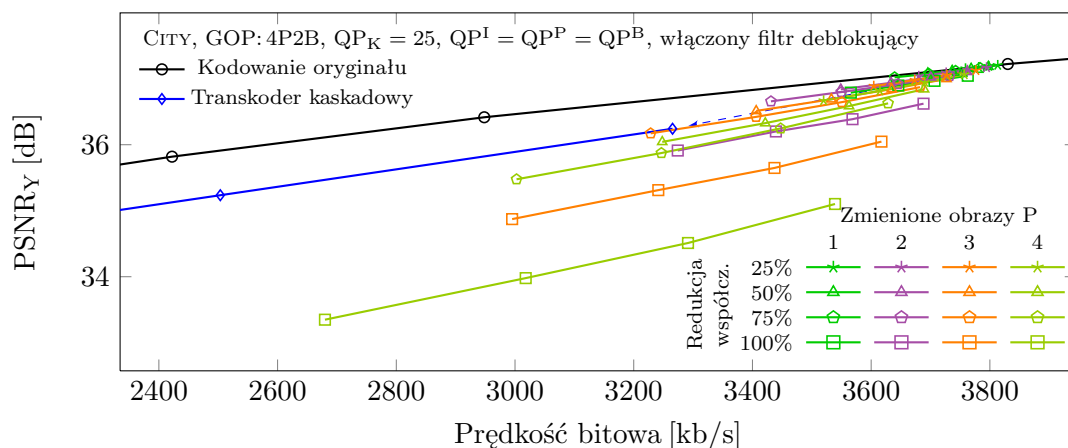
(b) Włączony filtr deblokujący

Rysunek B.48: Straty jakości spowodowane wykorzystaniem transkodera kaskadowego w zależności od stosunku prędkości bitowej po transkodowaniu do prędkości bitowej przed transkodowaniem. Wyłącznie obrazy typu I

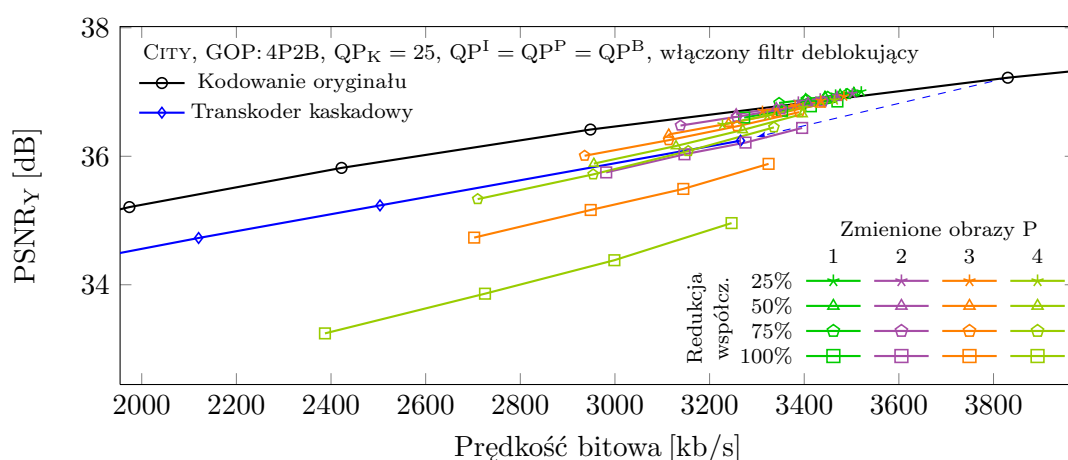
Uzupełnienia do rozdziału: Analiza redukcji prędkości transmisji

Poniżej przedstawiono uzupełnienie wyników zaprezentowanych w punkcie 4.5.3. Ze względu na ograniczenia objętościowe, mogła się tu znaleźć jedynie część rezultatów przeprowadzonych eksperymentów. Na dalszych stronach znaleźć można wyniki uzyskane dla następujących przypadków:

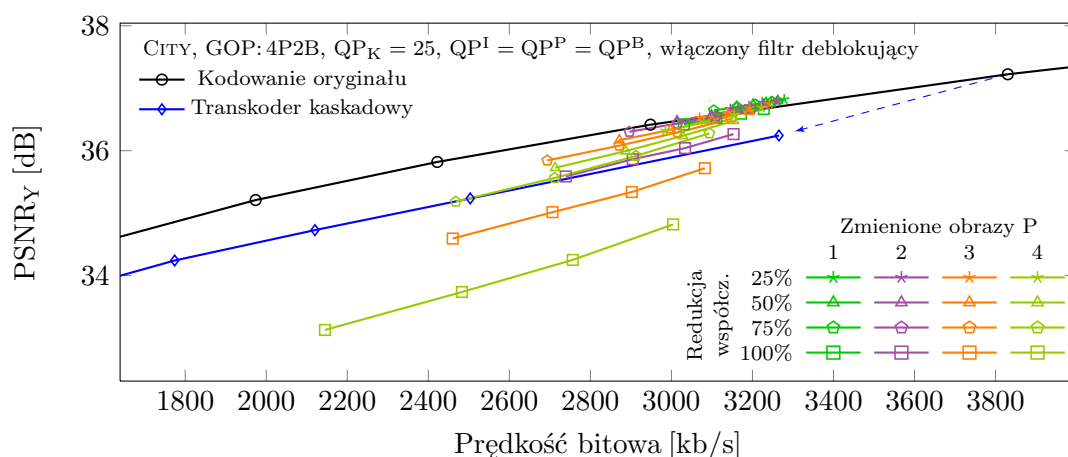
- GOP: 4P2B, $QP^I = QP^P = QP^B$, włączony filtr deblokujący:
 - sekwencja CITY — strona D-58,
 - sekwencja CREW — strona D-62,
 - sekwencja HARBOUR — strona D-69,
 - sekwencja SOCCER — strona D-73,
- GOP: 4P2B, $QP^I = QP^P = QP^B$, wyłączony filtr deblokujący:
 - sekwencja CITY — strona D-77,
 - sekwencja HARBOUR — strona D-80,
- GOP: 4P2B, $QP^I = QP^P = QP^B - 2$, włączony filtr deblokujący:
 - sekwencja CITY — strona D-83,
 - sekwencja HARBOUR — strona D-85,
- GOP: 3P3B, $QP^I = QP^P = QP^B - 2$, włączony filtr deblokujący:
 - sekwencja CREW — strona D-89,
 - sekwencja HARBOUR — strona D-92.



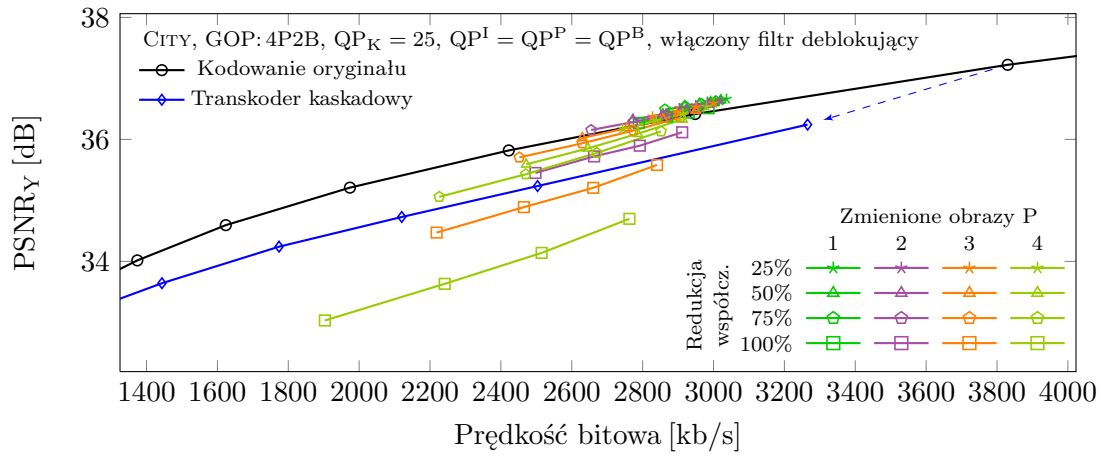
Rysunek C.1: Straty jakości sekwencji wizyjnej spowodowane eliminacją próbek transformaty w obrazach typu P. Obrazy B niezmodyfikowane



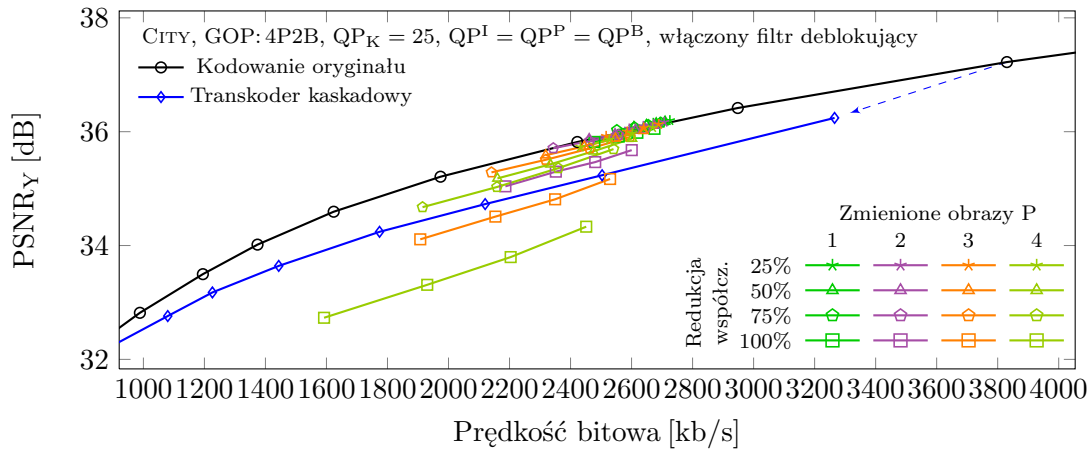
Rysunek C.2: Straty jakości sekwencji wizyjnej spowodowane eliminacją próbek transformaty w obrazach typu P. W obrazach B usunięte 25 % próbek transformaty



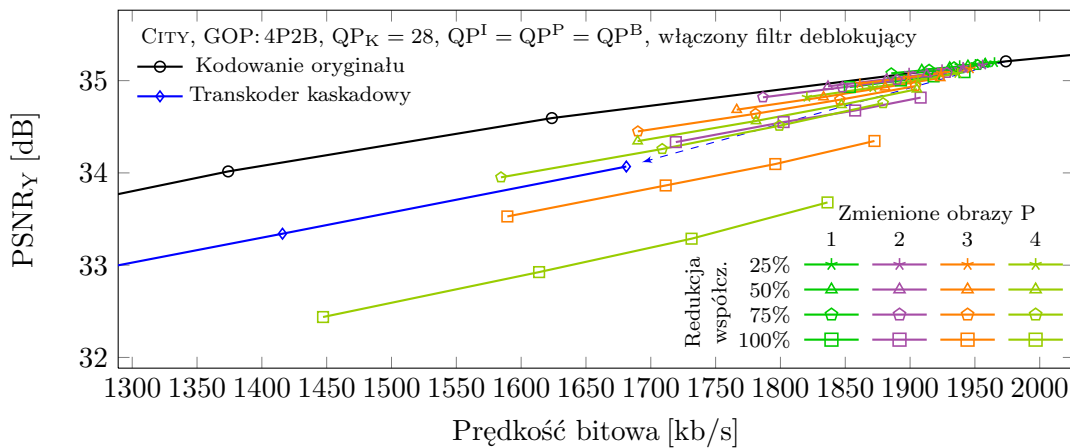
Rysunek C.3: Straty jakości sekwencji wizyjnej spowodowane eliminacją próbek transformaty w obrazach typu P. W obrazach B usunięte 50 % próbek transformaty



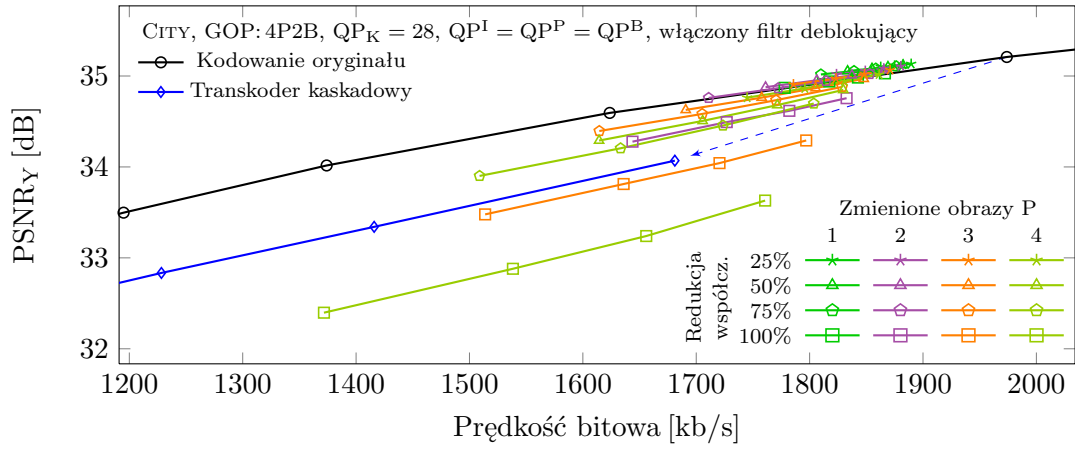
Rysunek C.4: Straty jakości sekwencji wizyjnej spowodowane eliminacją próbek transformaty w obrazach typu P. W obrazach B usunięte 75 % próbek transformaty



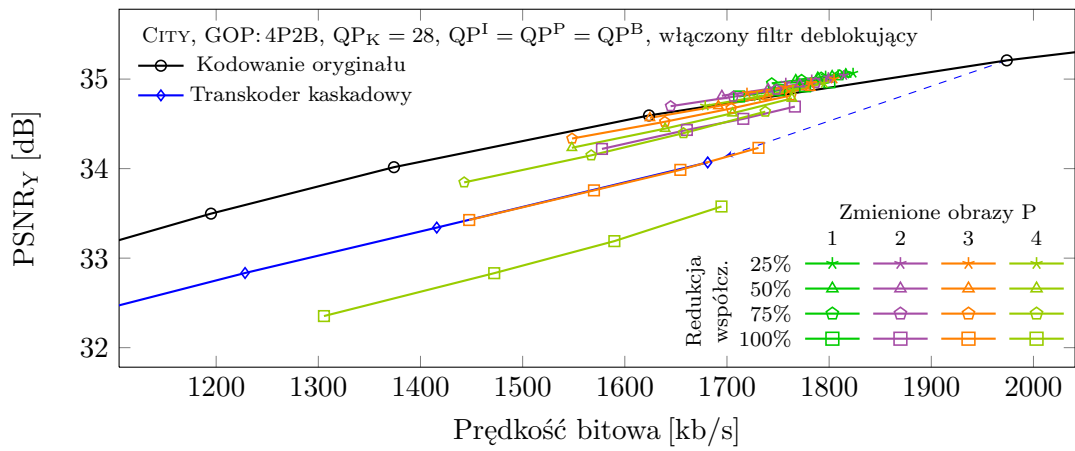
Rysunek C.5: Straty jakości sekwencji wizyjnej spowodowane eliminacją próbek transformaty w obrazach typu P. W obrazach B usunięte wszystkie próbki transformaty



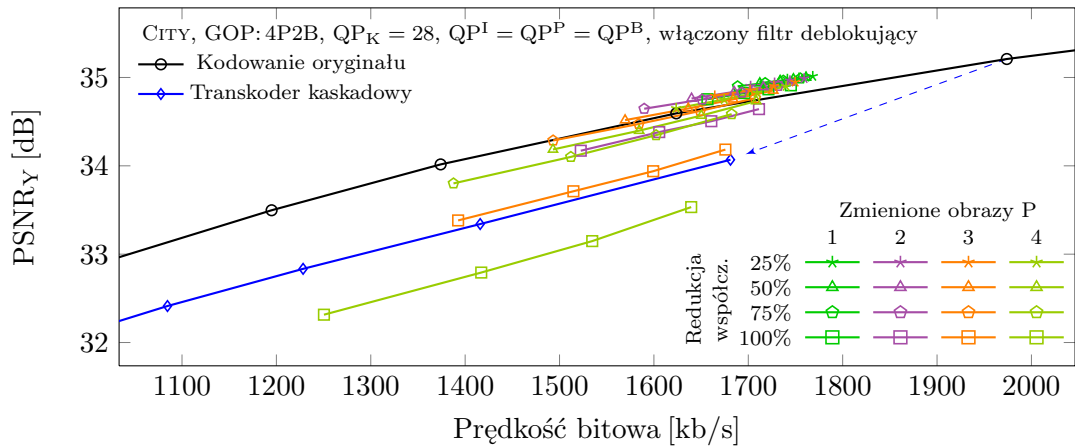
Rysunek C.6: Straty jakości sekwencji wizyjnej spowodowane eliminacją próbek transformaty w obrazach typu P. Obrazy B niezmodyfikowane



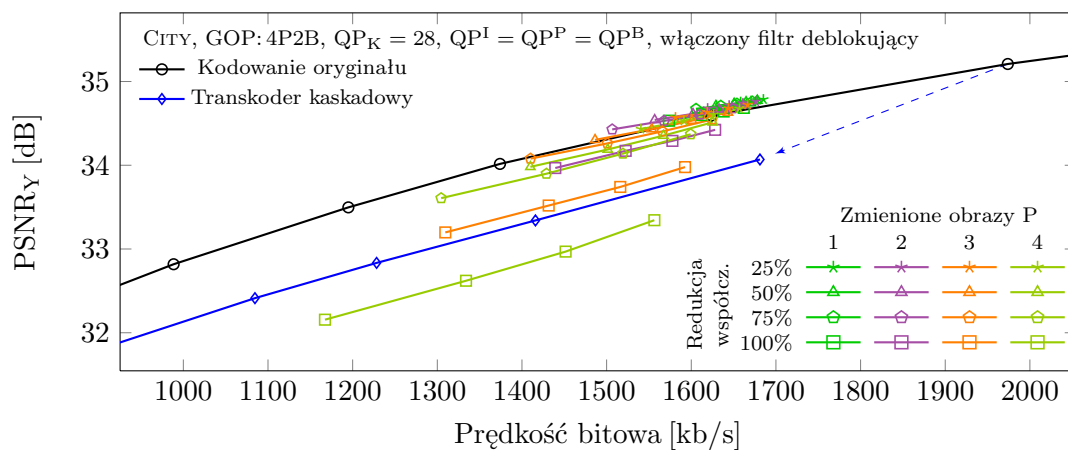
Rysunek C.7: Straty jakości sekwencji wizyjnej spowodowane eliminacją próbek transformaty w obrazach typu P. W obrazach B usunięte 25 % próbek transformaty



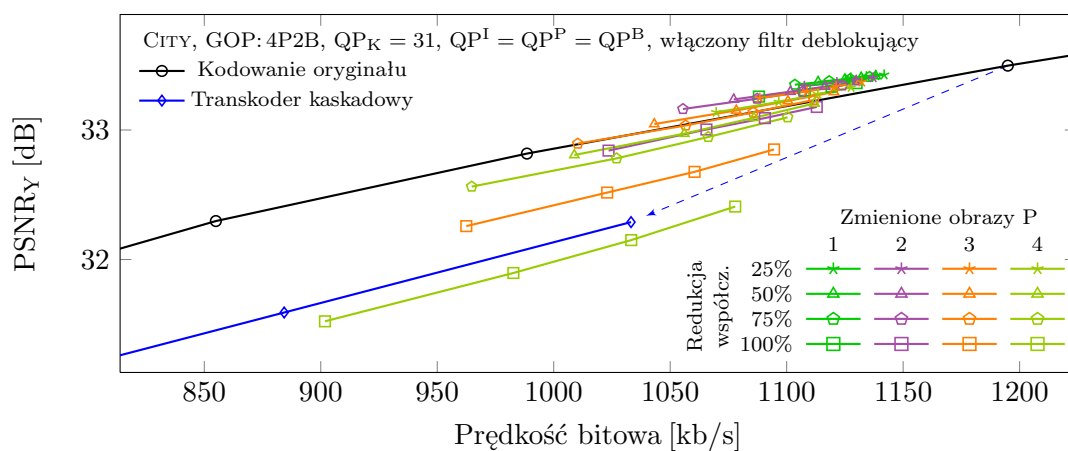
Rysunek C.8: Straty jakości sekwencji wizyjnej spowodowane eliminacją próbek transformaty w obrazach typu P. W obrazach B usunięte 50 % próbek transformaty



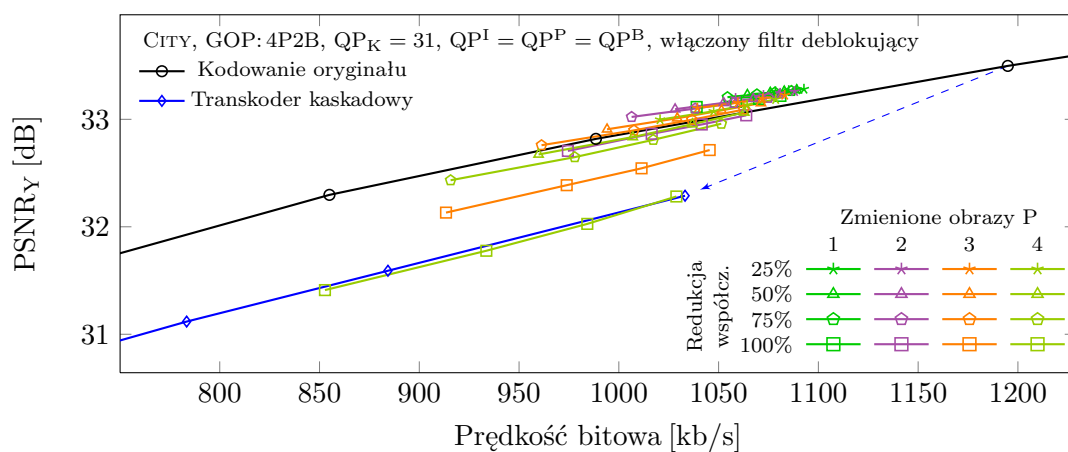
Rysunek C.9: Straty jakości sekwencji wizyjnej spowodowane eliminacją próbek transformaty w obrazach typu P. W obrazach B usunięte 75 % próbek transformaty



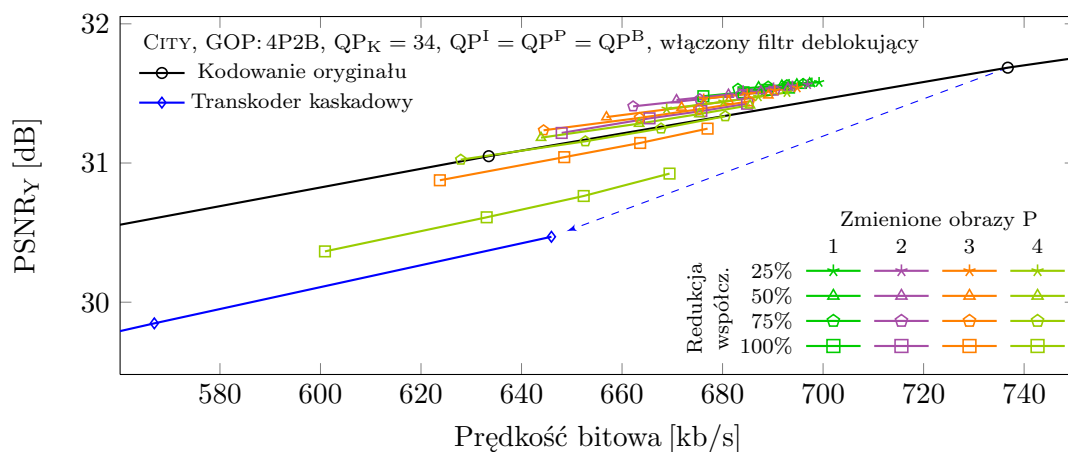
Rysunek C.10: Straty jakości sekwencji wizyjnej spowodowane eliminacją próbek transformaty w obrazach typu P. W obrazach B usunięte wszystkie próbki transformaty



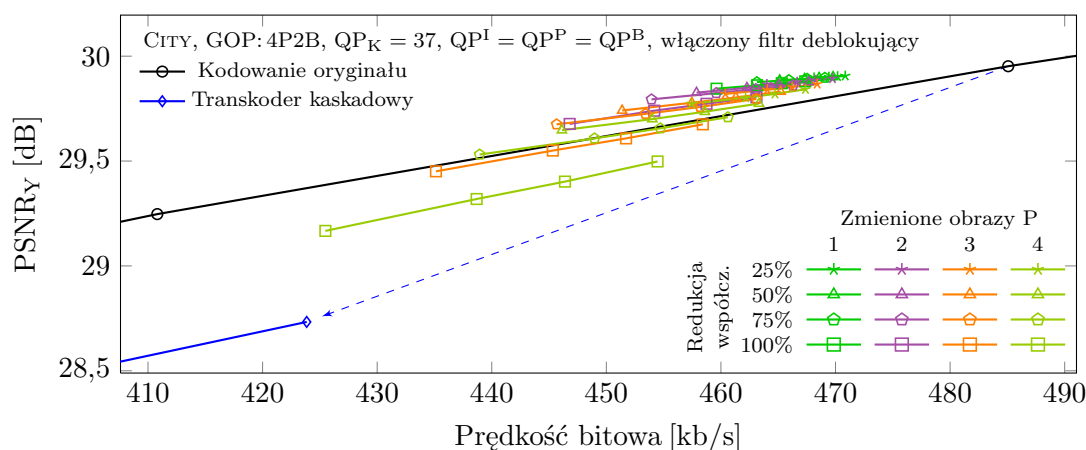
Rysunek C.11: Straty jakości sekwencji wizyjnej spowodowane eliminacją próbek transformaty w obrazach typu P. W obrazach B usunięte 50 % próbek transformaty



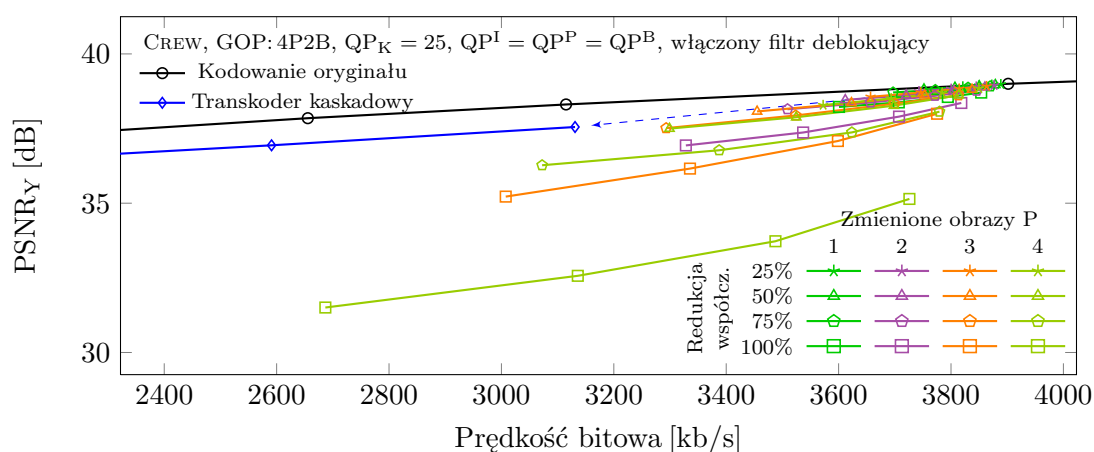
Rysunek C.12: Straty jakości sekwencji wizyjnej spowodowane eliminacją próbek transformaty w obrazach typu P. W obrazach B usunięte wszystkie próbki transformaty



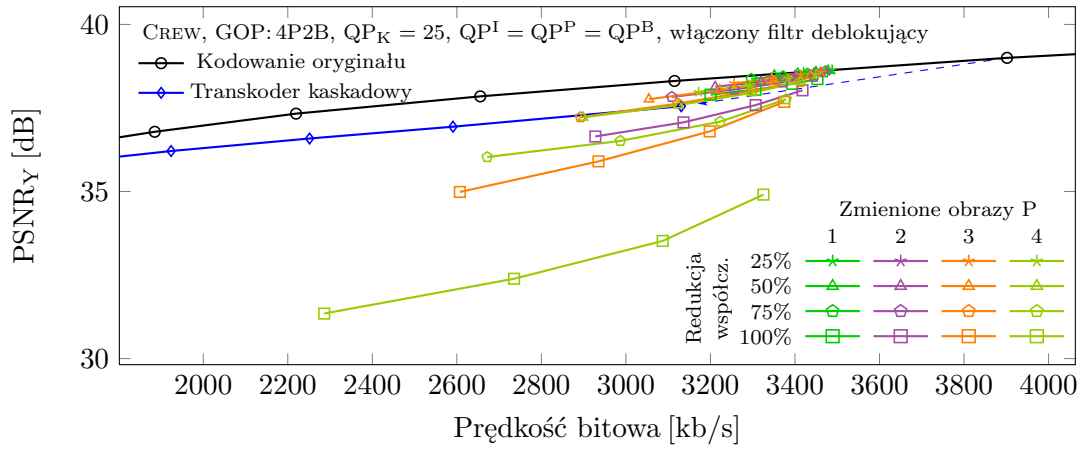
Rysunek C.13: Straty jakości sekwencji wizyjnej spowodowane eliminacją próbek transformaty w obrazach typu P. W obrazach B usunięte wszystkie próbki transformaty



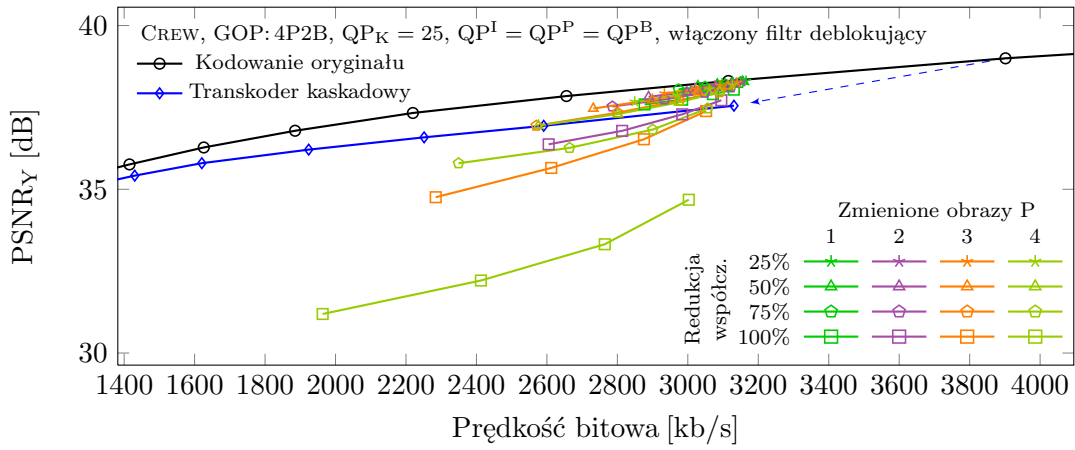
Rysunek C.14: Straty jakości sekwencji wizyjnej spowodowane eliminacją próbek transformaty w obrazach typu P. W obrazach B usunięte wszystkie próbki transformaty



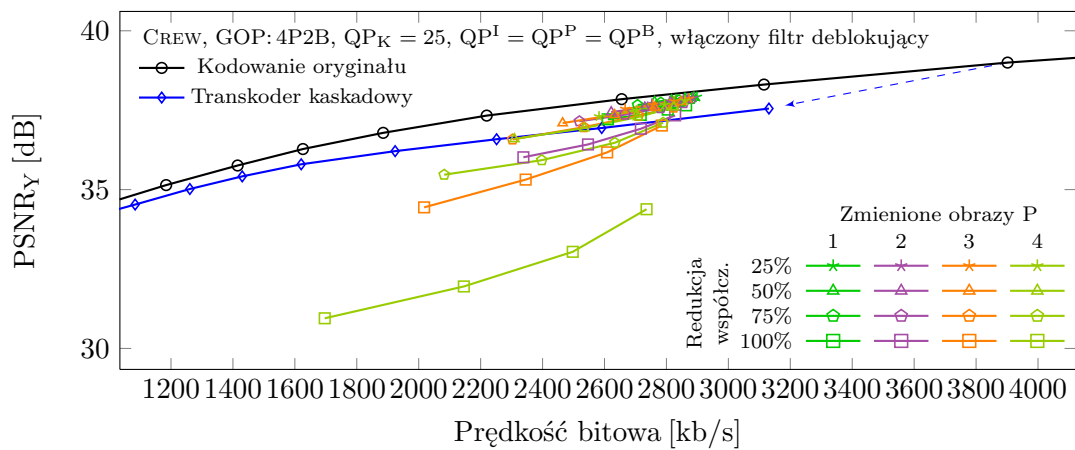
Rysunek C.15: Straty jakości sekwencji wizyjnej spowodowane eliminacją próbek transformaty w obrazach typu P. Obrazy B niezmodyfikowane



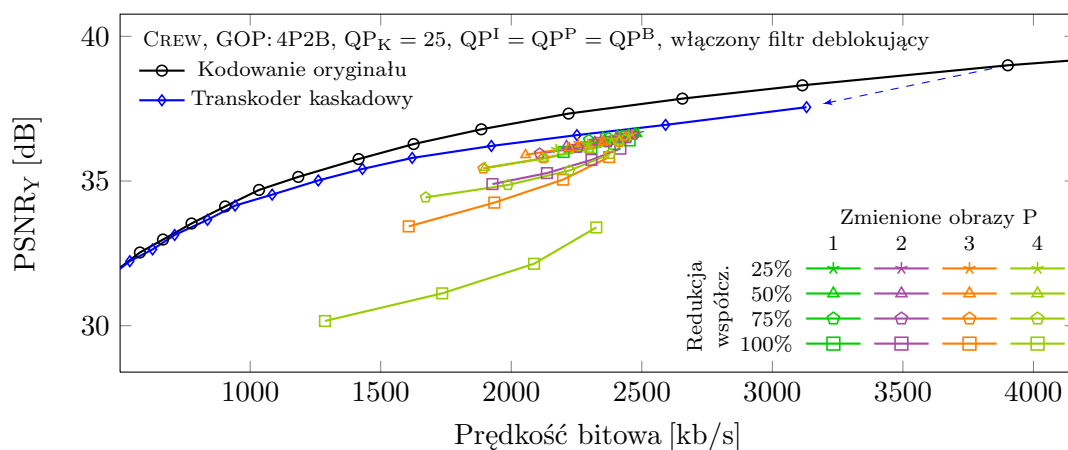
Rysunek C.16: Straty jakości sekwencji wizyjnej spowodowane eliminacją próbek transformaty w obrazach typu P. W obrazach B usunięte 25 % próbek transformaty



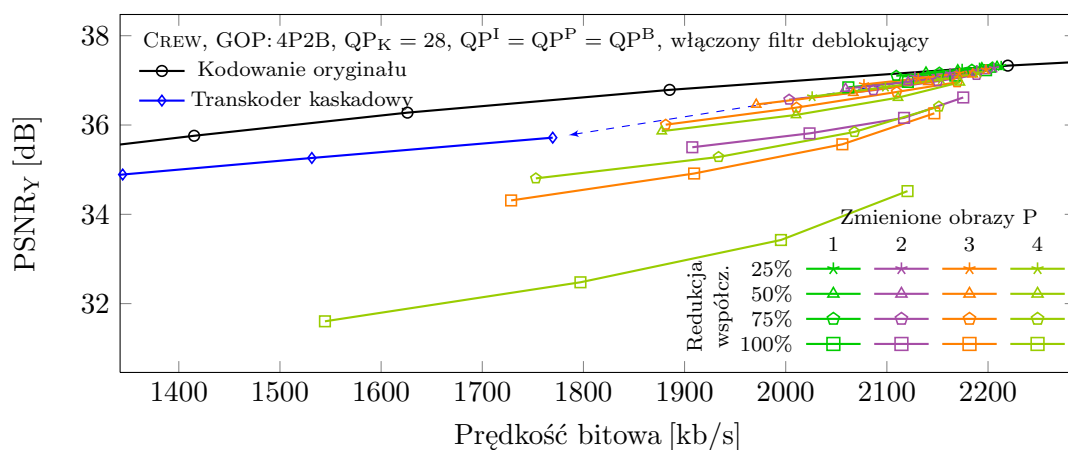
Rysunek C.17: Straty jakości sekwencji wizyjnej spowodowane eliminacją próbek transformaty w obrazach typu P. W obrazach B usunięte 50 % próbek transformaty



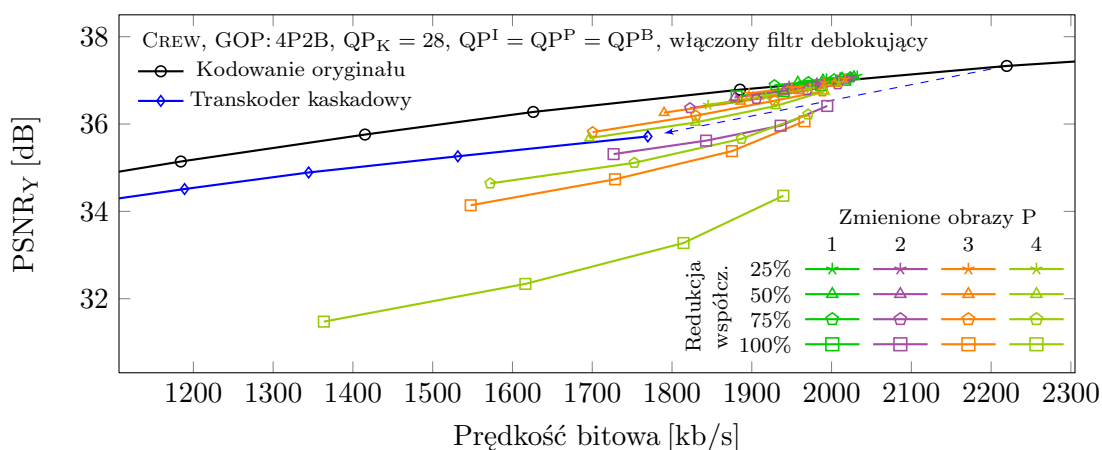
Rysunek C.18: Straty jakości sekwencji wizyjnej spowodowane eliminacją próbek transformaty w obrazach typu P. W obrazach B usunięte 75 % próbek transformaty



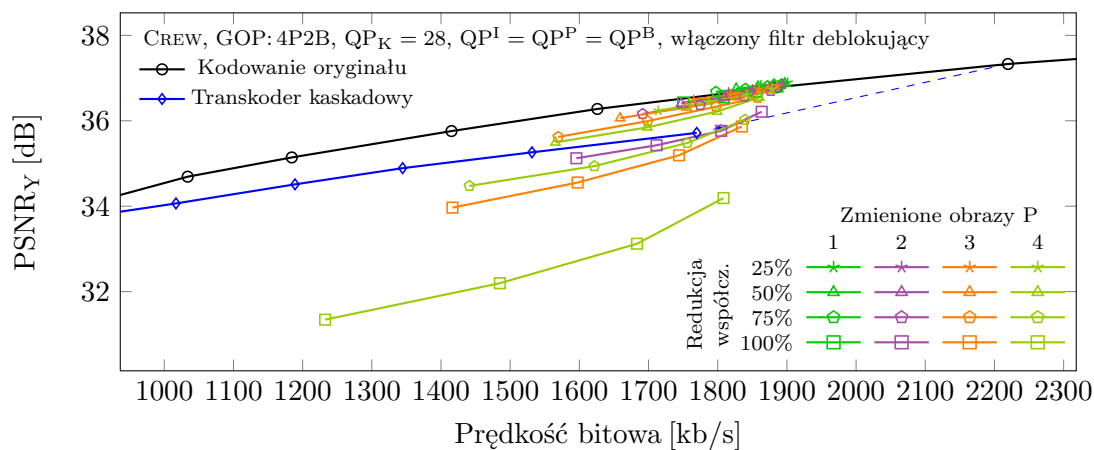
Rysunek C.19: Straty jakości sekwencji wizyjnej spowodowane eliminacją próbek transformaty w obrazach typu P. W obrazach B usunięte wszystkie próbki transformaty



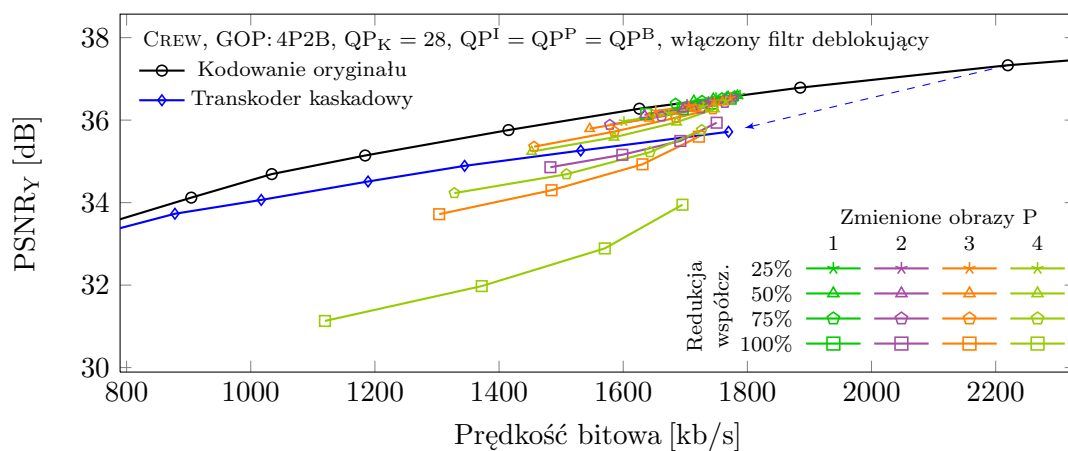
Rysunek C.20: Straty jakości sekwencji wizyjnej spowodowane eliminacją próbek transformaty w obrazach typu P. Obrazy B niezmodyfikowane



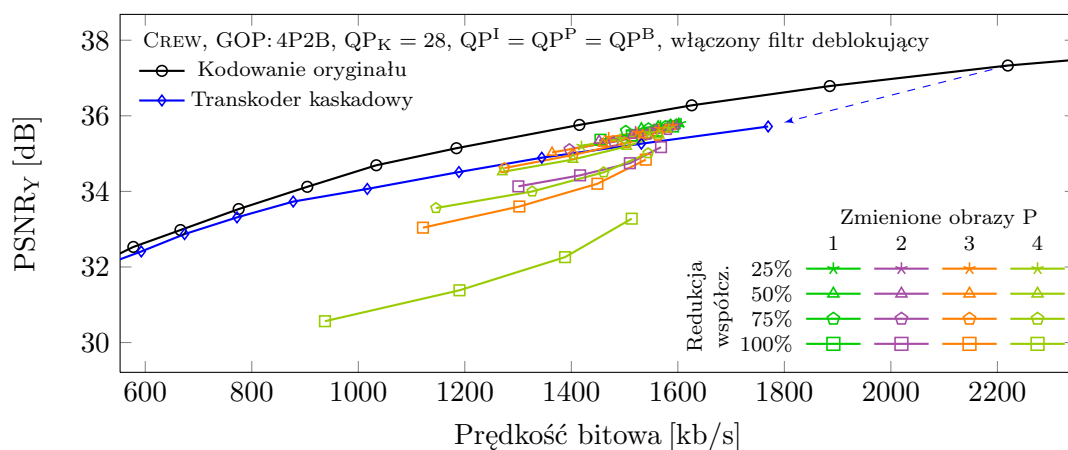
Rysunek C.21: Straty jakości sekwencji wizyjnej spowodowane eliminacją próbek transformaty w obrazach typu P. W obrazach B usunięte 25 % próbek transformaty



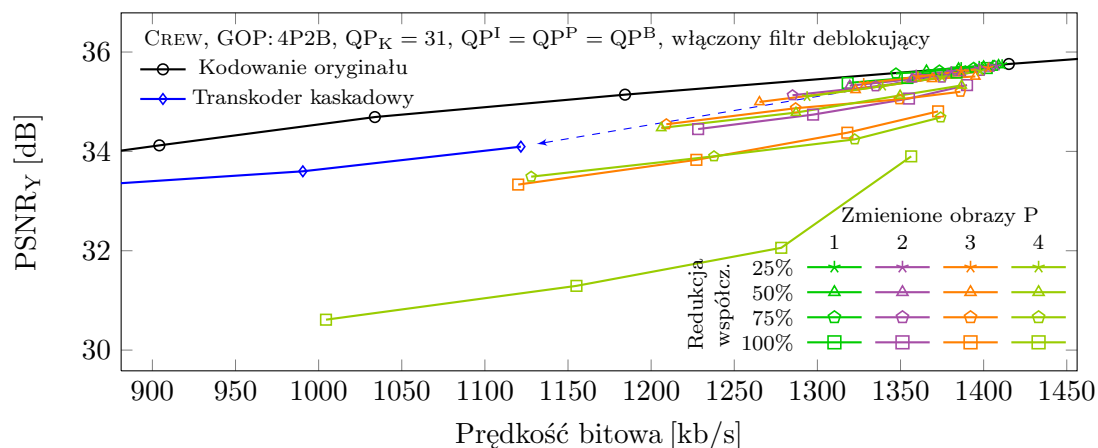
Rysunek C.22: Straty jakości sekwencji wizyjnej spowodowane eliminacją próbek transformaty w obrazach typu P. W obrazach B usunięte 50 % próbek transformaty



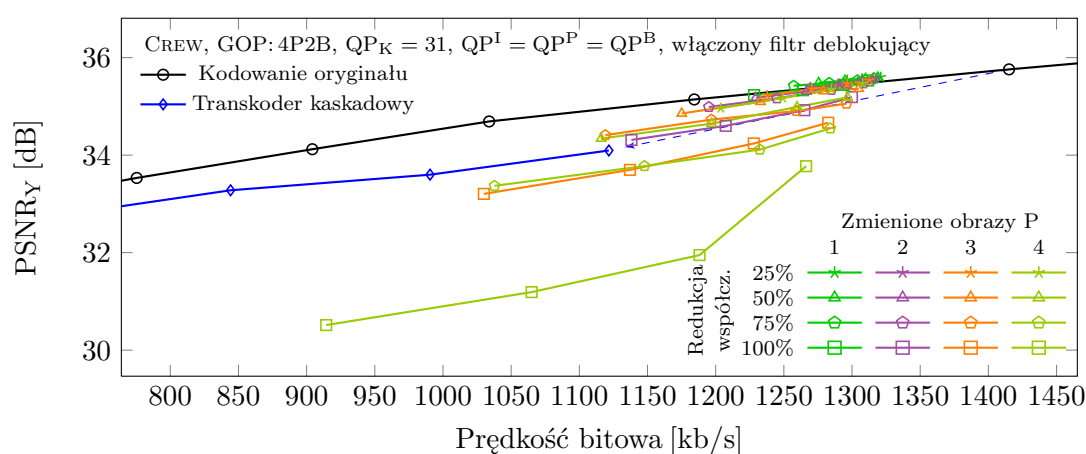
Rysunek C.23: Straty jakości sekwencji wizyjnej spowodowane eliminacją próbek transformaty w obrazach typu P. W obrazach B usunięte 75 % próbek transformaty



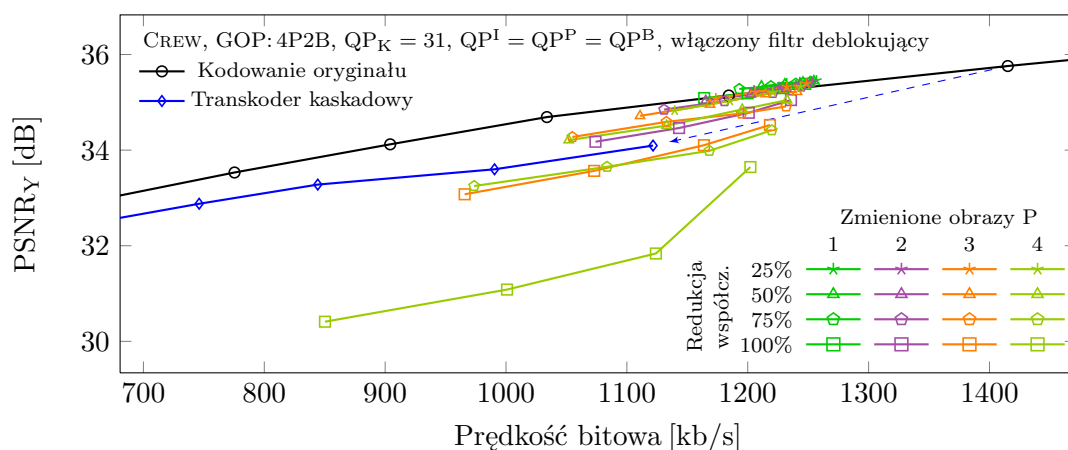
Rysunek C.24: Straty jakości sekwencji wizyjnej spowodowane eliminacją próbek transformaty w obrazach typu P. W obrazach B usunięte wszystkie próbki transformaty



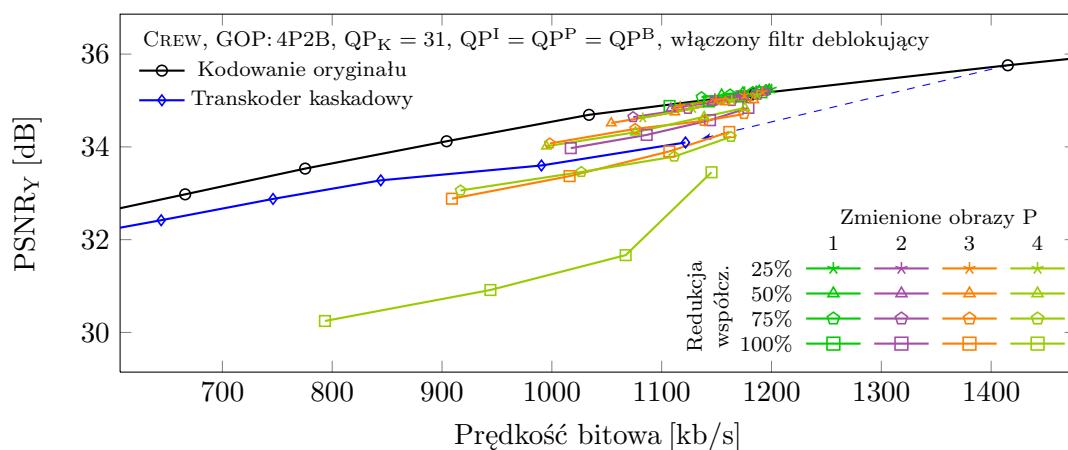
Rysunek C.25: Straty jakości sekwencji wizyjnej spowodowane eliminacją próbek transformaty w obrazach typu P. Obrazy B niezmodyfikowane



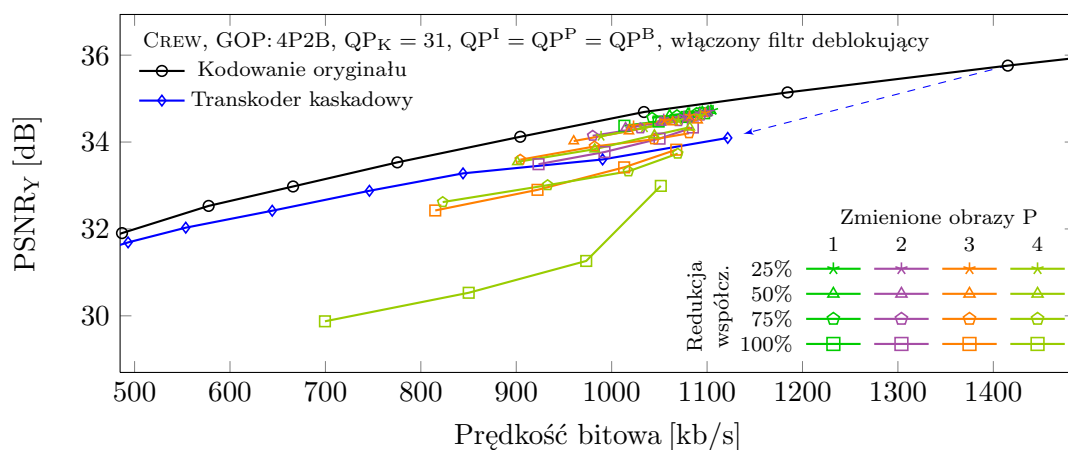
Rysunek C.26: Straty jakości sekwencji wizyjnej spowodowane eliminacją próbek transformaty w obrazach typu P. W obrazach B usunięte 25 % próbek transformaty



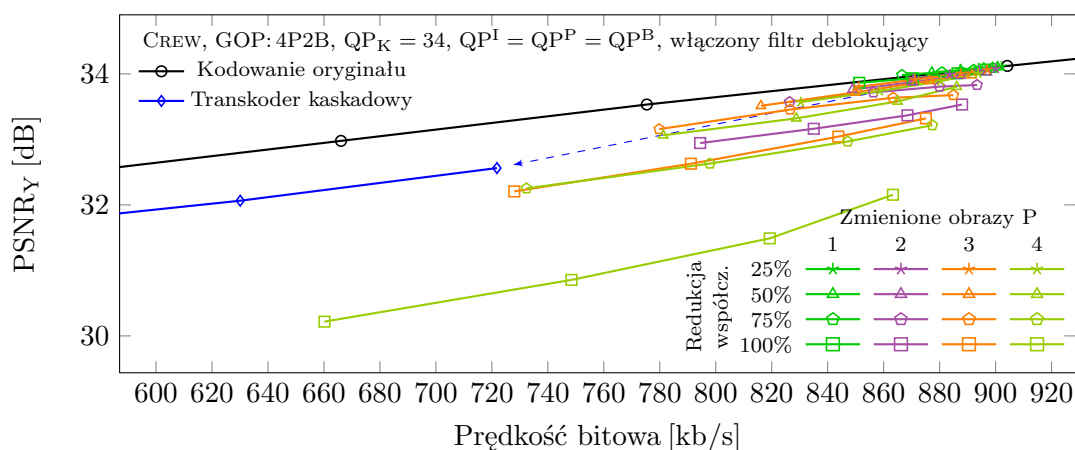
Rysunek C.27: Straty jakości sekwencji wizyjnej spowodowane eliminacją próbek transformaty w obrazach typu P. W obrazach B usunięte 50 % próbek transformaty



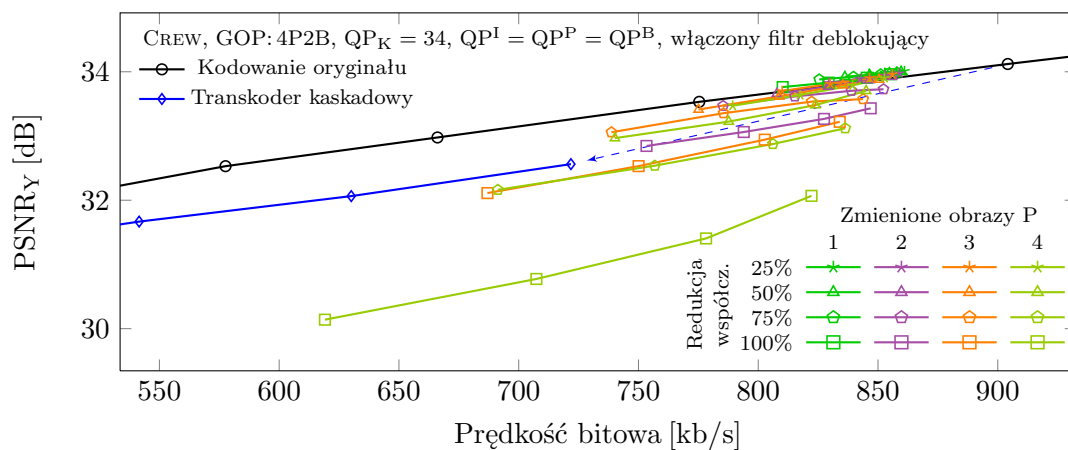
Rysunek C.28: Straty jakości sekwencji wizyjnej spowodowane eliminacją próbek transformaty w obrazach typu P. W obrazach B usunięte 75 % próbek transformaty



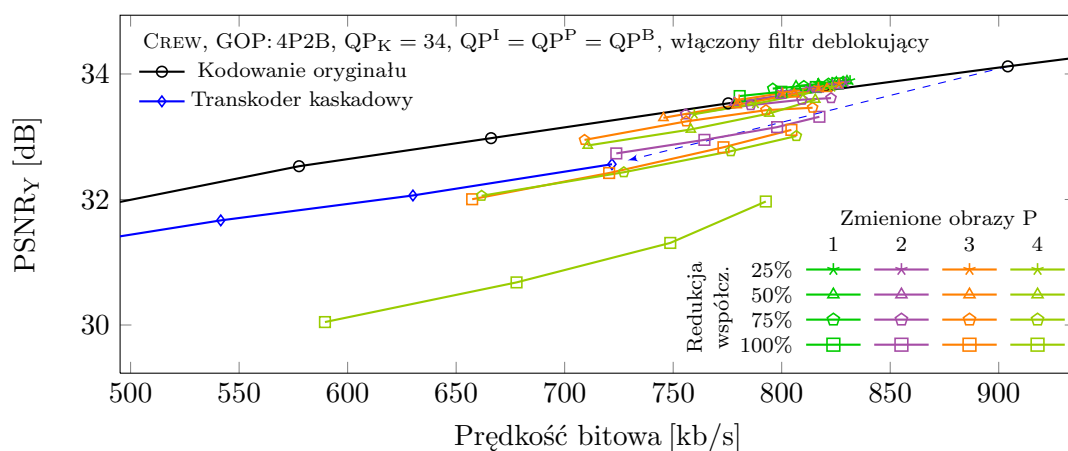
Rysunek C.29: Straty jakości sekwencji wizyjnej spowodowane eliminacją próbek transformaty w obrazach typu P. W obrazach B usunięte wszystkie próbki transformaty



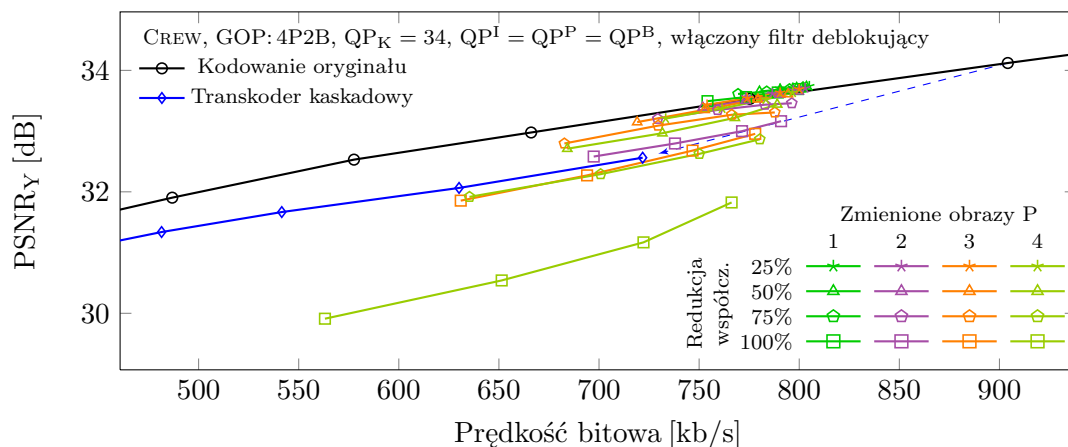
Rysunek C.30: Straty jakości sekwencji wizyjnej spowodowane eliminacją próbek transformaty w obrazach typu P. Obrazy B niezmodyfikowane



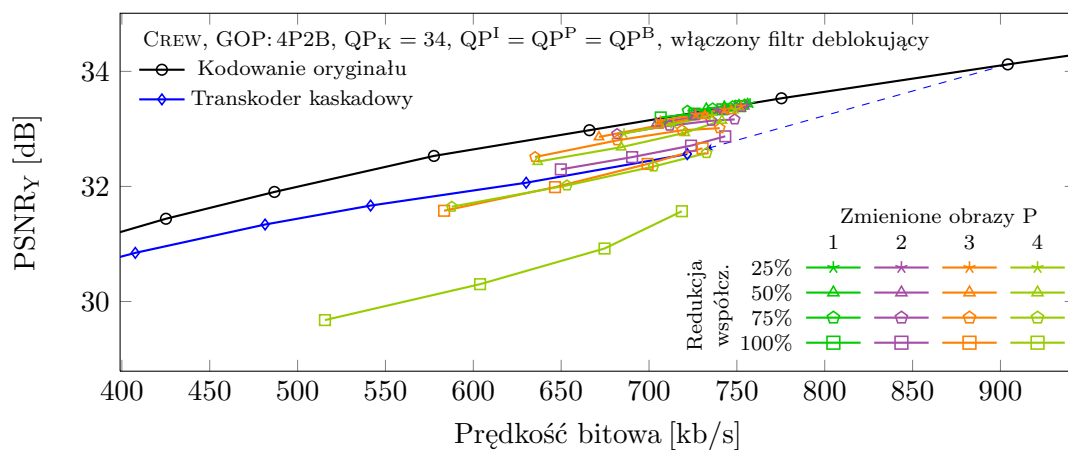
Rysunek C.31: Straty jakości sekwencji wizyjnej spowodowane eliminacją próbek transformaty w obrazach typu P. W obrazach B usunięte 25 % próbek transformaty



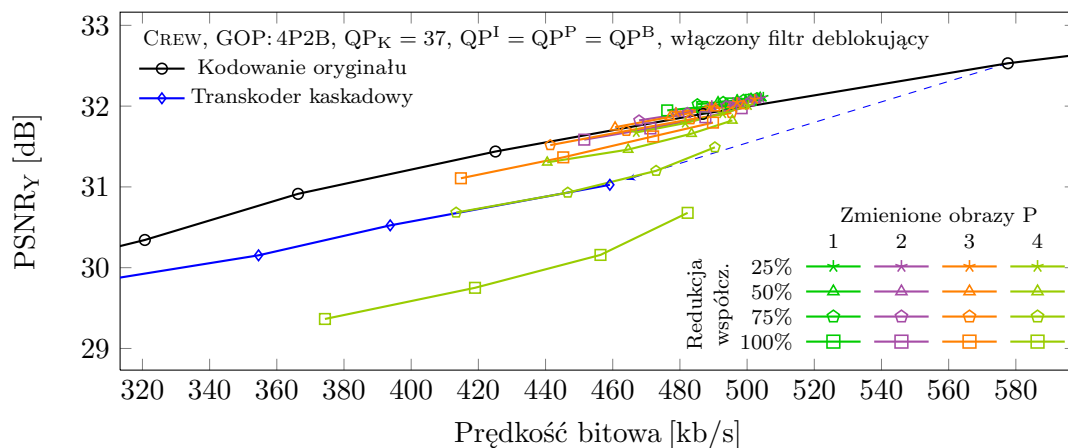
Rysunek C.32: Straty jakości sekwencji wizyjnej spowodowane eliminacją próbek transformaty w obrazach typu P. W obrazach B usunięte 50 % próbek transformaty



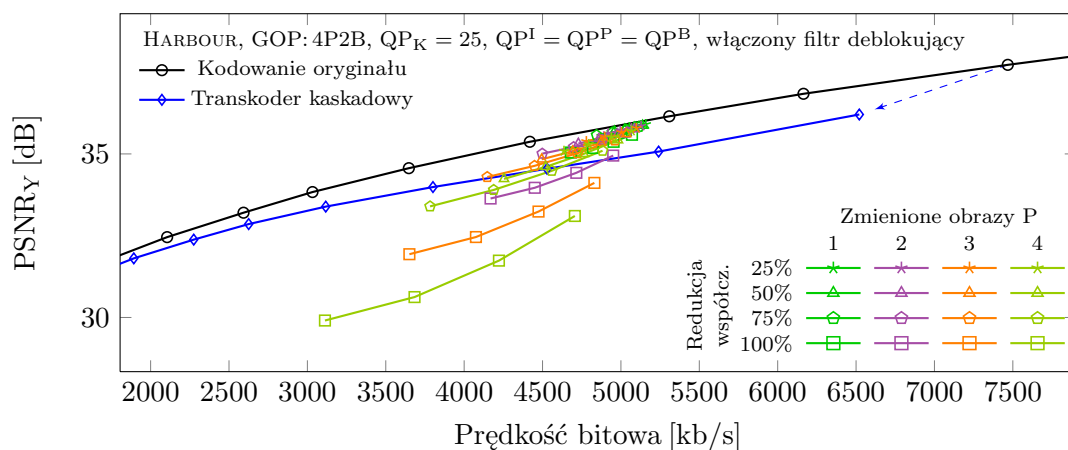
Rysunek C.33: Straty jakości sekwencji wizyjnej spowodowane eliminacją próbek transformaty w obrazach typu P. W obrazach B usunięte 75 % próbek transformaty



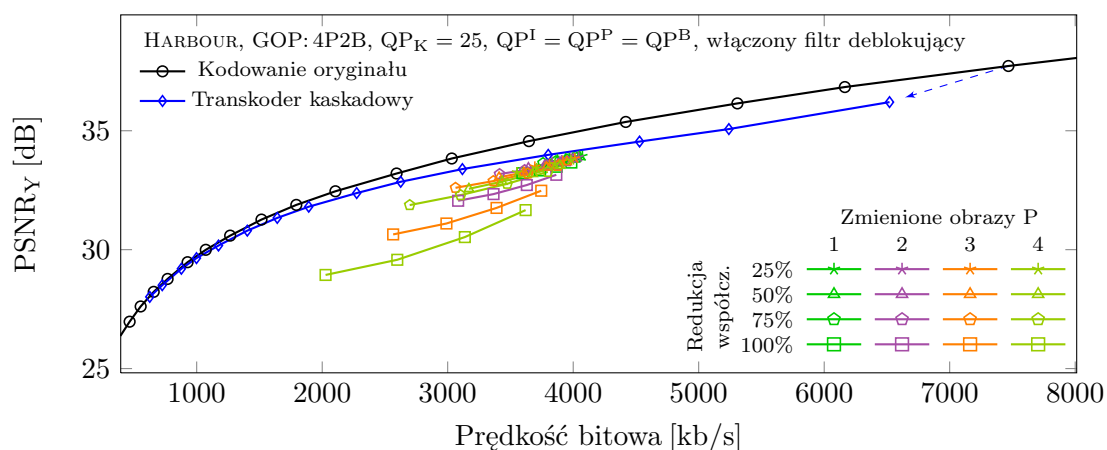
Rysunek C.34: Straty jakości sekwencji wizyjnej spowodowane eliminacją próbek transformaty w obrazach typu P. W obrazach B usunięte wszystkie próbki transformaty



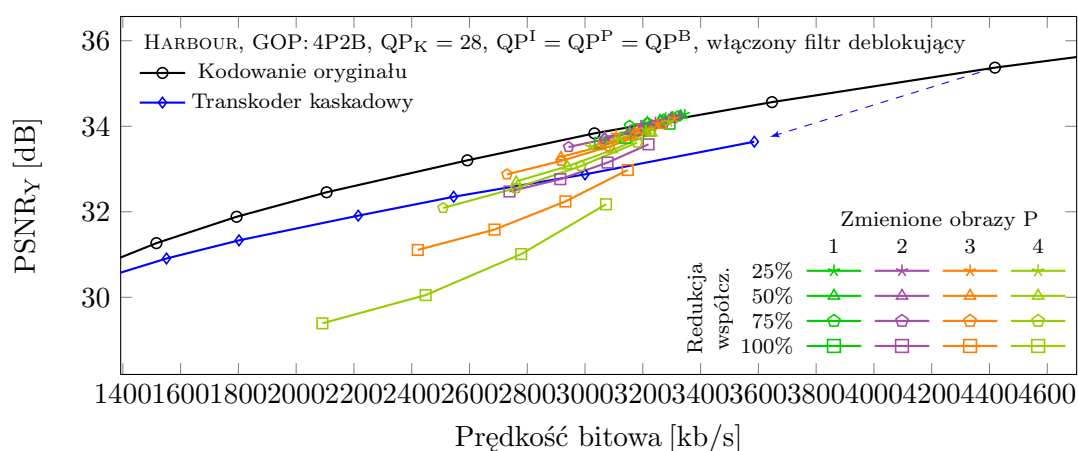
Rysunek C.35: Straty jakości sekwencji wizyjnej spowodowane eliminacją próbek transformaty w obrazach typu P. W obrazach B usunięte wszystkie próbki transformaty



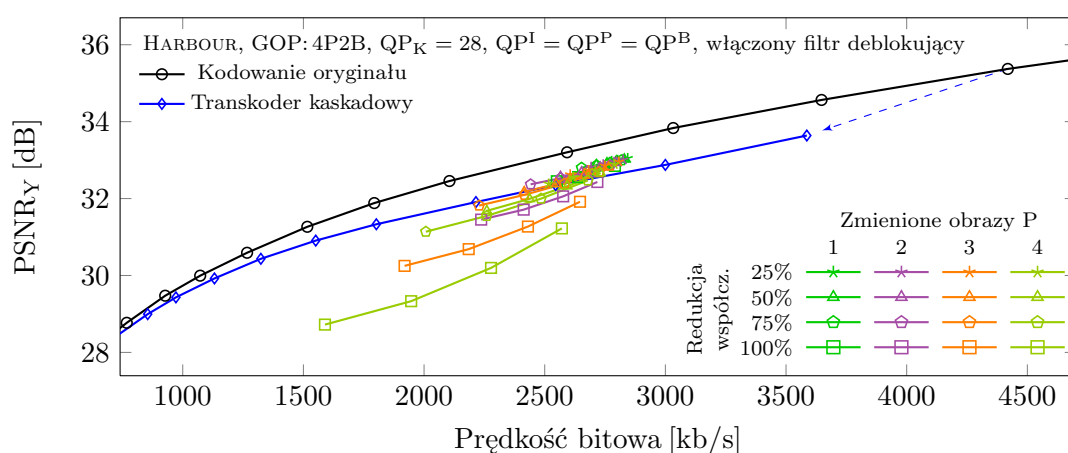
Rysunek C.36: Straty jakości sekwencji wizyjnej spowodowane eliminacją 75 % próbek transformaty w obrazach typu P. W obrazach B usunięte 75 % próbek transformaty



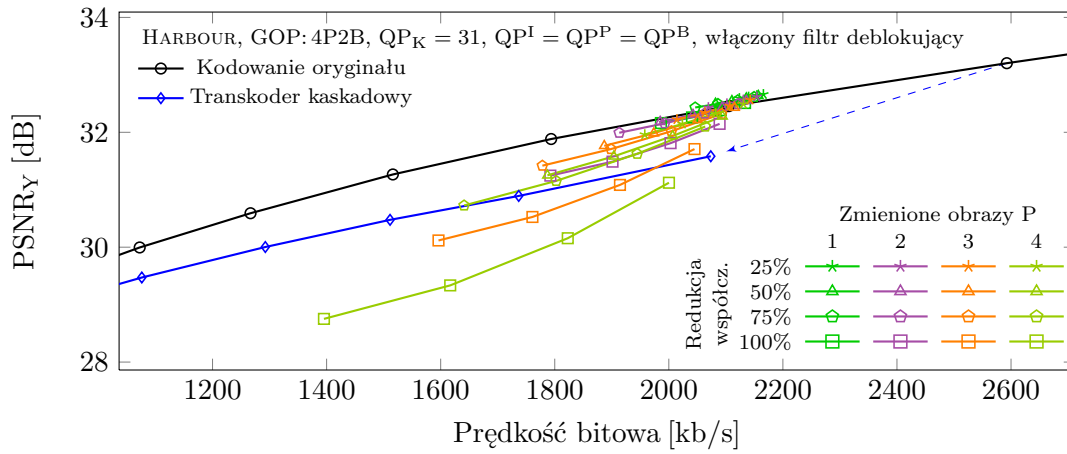
Rysunek C.37: Straty jakości sekwencji wizyjnej spowodowane eliminacją próbek transformaty w obrazach typu P. W obrazach B usunięte wszystkie próbki transformaty



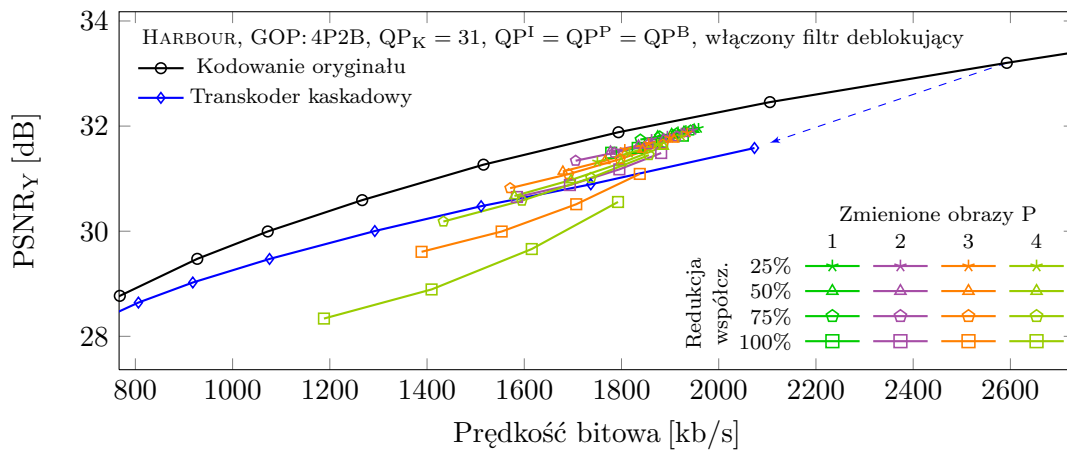
Rysunek C.38: Straty jakości sekwencji wizyjnej spowodowane eliminacją próbek transformaty w obrazach typu P. W obrazach B usunięte 75 % próbek transformaty



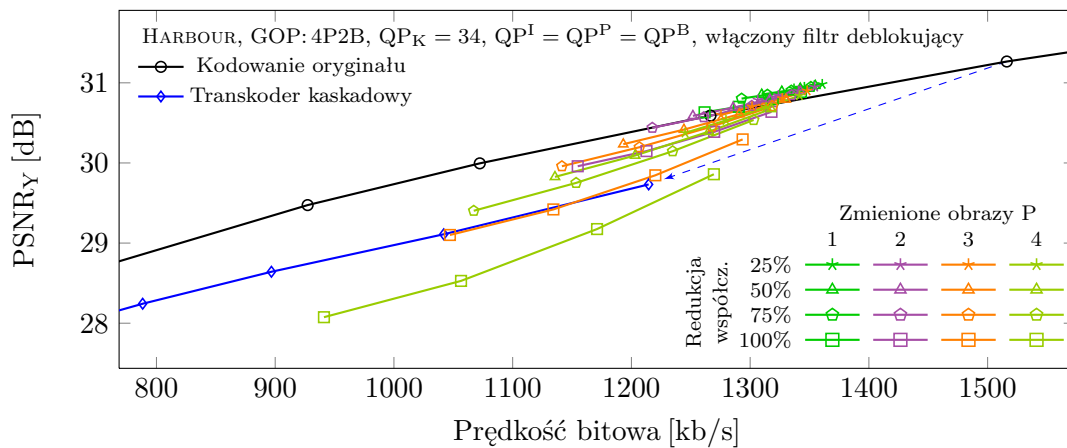
Rysunek C.39: Straty jakości sekwencji wizyjnej spowodowane eliminacją próbek transformaty w obrazach typu P. W obrazach B usunięte wszystkie próbki transformaty



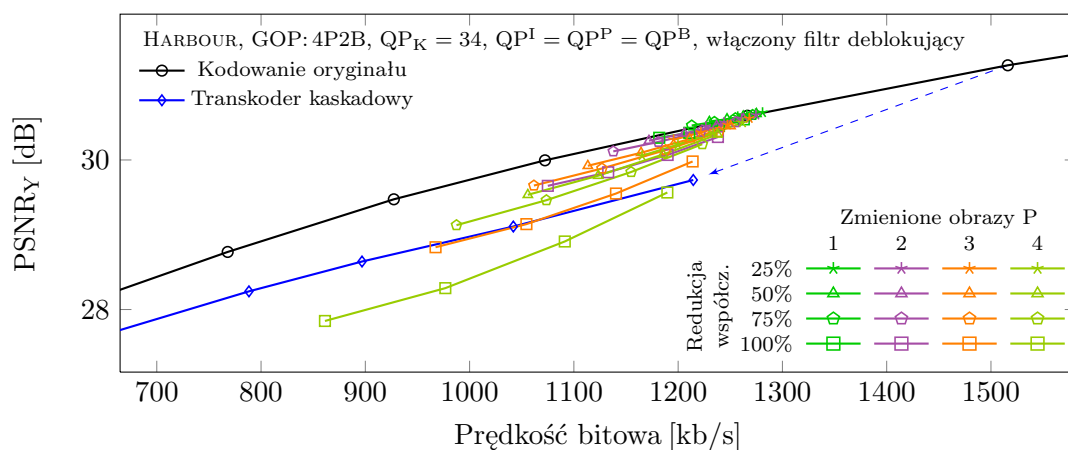
Rysunek C.40: Straty jakości sekwencji wizyjnej spowodowane eliminacją próbek transformaty w obrazach typu P. W obrazach B usunięte 75 % próbek transformaty



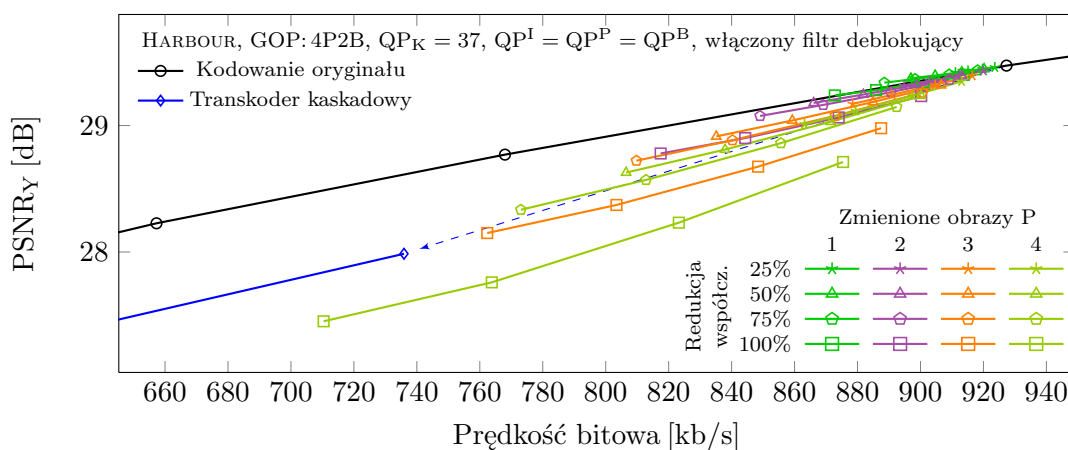
Rysunek C.41: Straty jakości sekwencji wizyjnej spowodowane eliminacją próbek transformaty w obrazach typu P. W obrazach B usunięte wszystkie próbki transformaty



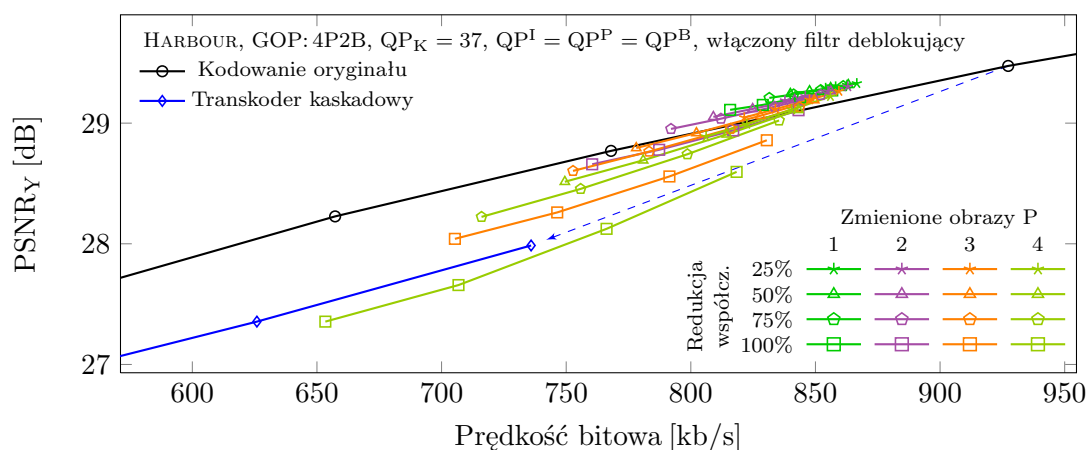
Rysunek C.42: Straty jakości sekwencji wizyjnej spowodowane eliminacją próbek transformaty w obrazach typu P. W obrazach B usunięte 75 % próbek transformaty



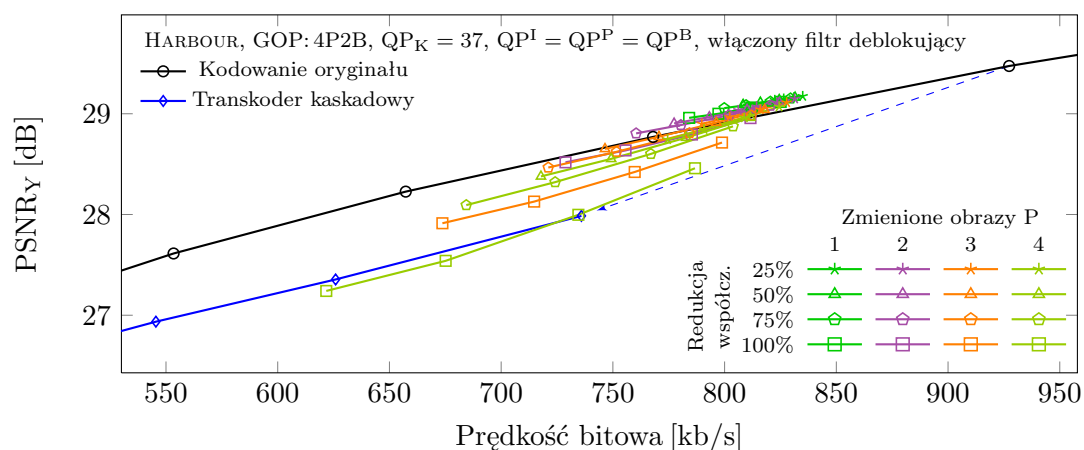
Rysunek C.43: Straty jakości sekwencji wizyjnej spowodowane eliminacją próbek transformaty w obrazach typu P. W obrazach B usunięte wszystkie próbki transformaty



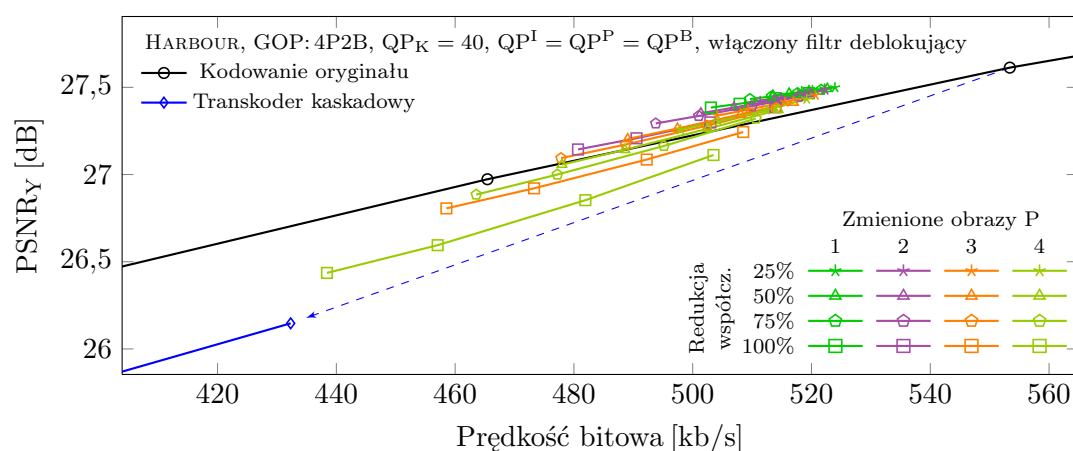
Rysunek C.44: Straty jakości sekwencji wizyjnej spowodowane eliminacją próbek transformaty w obrazach typu P. Obrazy B niezmodyfikowane



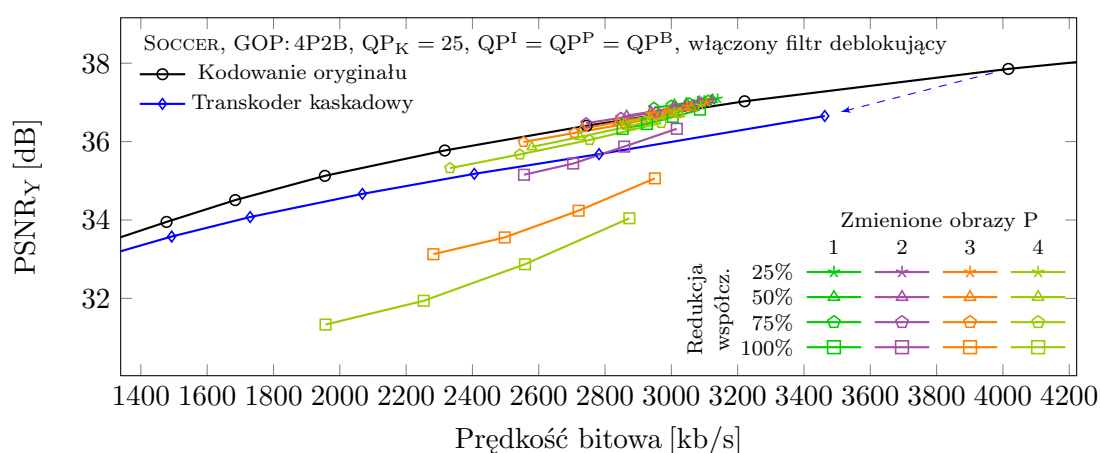
Rysunek C.45: Straty jakości sekwencji wizyjnej spowodowane eliminacją próbek transformaty w obrazach typu P. W obrazach B usunięte 75 % próbek transformaty



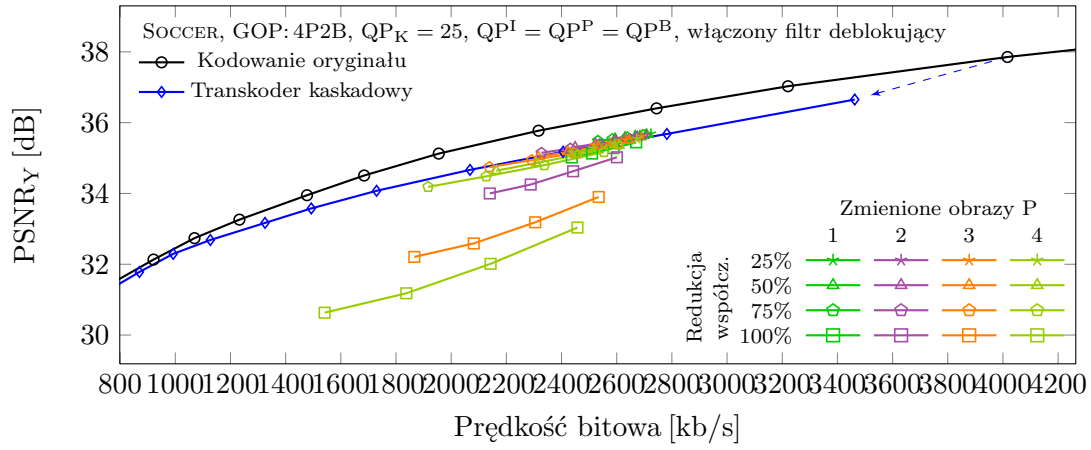
Rysunek C.46: Straty jakości sekwencji wizyjnej spowodowane eliminacją próbek transformaty w obrazach typu P. W obrazach B usunięte wszystkie próbki transformaty



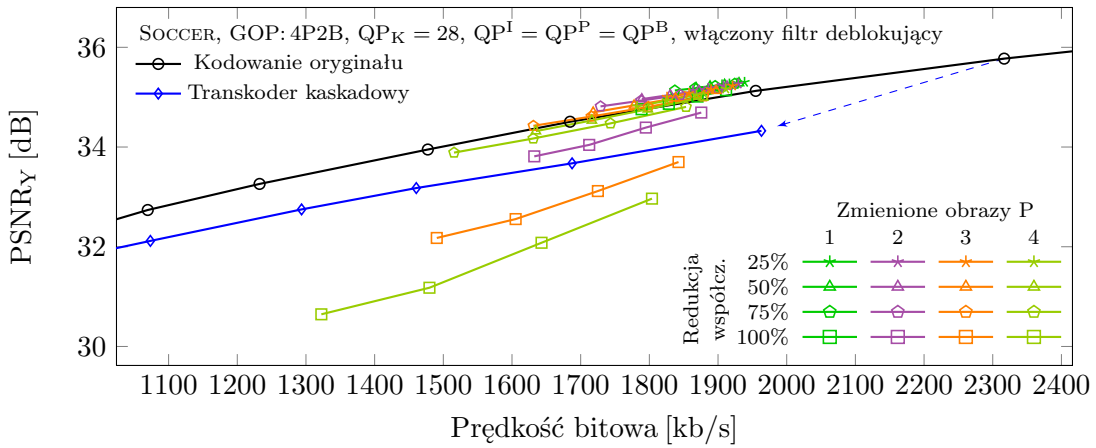
Rysunek C.47: Straty jakości sekwencji wizyjnej spowodowane eliminacją próbek transformaty w obrazach typu P. W obrazach B usunięte wszystkie próbki transformaty



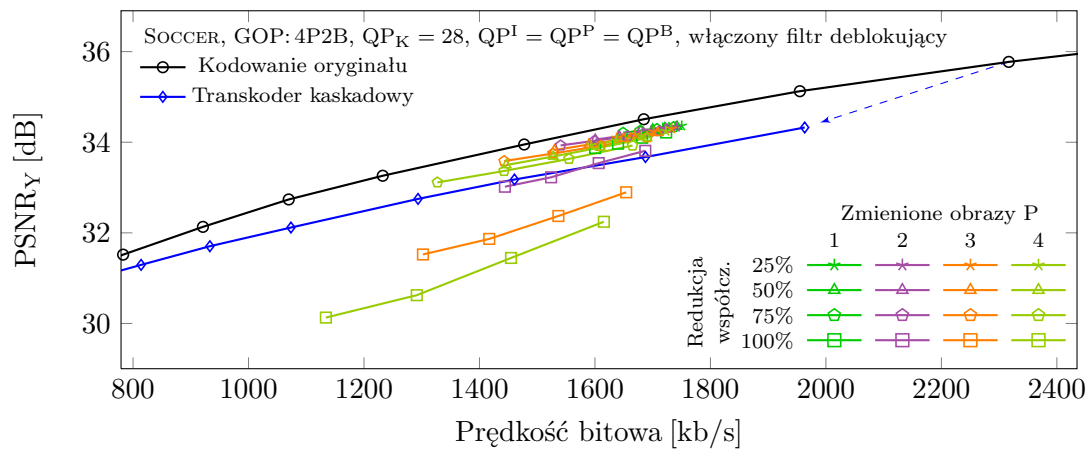
Rysunek C.48: Straty jakości sekwencji wizyjnej spowodowane eliminacją próbek transformaty w obrazach typu P. W obrazach B usunięte 75 % próbek transformaty



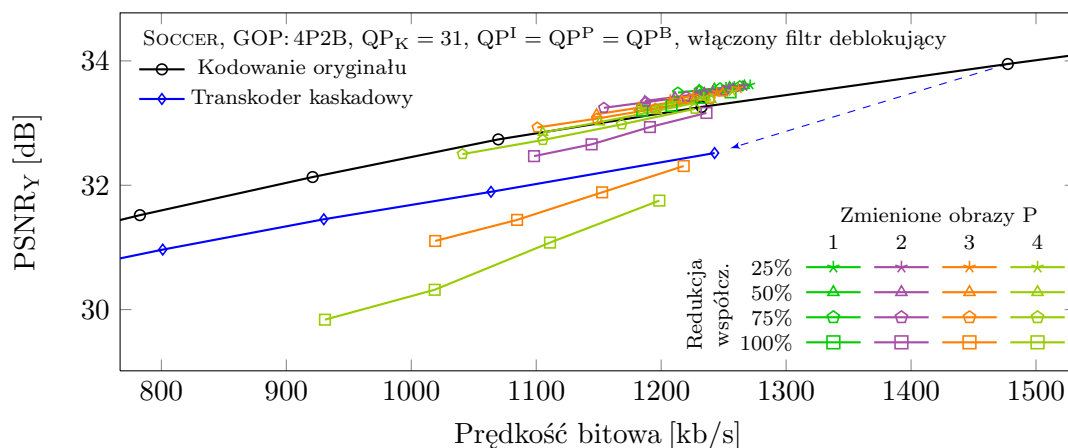
Rysunek C.49: Straty jakości sekwencji wizyjnej spowodowane eliminacją próbek transformaty w obrazach typu P. W obrazach B usunięte wszystkie próbki transformaty



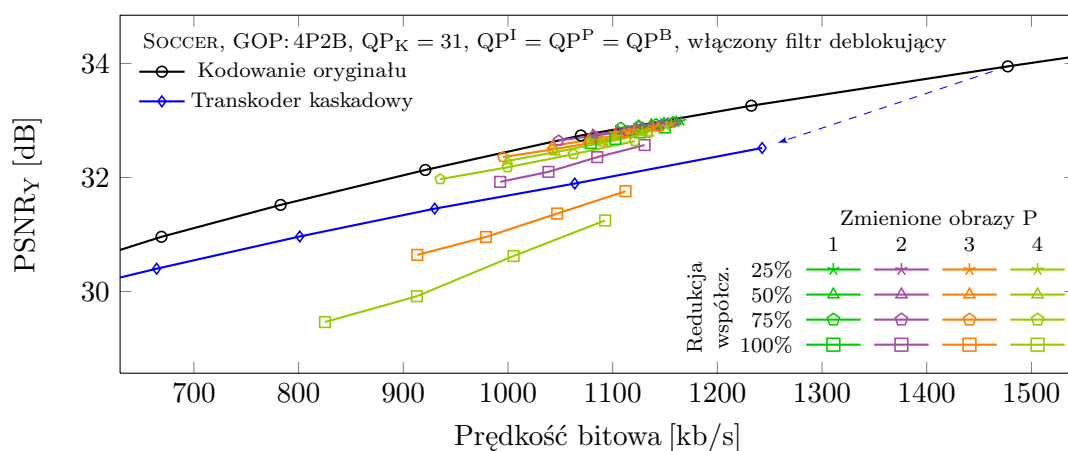
Rysunek C.50: Straty jakości sekwencji wizyjnej spowodowane eliminacją próbek transformaty w obrazach typu P. W obrazach B usunięte 75 % próbek transformaty



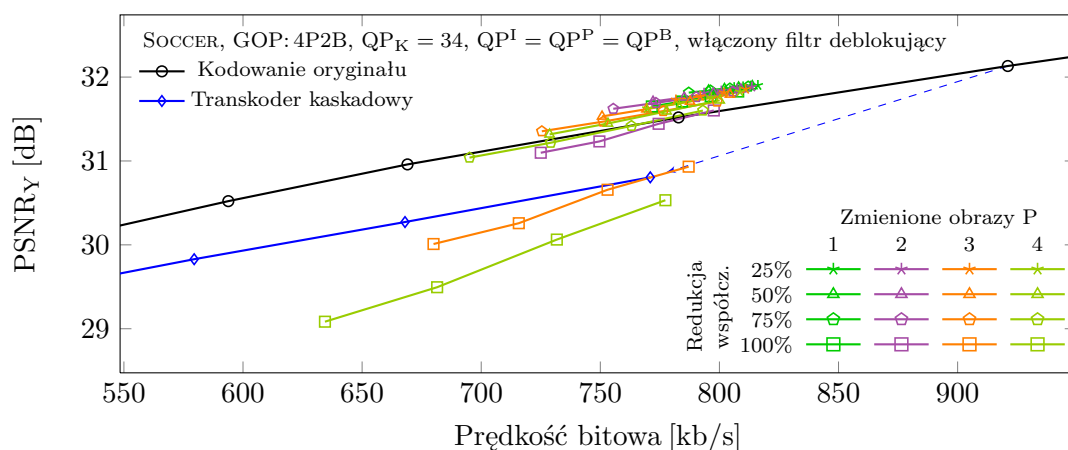
Rysunek C.51: Straty jakości sekwencji wizyjnej spowodowane eliminacją próbek transformaty w obrazach typu P. W obrazach B usunięte wszystkie próbki transformaty



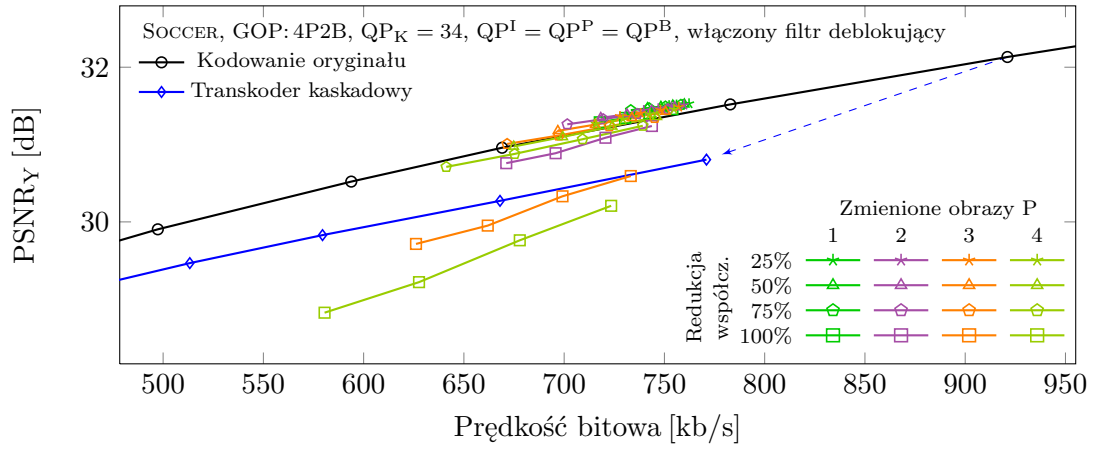
Rysunek C.52: Straty jakości sekwencji wizyjnej spowodowane eliminacją próbek transformaty w obrazach typu P. W obrazach B usunięte 75 % próbek transformaty



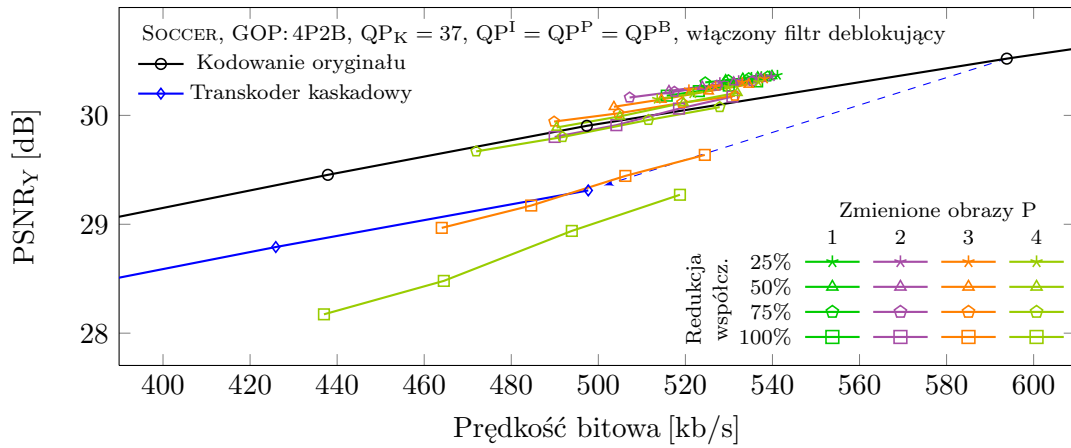
Rysunek C.53: Straty jakości sekwencji wizyjnej spowodowane eliminacją próbek transformaty w obrazach typu P. W obrazach B usunięte wszystkie próbki transformaty



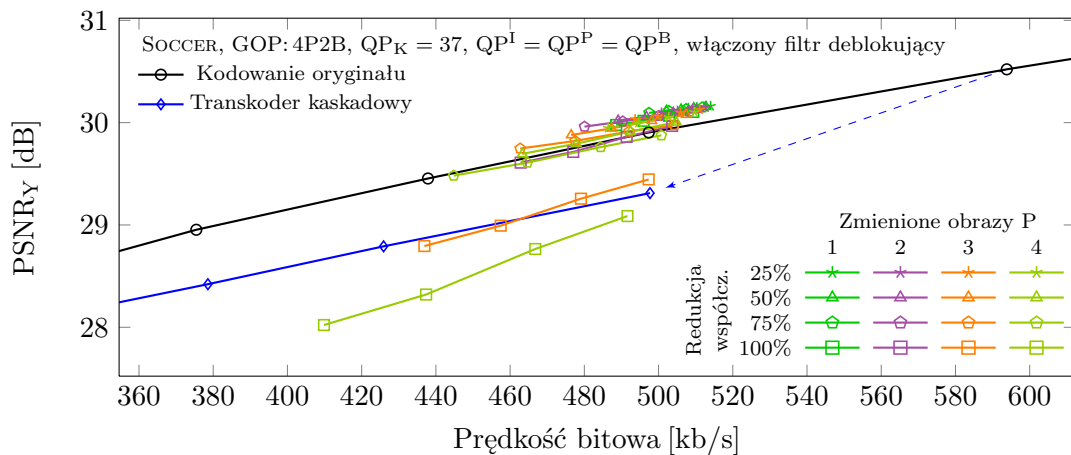
Rysunek C.54: Straty jakości sekwencji wizyjnej spowodowane eliminacją próbek transformaty w obrazach typu P. W obrazach B usunięte 75 % próbek transformaty



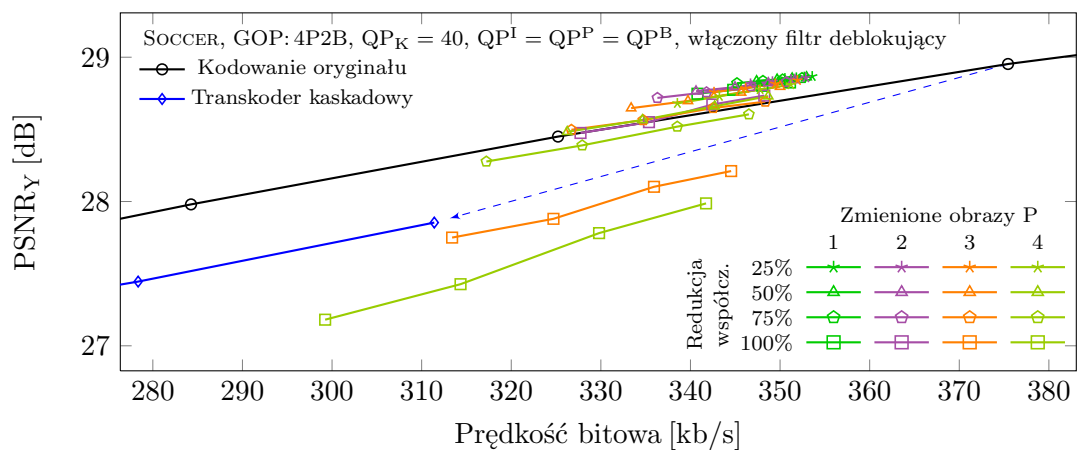
Rysunek C.55: Straty jakości sekwencji wizyjnej spowodowane eliminacją próbek transformaty w obrazach typu P. W obrazach B usunięte wszystkie próbki transformaty



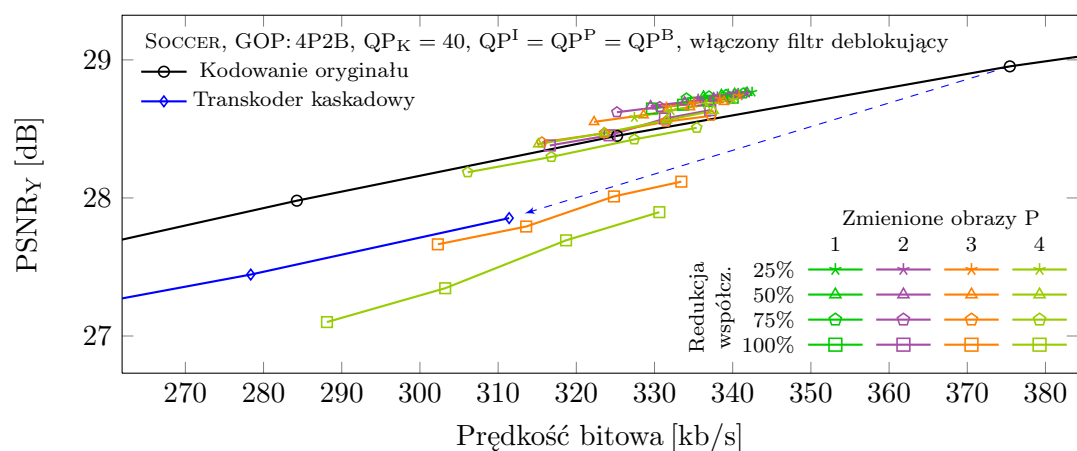
Rysunek C.56: Straty jakości sekwencji wizyjnej spowodowane eliminacją próbek transformaty w obrazach typu P. W obrazach B usunięte 75 % próbek transformaty



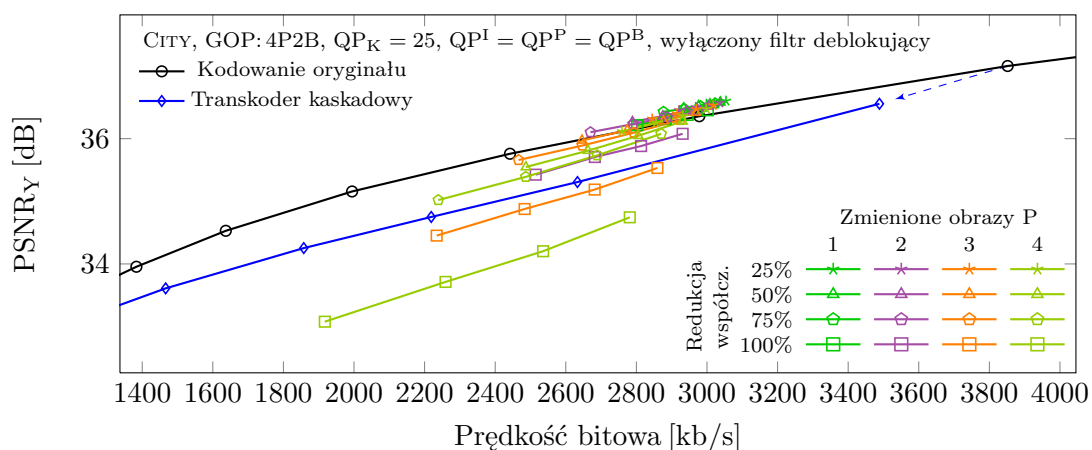
Rysunek C.57: Straty jakości sekwencji wizyjnej spowodowane eliminacją próbek transformaty w obrazach typu P. W obrazach B usunięte wszystkie próbki transformaty



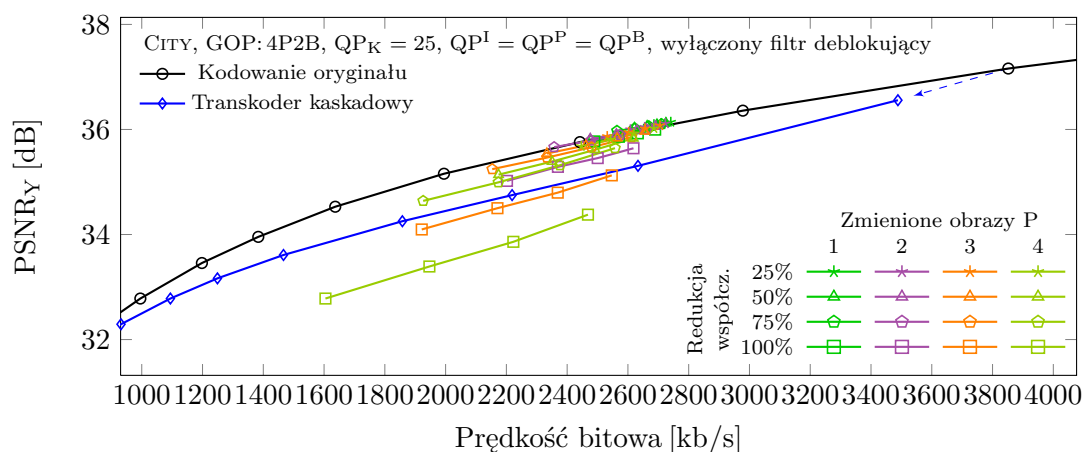
Rysunek C.58: Straty jakości sekwencji wizyjnej spowodowane eliminacją próbek transformaty w obrazach typu P. W obrazach B usunięte 75 % próbek transformaty



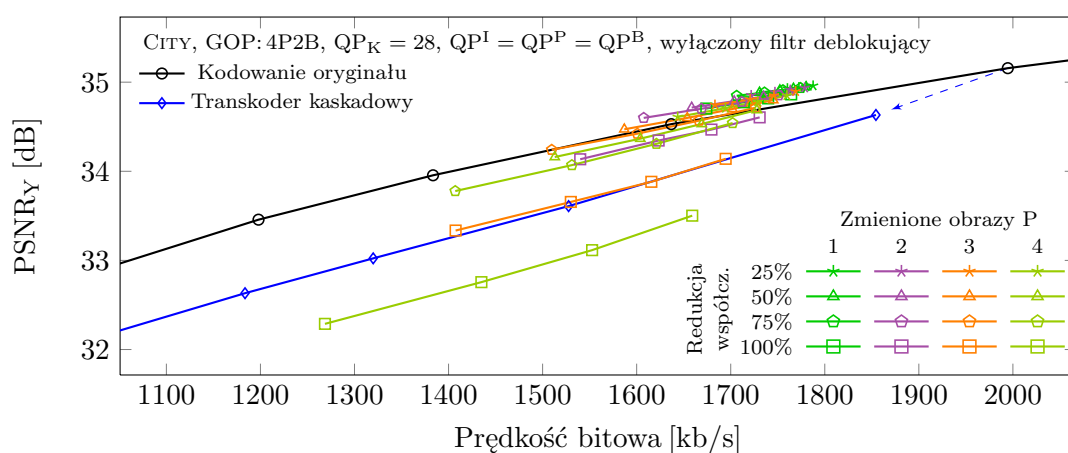
Rysunek C.59: Straty jakości sekwencji wizyjnej spowodowane eliminacją próbek transformaty w obrazach typu P. W obrazach B usunięte wszystkie próbki transformaty



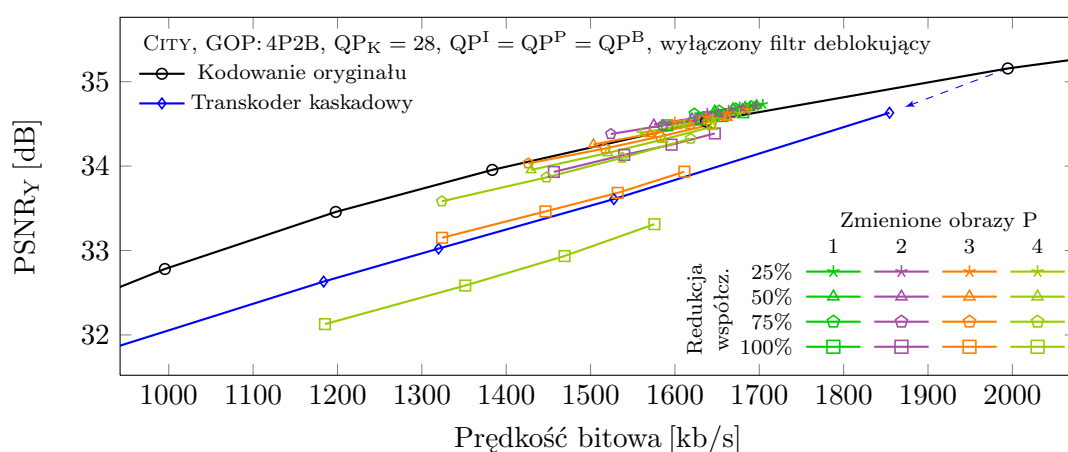
Rysunek C.60: Straty jakości sekwencji wizyjnej spowodowane eliminacją próbek transformaty w obrazach typu P. W obrazach B usunięte 75 % próbek transformaty



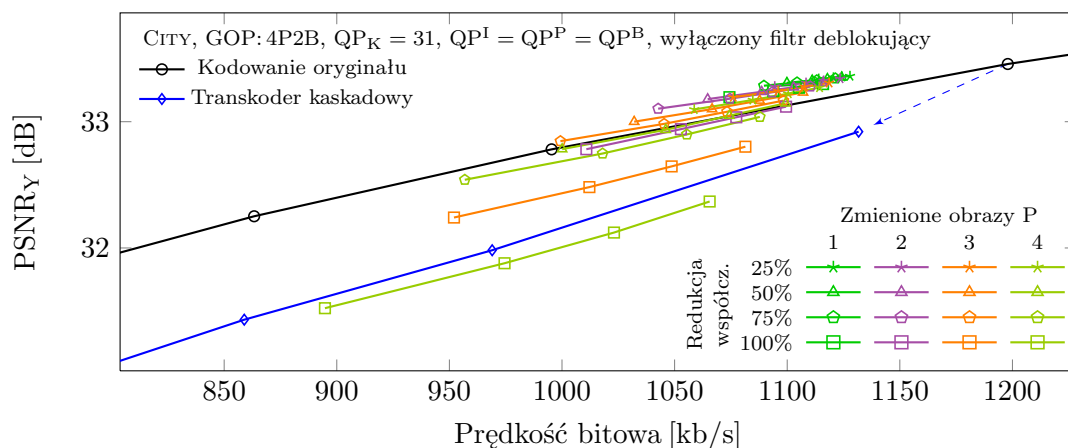
Rysunek C.61: Straty jakości sekwencji wizyjnej spowodowane eliminacją próbek transformaty w obrazach typu P. W obrazach B usunięte wszystkie próbki transformaty



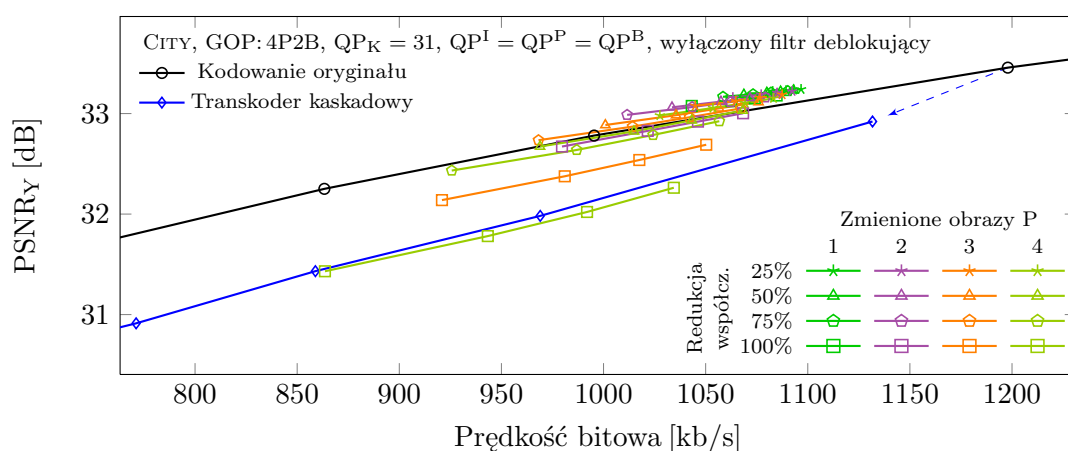
Rysunek C.62: Straty jakości sekwencji wizyjnej spowodowane eliminacją próbek transformaty w obrazach typu P. W obrazach B usunięte 75 % próbek transformaty



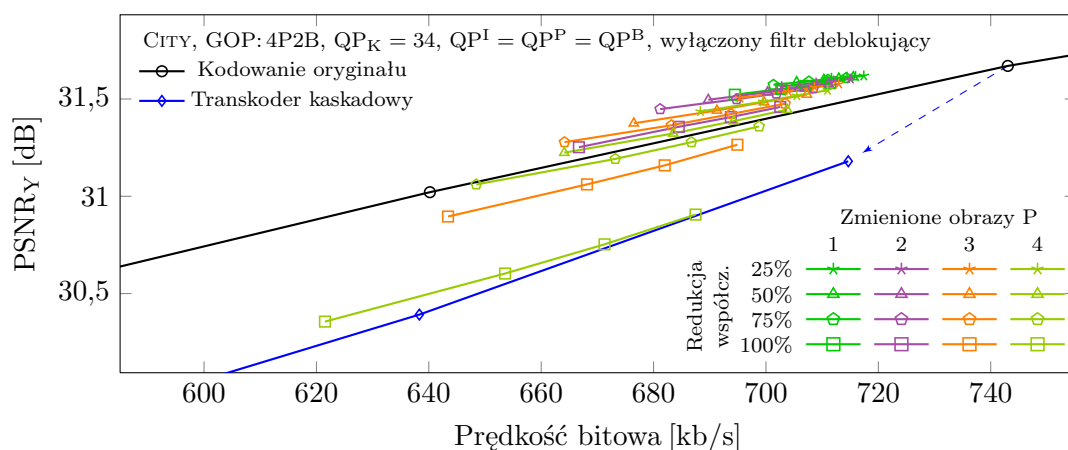
Rysunek C.63: Straty jakości sekwencji wizyjnej spowodowane eliminacją próbek transformaty w obrazach typu P. W obrazach B usunięte wszystkie próbki transformaty



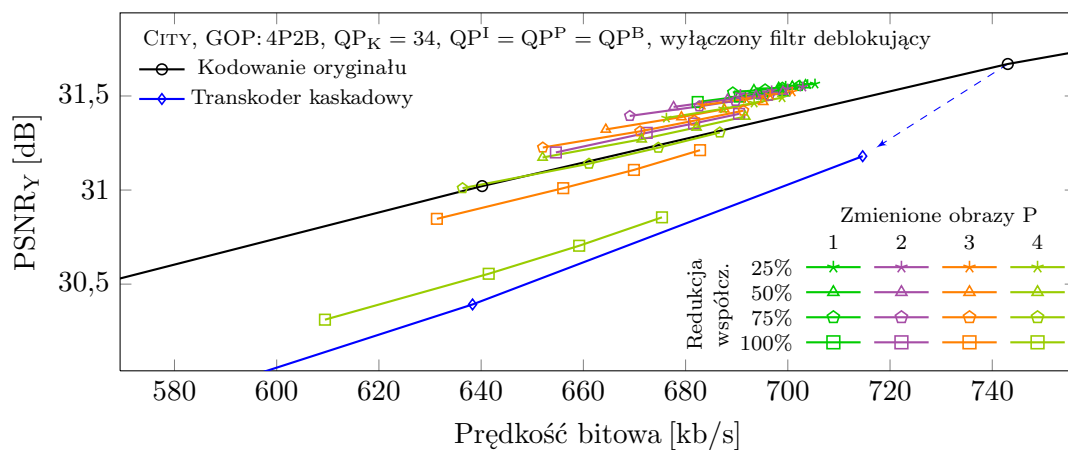
Rysunek C.64: Straty jakości sekwencji wizyjnej spowodowane eliminacją próbek transformaty w obrazach typu P. W obrazach B usunięte 75 % próbek transformaty



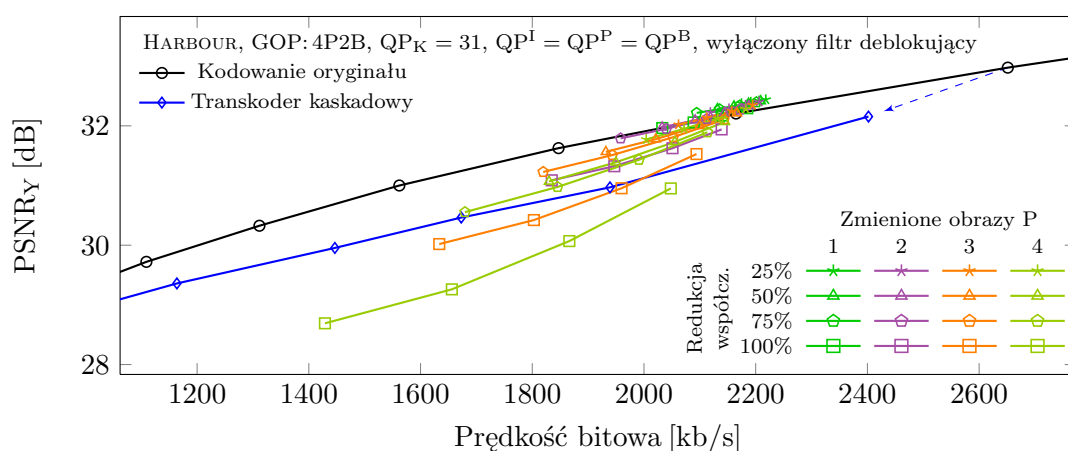
Rysunek C.65: Straty jakości sekwencji wizyjnej spowodowane eliminacją próbek transformaty w obrazach typu P. W obrazach B usunięte wszystkie próbki transformaty



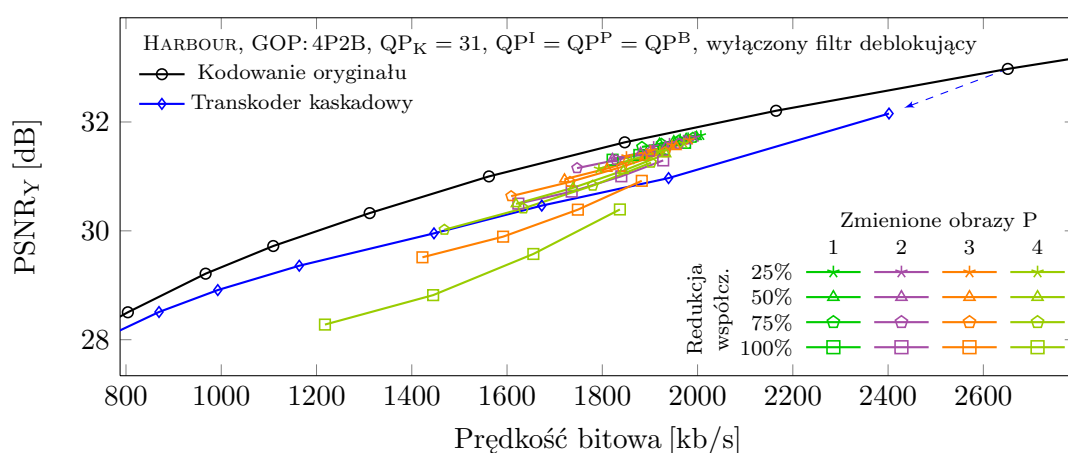
Rysunek C.66: Straty jakości sekwencji wizyjnej spowodowane eliminacją próbek transformaty w obrazach typu P. W obrazach B usunięte 75 % próbek transformaty



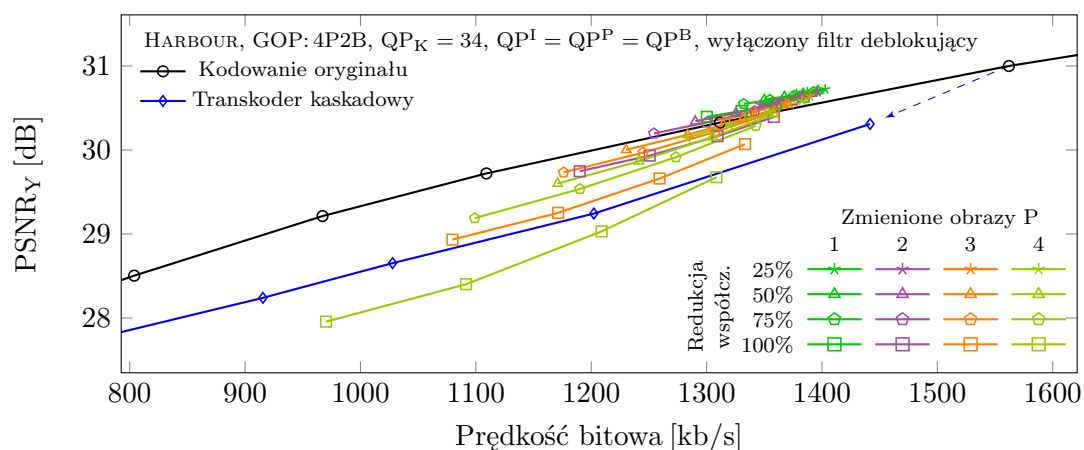
Rysunek C.67: Straty jakości sekwencji wizyjnej spowodowane eliminacją próbek transformaty w obrazach typu P. W obrazach B usunięte wszystkie próbki transformaty



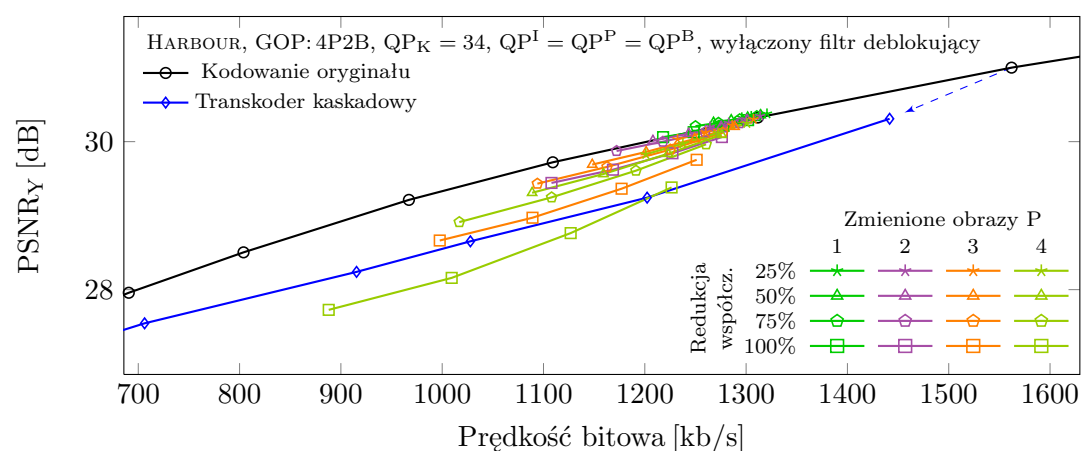
Rysunek C.68: Straty jakości sekwencji wizyjnej spowodowane eliminacją próbek transformaty w obrazach typu P. W obrazach B usunięte 75 % próbek transformaty



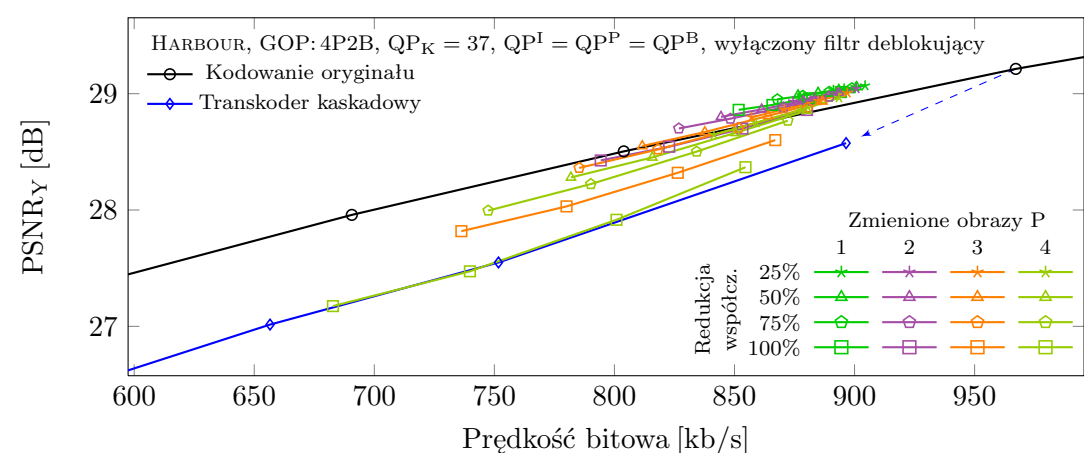
Rysunek C.69: Straty jakości sekwencji wizyjnej spowodowane eliminacją próbek transformaty w obrazach typu P. W obrazach B usunięte wszystkie próbki transformaty



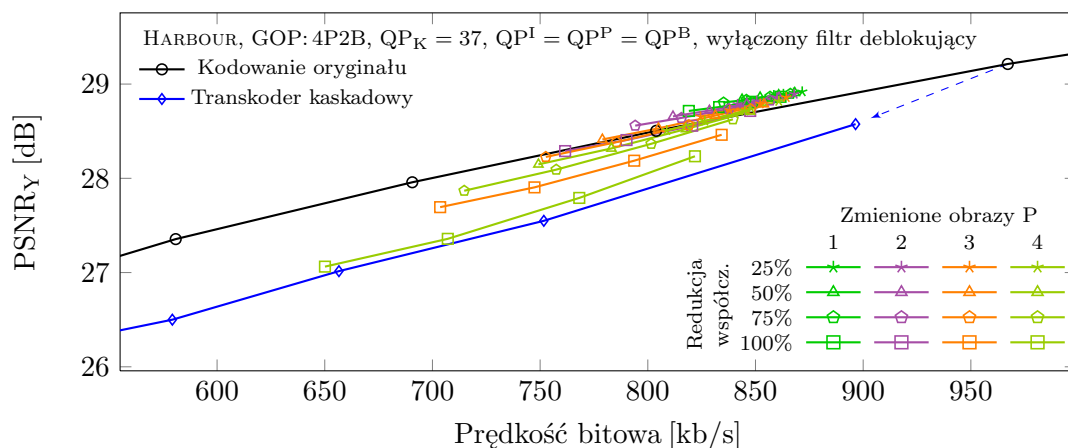
Rysunek C.70: Straty jakości sekwencji wizyjnej spowodowane eliminacją próbek transformaty w obrazach typu P. W obrazach B usunięte 75 % próbek transformaty



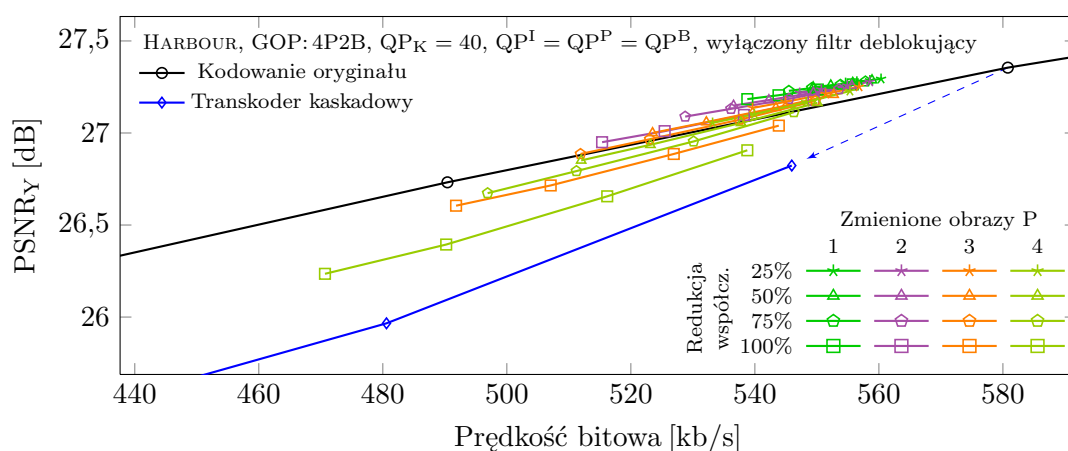
Rysunek C.71: Straty jakości sekwencji wizyjnej spowodowane eliminacją próbek transformaty w obrazach typu P. W obrazach B usunięte wszystkie próbki transformaty



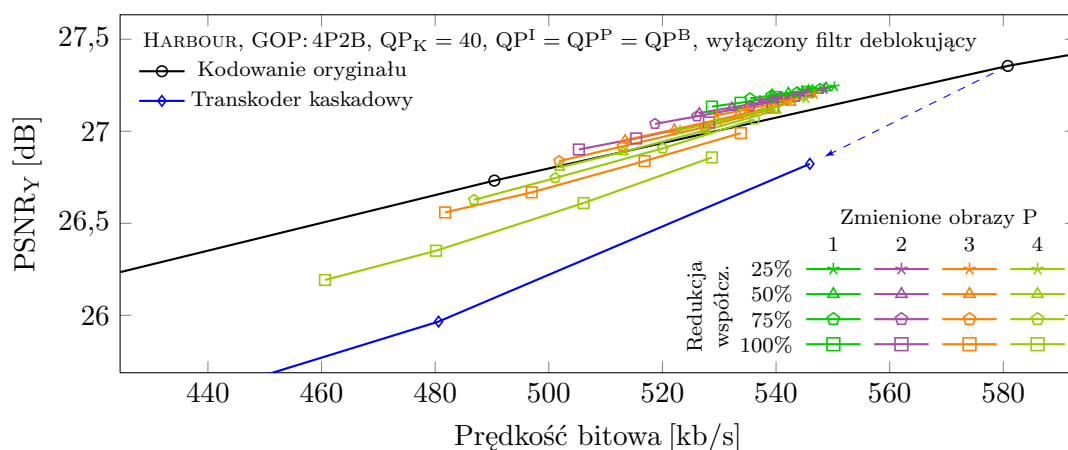
Rysunek C.72: Straty jakości sekwencji wizyjnej spowodowane eliminacją próbek transformaty w obrazach typu P. W obrazach B usunięte 75 % próbek transformaty



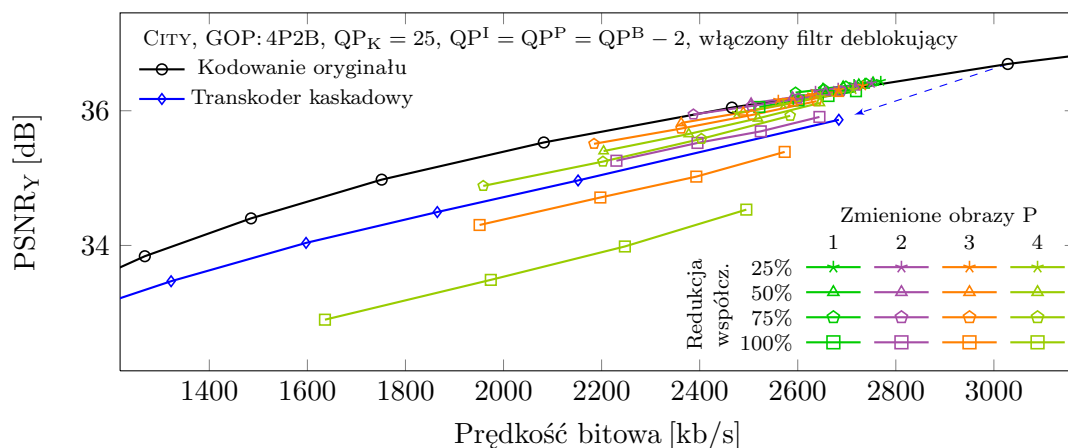
Rysunek C.73: Straty jakości sekwencji wizyjnej spowodowane eliminacją próbek transformaty w obrazach typu P. W obrazach B usunięte wszystkie próbki transformaty



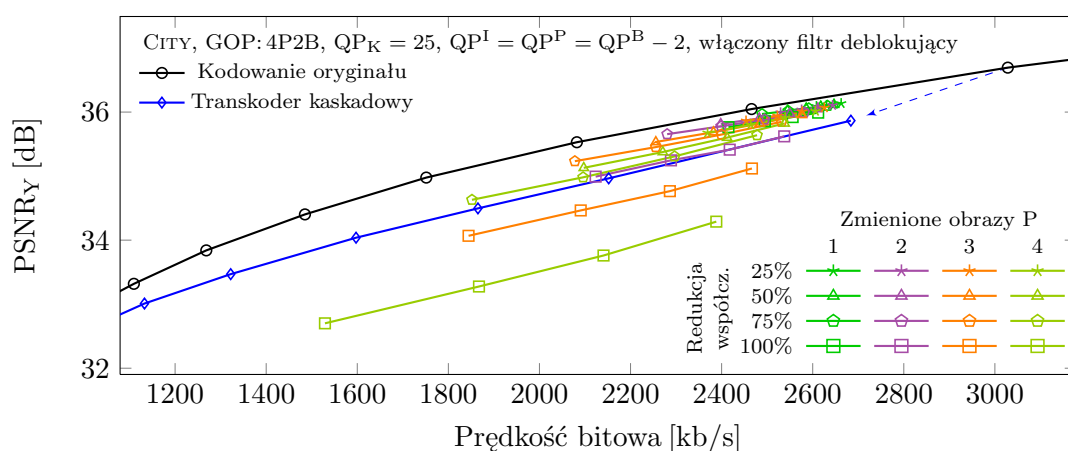
Rysunek C.74: Straty jakości sekwencji wizyjnej spowodowane eliminacją próbek transformaty w obrazach typu P. W obrazach B usunięte 75 % próbek transformaty



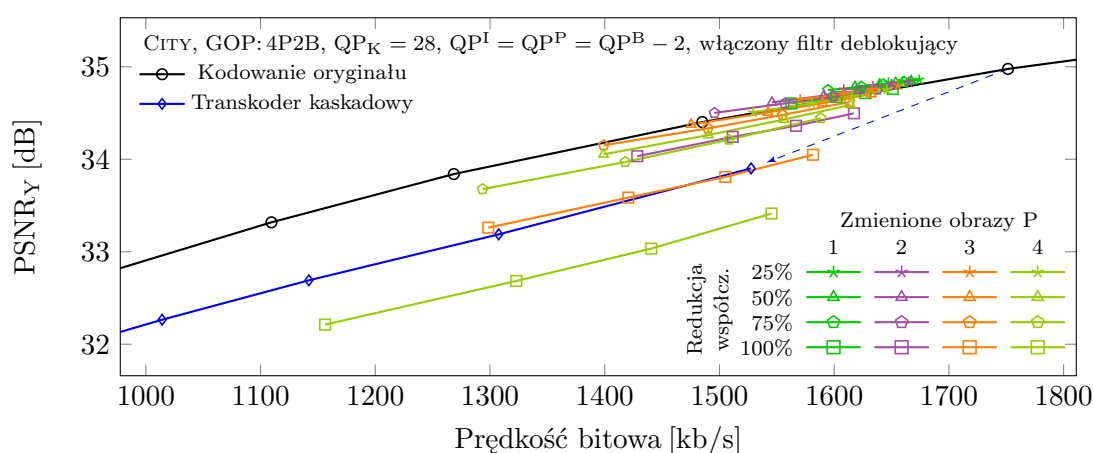
Rysunek C.75: Straty jakości sekwencji wizyjnej spowodowane eliminacją próbek transformaty w obrazach typu P. W obrazach B usunięte wszystkie próbki transformaty



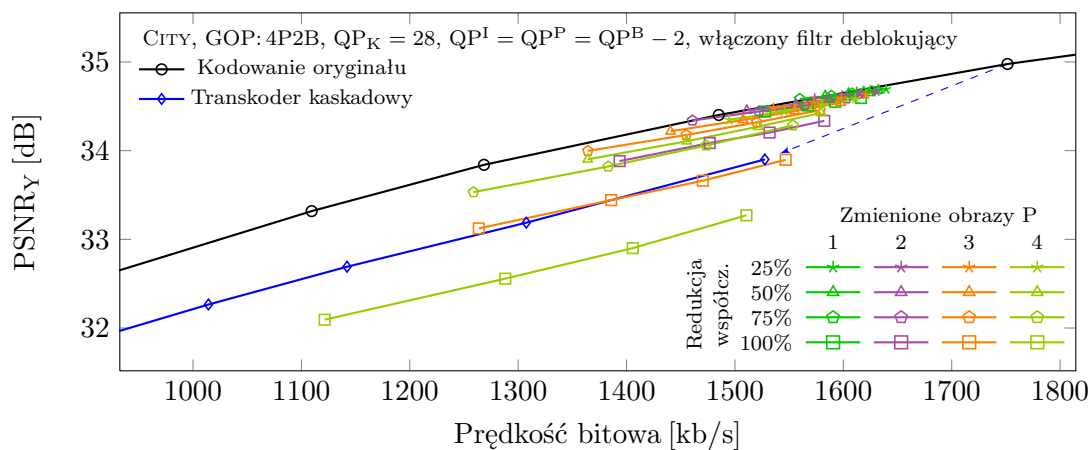
Rysunek C.76: Straty jakości sekwencji wizyjnej spowodowane eliminacją próbek transformaty w obrazach typu P. W obrazach B usunięte 75 % próbek transformaty



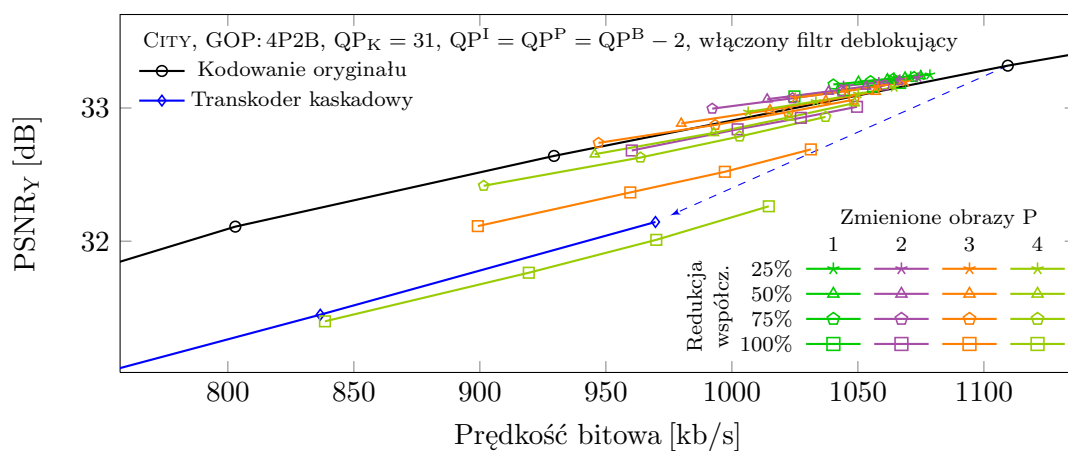
Rysunek C.77: Straty jakości sekwencji wizyjnej spowodowane eliminacją próbek transformaty w obrazach typu P. W obrazach B usunięte wszystkie próbki transformaty



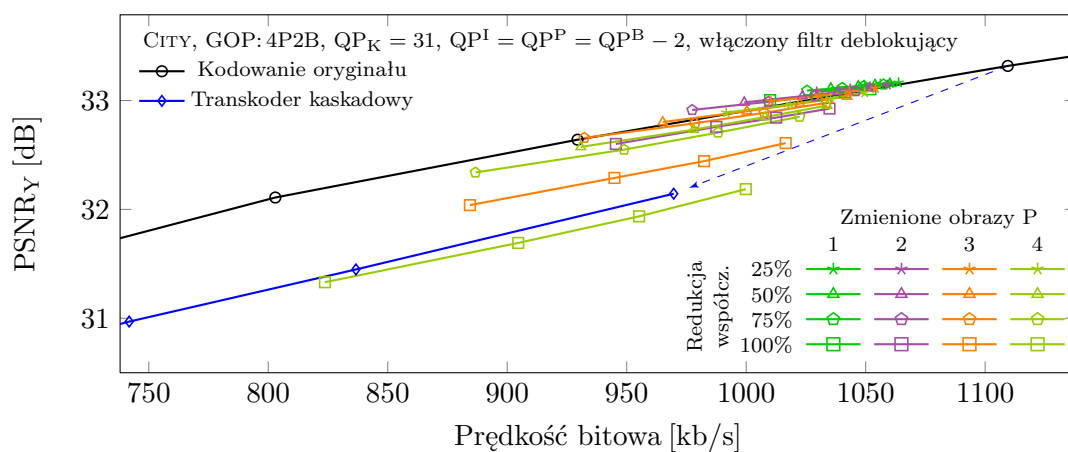
Rysunek C.78: Straty jakości sekwencji wizyjnej spowodowane eliminacją próbek transformaty w obrazach typu P. W obrazach B usunięte 75 % próbek transformaty



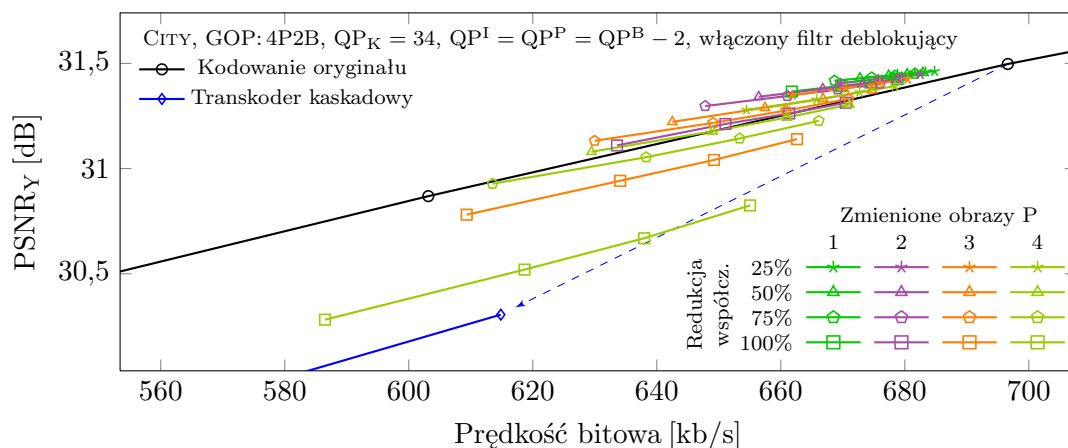
Rysunek C.79: Straty jakości sekwencji wizyjnej spowodowane eliminacją próbek transformaty w obrazach typu P. W obrazach B usunięte wszystkie próbki transformaty



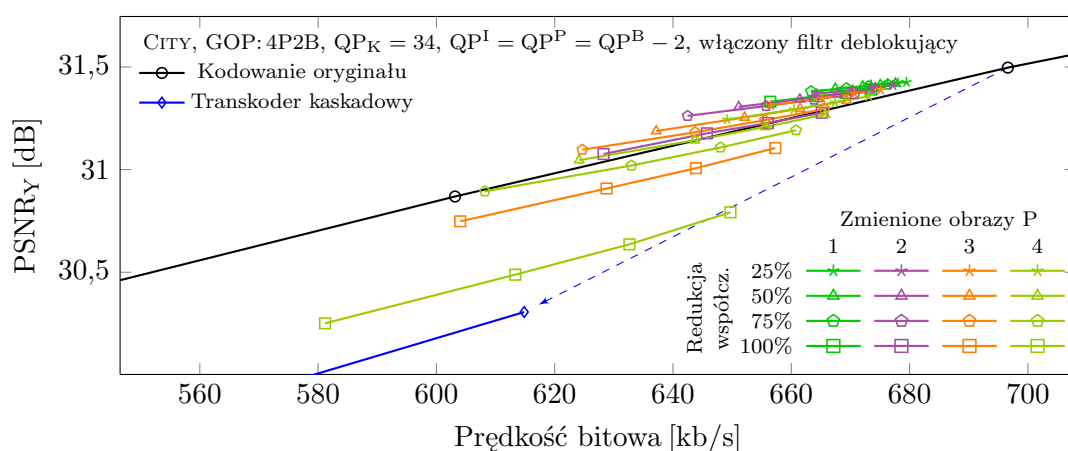
Rysunek C.80: Straty jakości sekwencji wizyjnej spowodowane eliminacją próbek transformaty w obrazach typu P. W obrazach B usunięte 75 % próbek transformaty



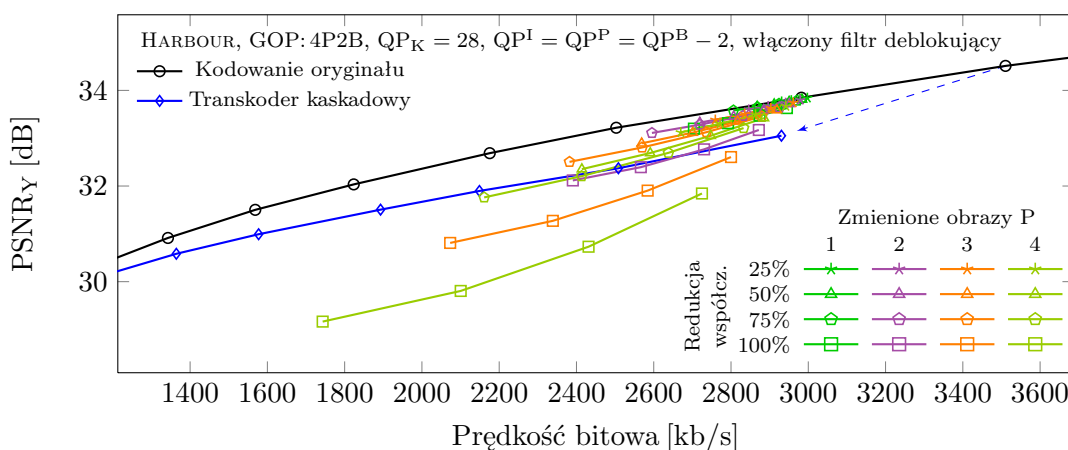
Rysunek C.81: Straty jakości sekwencji wizyjnej spowodowane eliminacją próbek transformaty w obrazach typu P. W obrazach B usunięte wszystkie próbki transformaty



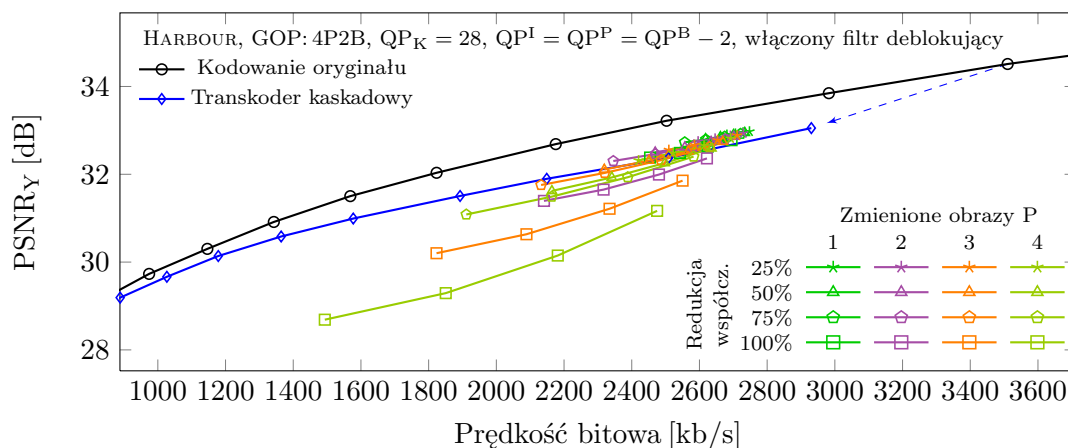
Rysunek C.82: Straty jakości sekwencji wizyjnej spowodowane eliminacją próbek transformaty w obrazach typu P. W obrazach B usunięte 75 % próbek transformaty



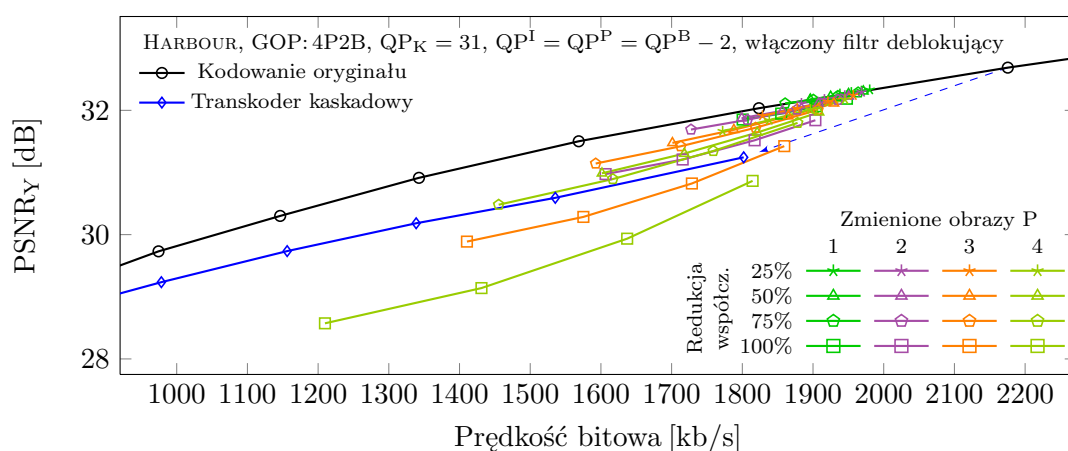
Rysunek C.83: Straty jakości sekwencji wizyjnej spowodowane eliminacją próbek transformaty w obrazach typu P. W obrazach B usunięte wszystkie próbki transformaty



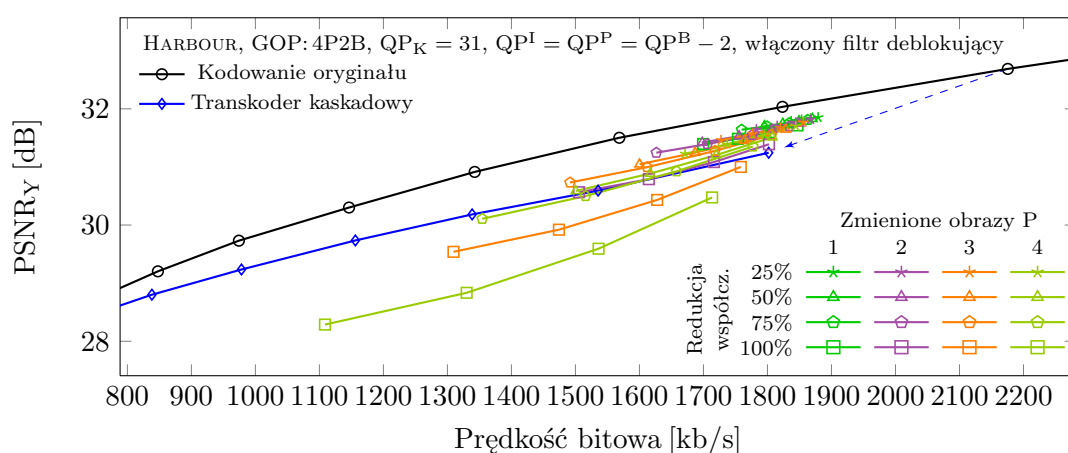
Rysunek C.84: Straty jakości sekwencji wizyjnej spowodowane eliminacją próbek transformaty w obrazach typu P. W obrazach B usunięte 75 % próbek transformaty



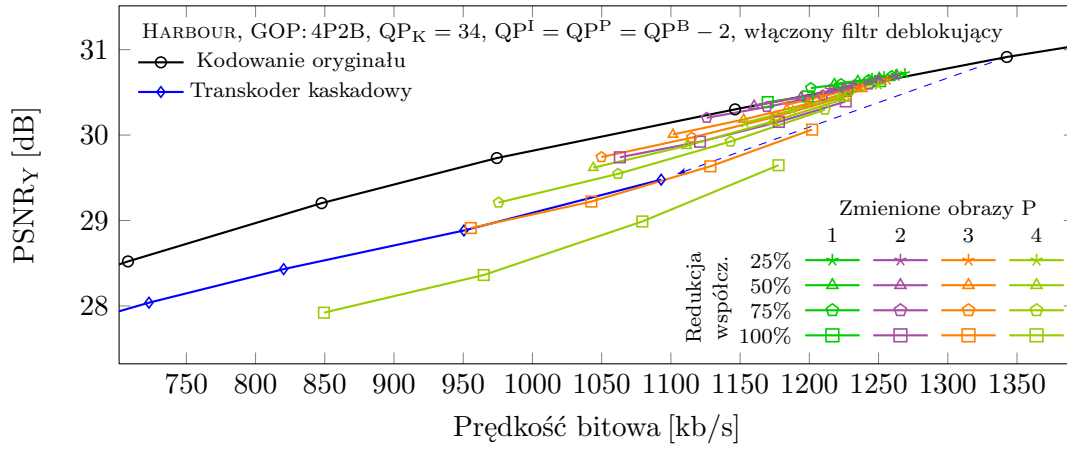
Rysunek C.85: Straty jakości sekwencji wizyjnej spowodowane eliminacją próbek transformaty w obrazach typu P. W obrazach B usunięte wszystkie próbki transformaty



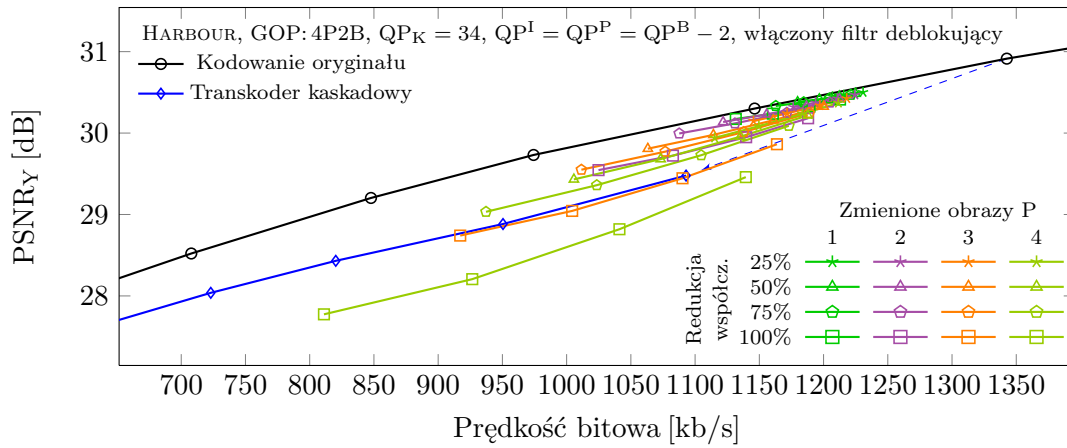
Rysunek C.86: Straty jakości sekwencji wizyjnej spowodowane eliminacją próbek transformaty w obrazach typu P. W obrazach B usunięte 75 % próbek transformaty



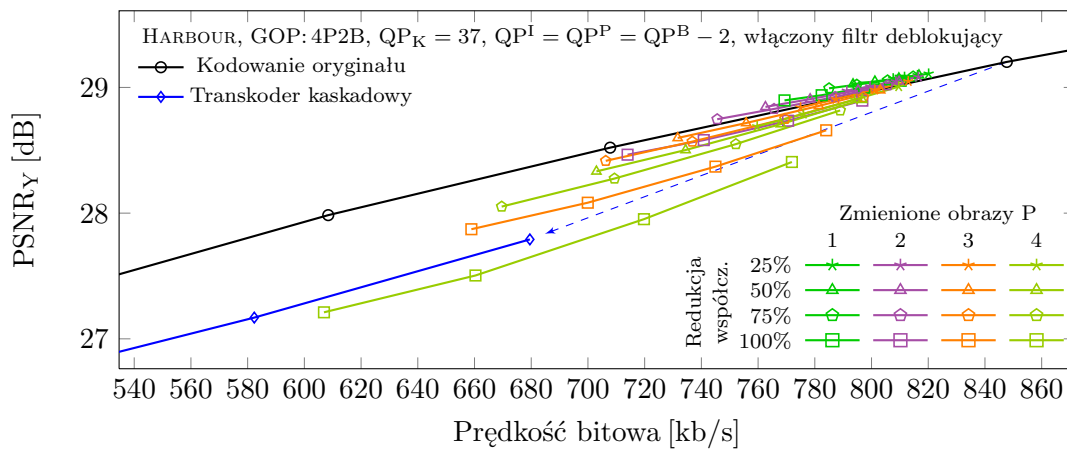
Rysunek C.87: Straty jakości sekwencji wizyjnej spowodowane eliminacją próbek transformaty w obrazach typu P. W obrazach B usunięte wszystkie próbki transformaty



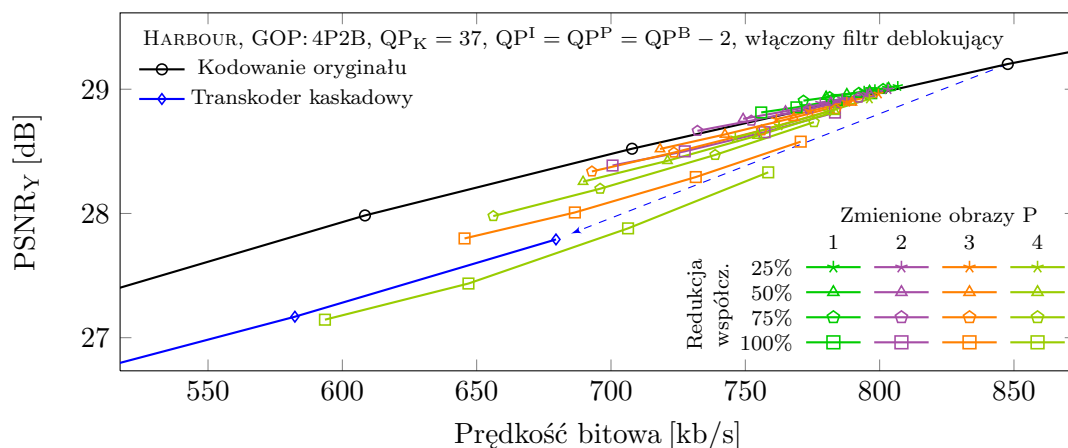
Rysunek C.88: Straty jakości sekwencji wizyjnej spowodowane eliminacją próbek transformaty w obrazach typu P. W obrazach B usunięte 75 % próbek transformaty



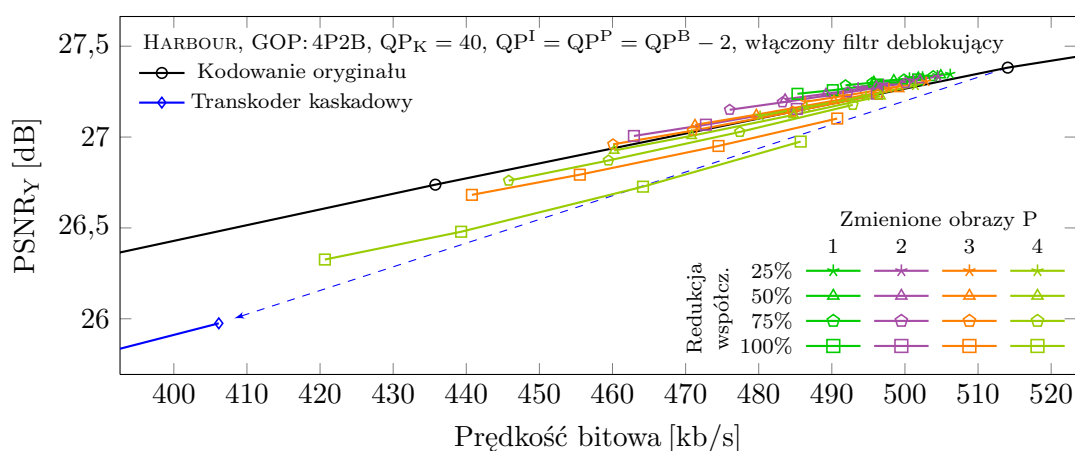
Rysunek C.89: Straty jakości sekwencji wizyjnej spowodowane eliminacją próbek transformaty w obrazach typu P. W obrazach B usunięte wszystkie próbki transformaty



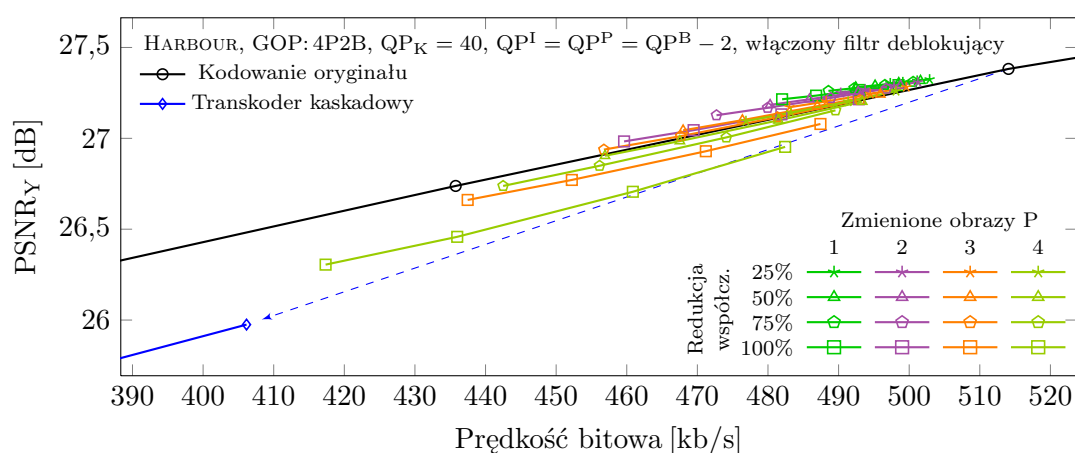
Rysunek C.90: Straty jakości sekwencji wizyjnej spowodowane eliminacją próbek transformaty w obrazach typu P. W obrazach B usunięte 75 % próbek transformaty



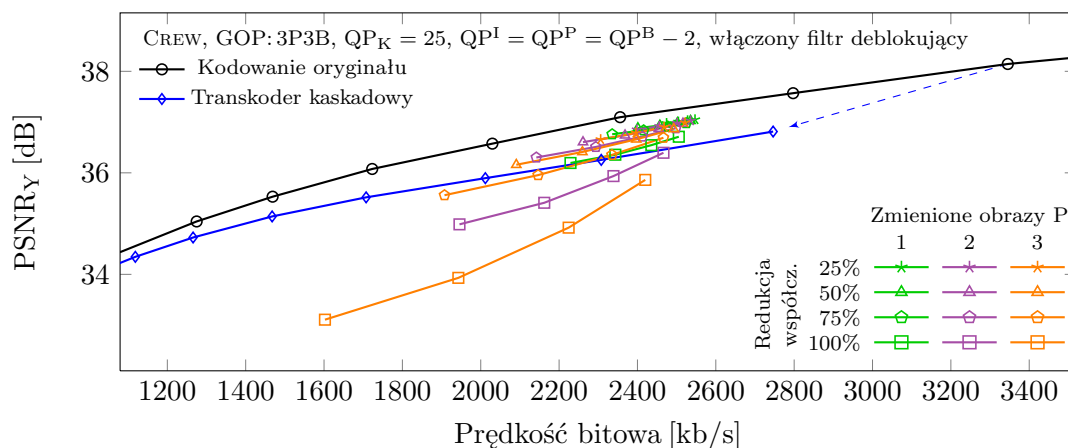
Rysunek C.91: Straty jakości sekwencji wizyjnej spowodowane eliminacją próbek transformaty w obrazach typu P. W obrazach B usunięte wszystkie próbki transformaty



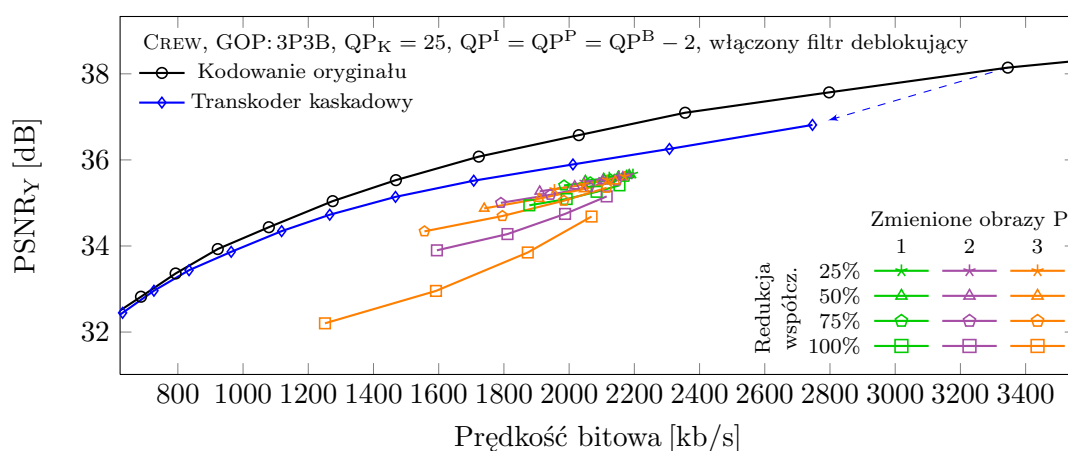
Rysunek C.92: Straty jakości sekwencji wizyjnej spowodowane eliminacją próbek transformaty w obrazach typu P. W obrazach B usunięte 75 % próbek transformaty



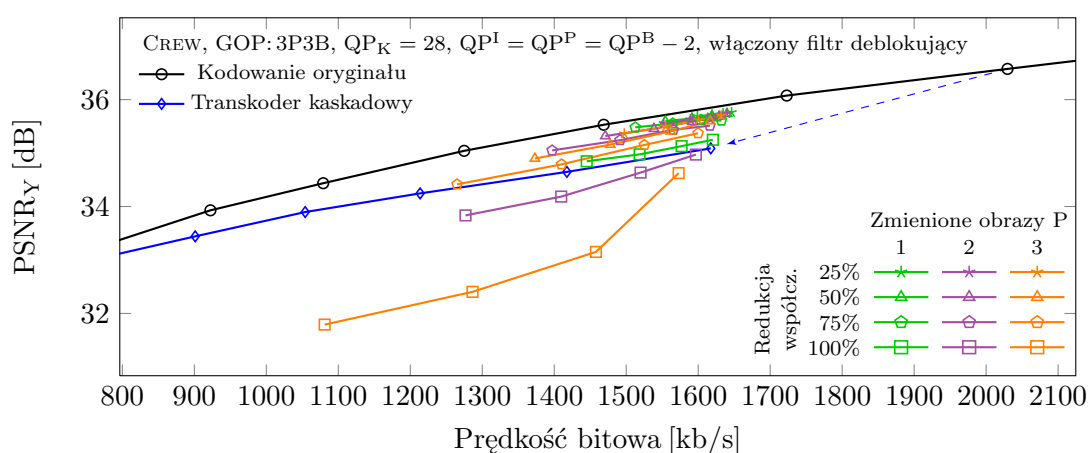
Rysunek C.93: Straty jakości sekwencji wizyjnej spowodowane eliminacją próbek transformaty w obrazach typu P. W obrazach B usunięte wszystkie próbki transformaty



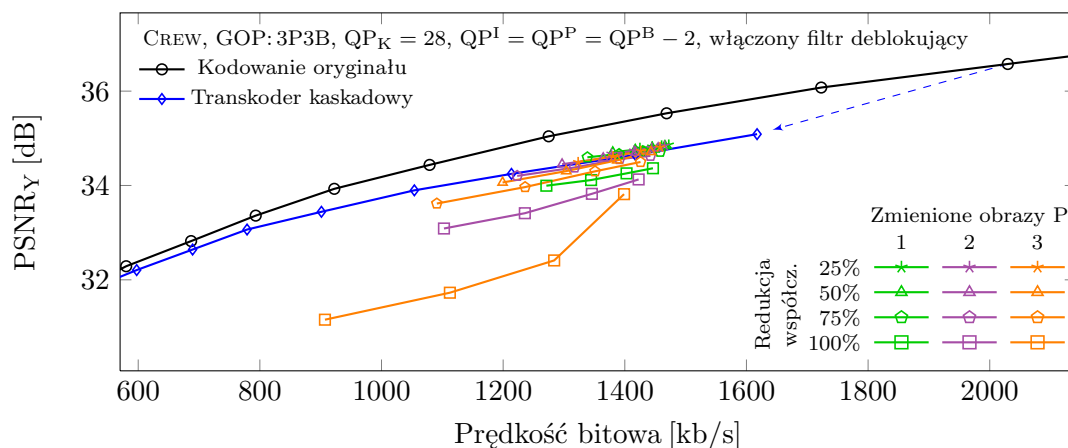
Rysunek C.94: Straty jakości sekwencji wizyjnej spowodowane eliminacją próbek transformaty w obrazach typu P. W obrazach B usunięte 75 % próbek transformaty



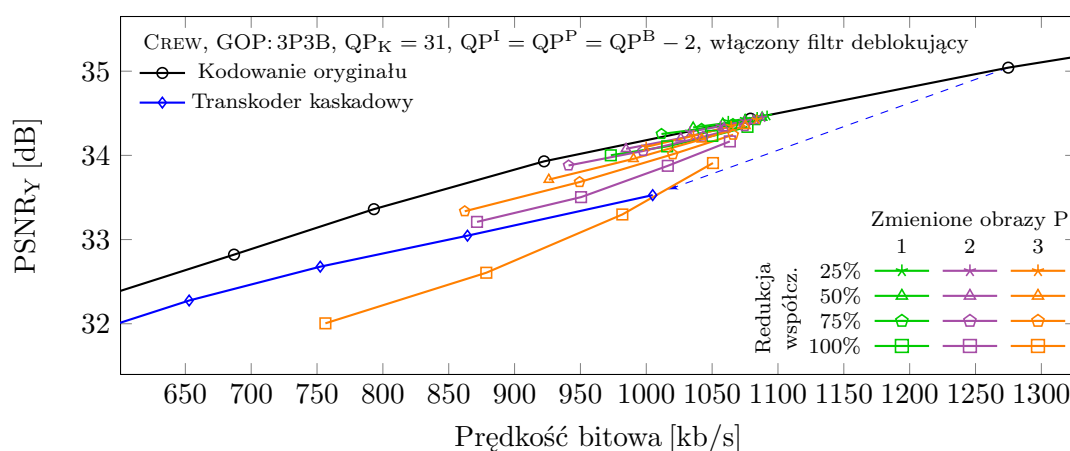
Rysunek C.95: Straty jakości sekwencji wizyjnej spowodowane eliminacją próbek transformaty w obrazach typu P. W obrazach B usunięte wszystkie próbki transformaty



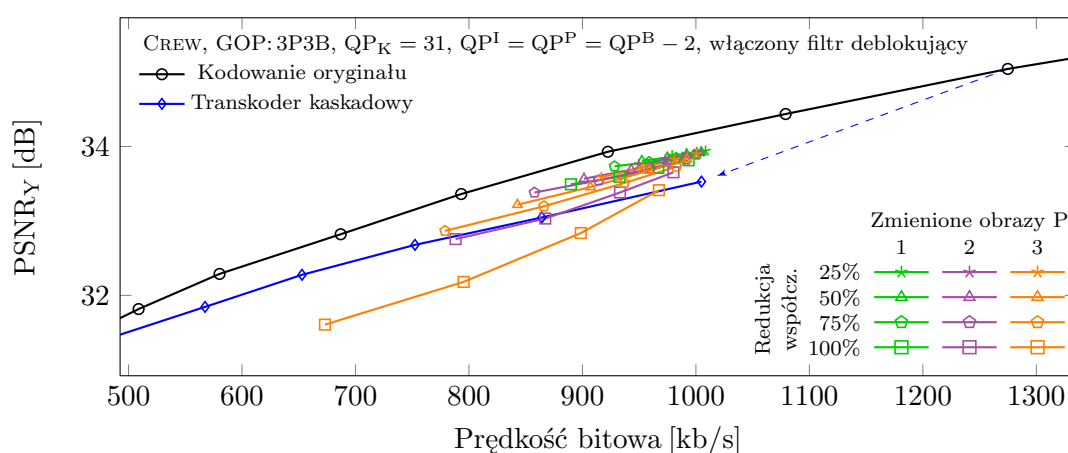
Rysunek C.96: Straty jakości sekwencji wizyjnej spowodowane eliminacją próbek transformaty w obrazach typu P. W obrazach B usunięte 75 % próbek transformaty



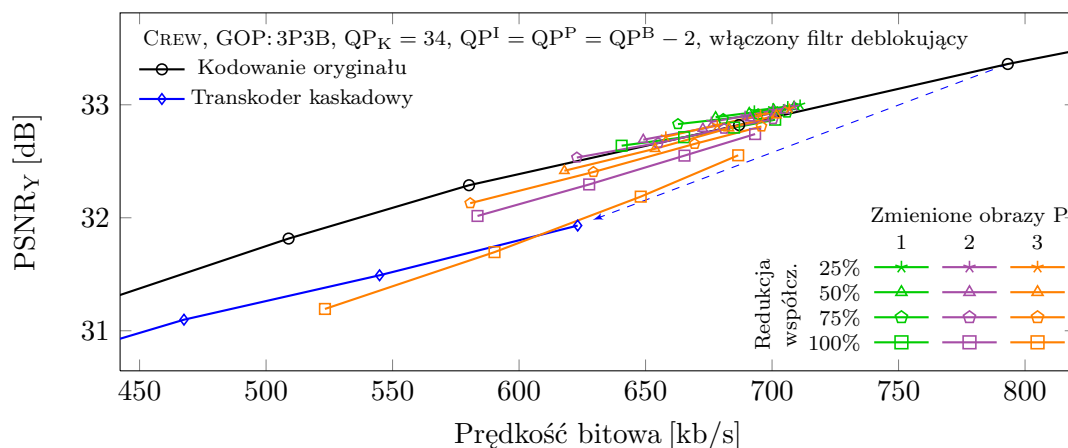
Rysunek C.97: Straty jakości sekwencji wizyjnej spowodowane eliminacją próbek transformaty w obrazach typu P. W obrazach B usunięte wszystkie próbki transformaty



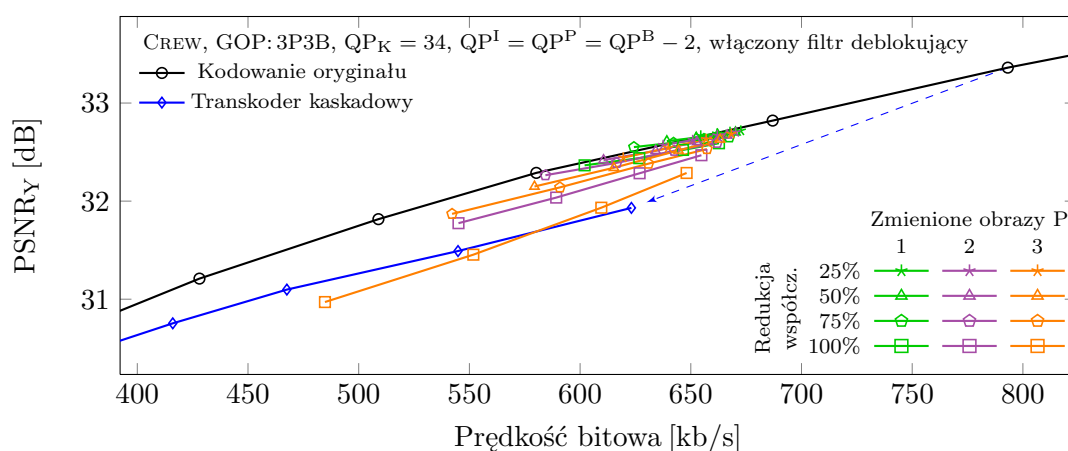
Rysunek C.98: Straty jakości sekwencji wizyjnej spowodowane eliminacją 75 % próbek transformaty w obrazach typu P. W obrazach B usunięte 75 % próbek transformaty



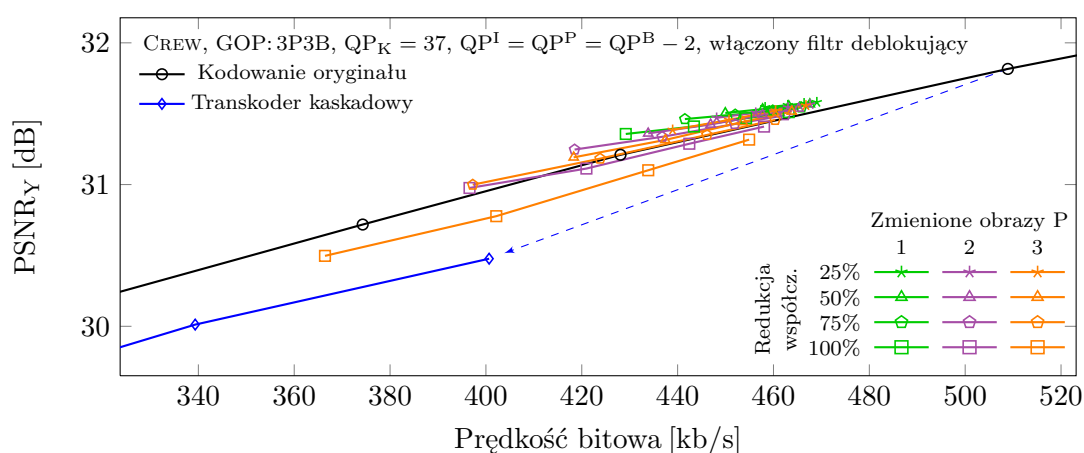
Rysunek C.99: Straty jakości sekwencji wizyjnej spowodowane eliminacją wszystkich próbek transformaty w obrazach typu P. W obrazach B usunięte wszystkie próbki transformaty



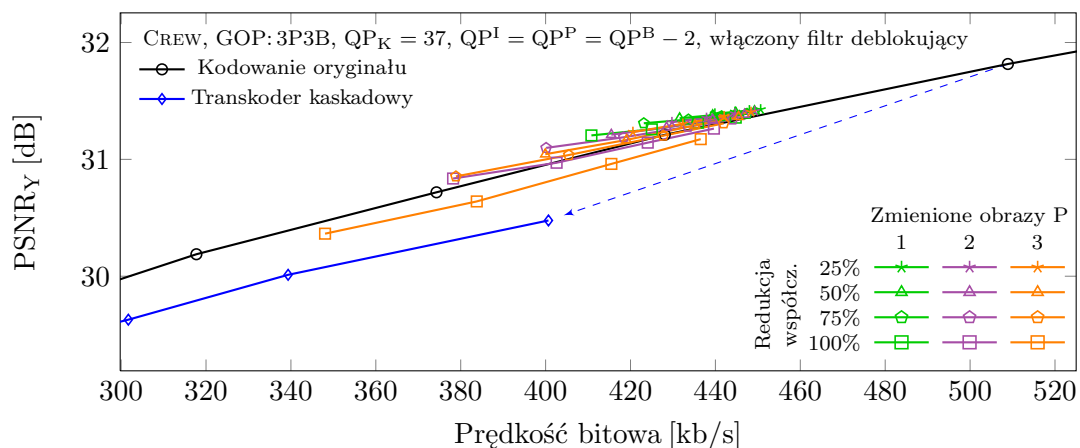
Rysunek C.100: Straty jakości sekwencji wizyjnej spowodowane eliminacją próbek transformaty w obrazach typu P. W obrazach B usunięte 75 % próbek transformaty



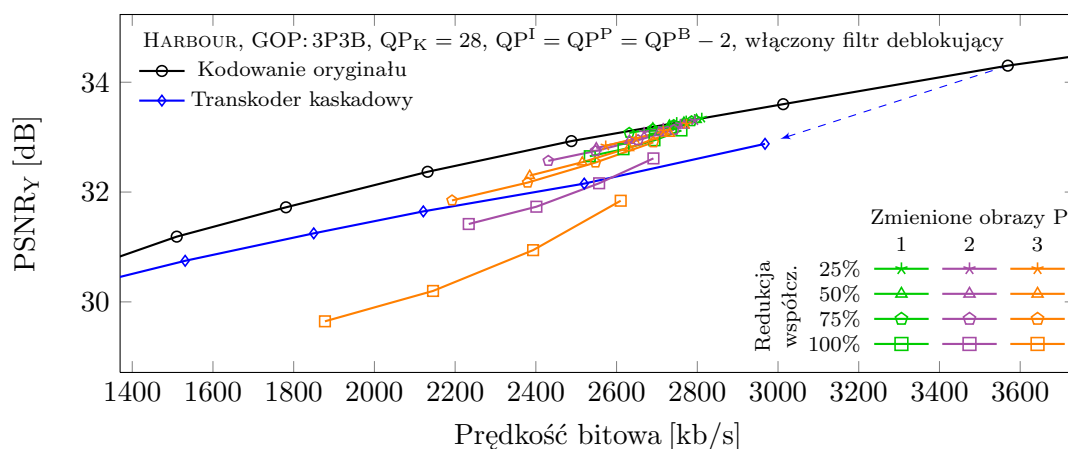
Rysunek C.101: Straty jakości sekwencji wizyjnej spowodowane eliminacją próbek transformaty w obrazach typu P. W obrazach B usunięte wszystkie próbki transformaty



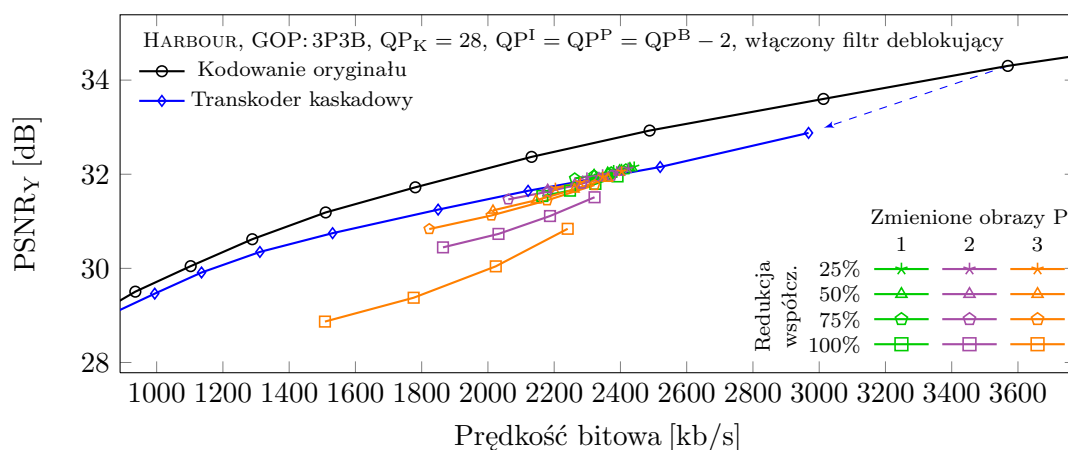
Rysunek C.102: Straty jakości sekwencji wizyjnej spowodowane eliminacją próbek transformaty w obrazach typu P. W obrazach B usunięte 75 % próbek transformaty



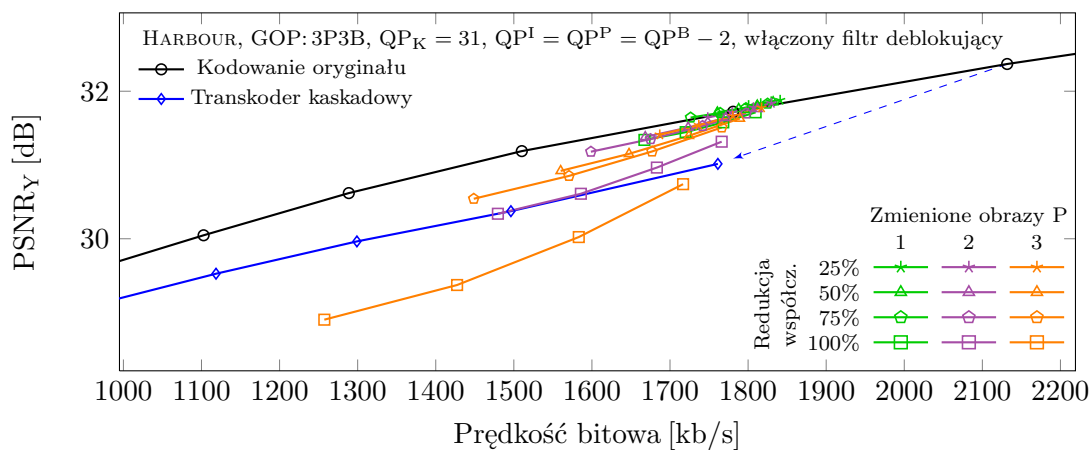
Rysunek C.103: Straty jakości sekwencji wizyjnej spowodowane eliminacją próbek transformaty w obrazach typu P. W obrazach B usunięte wszystkie próbki transformaty



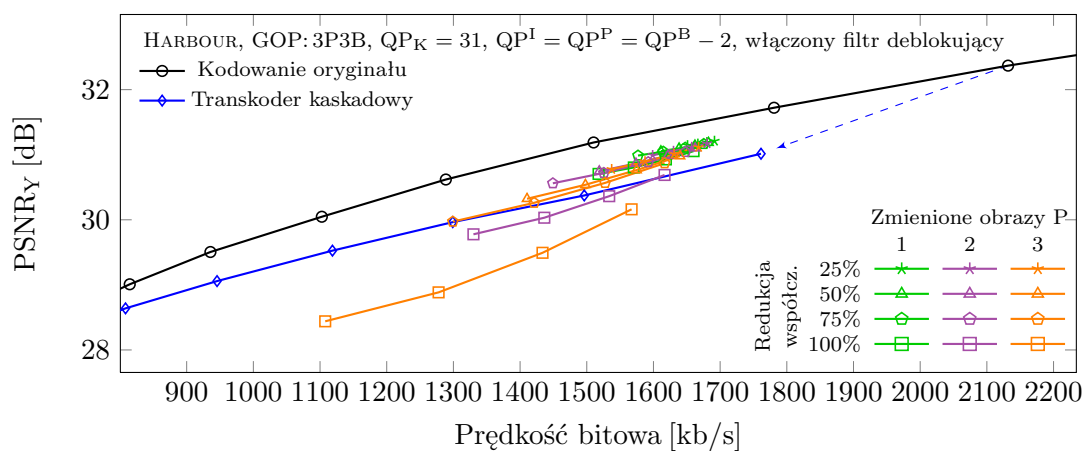
Rysunek C.104: Straty jakości sekwencji wizyjnej spowodowane eliminacją próbek transformaty w obrazach typu P. W obrazach B usunięte 75 % próbek transformaty



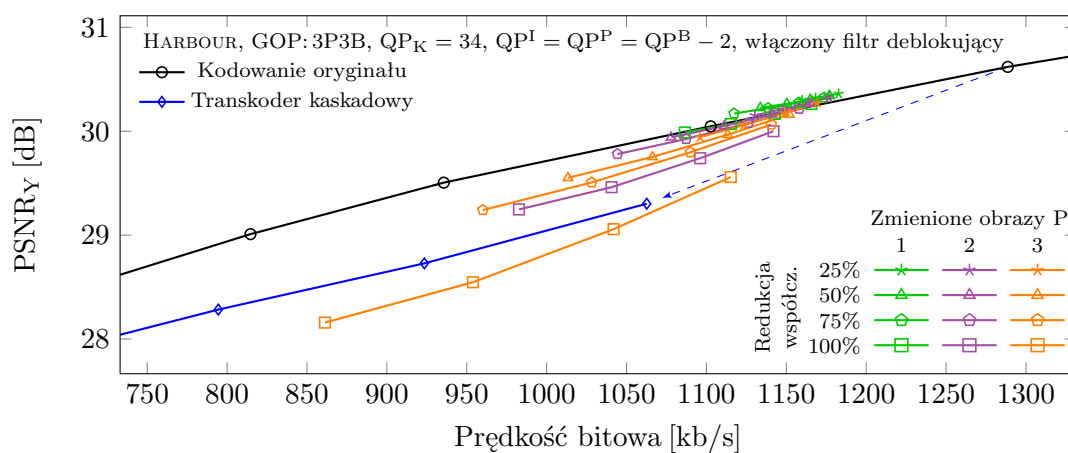
Rysunek C.105: Straty jakości sekwencji wizyjnej spowodowane eliminacją próbek transformaty w obrazach typu P. W obrazach B usunięte wszystkie próbki transformaty



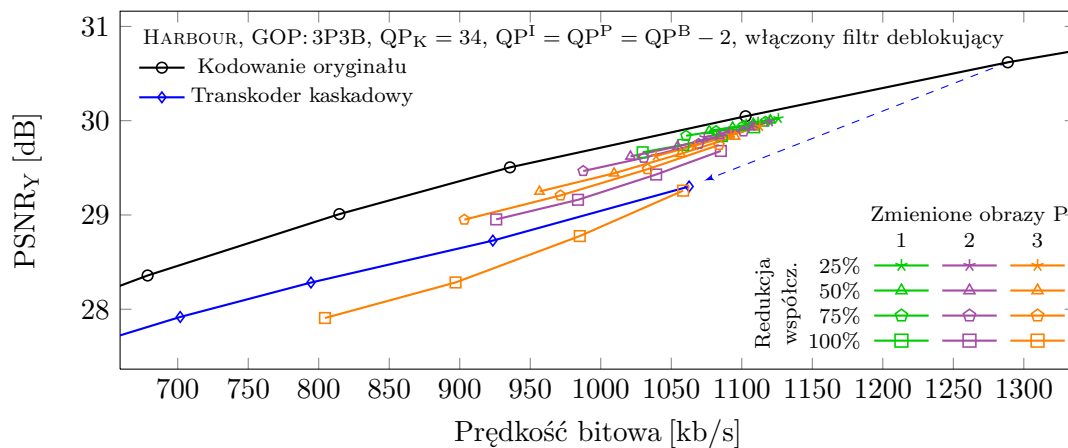
Rysunek C.106: Straty jakości sekwencji wizyjnej spowodowane eliminacją próbek transformaty w obrazach typu P. W obrazach B usunięte 75 % próbek transformaty



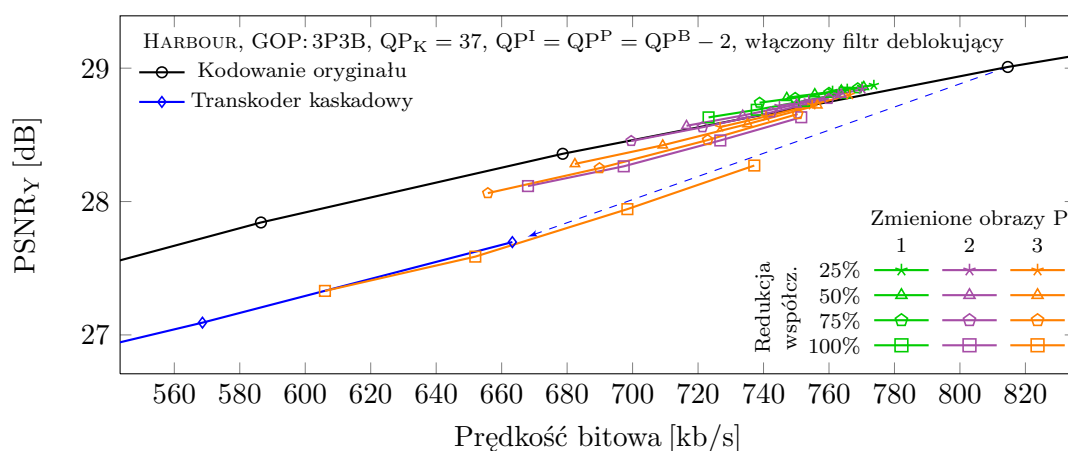
Rysunek C.107: Straty jakości sekwencji wizyjnej spowodowane eliminacją próbek transformaty w obrazach typu P. W obrazach B usunięte wszystkie próbki transformaty



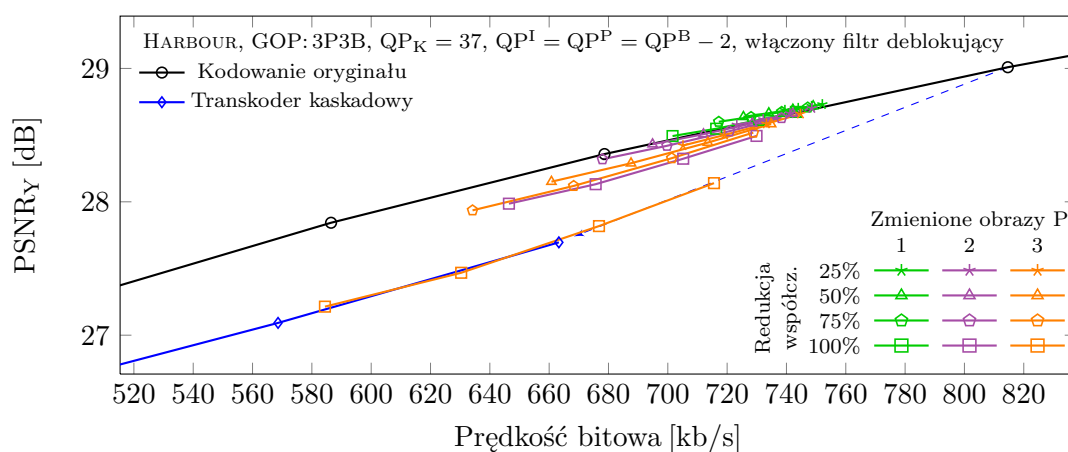
Rysunek C.108: Straty jakości sekwencji wizyjnej spowodowane eliminacją próbek transformaty w obrazach typu P. W obrazach B usunięte 75 % próbek transformaty



Rysunek C.109: Straty jakości sekwencji wizyjnej spowodowane eliminacją próbek transformaty w obrazach typu P. W obrazach B usunięte wszystkie próbki transformaty



Rysunek C.110: Straty jakości sekwencji wizyjnej spowodowane eliminacją próbek transformaty w obrazach typu P. W obrazach B usunięte 75 % próbek transformaty



Rysunek C.111: Straty jakości sekwencji wizyjnej spowodowane eliminacją próbek transformaty w obrazach typu P. W obrazach B usunięte wszystkie próbki transformaty

Uzupełnienia do rozdziału: Algorytmy transkodowania homogenicznego z ograniczonymi stratami jakości

Dodatek D.1 Uzupełnienia do punktu 5.3.1

Poniżej znajduje się wybrana, reprezentatywna część wyników badań uzyskanych dla następujących scenariuszy modyfikacji obrazów typ B:

Scenariusz 1 – obrazy B niezmodyfikowane;

Scenariusz 2 – w obrazach B usuniętych 25 % próbek transformaty o amplitudzie równej 1;

Scenariusz 3 – w obrazach B usuniętych 50 % próbek transformaty o amplitudzie równej 1;

Scenariusz 4 – w obrazach B usuniętych 75 % próbek transformaty o amplitudzie równej 1;

Scenariusz 5 – wartość indeksu QP w obrazach B zwiększona o 6;

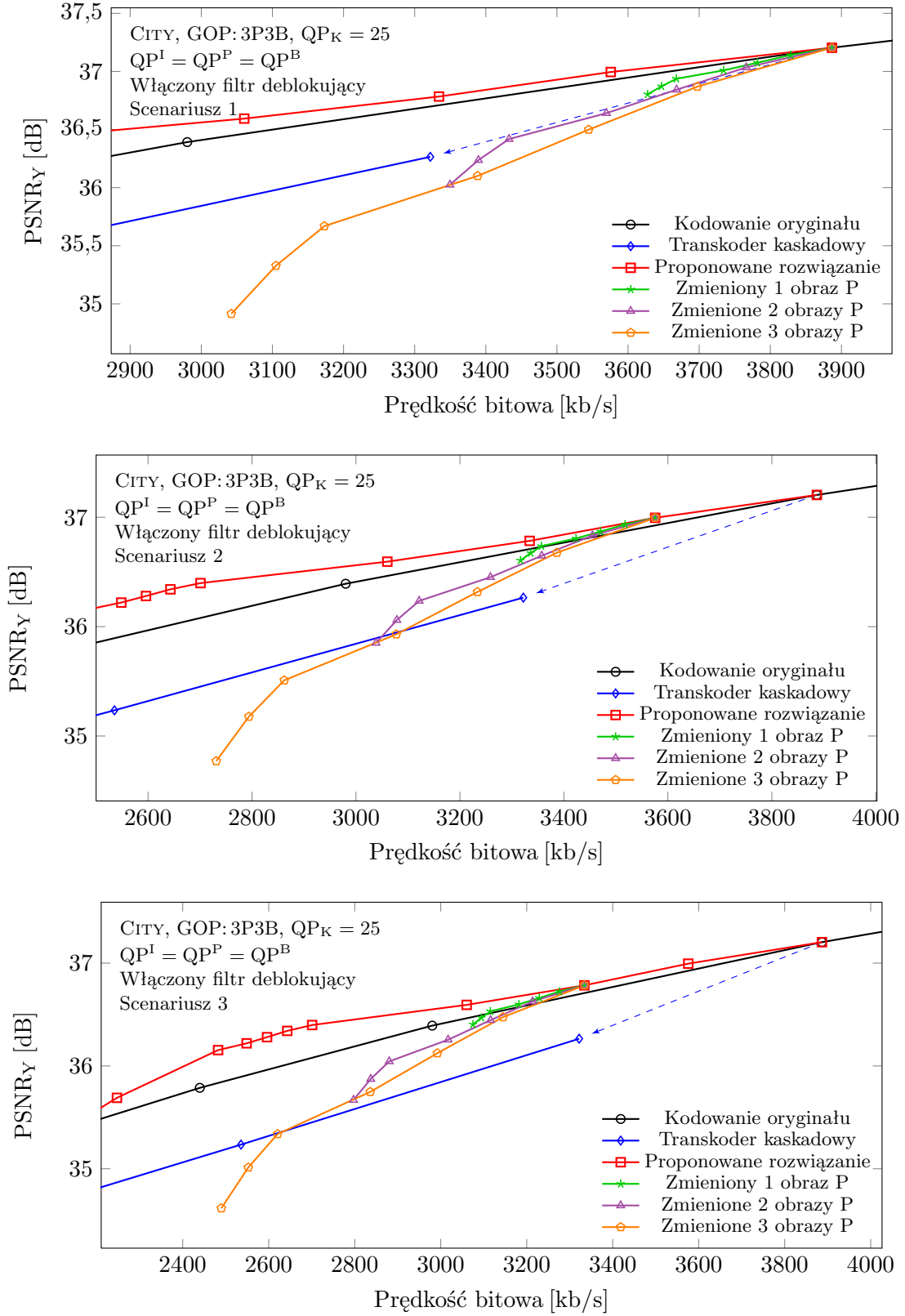
Scenariusz 6 – wartość indeksu QP w obrazach B zwiększona o 6 i następnie usuniętych 50 % próbek transformaty o amplitudzie równej 1;

Scenariusz 7 – wartość indeksu QP w obrazach B zwiększona o 6 i następnie usunięte wszystkie próbki transformaty o amplitudzie równej 1.

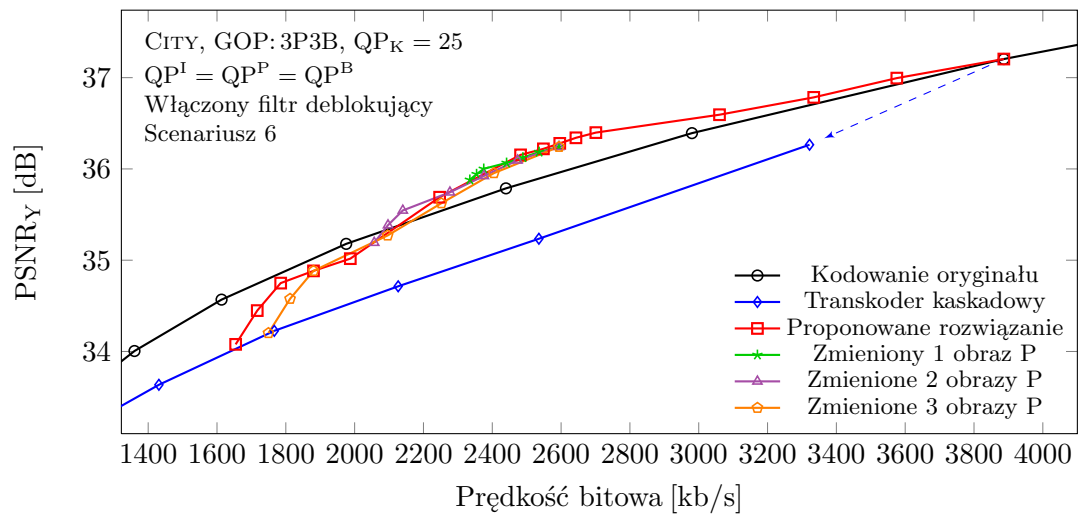
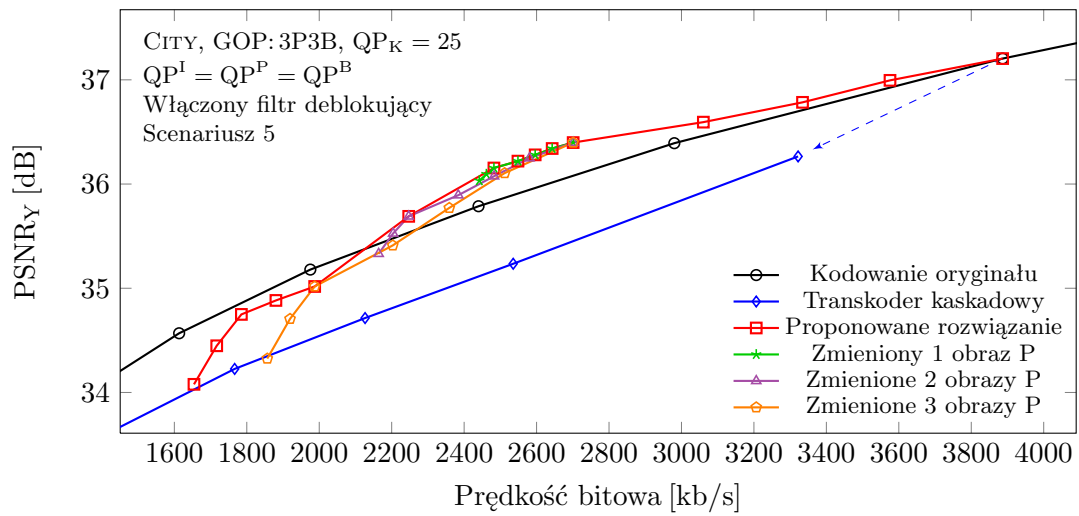
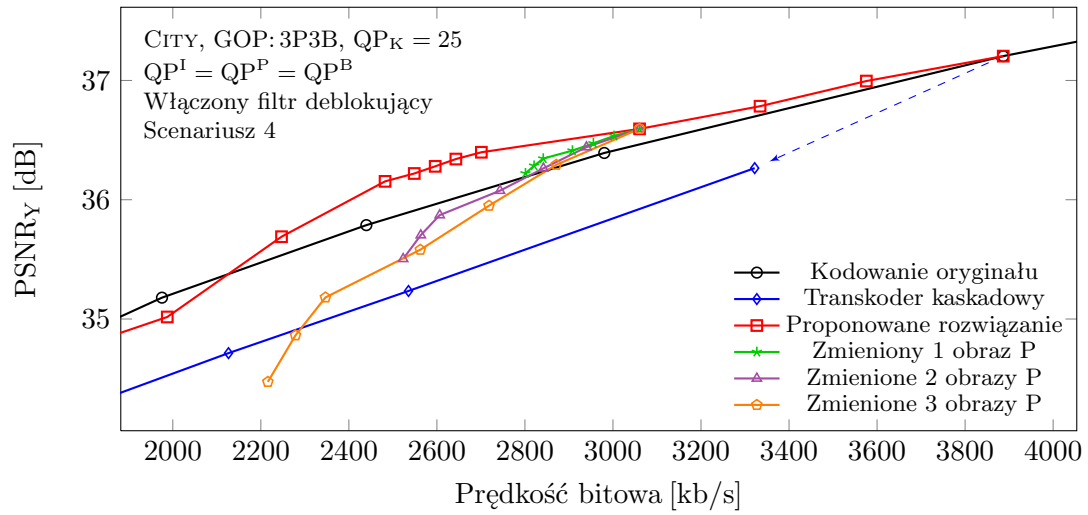
Spośród otrzymanych wyników badań zostały wybrane i przedstawione poniżej reprezentatywne wyniki uzyskane dla następujących przypadków:

- GOP: 3P3B, $QP^I = QP^P = QP^B$, włączony filtr deblokujący:
 - sekwencja CITY — strona D-98,
 - sekwencja CREW — strona D-112,
 - sekwencja HARBOUR — strona D-126,
 - sekwencja SOCCER — strona D-129,
- GOP: 3P3B, $QP^I = QP^P = QP^B - 2$, włączony filtr deblokujący:
 - sekwencja CITY — strona D-132,
 - sekwencja CREW — strona D-133,
 - sekwencja HARBOUR — strona D-134,
 - sekwencja SOCCER — strona D-135,
- GOP: 3P3B, $QP^I = QP^P = QP^B - 2$, wyłączony filtr deblokujący:
 - sekwencja CITY — strona D-136,
 - sekwencja CREW — strona D-137,
 - sekwencja HARBOUR — strona D-138,
 - sekwencja SOCCER — strona D-139,
- GOP: 4P2B, $QP^I = QP^P = QP^B$, włączony filtr deblokujący:
 - sekwencja CITY — strona D-140,
 - sekwencja CREW — strona D-141,
 - sekwencja HARBOUR — strona D-142,
 - sekwencja SOCCER — strona D-143,
- GOP: 4P2B, $QP^I = QP^P = QP^B$, wyłączony filtr deblokujący:
 - sekwencja CITY — strona D-144,
 - sekwencja CREW — strona D-145,
 - sekwencja HARBOUR — strona D-146,
 - sekwencja SOCCER — strona D-147,
- GOP: 4P2B, $QP^I = QP^P = QP^B - 2$, włączony filtr deblokujący:
 - sekwencja CITY — strona D-148,
 - sekwencja CREW — strona D-149,
 - sekwencja HARBOUR — strona D-150,
 - sekwencja SOCCER — strona D-151,
- GOP: 4P2B, $QP^I = QP^P = QP^B - 2$, wyłączony filtr deblokujący:
 - sekwencja CITY — strona D-152,
 - sekwencja CREW — strona D-153,
 - sekwencja HARBOUR — strona D-154,
 - sekwencja SOCCER — strona D-155,
- GOP: 4P2B, $QP^I + 2 = QP^P = QP^B - 2$, włączony filtr deblokujący:
 - sekwencja CITY — strona D-156,
 - sekwencja CREW — strona D-157,
 - sekwencja HARBOUR — strona D-158,

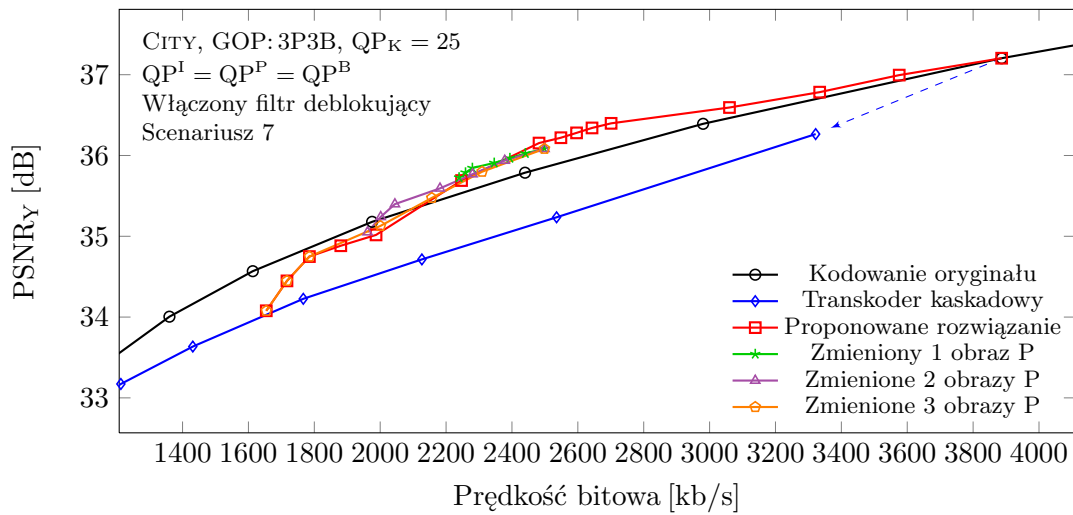
- sekwencja SOCCER — strona D-159,
- GOP: 4P2B, $QP^I = QP^P = QP^B - 6$, włączony filtr deblokujący:
 - sekwencja CITY — strona D-160,
 - sekwencja CREW — strona D-161,
 - sekwencja HARBOUR — strona D-162,
 - sekwencja SOCCER — strona D-163,
- GOP: 5P2B, $QP^I = QP^P = QP^B - 2$, włączony filtr deblokujący:
 - sekwencja CITY — strona D-164,
 - sekwencja CREW — strona D-165,
 - sekwencja HARBOUR — strona D-166,
 - sekwencja SOCCER — strona D-167,
- GOP: 5P2B, $QP^I = QP^P = QP^B - 6$, włączony filtr deblokujący:
 - sekwencja CITY — strona D-168,
 - sekwencja CREW — strona D-169,
 - sekwencja HARBOUR — strona D-170,
 - sekwencja SOCCER — strona D-171.



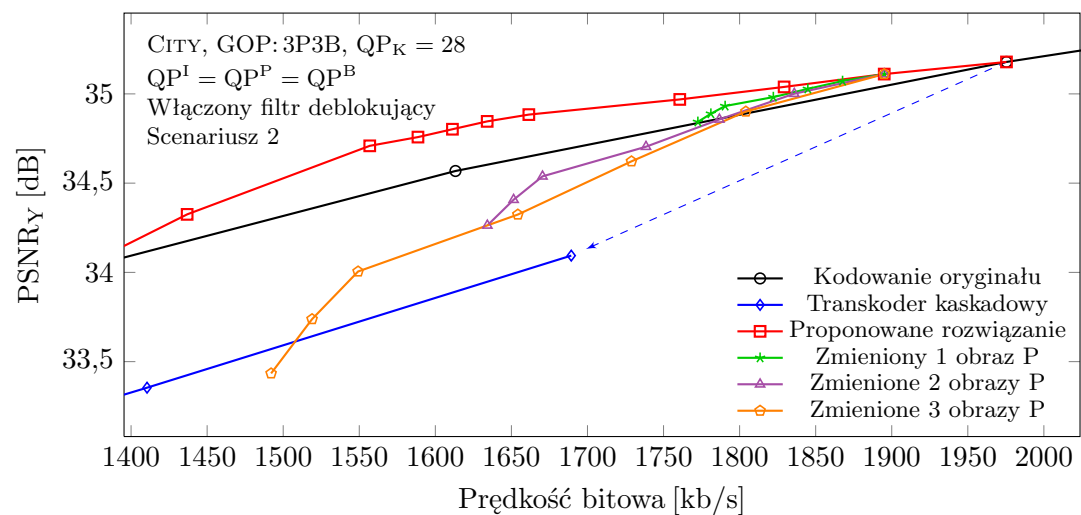
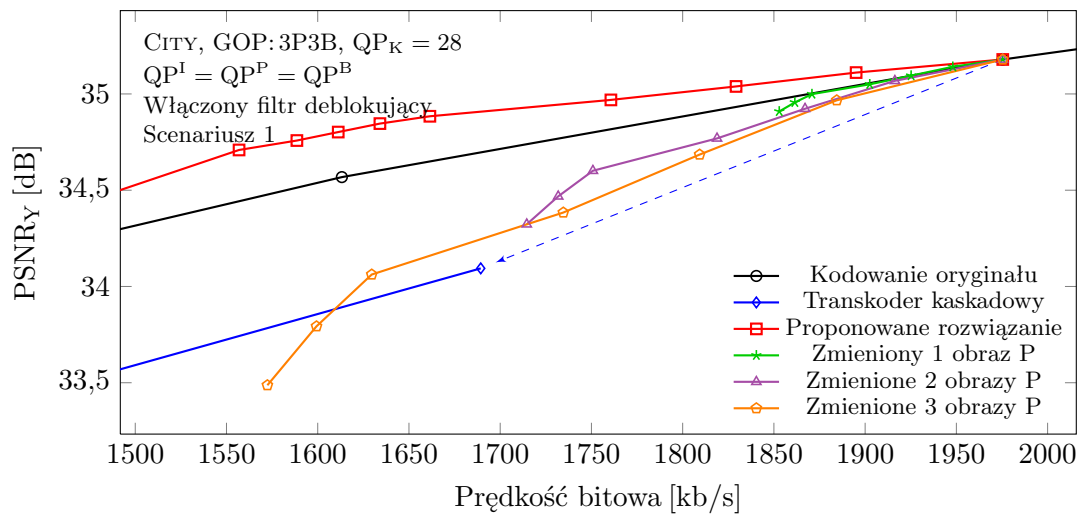
Rysunek D.1: Strata jakości spowodowana modyfikacją próbek transformaty w obrazach typu P. Brak makrobloków Intra w obrazach P i B



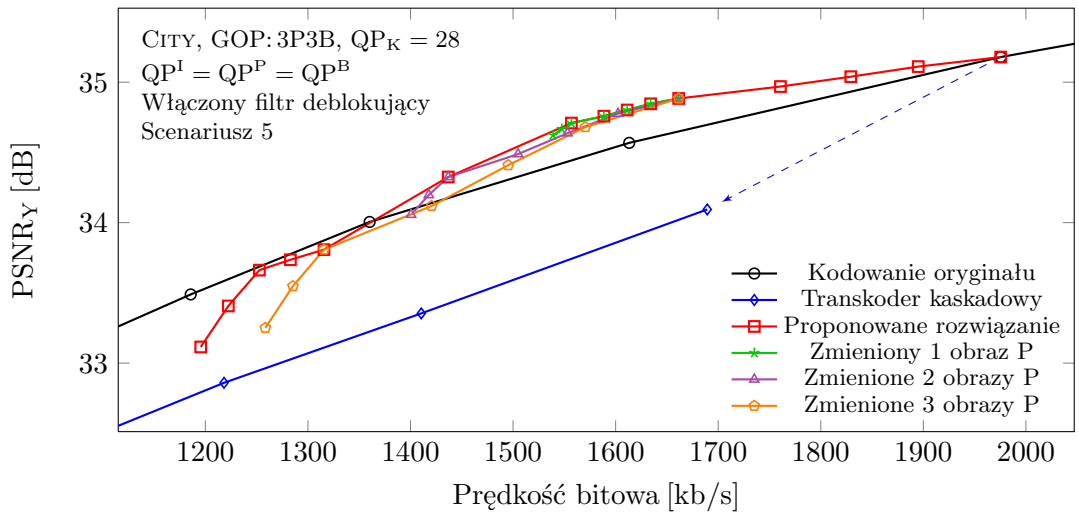
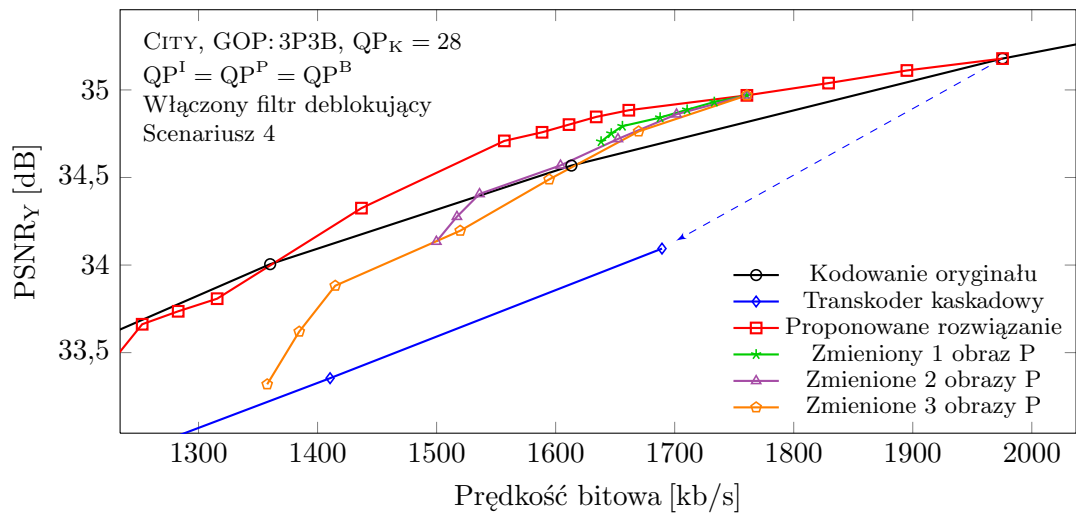
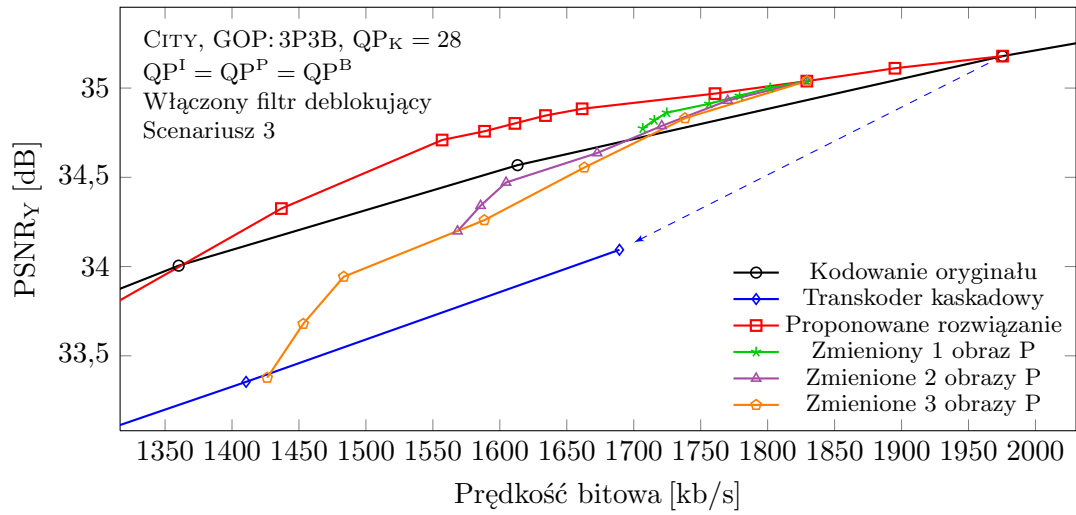
Rysunek D.1: (Kontynuacja) Strata jakości spowodowana modyfikacją próbek transformaty w obrazach typu P. Brak makrobloków Intra w obrazach P i B



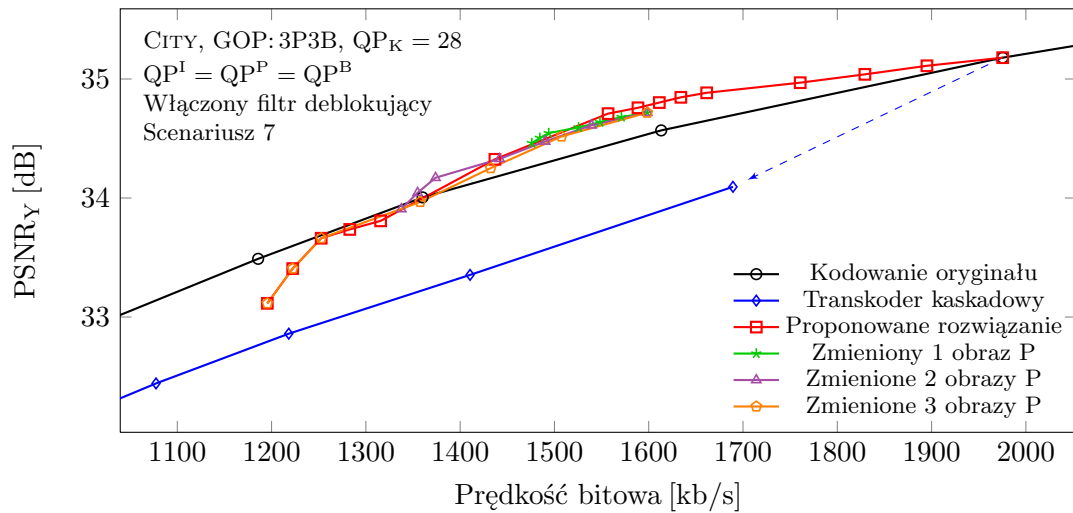
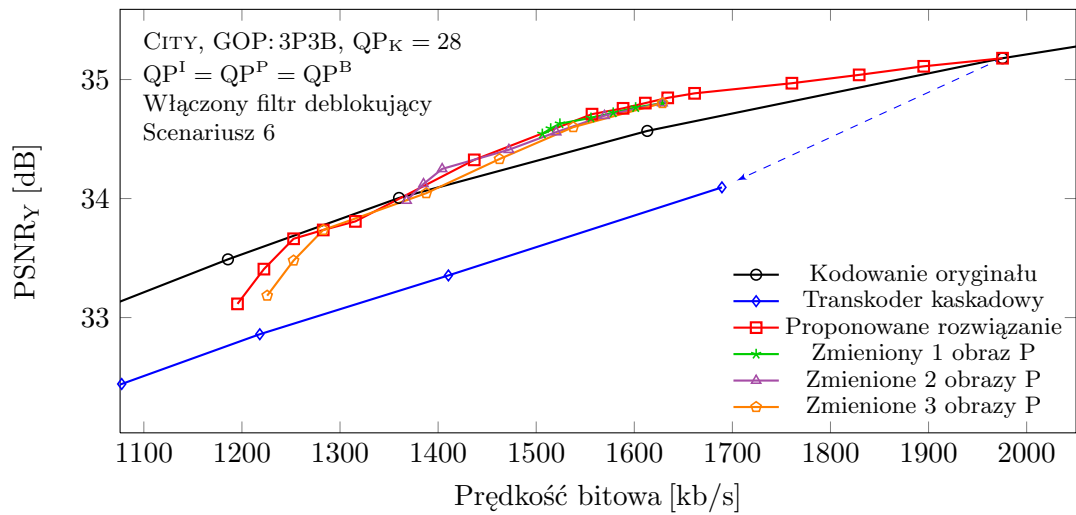
Rysunek D.1: (Kontynuacja) Strata jakości spowodowana modyfikacją próbek transformaty w obrazach typu P. Brak makrobloków Intra w obrazach P i B



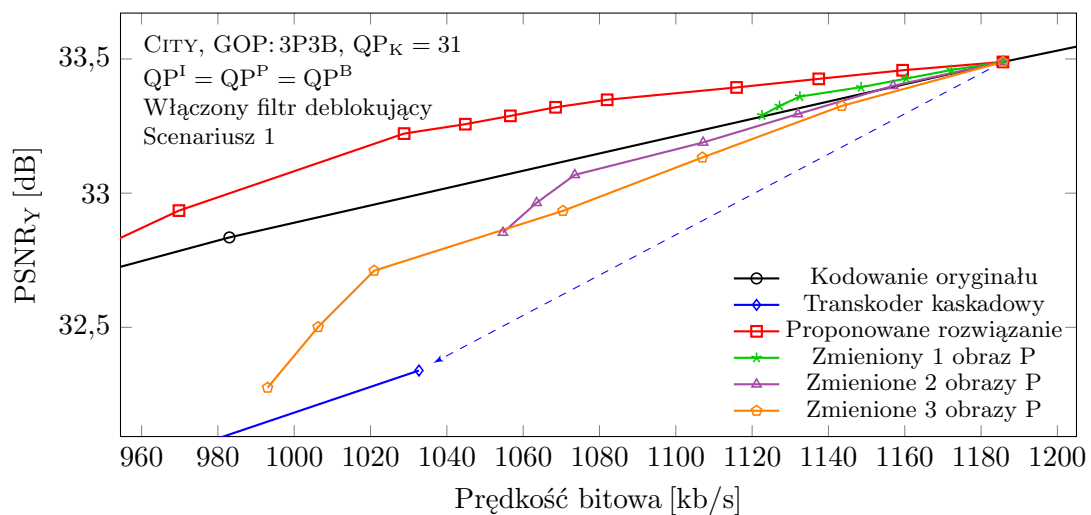
Rysunek D.2: Strata jakości spowodowana modyfikacją próbek transformaty w obrazach typu P. Brak makrobloków Intra w obrazach P i B



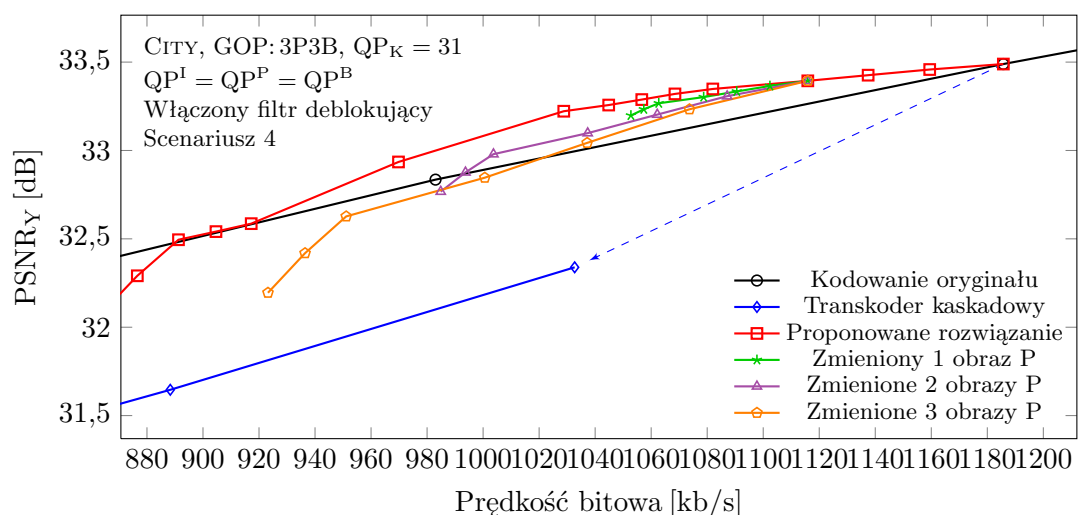
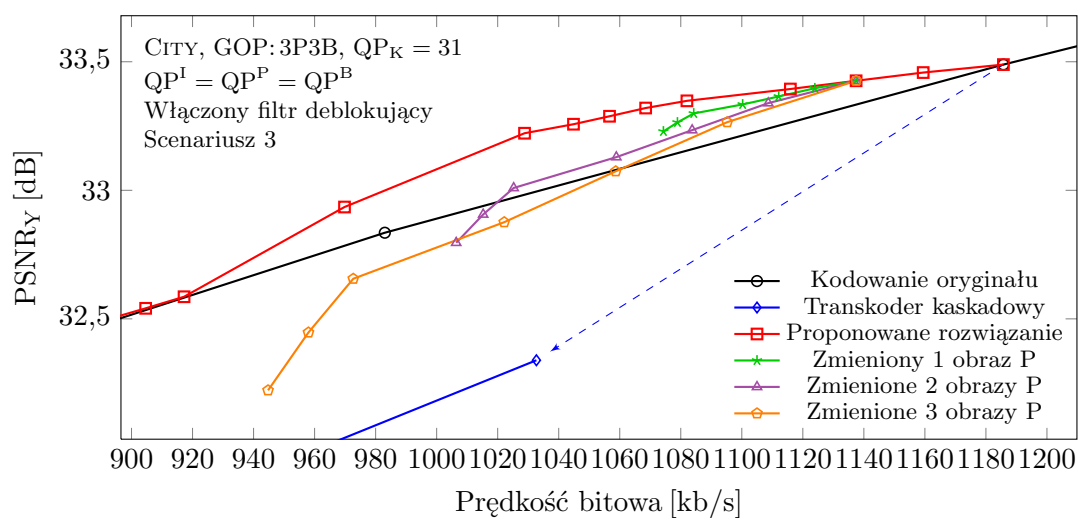
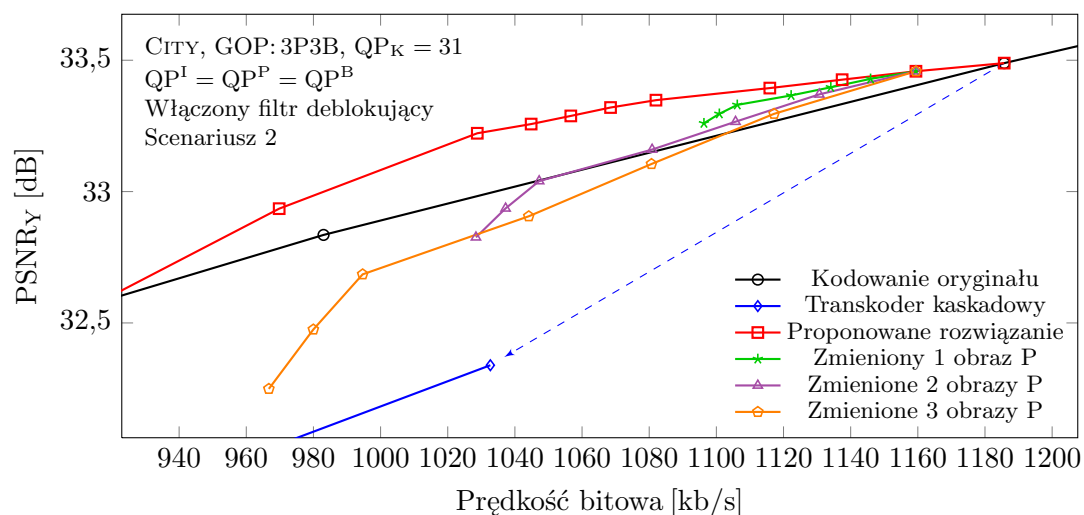
Rysunek D.2: (Kontynuacja) Strata jakości spowodowana modyfikacją próbek transformaty w obrazach typu P. Brak makrobloków Intra w obrazach P i B



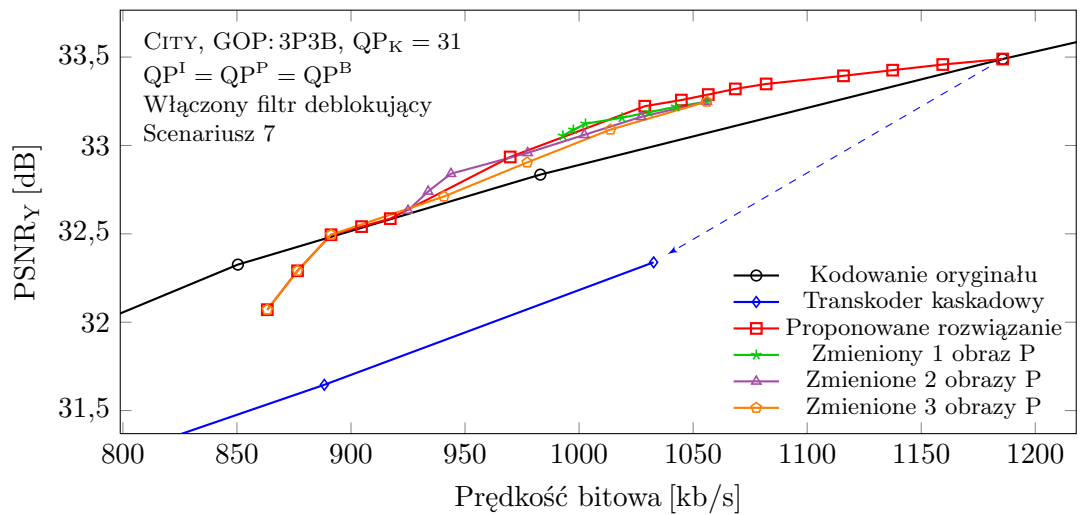
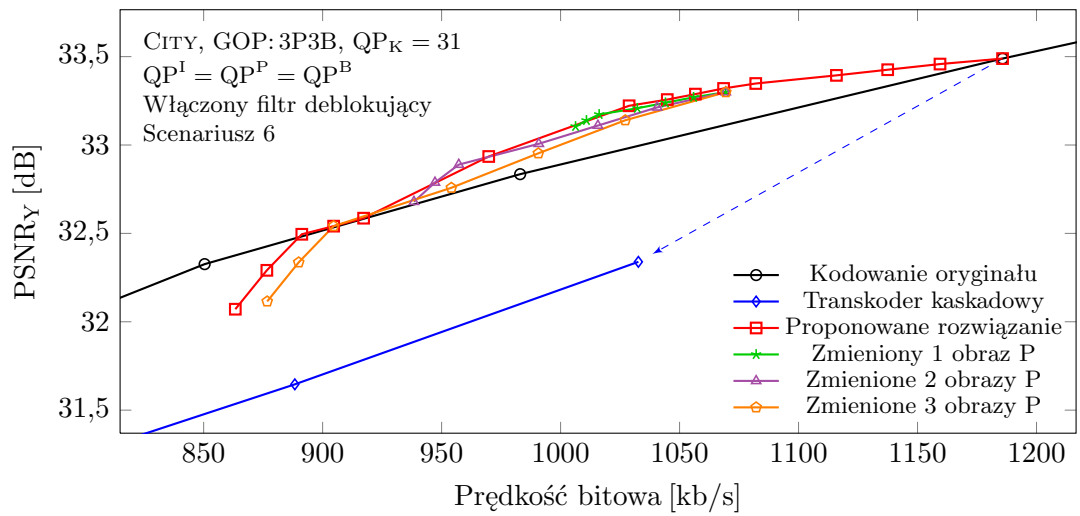
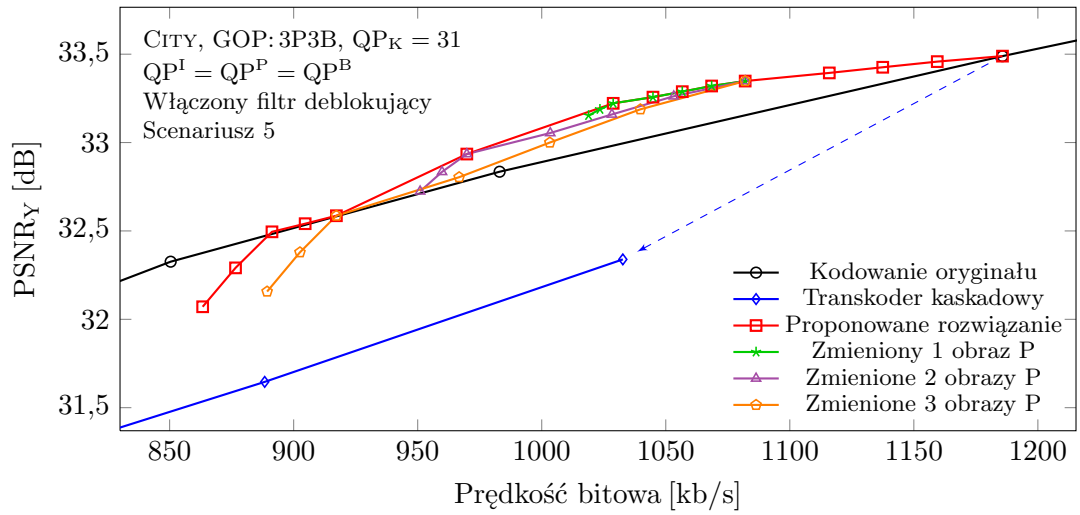
Rysunek D.2: (Kontynuacja) Strata jakości spowodowana modyfikacją próbek transformaty w obrazach typu P. Brak makrobloków Intra w obrazach P i B



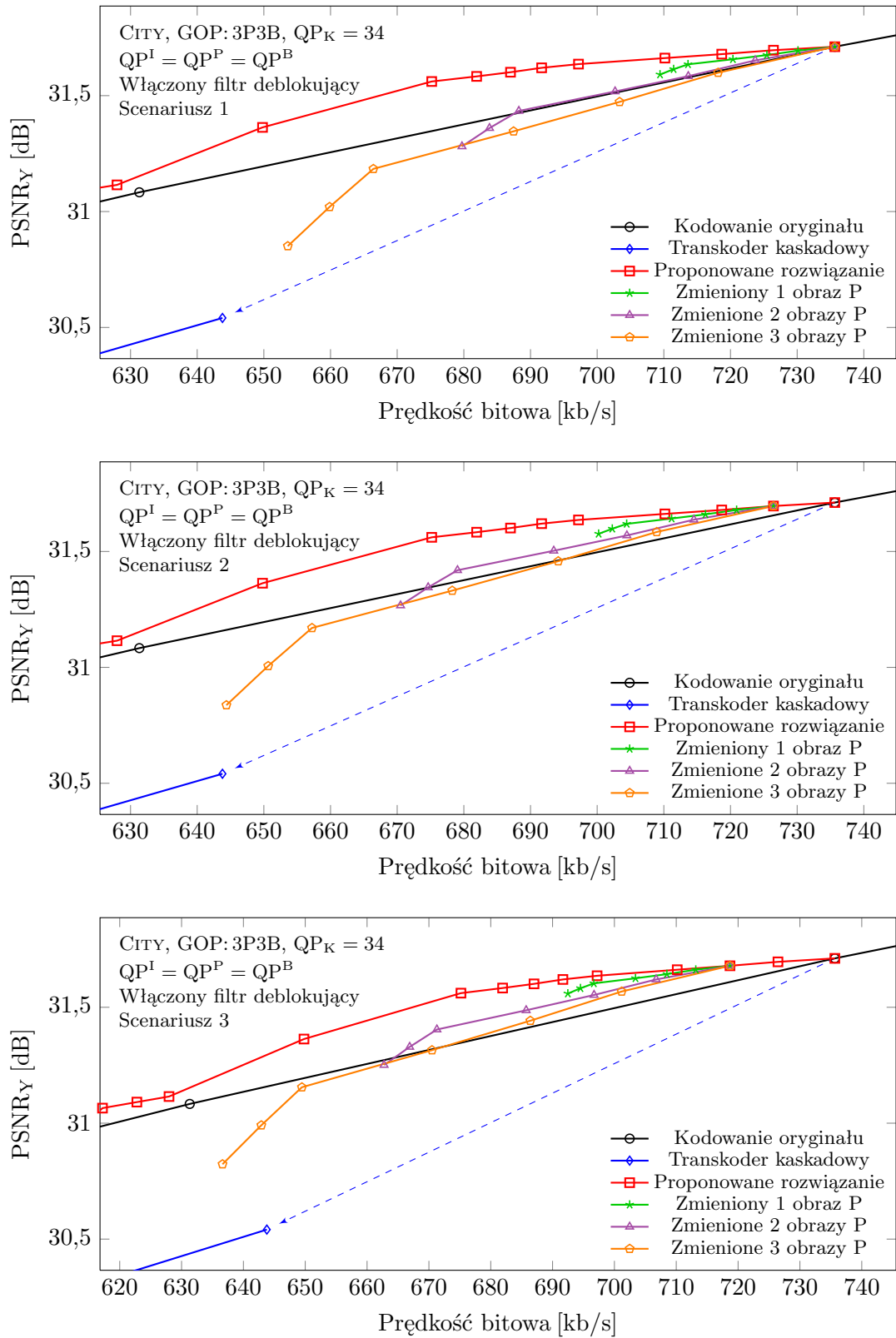
Rysunek D.3: Strata jakości spowodowana modyfikacją próbek transformaty w obrazach typu P. Brak makrobloków Intra w obrazach P i B



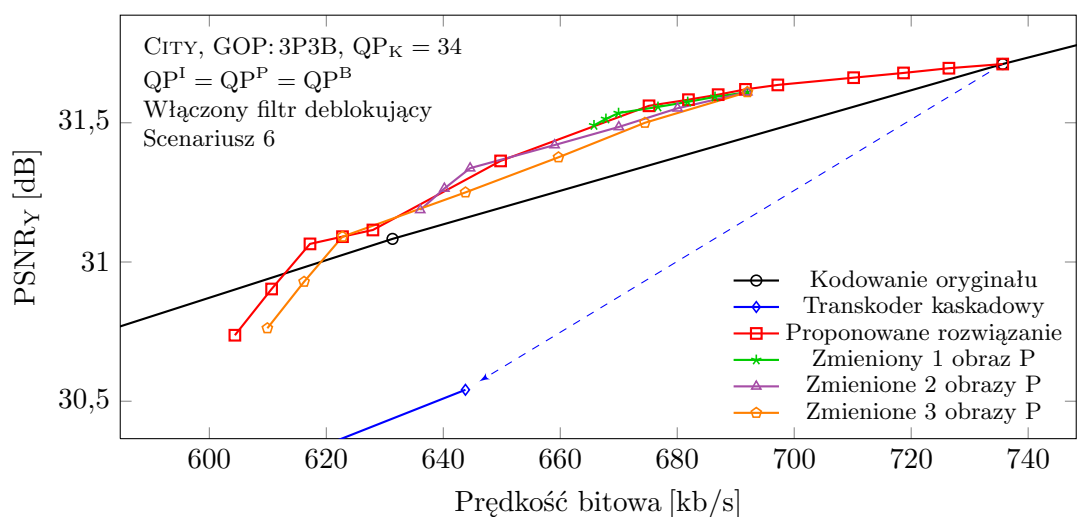
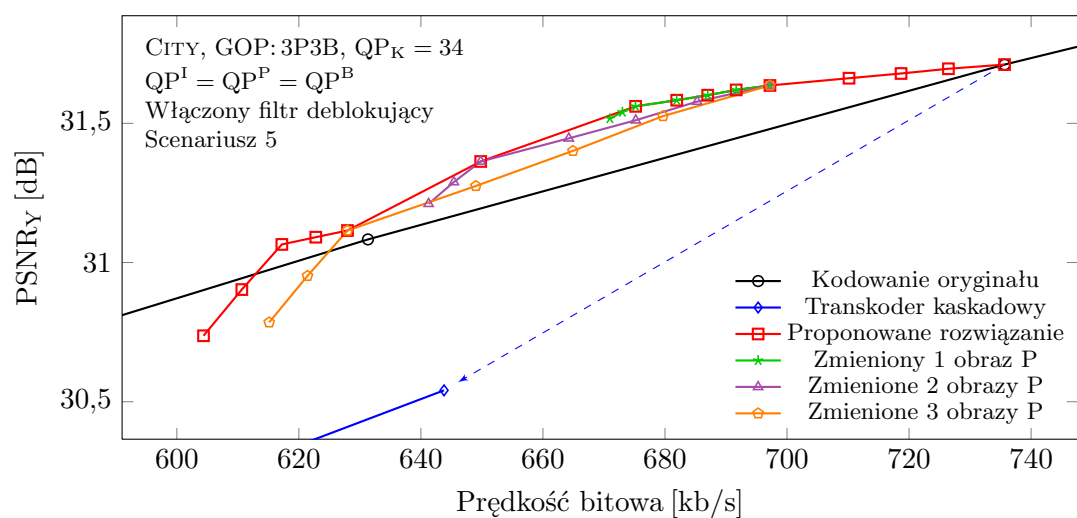
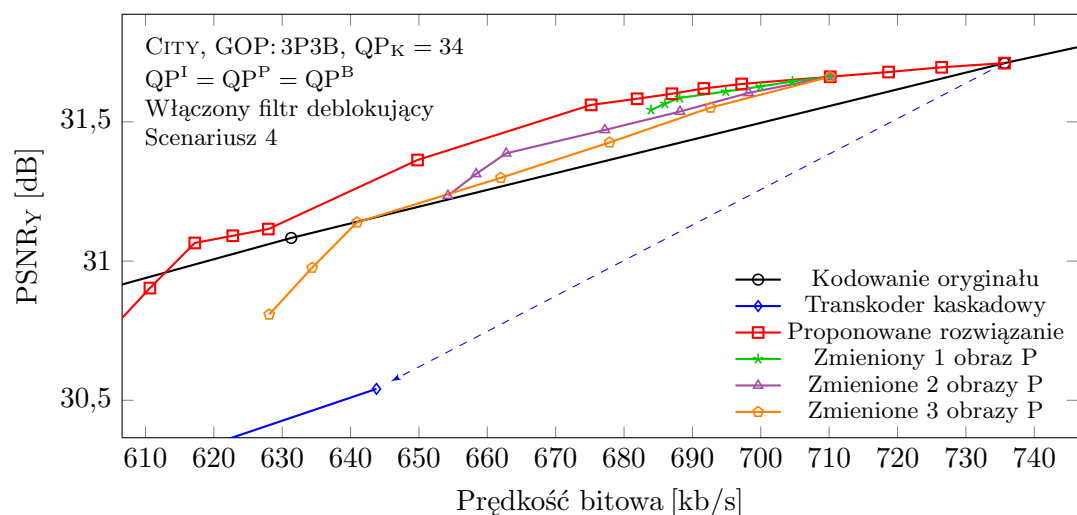
Rysunek D.3: (Kontynuacja) Strata jakości spowodowana modyfikacją próbek transformaty w obrazach typu P. Brak makrobloków Intra w obrazach P i B



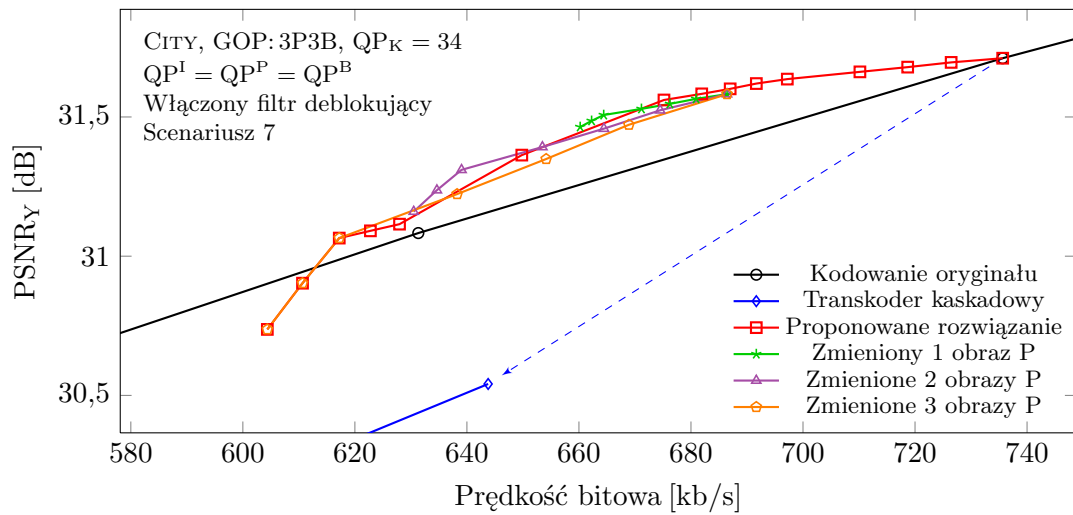
Rysunek D.3: (Kontynuacja) Strata jakości spowodowana modyfikacją próbek transformaty w obrazach typu P. Brak makrobloków Intra w obrazach P i B



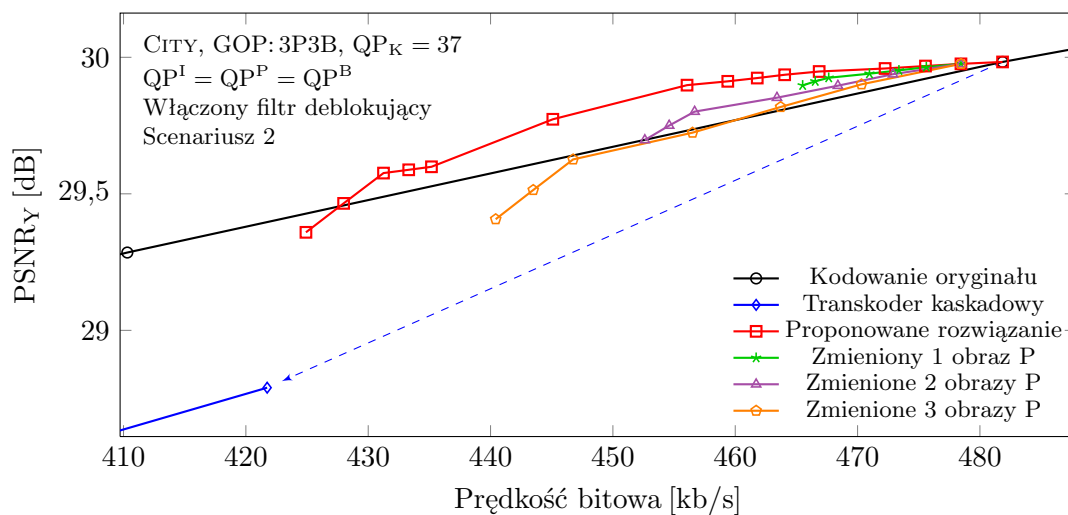
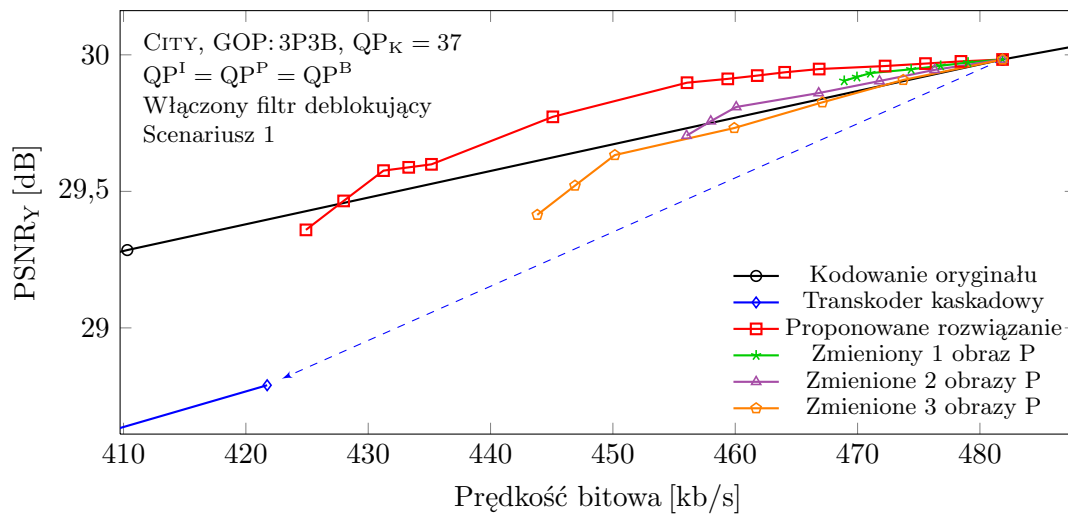
Rysunek D.4: Strata jakości spowodowana modyfikacją próbek transformaty w obrazach typu P. Brak makrobloków Intra w obrazach P i B



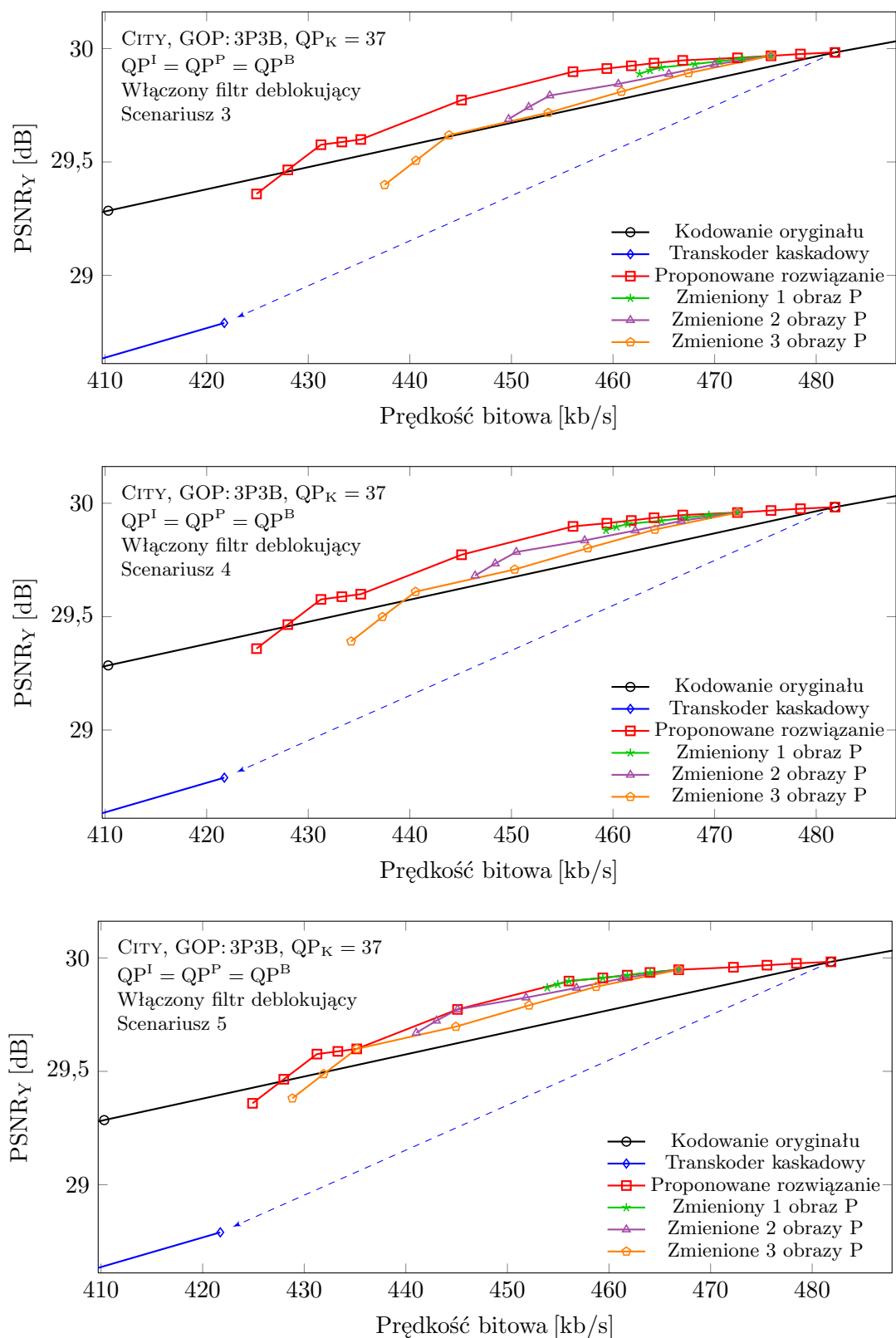
Rysunek D.4: (Kontynuacja) Strata jakości spowodowana modyfikacją próbek transformaty w obrazach typu P. Brak makrobloków Intra w obrazach P i B



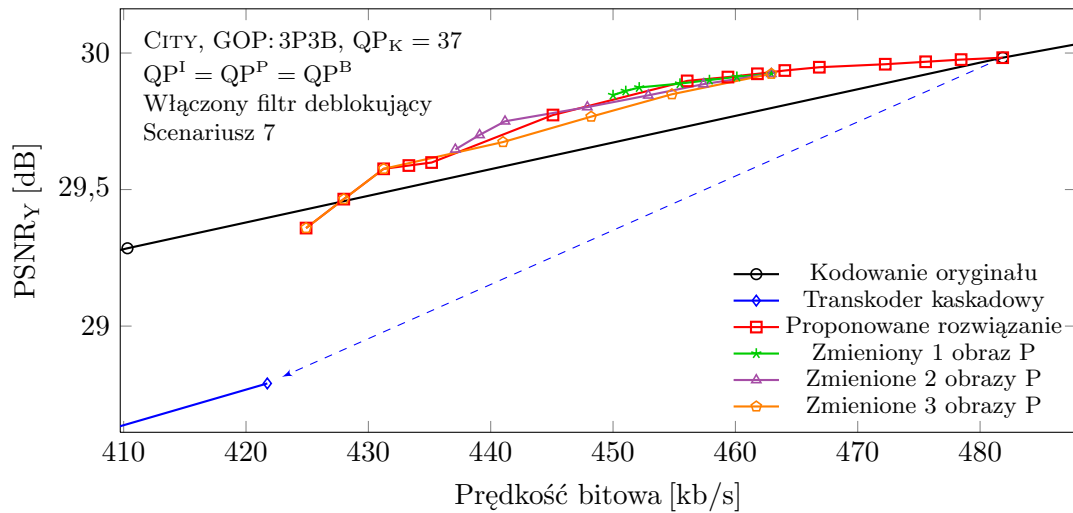
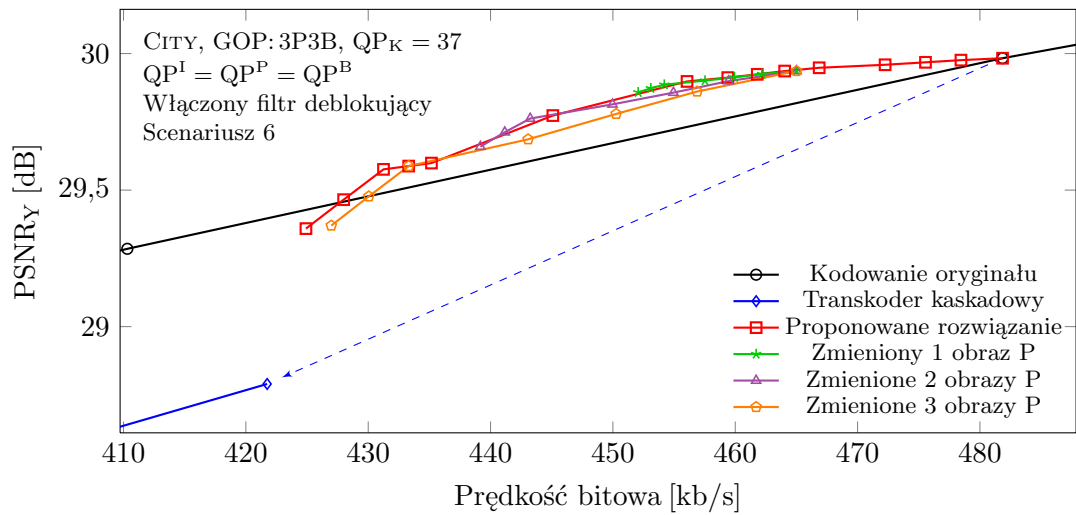
Rysunek D.4: (Kontynuacja) Strata jakości spowodowana modyfikacją próbek transformaty w obrazach typu P. Brak makrobloków Intra w obrazach P i B



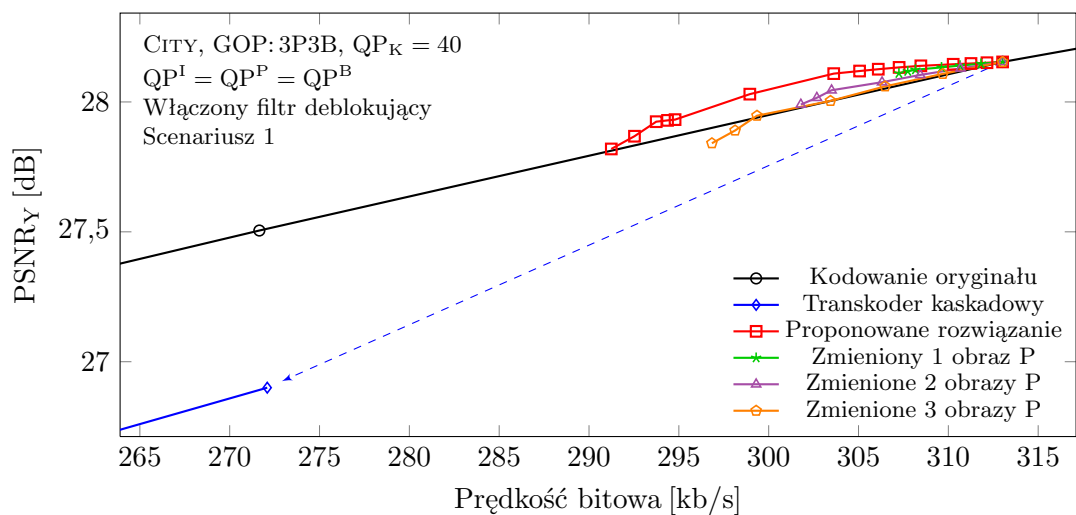
Rysunek D.5: Strata jakości spowodowana modyfikacją próbek transformaty w obrazach typu P. Brak makrobloków Intra w obrazach P i B



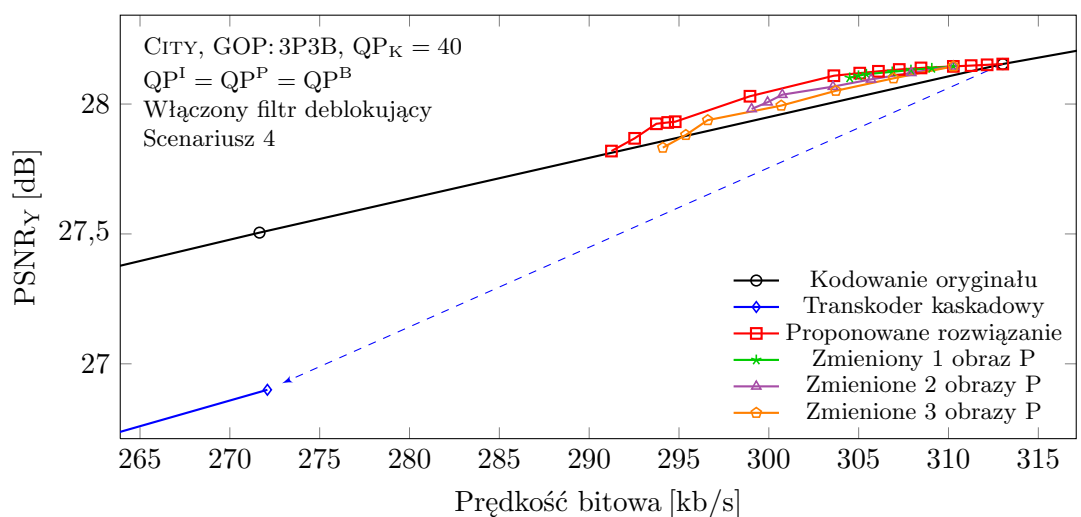
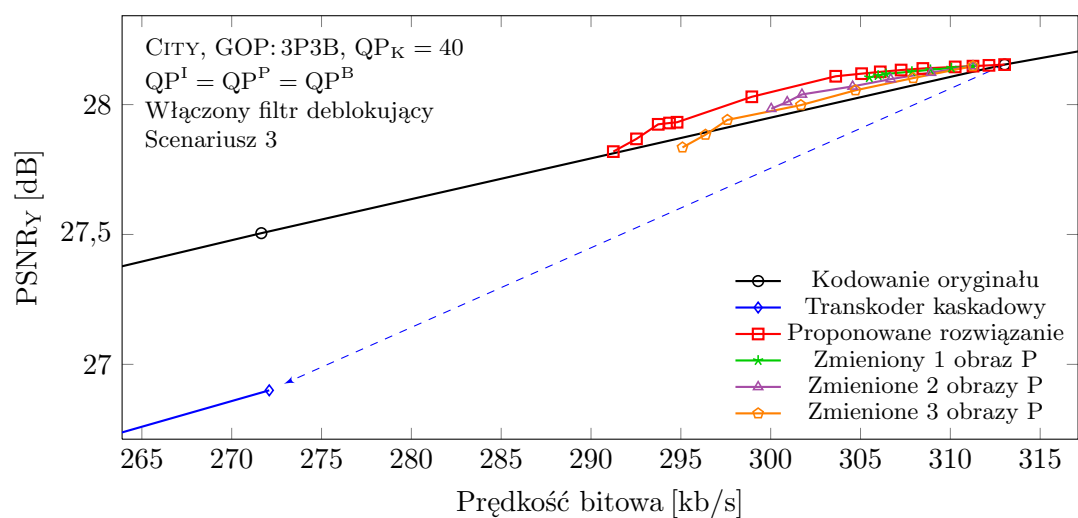
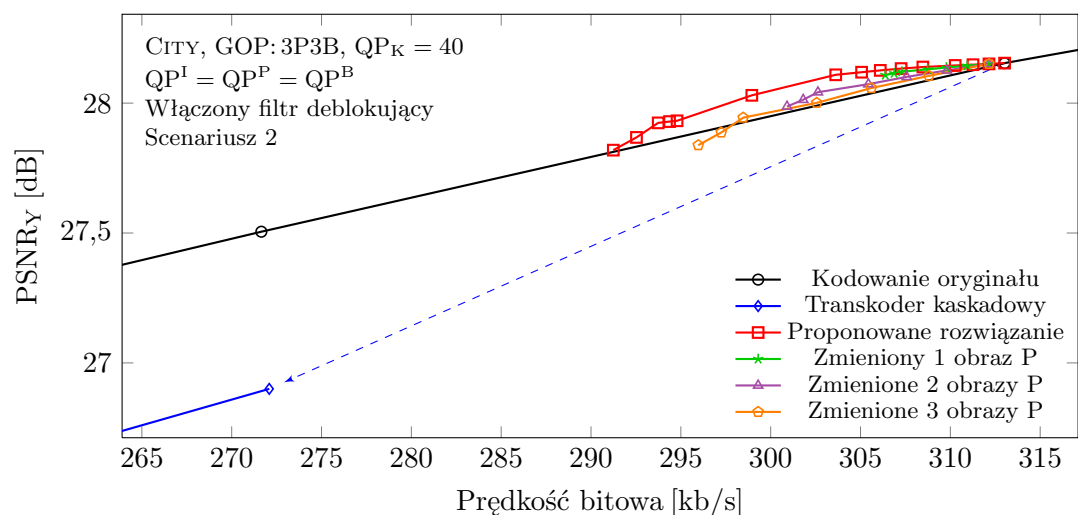
Rysunek D.5: (Kontynuacja) Strata jakości spowodowana modyfikacją próbek transformaty w obrazach typu P. Brak makrobloków Intra w obrazach P i B



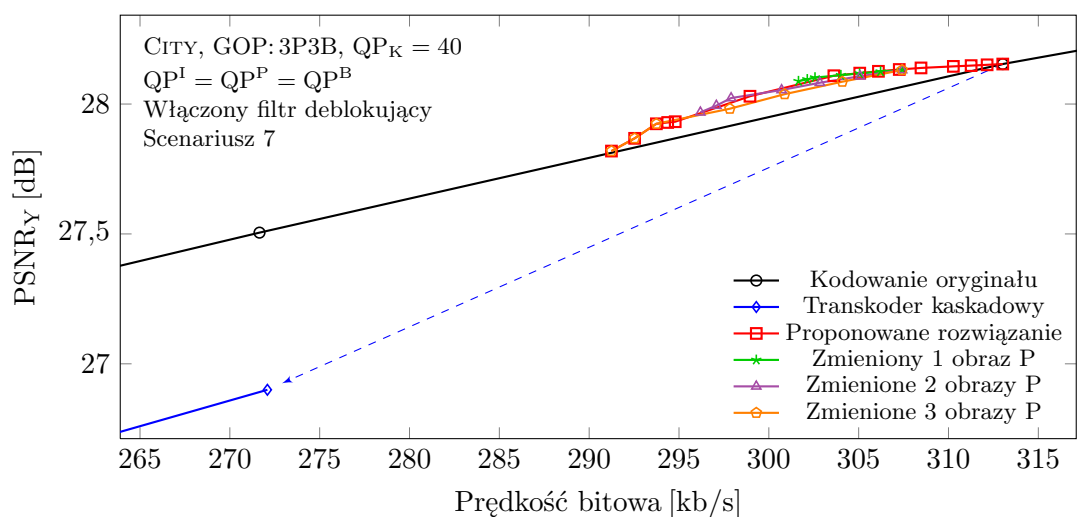
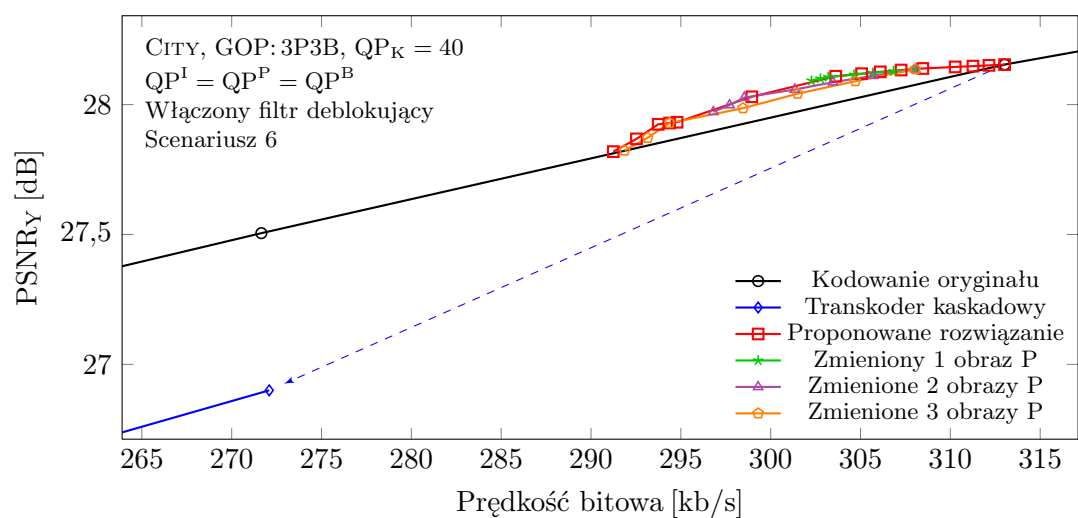
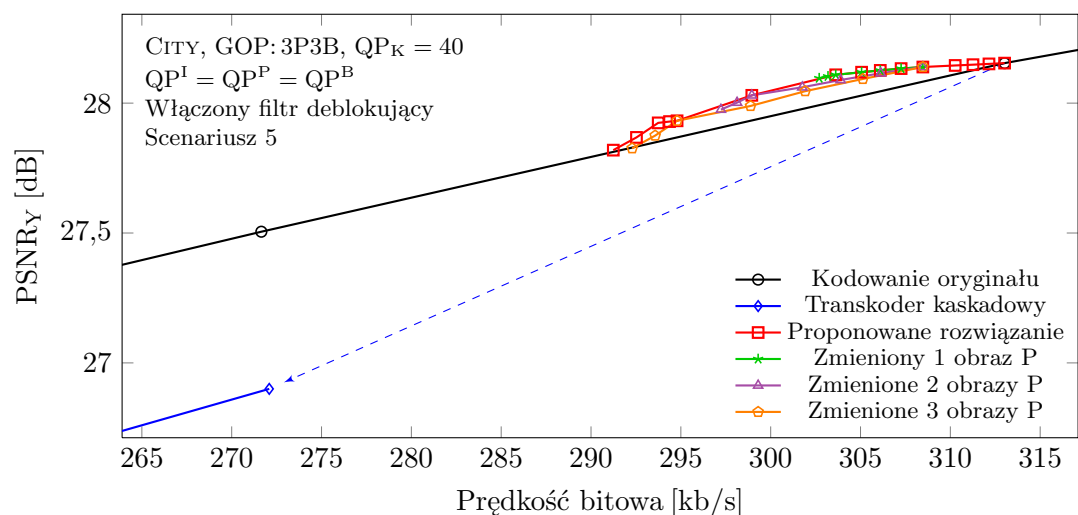
Rysunek D.5: (Kontynuacja) Strata jakości spowodowana modyfikacją próbek transformaty w obrazach typu P. Brak makrobloków Intra w obrazach P i B



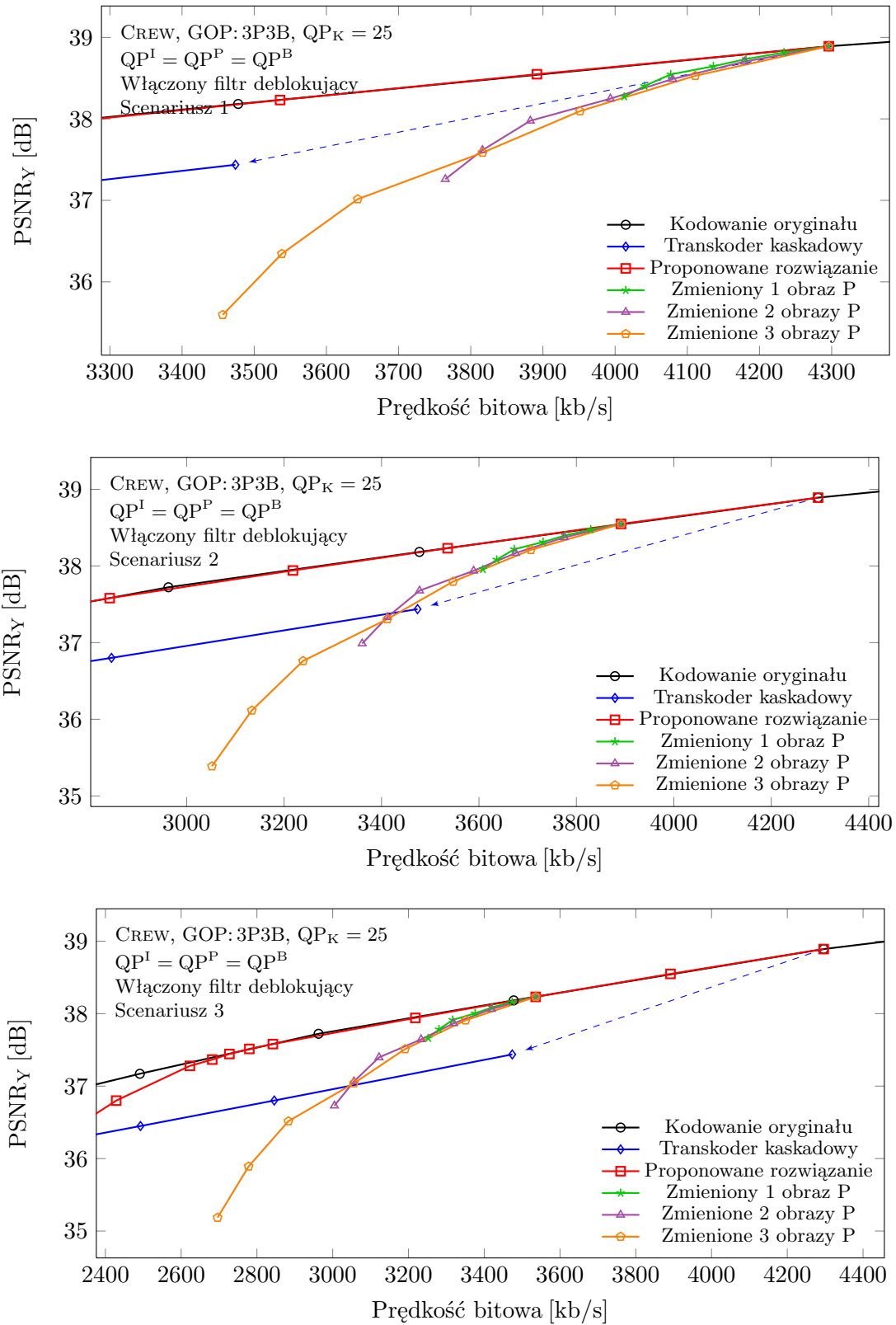
Rysunek D.6: Strata jakości spowodowana modyfikacją próbek transformaty w obrazach typu P. Brak makrobloków Intra w obrazach P i B



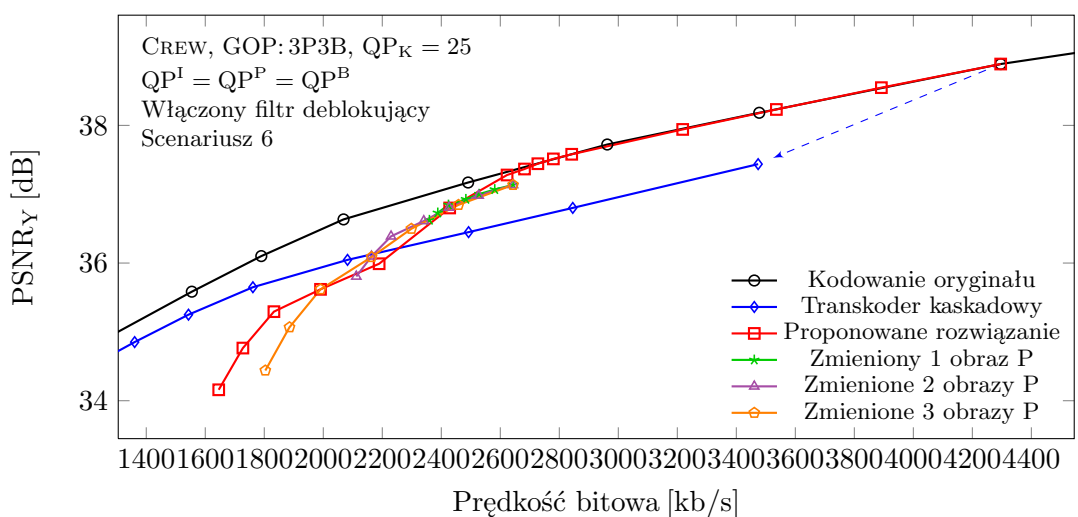
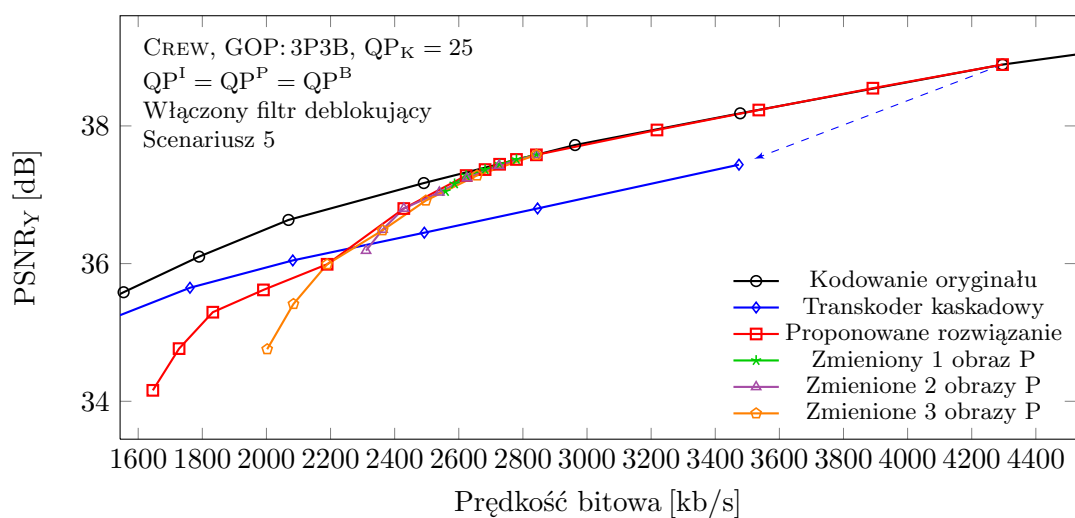
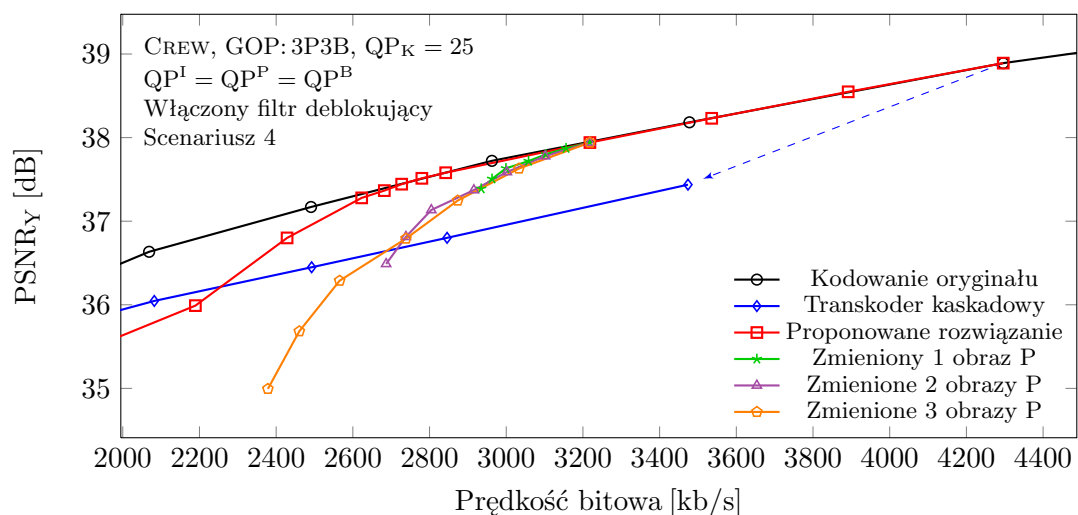
Rysunek D.6: (Kontynuacja) Strata jakości spowodowana modyfikacją próbek transformaty w obrazach typu P. Brak makrobloków Intra w obrazach P i B



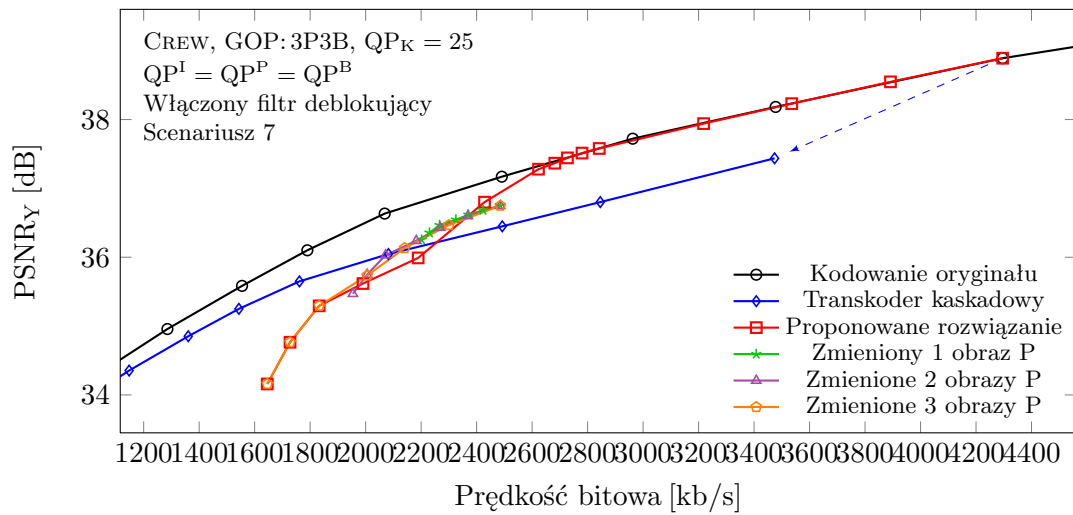
Rysunek D.6: (Kontynuacja) Strata jakości spowodowana modyfikacją próbek transformaty w obrazach typu P. Brak makrobloków Intra w obrazach P i B



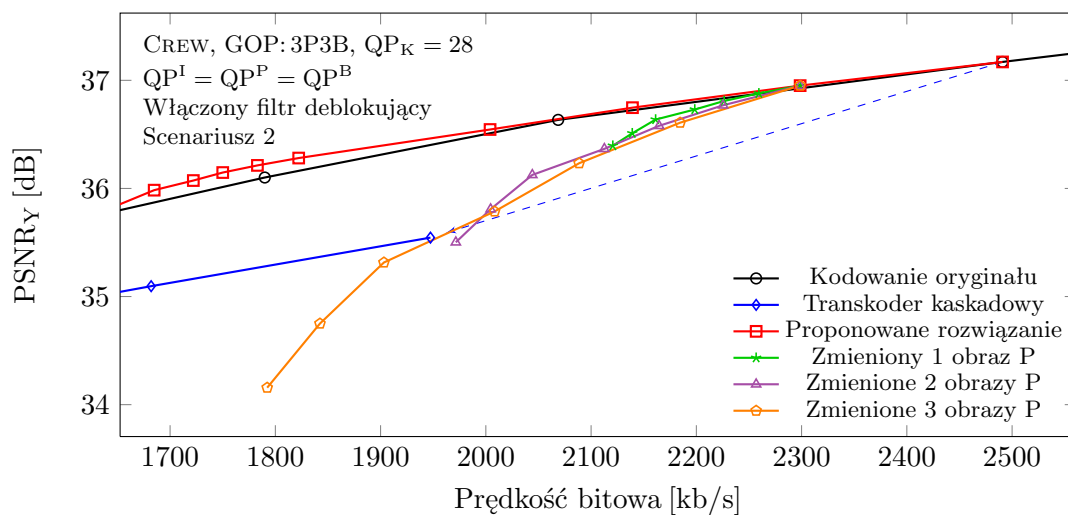
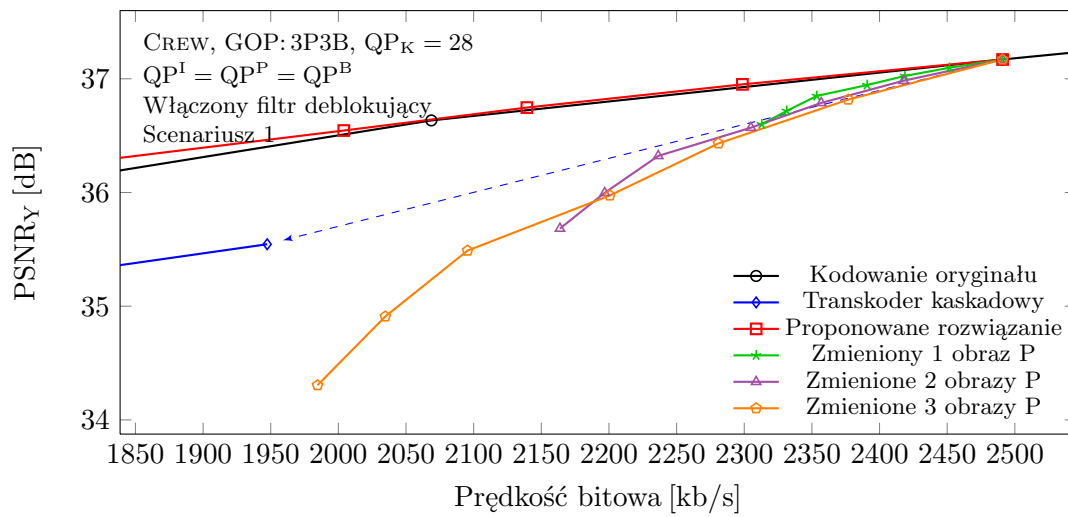
Rysunek D.7: Strata jakości spowodowana modyfikacją próbek transformaty w obrazach typu P. Brak makrobloków Intra w obrazach P i B



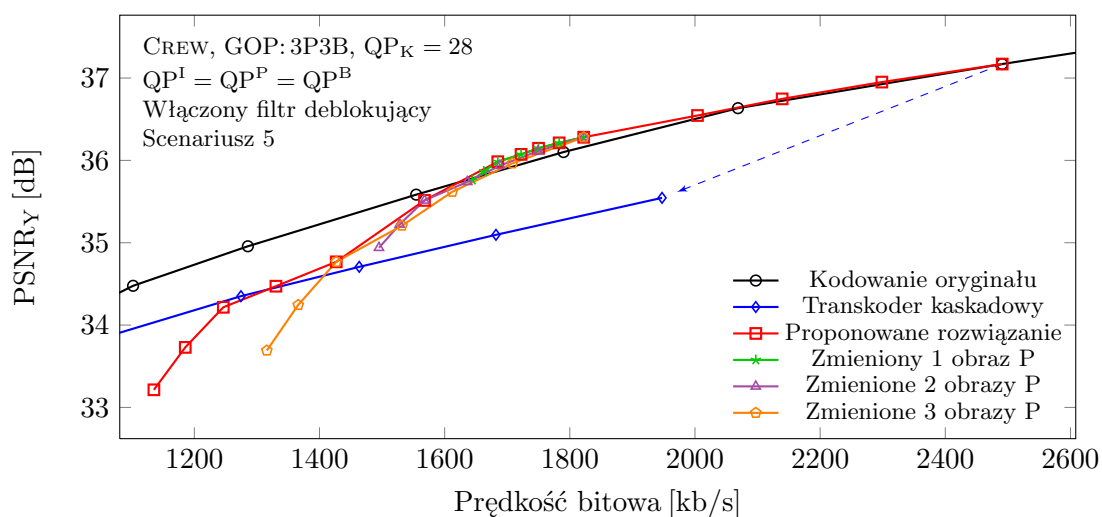
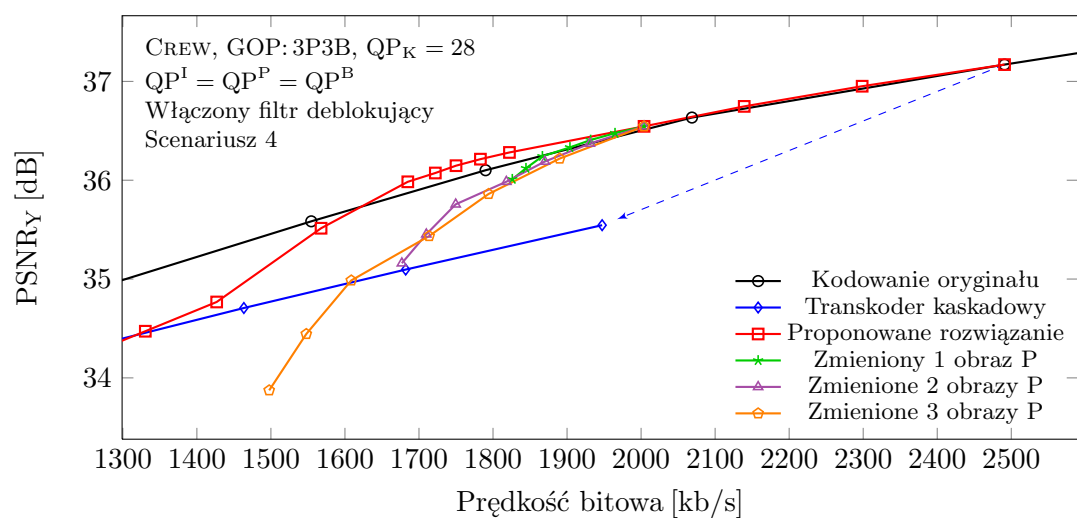
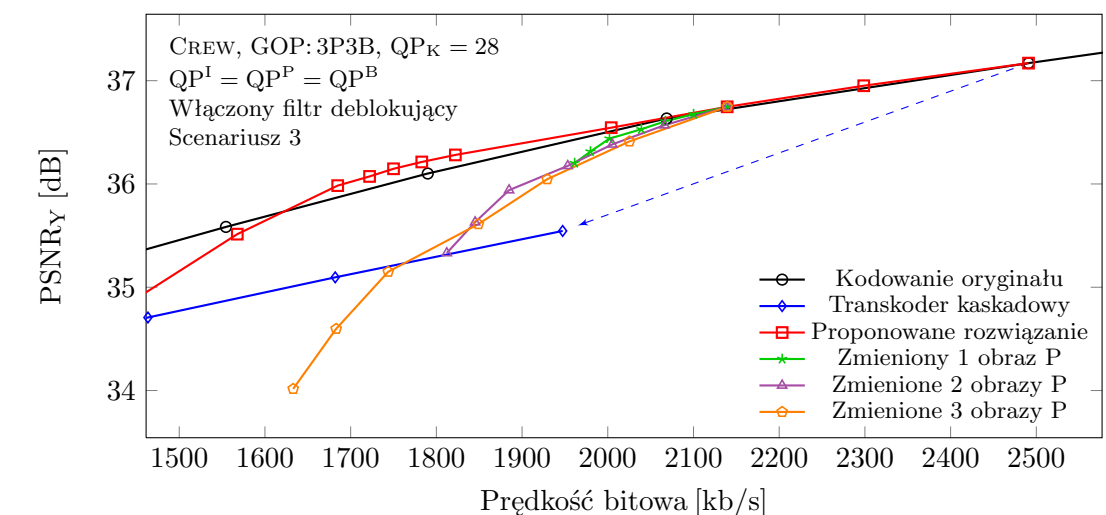
Rysunek D.7: (Kontynuacja) Strata jakości spowodowana modyfikacją próbek transformaty w obrazach typu P. Brak makrobloków Intra w obrazach P i B



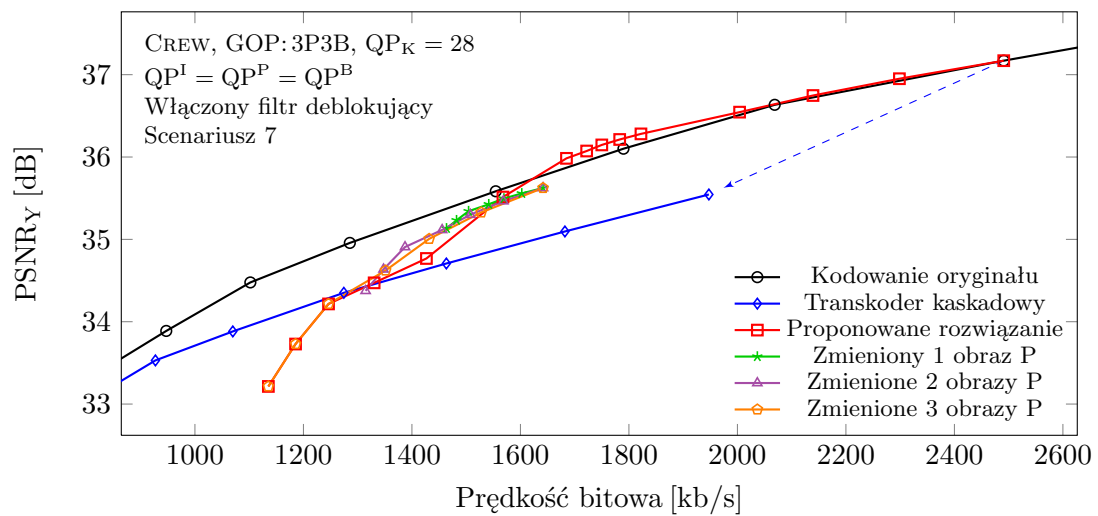
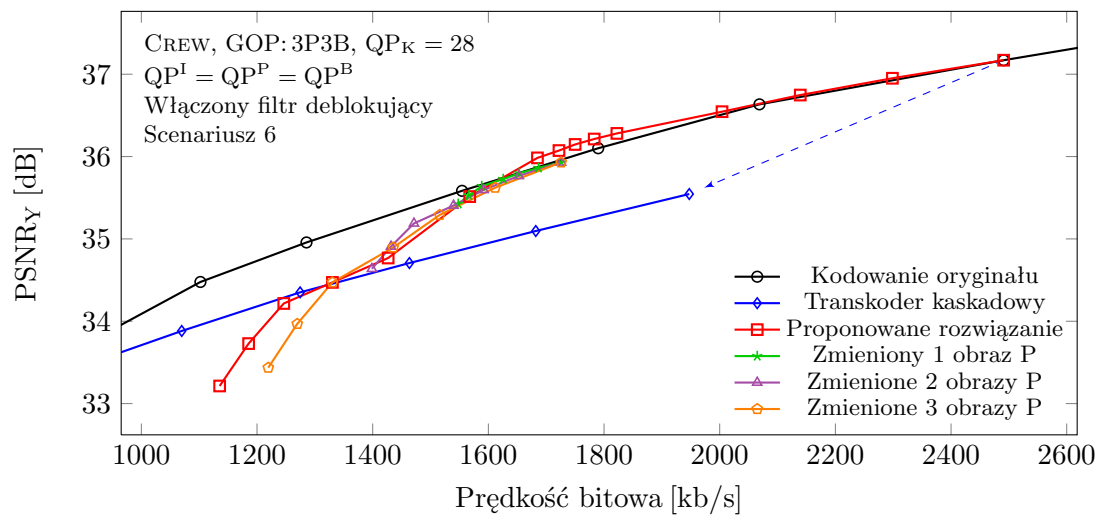
Rysunek D.7: (Kontynuacja) Strata jakości spowodowana modyfikacją próbek transformaty w obrazach typu P. Brak makrobloków Intra w obrazach P i B



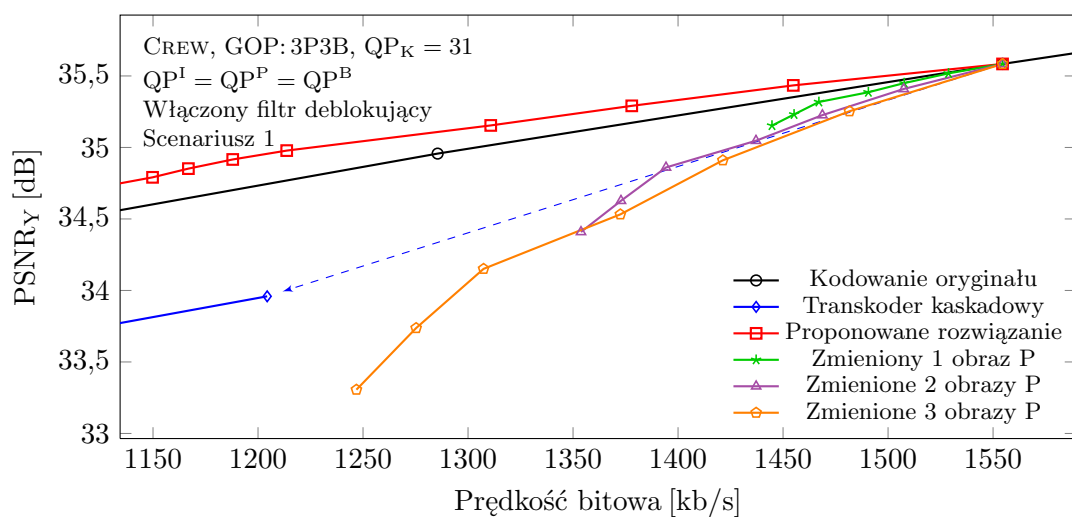
Rysunek D.8: Strata jakości spowodowana modyfikacją próbek transformaty w obrazach typu P. Brak makrobloków Intra w obrazach P i B



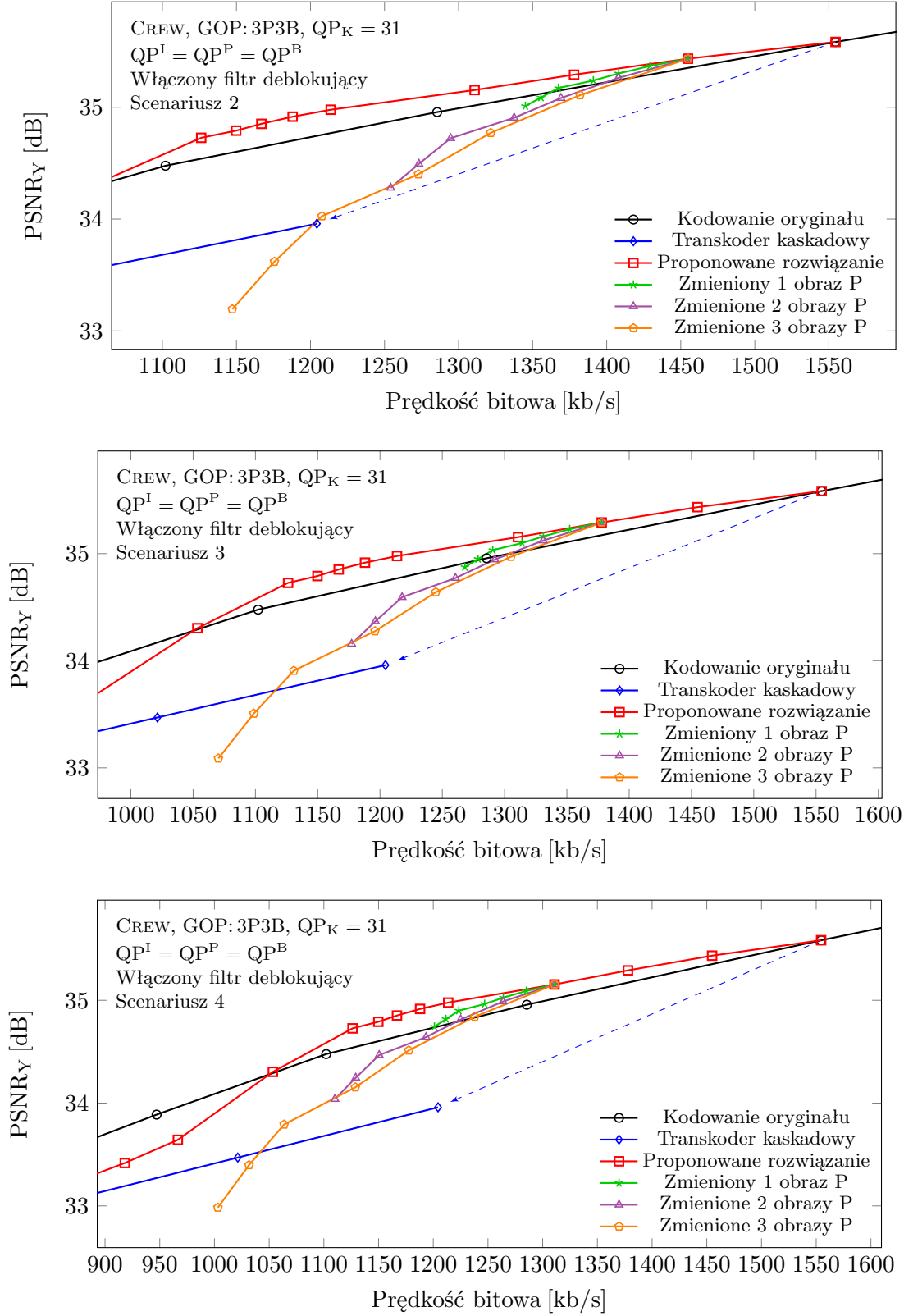
Rysunek D.8: (Kontynuacja) Strata jakości spowodowana modyfikacją próbek transformaty w obrazach typu P. Brak makrobloków Intra w obrazach P i B



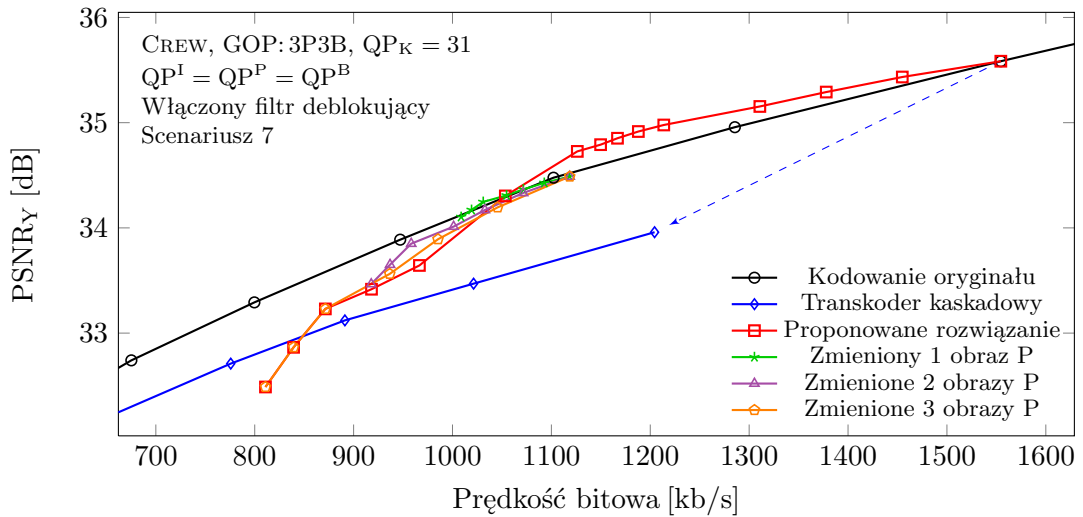
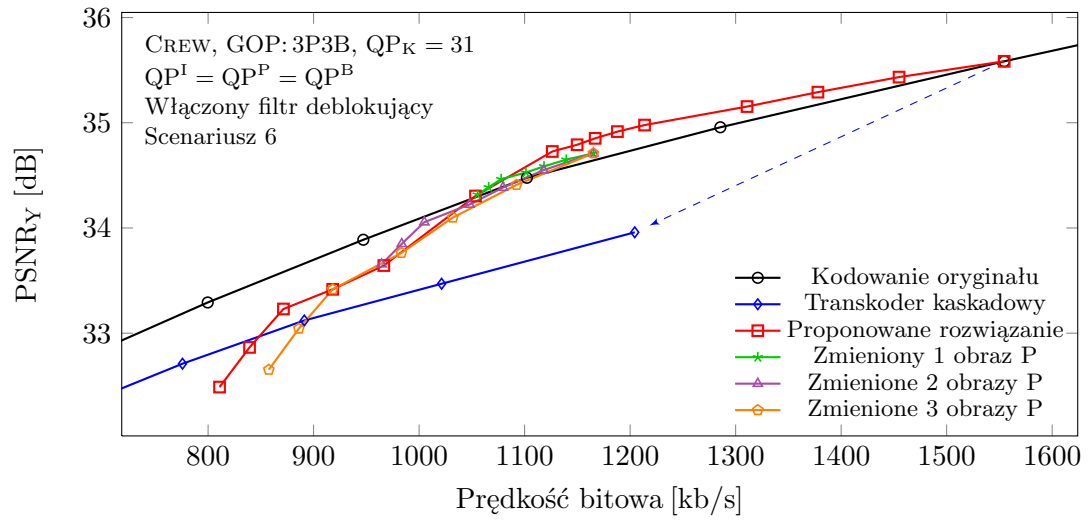
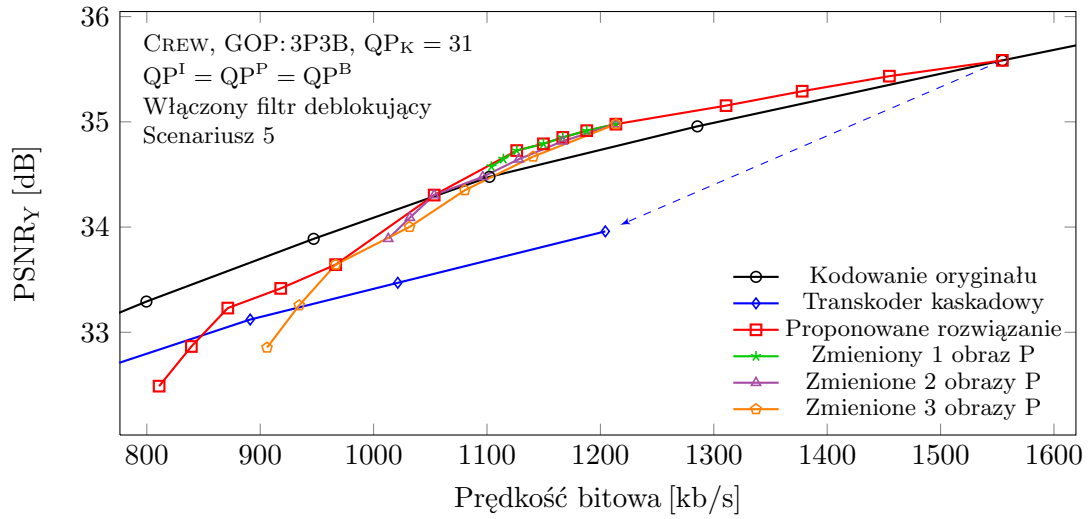
Rysunek D.8: (Kontynuacja) Strata jakości spowodowana modyfikacją próbek transformaty w obrazach typu P. Brak makrobloków Intra w obrazach P i B



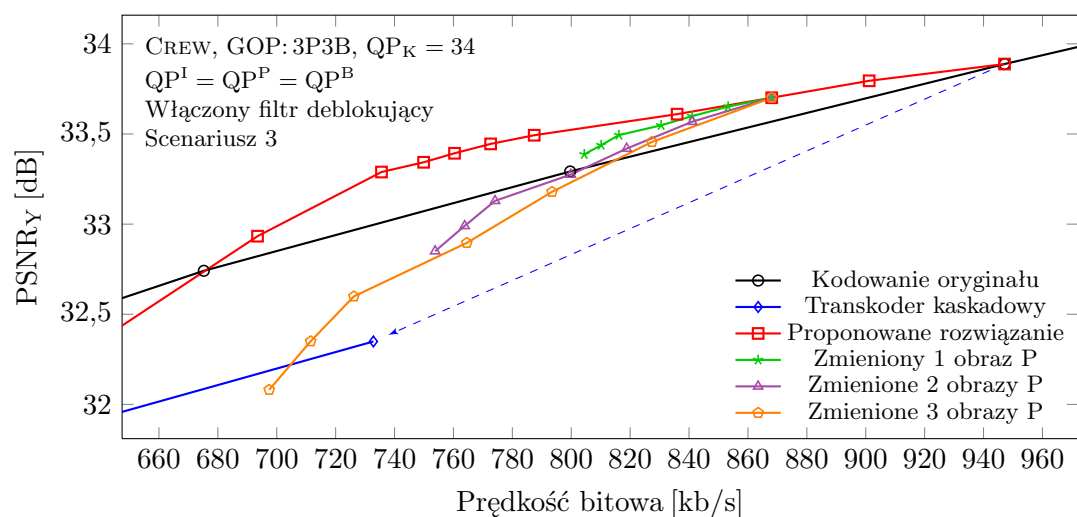
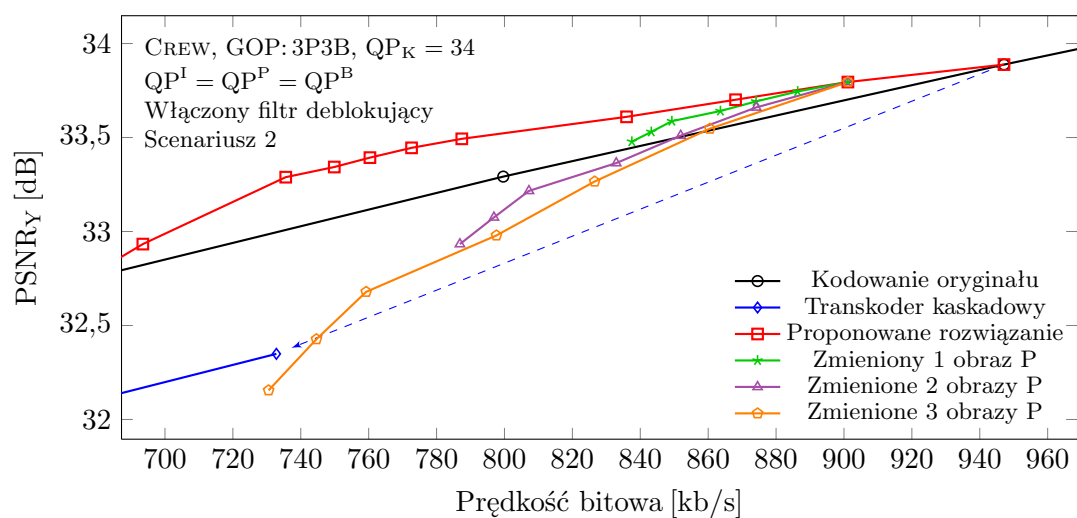
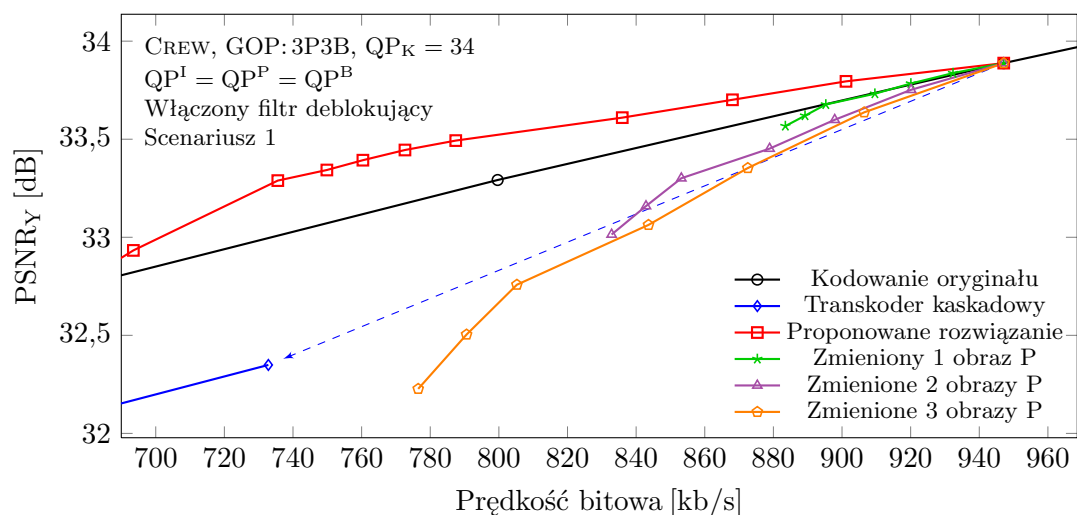
Rysunek D.9: Strata jakości spowodowana modyfikacją próbek transformaty w obrazach typu P. Brak makrobloków Intra w obrazach P i B



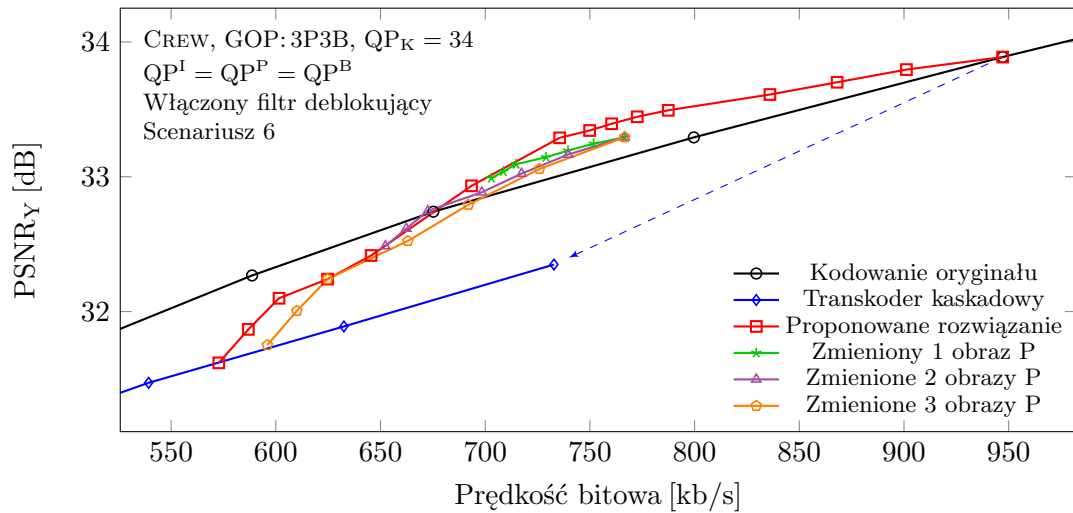
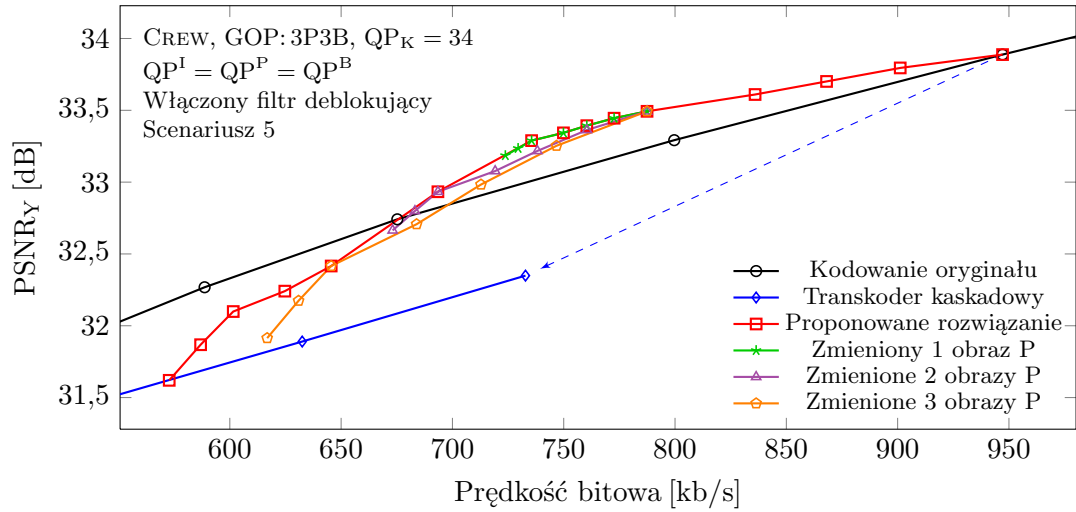
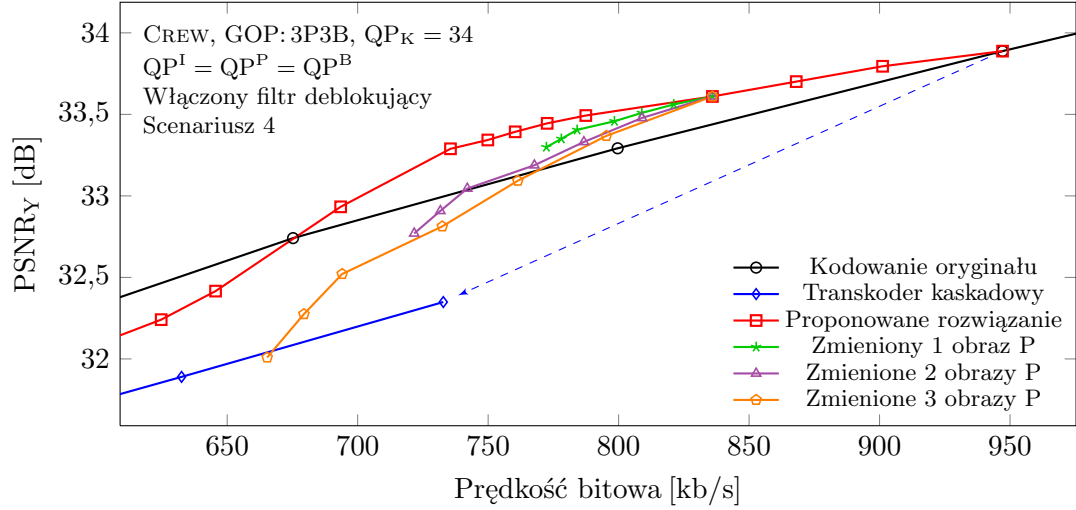
Rysunek D.9: (Kontynuacja) Strata jakości spowodowana modyfikacją próbek transformaty w obrazach typu P. Brak makrobloków Intra w obrazach P i B



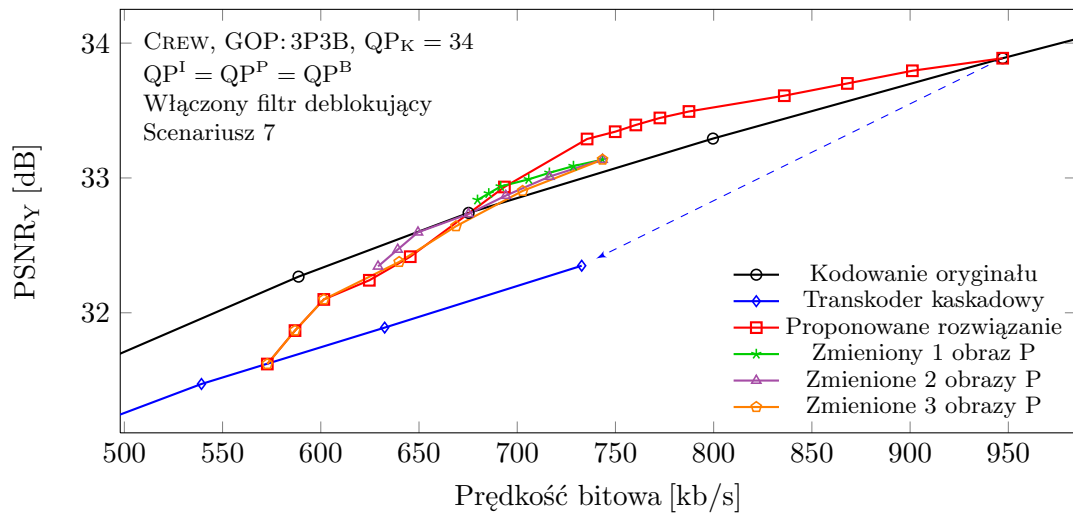
Rysunek D.9: (Kontynuacja) Strata jakości spowodowana modyfikacją próbek transformaty w obrazach typu P. Brak makrobloków Intra w obrazach P i B



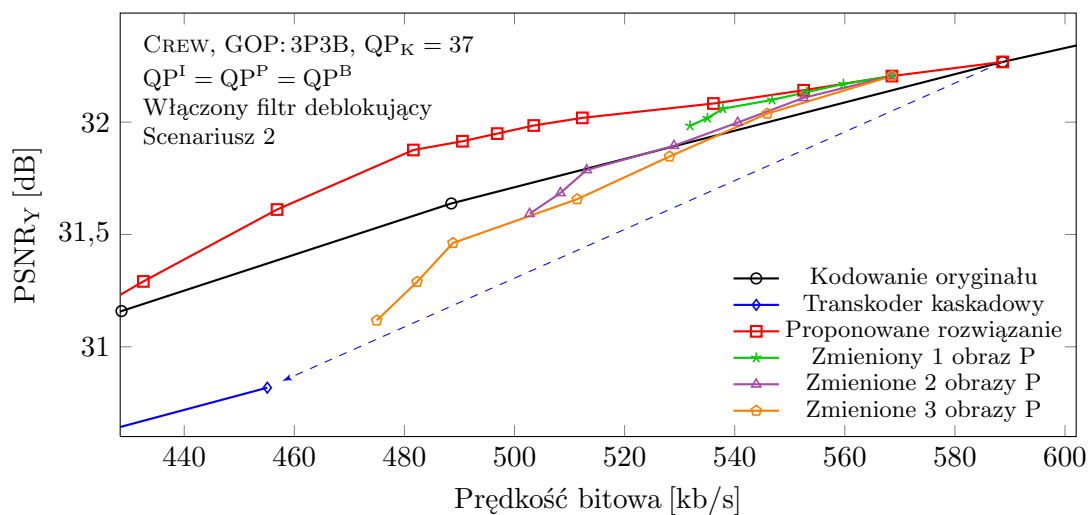
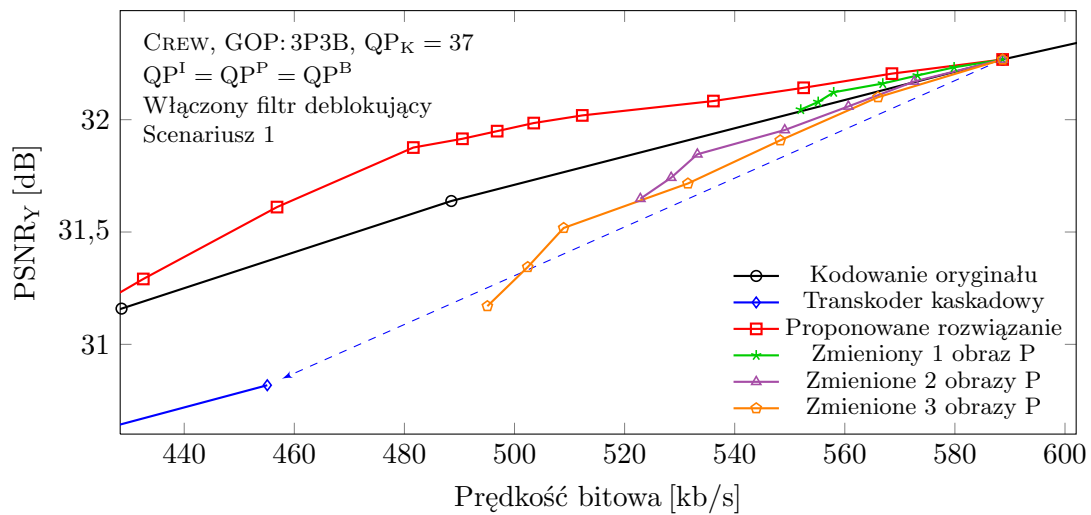
Rysunek D.10: Strata jakości spowodowana modyfikacją próbek transformaty w obrazach typu P. Brak makrobloków Intra w obrazach P i B



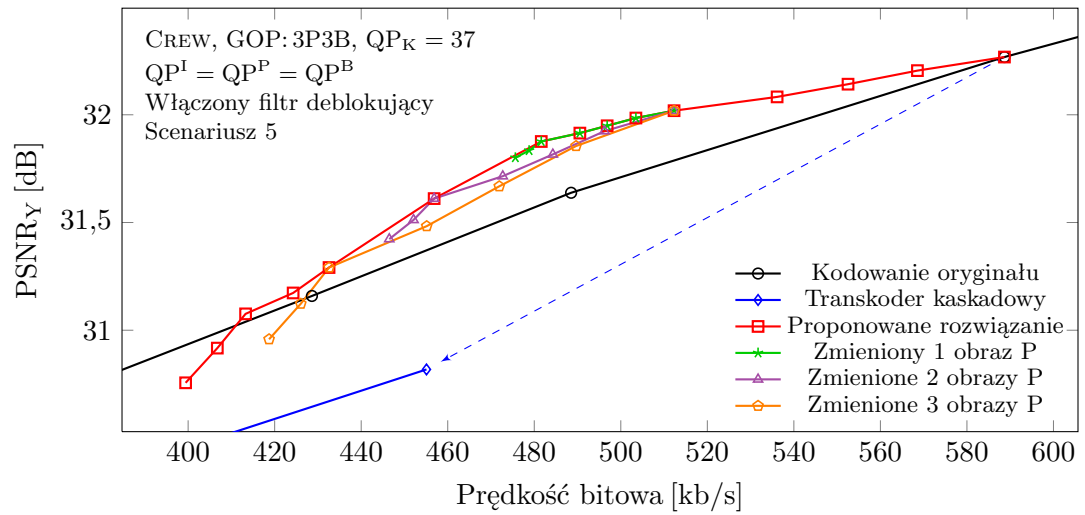
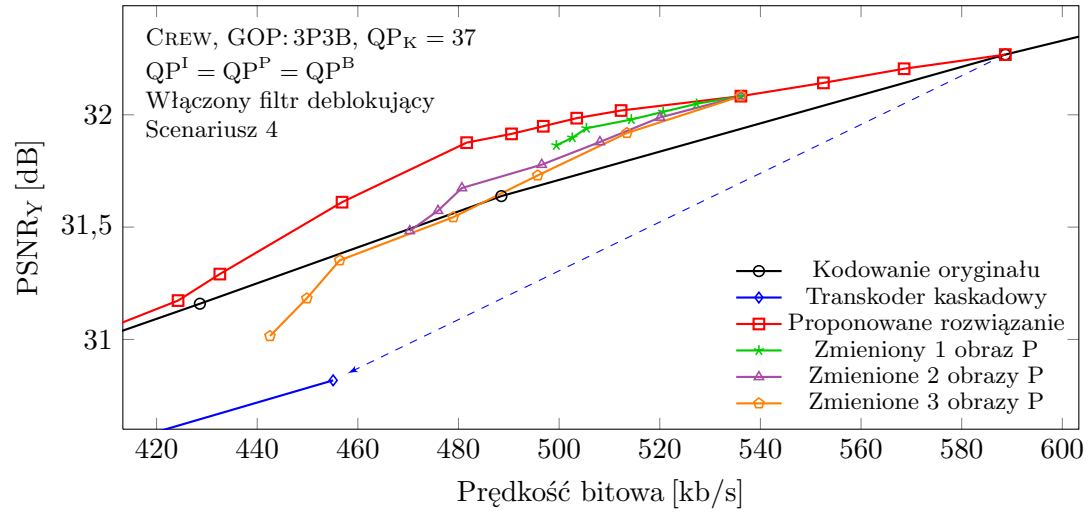
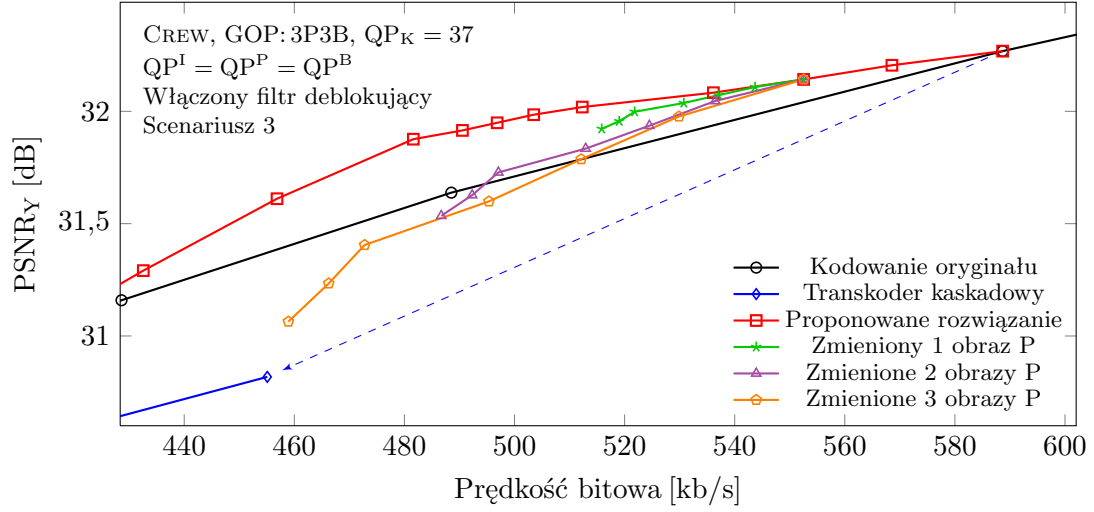
Rysunek D.10: (Kontynuacja) Strata jakości spowodowana modyfikacją próbek transformaty w obrazach typu P. Brak makrobloków Intra w obrazach P i B



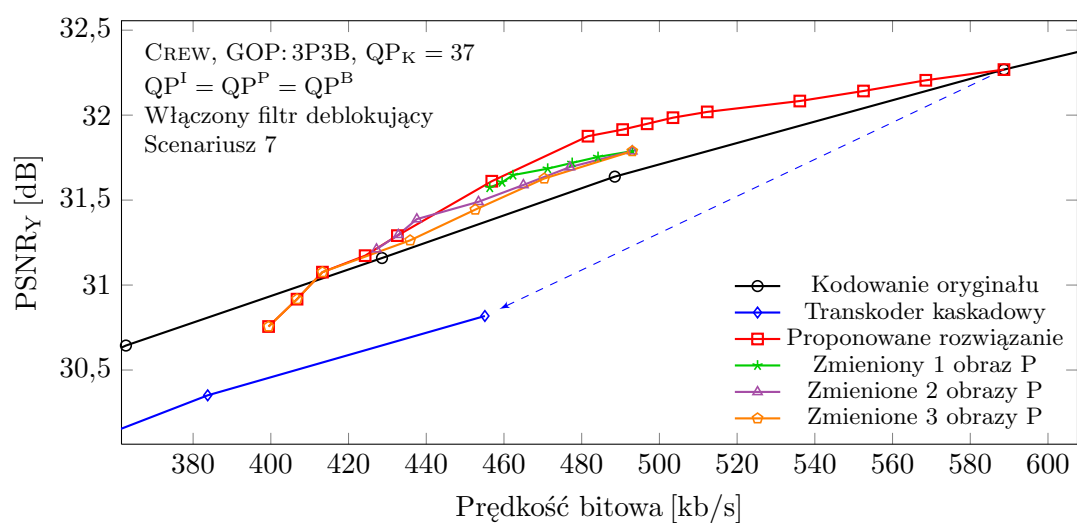
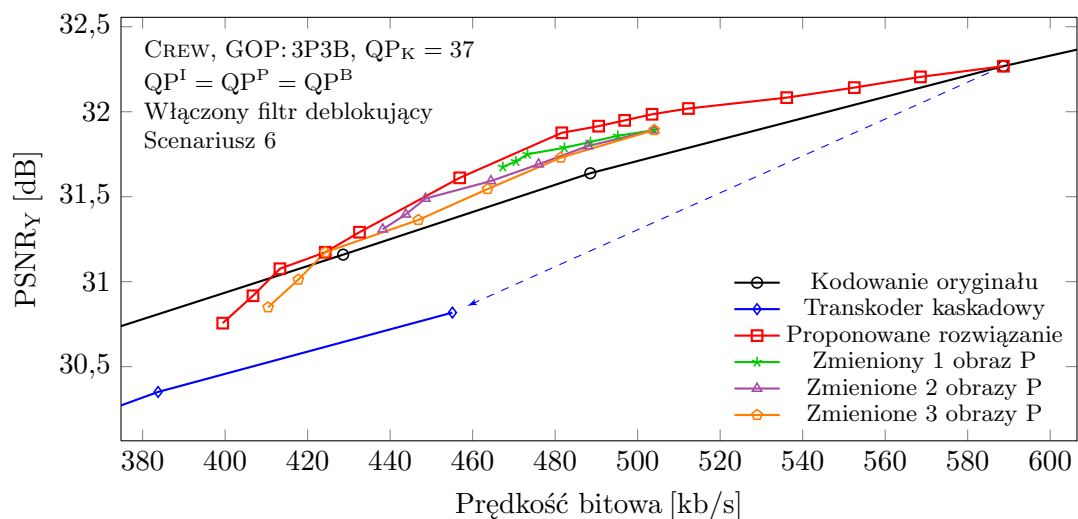
Rysunek D.10: (Kontynuacja) Strata jakości spowodowana modyfikacją próbek transformaty w obrazach typu P. Brak makrobloków Intra w obrazach P i B



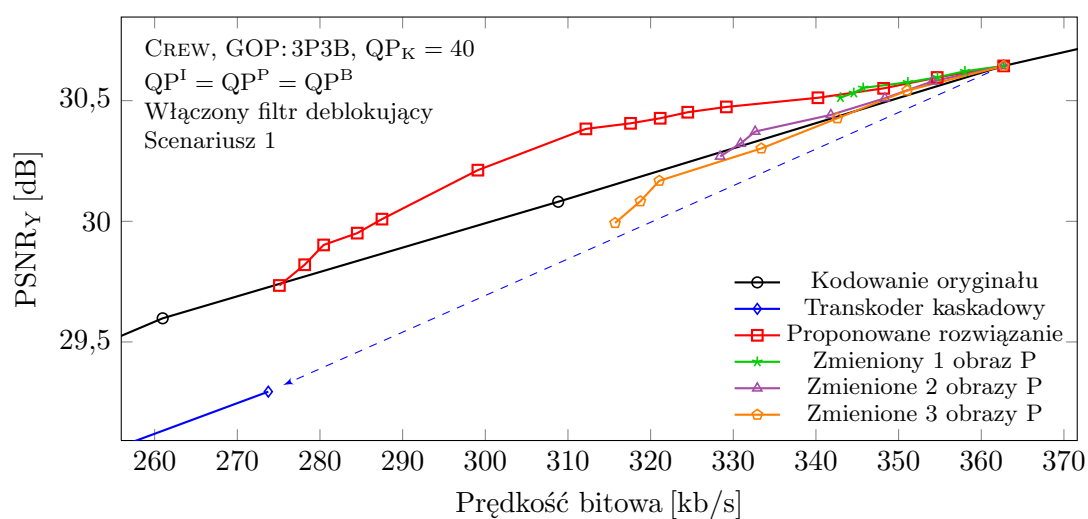
Rysunek D.11: Strata jakości spowodowana modyfikacją próbek transformaty w obrazach typu P. Brak makrobloków Intra w obrazach P i B



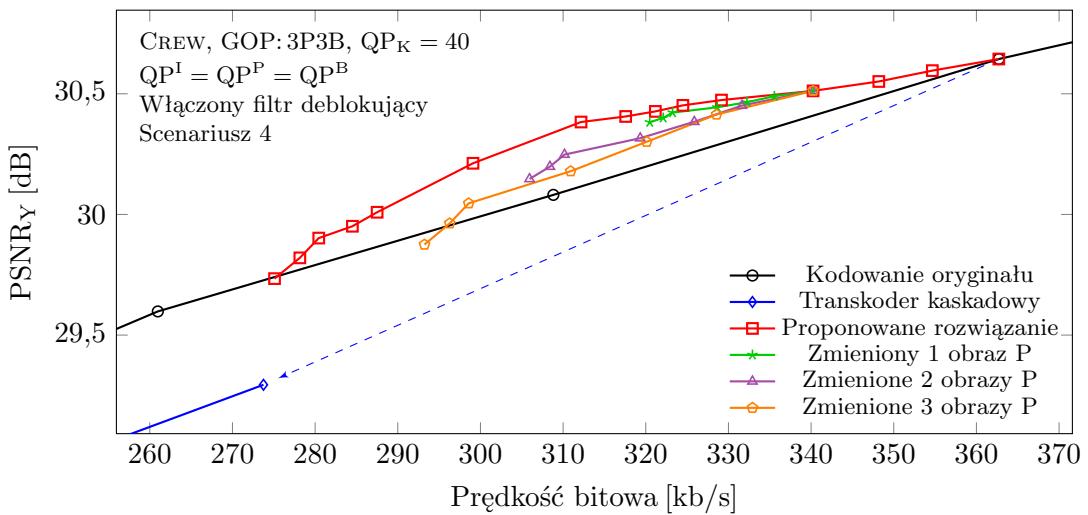
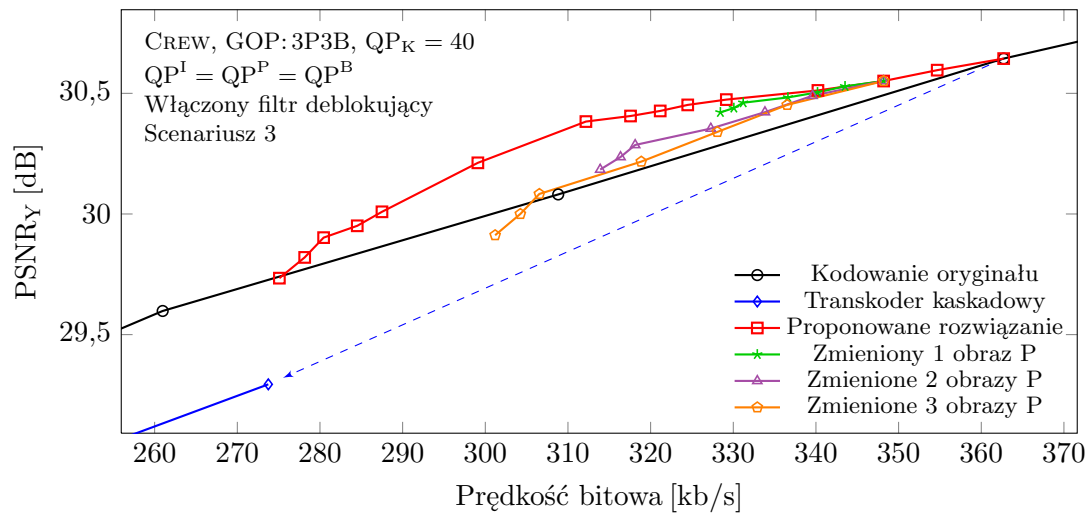
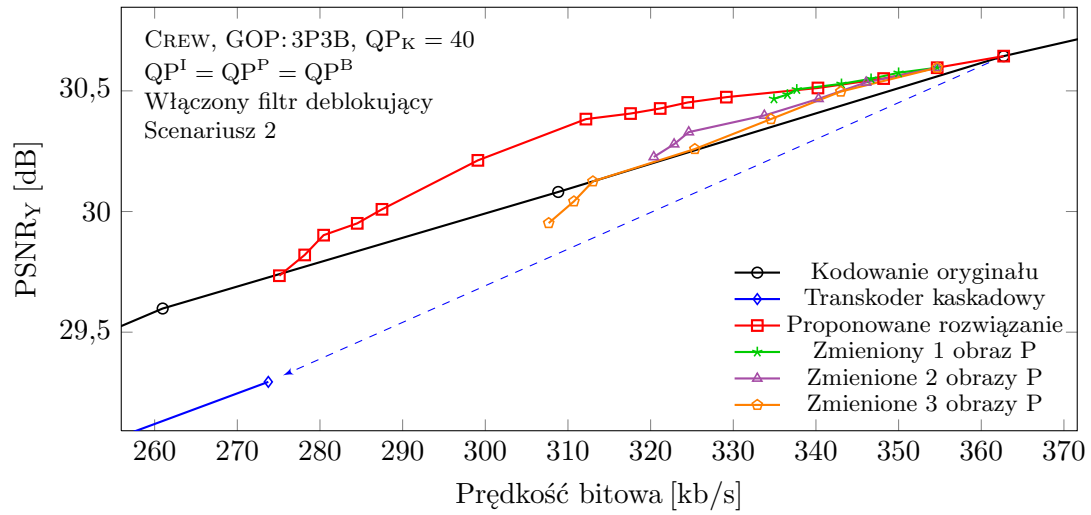
Rysunek D.11: (Kontynuacja) Strata jakości spowodowana modyfikacją próbek transformaty w obrazach typu P. Brak makrobloków Intra w obrazach P i B



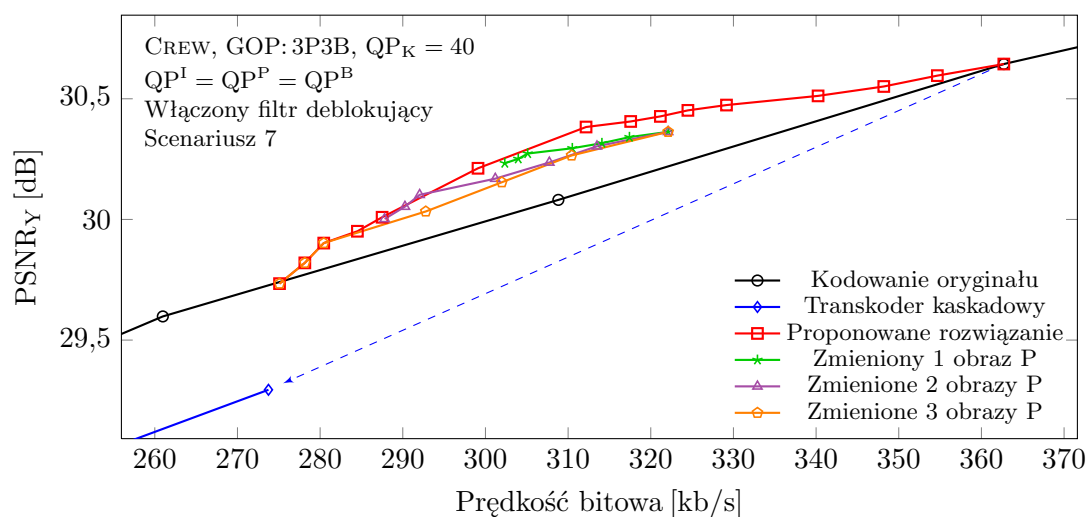
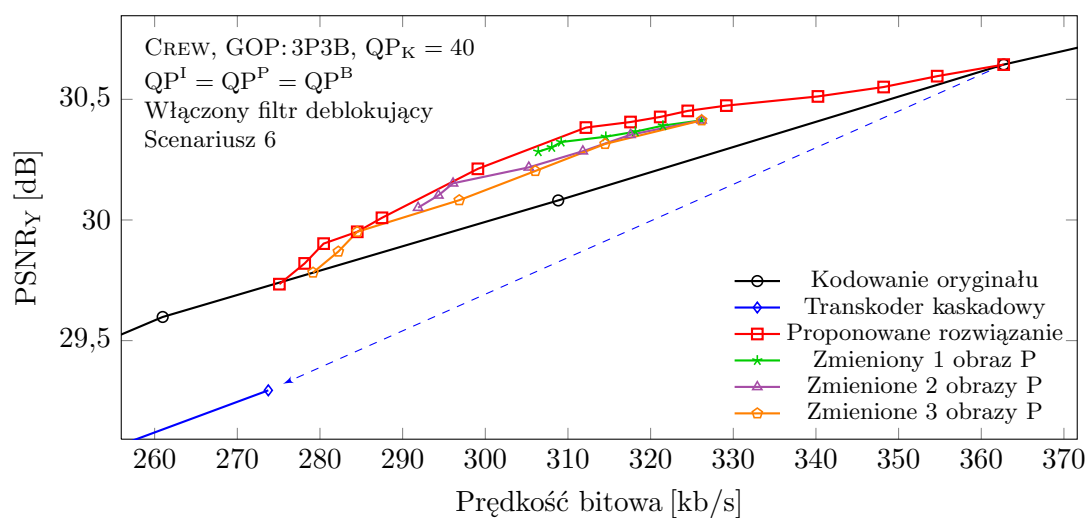
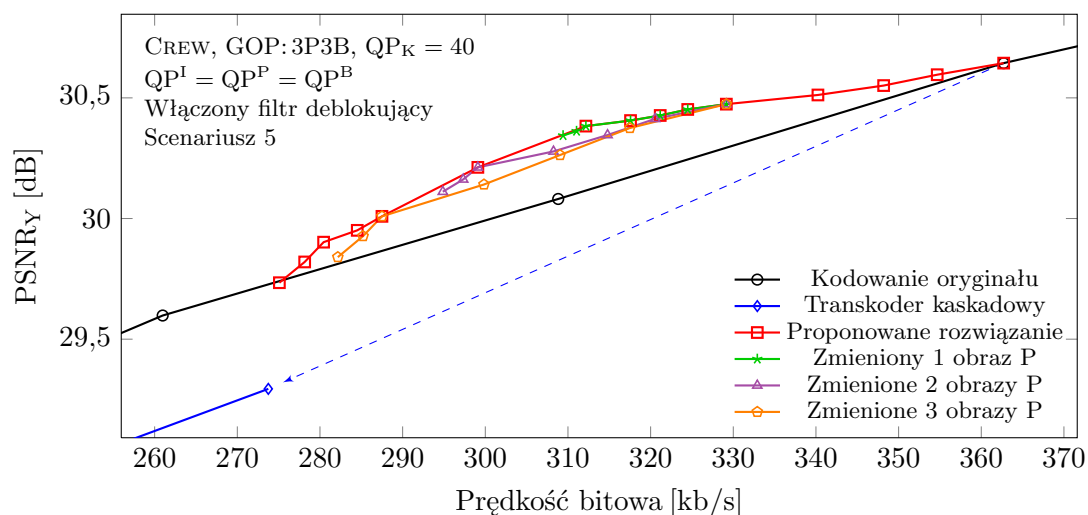
Rysunek D.11: (Kontynuacja) Strata jakości spowodowana modyfikacją próbek transformaty w obrazach typu P. Brak makrobloków Intra w obrazach P i B



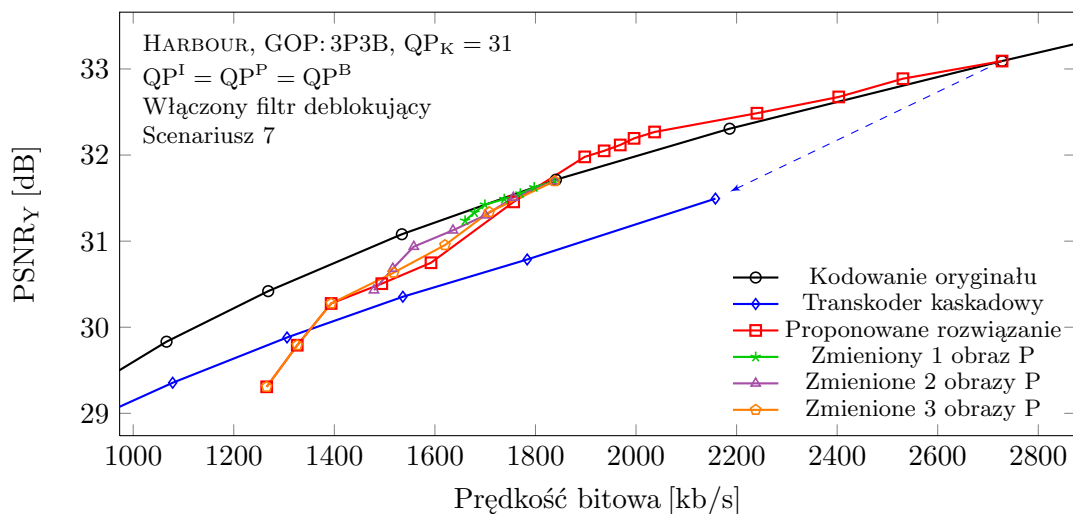
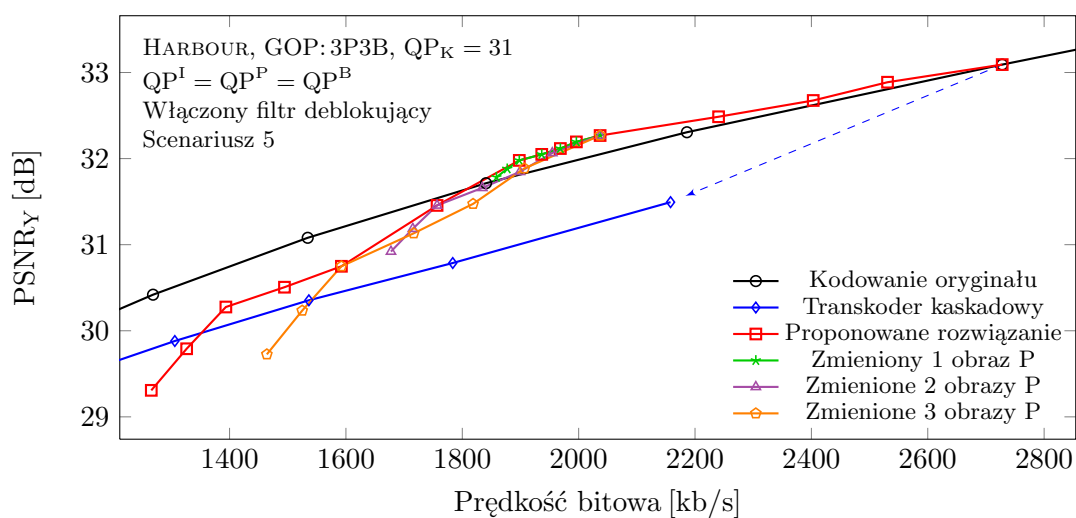
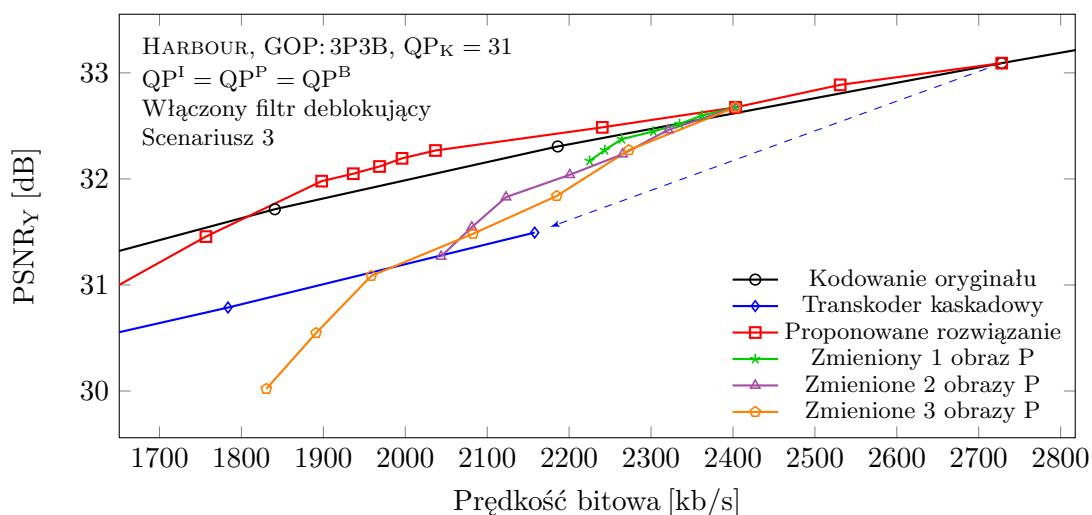
Rysunek D.12: Strata jakości spowodowana modyfikacją próbek transformaty w obrazach typu P. Brak makrobloków Intra w obrazach P i B



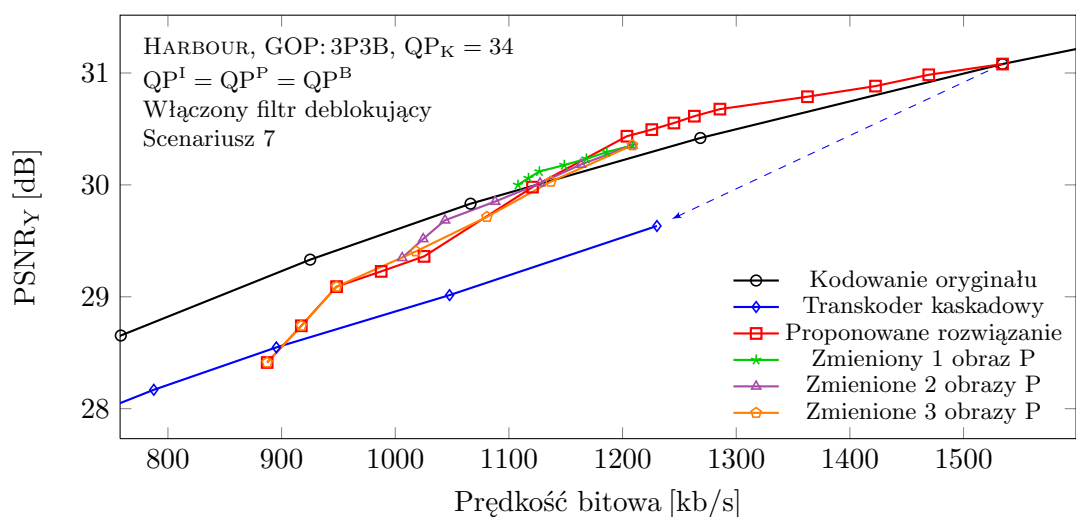
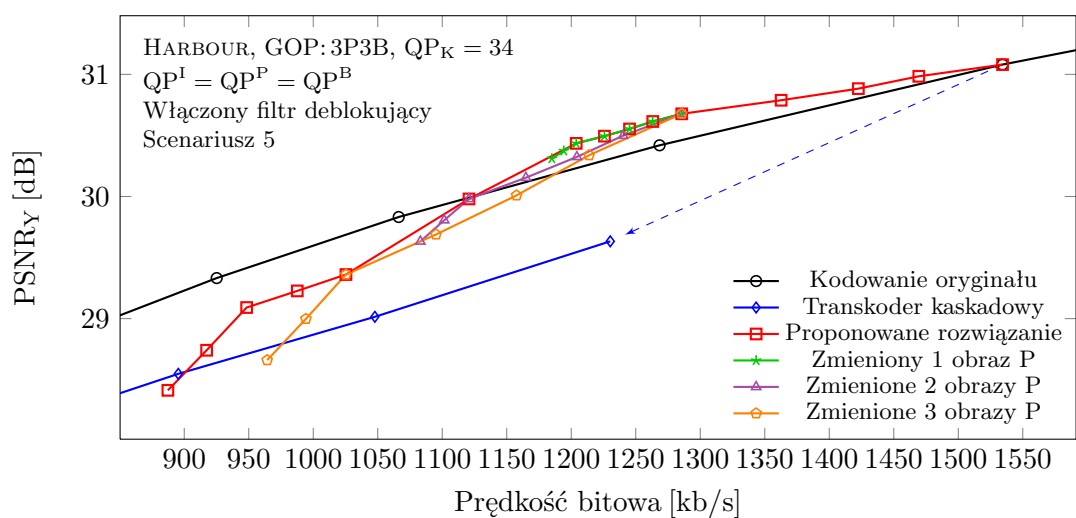
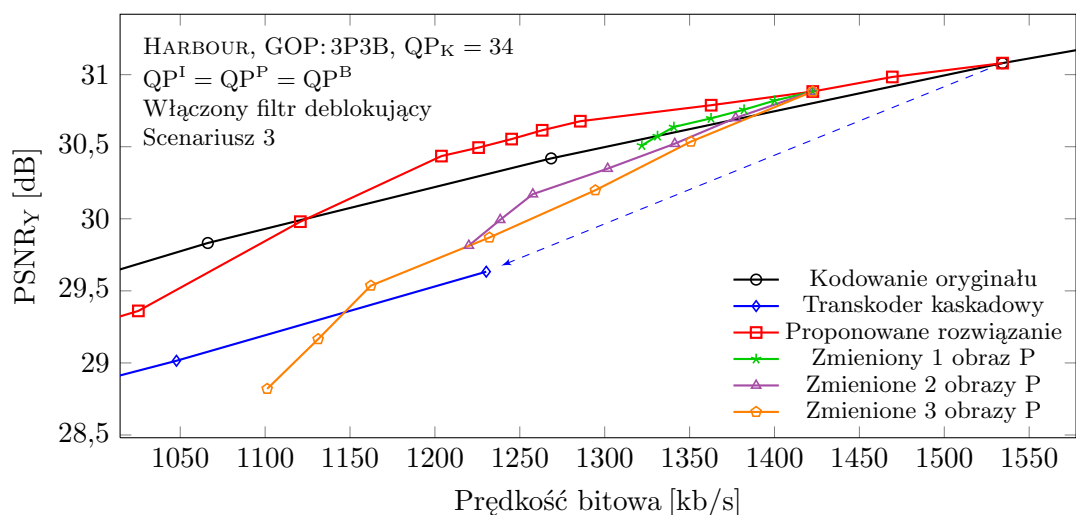
Rysunek D.12: (Kontynuacja) Strata jakości spowodowana modyfikacją próbek transformaty w obrazach typu P. Brak makrobloków Intra w obrazach P i B



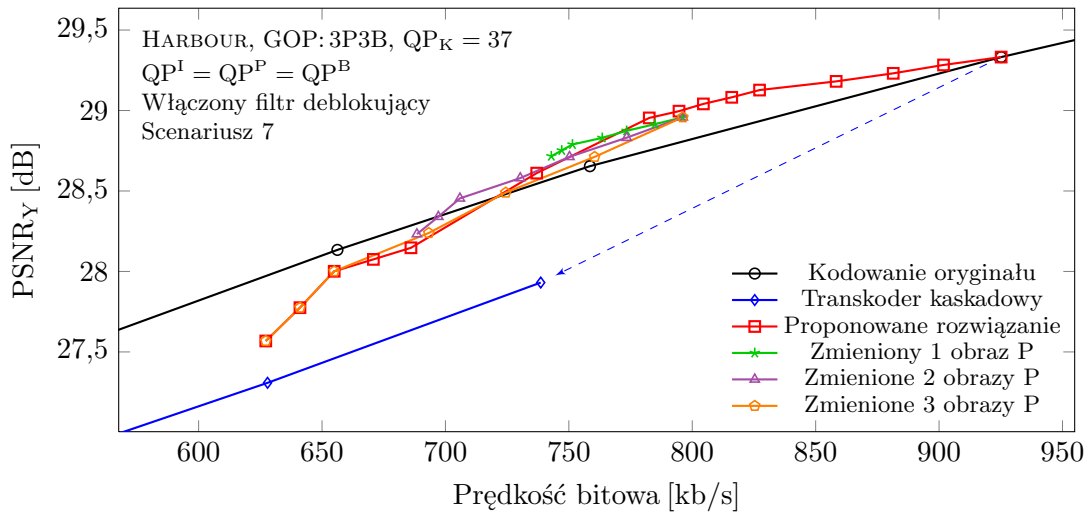
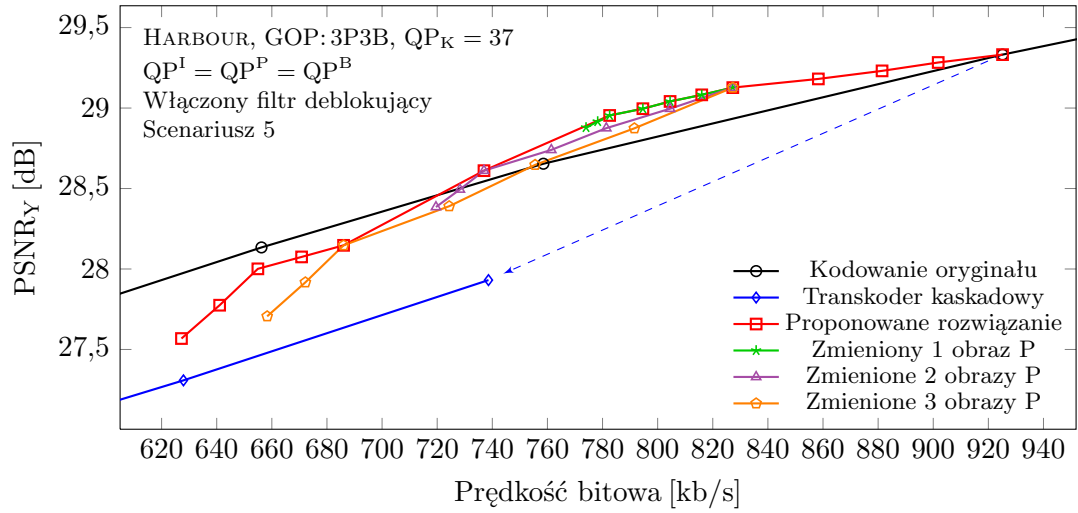
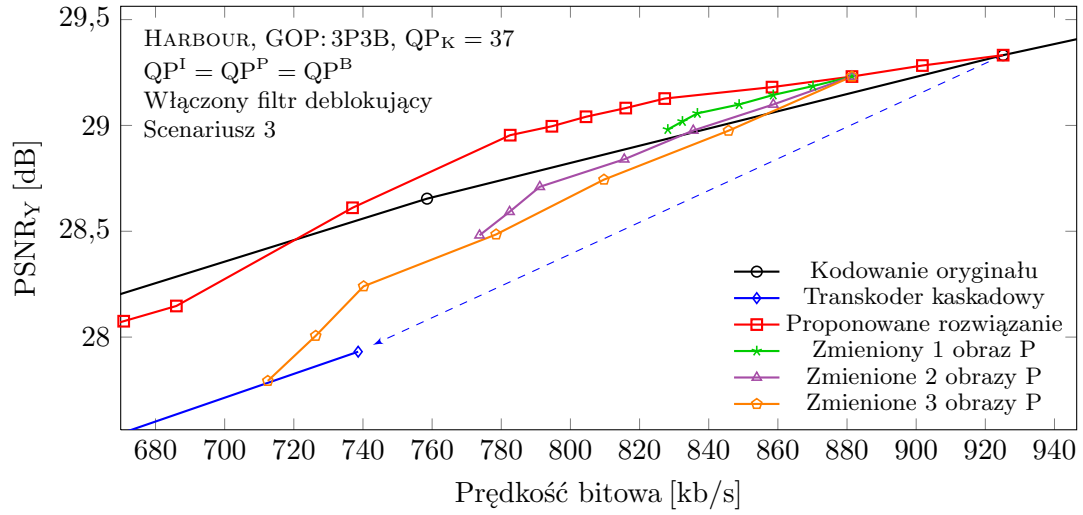
Rysunek D.12: (Kontynuacja) Strata jakości spowodowana modyfikacją próbek transformaty w obrazach typu P. Brak makrobloków Intra w obrazach P i B



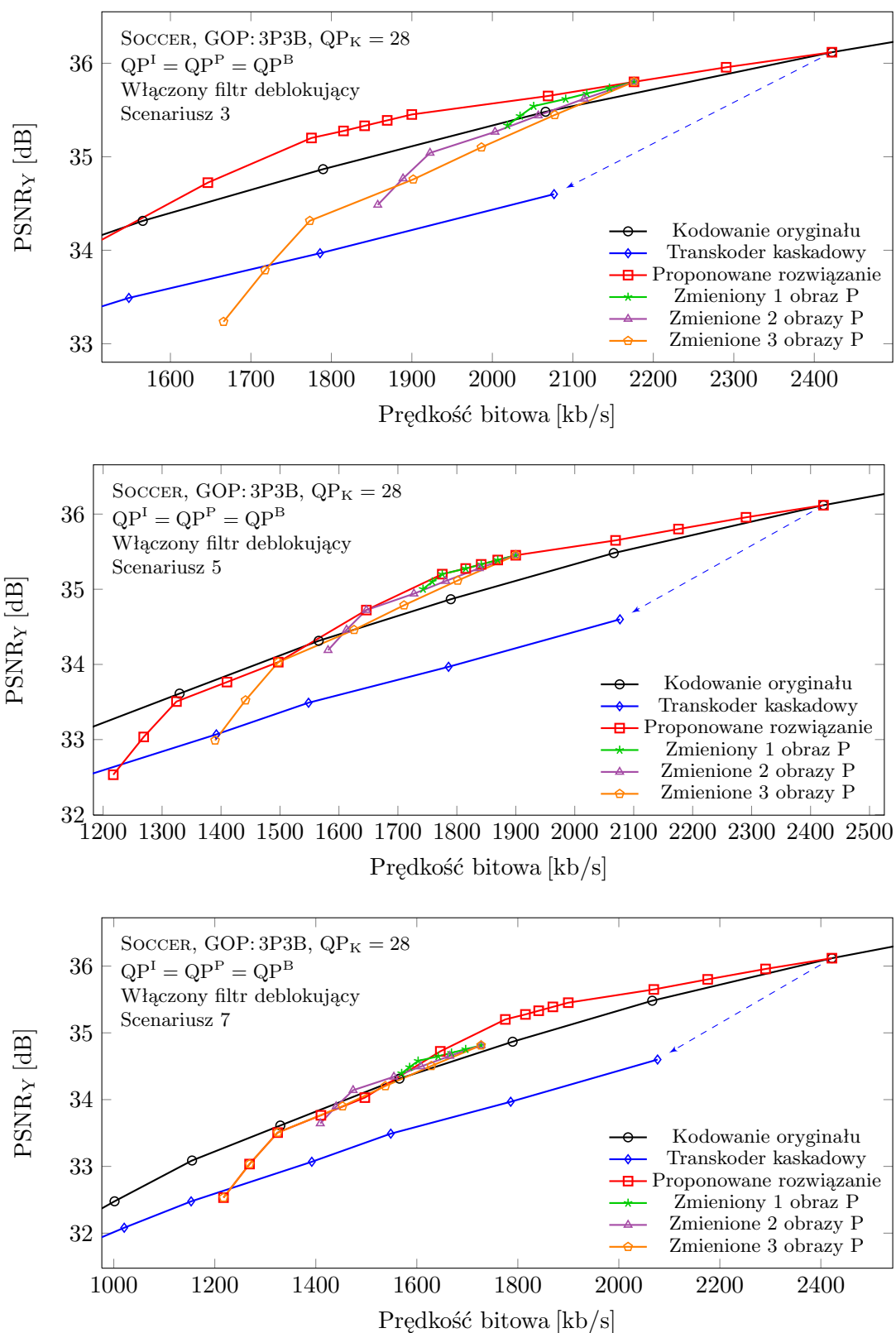
Rysunek D.13: Strata jakości spowodowana modyfikacją próbek transformaty w obrazach typu P. Brak makrobloków Intra w obrazach P i B



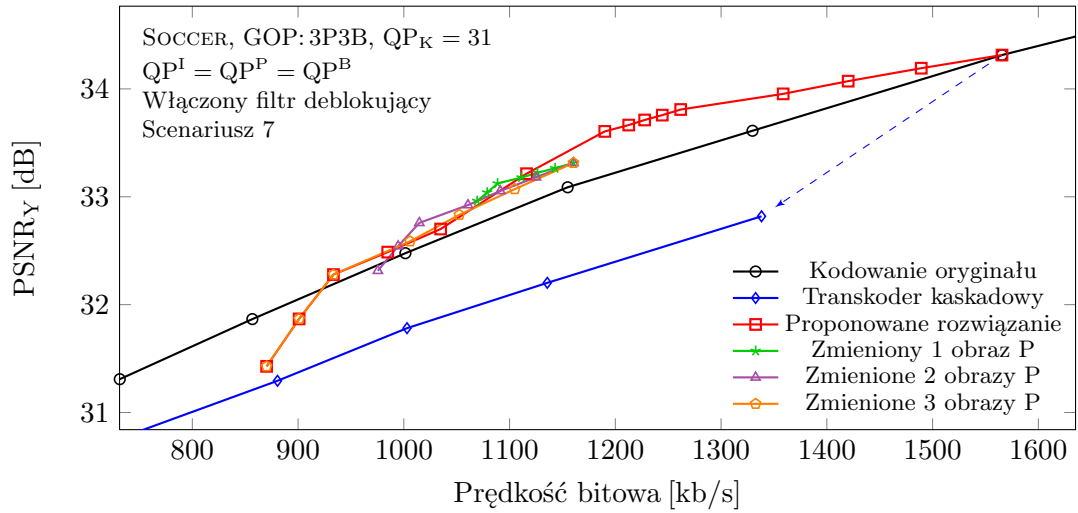
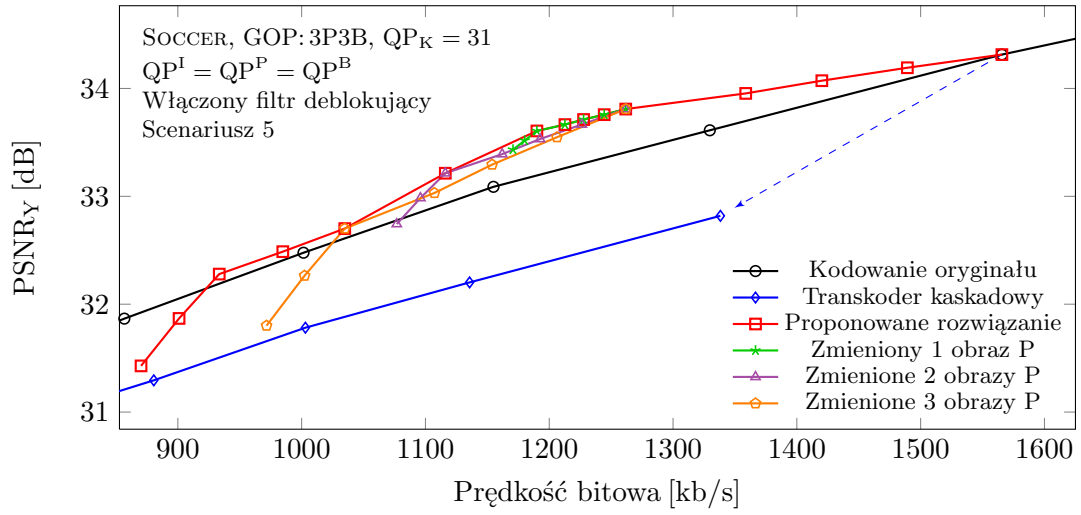
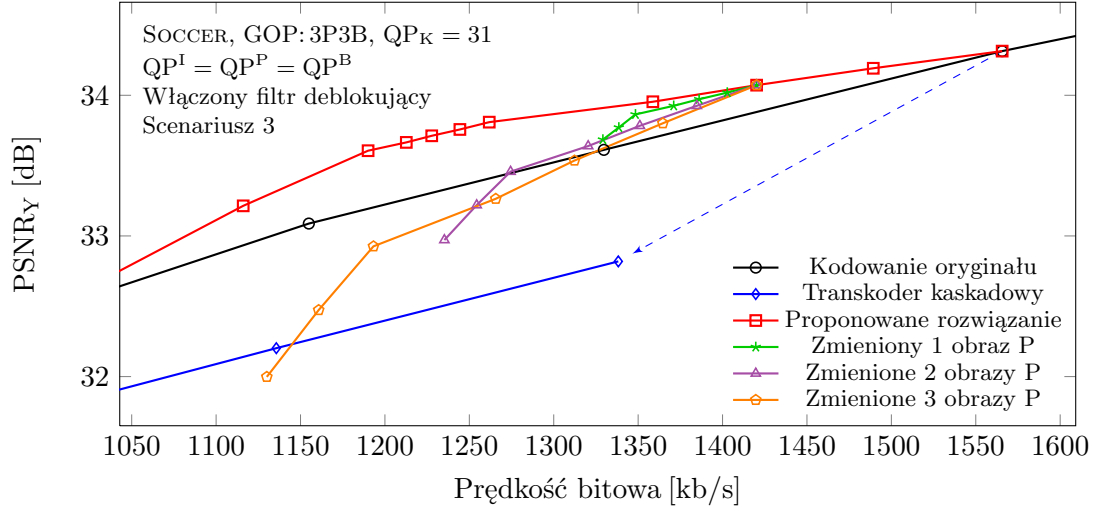
Rysunek D.14: Strata jakości spowodowana modyfikacją próbek transformaty w obrazach typu P. Brak makrobloków Intra w obrazach P i B



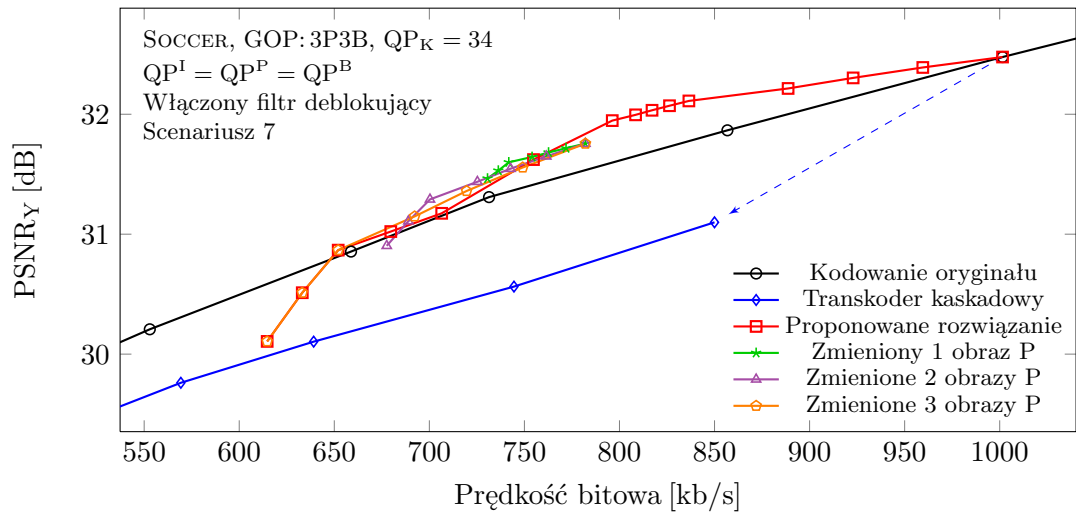
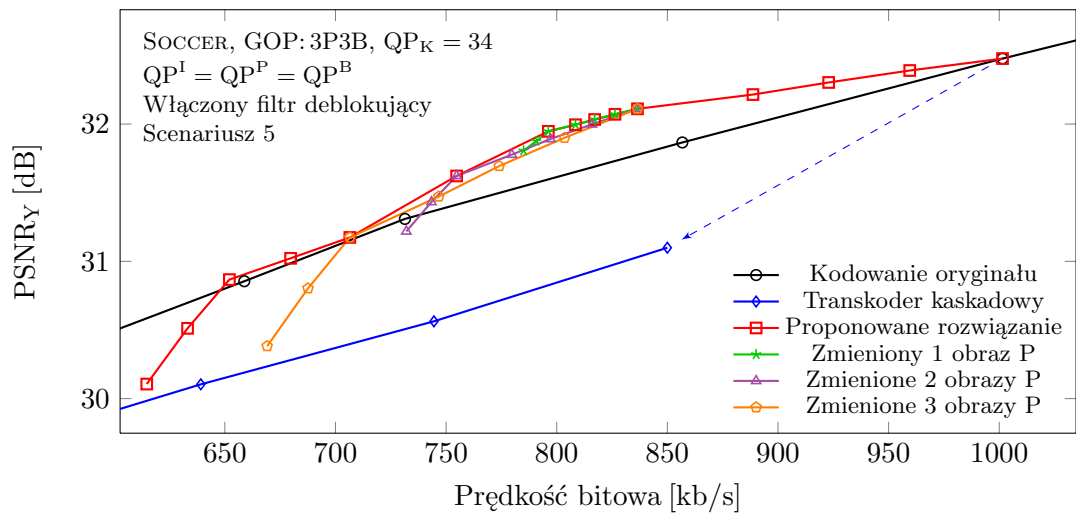
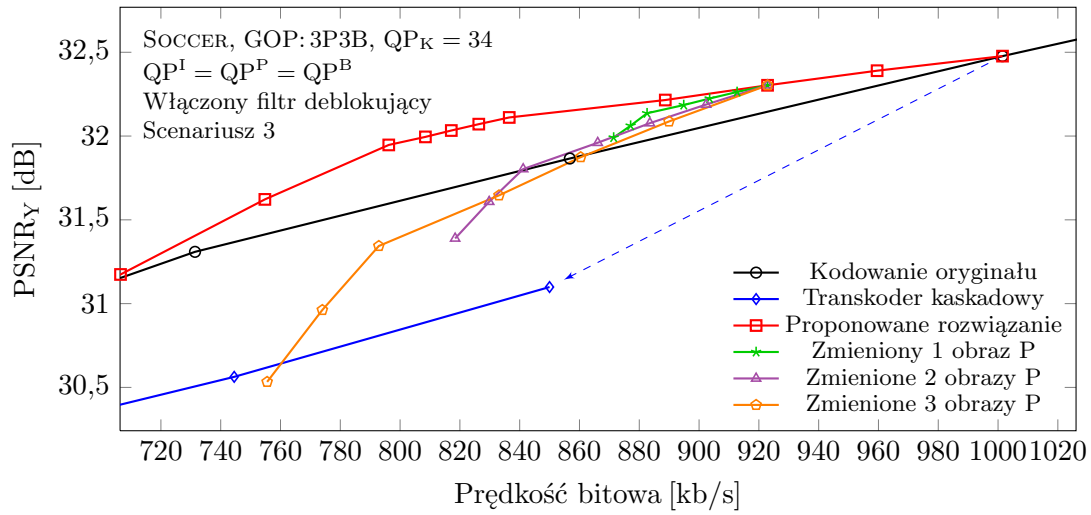
Rysunek D.15: Strata jakości spowodowana modyfikacją próbek transformaty w obrazach typu P. Brak makrobloków Intra w obrazach P i B



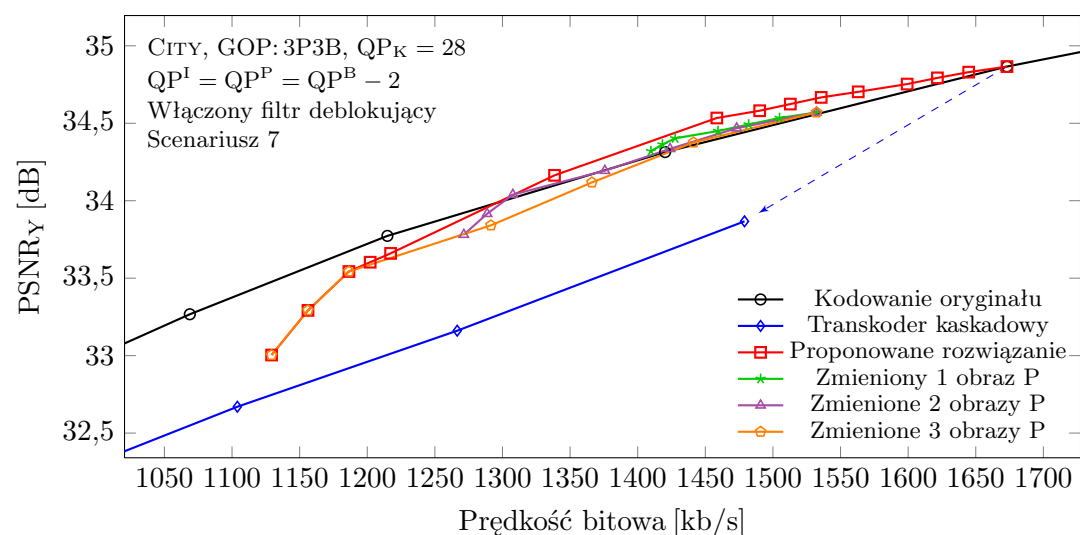
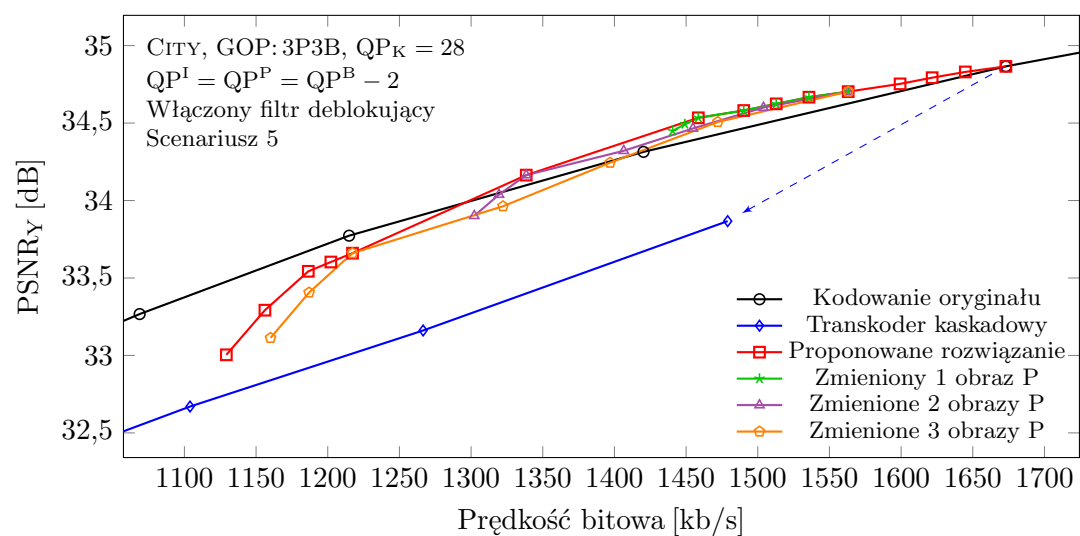
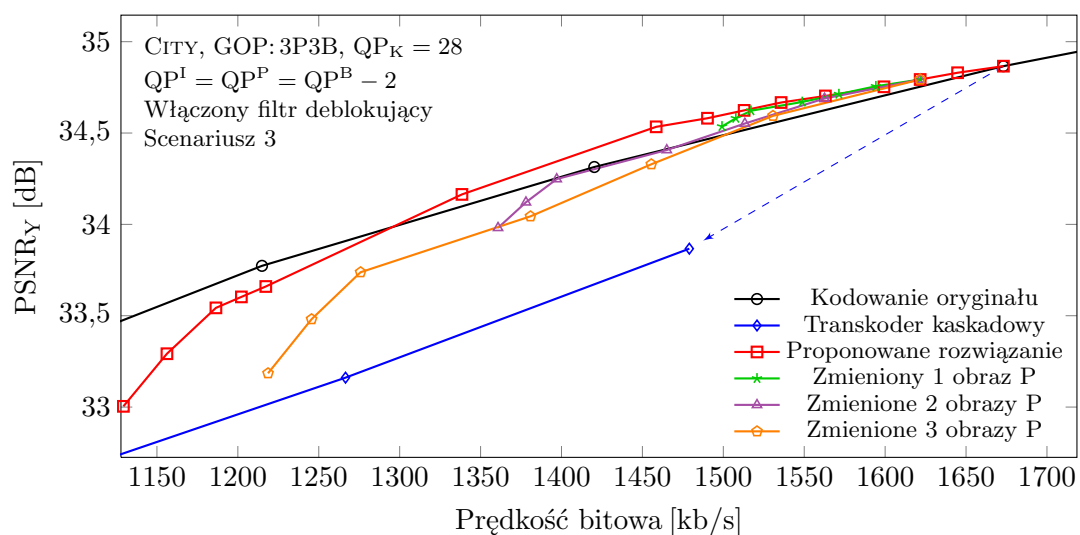
Rysunek D.16: Strata jakości spowodowana modyfikacją próbek transformaty w obrazach typu P. Brak makrobloków Intra w obrazach P i B



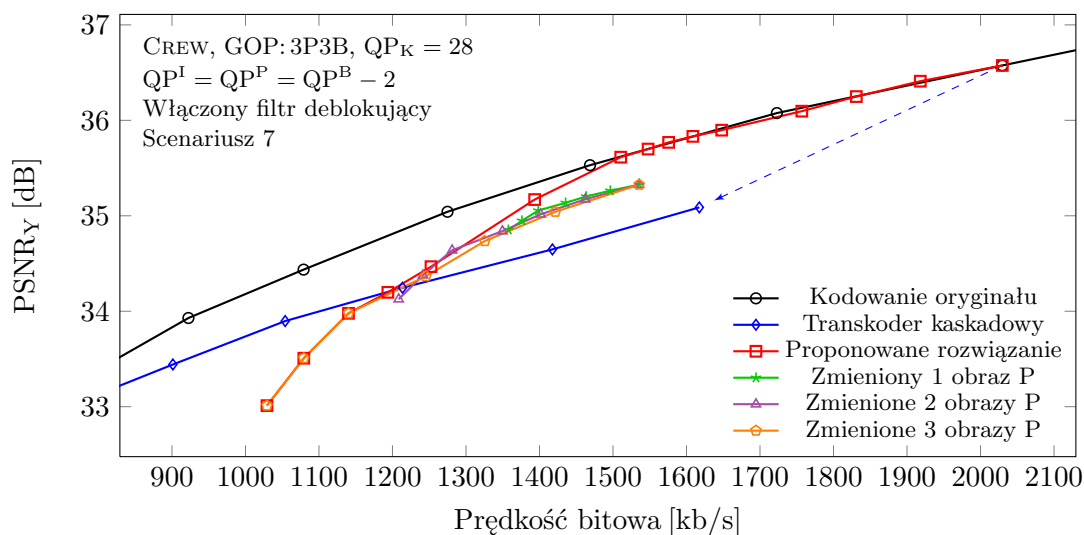
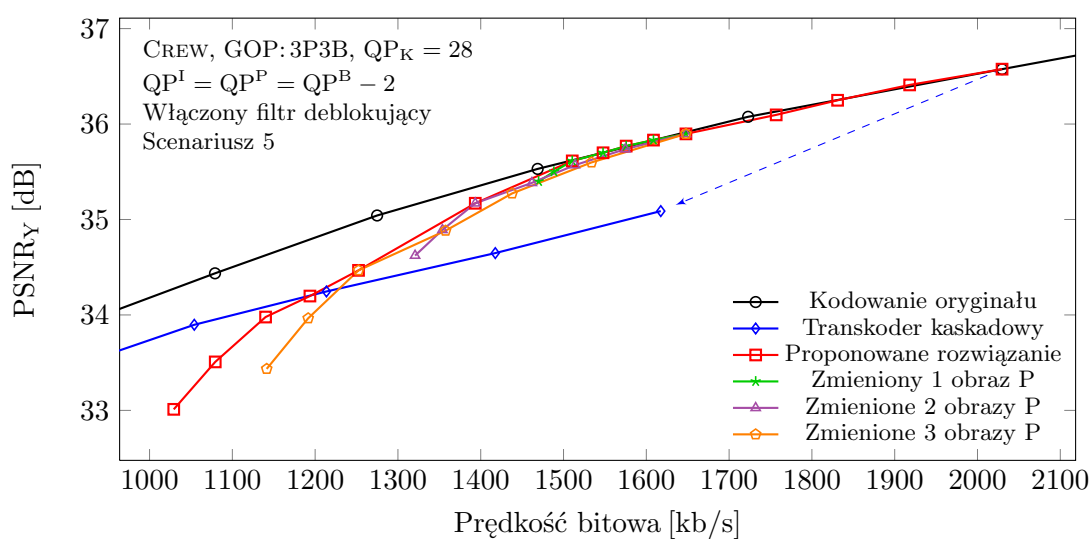
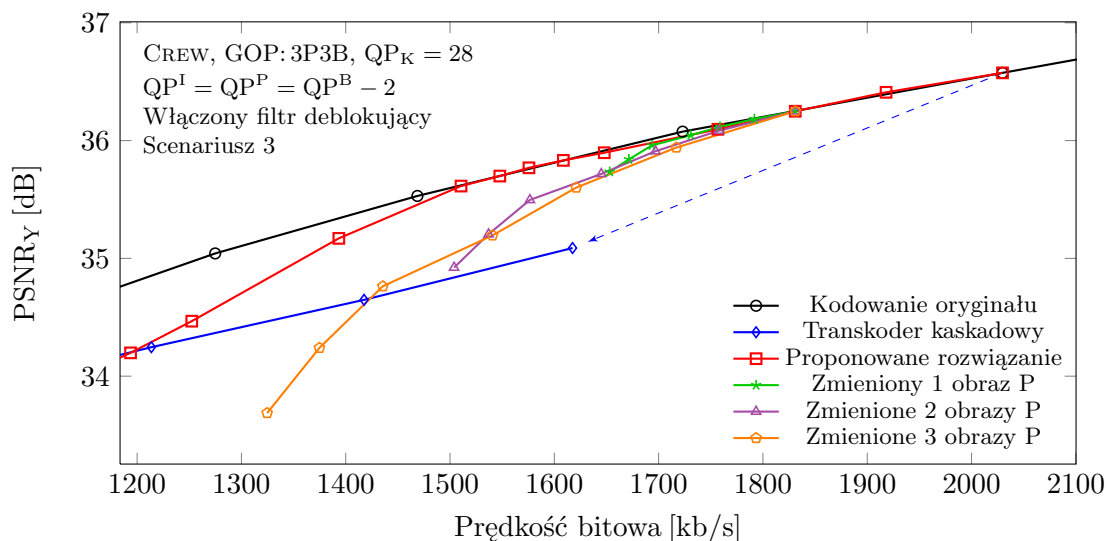
Rysunek D.17: Strata jakości spowodowana modyfikacją próbek transformaty w obrazach typu P. Brak makrobloków Intra w obrazach P i B



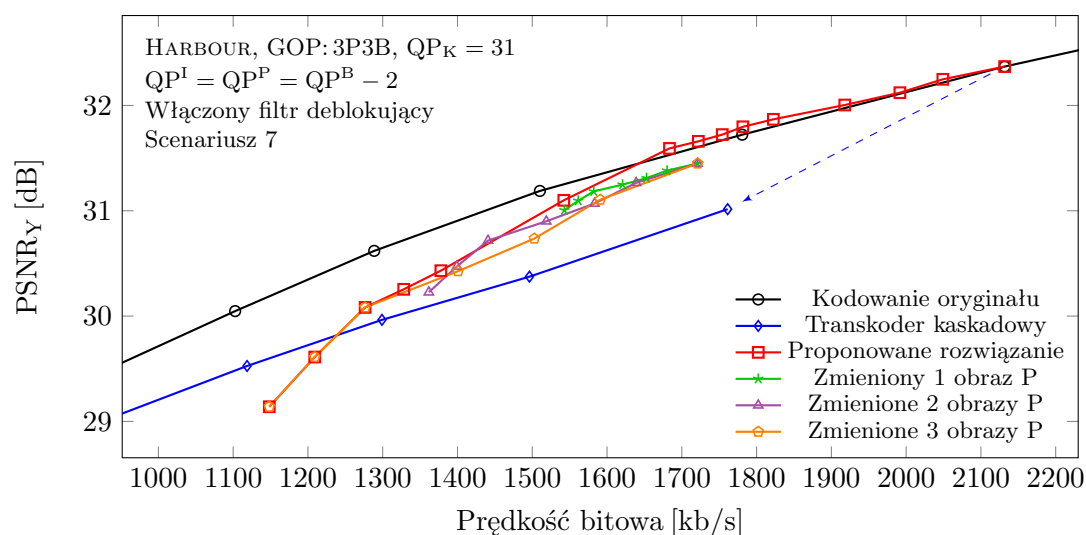
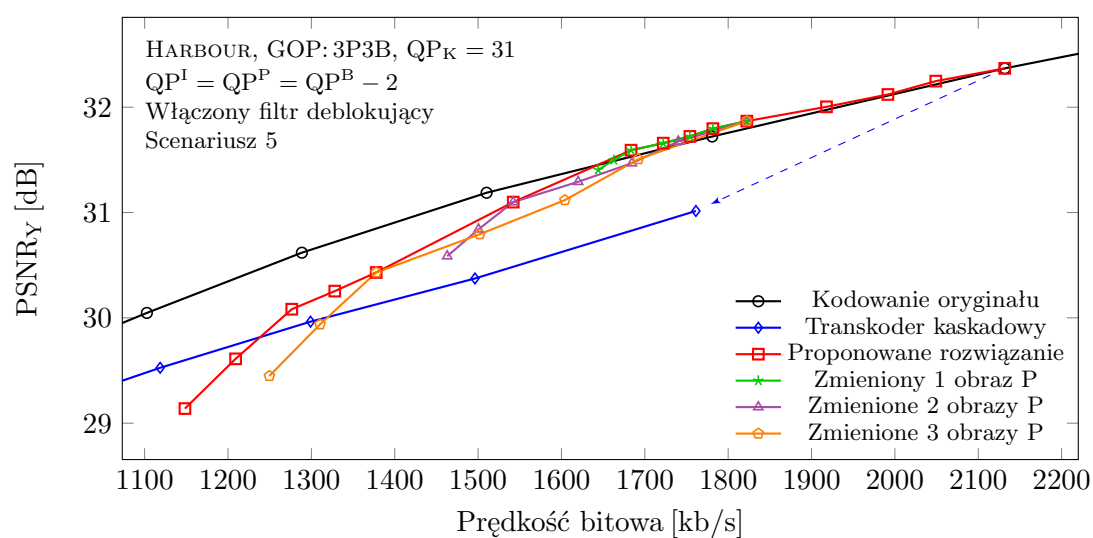
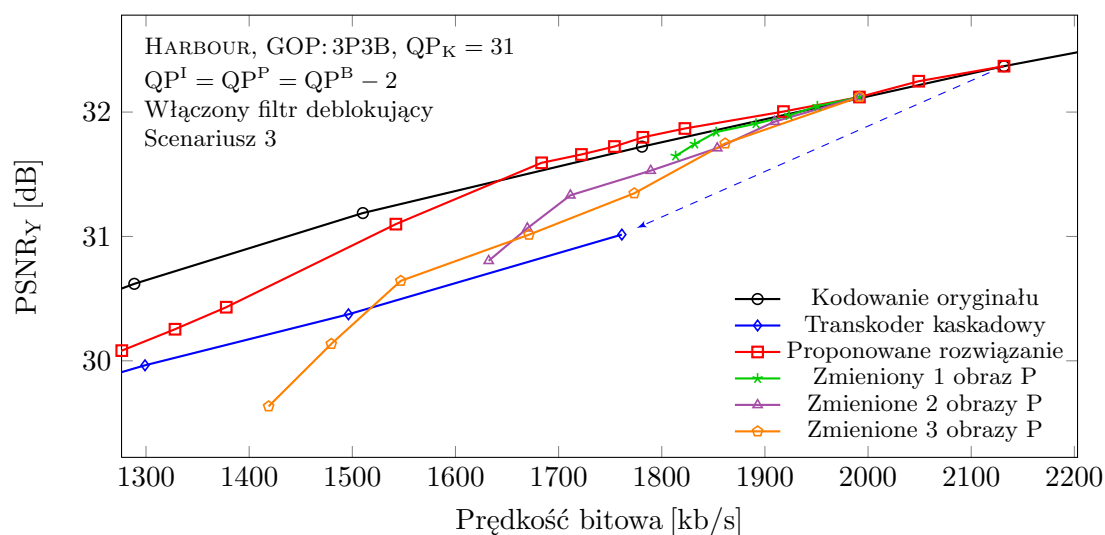
Rysunek D.18: Strata jakości spowodowana modyfikacją próbek transformaty w obrazach typu P. Brak makrobloków Intra w obrazach P i B



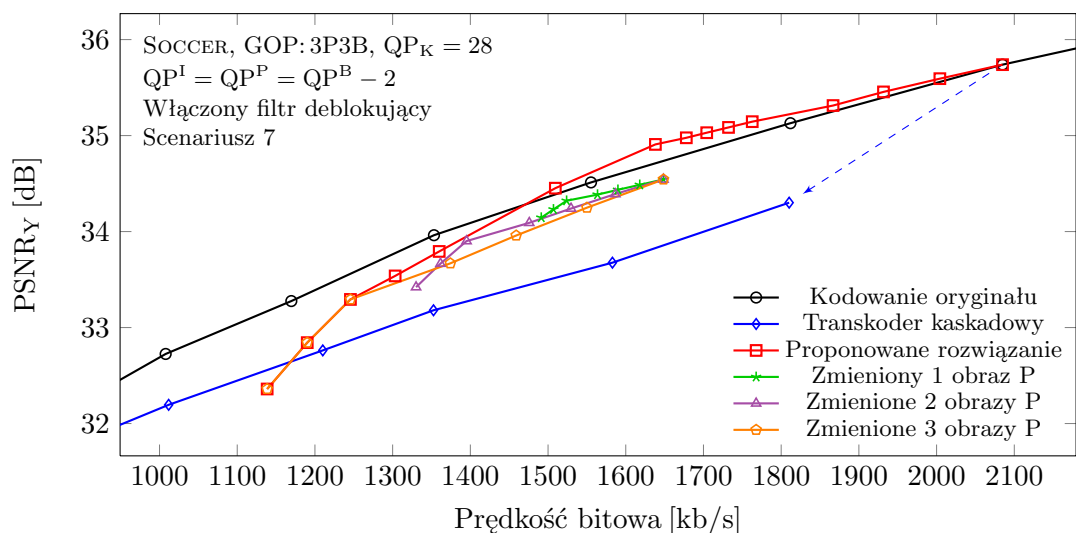
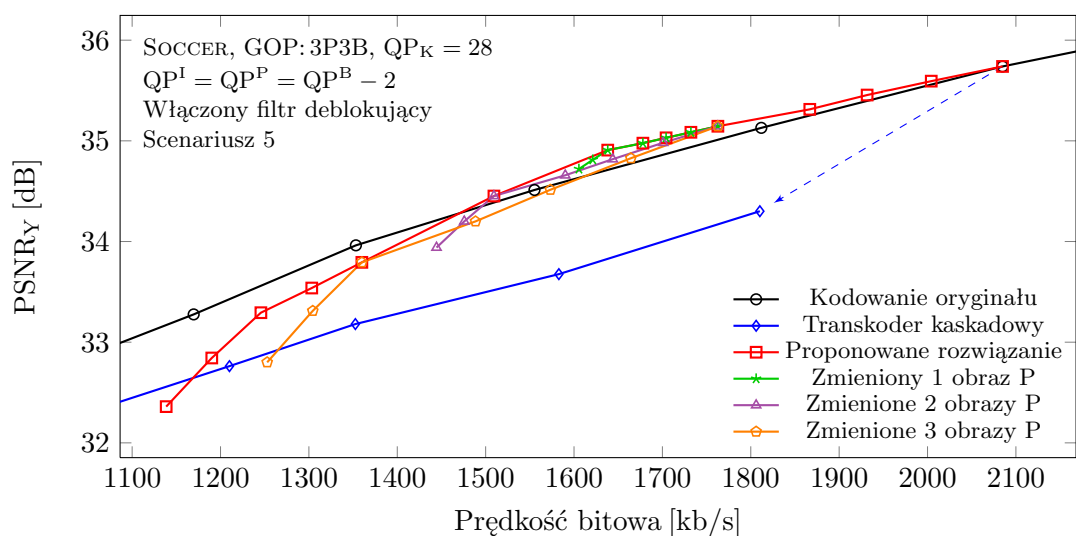
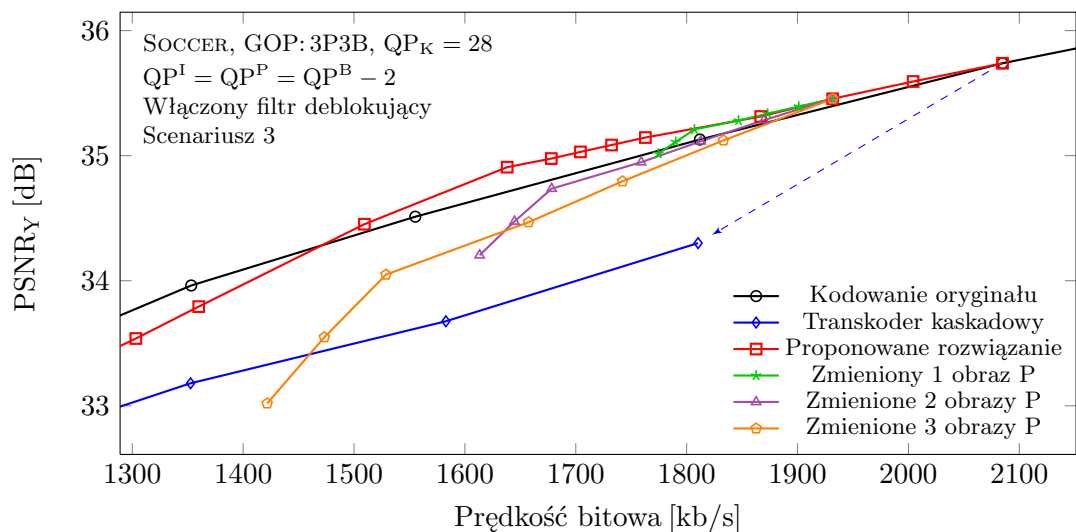
Rysunek D.19: Strata jakości spowodowana modyfikacją próbek transformaty w obrazach typu P. Brak makrobloków Intra w obrazach P i B



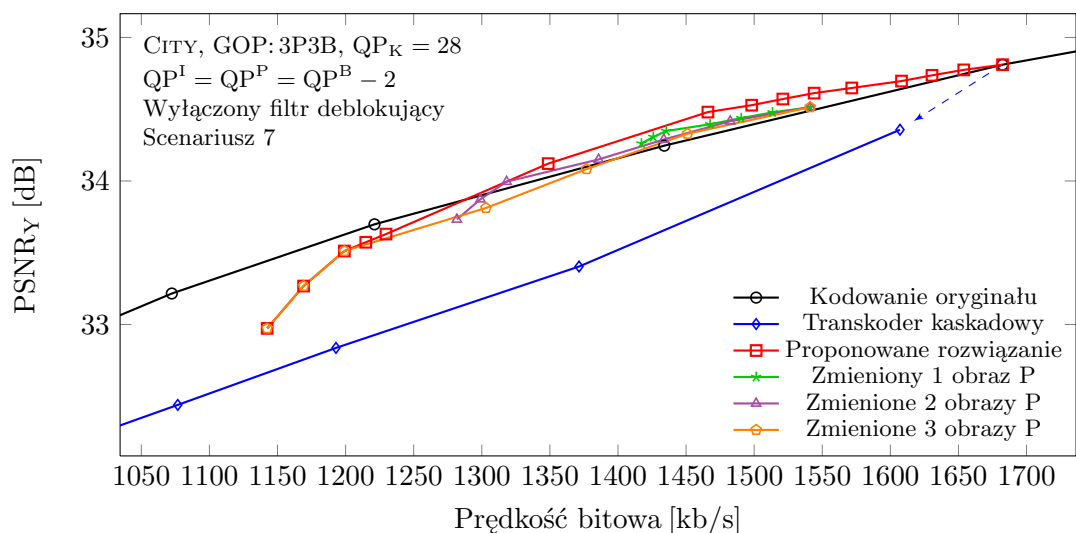
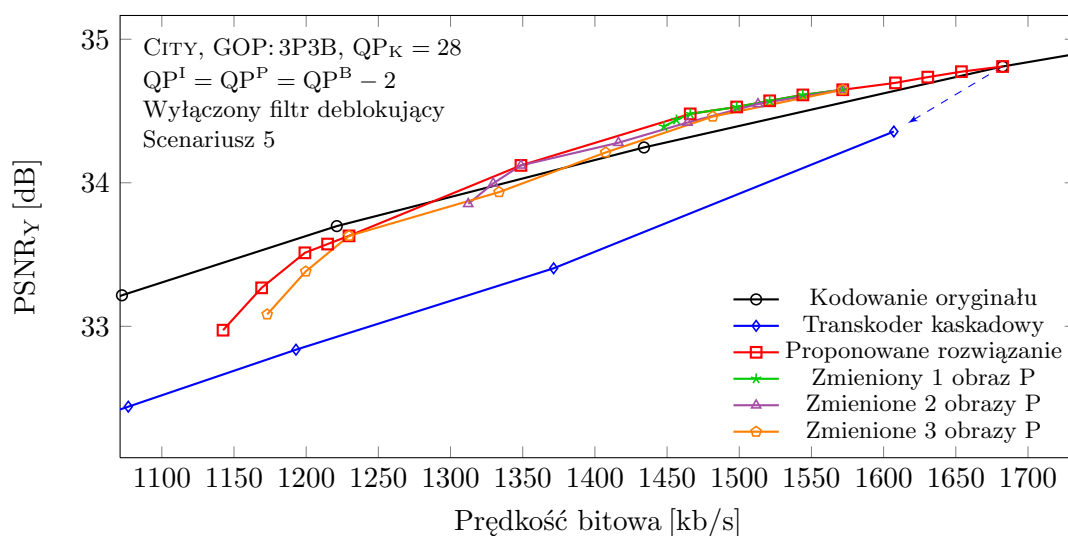
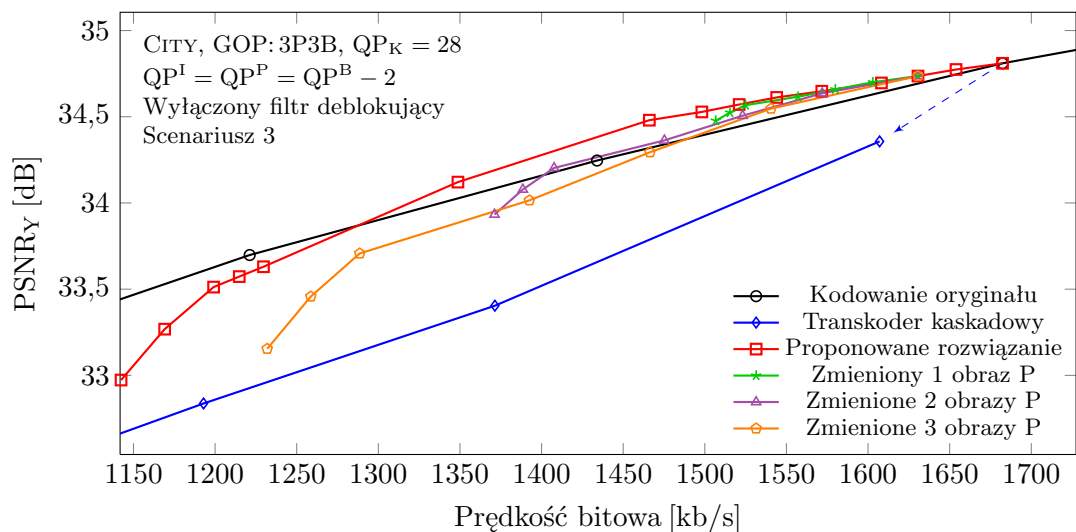
Rysunek D.20: Strata jakości spowodowana modyfikacją próbek transformaty w obrazach typu P. Brak makrobloków Intra w obrazach P i B



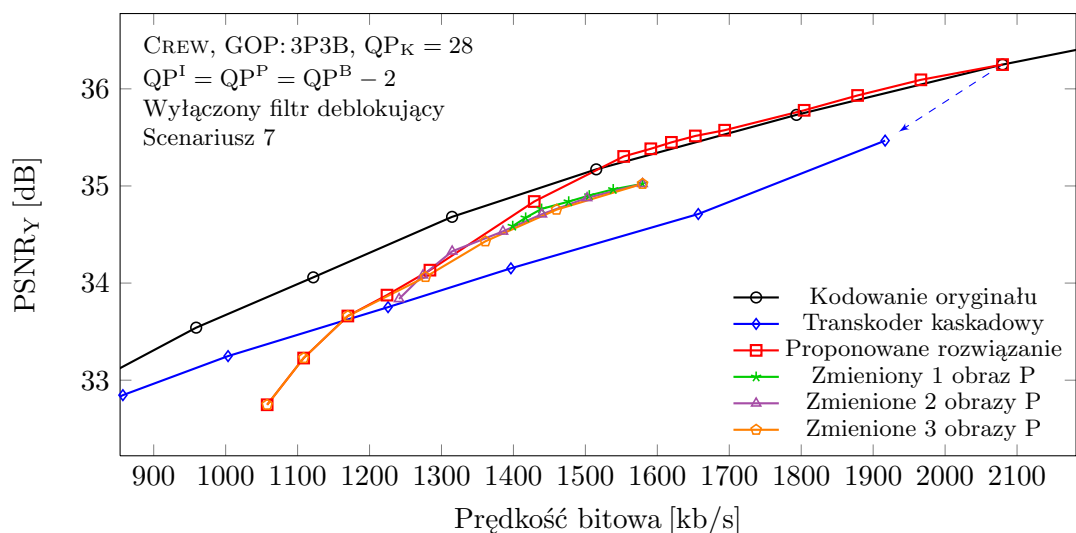
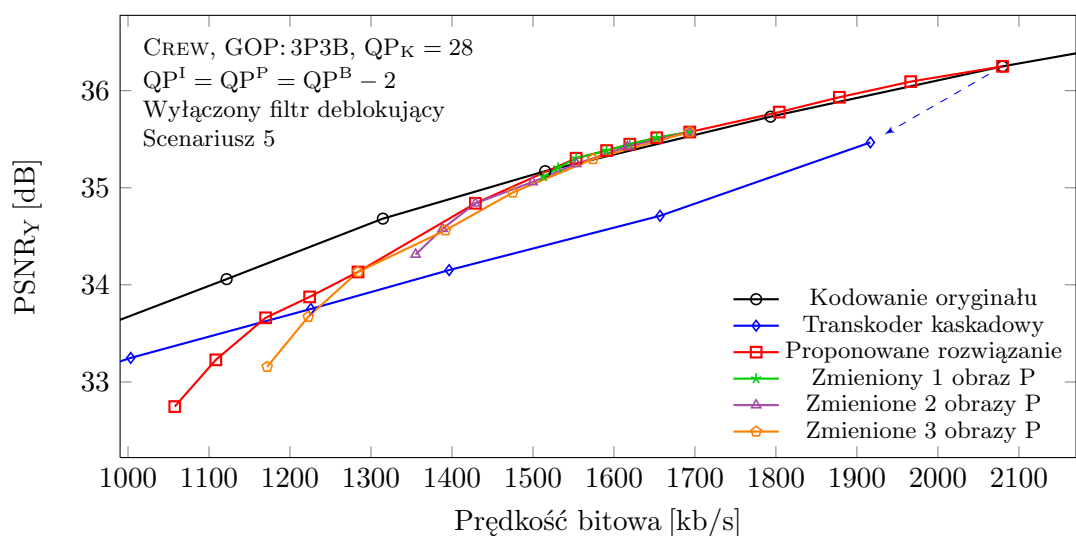
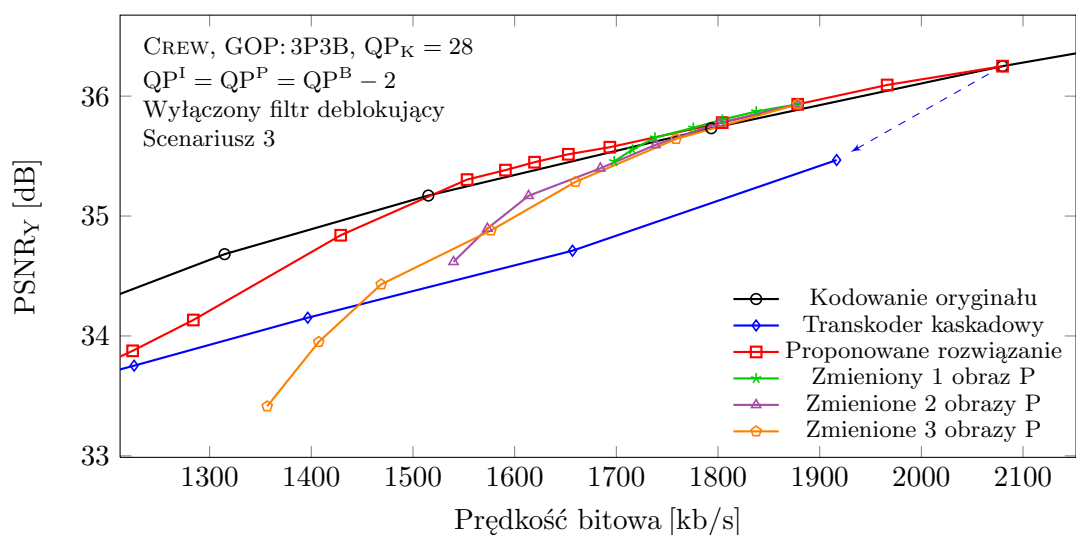
Rysunek D.21: Strata jakości spowodowana modyfikacją próbek transformaty w obrazach typu P. Brak makrobloków Intra w obrazach P i B



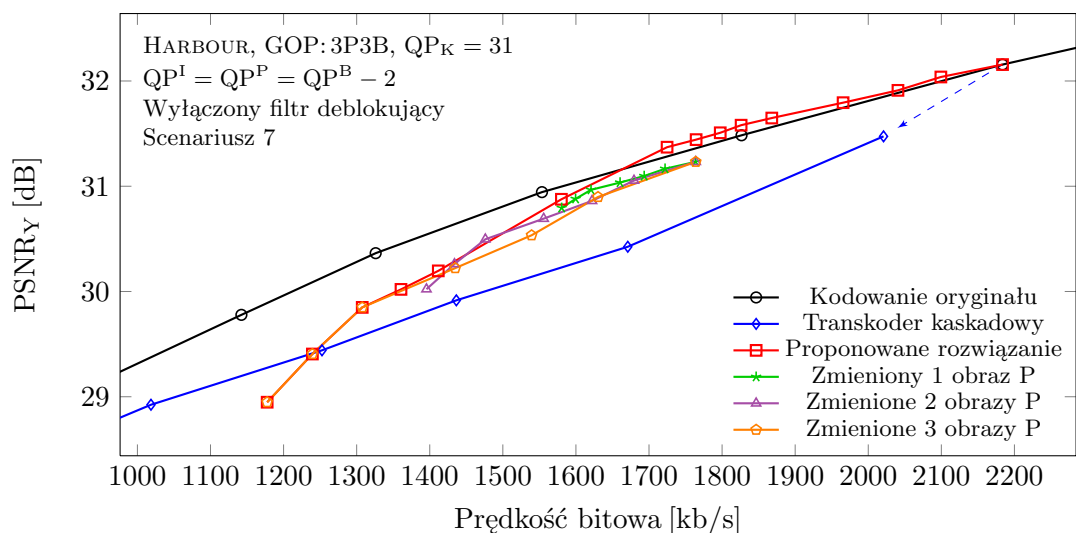
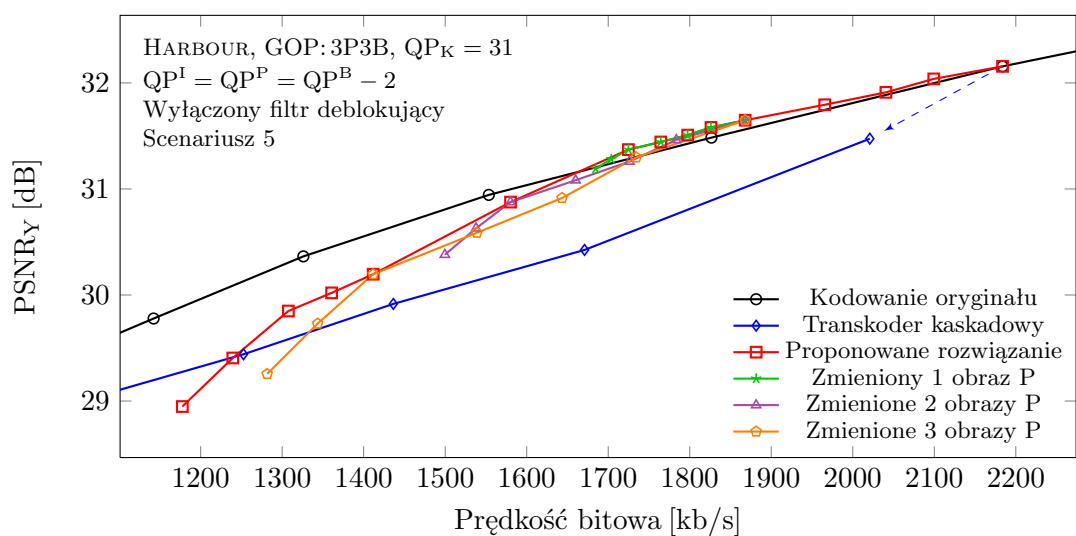
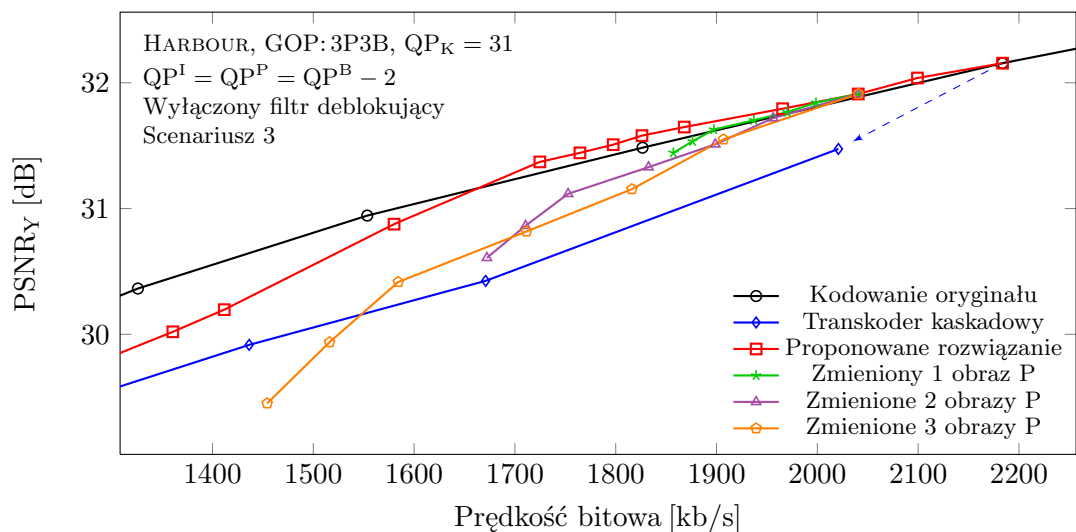
Rysunek D.22: Strata jakości spowodowana modyfikacją próbek transformaty w obrazach typu P. Brak makrobloków Intra w obrazach P i B



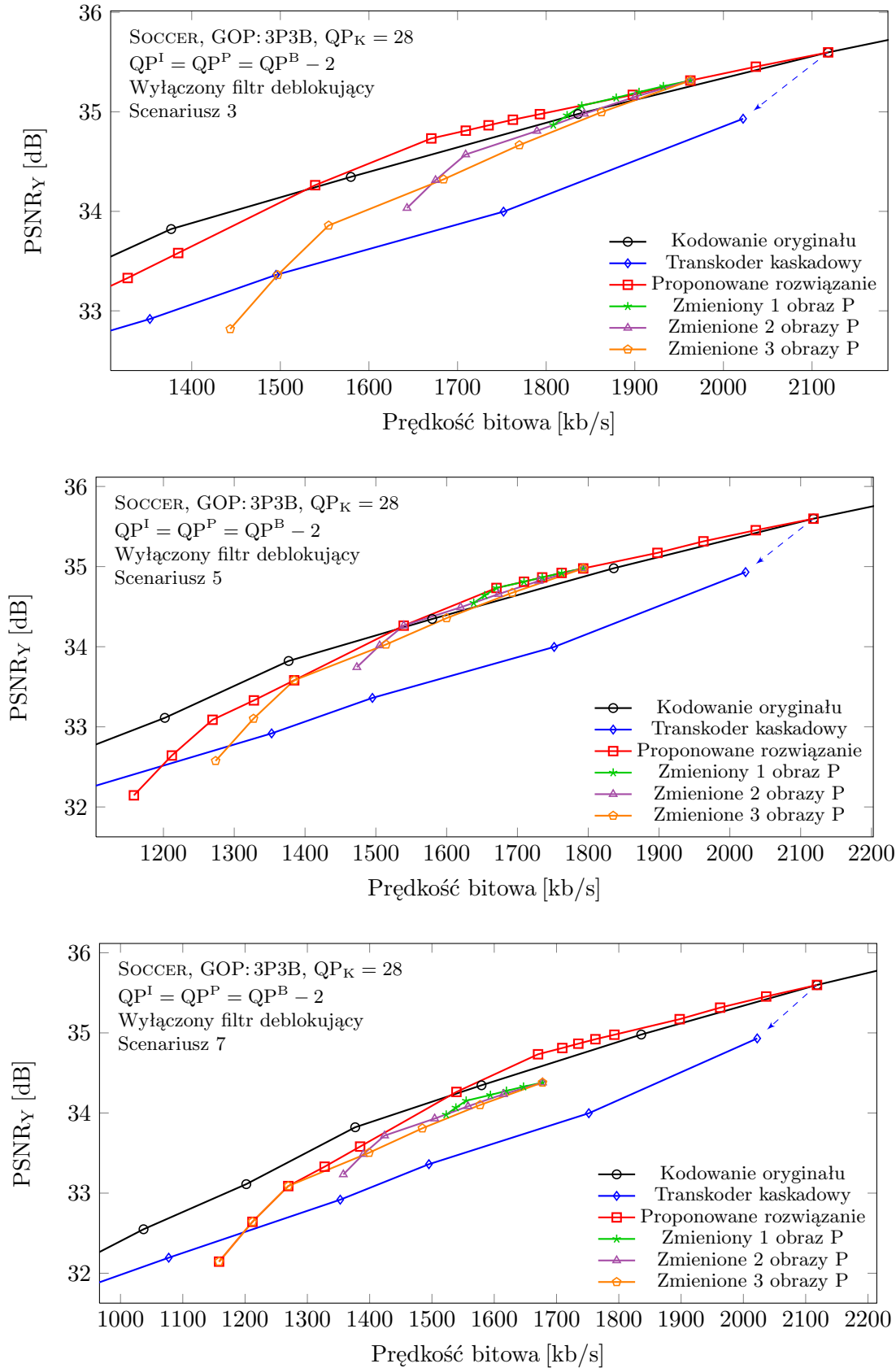
Rysunek D.23: Strata jakości spowodowana modyfikacją próbek transformaty w obrazach typu P. Brak makrobloków Intra w obrazach P i B



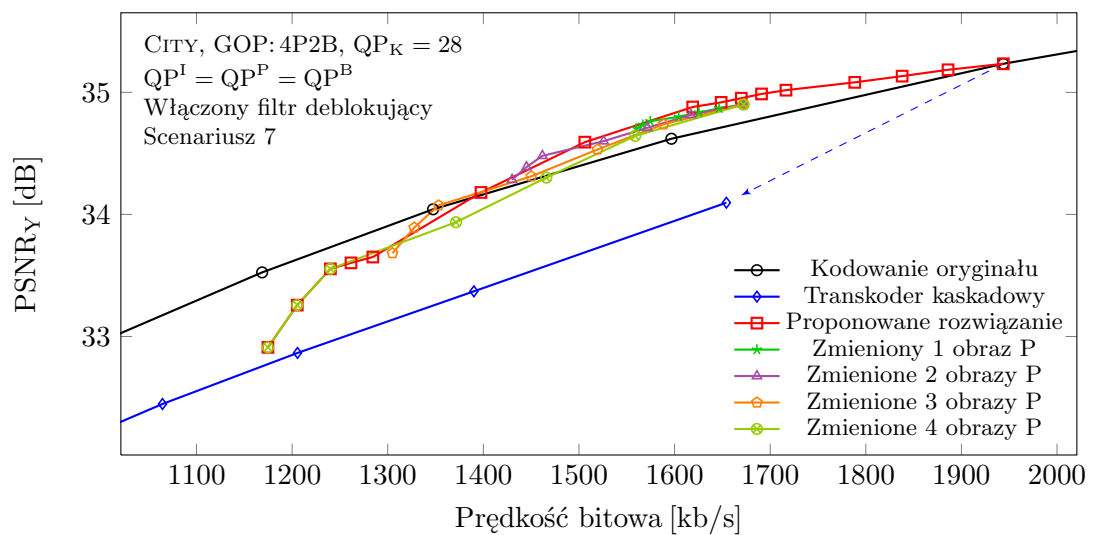
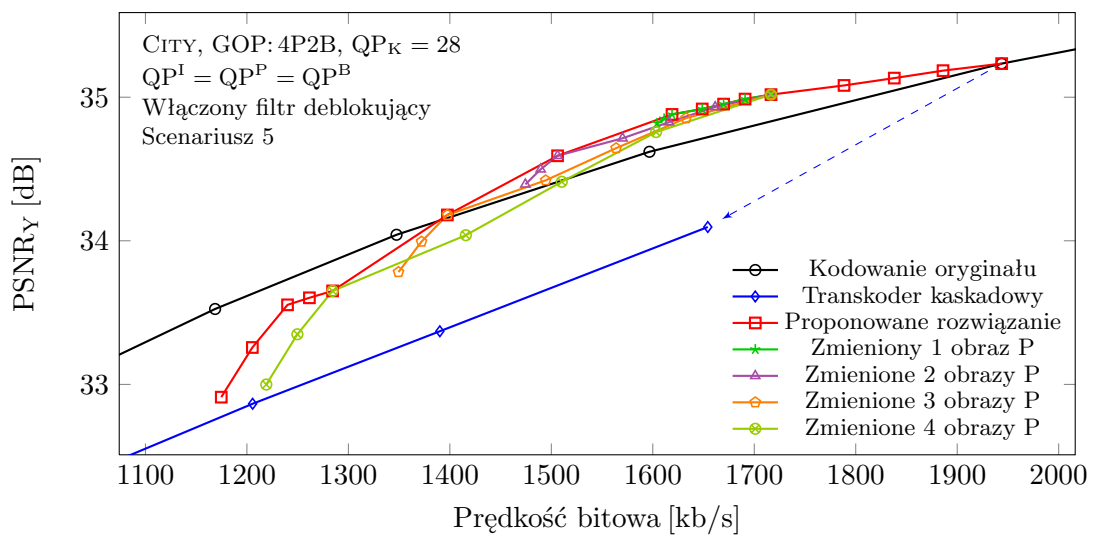
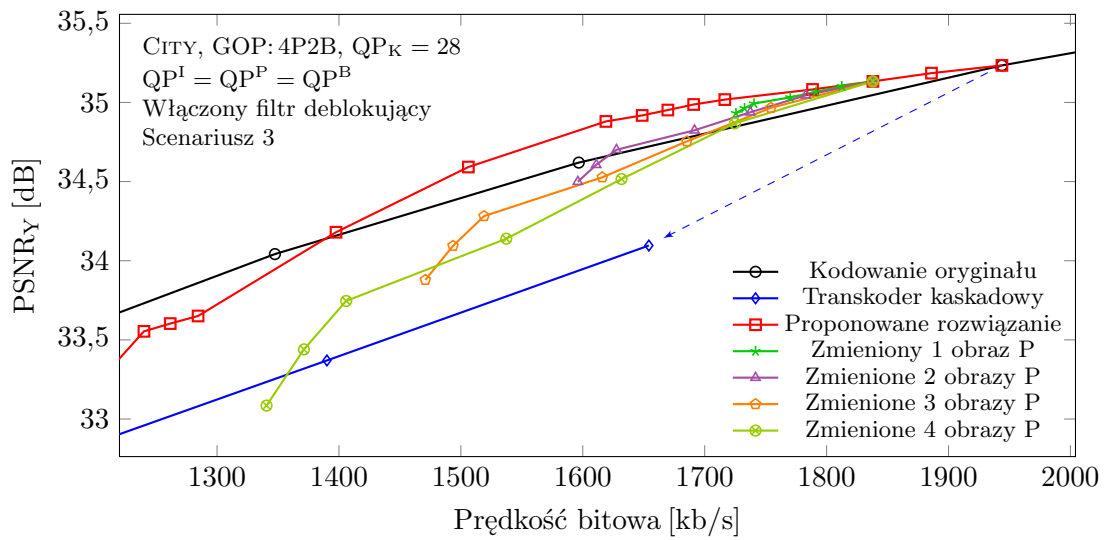
Rysunek D.24: Strata jakości spowodowana modyfikacją próbek transformaty w obrazach typu P. Brak makrobloków Intra w obrazach P i B



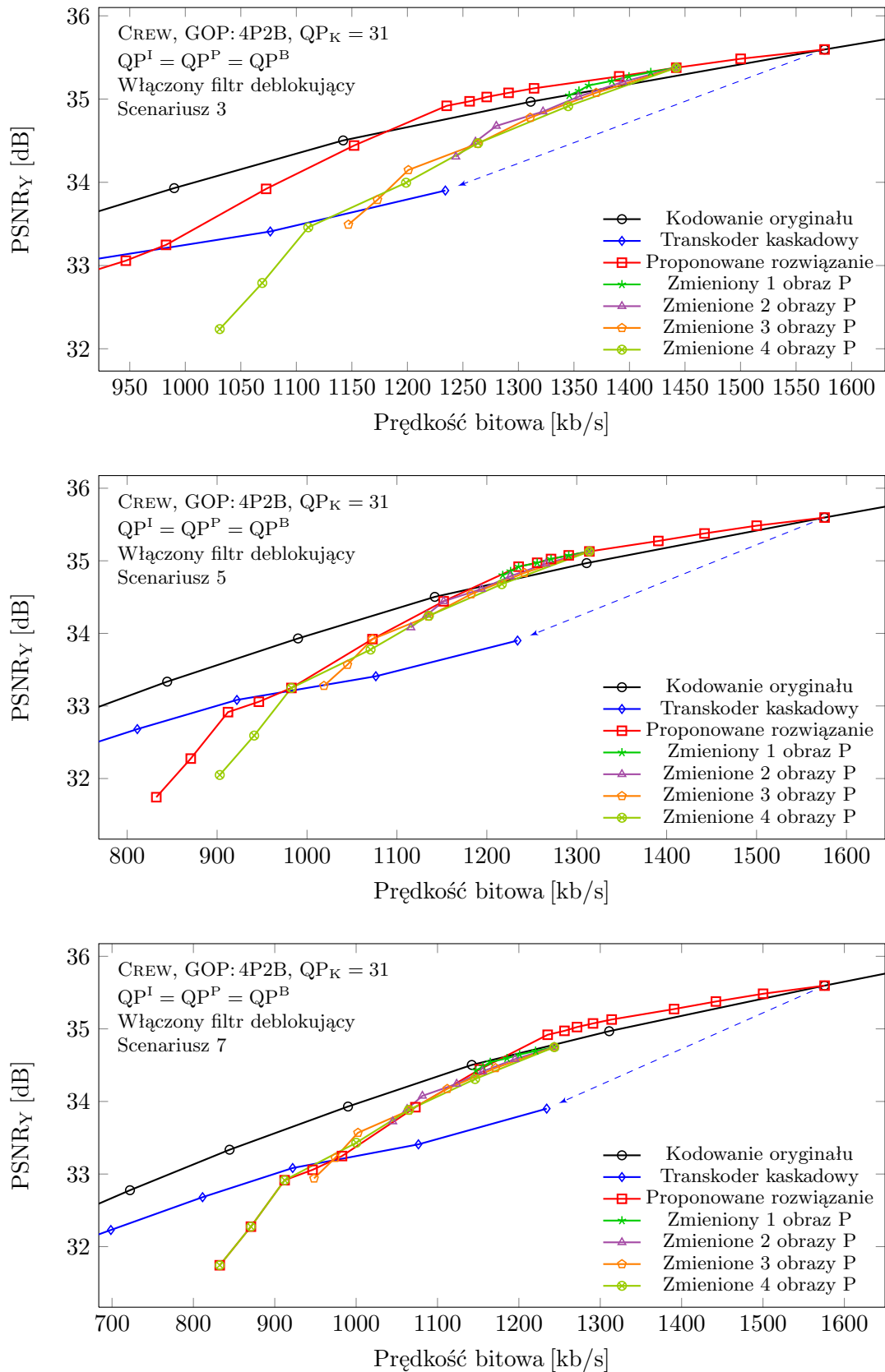
Rysunek D.25: Strata jakości spowodowana modyfikacją próbek transformaty w obrazach typu P. Brak makrobloków Intra w obrazach P i B



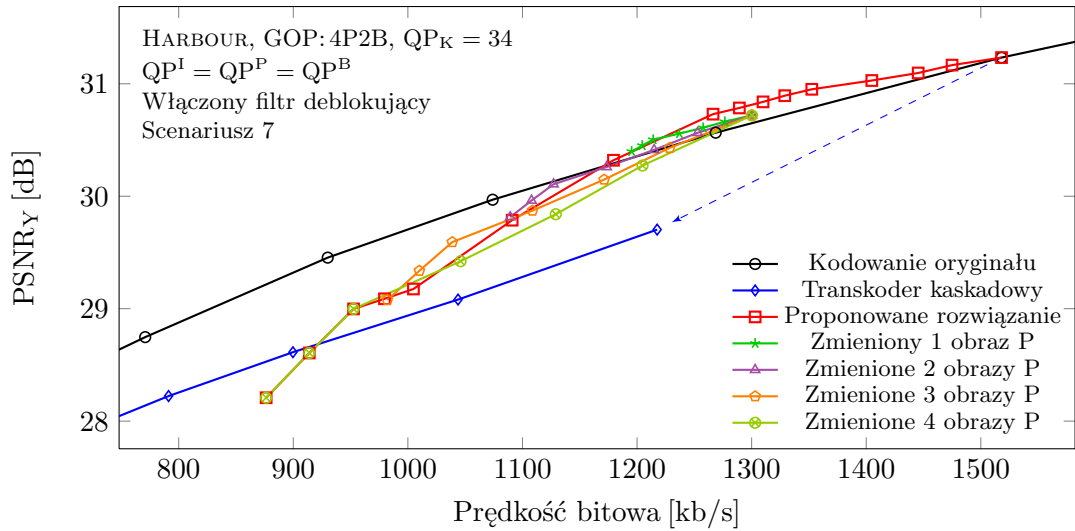
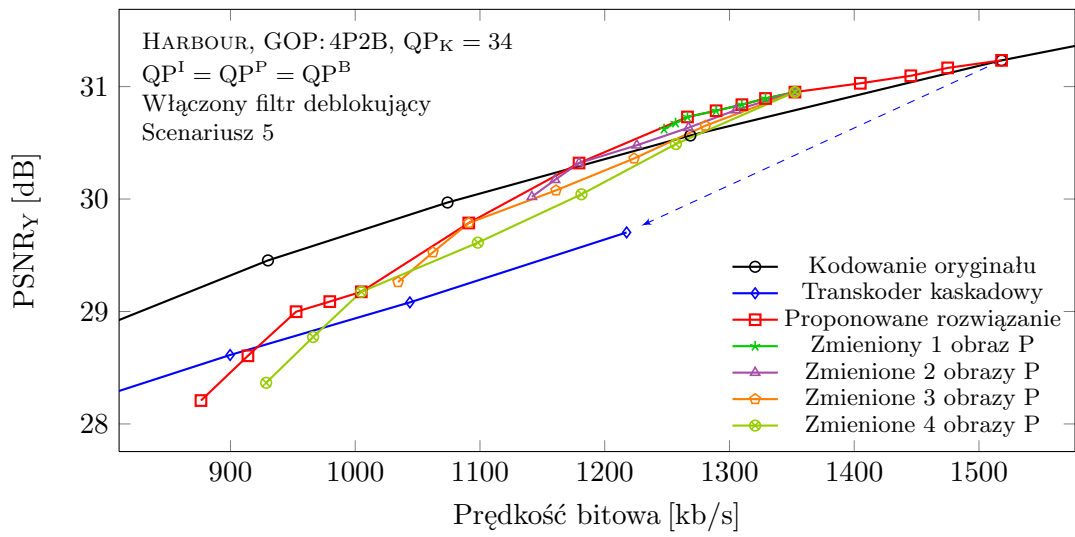
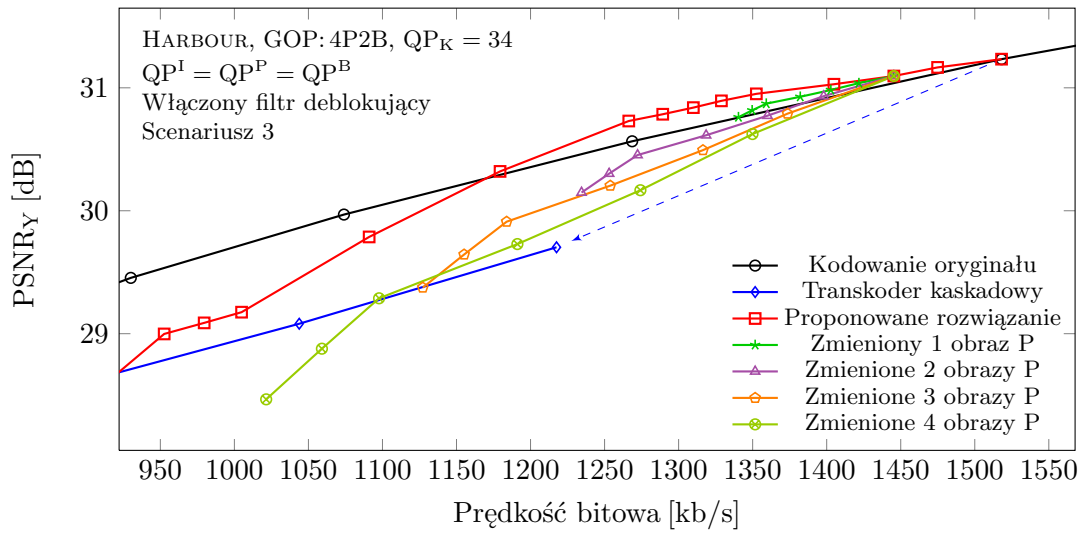
Rysunek D.26: Strata jakości spowodowana modyfikacją próbek transformaty w obrazach typu P. Brak makrobloków Intra w obrazach P i B



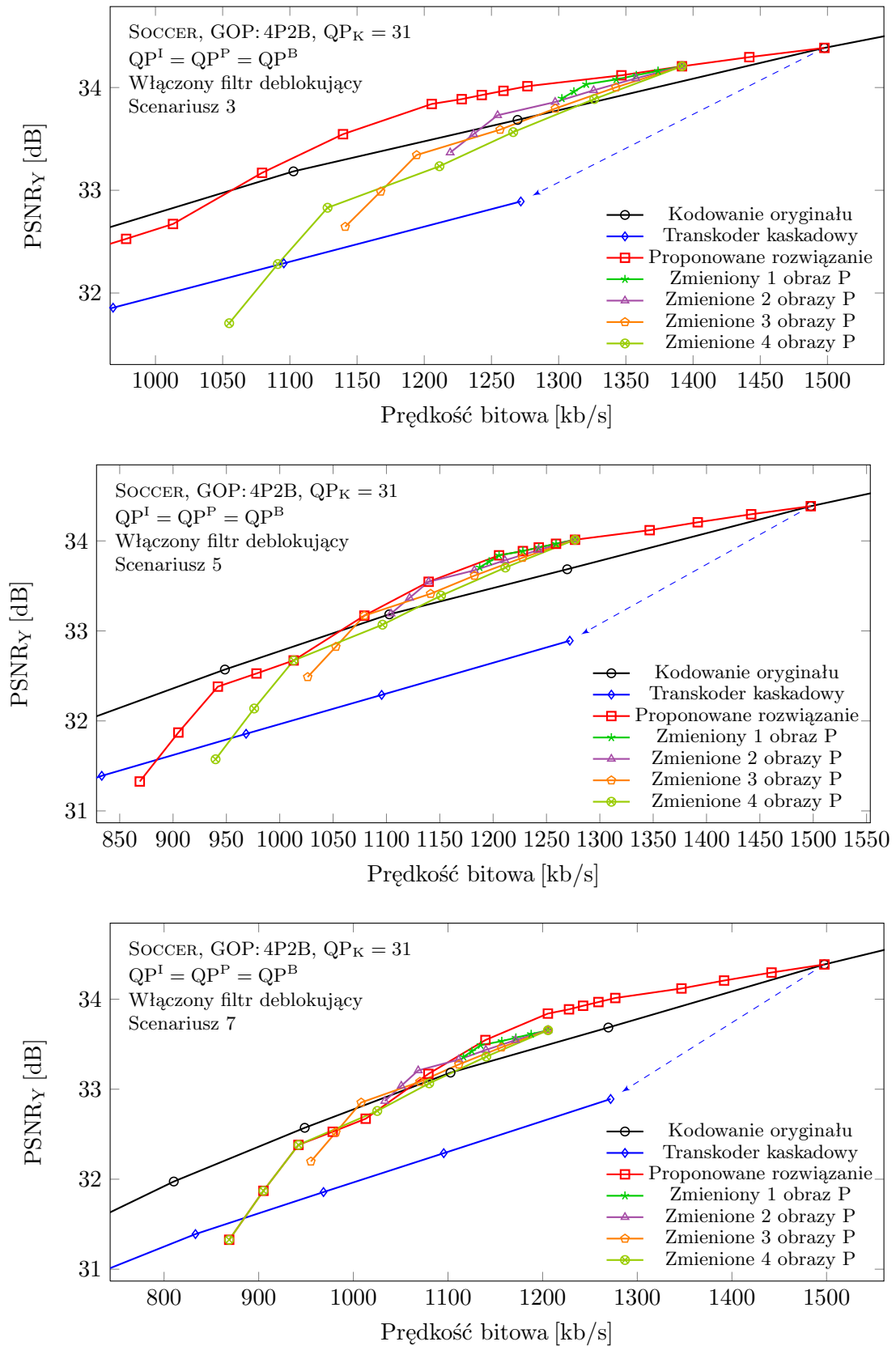
Rysunek D.27: Strata jakości spowodowana modyfikacją próbek transformaty w obrazach typu P. Brak makrobloków Intra w obrazach P i B



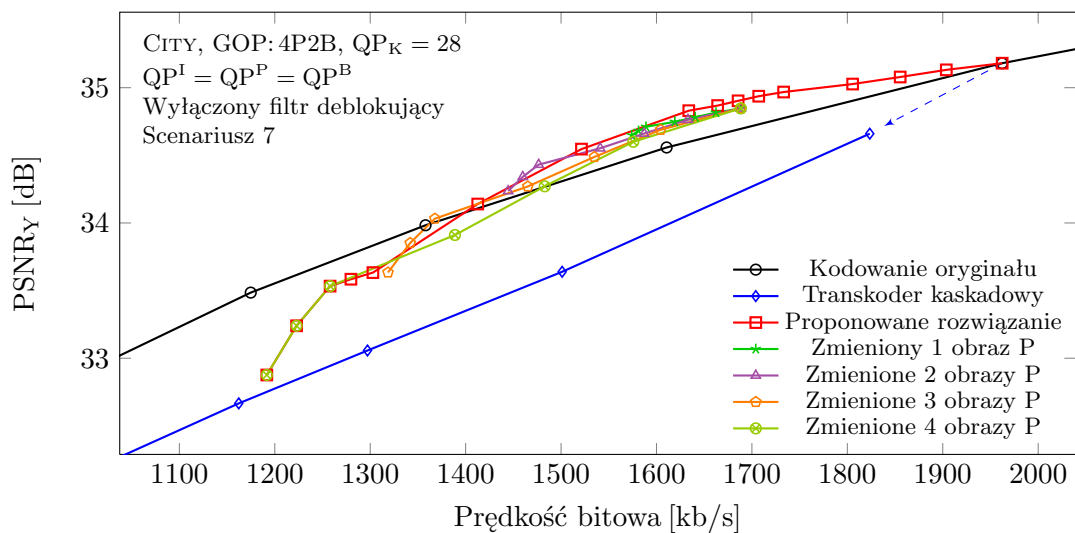
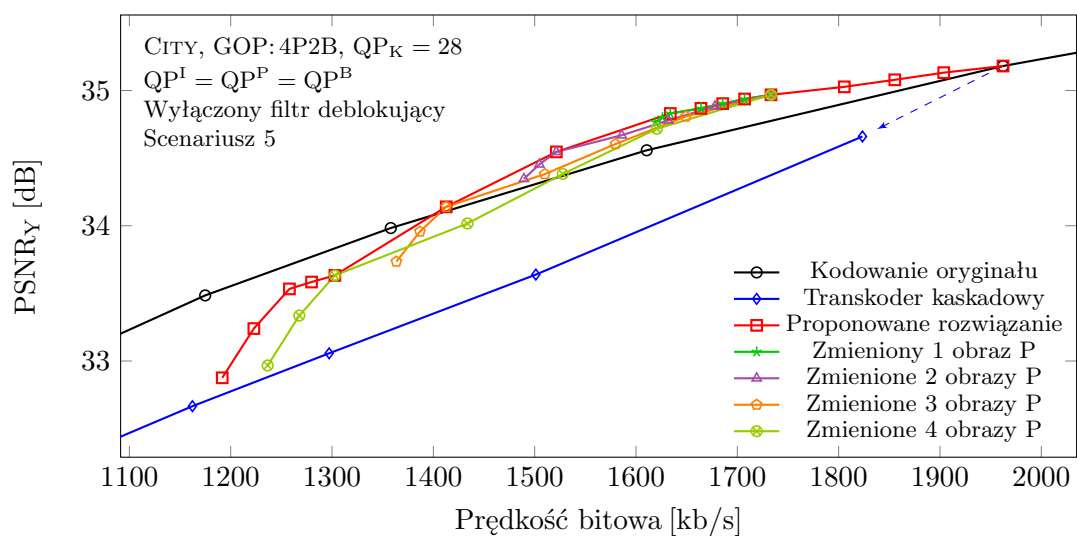
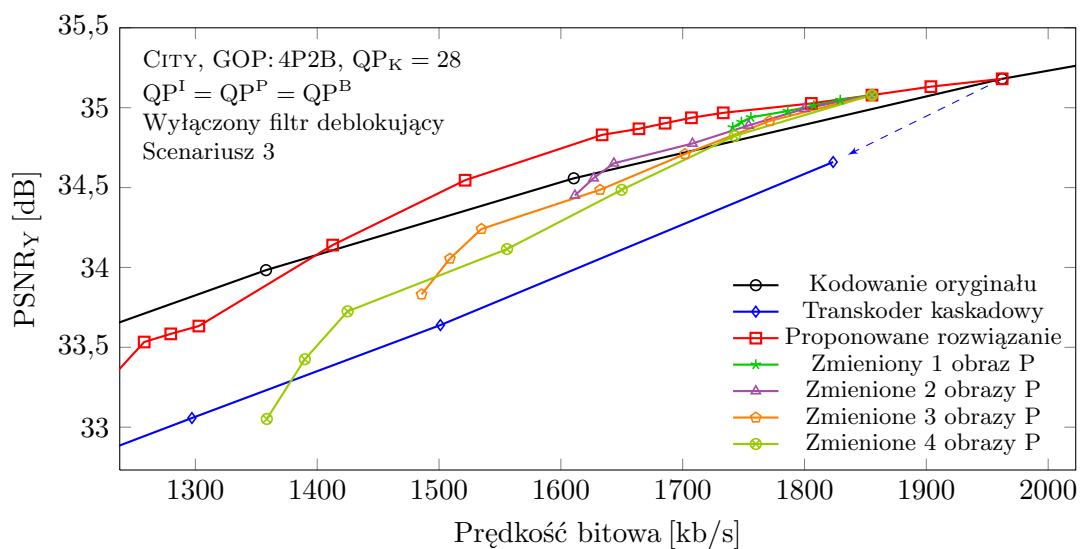
Rysunek D.28: Strata jakości spowodowana modyfikacją próbek transformaty w obrazach typu P. Brak makrobloków Intra w obrazach P i B



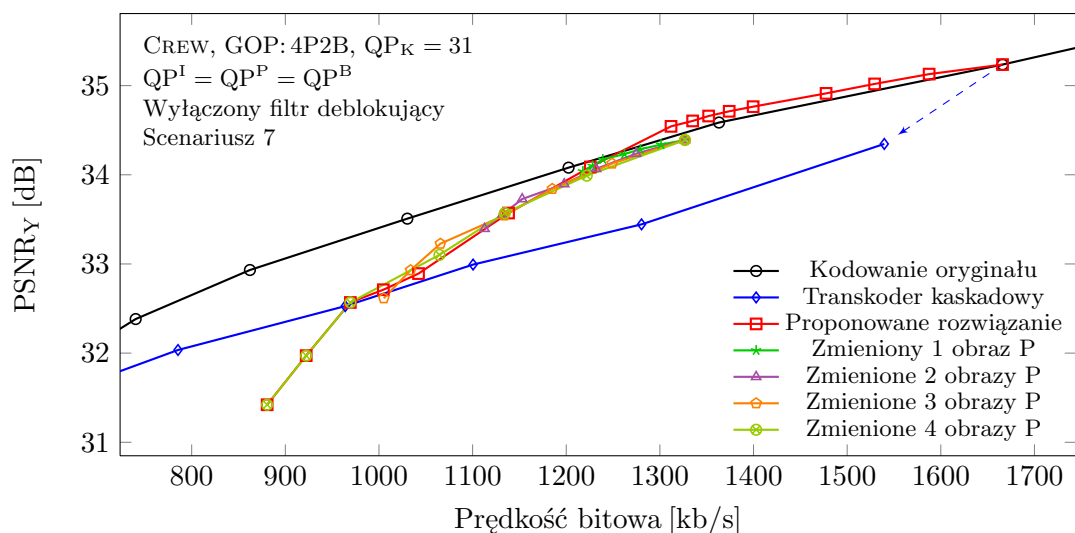
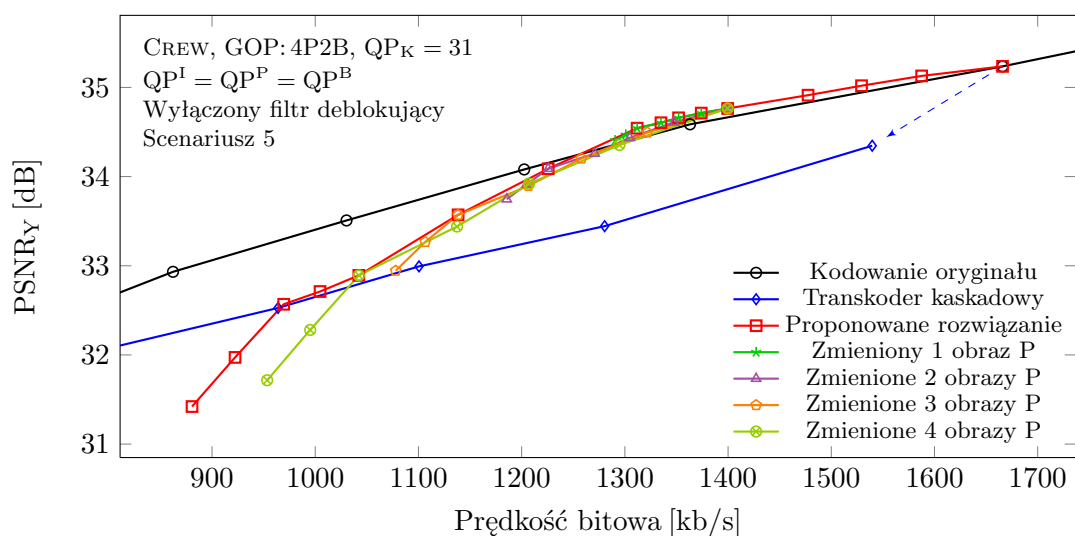
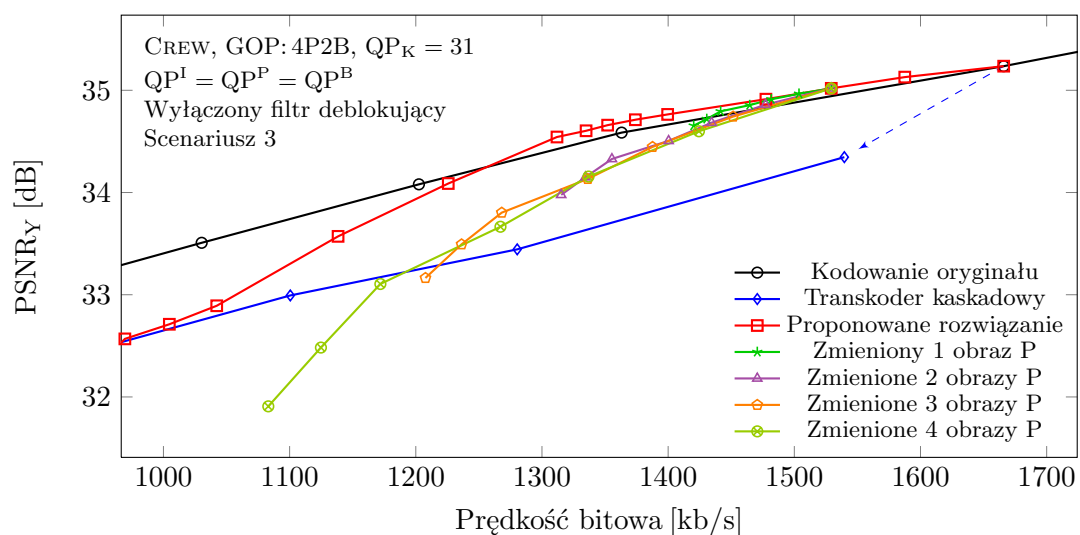
Rysunek D.29: Strata jakości spowodowana modyfikacją próbek transformaty w obrazach typu P. Brak makrobloków Intra w obrazach P i B



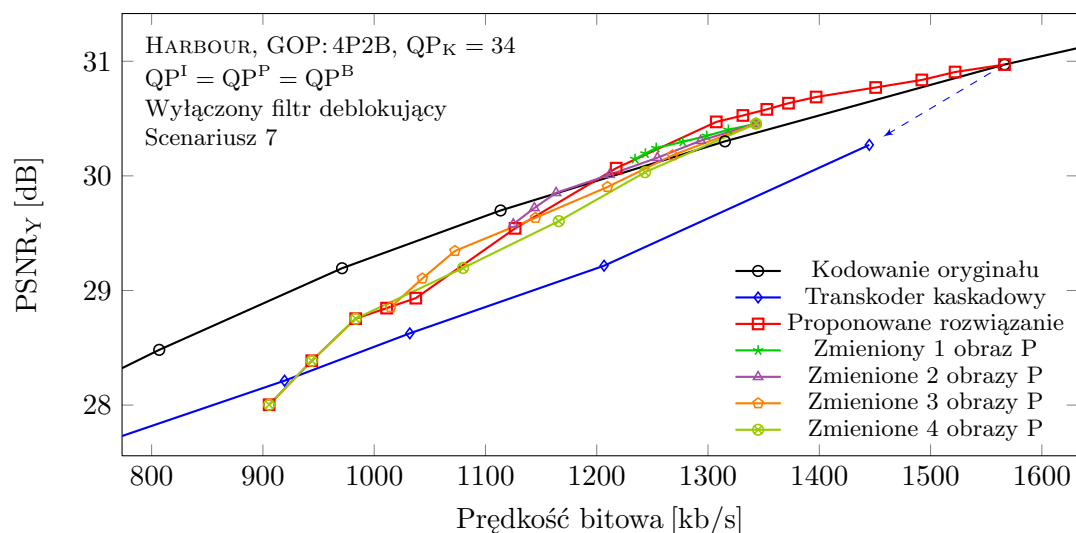
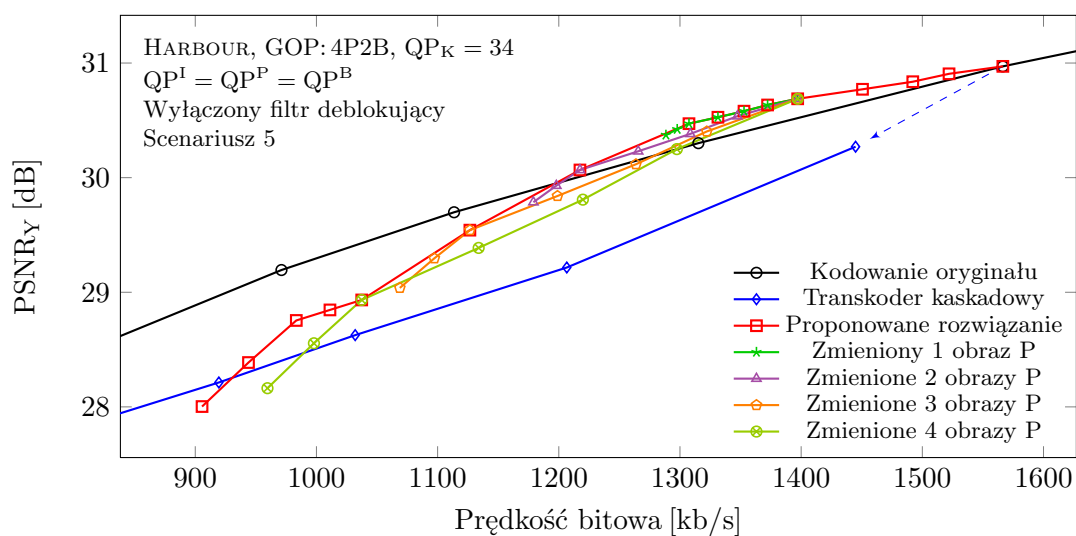
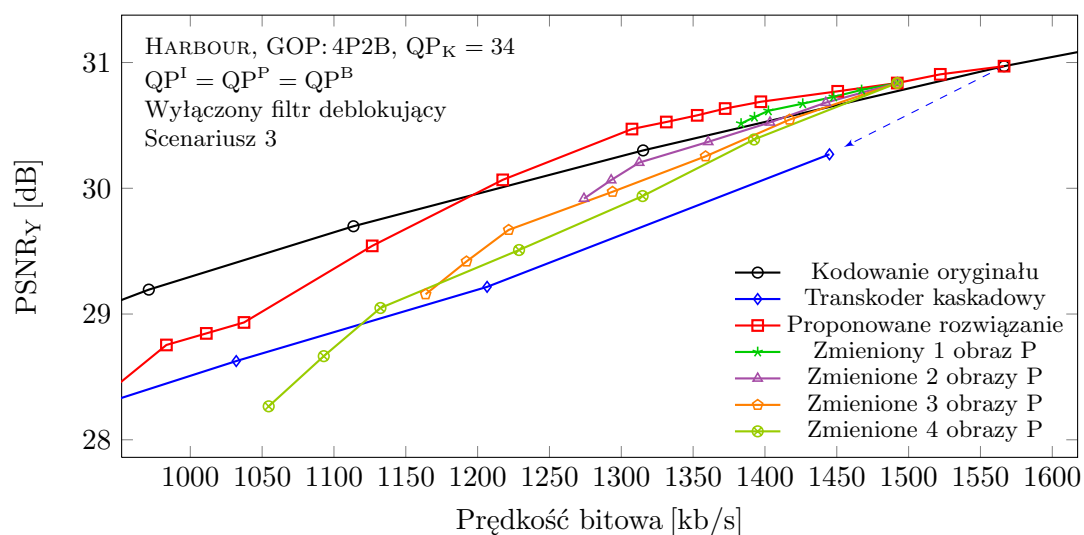
Rysunek D.30: Strata jakości spowodowana modyfikacją próbek transformaty w obrazach typu P. Brak makrobloków Intra w obrazach P i B



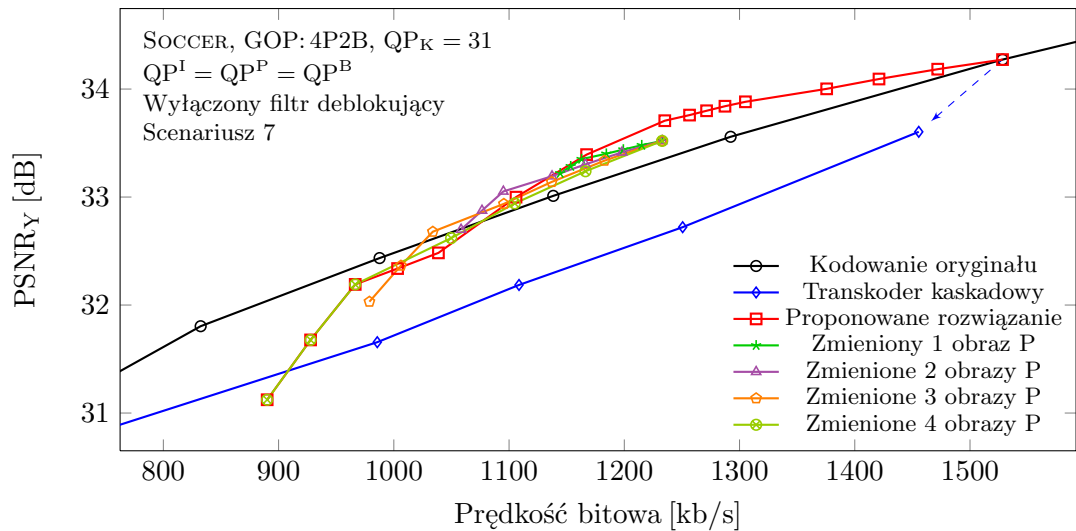
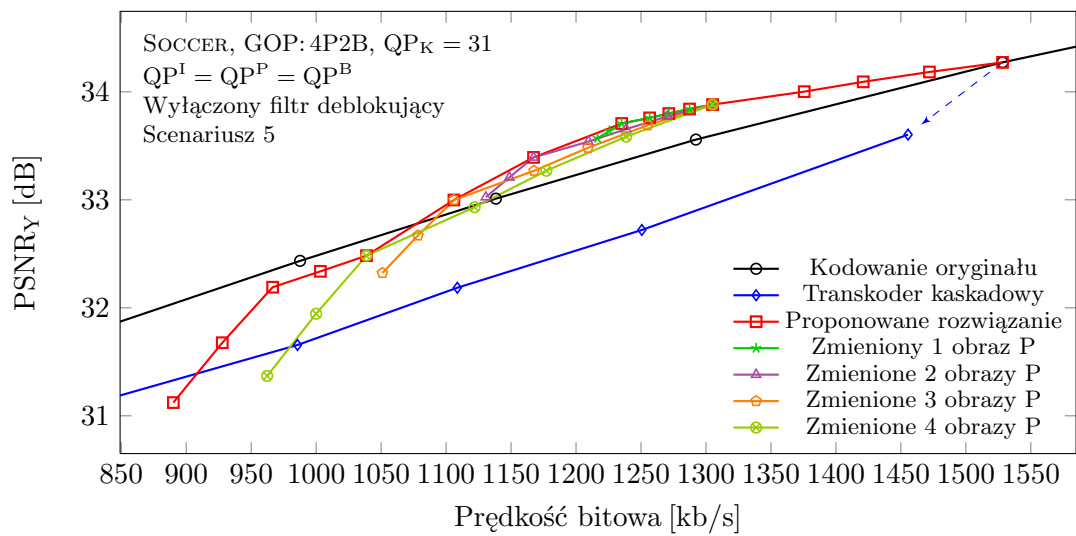
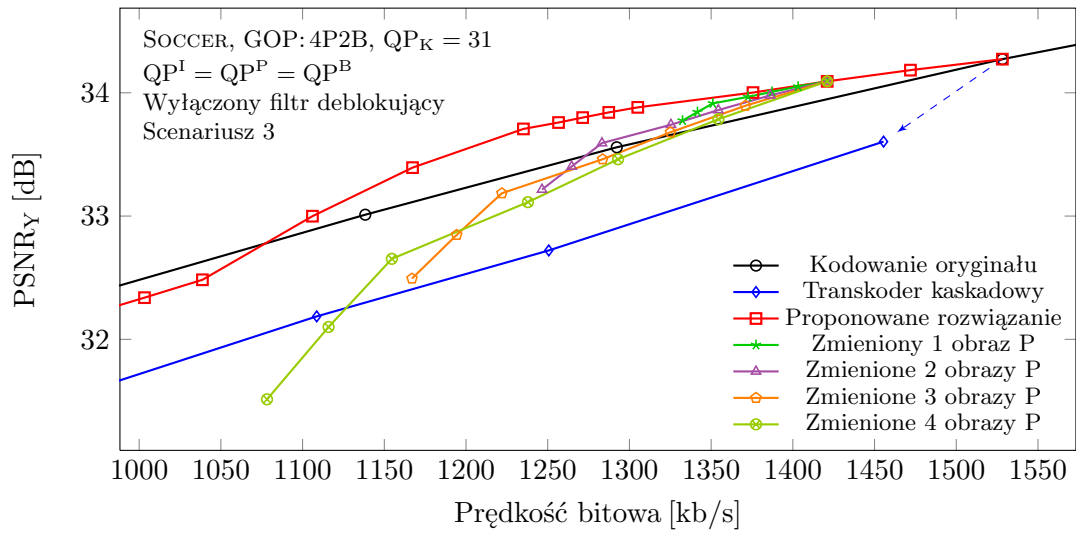
Rysunek D.31: Strata jakości spowodowana modyfikacją próbek transformaty w obrazach typu P. Brak makrobloków Intra w obrazach P i B



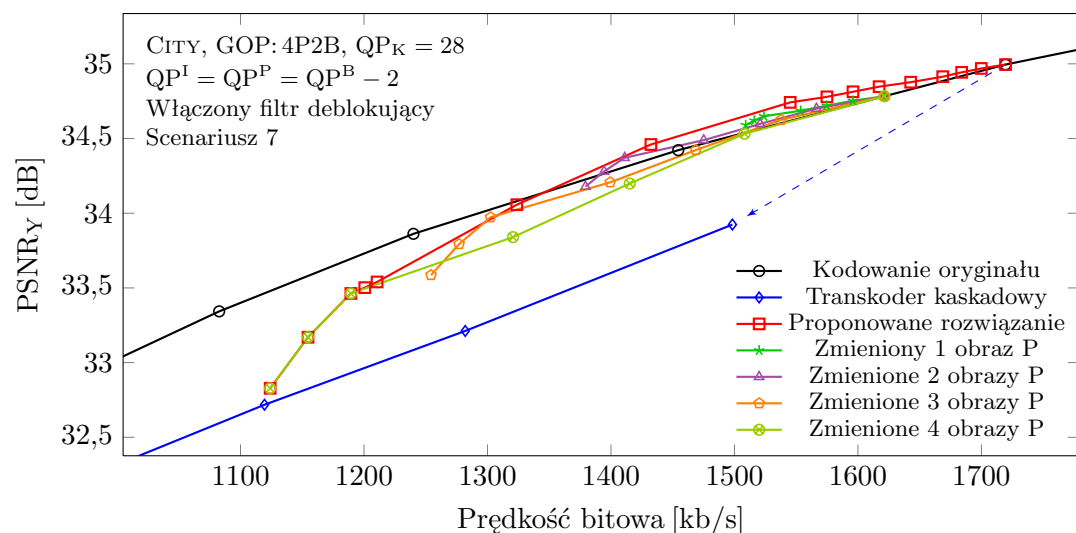
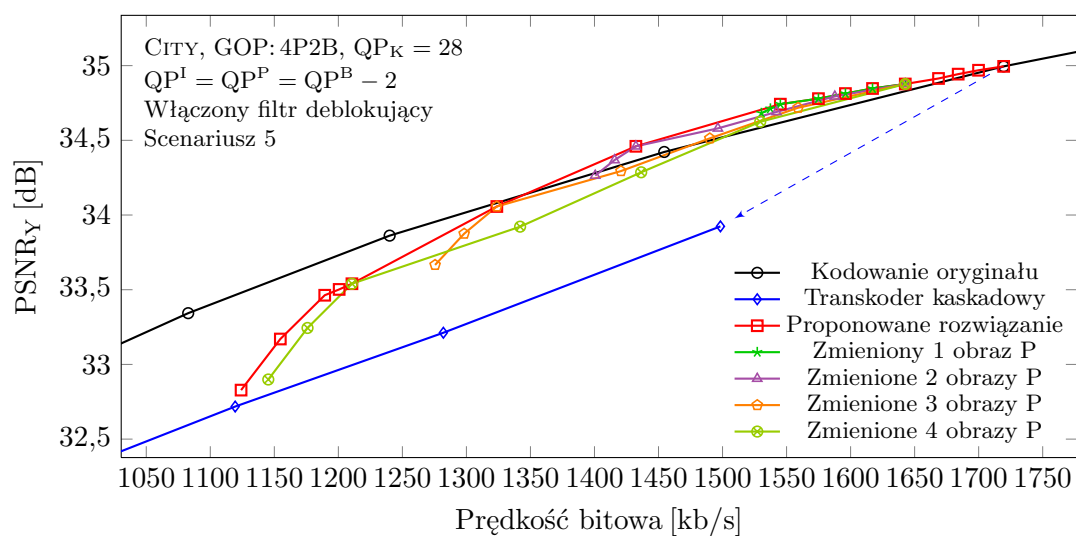
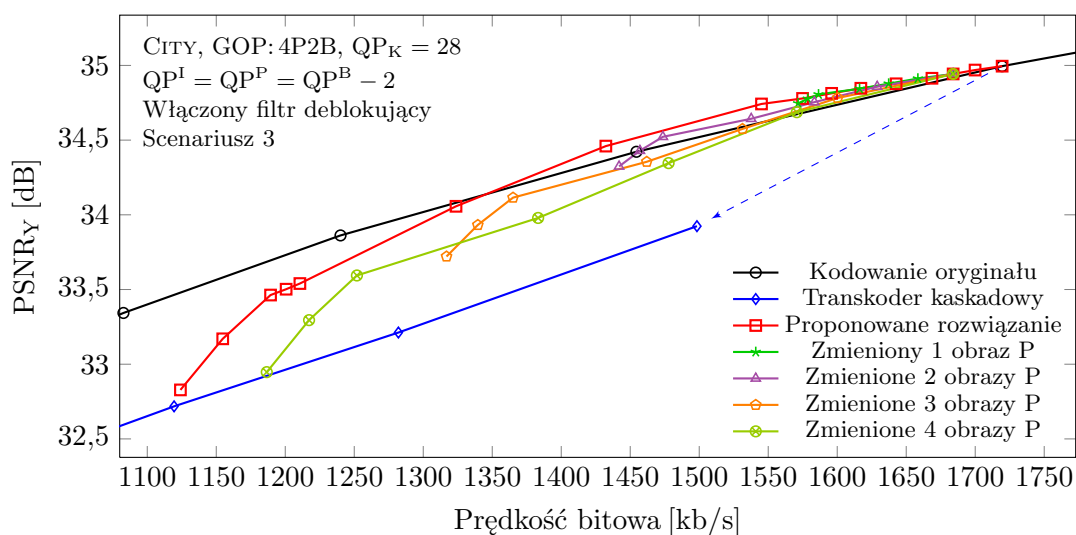
Rysunek D.32: Strata jakości spowodowana modyfikacją próbek transformaty w obrazach typu P. Brak makrobloków Intra w obrazach P i B



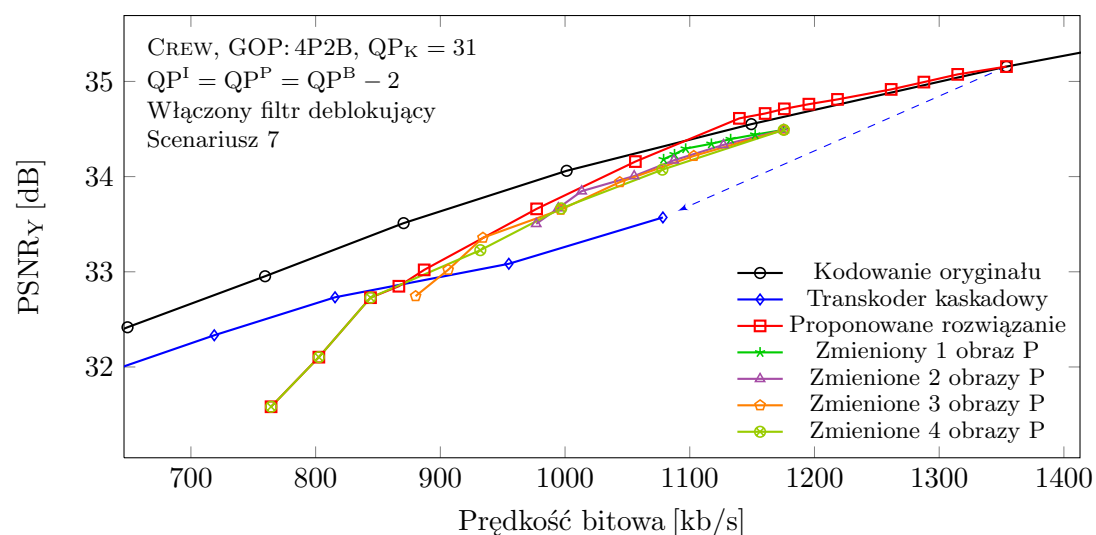
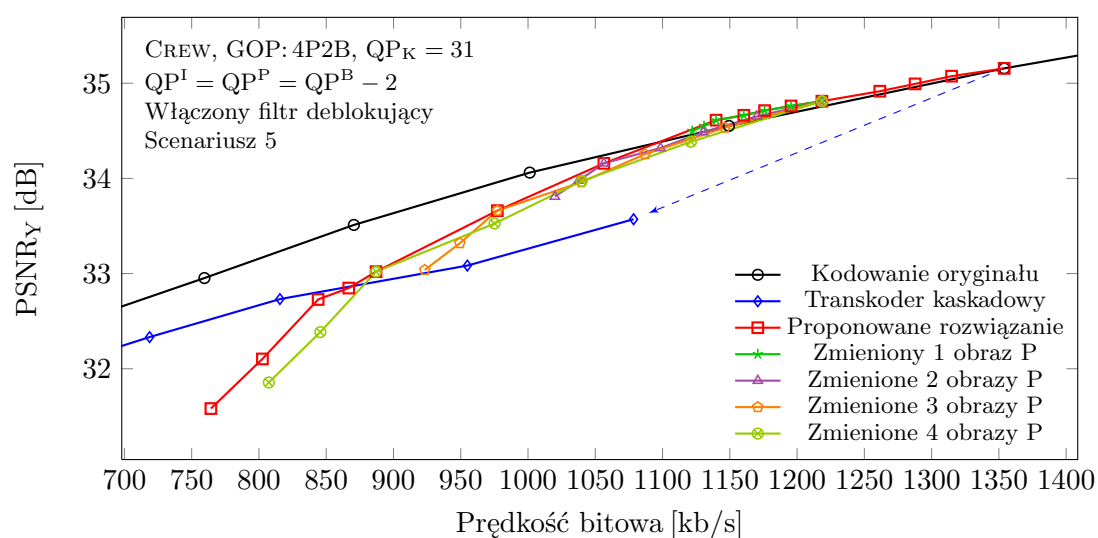
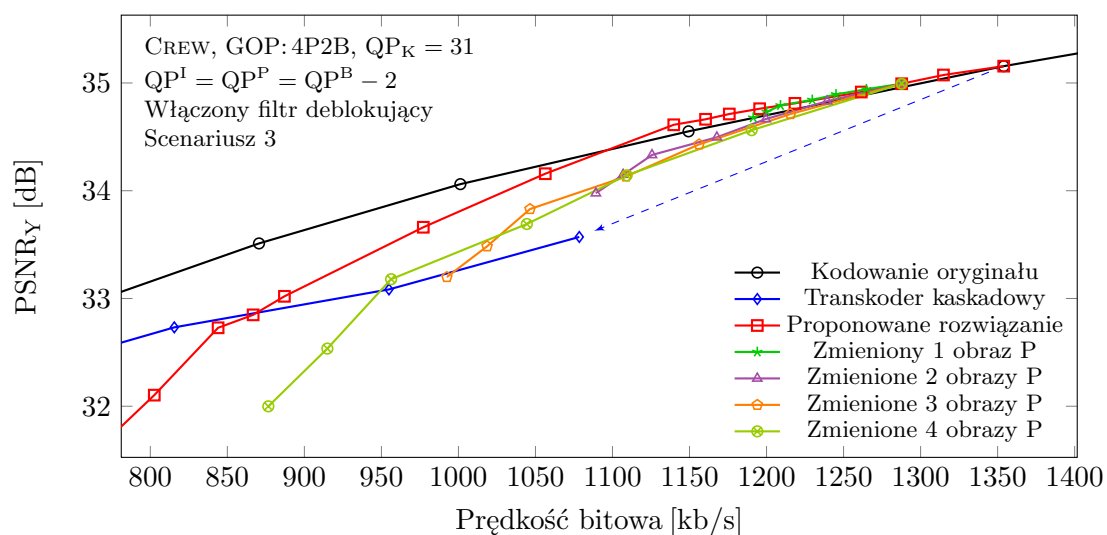
Rysunek D.33: Strata jakości spowodowana modyfikacją próbek transformaty w obrazach typu P. Brak makrobloków Intra w obrazach P i B



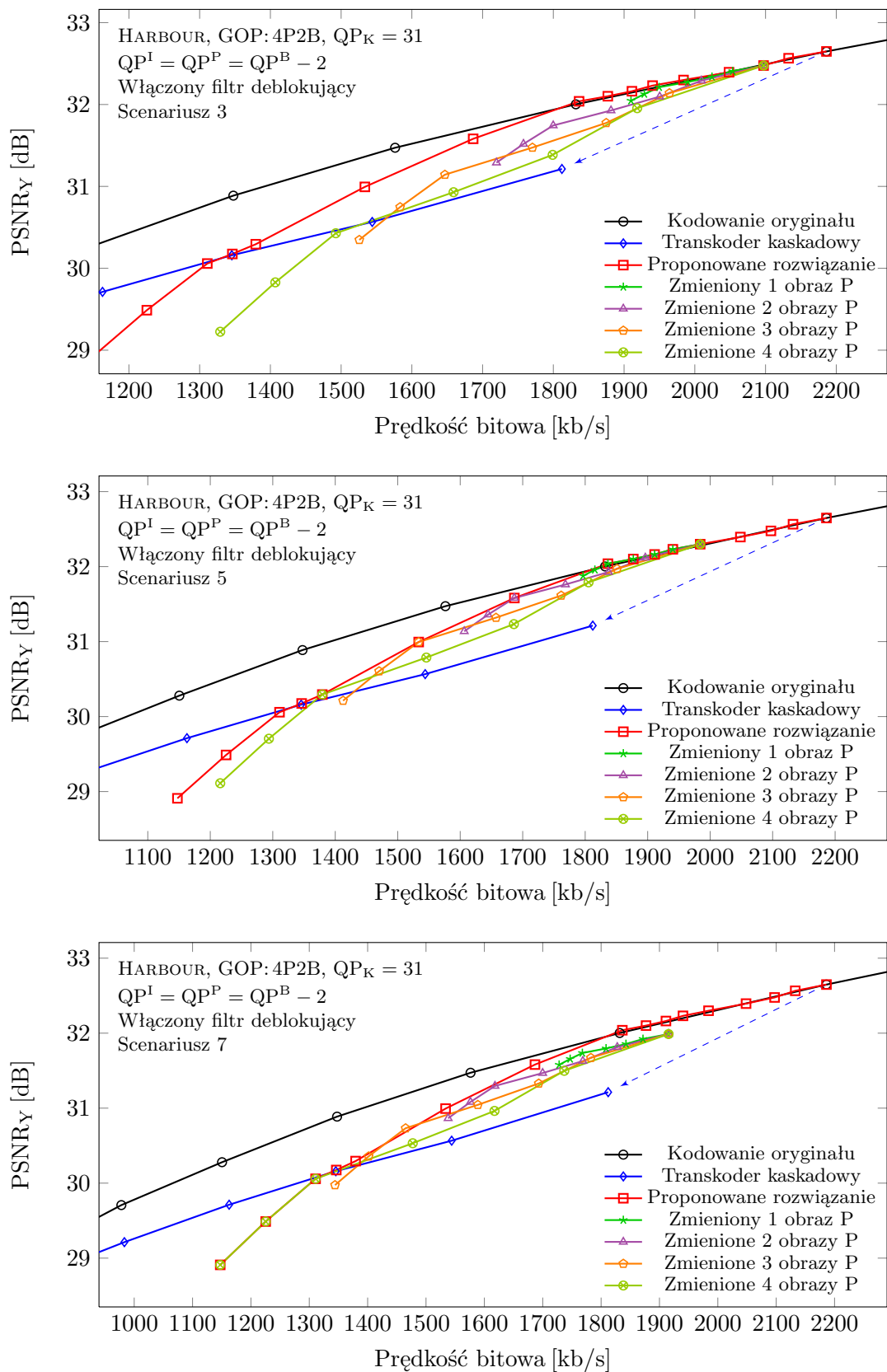
Rysunek D.34: Strata jakości spowodowana modyfikacją próbek transformaty w obrazach typu P. Brak makrobloków Intra w obrazach P i B



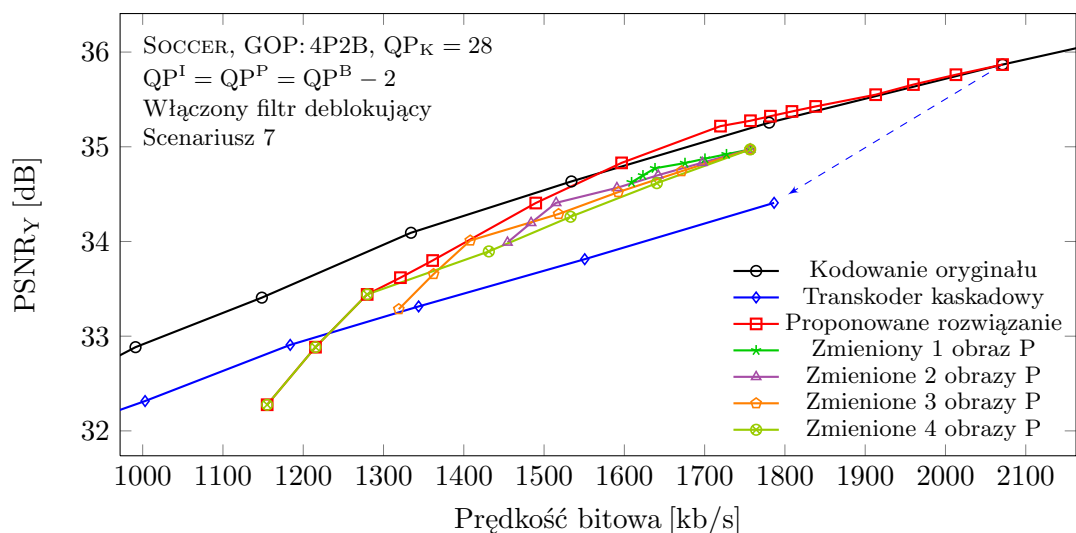
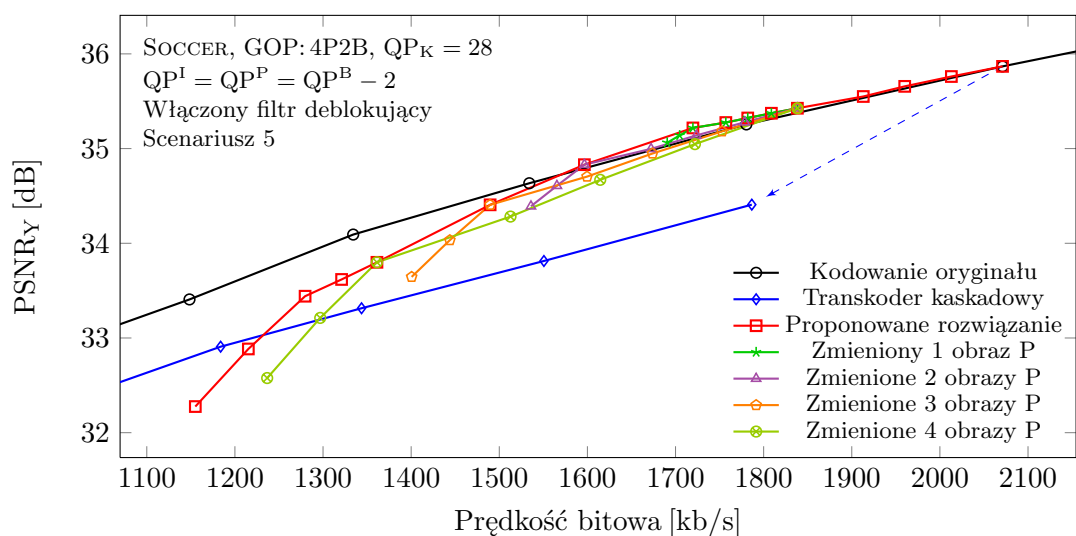
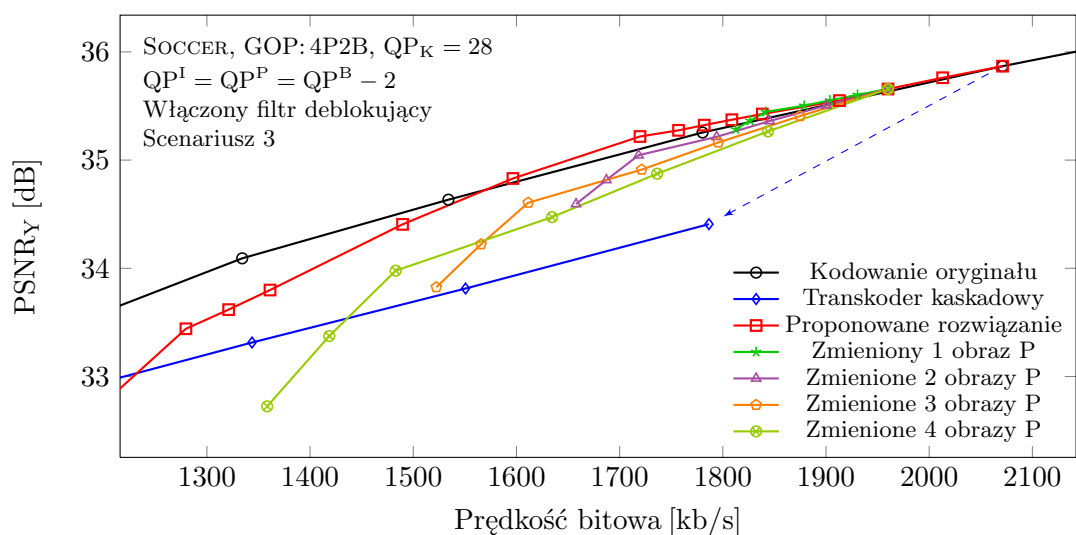
Rysunek D.35: Strata jakości spowodowana modyfikacją próbek transformaty w obrazach typu P. Brak makrobloków Intra w obrazach P i B



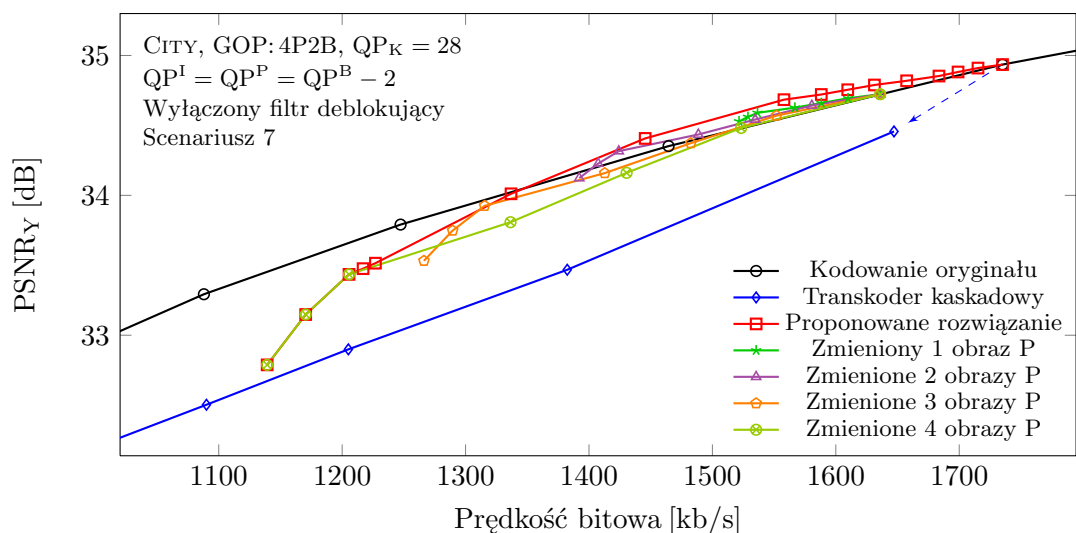
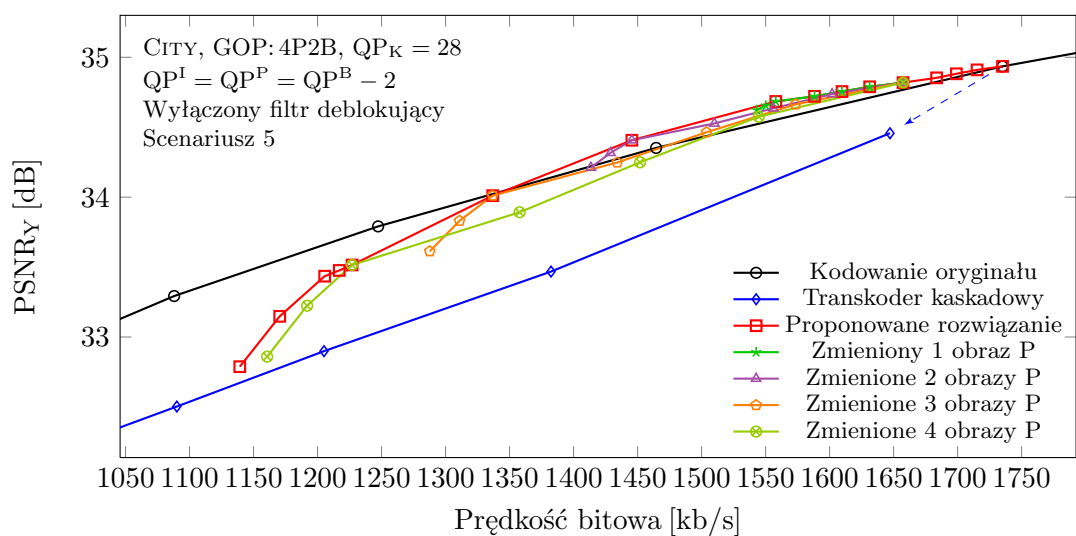
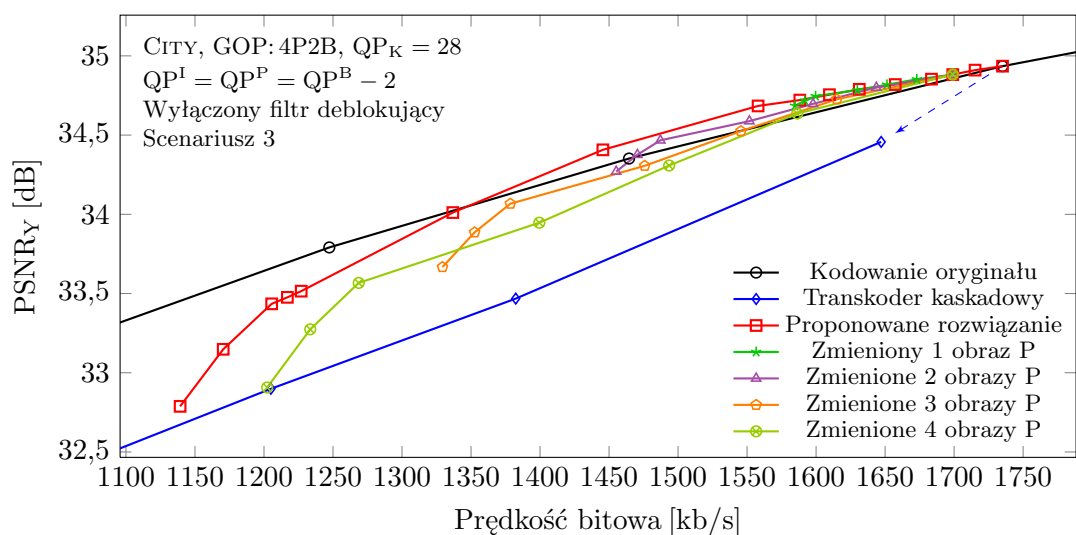
Rysunek D.36: Strata jakości spowodowana modyfikacją próbek transformaty w obrazach typu P. Brak makrobloków Intra w obrazach P i B



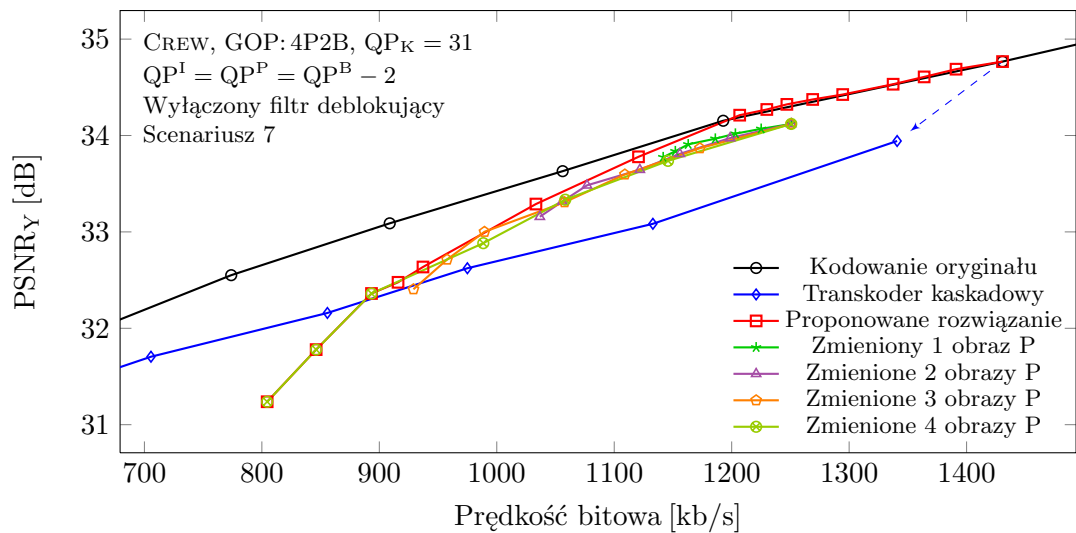
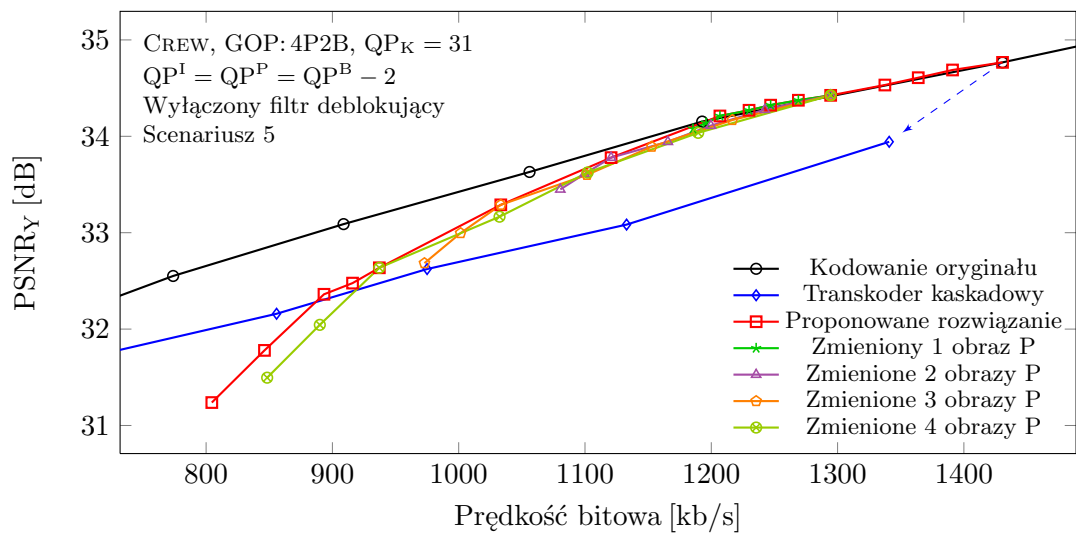
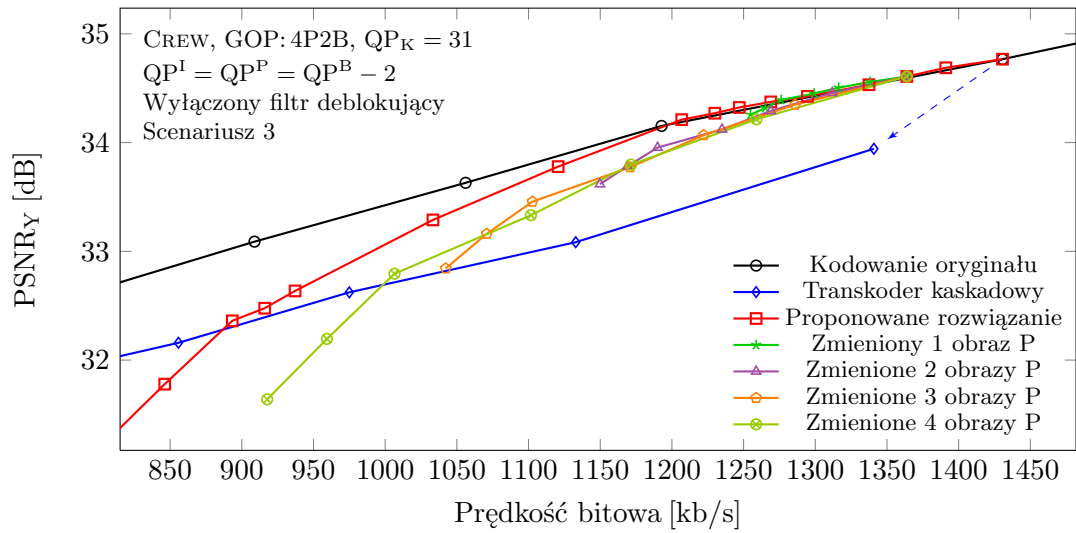
Rysunek D.37: Strata jakości spowodowana modyfikacją próbek transformaty w obrazach typu P. Brak makrobloków Intra w obrazach P i B



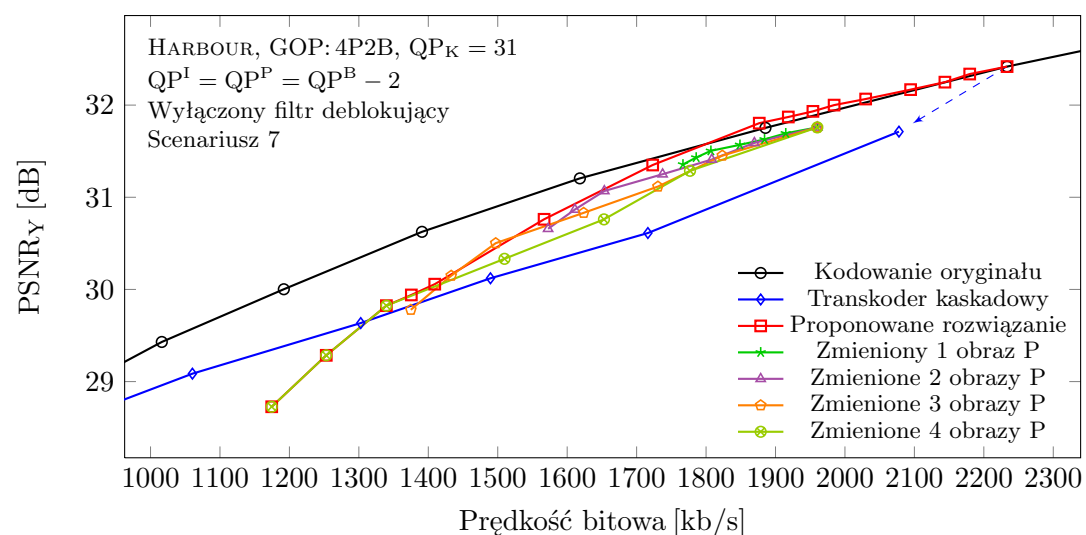
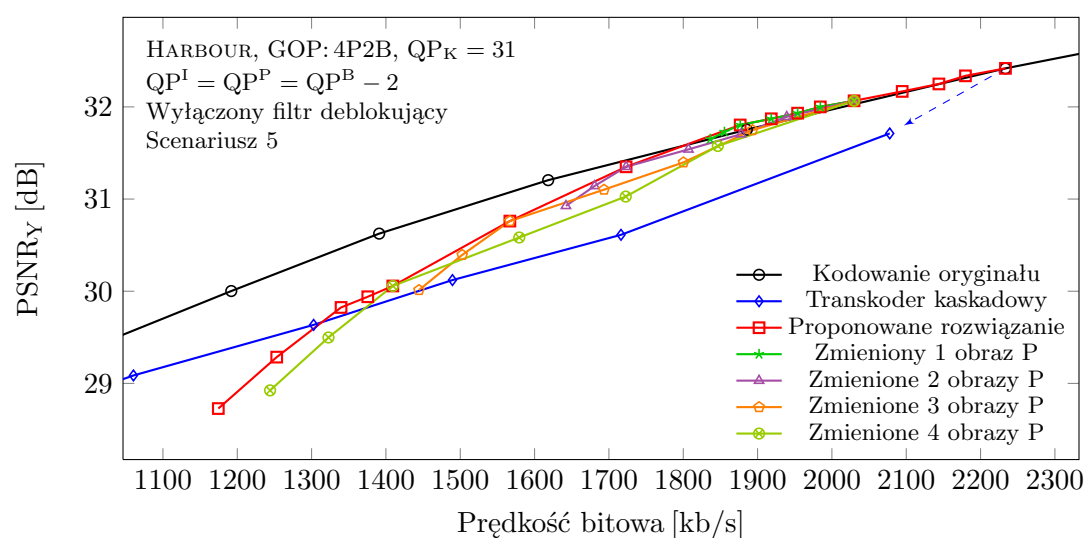
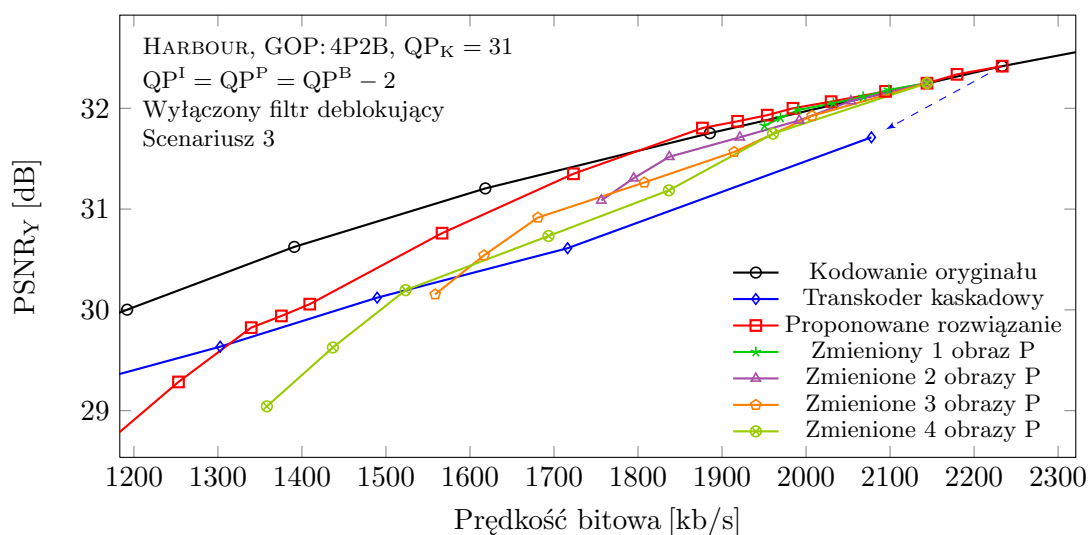
Rysunek D.38: Strata jakości spowodowana modyfikacją próbek transformaty w obrazach typu P. Brak makrobloków Intra w obrazach P i B



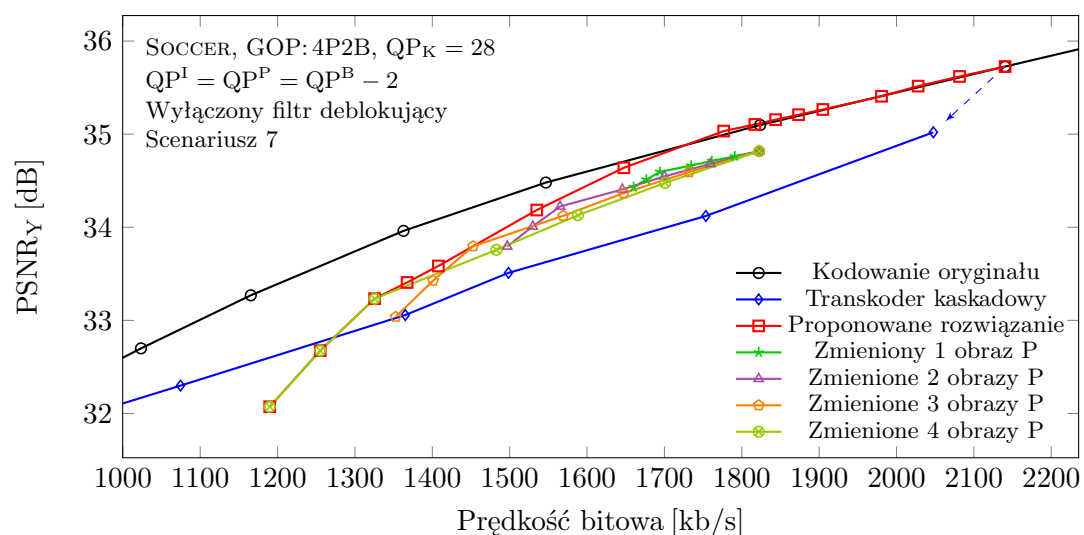
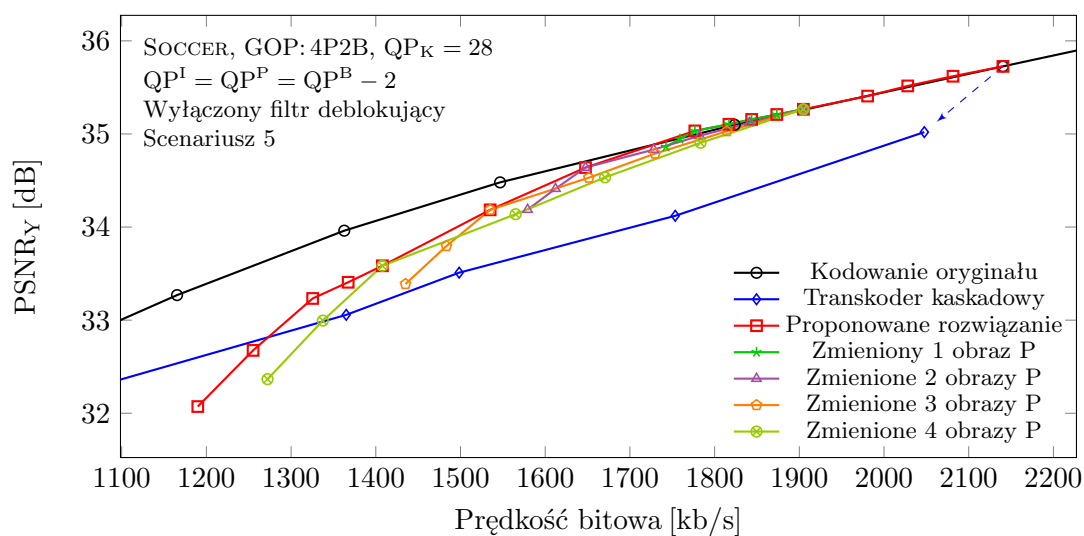
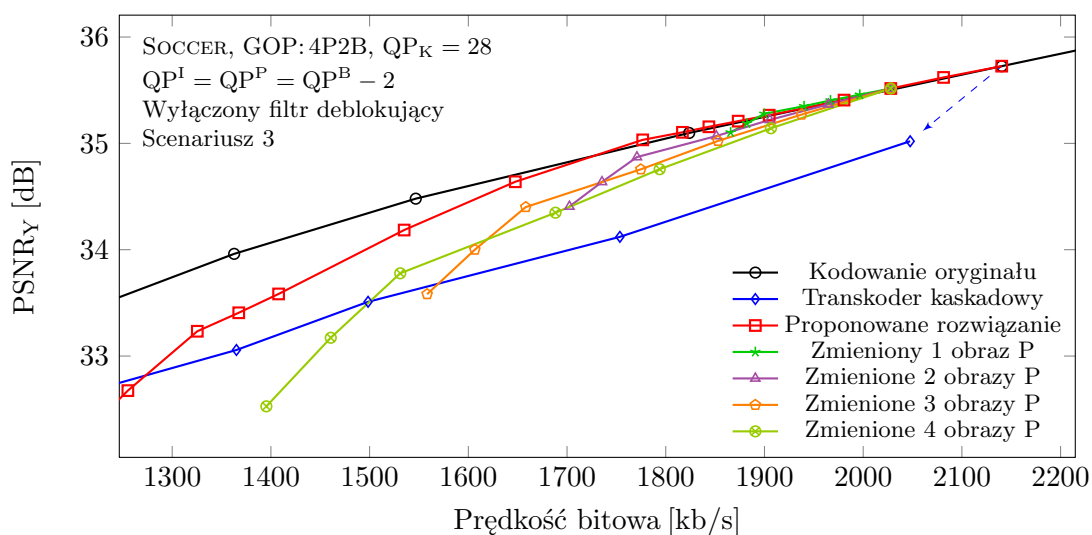
Rysunek D.39: Strata jakości spowodowana modyfikacją próbek transformaty w obrazach typu P. Brak makrobloków Intra w obrazach P i B



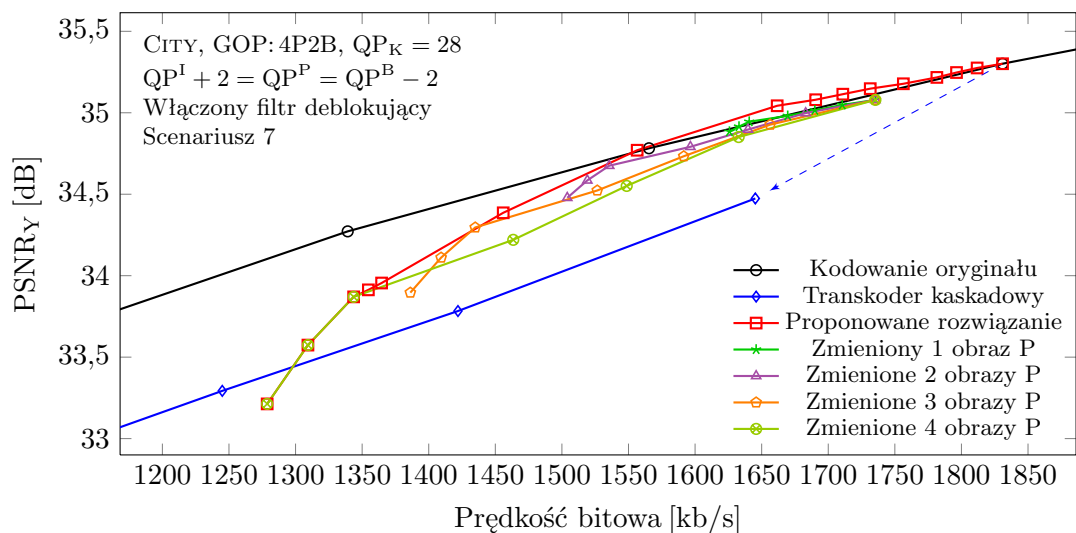
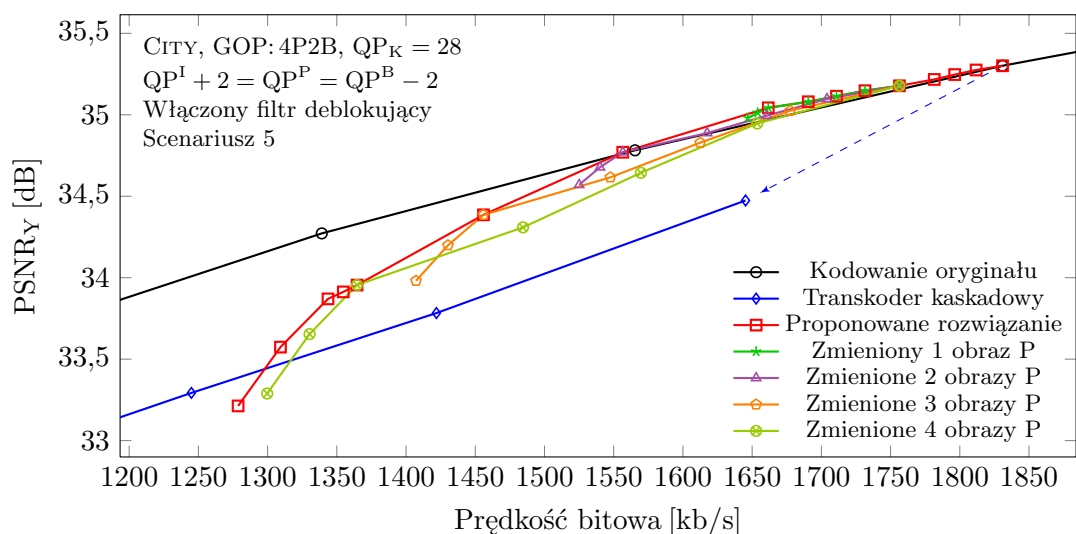
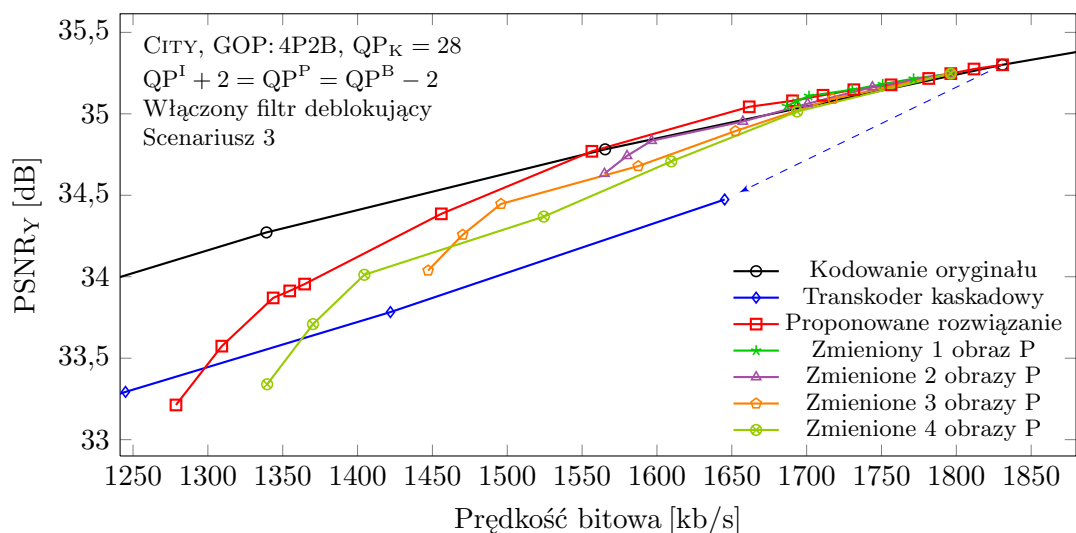
Rysunek D.40: Strata jakości spowodowana modyfikacją próbek transformaty w obrazach typu P. Brak makrobloków Intra w obrazach P i B



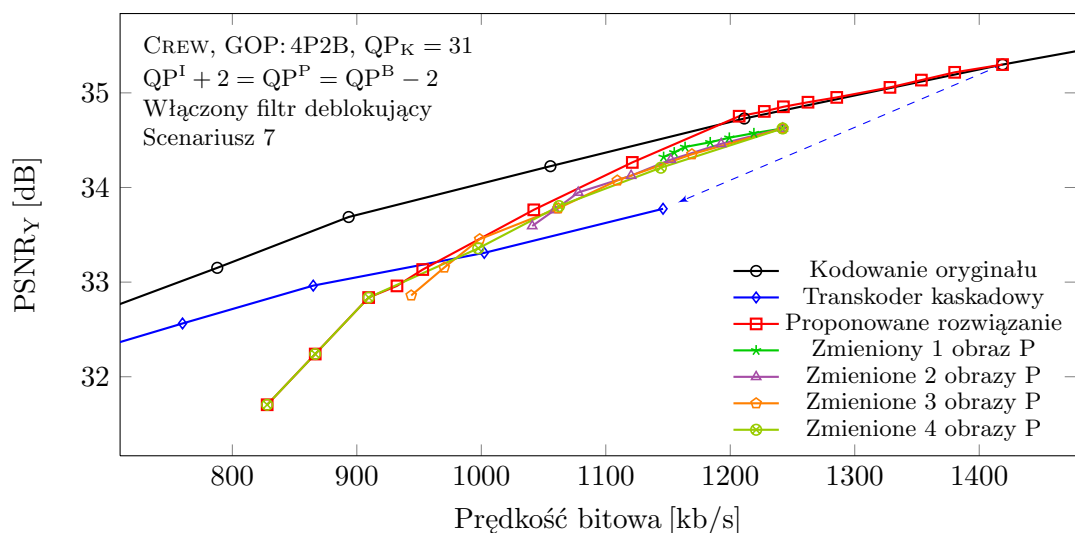
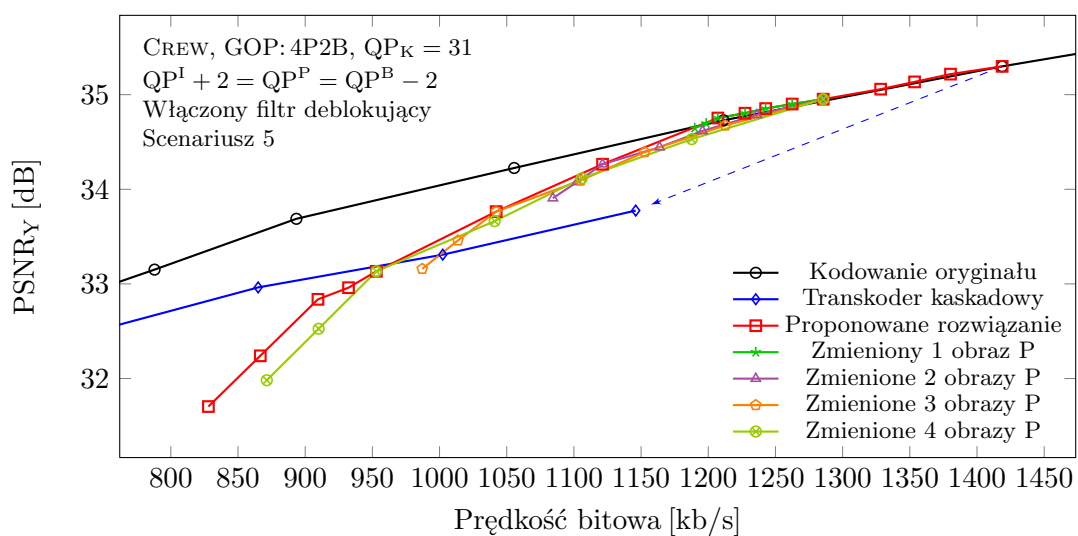
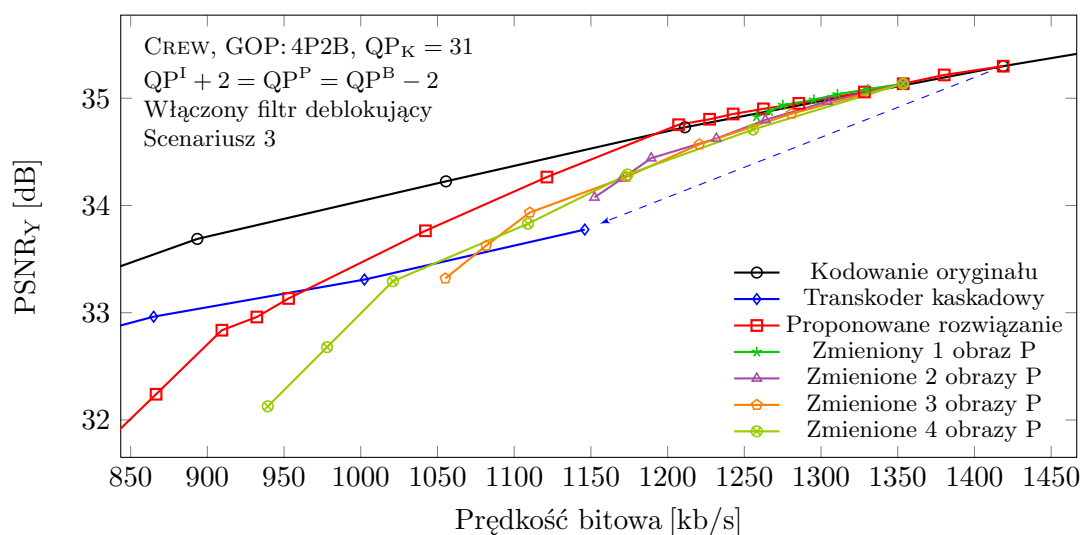
Rysunek D.41: Strata jakości spowodowana modyfikacją próbek transformaty w obrazach typu P. Brak makrobloków Intra w obrazach P i B



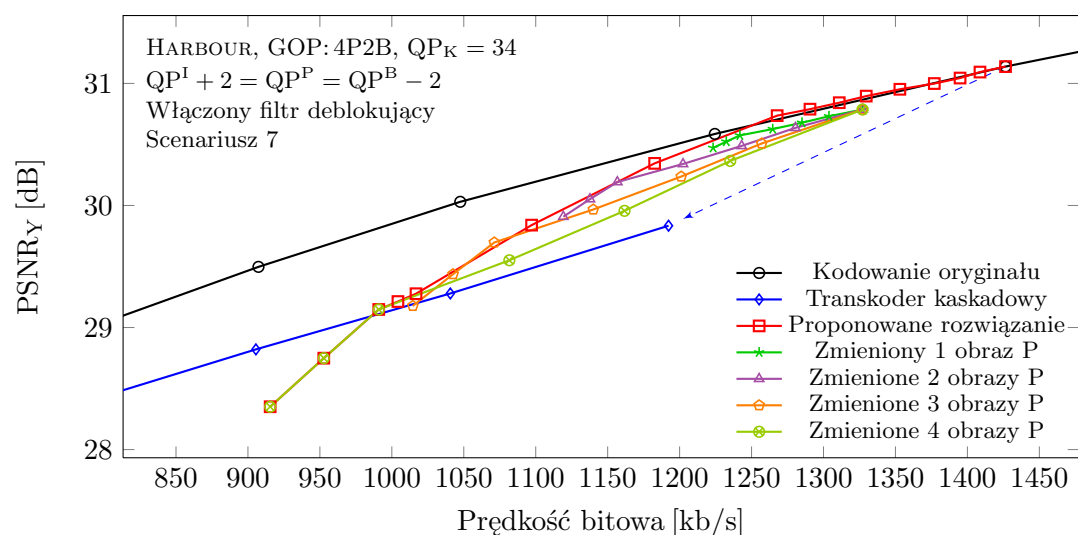
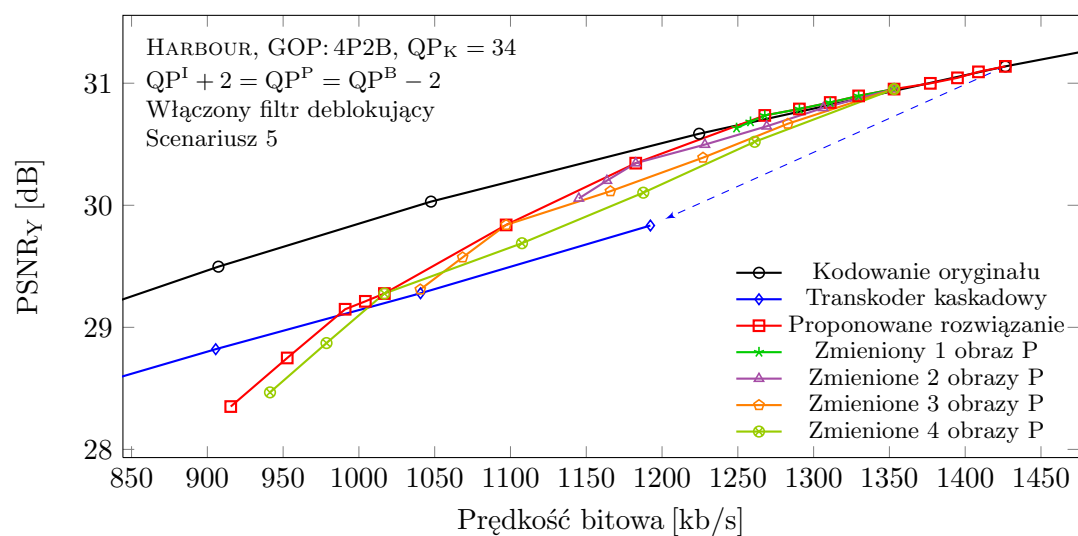
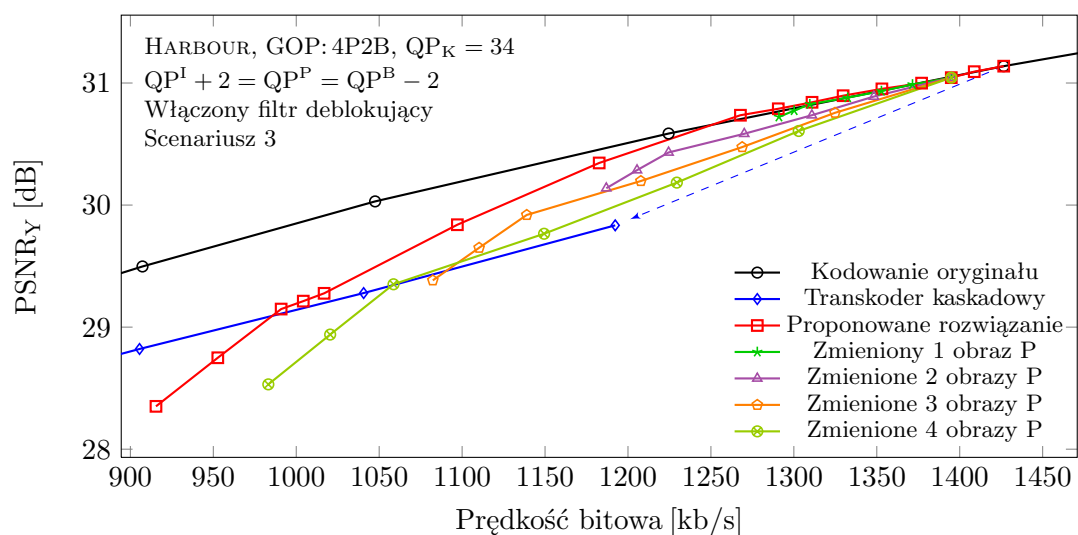
Rysunek D.42: Strata jakości spowodowana modyfikacją próbek transformaty w obrazach typu P. Brak makrobloków Intra w obrazach P i B



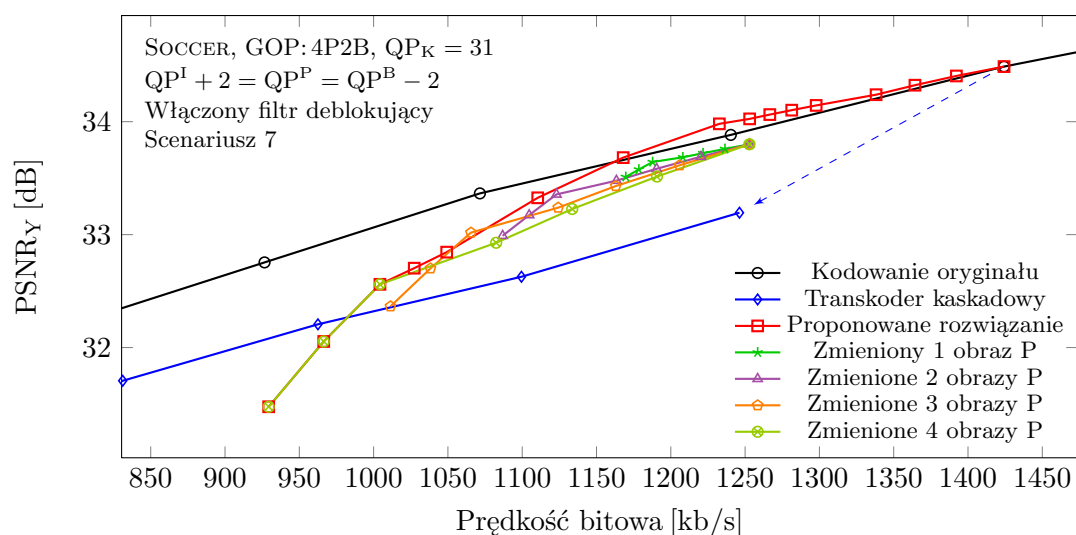
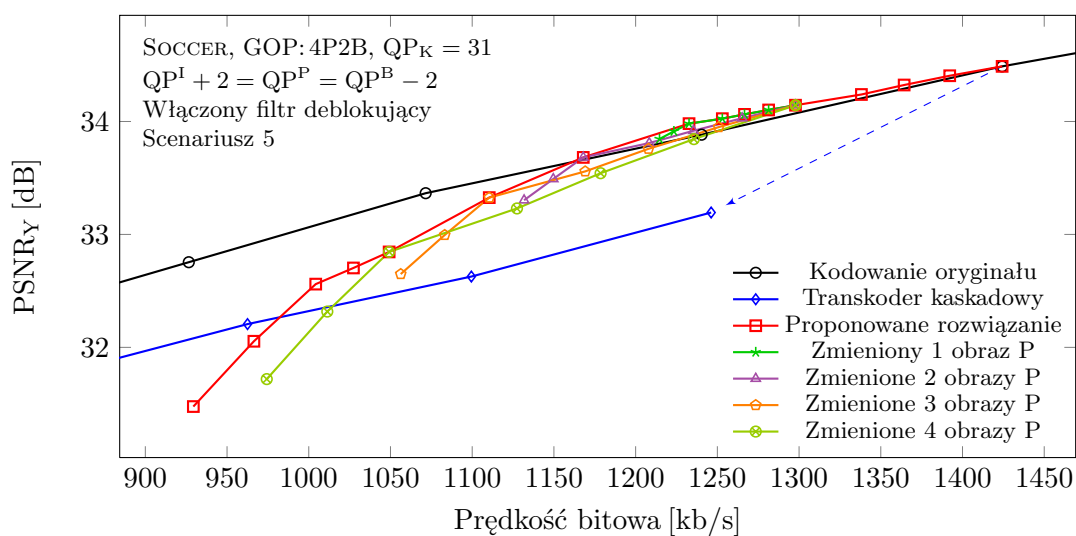
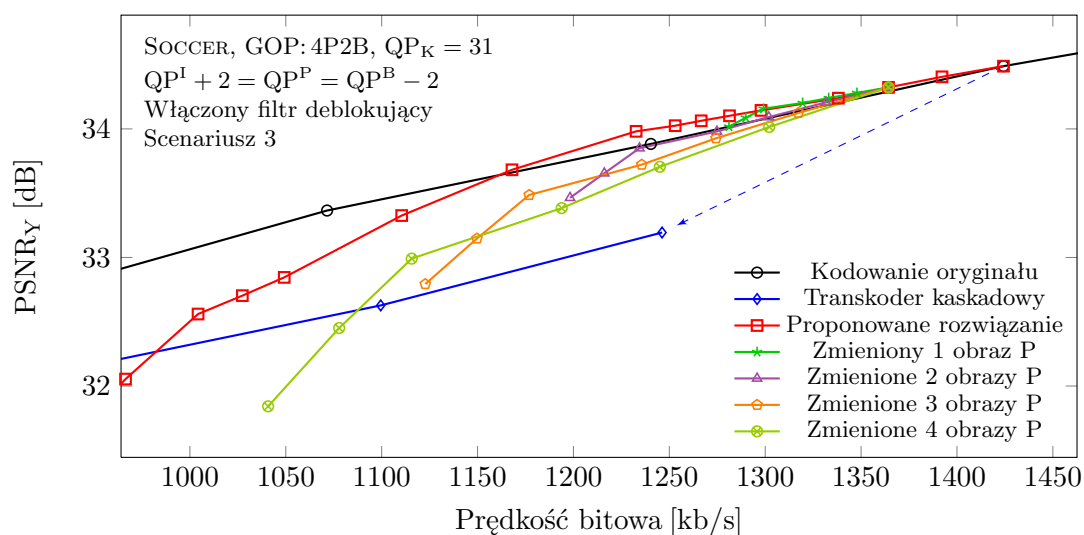
Rysunek D.43: Strata jakości spowodowana modyfikacją próbek transformaty w obrazach typu P. Brak makrobloków Intra w obrazach P i B



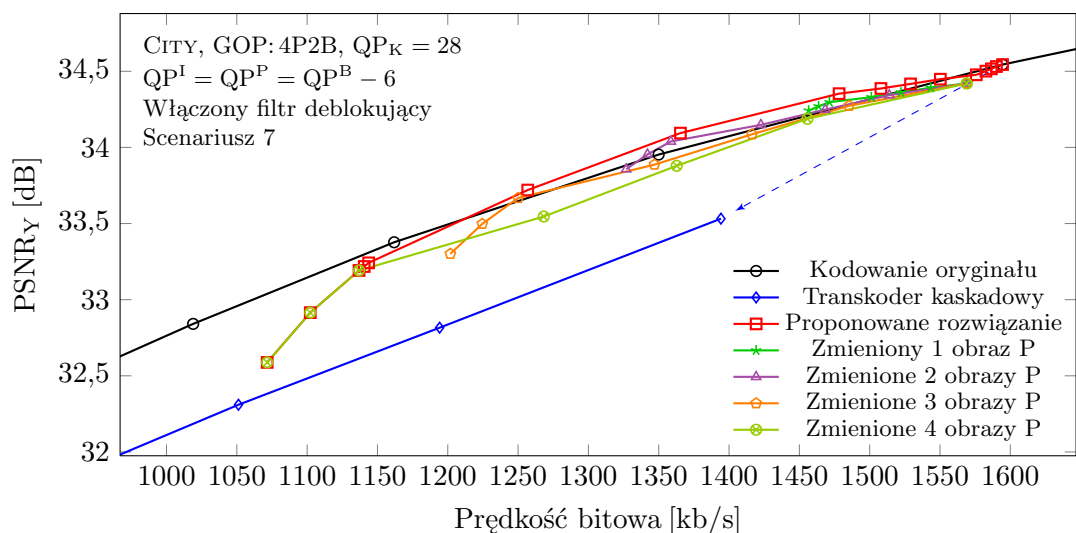
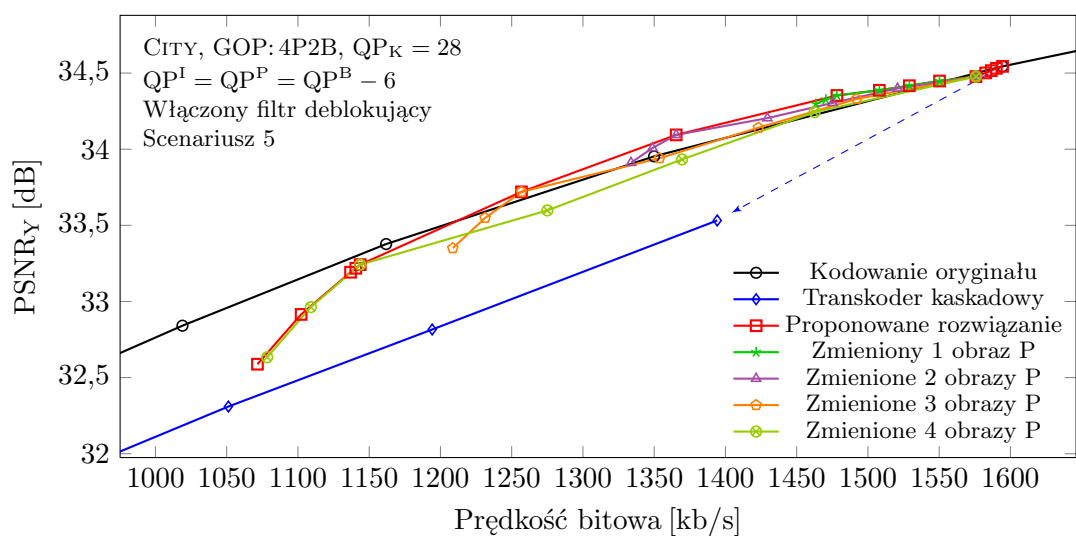
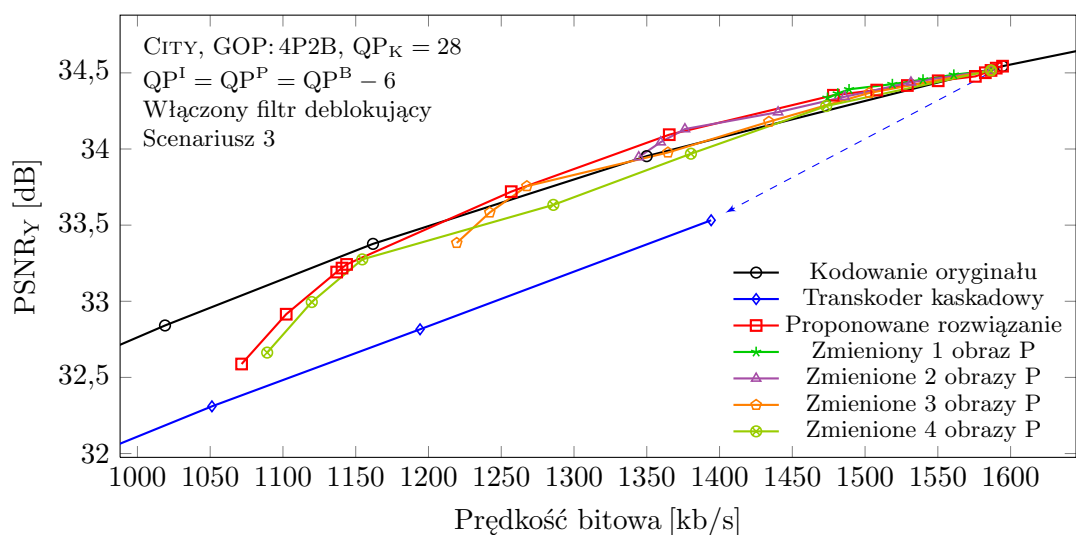
Rysunek D.44: Strata jakości spowodowana modyfikacją próbek transformaty w obrazach typu P. Brak makrobloków Intra w obrazach P i B



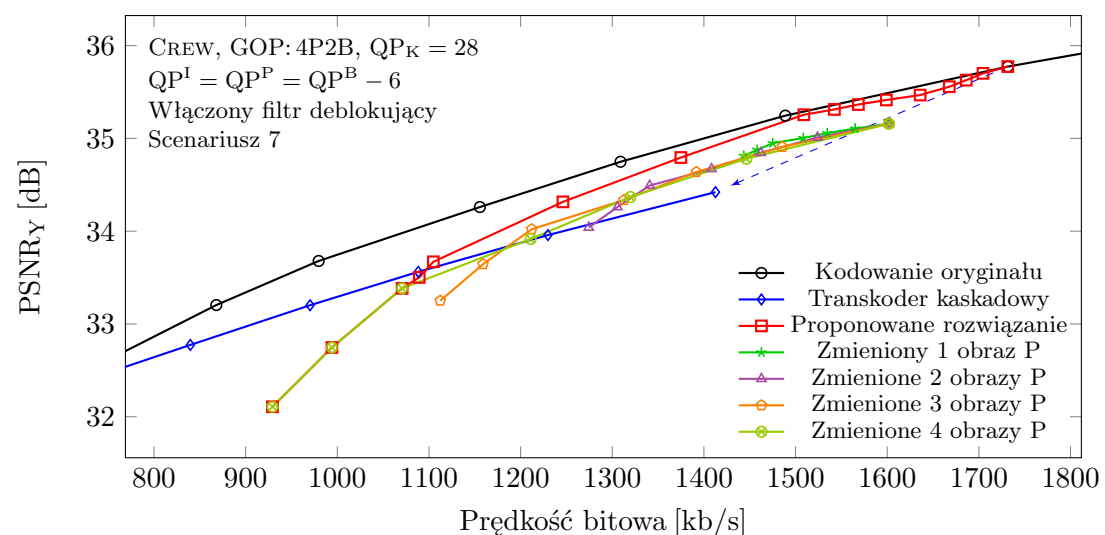
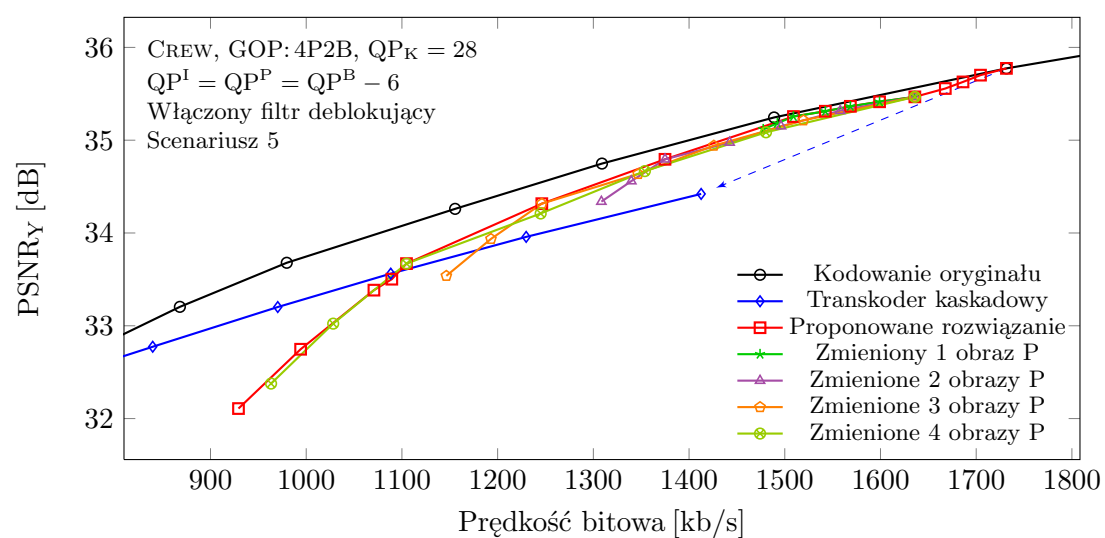
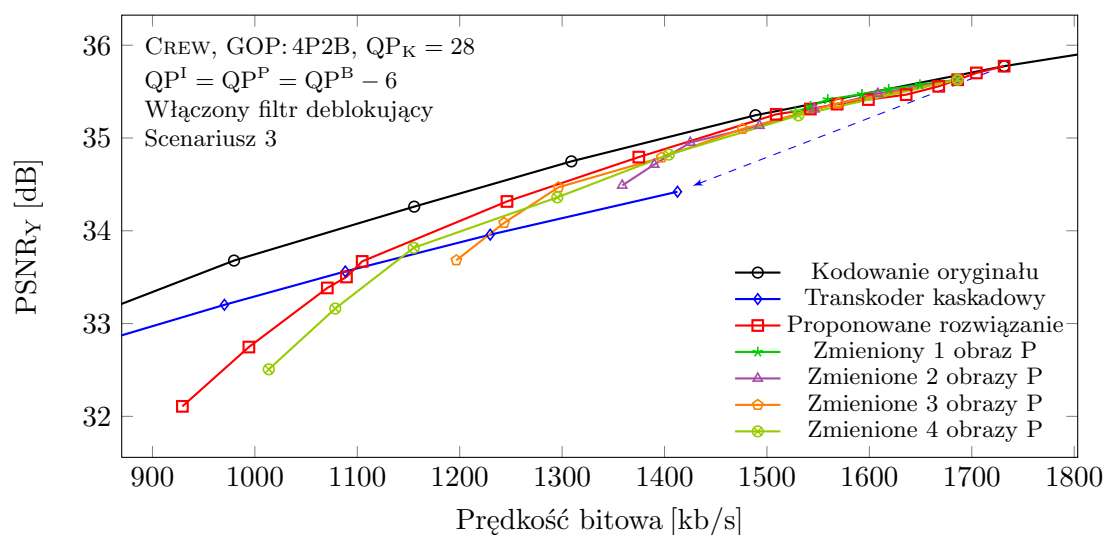
Rysunek D.45: Strata jakości spowodowana modyfikacją próbek transformaty w obrazach typu P. Brak makrobloków Intra w obrazach P i B



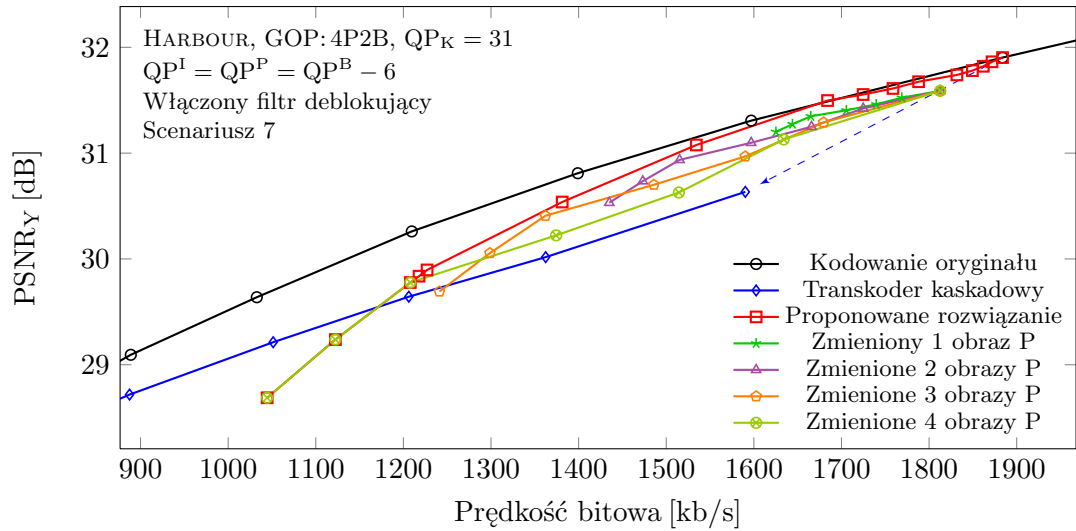
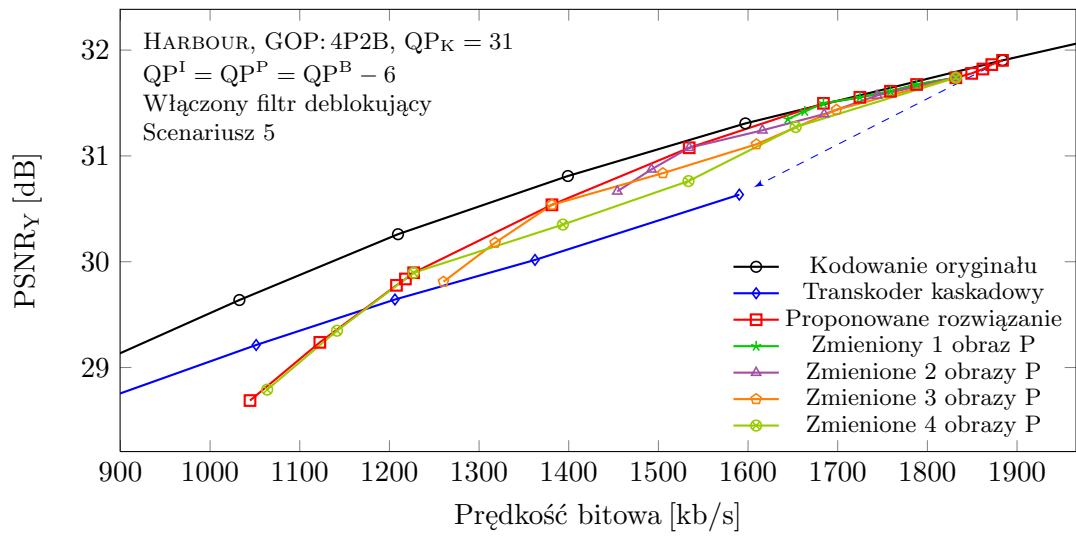
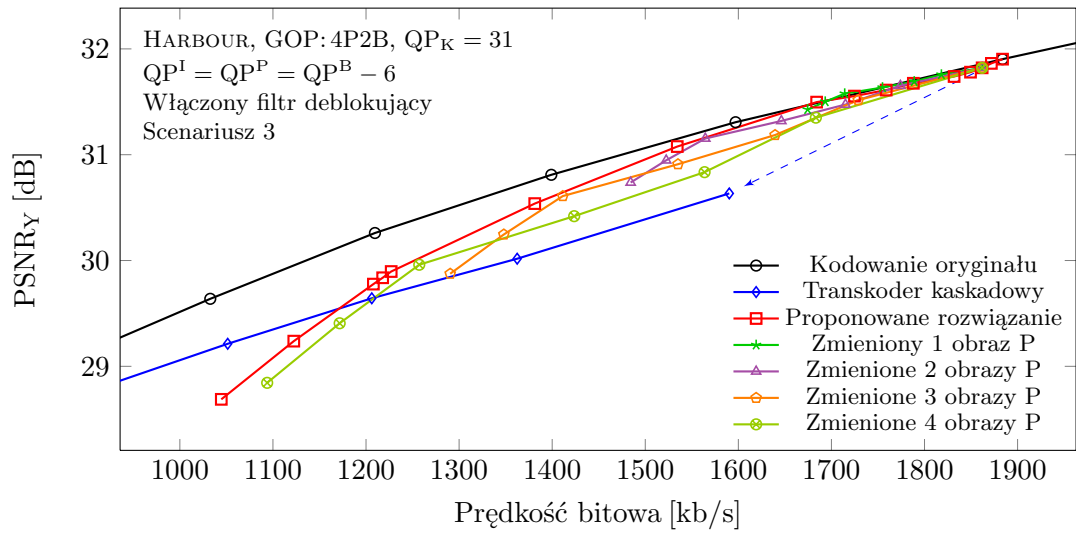
Rysunek D.46: Strata jakości spowodowana modyfikacją próbek transformaty w obrazach typu P. Brak makrobloków Intra w obrazach P i B



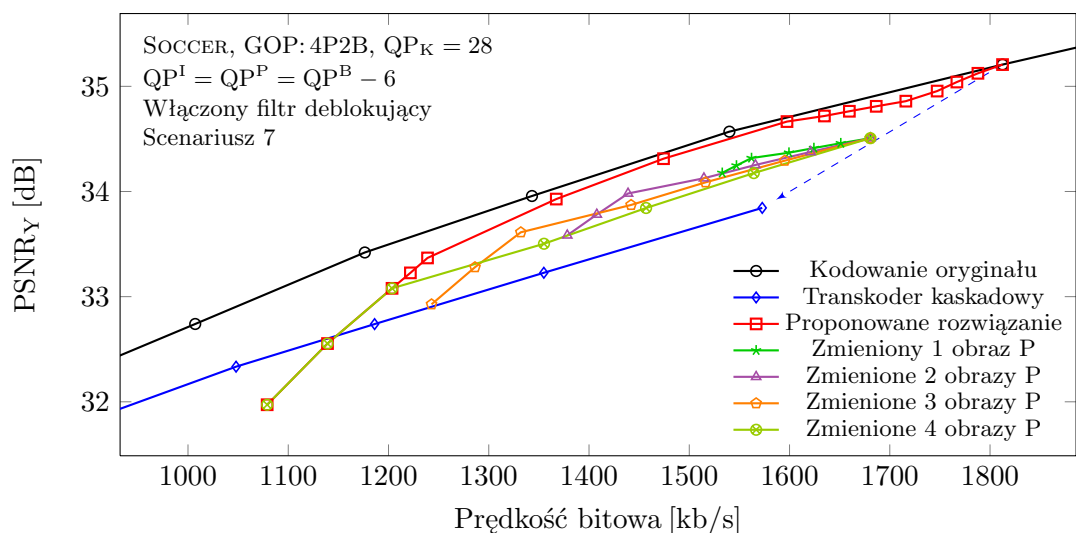
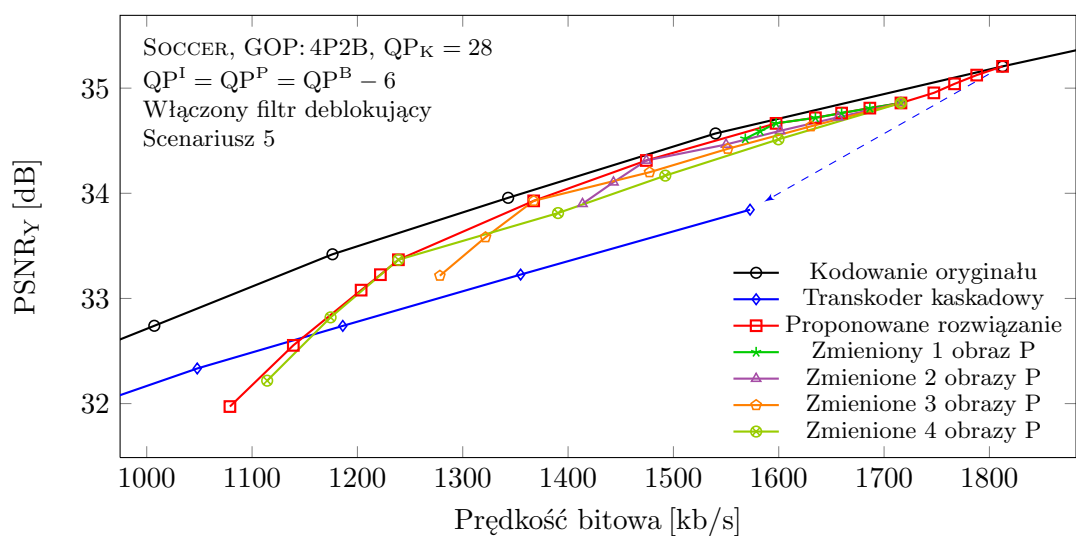
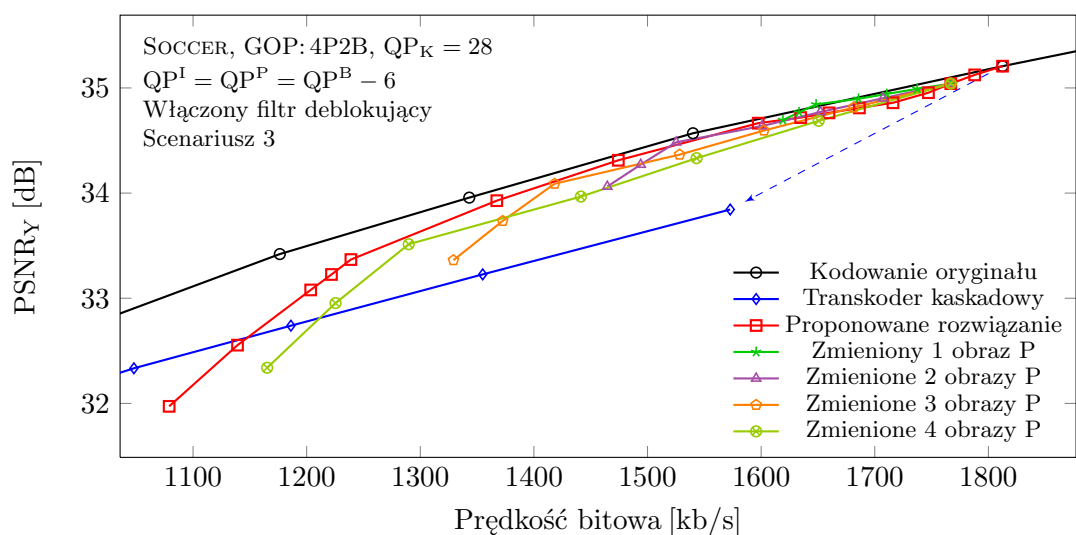
Rysunek D.47: Strata jakości spowodowana modyfikacją próbek transformaty w obrazach typu P. Brak makrobloków Intra w obrazach P i B



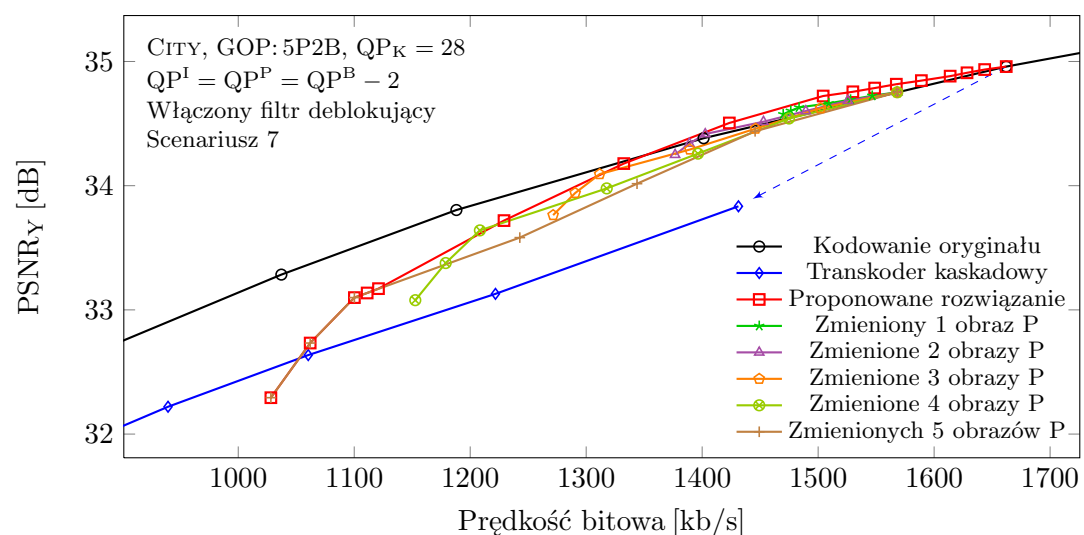
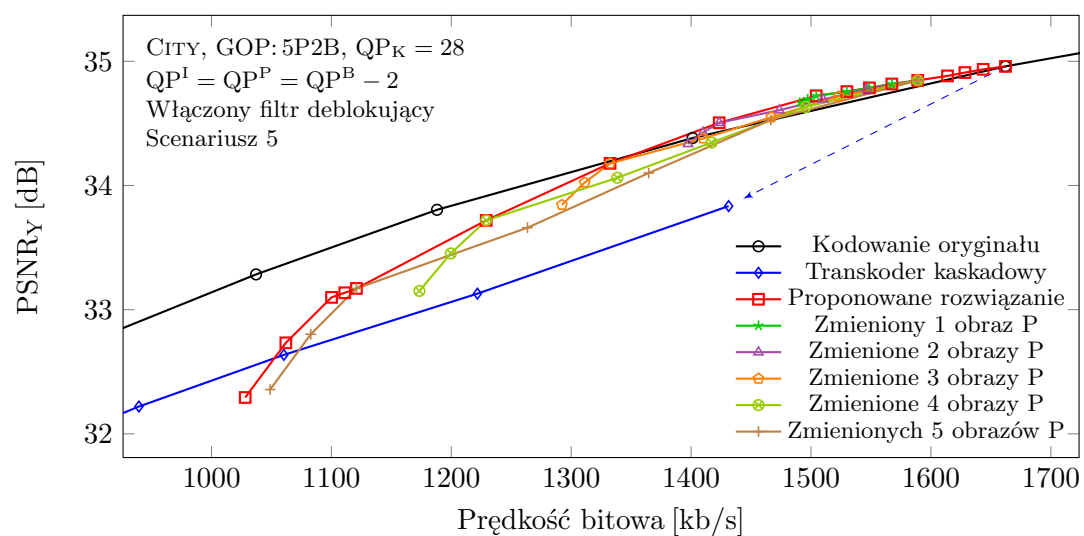
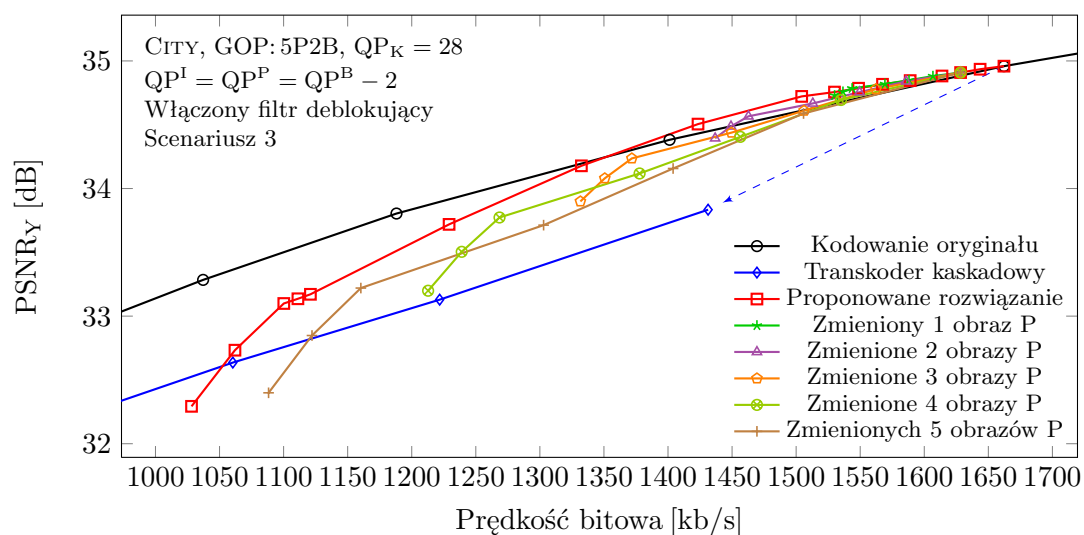
Rysunek D.48: Strata jakości spowodowana modyfikacją próbek transformaty w obrazach typu P. Brak makrobloków Intra w obrazach P i B



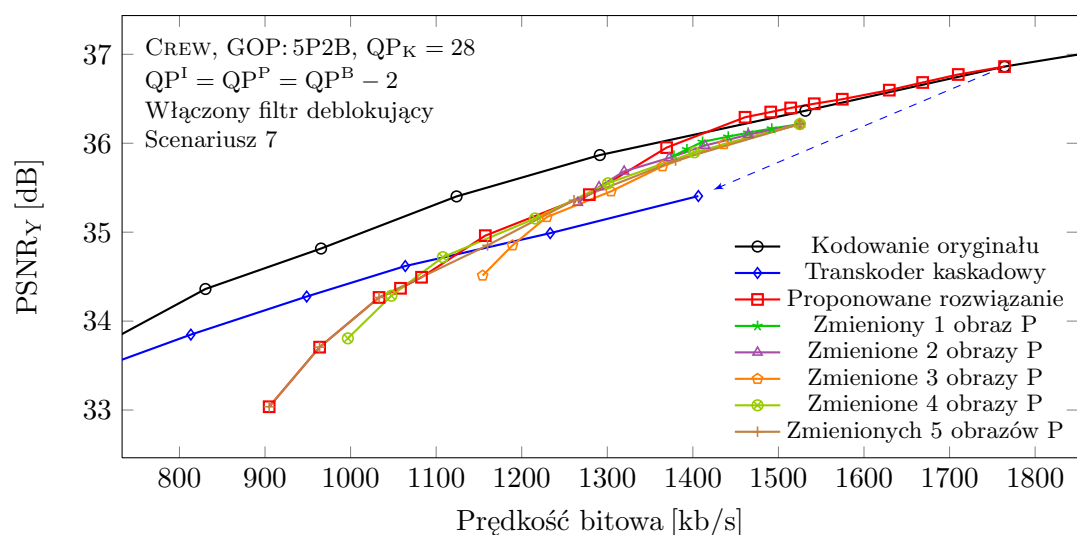
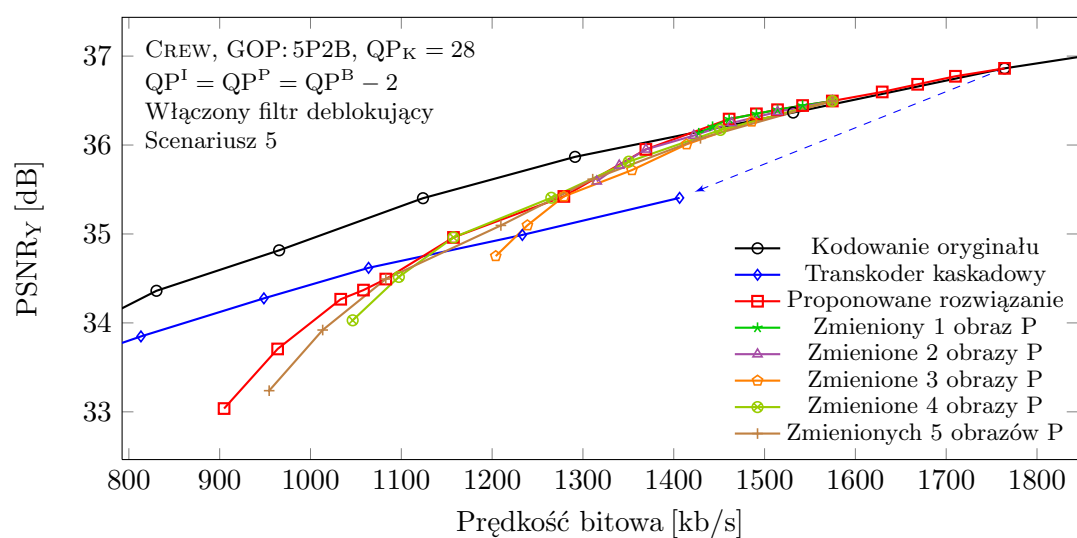
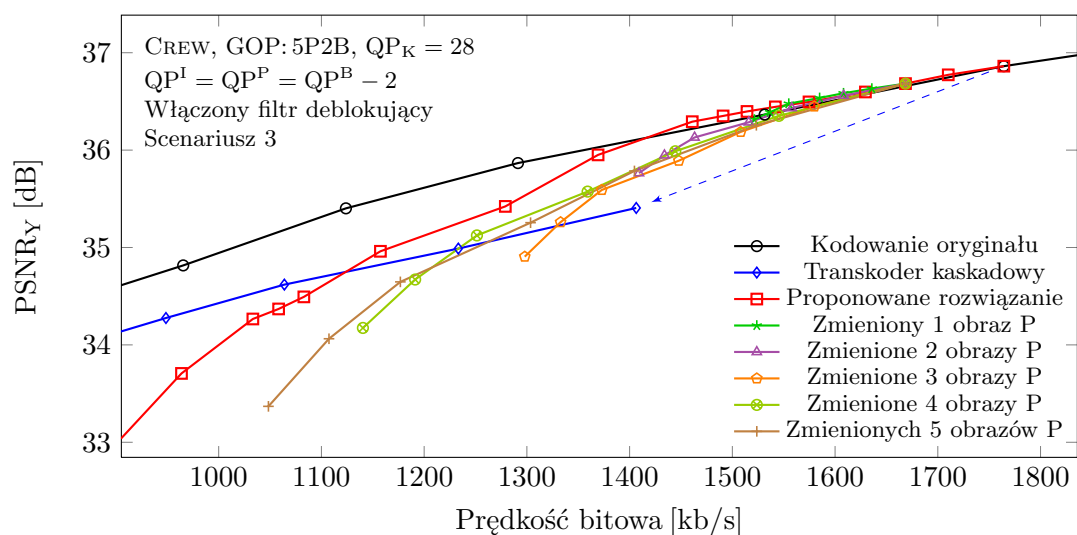
Rysunek D.49: Strata jakości spowodowana modyfikacją próbek transformaty w obrazach typu P. Brak makrobloków Intra w obrazach P i B



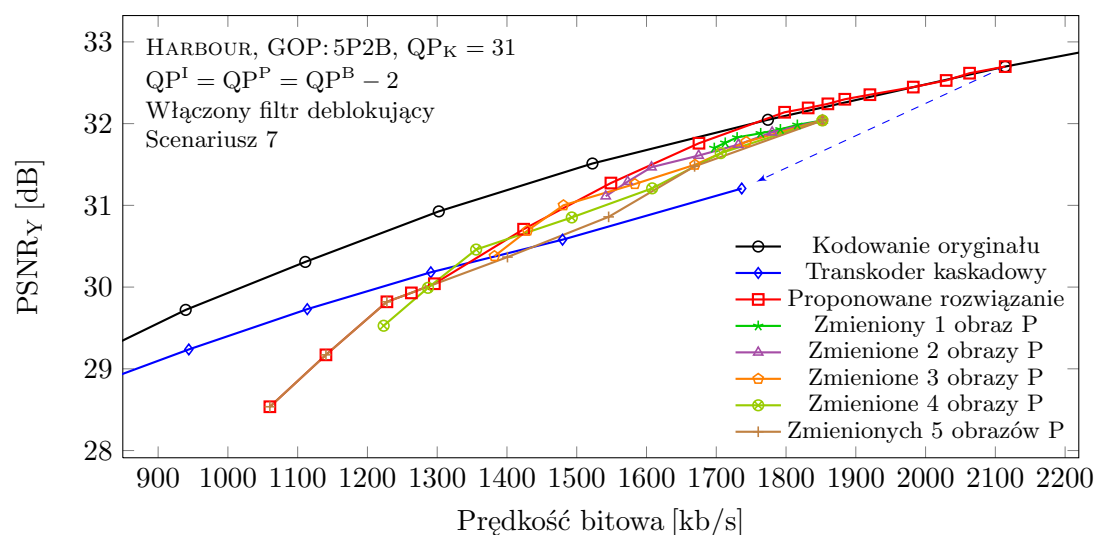
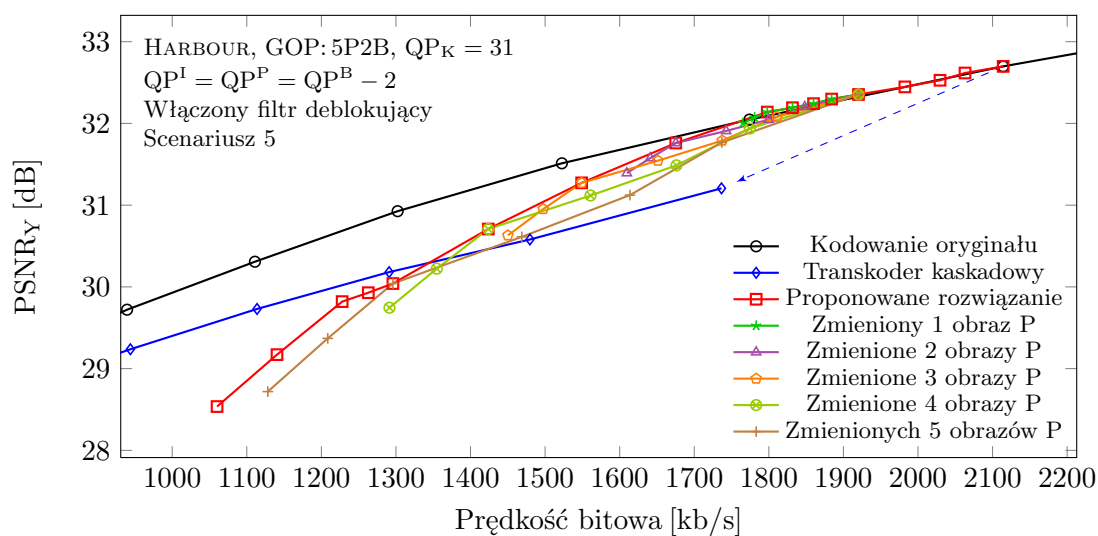
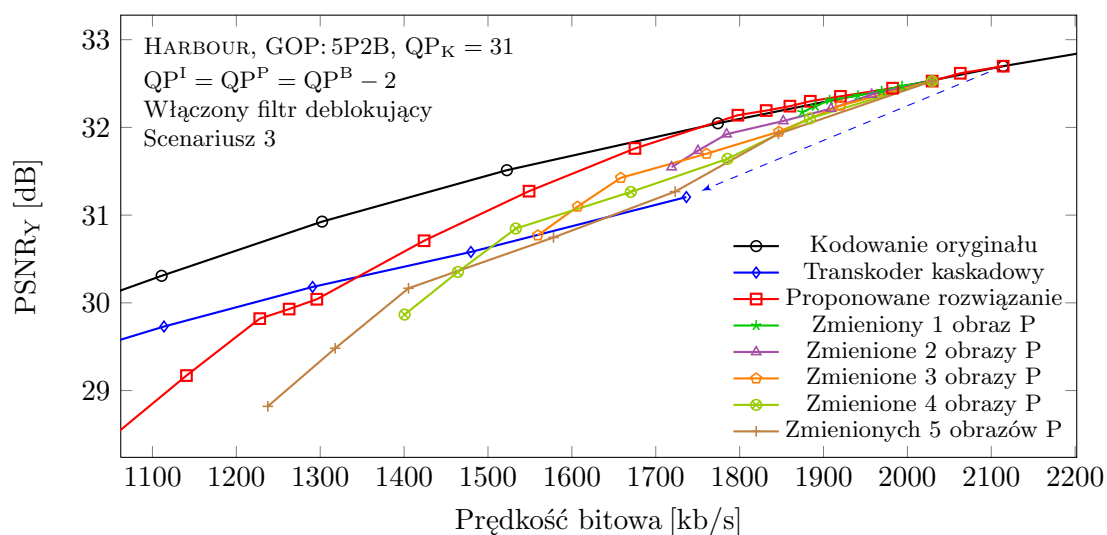
Rysunek D.50: Strata jakości spowodowana modyfikacją próbek transformaty w obrazach typu P. Brak makrobloków Intra w obrazach P i B



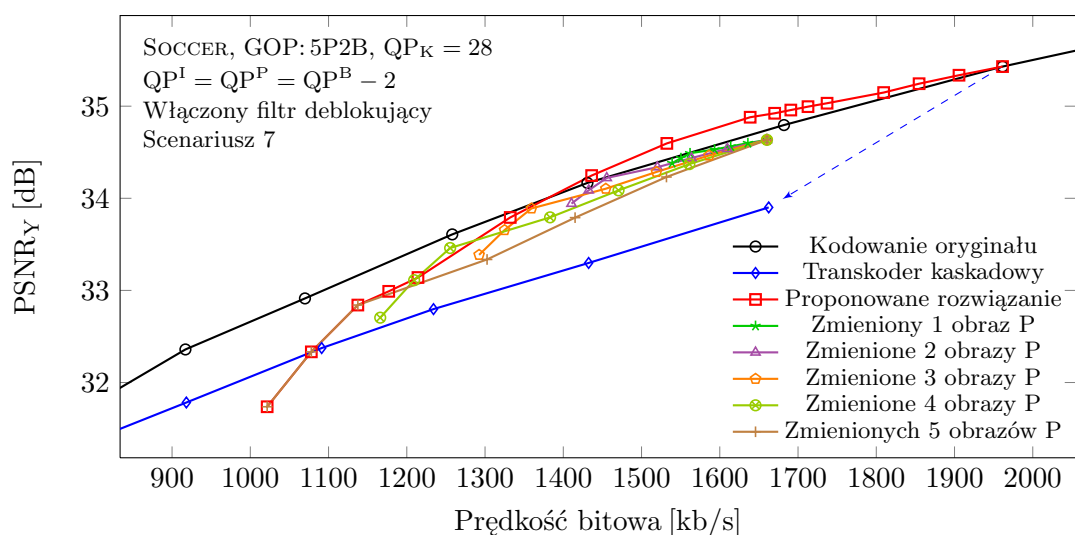
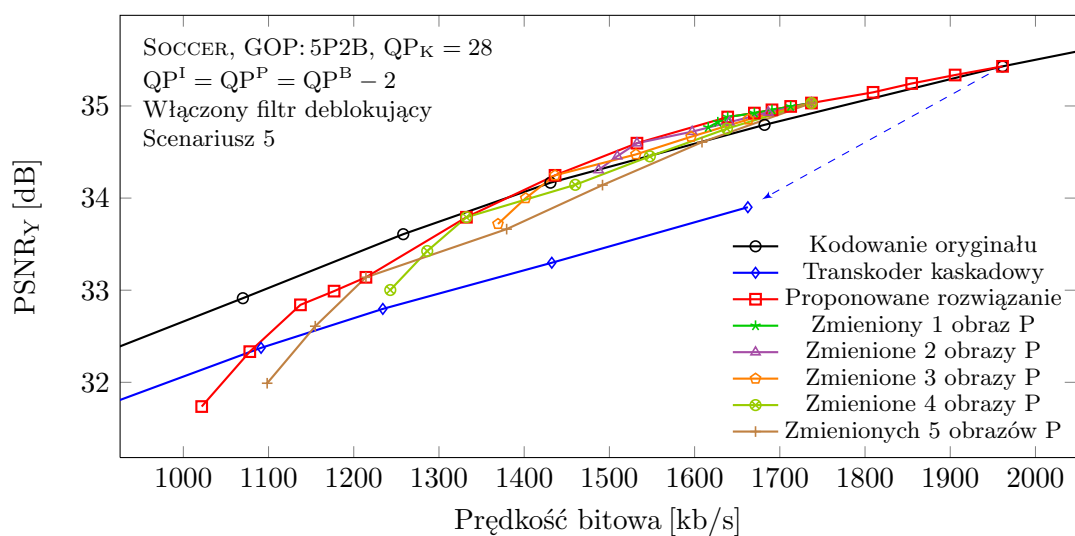
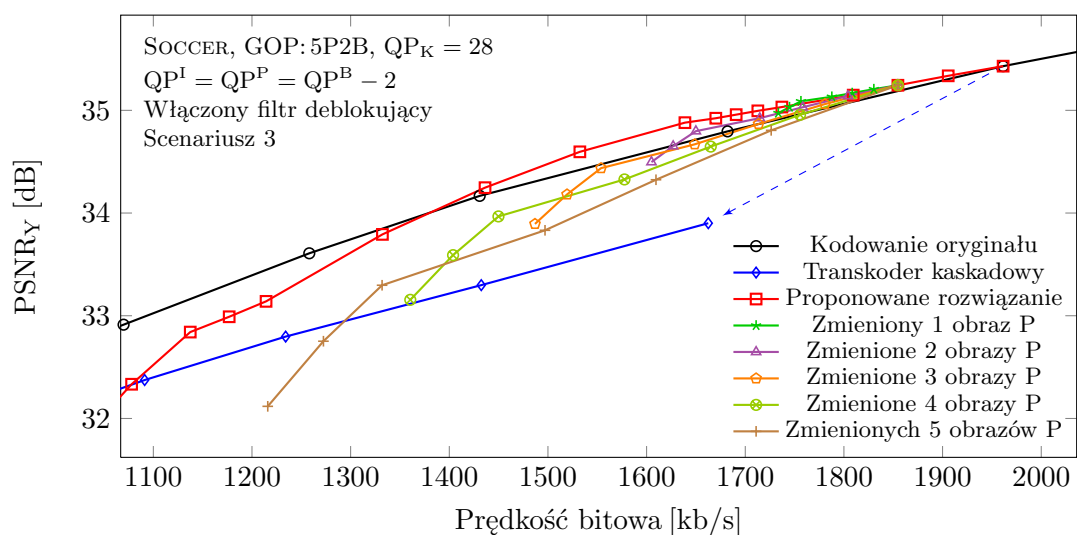
Rysunek D.51: Strata jakości spowodowana modyfikacją próbek transformaty w obrazach typu P. Brak makrobloków Intra w obrazach P i B



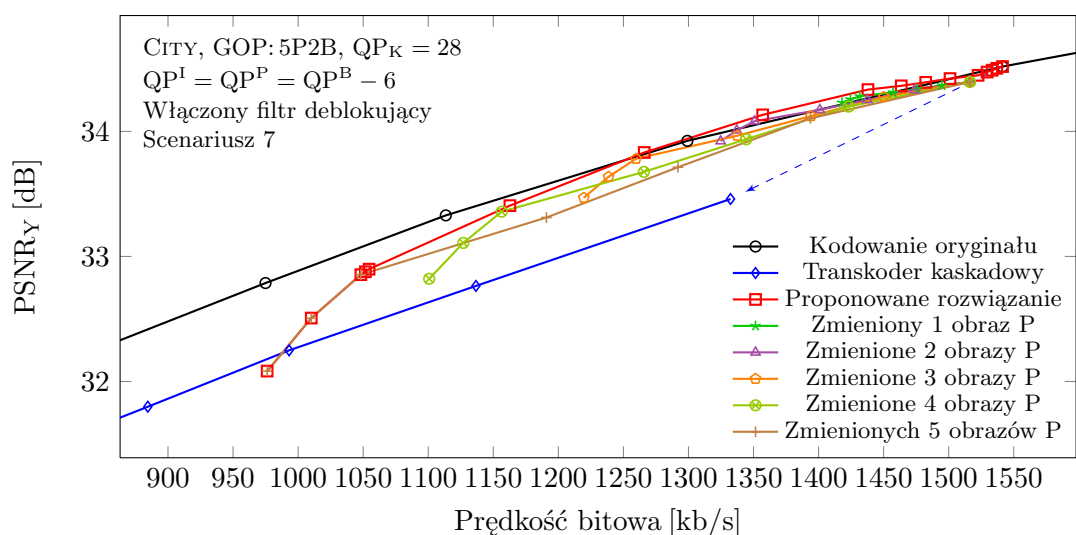
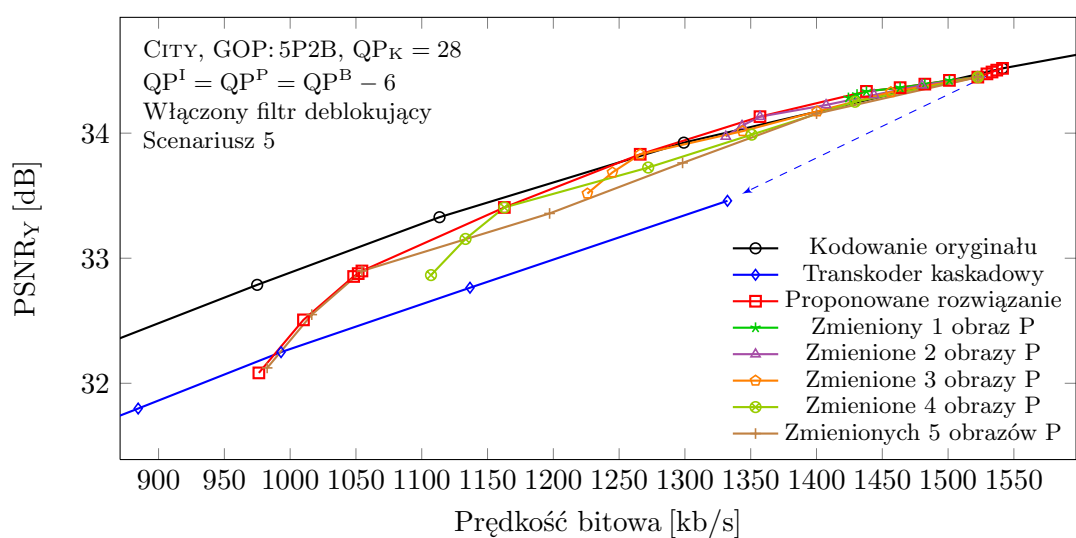
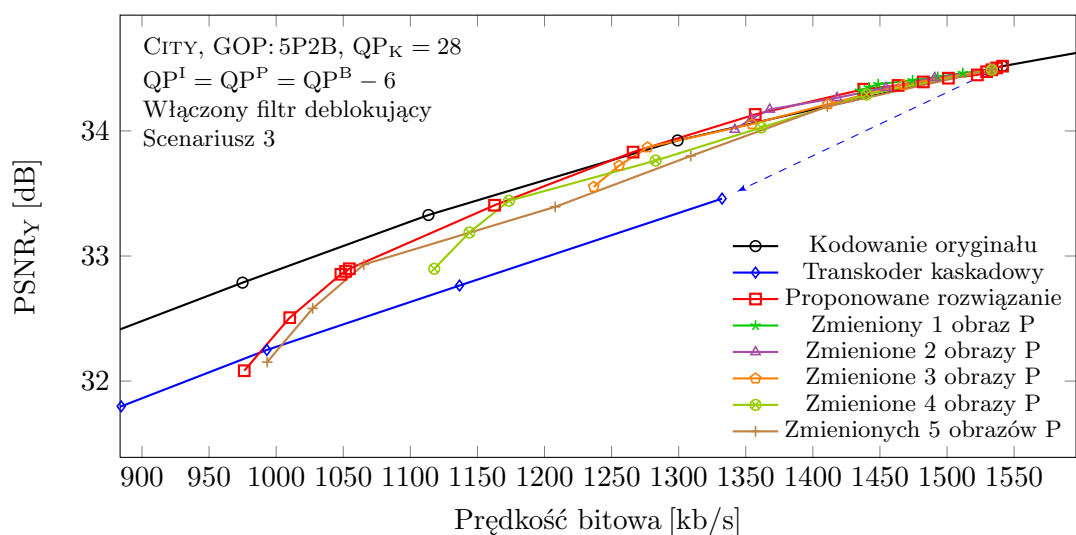
Rysunek D.52: Strata jakości spowodowana modyfikacją próbek transformaty w obrazach typu P. Brak makrobloków Intra w obrazach P i B



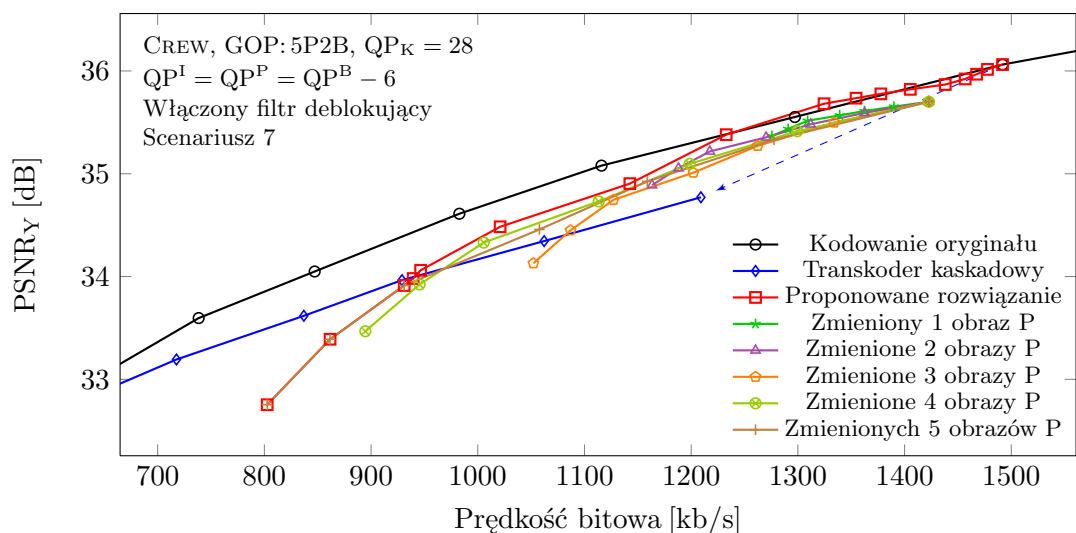
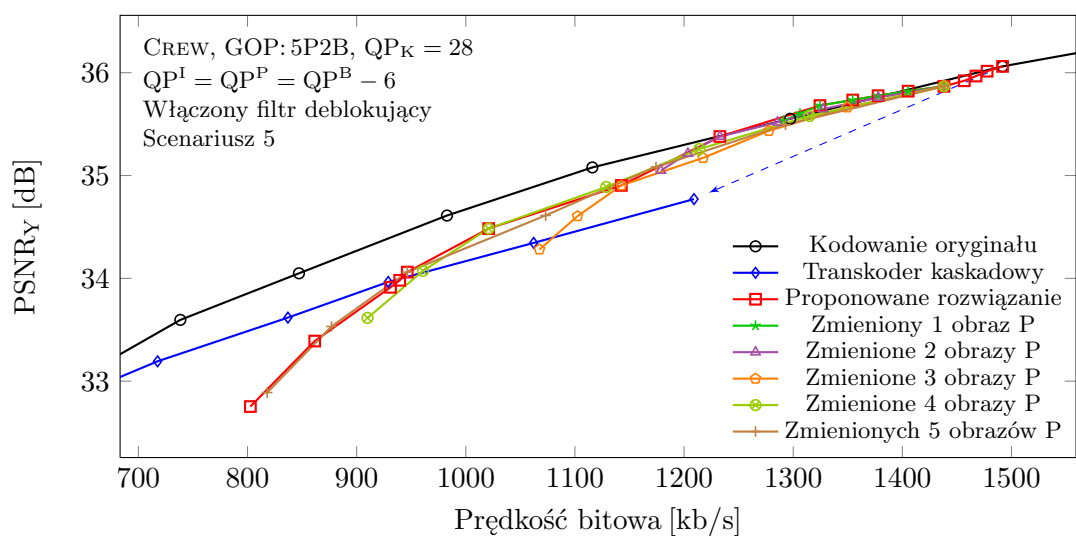
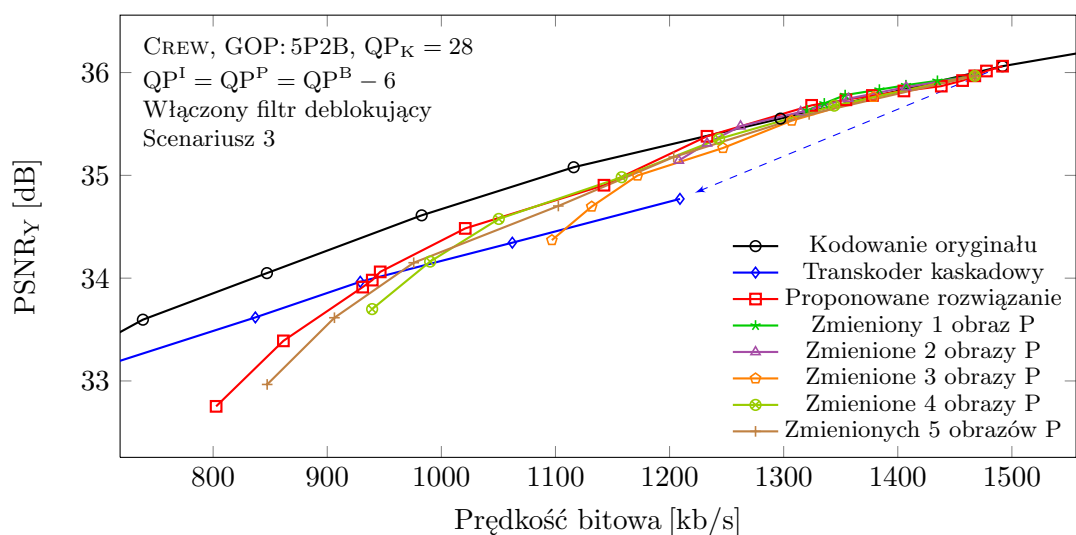
Rysunek D.53: Strata jakości spowodowana modyfikacją próbek transformaty w obrazach typu P. Brak makrobloków Intra w obrazach P i B



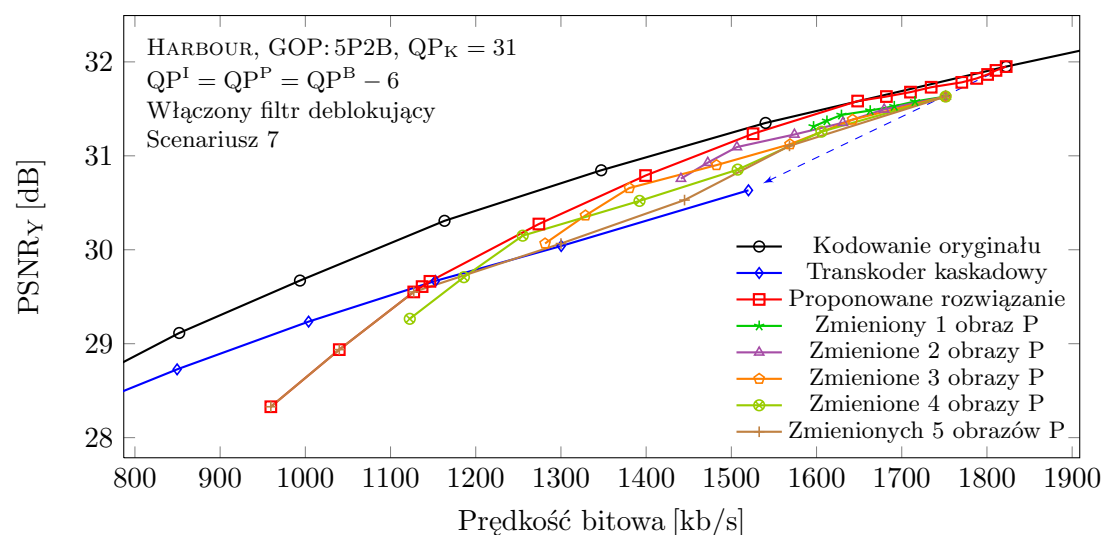
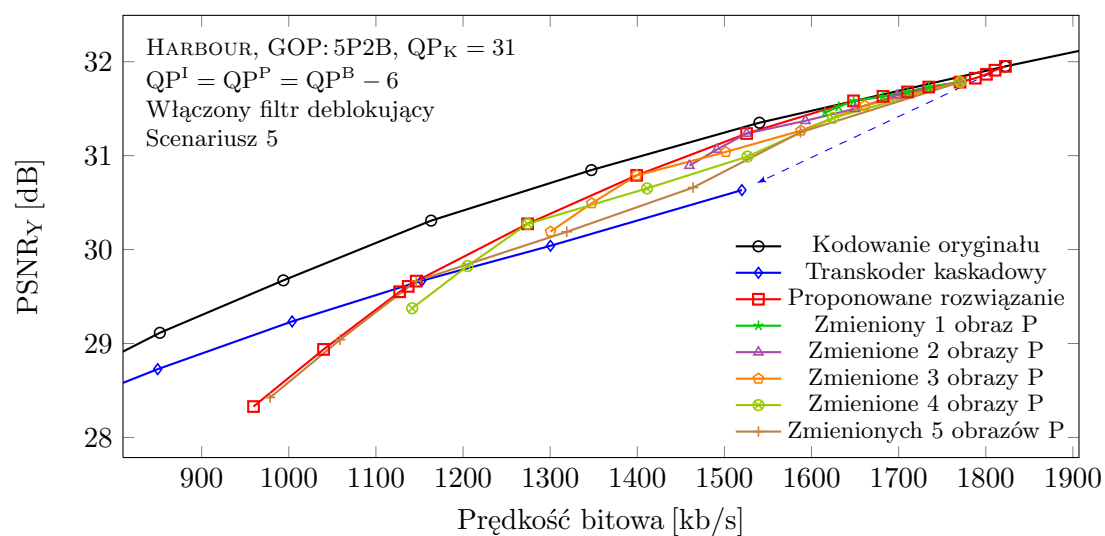
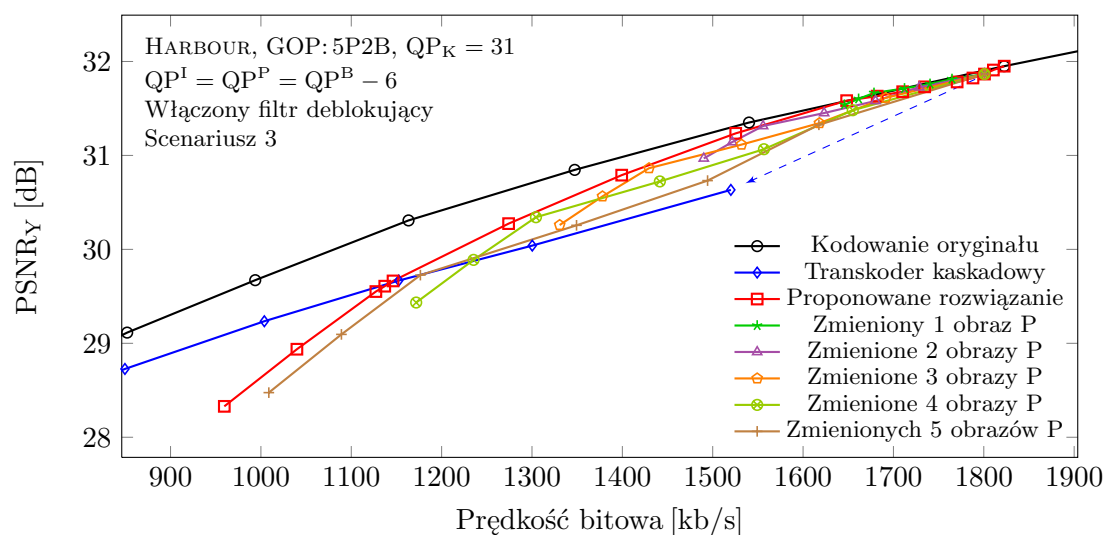
Rysunek D.54: Strata jakości spowodowana modyfikacją próbek transformaty w obrazach typu P. Brak makrobloków Intra w obrazach P i B



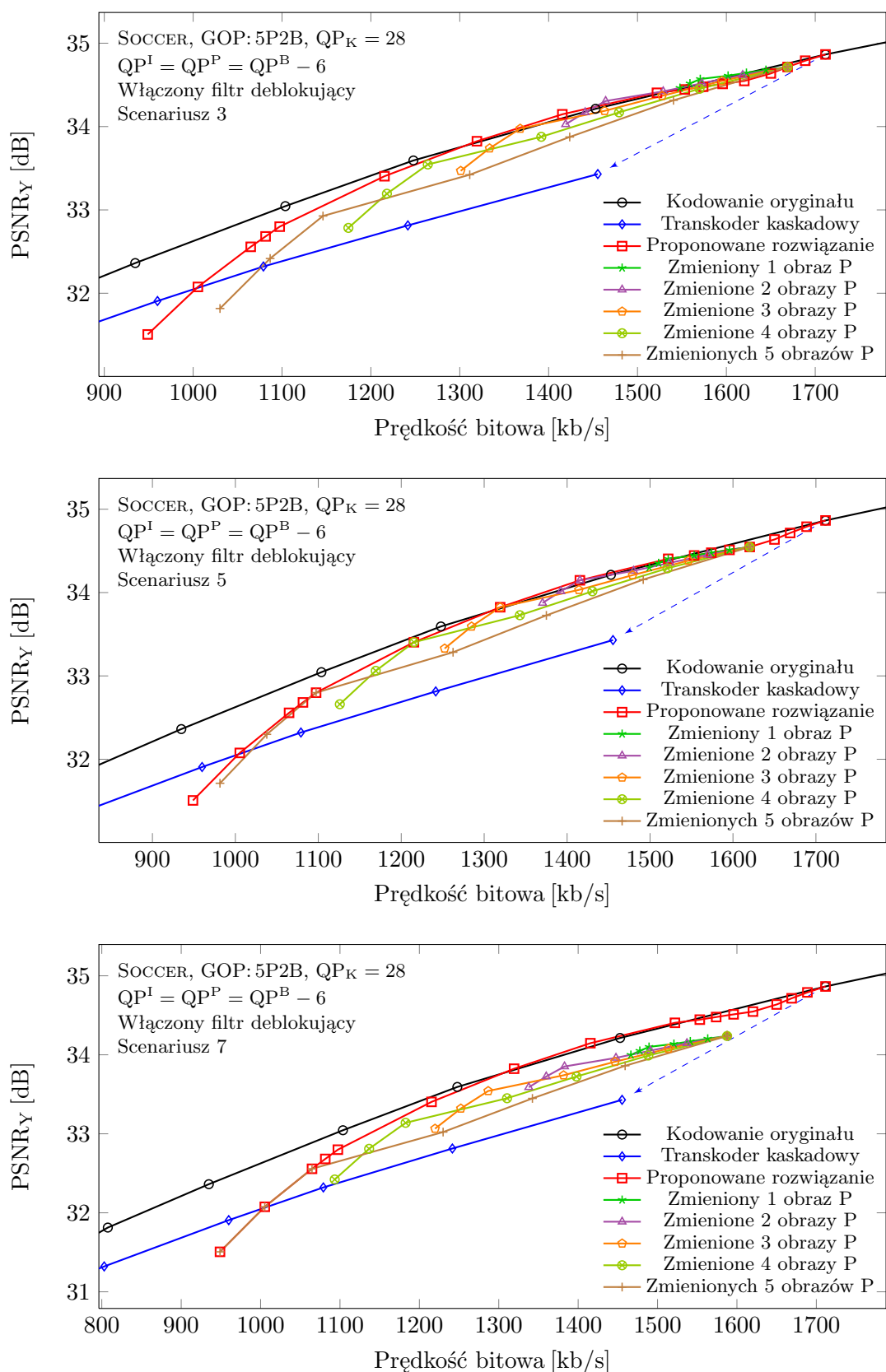
Rysunek D.55: Strata jakości spowodowana modyfikacją próbek transformaty w obrazach typu P. Brak makrobloków Intra w obrazach P i B



Rysunek D.56: Strata jakości spowodowana modyfikacją próbek transformaty w obrazach typu P. Brak makrobloków Intra w obrazach P i B

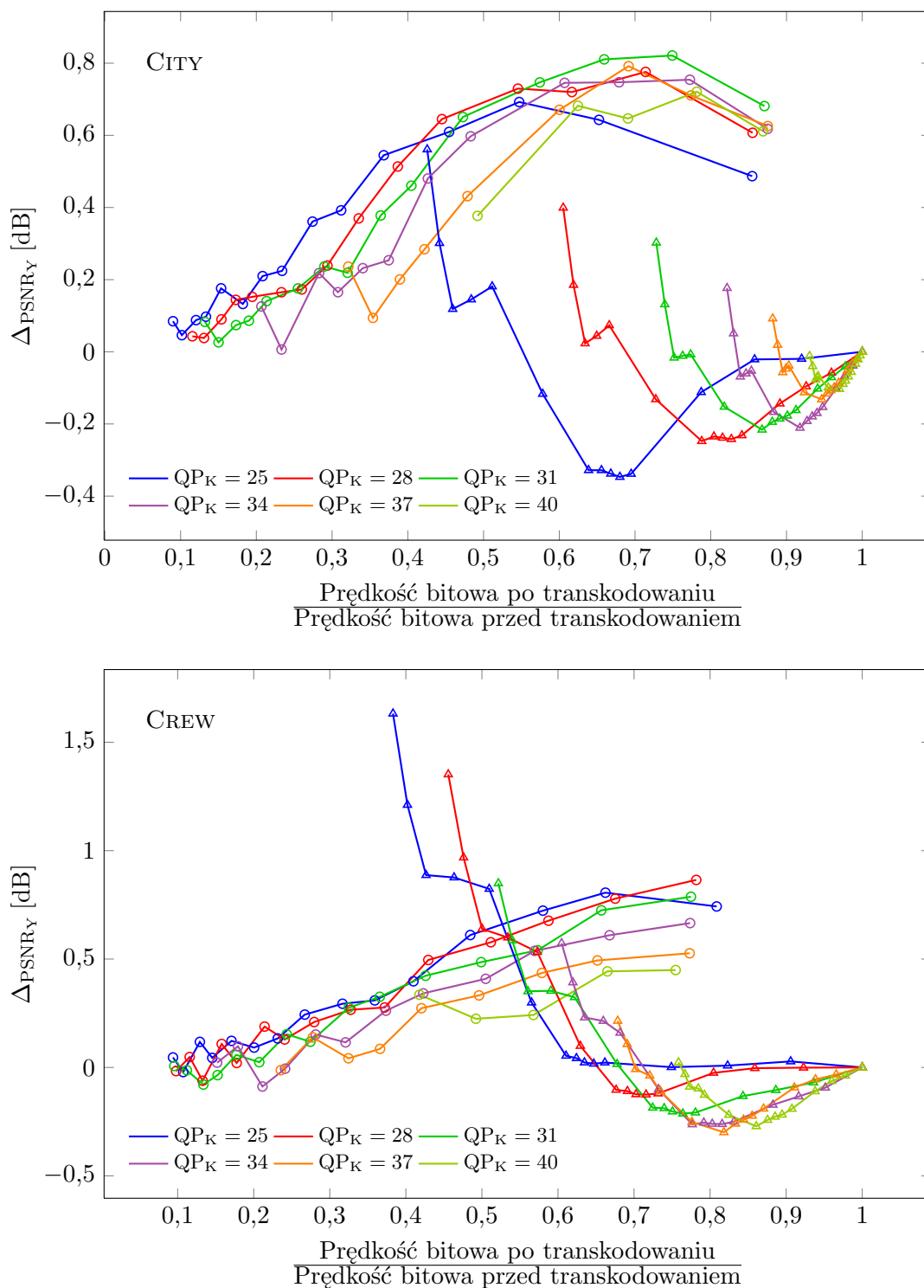


Rysunek D.57: Strata jakości spowodowana modyfikacją próbek transformaty w obrazach typu P. Brak makrobloków Intra w obrazach P i B

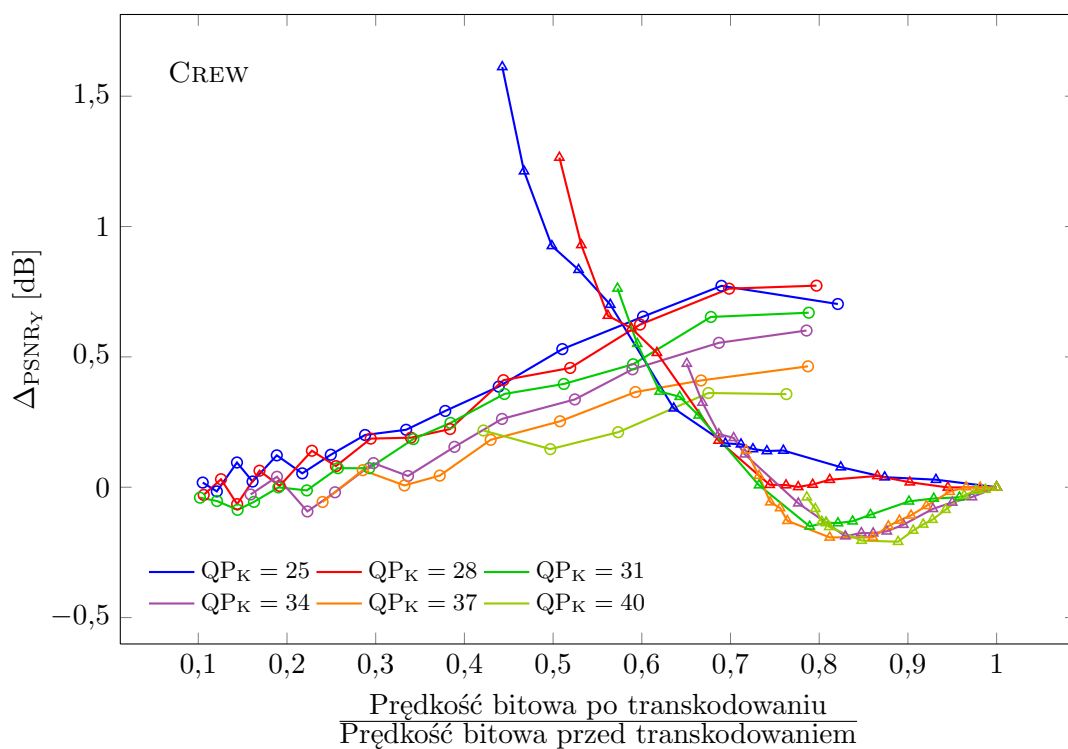
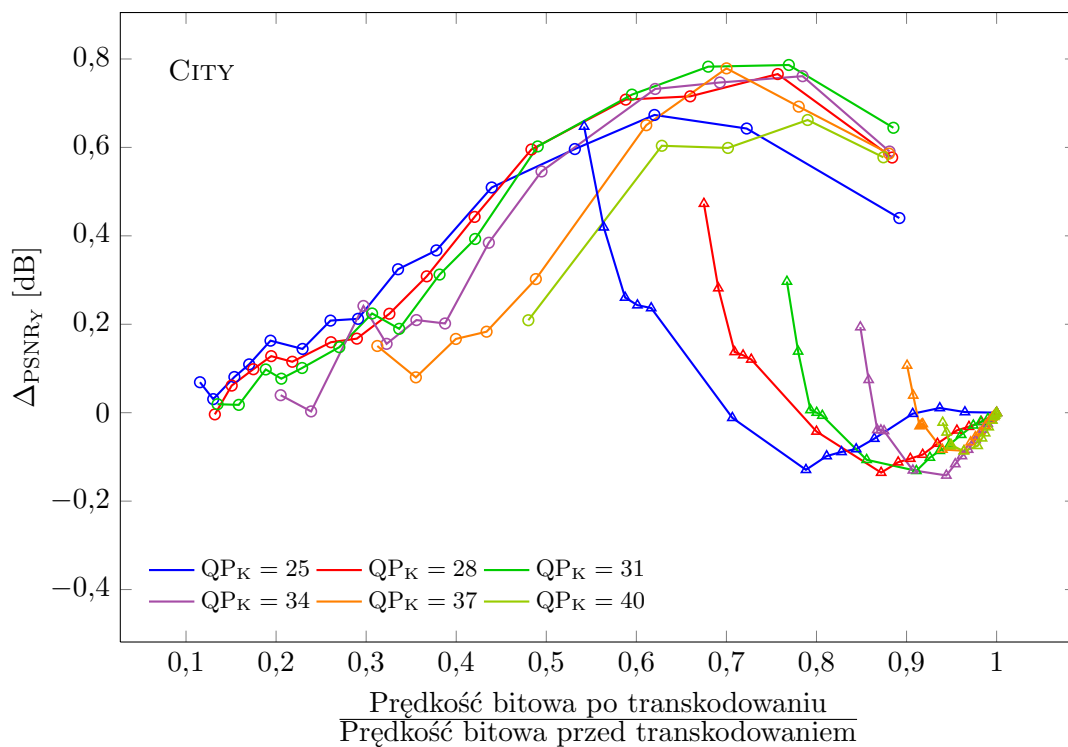


Rysunek D.58: Strata jakości spowodowana modyfikacją próbek transformaty w obrazach typu P. Brak makrobloków Intra w obrazach P i B

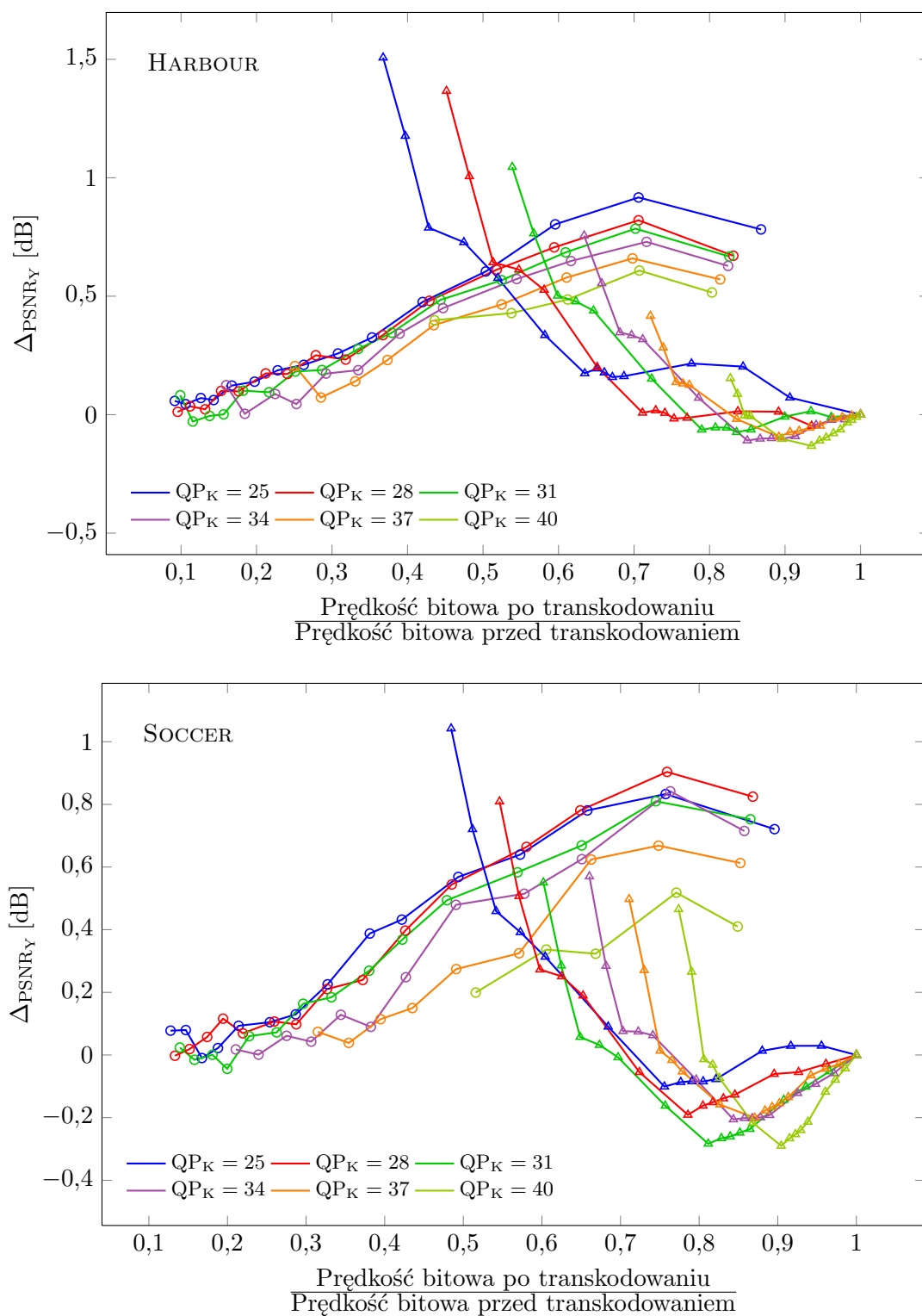
Dodatek D.2 Uzupełnienia do punktu 5.3.2



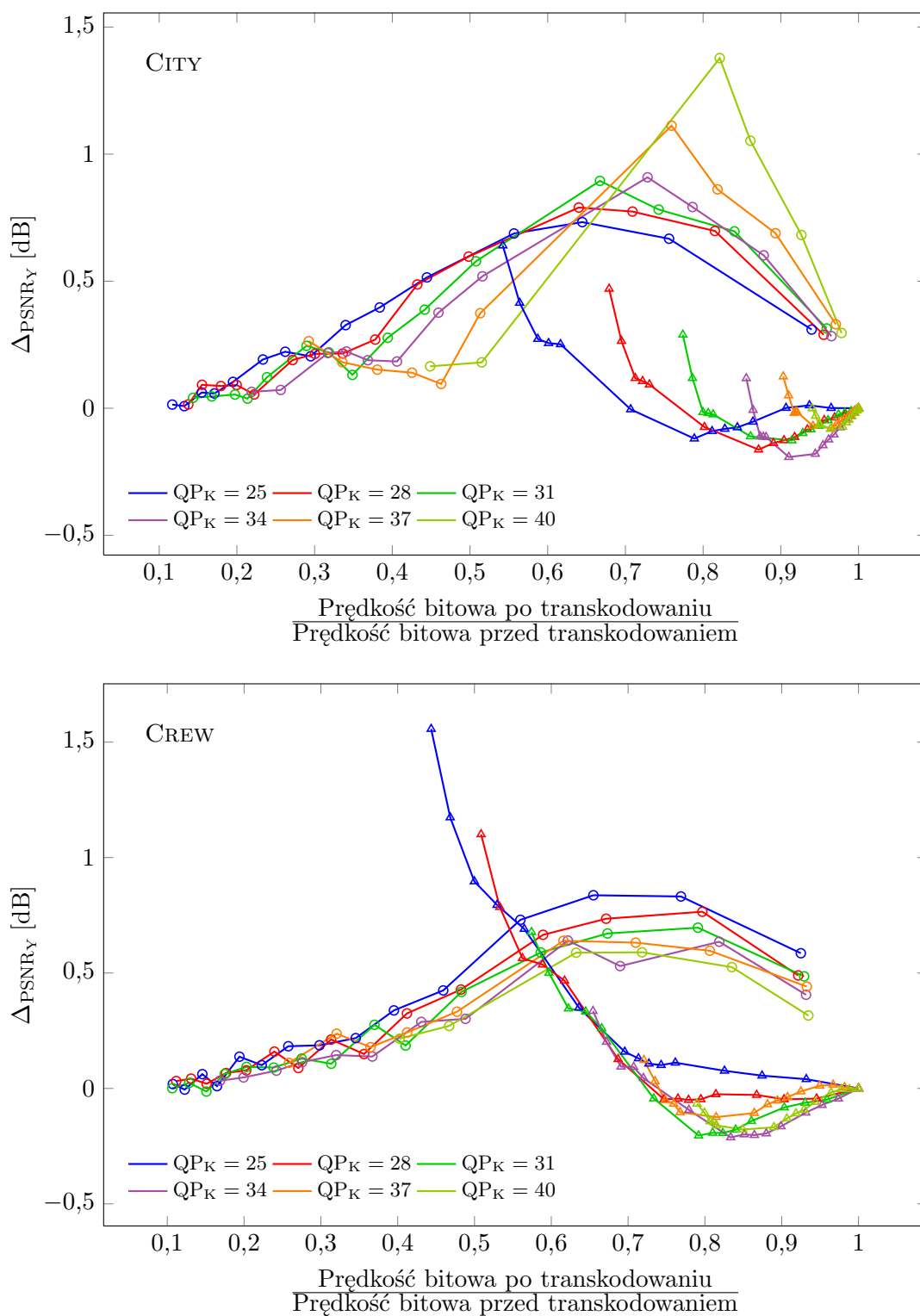
Rysunek D.59: Straty jakości dla transkodera kaskadowego (—○—) i proponowanej metody redukcji strumienia bitowego (—▲—) w odniesieniu do jakości otrzymanej w wyniku jednokrotnej kompresji sekwencji oryginalnej (struktura GOP: 3P3B, $QP^I = QP^P = QP^B$, włączony filtr deblokujący, brak makrobloków Intra w obrazach P i B)



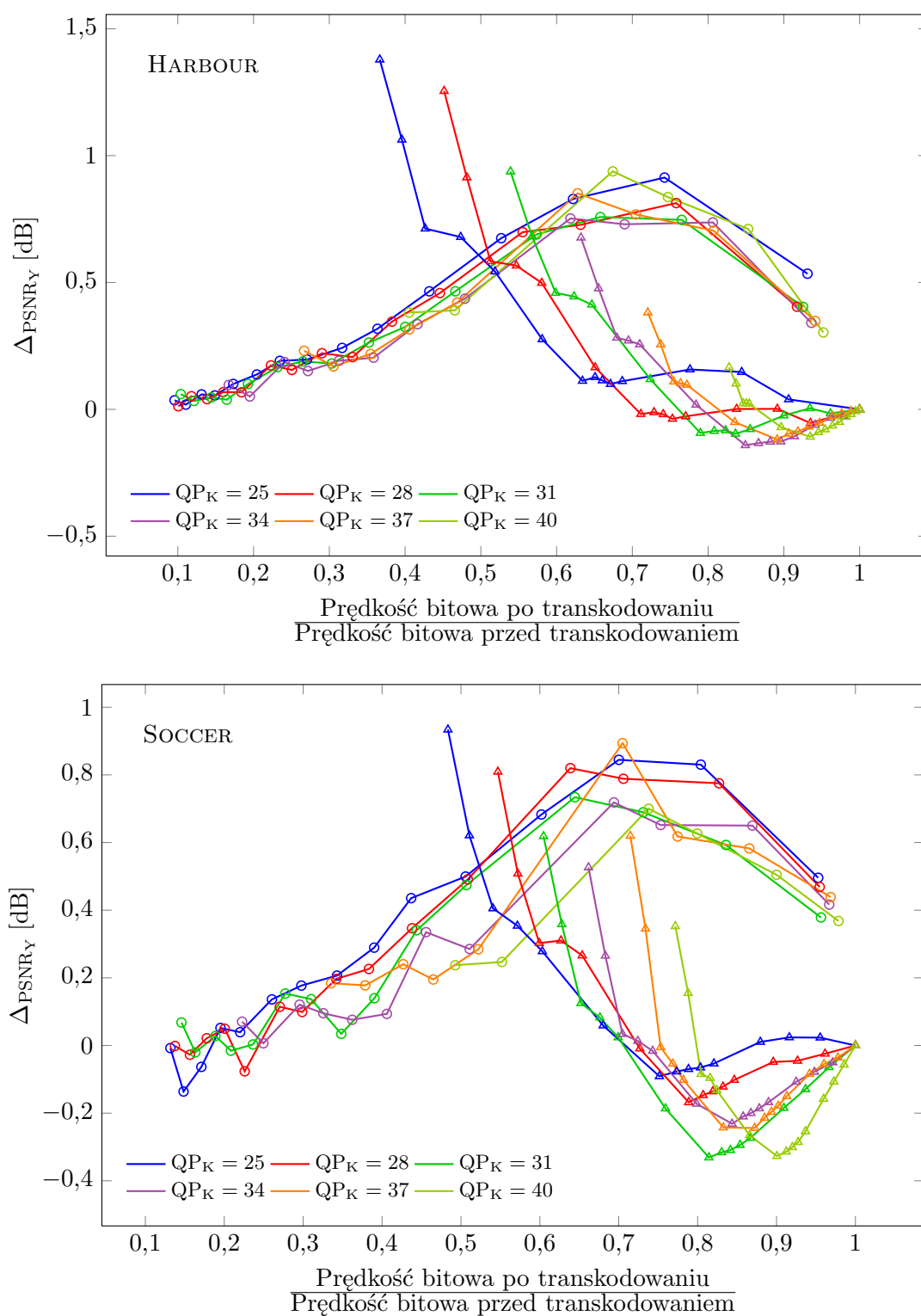
Rysunek D.60: Straty jakości dla transkodera kaskadowego (—△—) i proponowanej metody redukcji strumienia bitowego (—○—) w odniesieniu do jakości otrzymanej w wyniku jednokrotnej kompresji sekwencji oryginalnej (struktura GOP: 3P3B, $QP^I = QP^P = QP^B - 2$, włączony filtr deblokujący, brak makrobloków Intra w obrazach P i B)



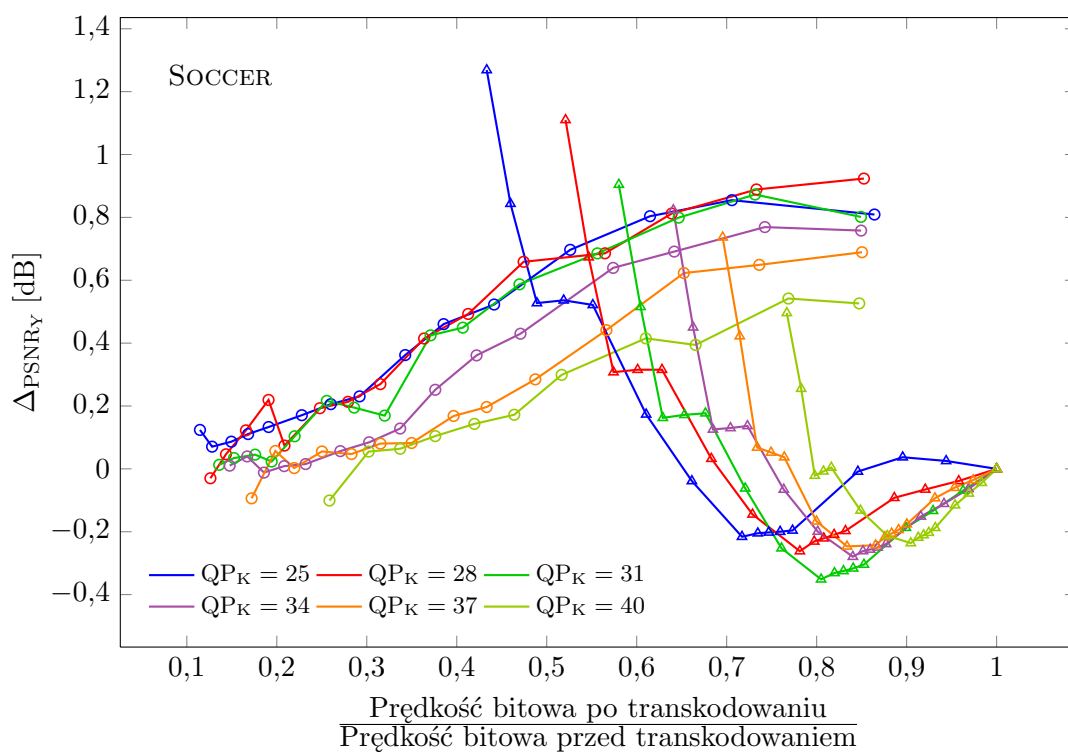
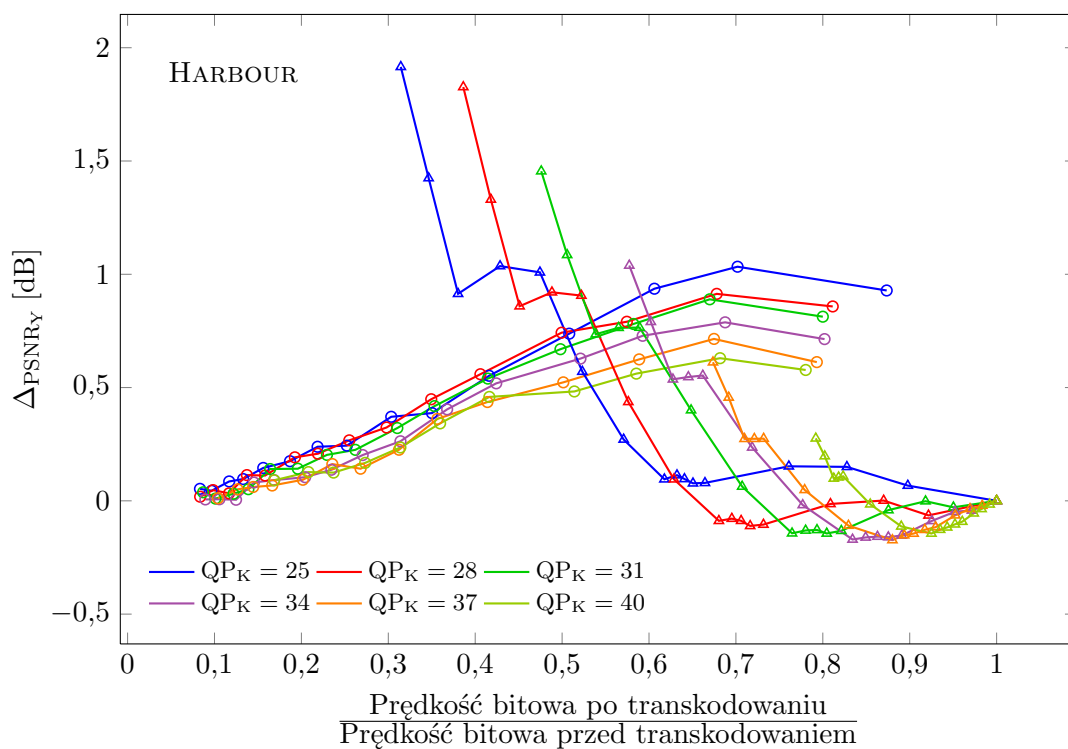
Rysunek D.60: (Kontynuacja) Straty jakości dla transkodera kaskadowego (—○—) i proponowanej metody redukcji strumienia bitowego (—▲—) w odniesieniu do jakości otrzymanej w wyniku jednokrotnej kompresji sekwencji oryginalnej (struktura GOP: 3P3B, $QP^I = QP^P = QP^B - 2$, włączony filtr deblokujący, brak makrobloków Intra w obrazach P i B)



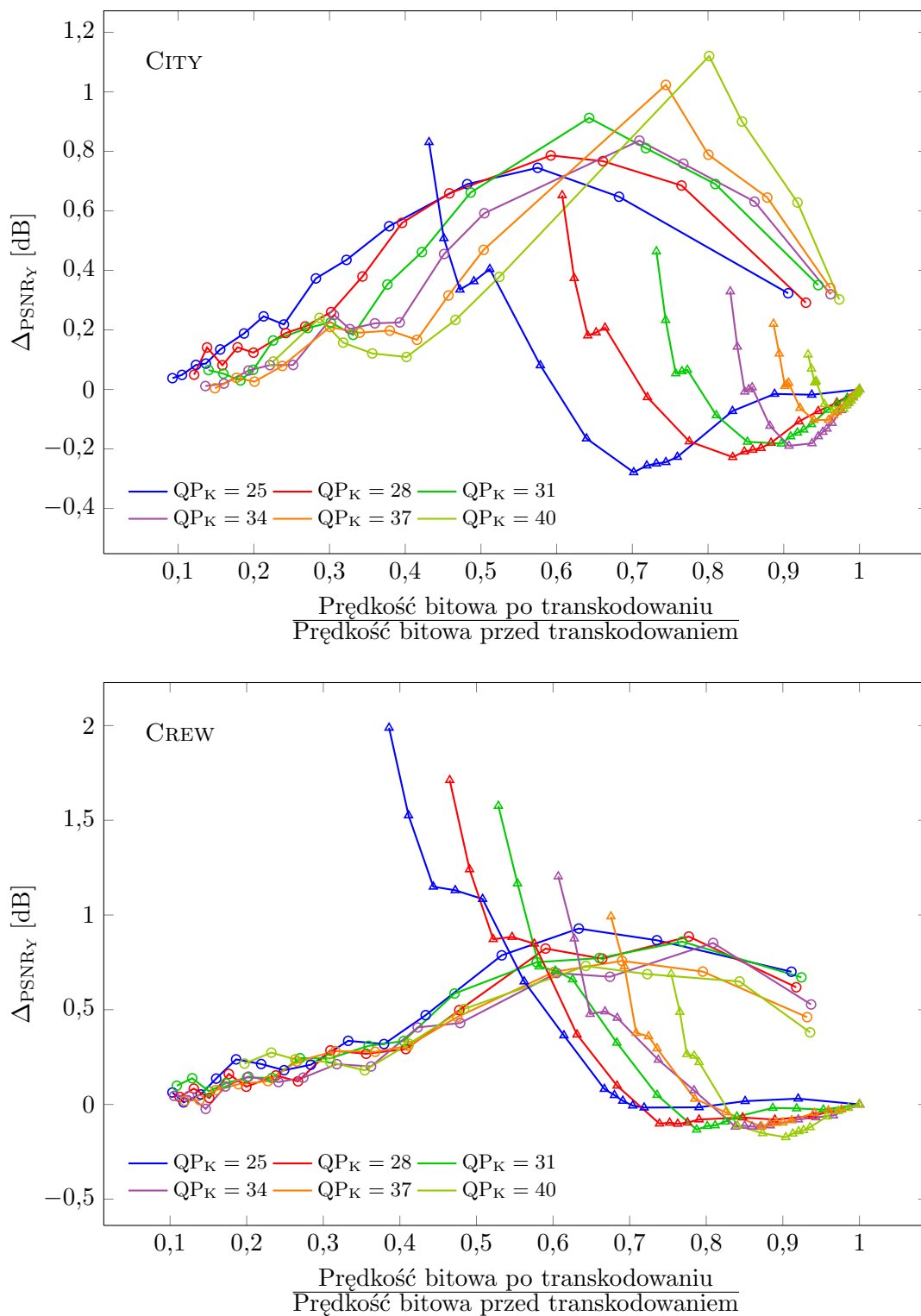
Rysunek D.61: Straty jakości dla transkodera kaskadowego (—○—) i proponowanej metody redukcji strumienia bitowego (—▲—) w odniesieniu do jakości otrzymanej w wyniku jednokrotnej kompresji sekwencji oryginalnej (struktura GOP: 3P3B, $QP^I = QP^P = QP^B - 2$, wyłączony filtr deblokujący, brak makrobloków Intra w obrazach P i B)



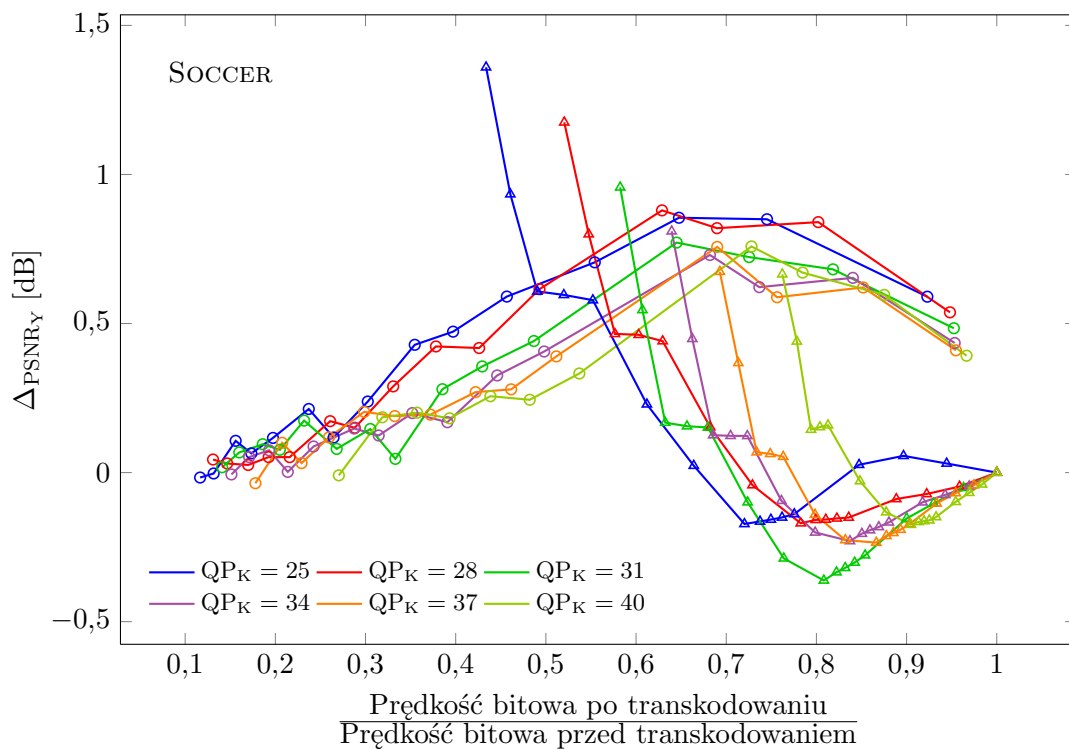
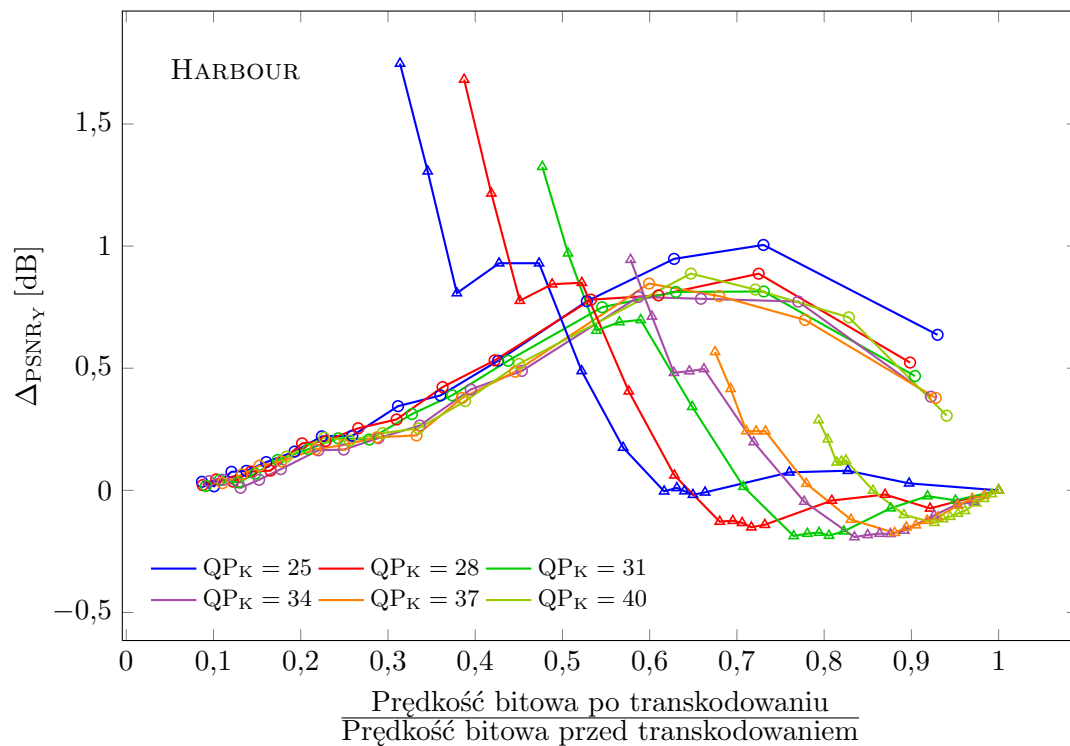
Rysunek D.61: (Kontynuacja) Straty jakości dla transkodera kaskadowego (—○—) i proponowanej metody redukcji strumienia bitowego (—▲—) w odniesieniu do jakości otrzymanej w wyniku jednokrotnej kompresji sekwencji oryginalnej (struktura GOP: 3P3B, $QP^I = QP^P = QP^B - 2$, wyłączony filtr deblokujący, brak makrobloków Intra w obrazach P i B)



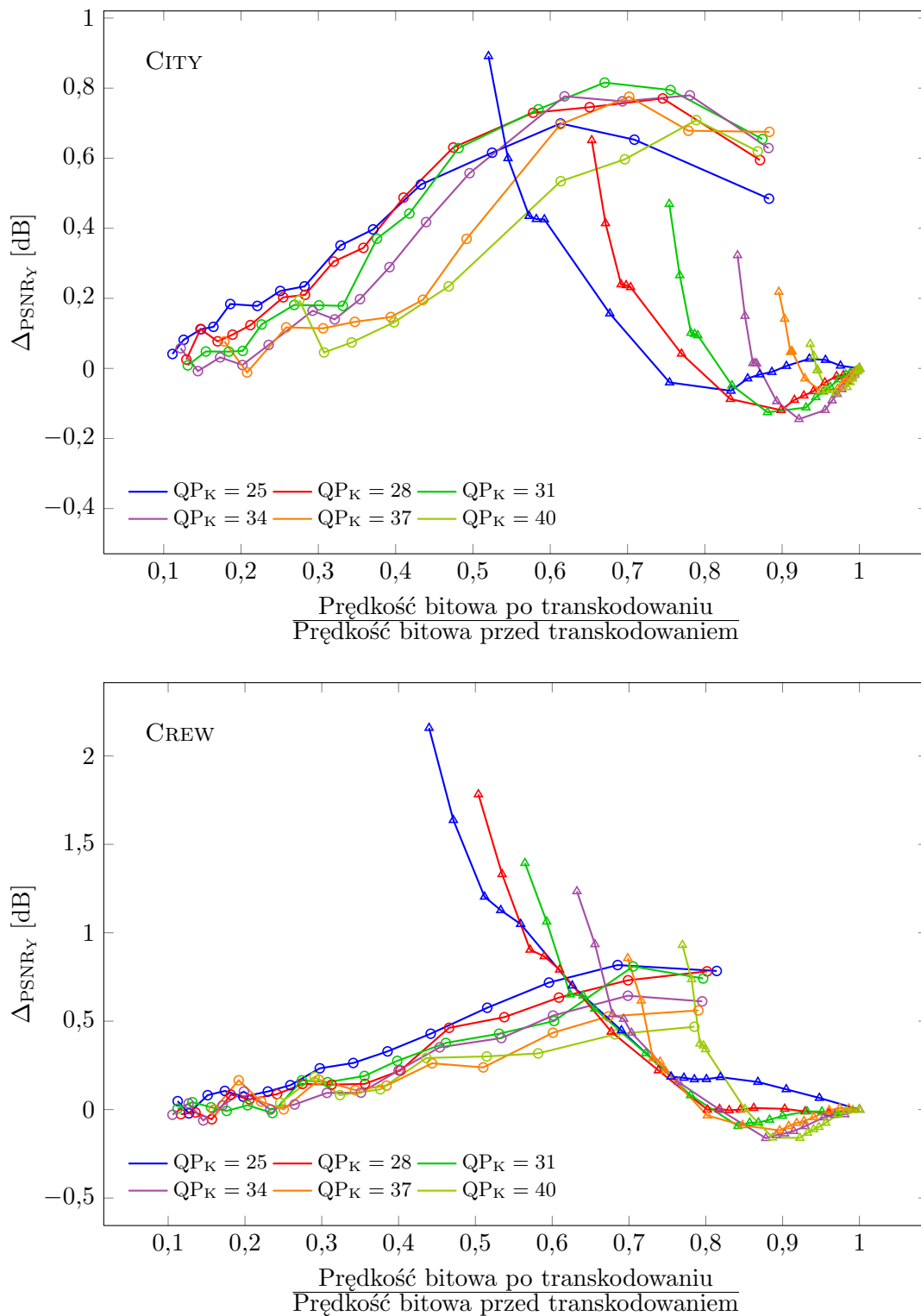
Rysunek D.62: Straty jakości dla transkodera kaskadowego (—○—) i proponowanej metody redukcji strumienia bitowego (—▲—) w odniesieniu do jakości otrzymanej w wyniku jednokrotnej kompresji sekwencji oryginalnej (struktura GOP: 4P2B, $QP^I = QP^P = QP^B$, włączony filtr deblokujący, brak makrobloków Intra w obrazach P i B)



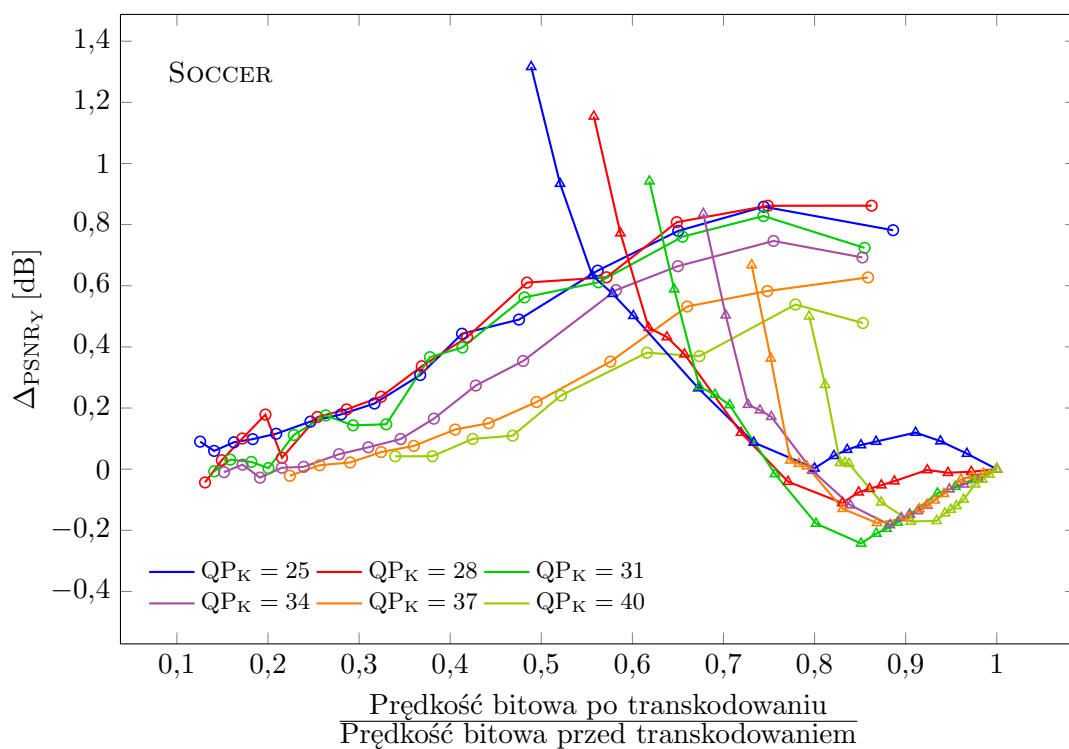
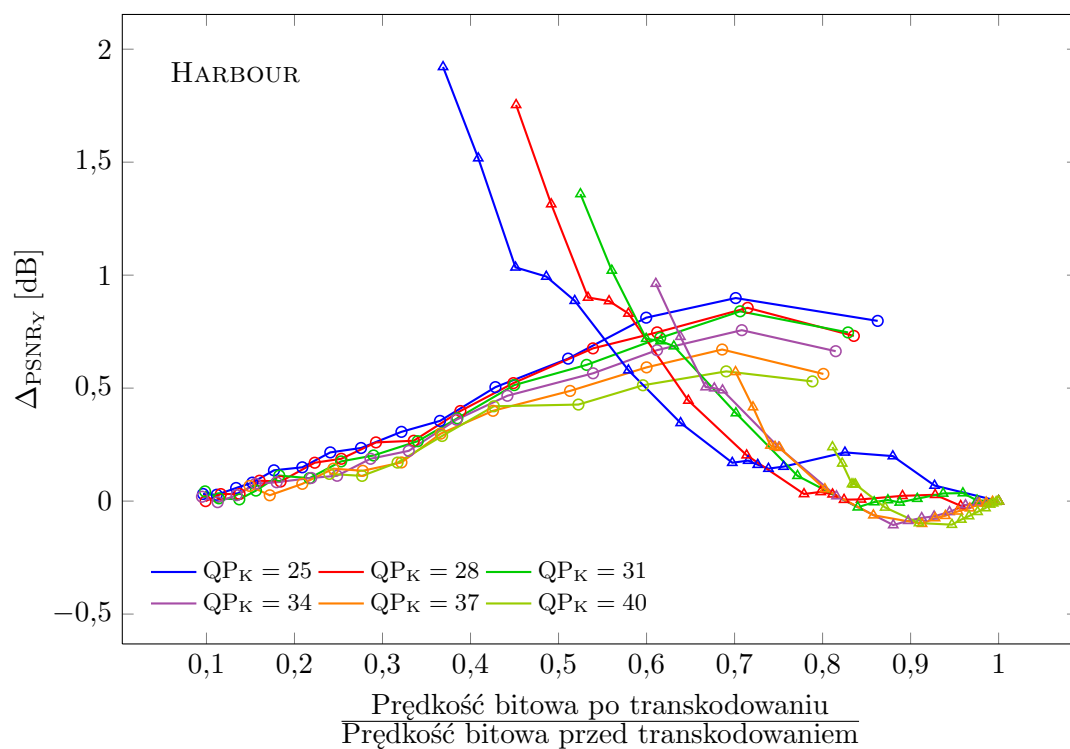
Rysunek D.63: Straty jakości dla transkodera kaskadowego (—○—) i proponowanej metody redukcji strumienia bitowego (—▲—) w odniesieniu do jakości otrzymanej w wyniku jednokrotnej kompresji sekwencji oryginalnej (struktura GOP: 4P2B, $QP^I = QP^P = QP^B$, wyłączony filtr deblokujący, brak makrobloków Intra w obrazach P i B)



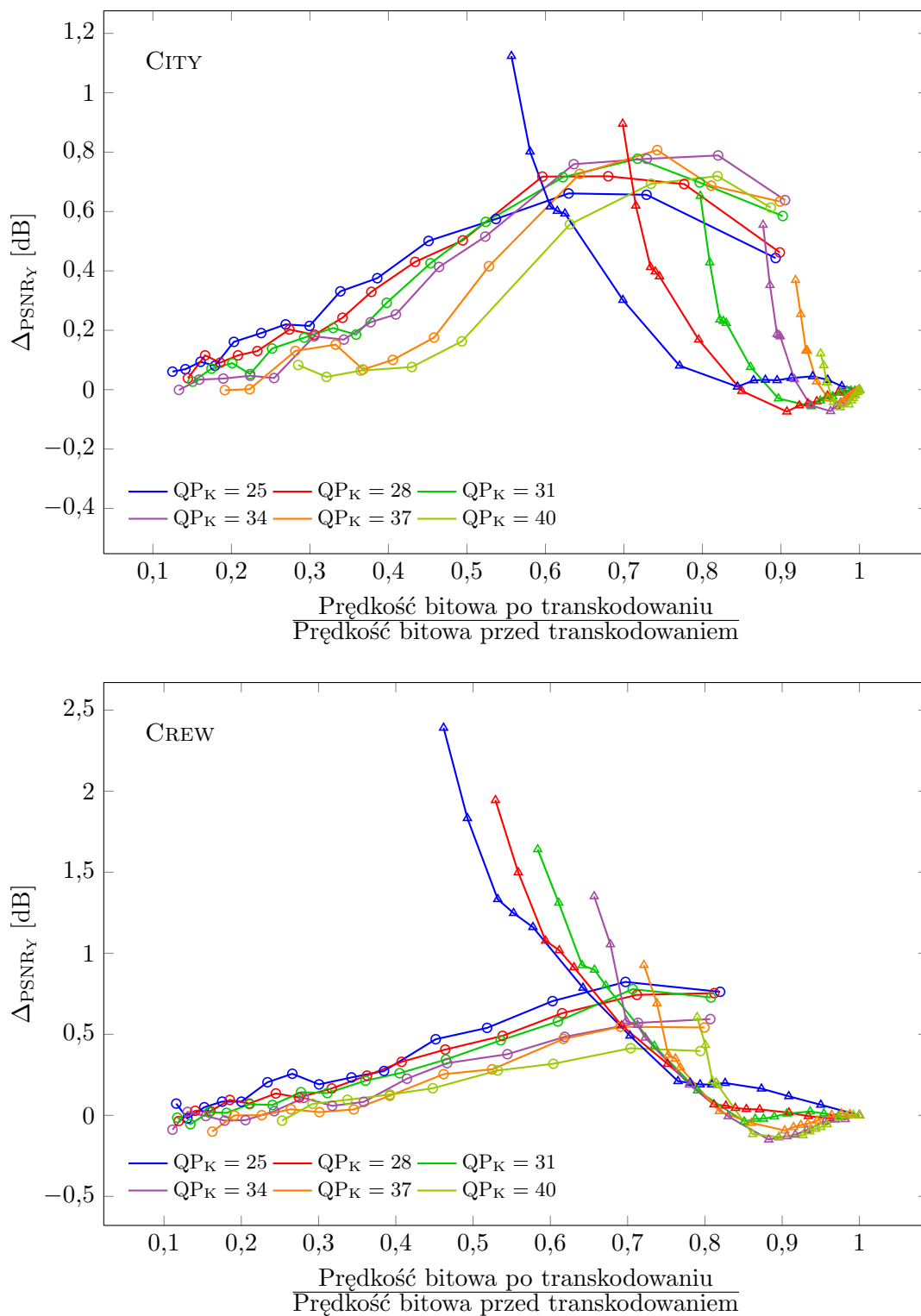
Rysunek D.63: (Kontynuacja) Straty jakości dla transkodera kaskadowego ($\circ$) i proponowanej metody redukcji strumienia bitowego ($\triangle$) w odniesieniu do jakości otrzymanej w wyniku jednokrotnej kompresji sekwencji oryginalnej (struktura GOP: 4P2B, $QP^I = QP^P = QP^B$, wyłączony filtr deblokujący, brak makrobloków Intra w obrazach P i B)



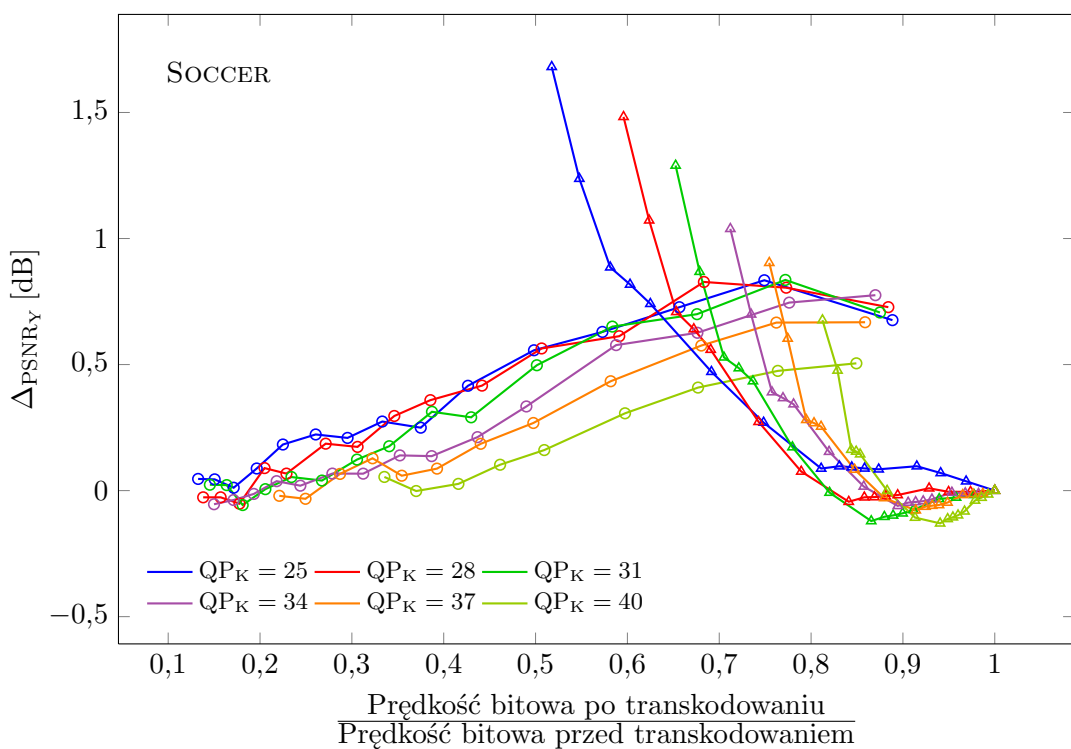
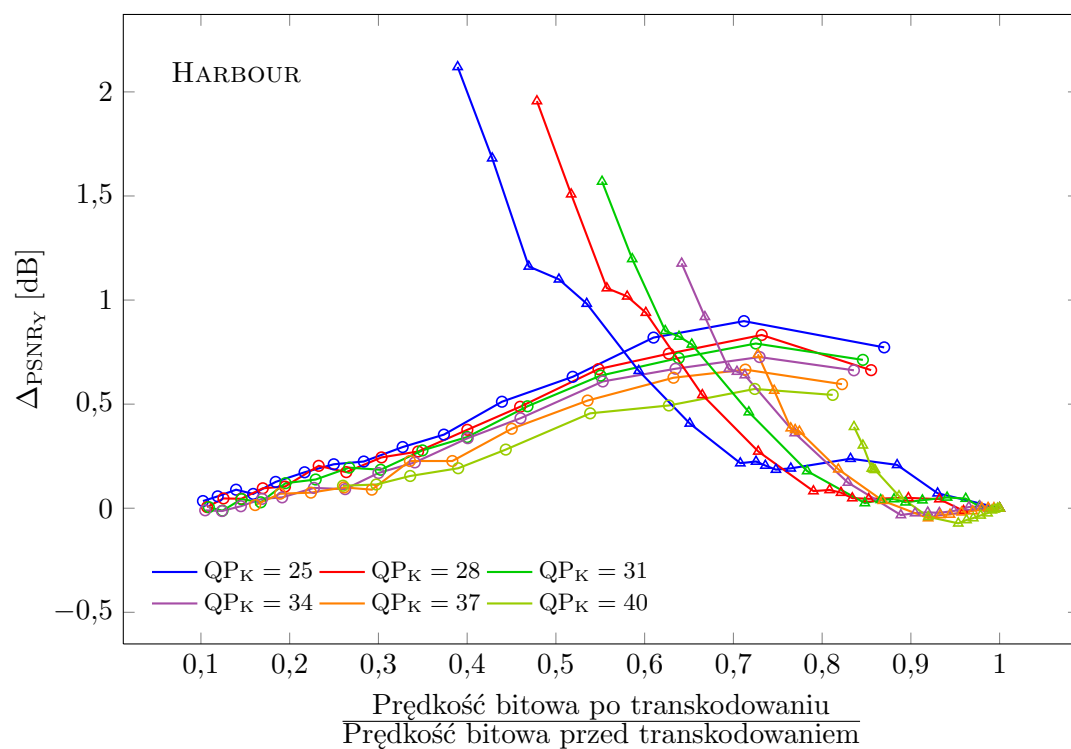
Rysunek D.64: Straty jakości dla transkodera kaskadowego (—○—) i proponowanej metody redukcji strumienia bitowego (—▲—) w odniesieniu do jakości otrzymanej w wyniku jednokrotnej kompresji sekwencji oryginalnej (struktura GOP: 4P2B, $QP^I = QP^P = QP^B - 2$, włączony filtr deblokujący, brak makrobloków Intra w obrazach P i B)



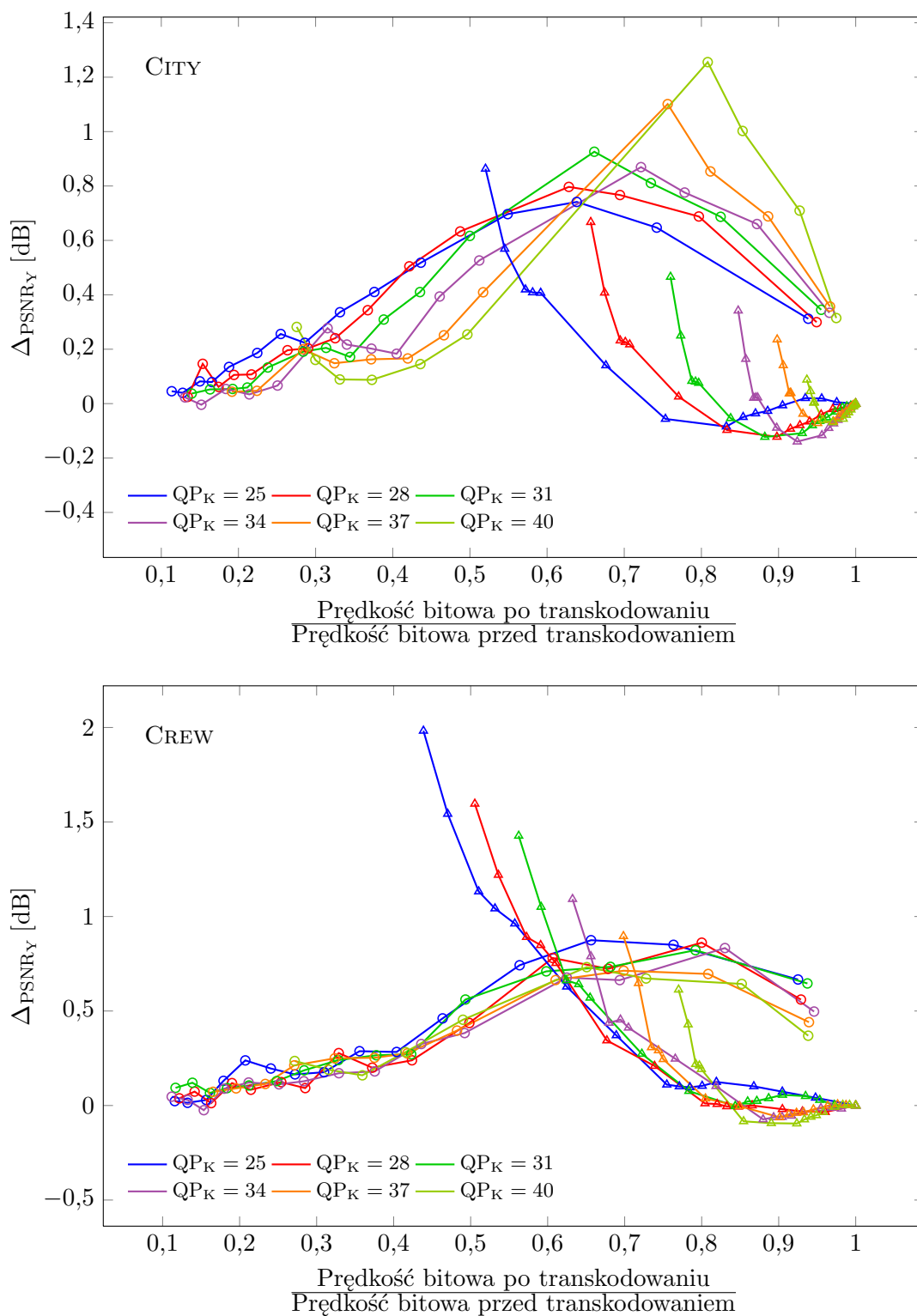
Rysunek D.64: (Kontynuacja) Straty jakości dla transkodera kaskadowego (—○—) i proponowanej metody redukcji strumienia bitowego (—▲—) w odniesieniu do jakości otrzymanej w wyniku jednokrotnej kompresji sekwencji oryginalnej (struktura GOP: 4P2B, $QP^I = QP^P = QP^B - 2$, włączony filtr deblokujący, brak makrobloków Intra w obrazach P i B)



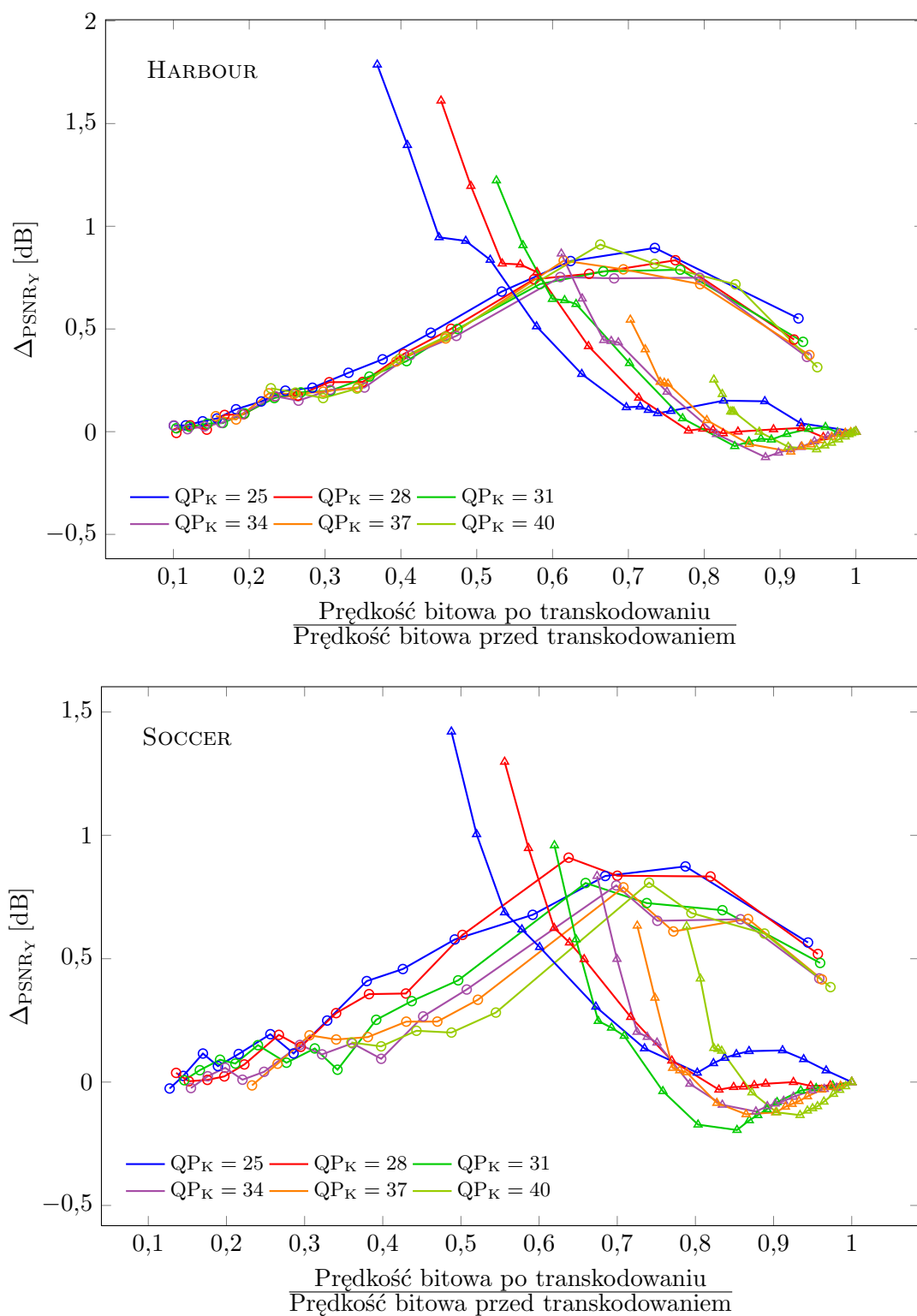
Rysunek D.65: Straty jakości dla transkodera kaskadowego (—○—) i proponowanej metody redukcji strumienia bitowego (—▲—) w odniesieniu do jakości otrzymanej w wyniku jednokrotnej kompresji sekwencji oryginalnej (struktura GOP: 4P2B, $QP^I + 2 = QP^P = QP^B - 2$, włączony filtr deblokujący, brak makrobloków Intra w obrazach P i B)



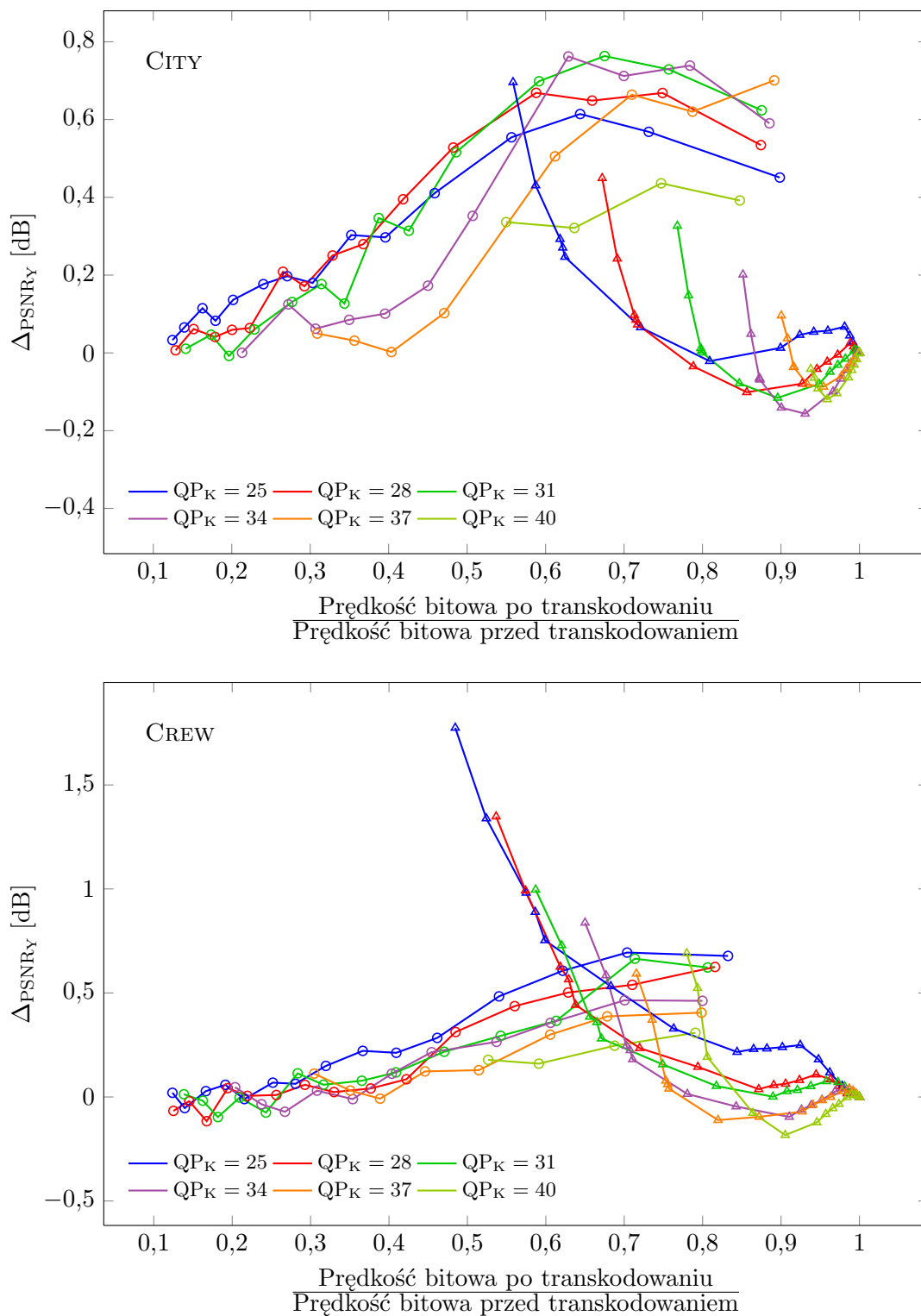
Rysunek D.65: (Kontynuacja) Straty jakości dla transkodera kaskadowego (—○—) i proponowanej metody redukcji strumienia bitowego (—▲—) w odniesieniu do jakości otrzymanej w wyniku jednokrotnej kompresji sekwencji oryginalnej (struktura GOP: 4P2B, $QP^I + 2 = QP^P = QP^B - 2$, włączony filtr deblokujący, brak makrobloków Intra w obrazach P i B)



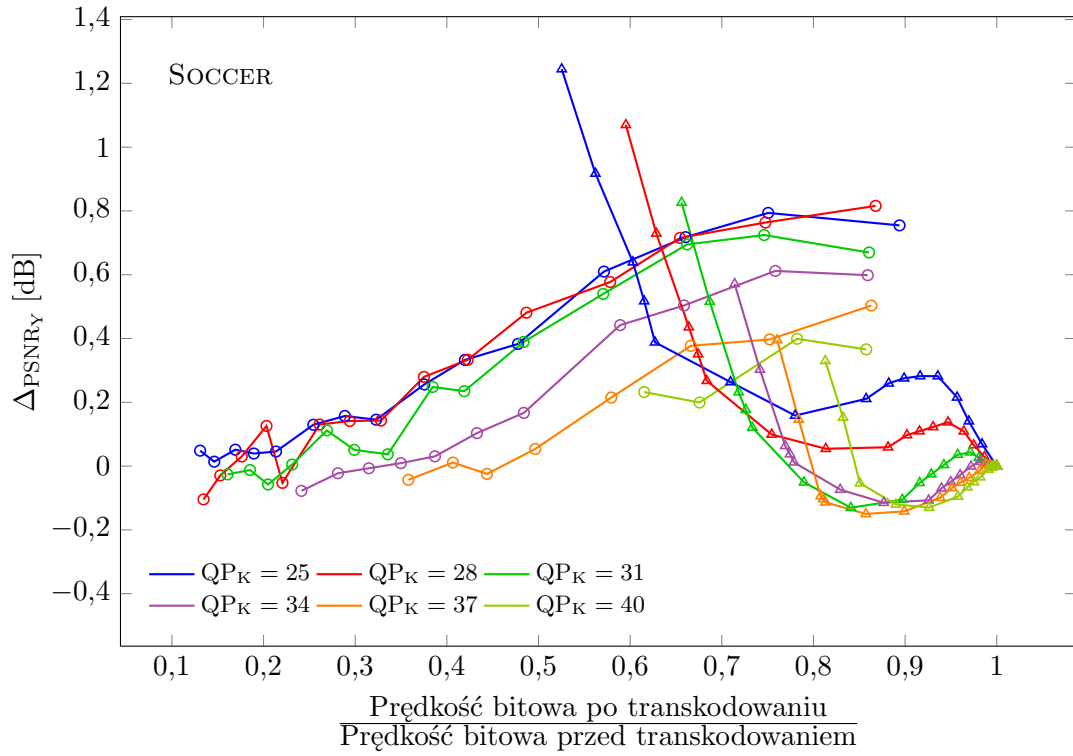
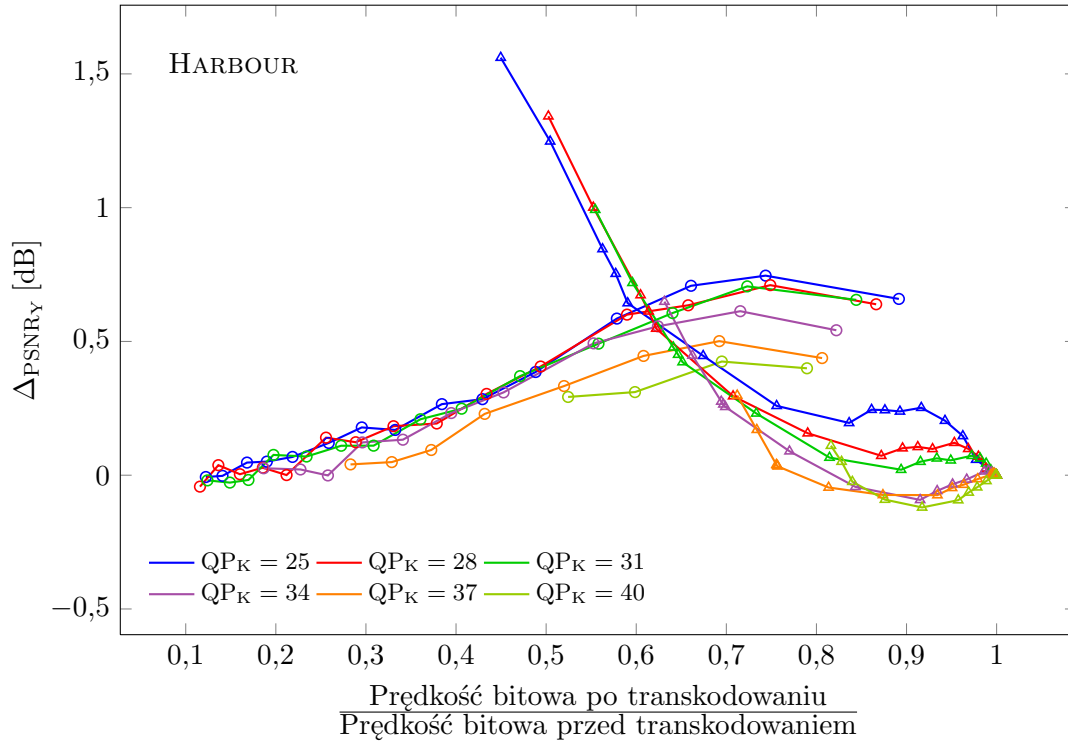
Rysunek D.66: Straty jakości dla transkodera kaskadowego (—○—) i proponowanej metody redukcji strumienia bitowego (—△—) w odniesieniu do jakości otrzymanej w wyniku jednokrotnej kompresji sekwencji oryginalnej (struktura GOP: 4P2B, $\text{QP}^I = \text{QP}^P = \text{QP}^B - 2$, wyłączony filtr deblokujący, brak makrobloków Intra w obrazach P i B)



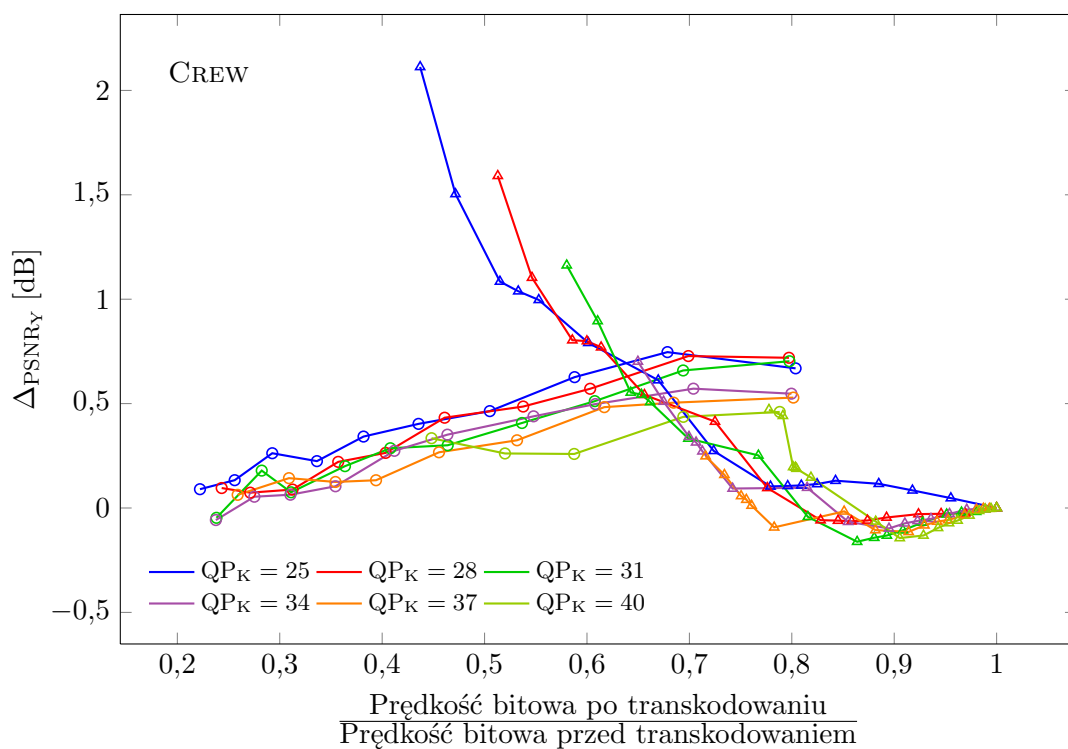
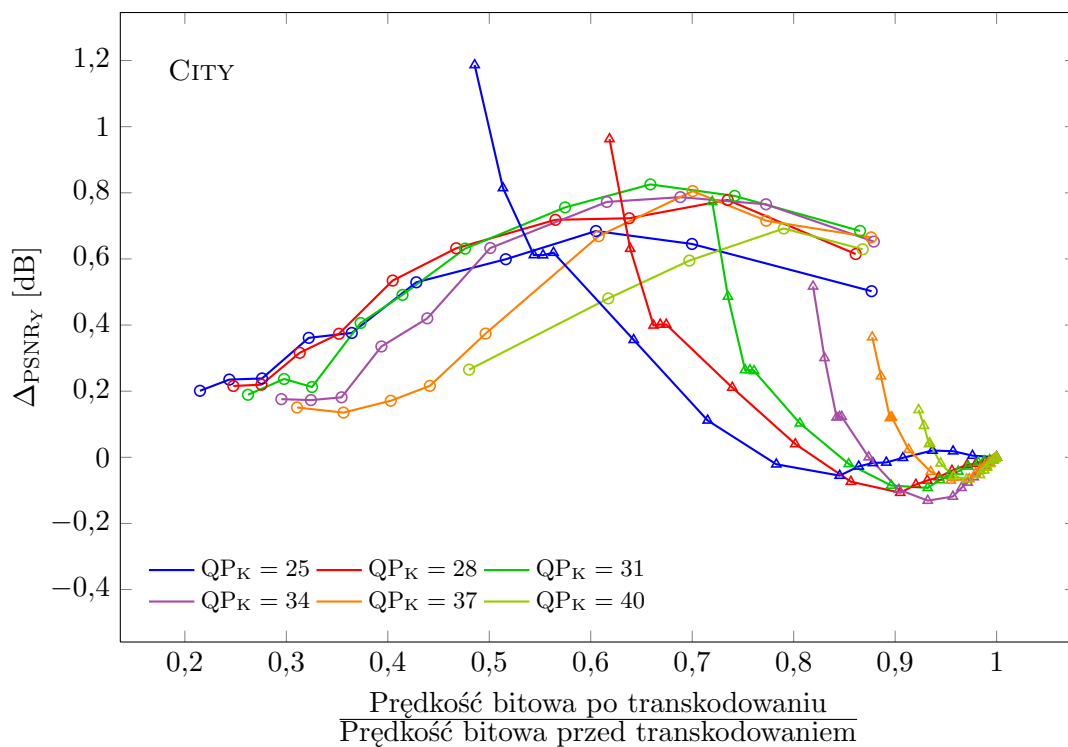
Rysunek D.66: (Kontynuacja) Straty jakości dla transkodera kaskadowego ($\circ$) i proponowanej metody redukcji strumienia bitowego ($\triangle$) w odniesieniu do jakości otrzymanej w wyniku jednokrotnej kompresji sekwencji oryginalnej (struktura GOP: 4P2B, $QP^I = QP^P = QP^B - 2$, wyłączony filtr deblokujący, brak makrobloków Intra w obrazach P i B)



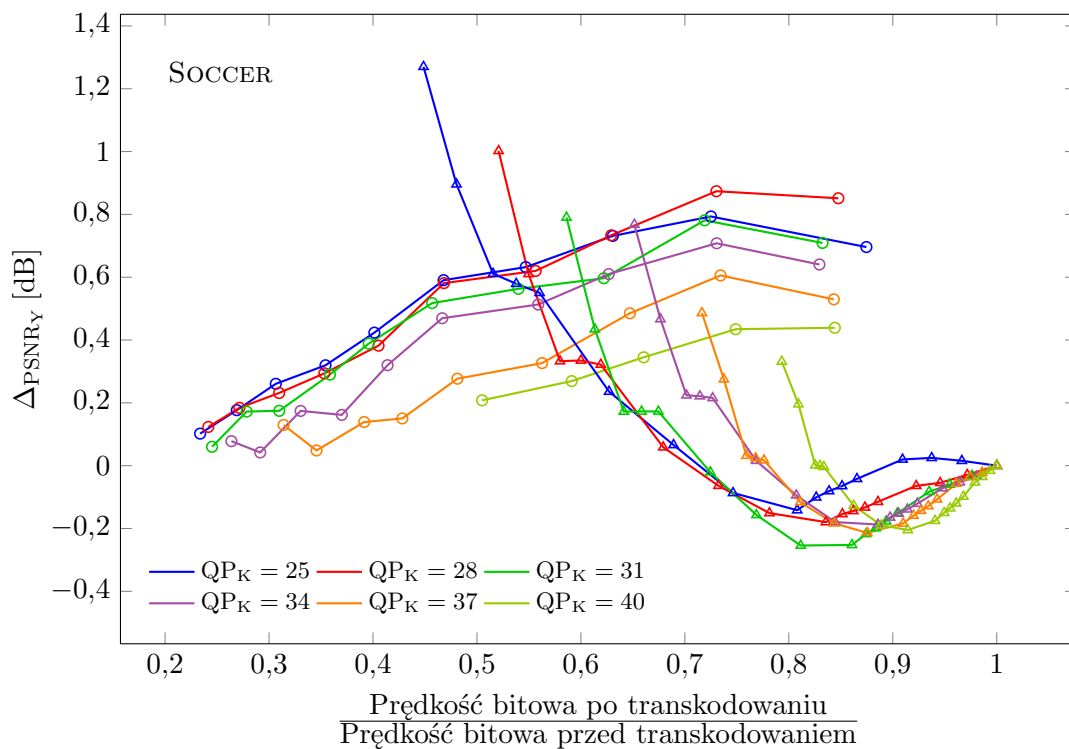
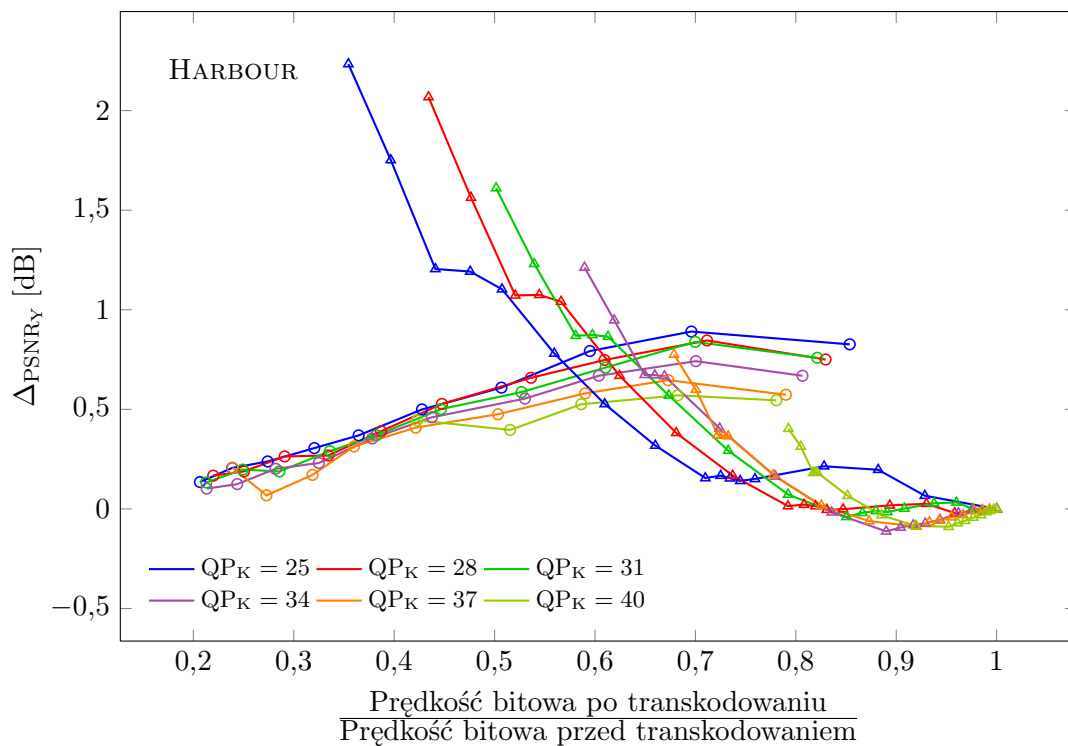
Rysunek D.67: Straty jakości dla transkodera kaskadowego (—○—) i proponowanej metody redukcji strumienia bitowego (—▲—) w odniesieniu do jakości otrzymanej w wyniku jednokrotnej kompresji sekwencji oryginalnej (struktura GOP: 4P2B, $QP^I = QP^P = QP^B - 6$, włączony filtr deblokujący, brak makrobloków Intra w obrazach P i B)



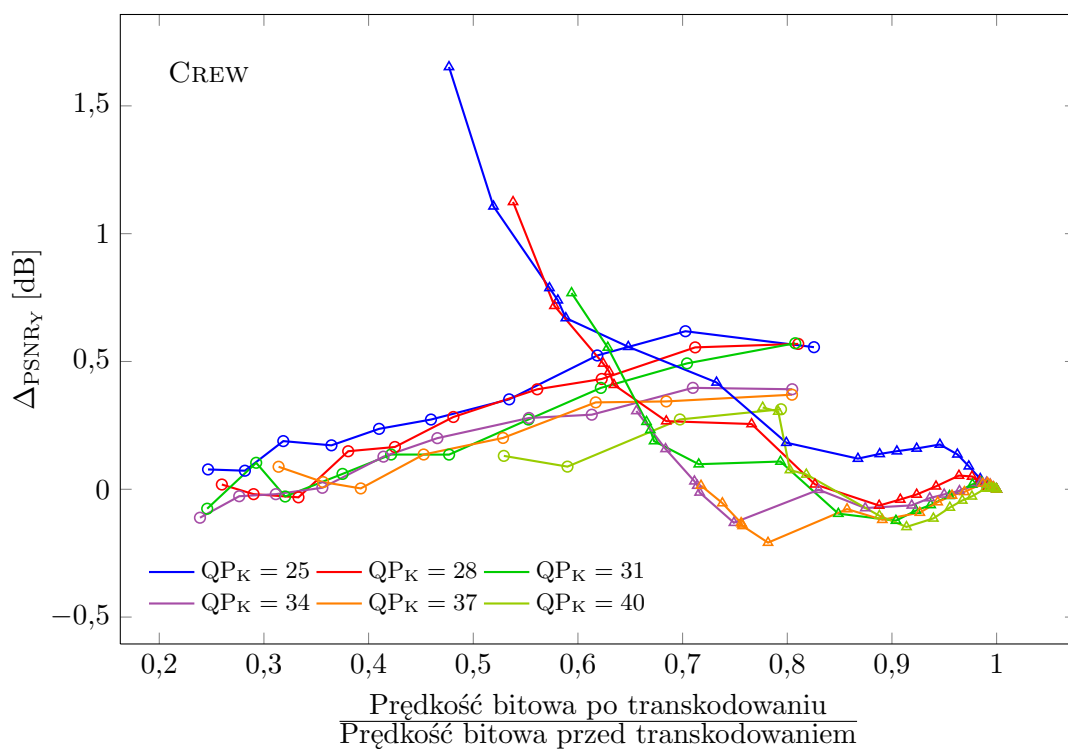
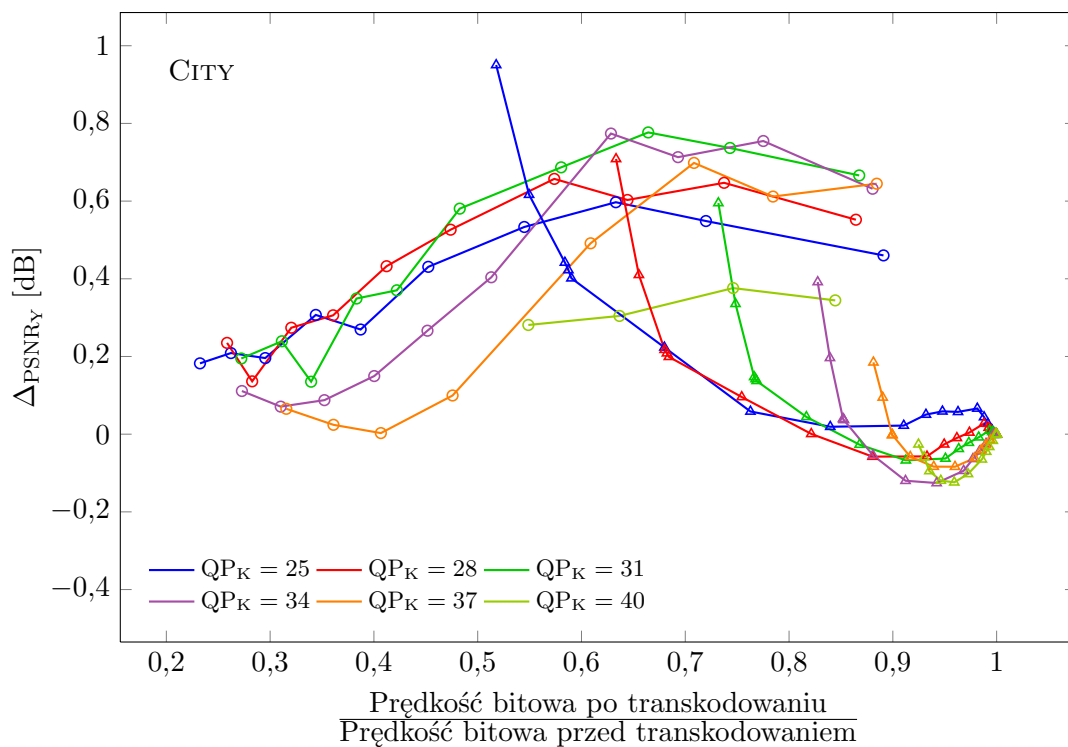
Rysunek D.67: (Kontynuacja) Straty jakości dla transkodera kaskadowego (—○—) i proponowanej metody redukcji strumienia bitowego (—▲—) w odniesieniu do jakości otrzymanej w wyniku jednokrotnej kompresji sekwencji oryginalnej (struktura GOP: 4P2B, $QP^I = QP^P = QP^B - 6$, włączony filtr deblokujący, brak makrobloków Intra w obrazach P i B)



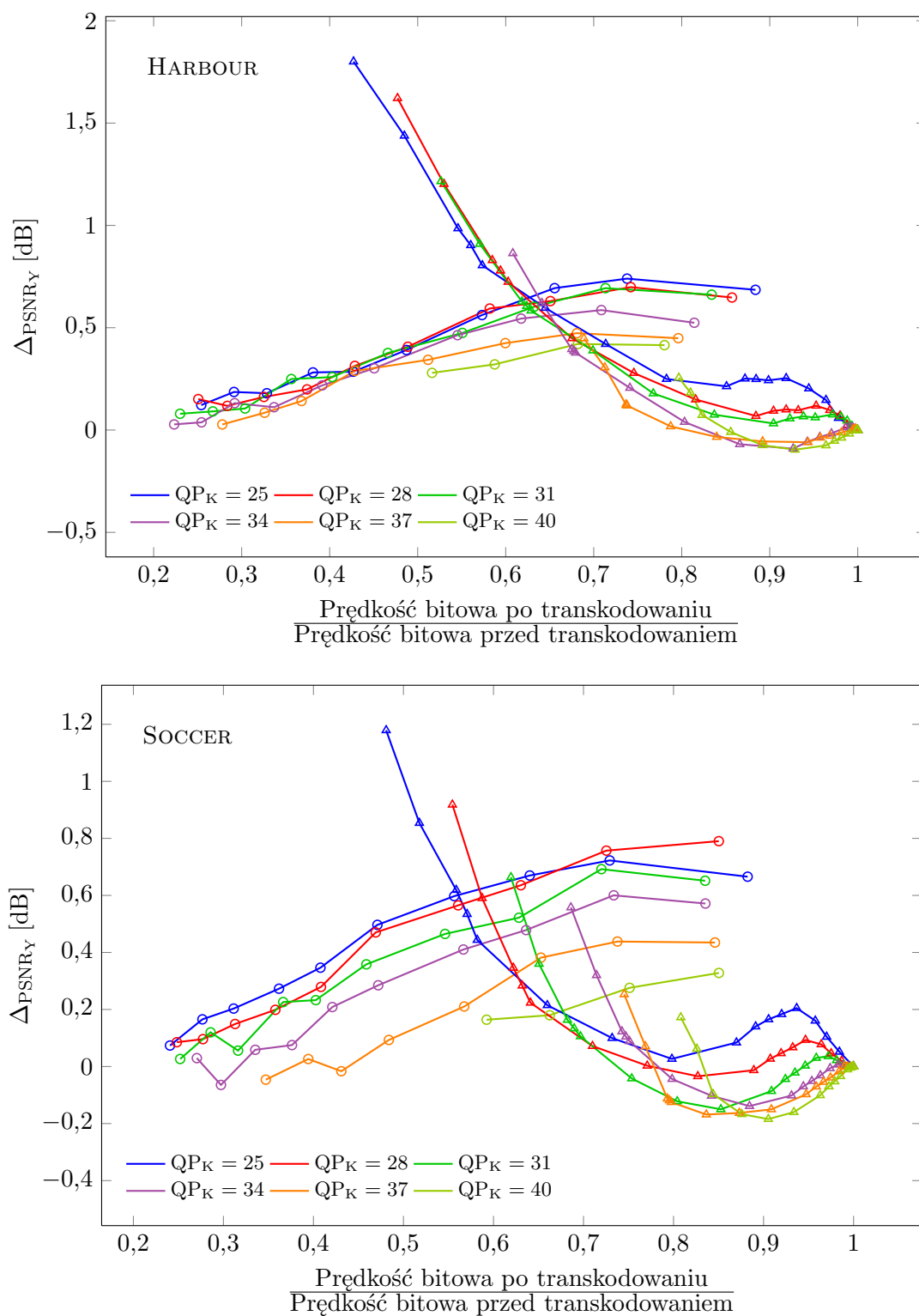
Rysunek D.68: Straty jakości dla transkodera kaskadowego (—○—) i proponowanej metody redukcji strumienia bitowego (—▲—) w odniesieniu do jakości otrzymanej w wyniku jednokrotnej kompresji sekwencji oryginalnej (struktura GOP: 5P2B, $QP^I = QP^P = QP^B - 2$, włączony filtr deblokujący, brak makrobloków Intra w obrazach P i B)



Rysunek D.68: (Kontynuacja) Straty jakości dla transkodera kaskadowego (—○—) i proponowanej metody redukcji strumienia bitowego (—▲—) w odniesieniu do jakości otrzymanej w wyniku jednokrotnej kompresji sekwencji oryginalnej (struktura GOP: 5P2B, $QP^I = QP^P = QP^B - 2$, włączony filtr deblokujący, brak makrobloków Intra w obrazach P i B)

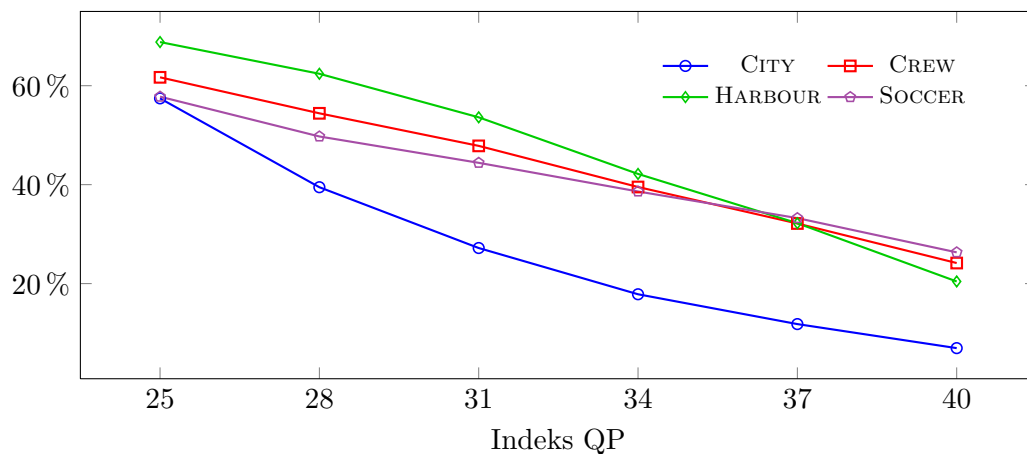


Rysunek D.69: Straty jakości dla transkodera kaskadowego (—△—) i proponowanej metody redukcji strumienia bitowego (—○—) w odniesieniu do jakości otrzymanej w wyniku jednokrotnej kompresji sekwencji oryginalnej (struktura GOP: 5P2B, $QP^I = QP^P = QP^B - 6$, włączony filtr deblokujący, brak makrobloków Intra w obrazach P i B)

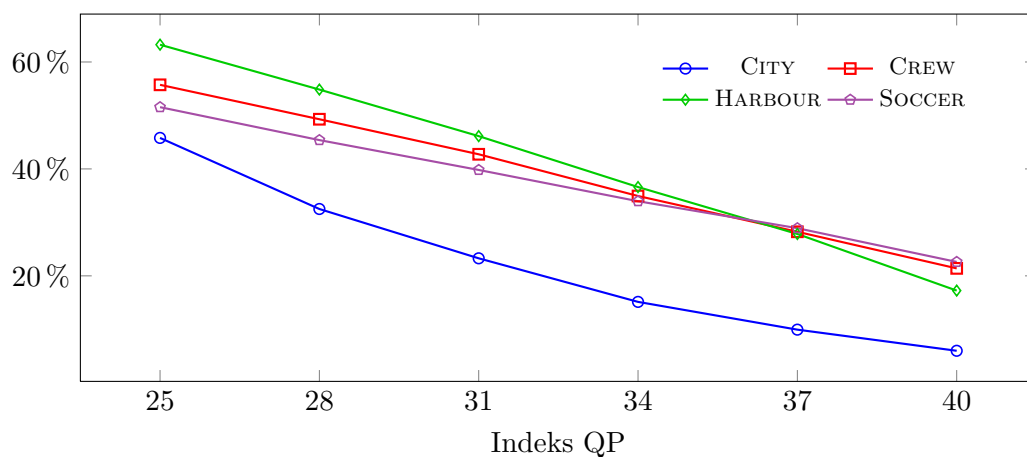


Rysunek D.69: (Kontynuacja) Straty jakości dla transkodera kaskadowego (—○) i proponowanej metody redukcji strumienia bitowego (—▲) w odniesieniu do jakości otrzymanej w wyniku jednokrotnej kompresji sekwencji oryginalnej (struktura GOP: 5P2B, $QP^I = QP^P = QP^B - 6$, włączony filtr deblokujący, brak makrobloków Intra w obrazach P i B)

Dodatek D.3 Uzupełnienia do punktu 5.3.3

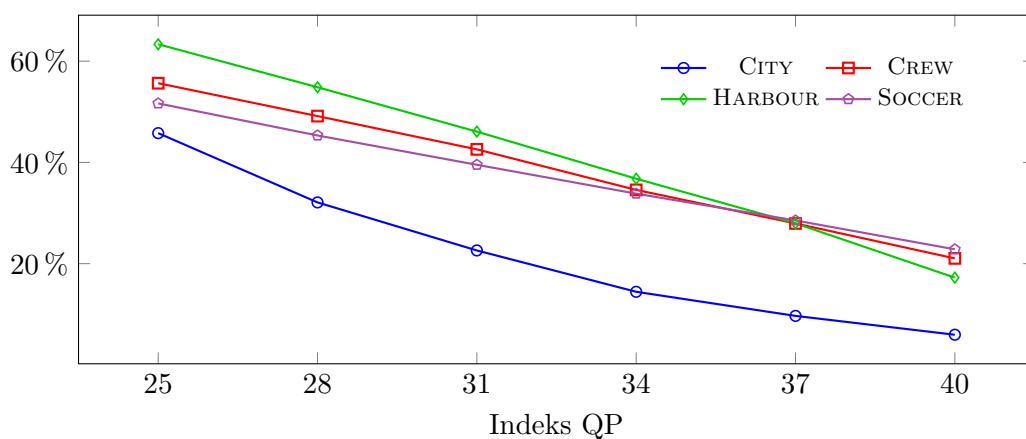


(a) $QP^I = QP^P = QP^B$

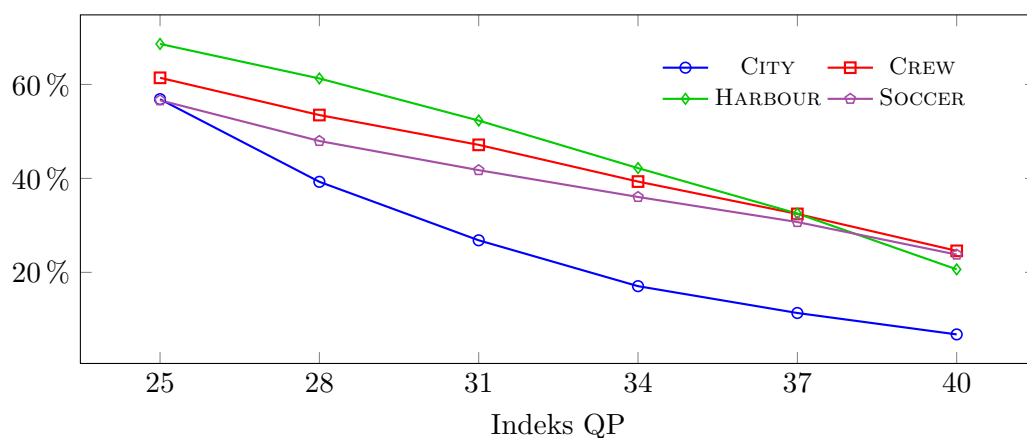


(b) $QP^I = QP^P = QP^B - 2$

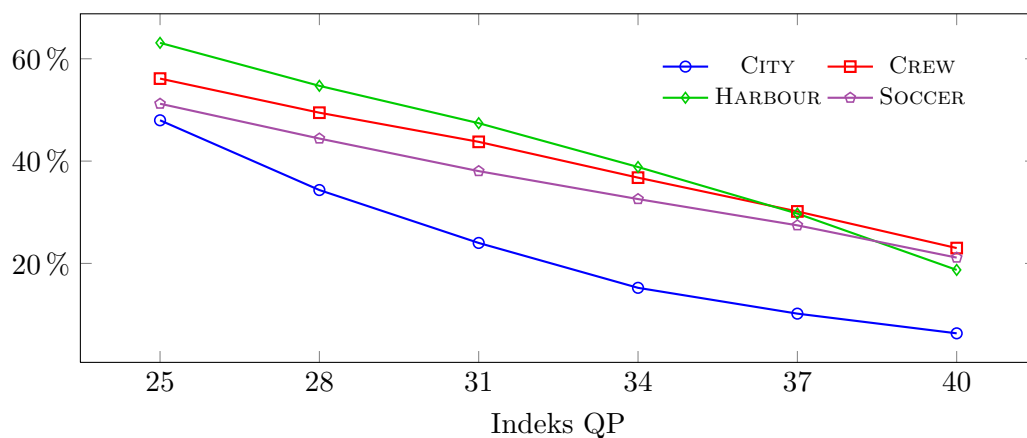
Rysunek D.70: Zakres redukcji prędkości transmisji uzyskany dzięki zaproponowanej metodzie, gdy w obrazach typu P oraz B nie jest dozwolone użycie makrobloków typu Intra (struktura GOP: 3P3B, włączony filtr deblokujący)



Rysunek D.71: Zakres redukcji prędkości transmisji uzyskany dzięki zaproponowanej metodzie, gdy w obrazach typu P oraz B nie jest dozwolone użycie makrobloków typu Intra (struktura GOP: 3P3B, $QP^I = QP^P = QP^B - 2$, wyłączony filtr deblokujący)

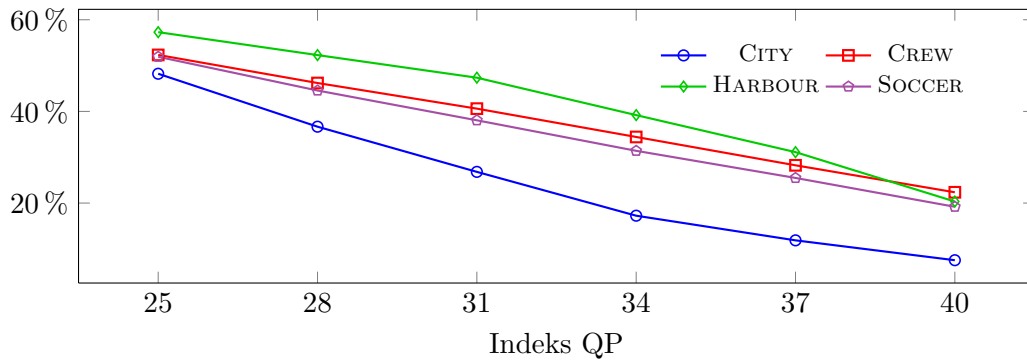


(a) $QP^I = QP^P = QP^B$

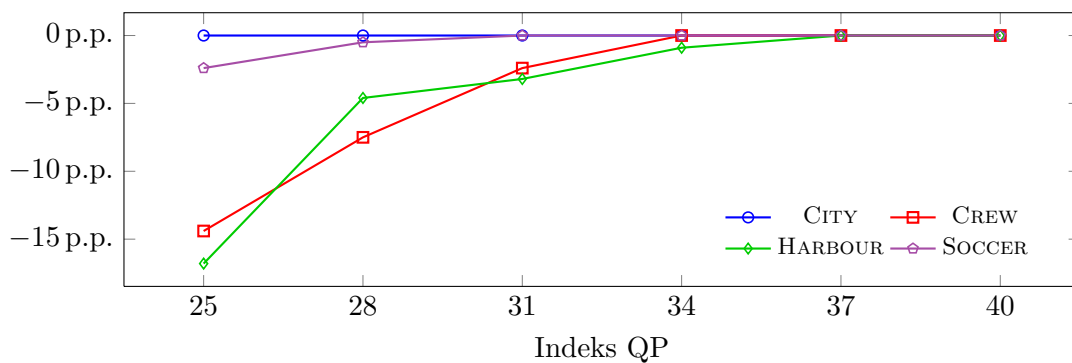


(b) $QP^I = QP^P = QP^B - 2$

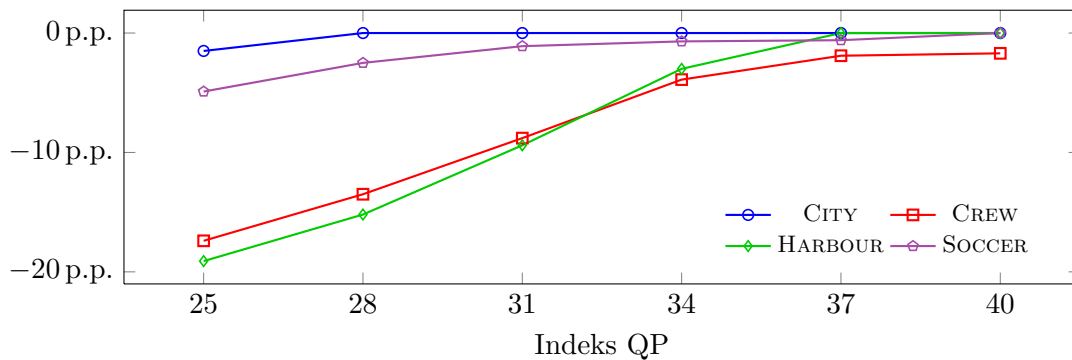
Rysunek D.72: Zakres redukcji prędkości transmisji uzyskany dzięki zaproponowanej metodzie, gdy w obrazach typu P oraz B nie jest dozwolone użycie makrobloków typu Intra (struktura GOP: 4P2B, $QP^I = QP^P = QP^B - 2$, wyłączony filtr deblokujący)



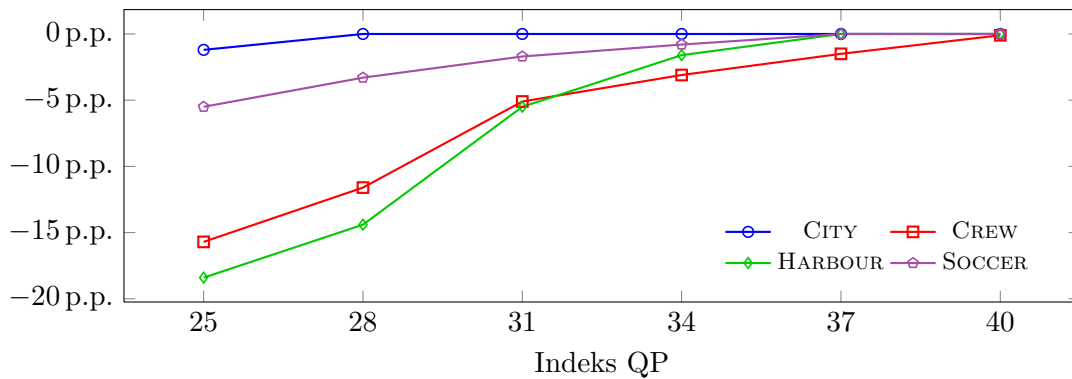
Rysunek D.73: Zakres redukcji prędkości transmisji uzyskany dzięki zaproponowanej metodzie, gdy w obrazach typu P oraz B nie jest dozwolone użycie makrobloków typu Intra (struktura GOP: 5P2B, $QP^I = QP^P = QP^B - 6$, włączony filtr deblokujący)



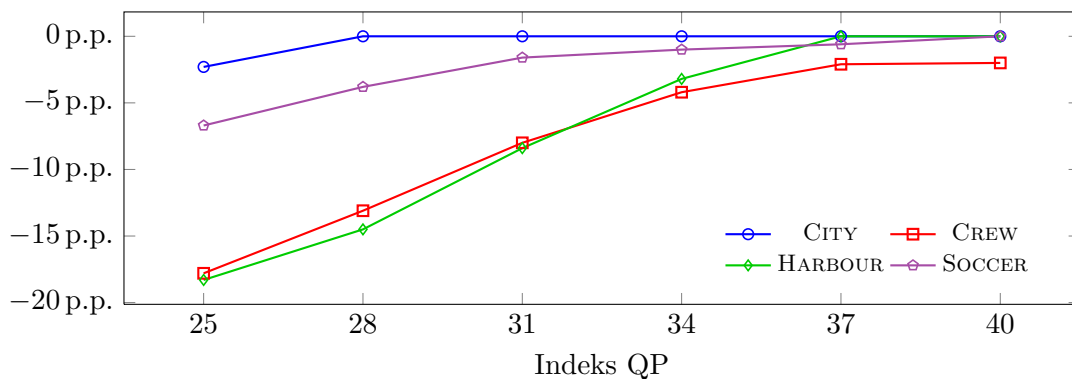
Rysunek D.74: Zmniejszenie zakresu redukcji prędkości transmisji proponowanej metody transkodowania, przy przyjęciu założenia wprowadzania strat jakości nie większych niż transkoder kaskadowy. Wartości wyrażone w punktach procentowych (struktura GOP: 3P3B, $QP^I = QP^P = QP^B$, włączony filtr deblokujący, brak makrobloków Intra w obrazach P i B)



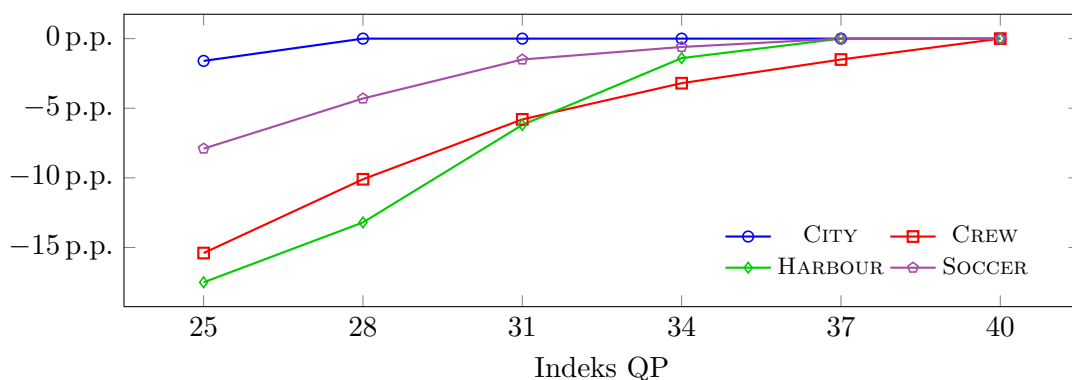
Rysunek D.75: Zmniejszenie zakresu redukcji prędkości transmisji proponowanej metody transkodowania, przy przyjęciu założenia wprowadzania strat jakości nie większych niż transkoder kaskadowy. Wartości wyrażone w punktach procentowych (struktura GOP: 4P2B, $QP^I = QP^P = QP^B$, włączony filtr deblokujący, brak makrobloków Intra w obrazach P i B)



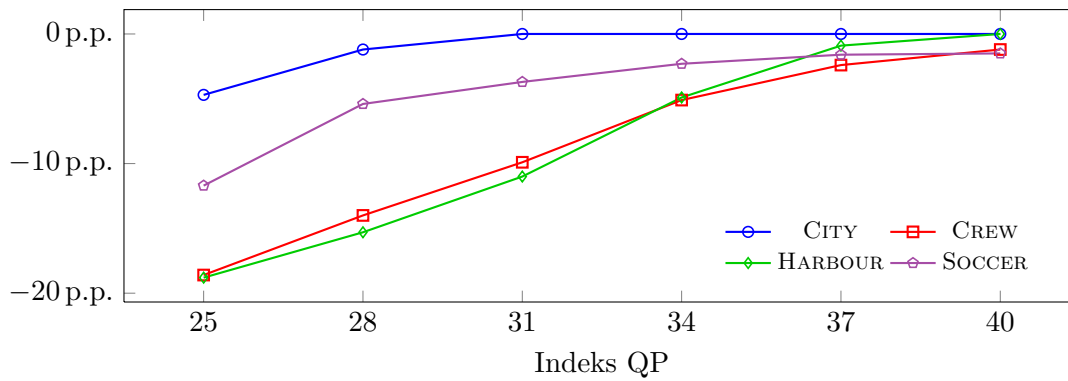
Rysunek D.76: Zmniejszenie zakresu redukcji prędkości transmisji proponowanej metody transkodowania, przy przyjęciu założenia wprowadzania strat jakości nie większych niż transkoder kaskadowy. Wartości wyrażone w punktach procentowych (struktura GOP: 4P2B, $QP^I = QP^P = QP^B$, wyłączony filtr deblokujący, brak makrobloków Intra w obrazach P i B)



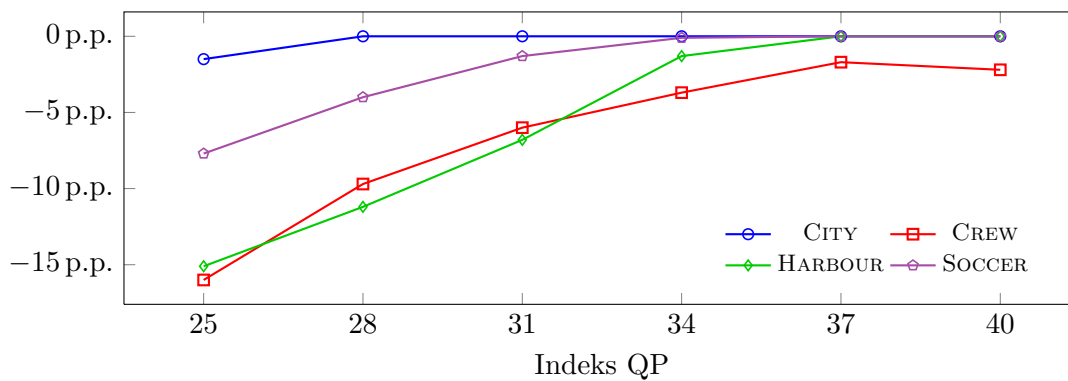
Rysunek D.77: Zmniejszenie zakresu redukcji prędkości transmisji proponowanej metody transkodowania, przy przyjęciu założenia wprowadzania strat jakości nie większych niż transkoder kaskadowy. Wartości wyrażone w punktach procentowych (struktura GOP: 4P2B, $QP^I = QP^P = QP^B - 2$, włączony filtr deblokujący, brak makrobloków Intra w obrazach P i B)



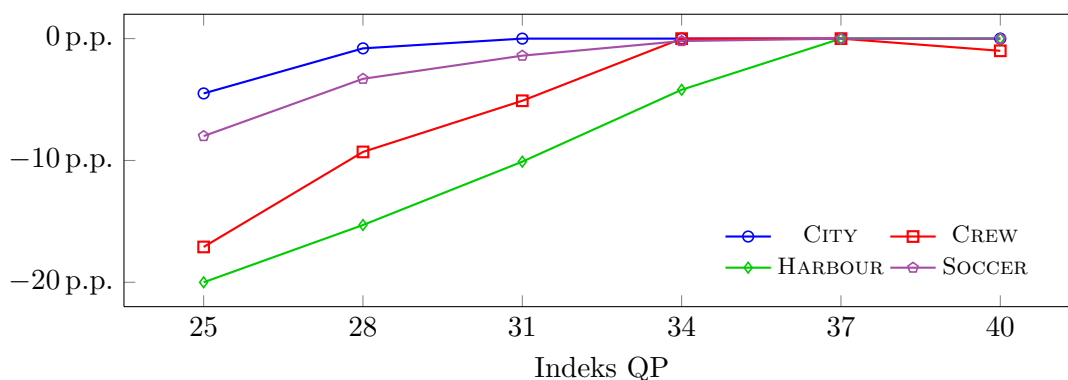
Rysunek D.78: Zmniejszenie zakresu redukcji prędkości transmisji proponowanej metody transkodowania, przy przyjęciu założenia wprowadzania strat jakości nie większych niż transkoder kaskadowy. Wartości wyrażone w punktach procentowych (struktura GOP: 4P2B, $QP^I = QP^P = QP^B - 2$, wyłączony filtr deblokujący, brak makrobloków Intra w obrazach P i B)



Rysunek D.79: Zmniejszenie zakresu redukcji prędkości transmisji proponowanej metody transkodowania, przy przyjęciu założenia wprowadzania strat jakości nie większych niż transkoder kaskadowy. Wartości wyrażone w punktach procentowych (struktura GOP: 4P2B, $QP^I + 2 = QP^P = QP^B - 2$, włączony filtr deblokujący, brak makrobloków Intra w obrazach P i B)



Rysunek D.80: Zmniejszenie zakresu redukcji prędkości transmisji proponowanej metody transkodowania, przy przyjęciu założenia wprowadzania strat jakości nie większych niż transkoder kaskadowy. Wartości wyrażone w punktach procentowych (struktura GOP: 4P2B, $QP^I = QP^P = QP^B - 6$, włączony filtr deblokujący, brak makrobloków Intra w obrazach P i B)



Rysunek D.81: Zmniejszenie zakresu redukcji prędkości transmisji proponowanej metody transkodowania, przy przyjęciu założenia wprowadzania strat jakości nie większych niż transkoder kaskadowy. Wartości wyrażone w punktach procentowych (struktura GOP: 5P2B, $QP^I = QP^P = QP^B - 6$, włączony filtr deblokujący, brak makrobloków Intra w obrazach P i B)

Dodatek D.4 Uzupełnienia do punktu 5.4.1

Poniżej znajduje się wybrana, reprezentatywna część wyników badań uzyskanych dla następujących scenariuszy modyfikacji obrazów typu B:

Scenariusz 1 – obrazy B niezmodyfikowane;

Scenariusz 2 – w obrazach B usuniętych 25 % próbek transformaty o amplitudzie równej 1;

Scenariusz 3 – w obrazach B usuniętych 50 % próbek transformaty o amplitudzie równej 1;

Scenariusz 4 – w obrazach B usuniętych 75 % próbek transformaty o amplitudzie równej 1;

Scenariusz 5 – w obrazach B wartość indeksu QP zwiększona o 6;

Scenariusz 6 – w obrazach B wartość indeksu QP zwiększona o 6 i zmodyfikowane makrobloki typu Intra;

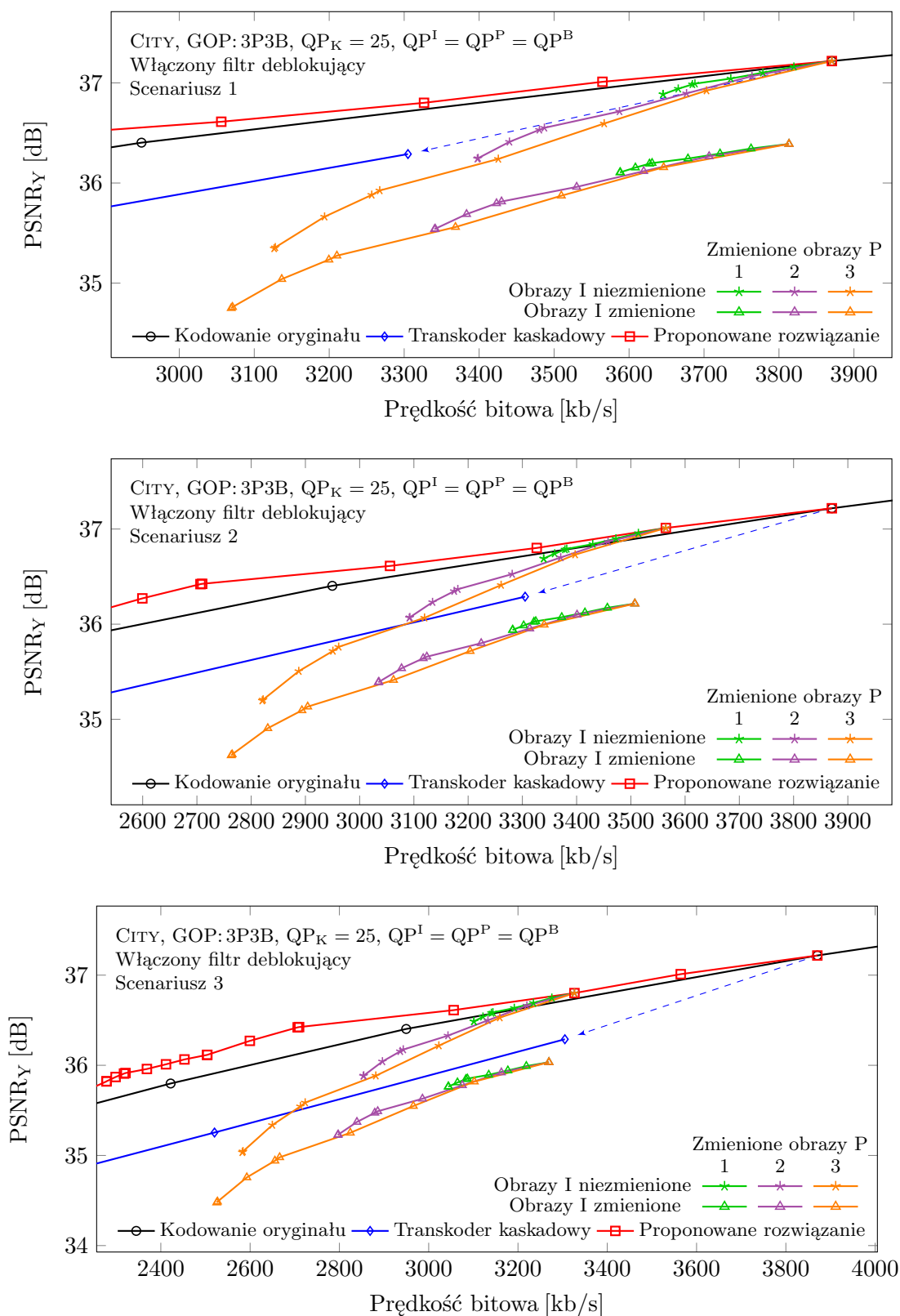
Scenariusz 7 – w obrazach B: wartość indeksu QP zwiększona o 6 i następnie usuniętych 50 % próbek transformaty o amplitudzie równej 1, zmodyfikowane makrobloki typu Intra;

Scenariusz 8 – w obrazach B: wartość indeksu QP zwiększona o 6, i następnie usunięte wszystkie próbki transformaty o amplitudzie równej 1, zmodyfikowane makrobloki typu Intra;

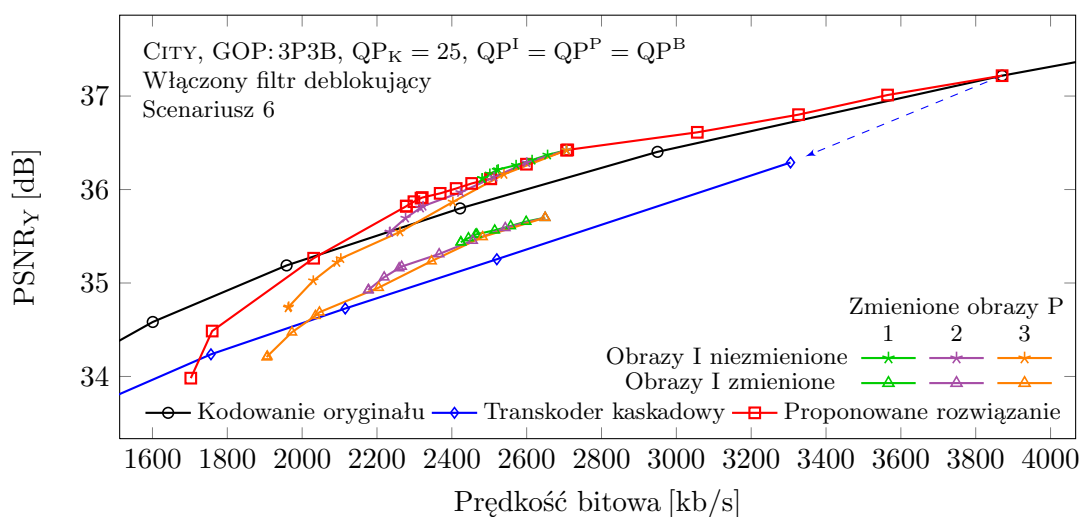
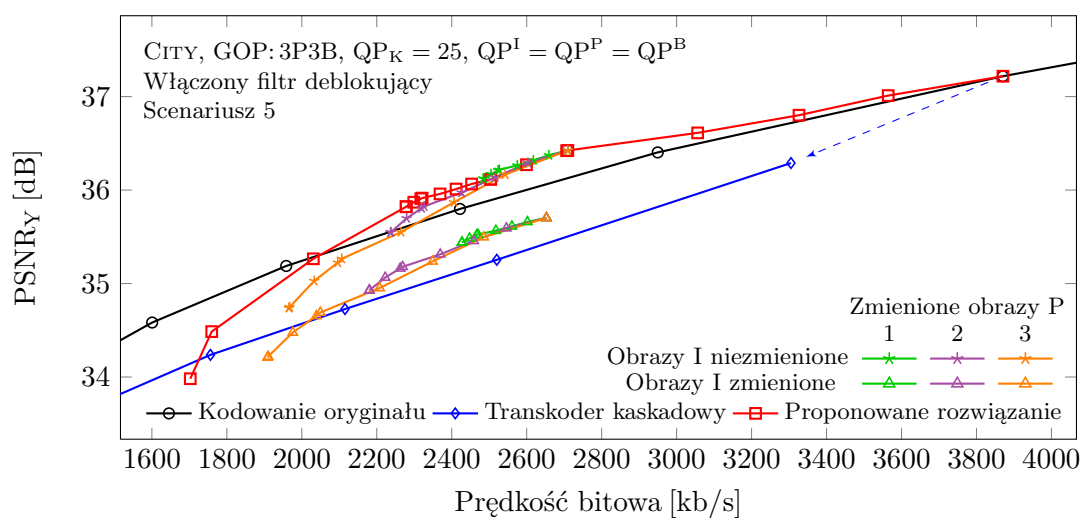
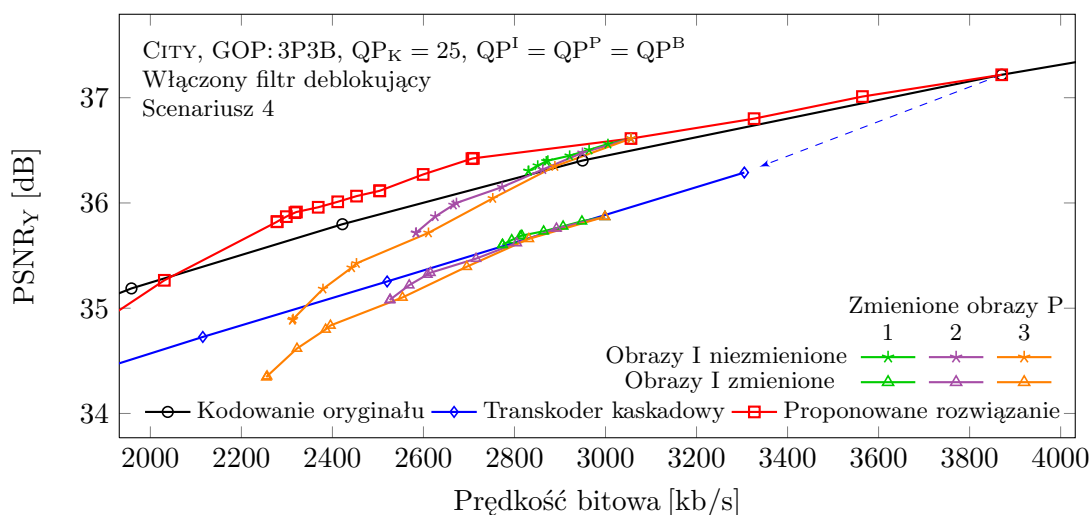
Zademonstrowano fragmentaryczne rezultaty dla następujących przypadków:

- GOP: 3P3B, $QP^I = QP^P = QP^B$:
 - sekwencja CITY — strona D-199,
 - sekwencja CREW — strona D-215,
 - sekwencja HARBOUR — strona D-231,
 - sekwencja SOCCER — strona D-234,
- GOP: 3P3B, $QP^I = QP^P = QP^B - 2$:
 - sekwencja CITY — strona D-237,
 - sekwencja CREW — strona D-238,
 - sekwencja HARBOUR — strona D-239,

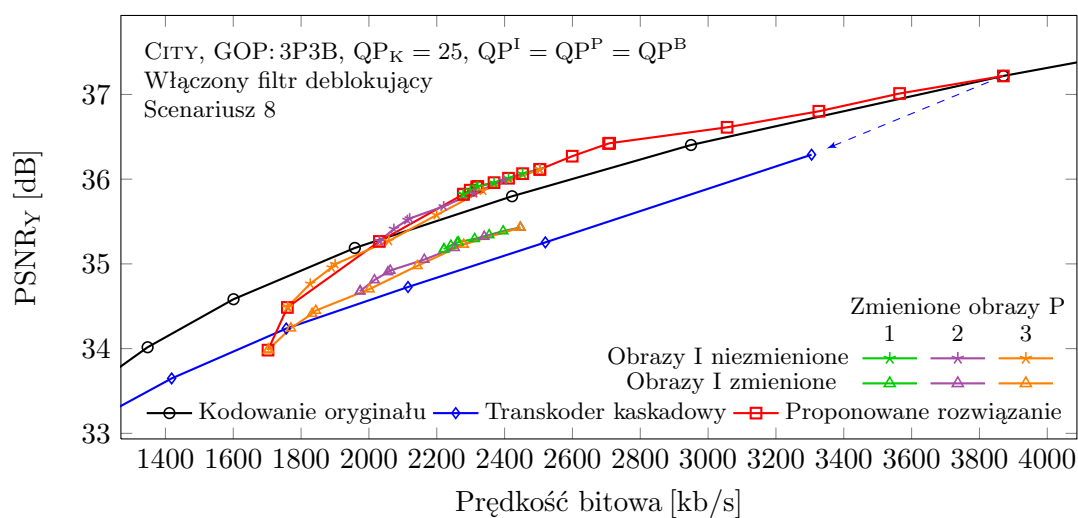
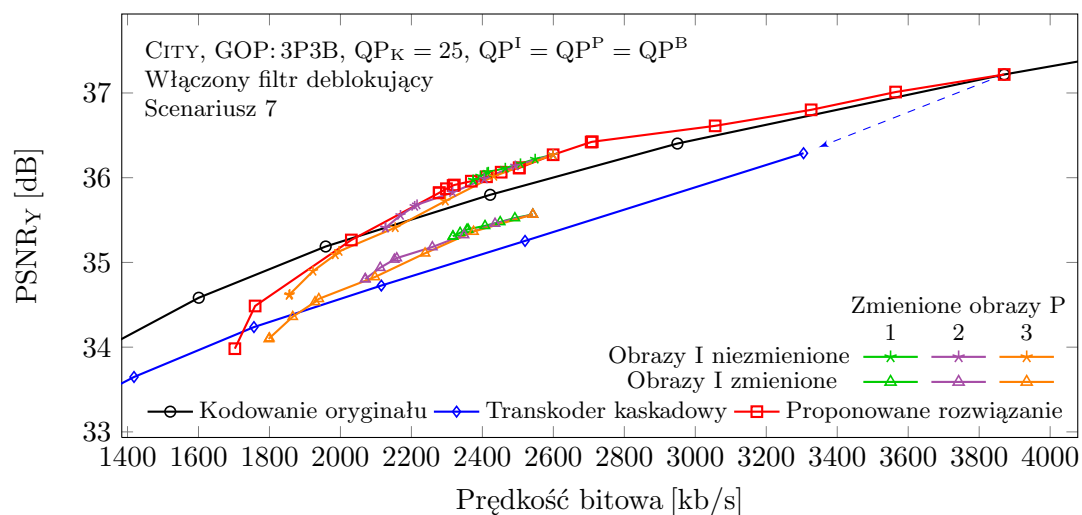
- sekwencja SOCCER — strona D-240,
- GOP: 4P2B, $QP^I = QP^P = QP^B$:
 - sekwencja CITY — strona D-241,
 - sekwencja CREW — strona D-242,
 - sekwencja SOCCER — strona D-243,
- GOP: 4P2B, $QP^I = QP^P = QP^B - 2$:
 - sekwencja CITY — strona D-244,
 - sekwencja CREW — strona D-245,
 - sekwencja HARBOUR — strona D-246,
 - sekwencja SOCCER — strona D-247.



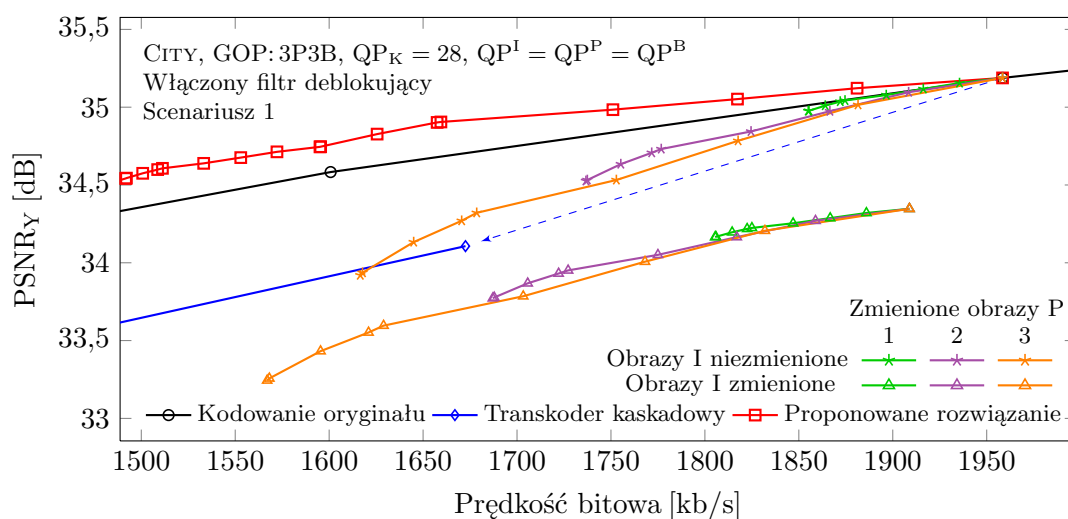
Rysunek D.82: Strata jakości spowodowana modyfikacją próbek transformaty w obrazach typu I oraz P. Dozwolone makrobloki Intra w obrazach P i B



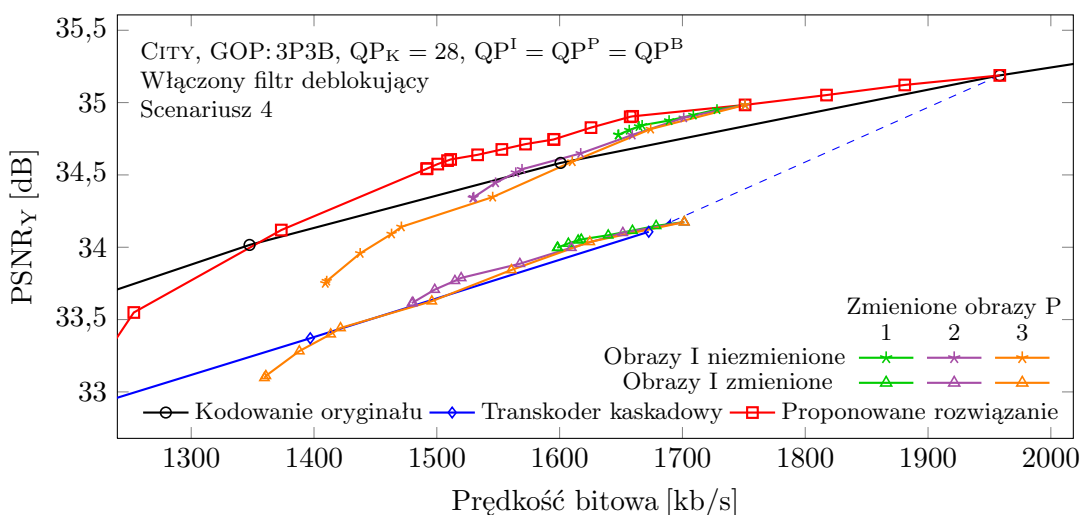
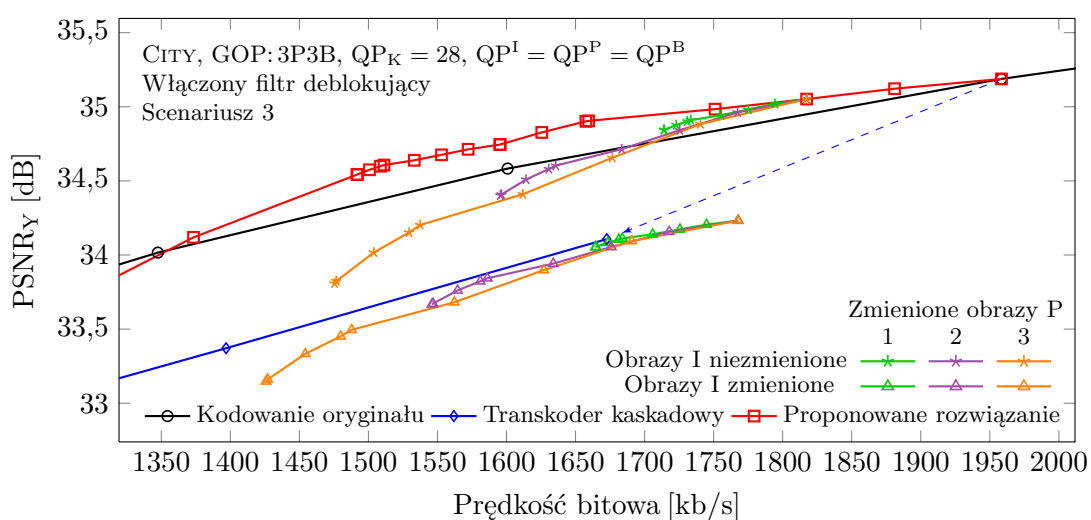
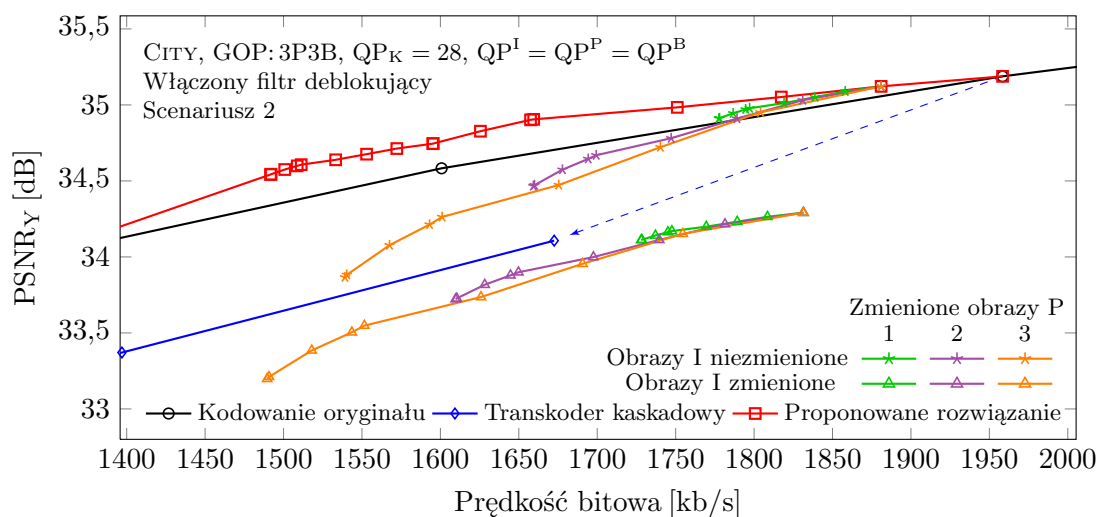
Rysunek D.82: (Kontynuacja) Strata jakości spowodowana modyfikacją próbek transformaty w obrazach typu I oraz P. Dozwolone makrobloki Intra w obrazach P i B



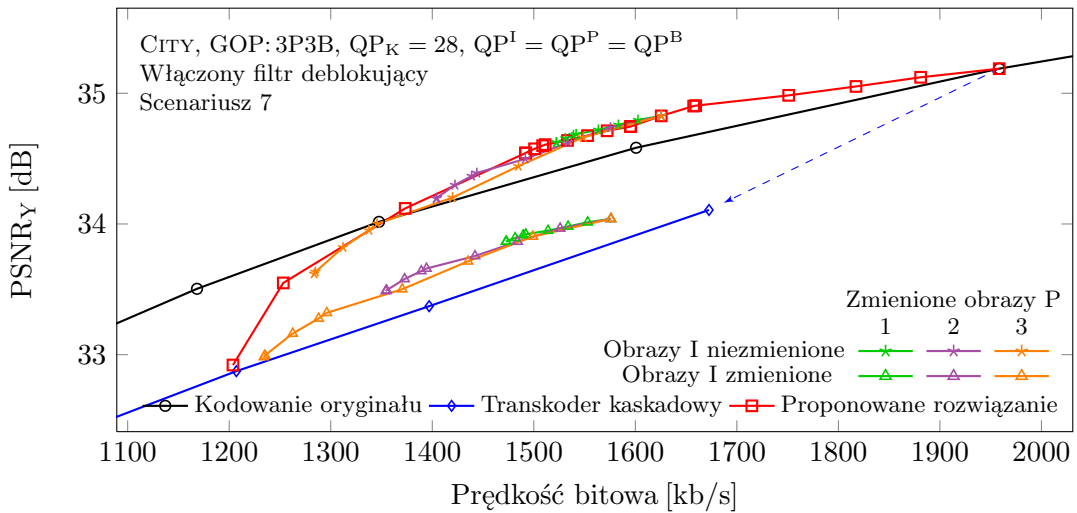
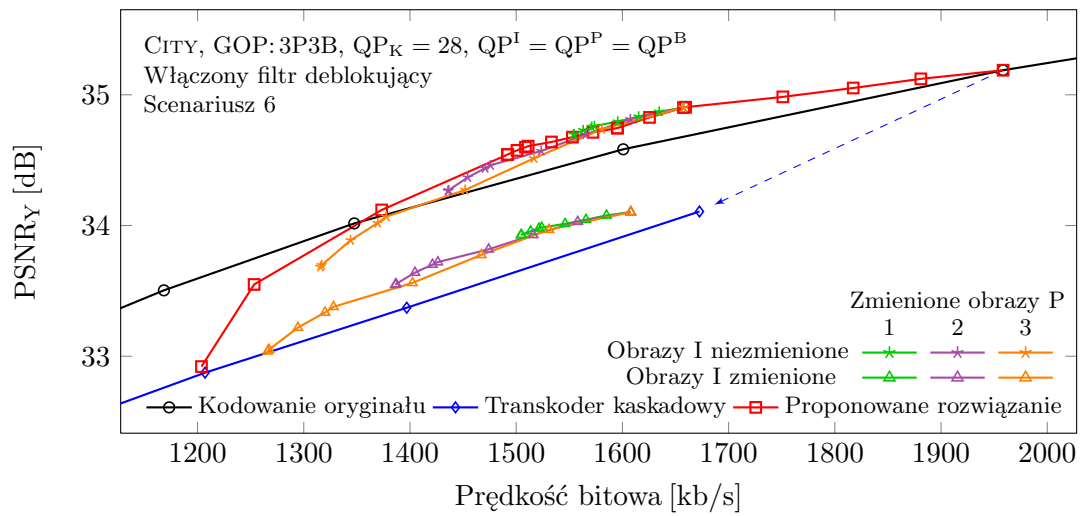
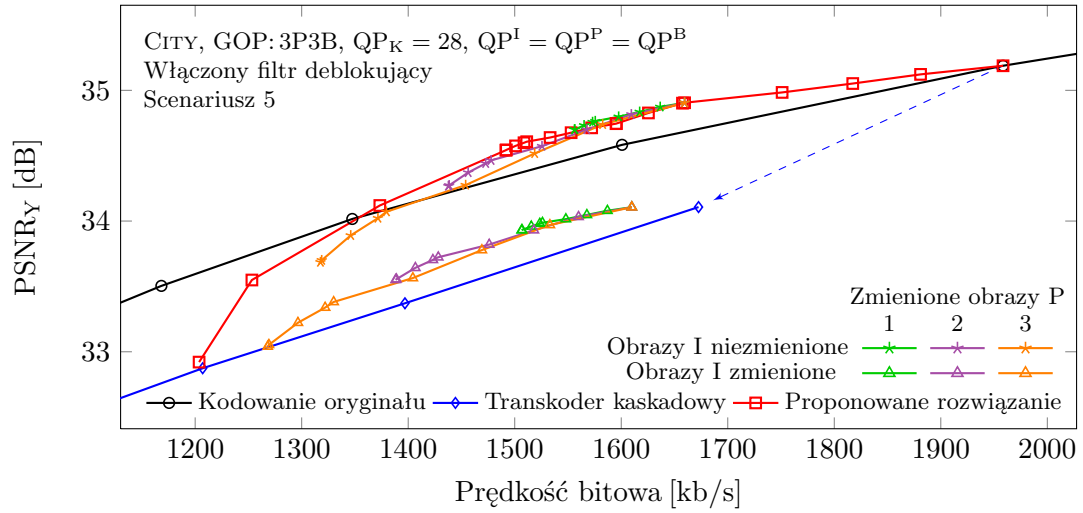
Rysunek D.82: (Kontynuacja) Strata jakości spowodowana modyfikacją próbek transformaty w obrazach typu I oraz P. Dozwolone makrobloki Intra w obrazach P i B



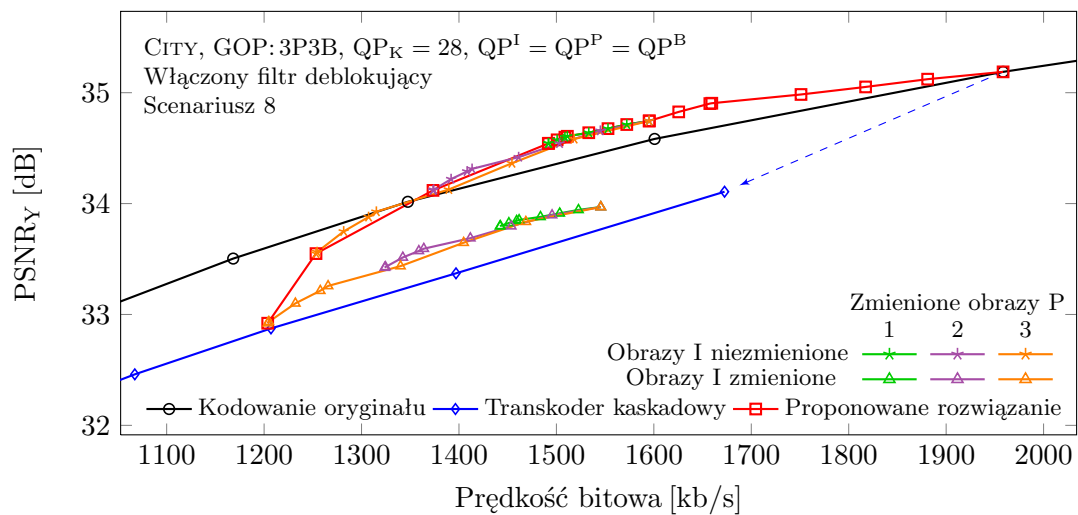
Rysunek D.83: Strata jakości spowodowana modyfikacją próbek transformaty w obrazach typu I oraz P. Dozwolone makrobloki Intra w obrazach P i B



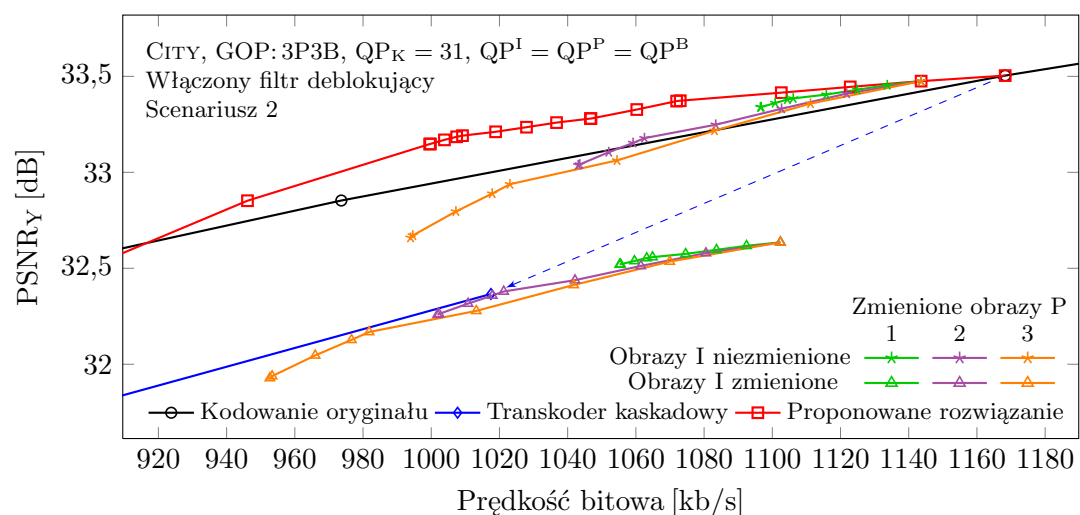
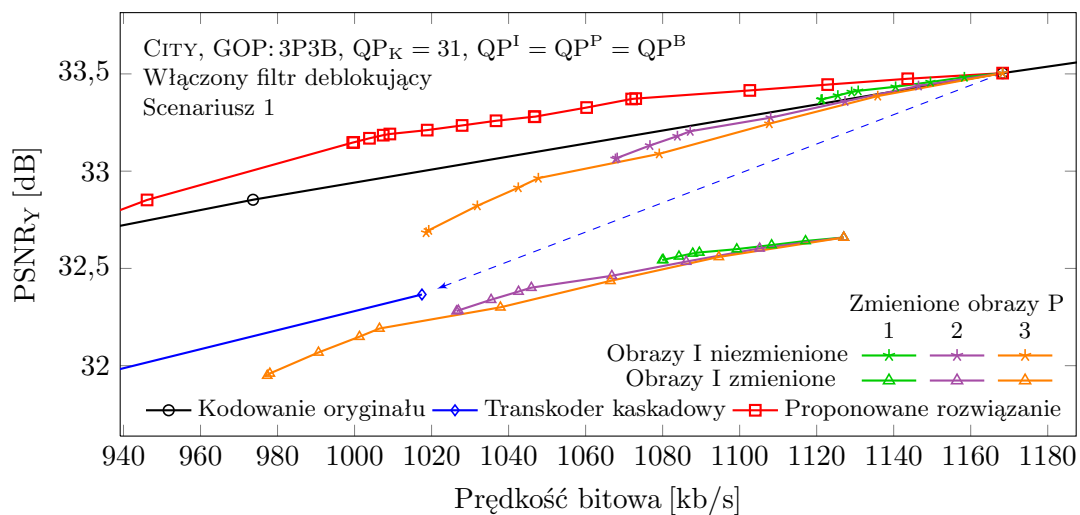
Rysunek D.83: (Kontynuacja) Strata jakości spowodowana modyfikacją próbek transformaty w obrazach typu I oraz P. Dozwolone makrobloki Intra w obrazach P i B



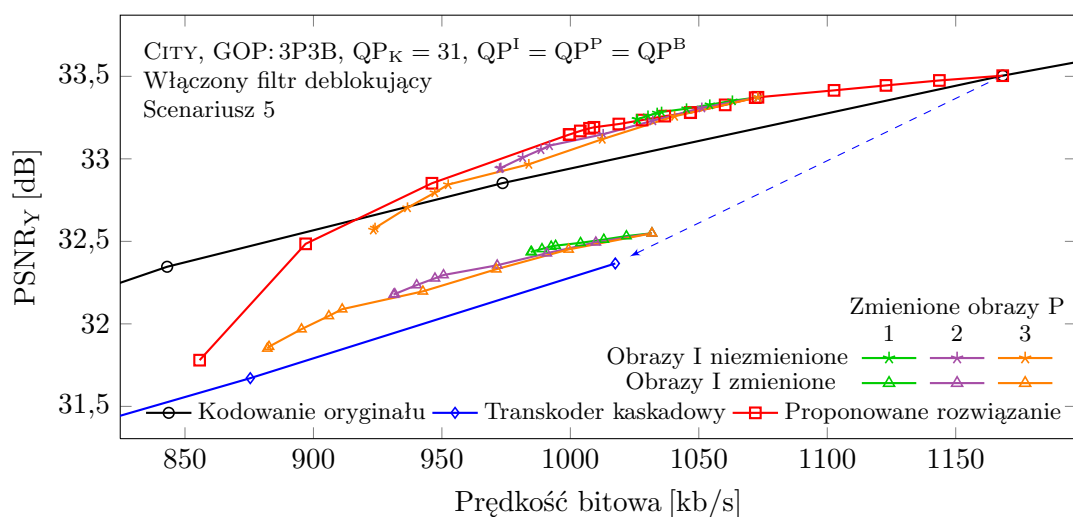
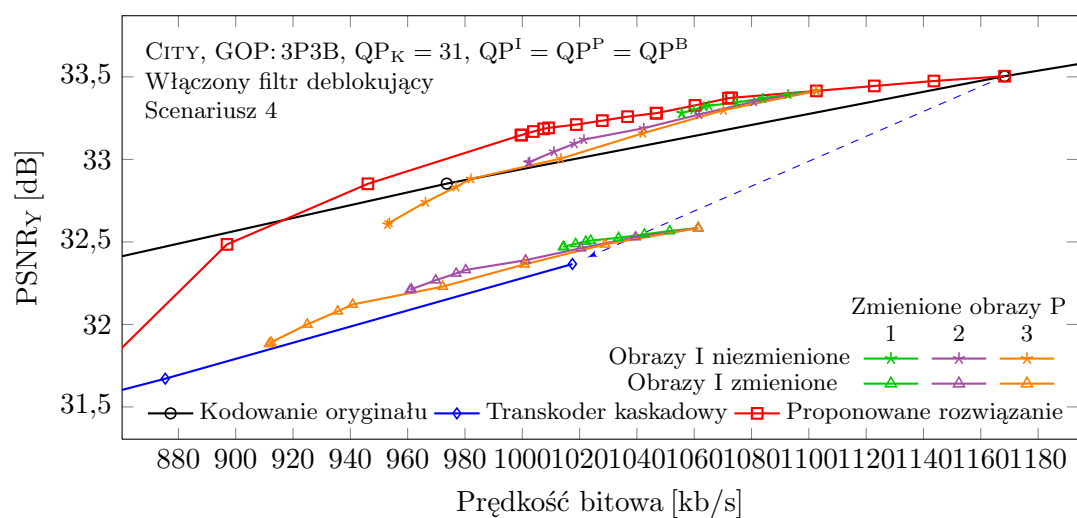
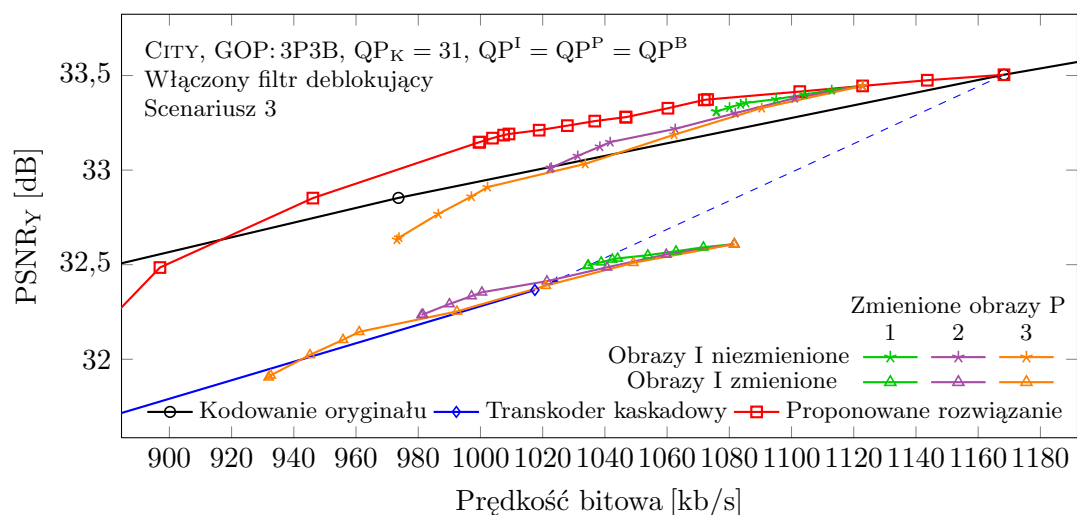
Rysunek D.83: (Kontynuacja) Strata jakości spowodowana modyfikacją próbek transformaty w obrazach typu I oraz P. Dozwolone makrobloki Intra w obrazach P i B



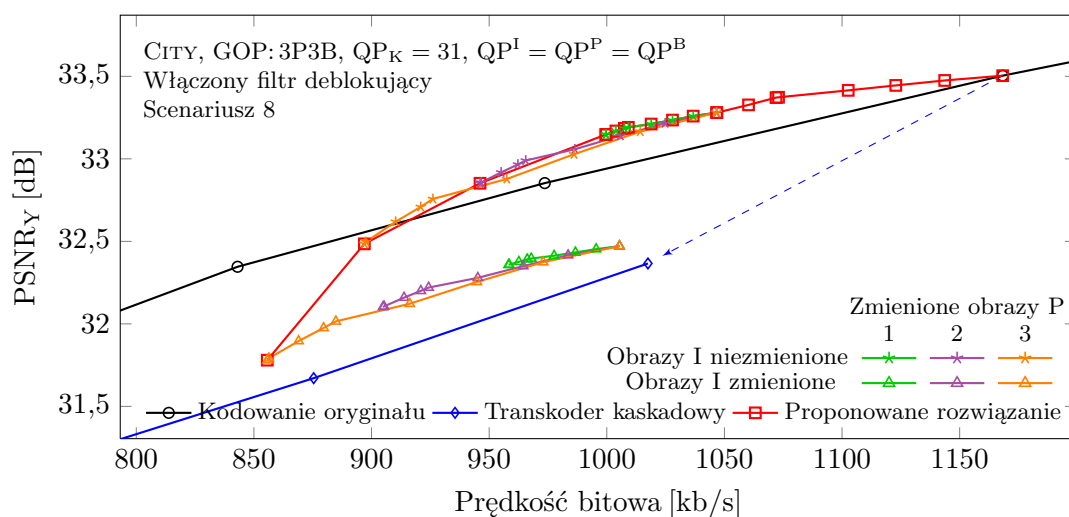
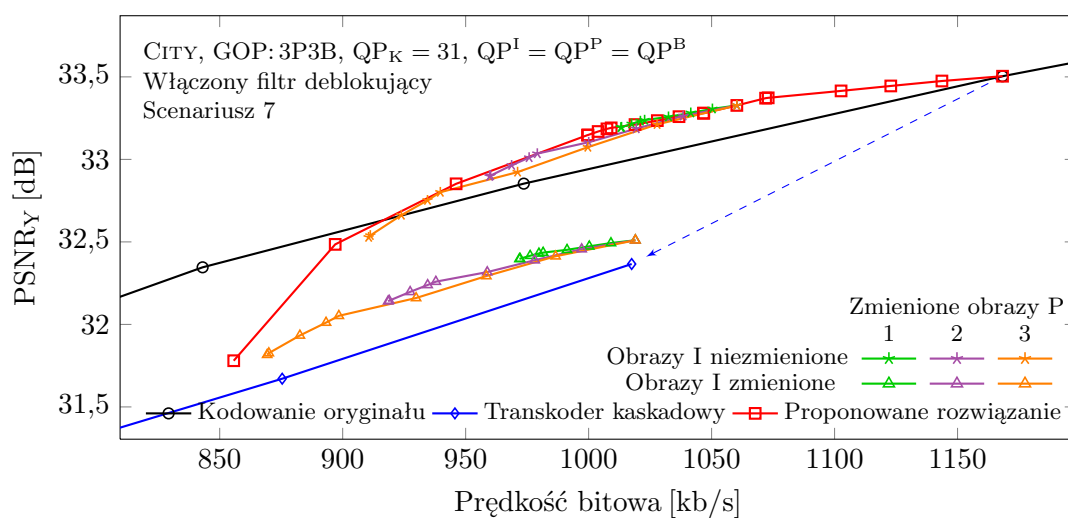
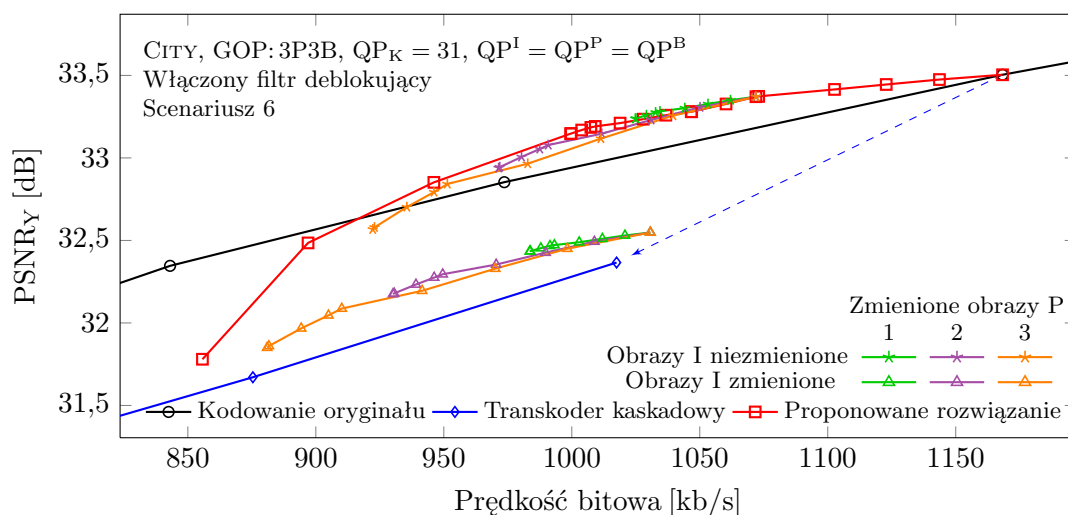
Rysunek D.83: (Kontynuacja) Strata jakości spowodowana modyfikacją próbek transformaty w obrazach typu I oraz P. Dozwolone makrobloki Intra w obrazach P i B



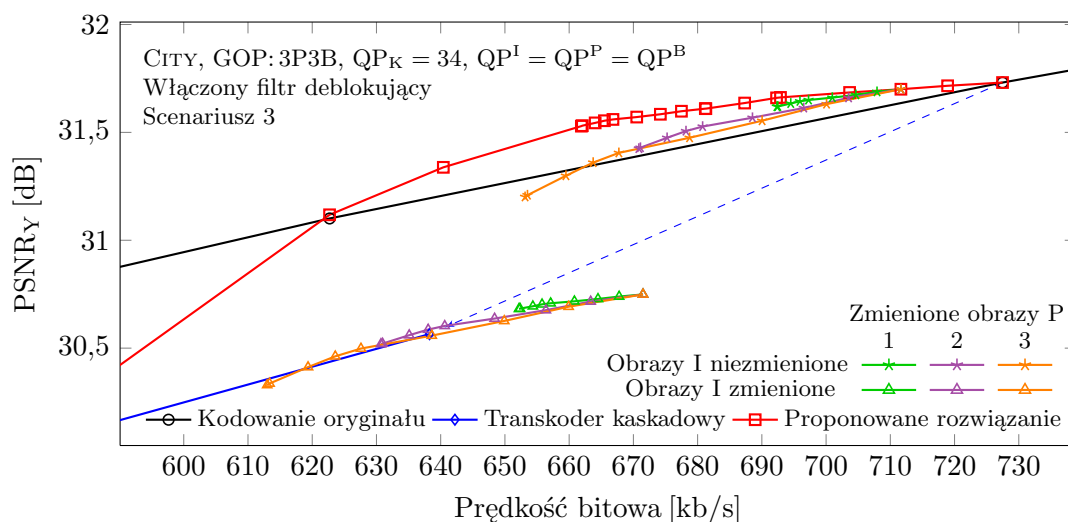
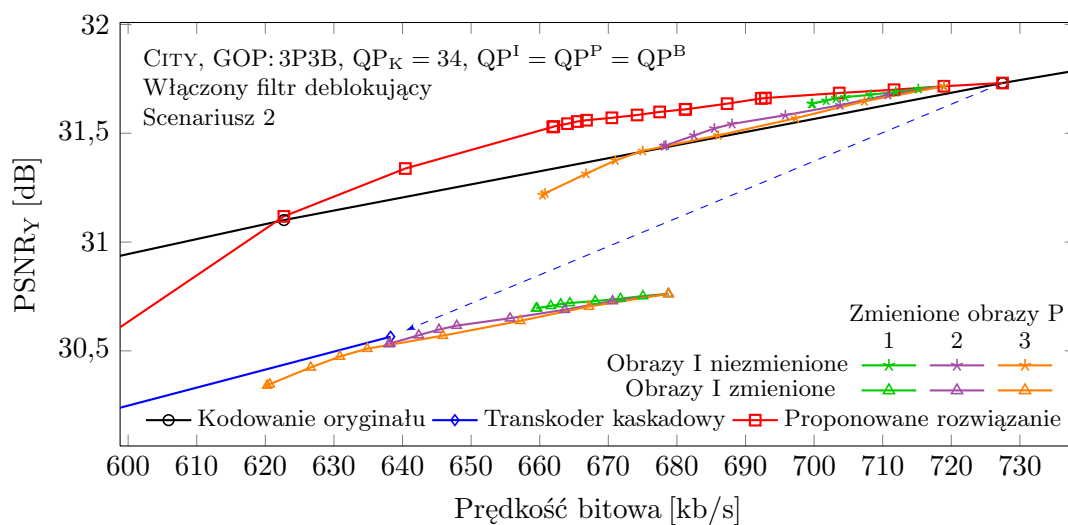
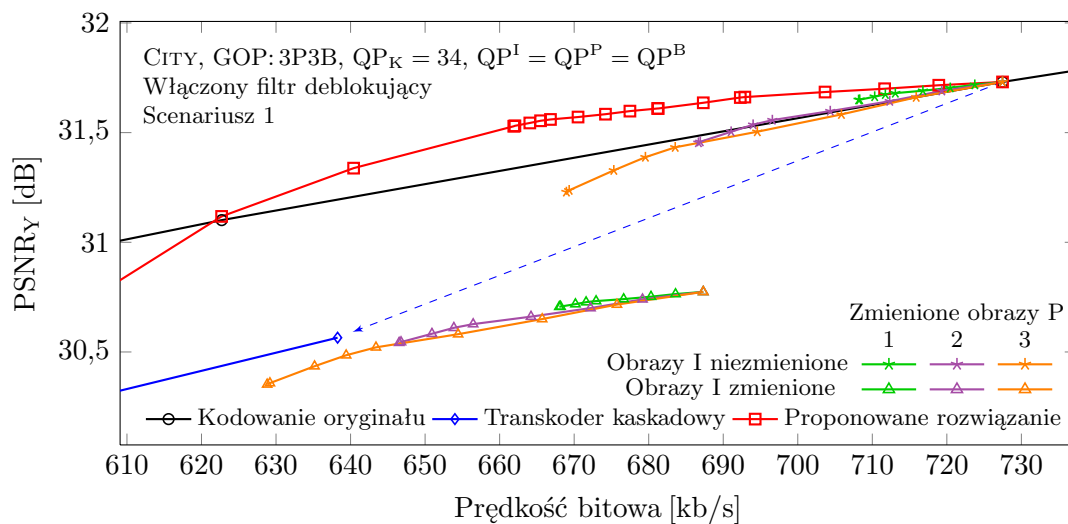
Rysunek D.84: Strata jakości spowodowana modyfikacją próbek transformaty w obrazach typu I oraz P. Dozwolone makrobloki Intra w obrazach P i B



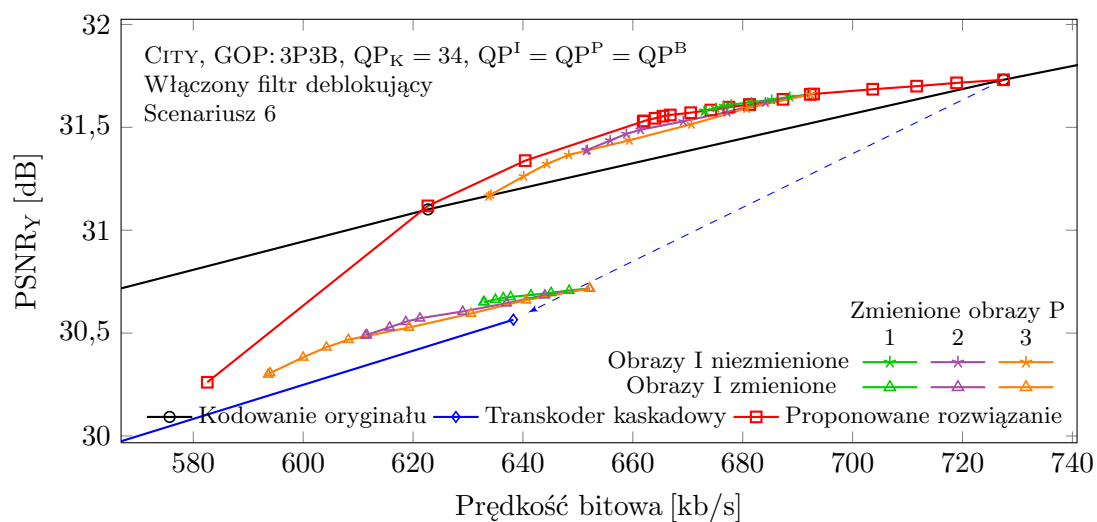
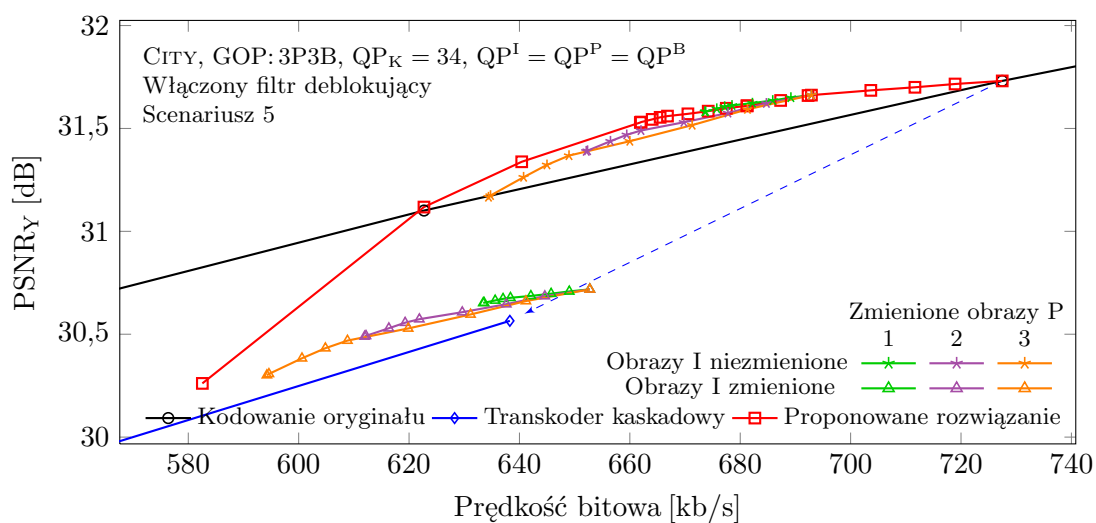
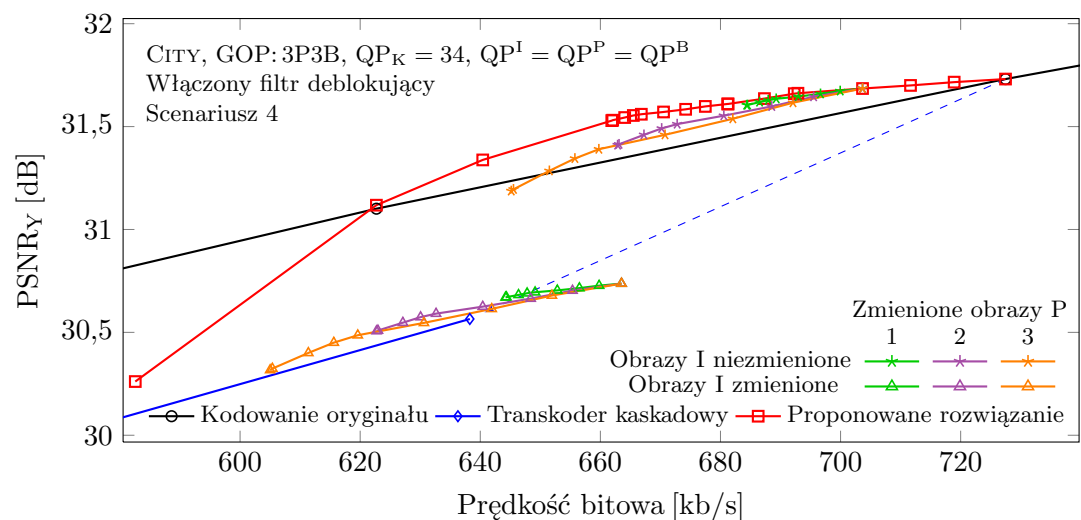
Rysunek D.84: (Kontynuacja) Strata jakości spowodowana modyfikacją próbek transformaty w obrazach typu I oraz P. Dozwolone makrobloki Intra w obrazach P i B



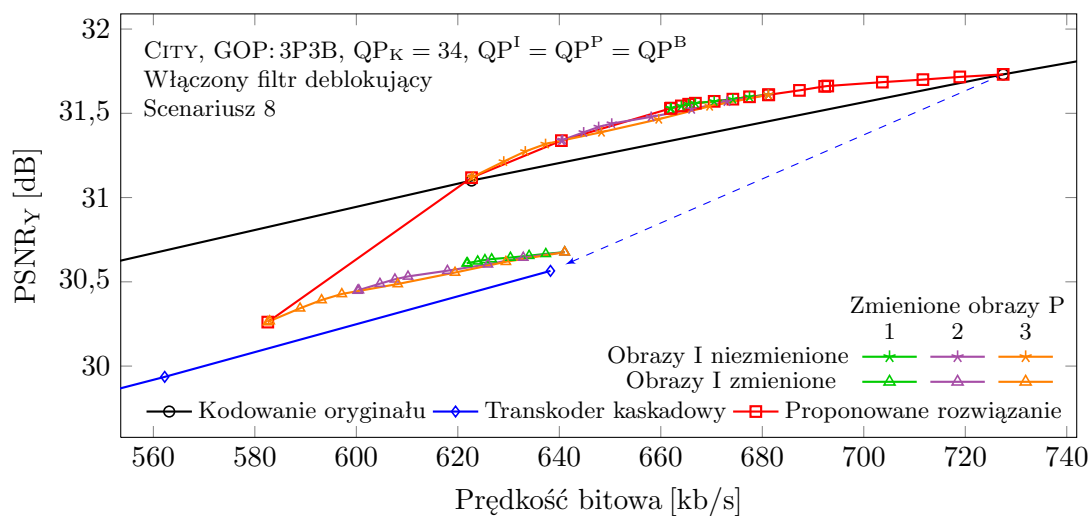
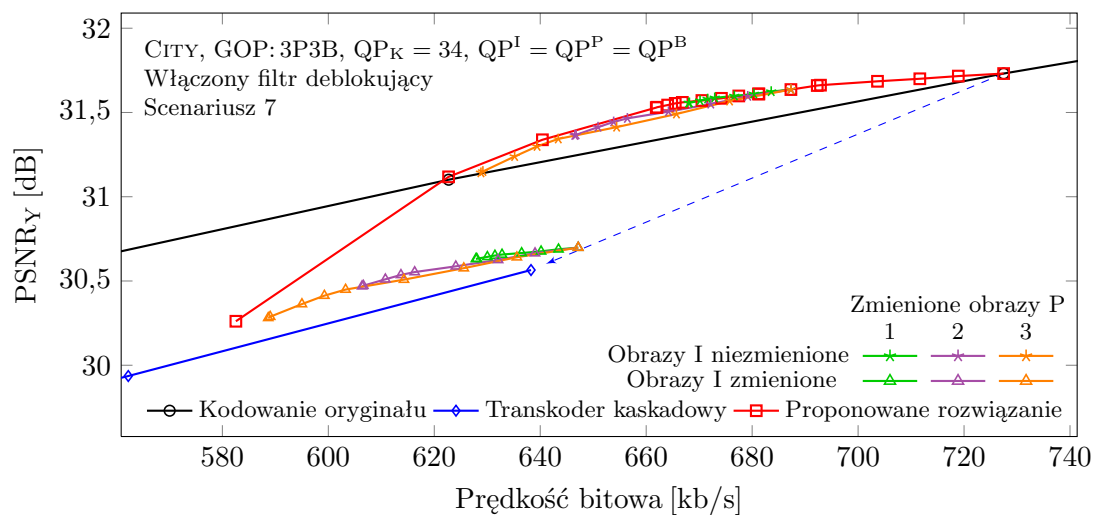
Rysunek D.84: (Kontynuacja) Strata jakości spowodowana modyfikacją próbek transformaty w obrazach typu I oraz P. Dozwolone makrobloki Intra w obrazach P i B



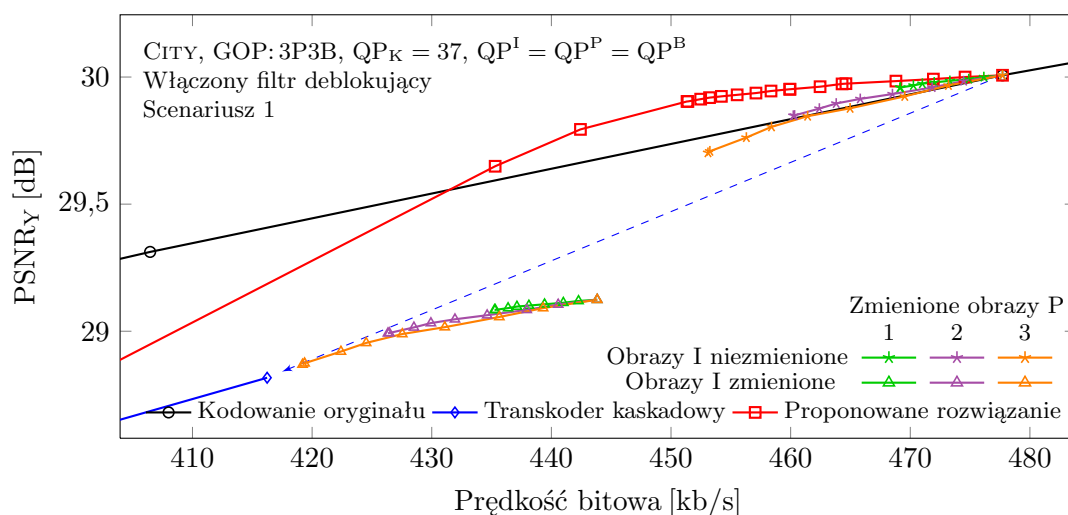
Rysunek D.85: Strata jakości spowodowana modyfikacją próbek transformaty w obrazach typu I oraz P. Dozwolone makrobloki Intra w obrazach P i B



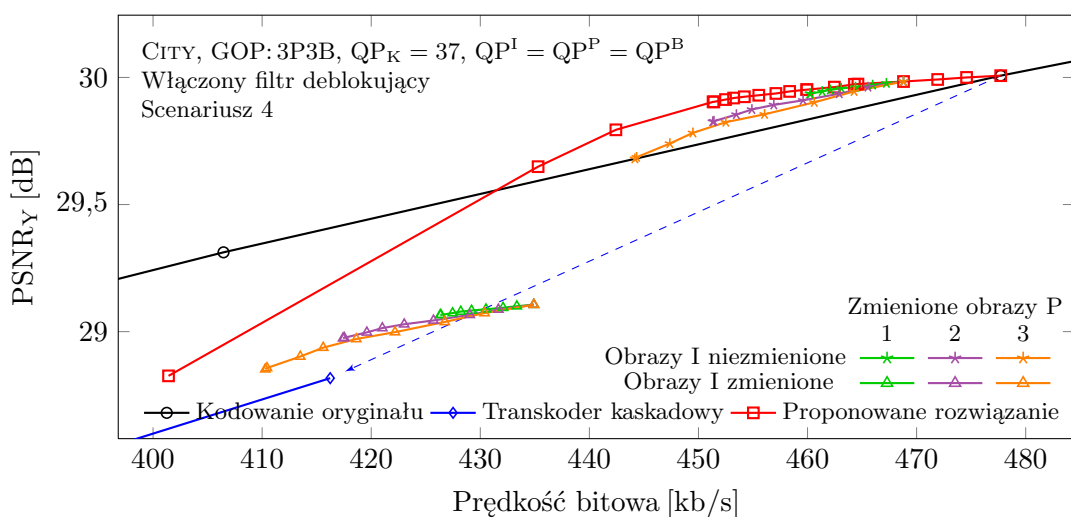
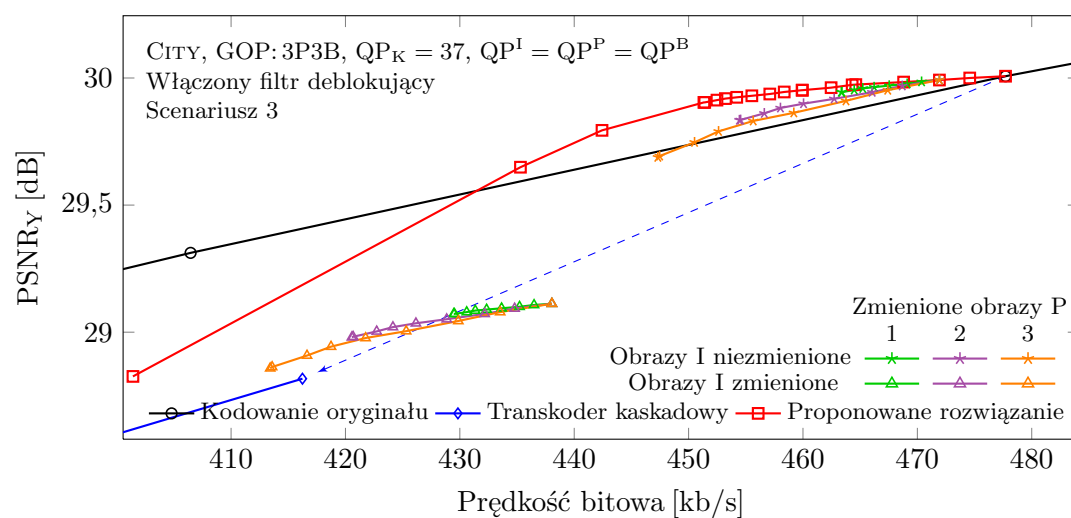
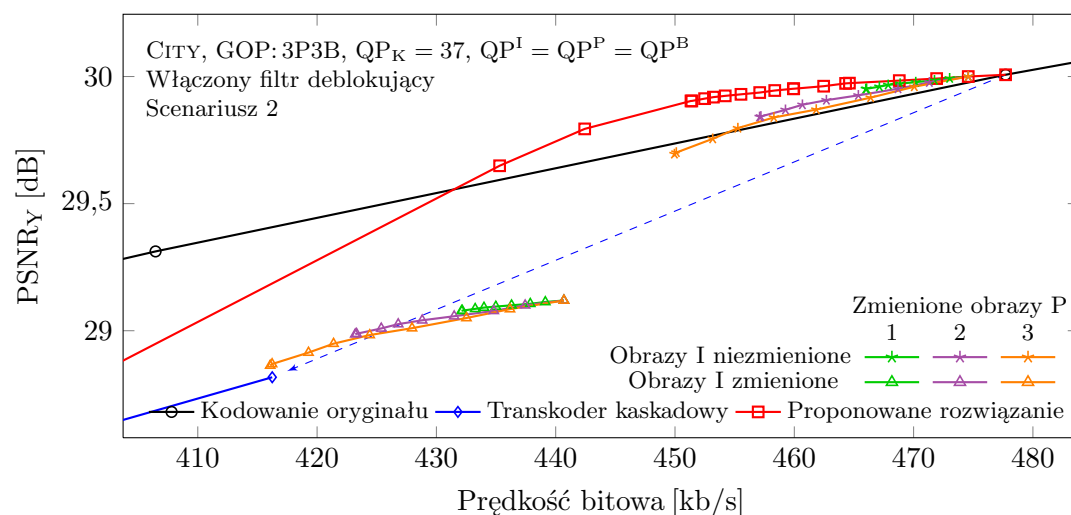
Rysunek D.85: (Kontynuacja) Strata jakości spowodowana modyfikacją próbek transformaty w obrazach typu I oraz P. Dozwolone makrobloki Intra w obrazach P i B



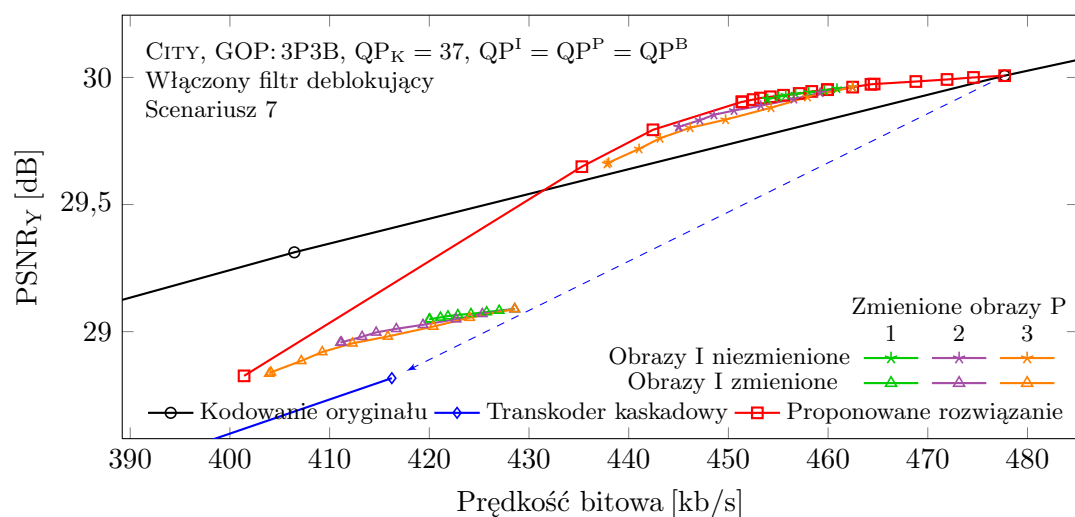
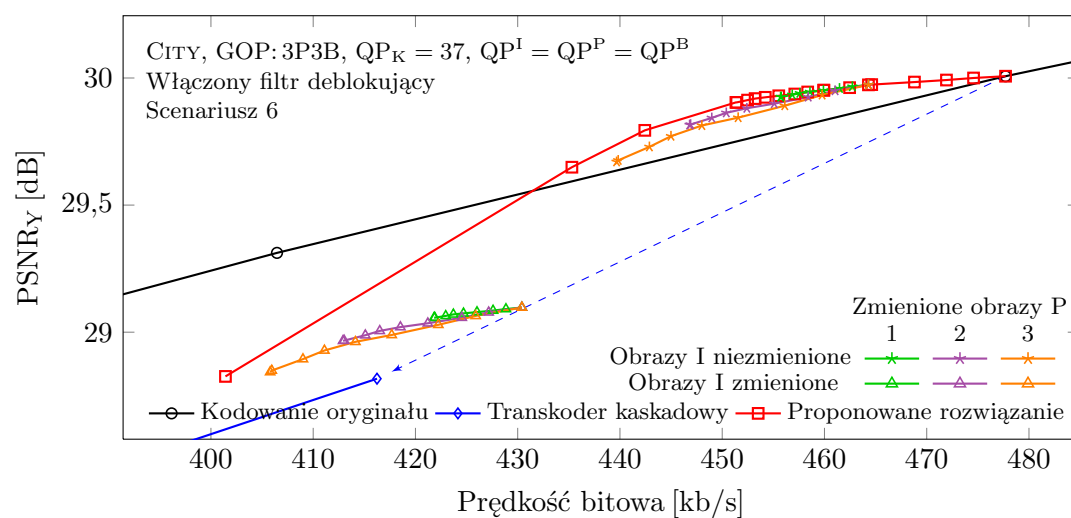
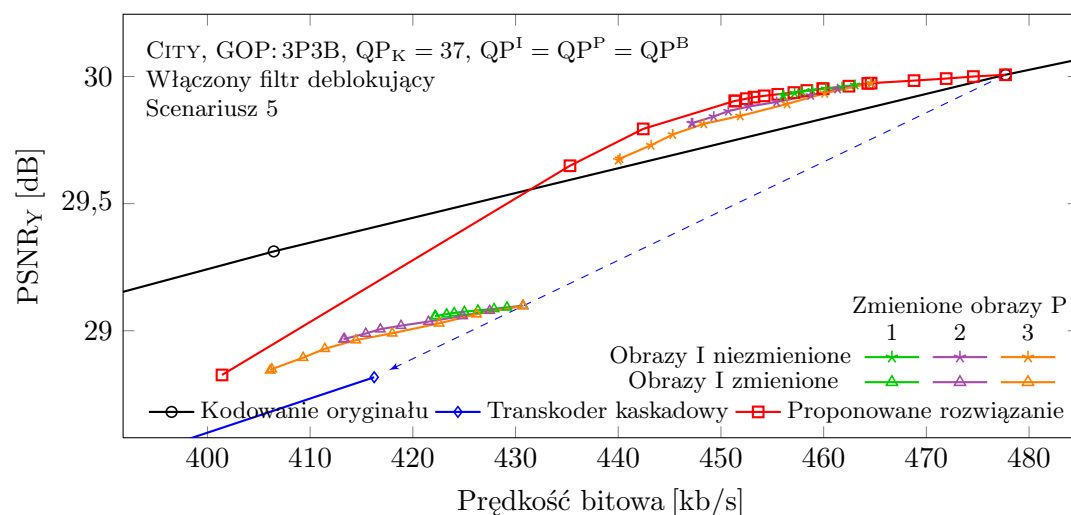
Rysunek D.85: (Kontynuacja) Strata jakości spowodowana modyfikacją próbek transformaty w obrazach typu I oraz P. Dozwolone makrobloki Intra w obrazach P i B



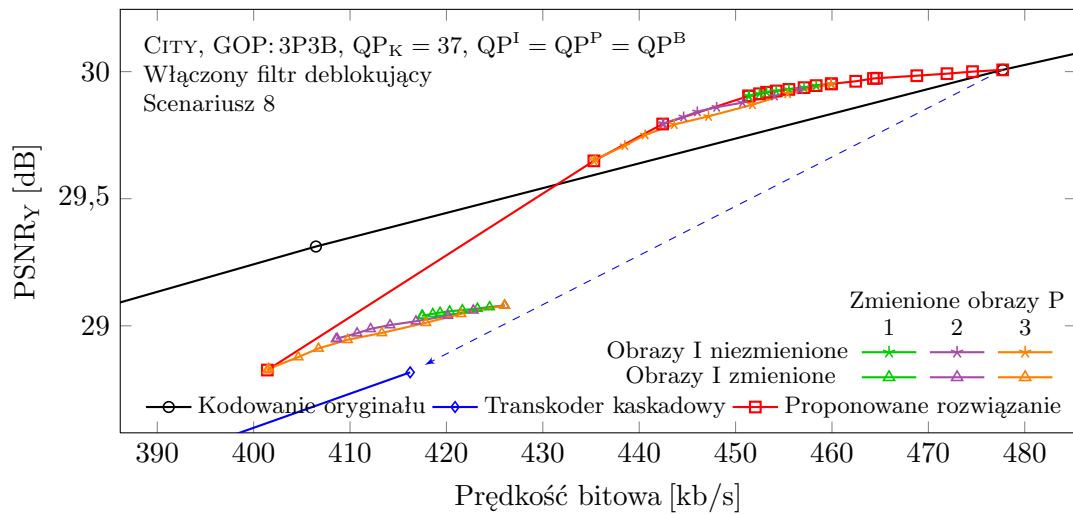
Rysunek D.86: Strata jakości spowodowana modyfikacją próbek transformaty w obrazach typu I oraz P. Dozwolone makrobloki Intra w obrazach P i B



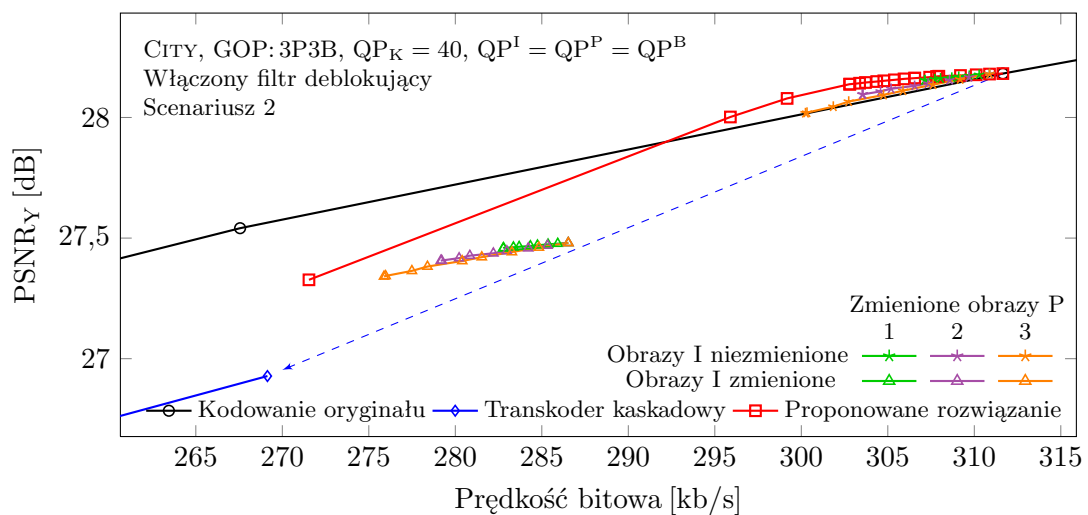
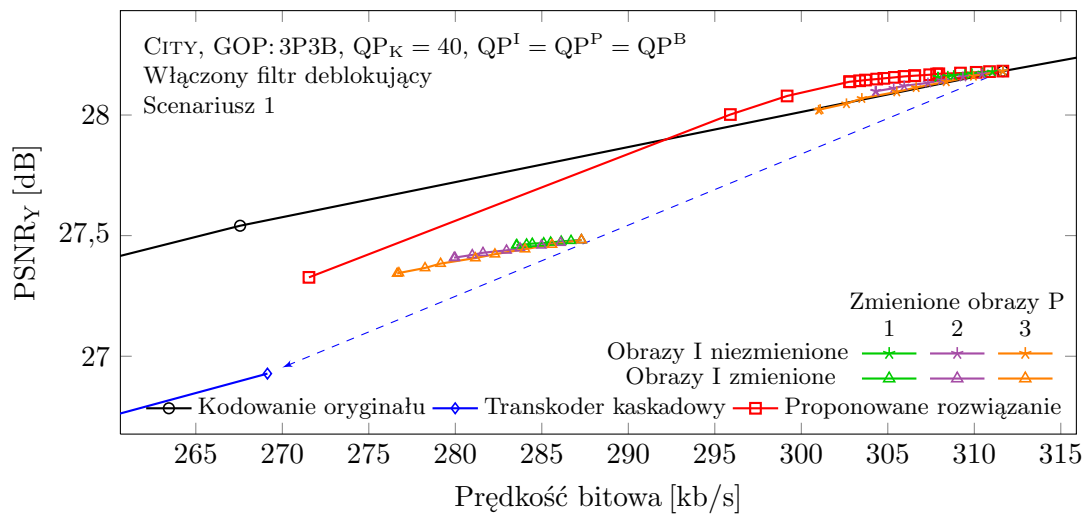
Rysunek D.86: (Kontynuacja) Strata jakości spowodowana modyfikacją próbek transformaty w obrazach typu I oraz P. Dozwolone makrobloki Intra w obrazach P i B



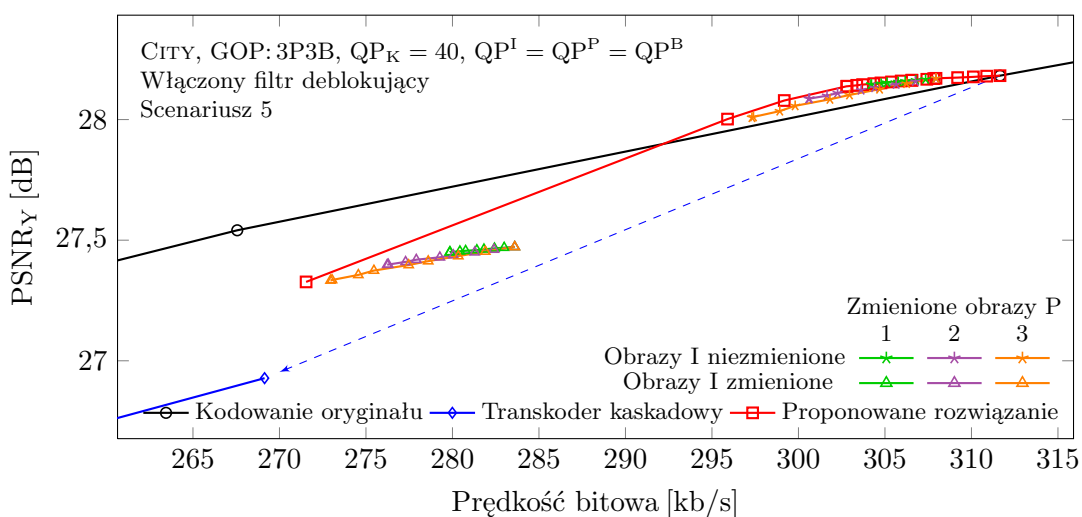
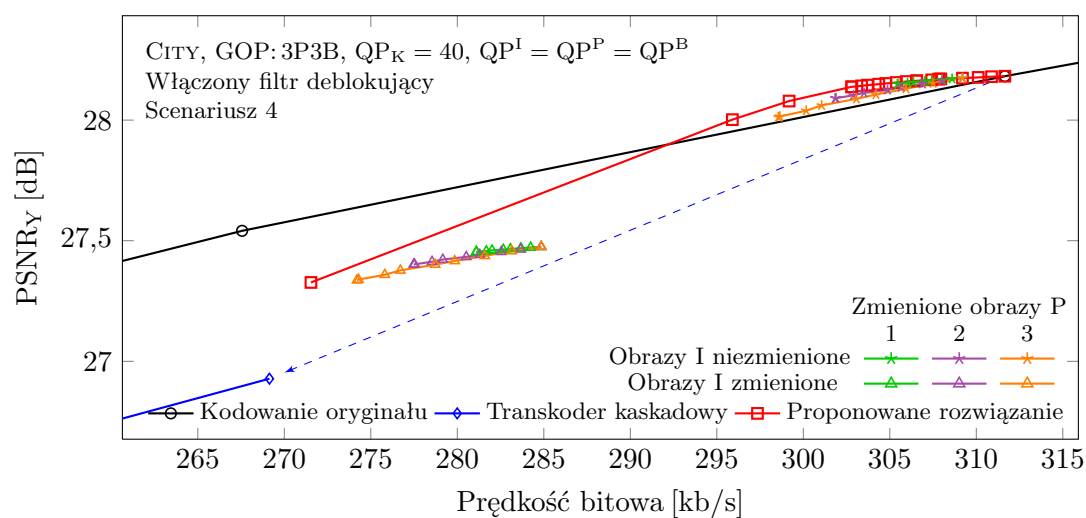
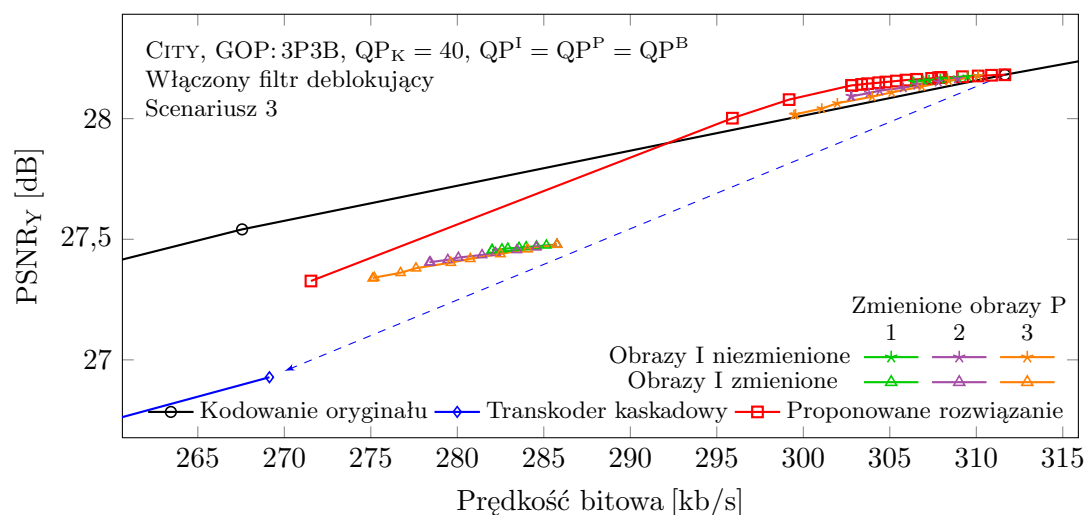
Rysunek D.86: (Kontynuacja) Strata jakości spowodowana modyfikacją próbek transformaty w obrazach typu I oraz P. Dozwolone makrobloki Intra w obrazach P i B



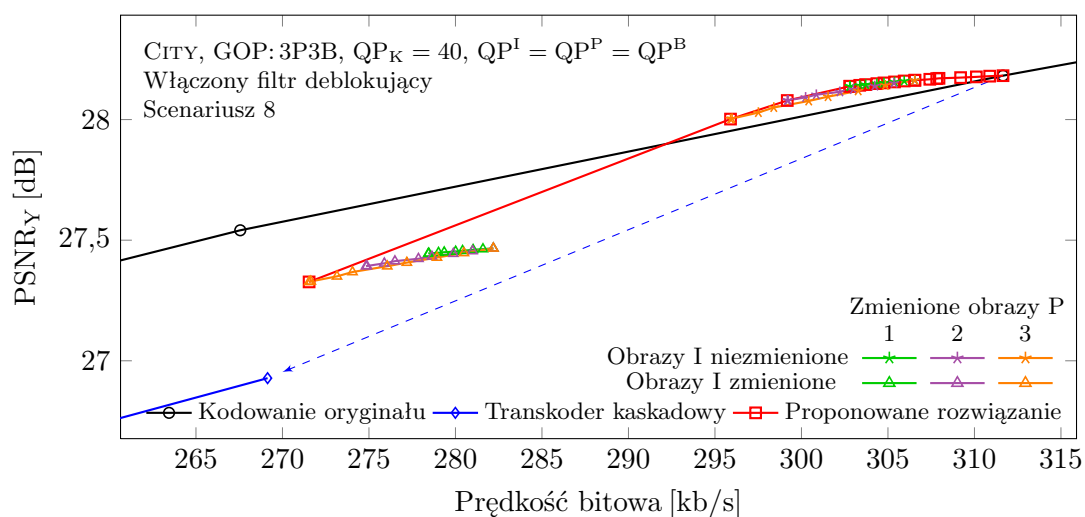
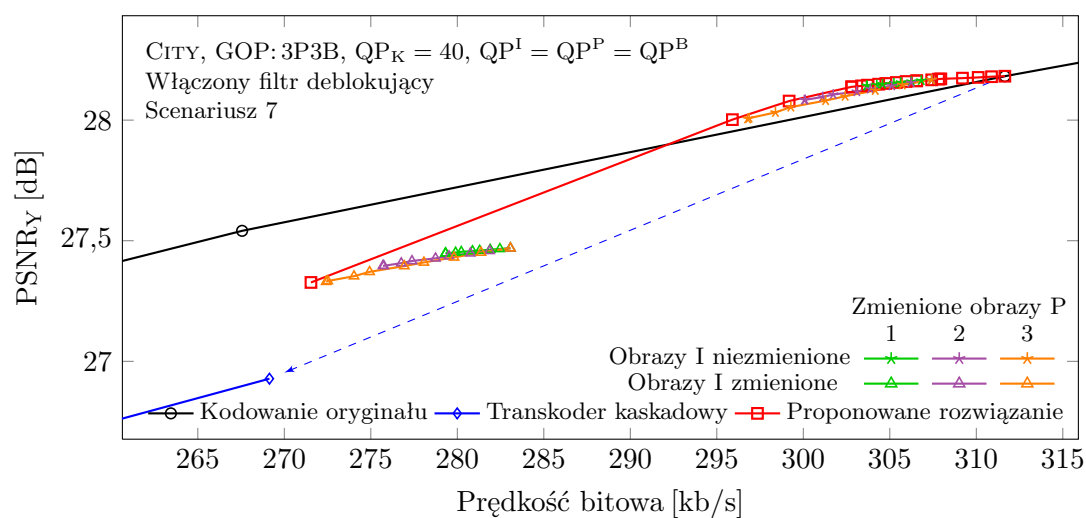
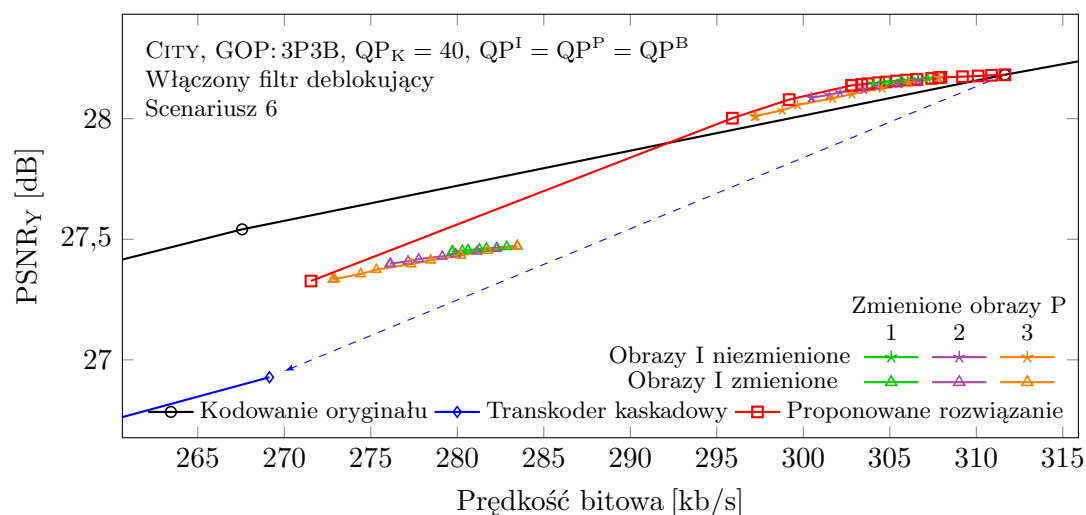
Rysunek D.86: (Kontynuacja) Strata jakości spowodowana modyfikacją próbek transformaty w obrazach typu I oraz P. Dozwolone makrobloki Intra w obrazach P i B



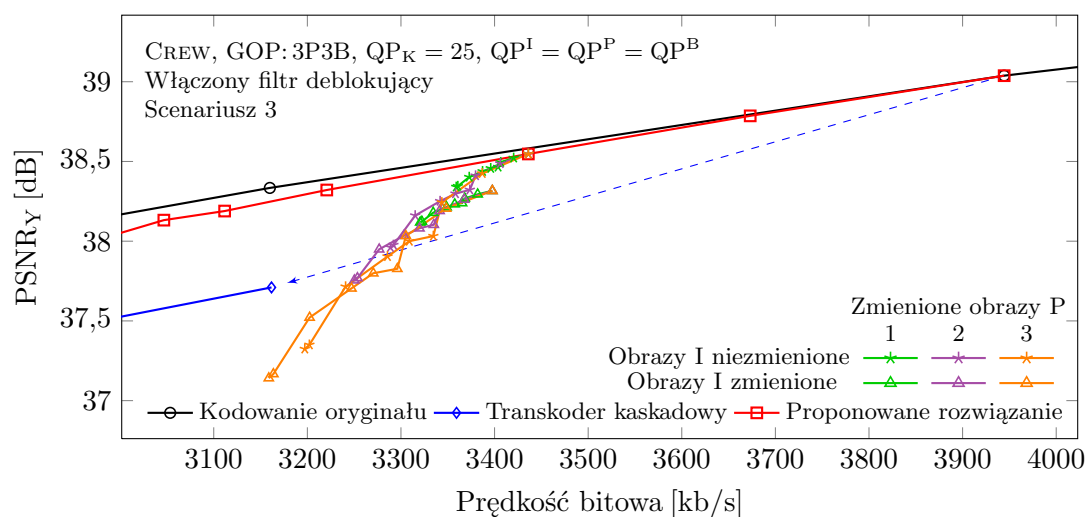
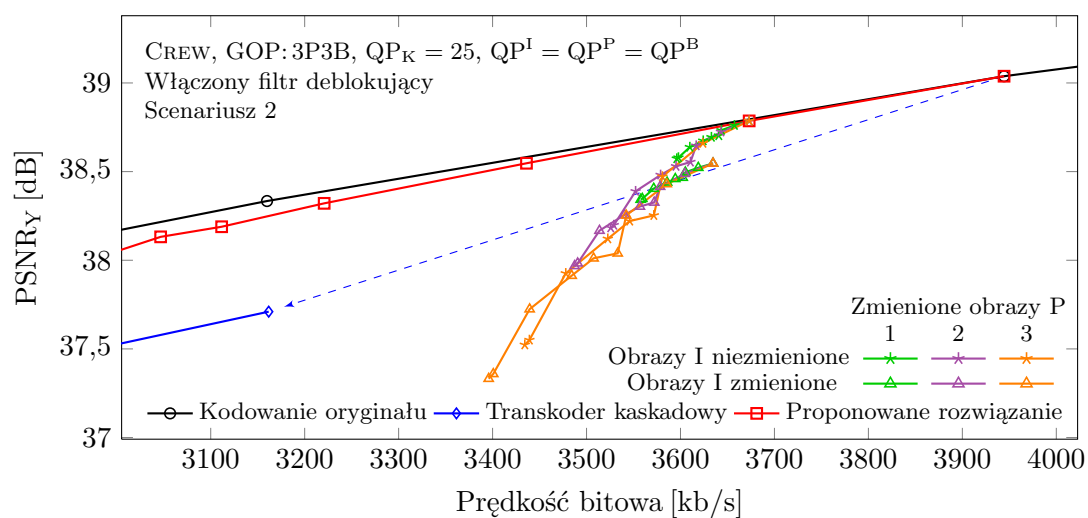
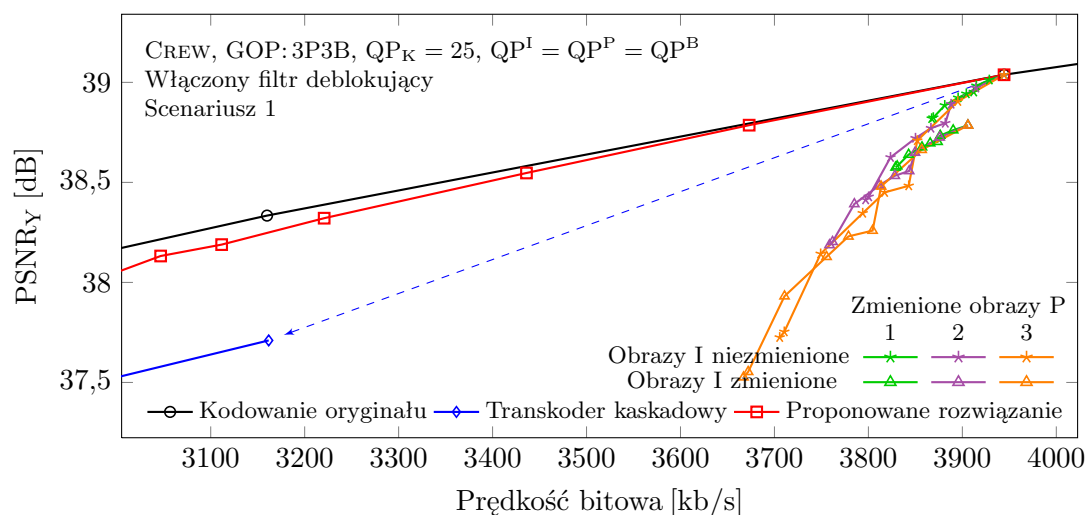
Rysunek D.87: Strata jakości spowodowana modyfikacją próbek transformaty w obrazach typu I oraz P. Dozwolone makrobloki Intra w obrazach P i B



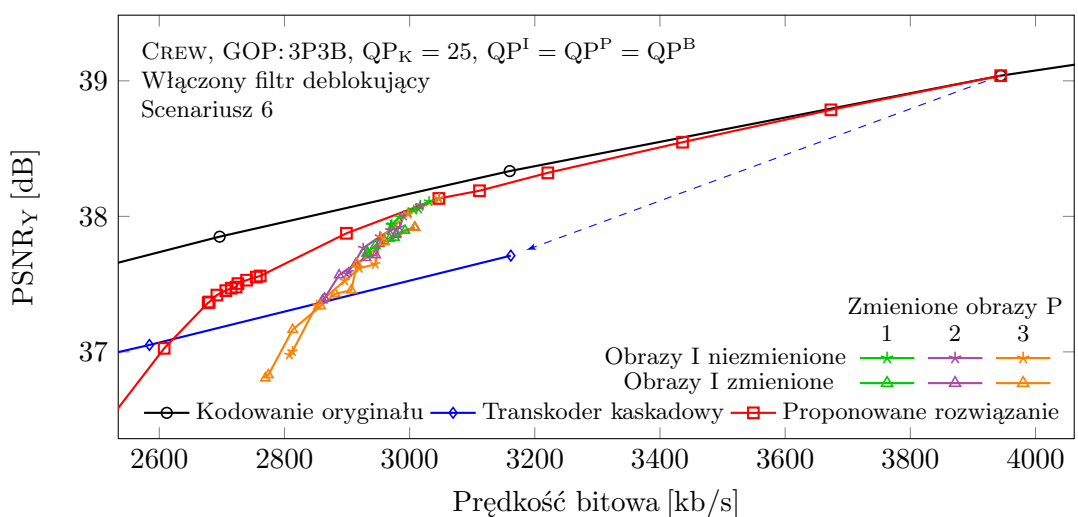
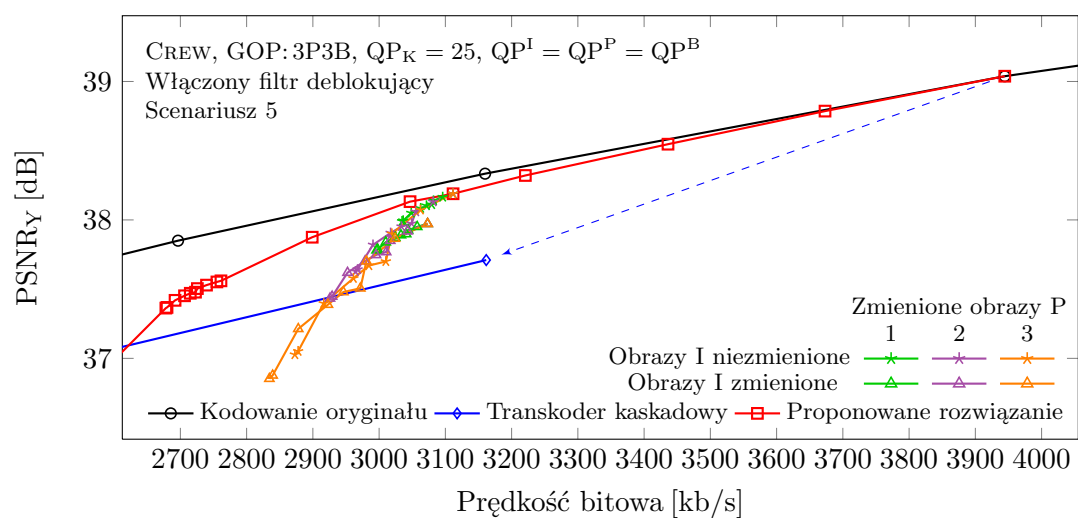
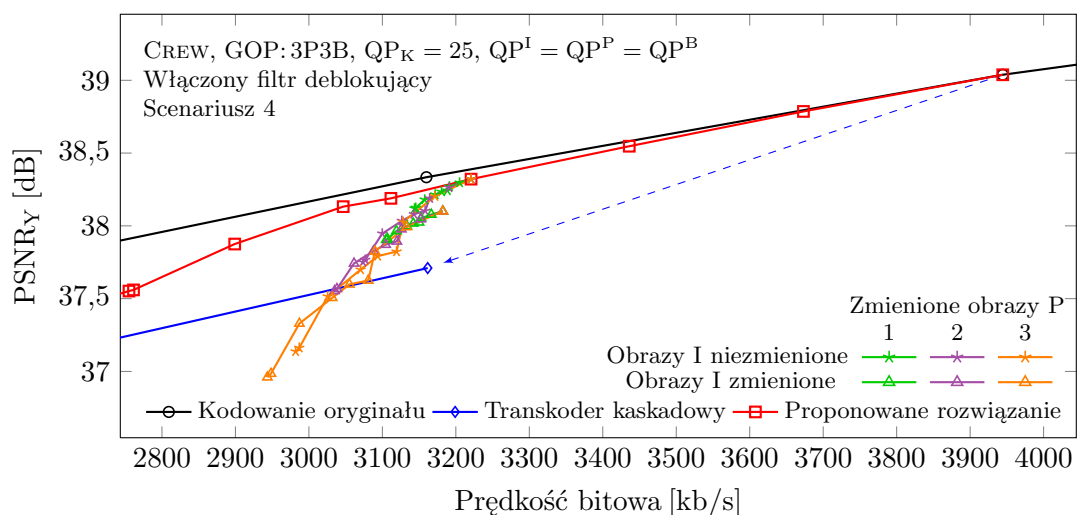
Rysunek D.87: (Kontynuacja) Strata jakości spowodowana modyfikacją próbek transformaty w obrazach typu I oraz P. Dozwolone makrobloki Intra w obrazach P i B



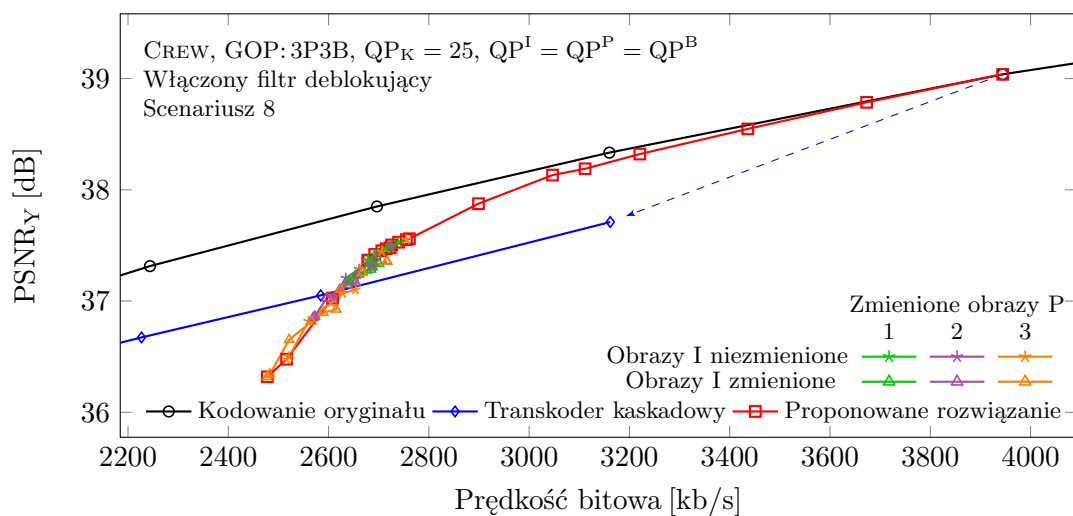
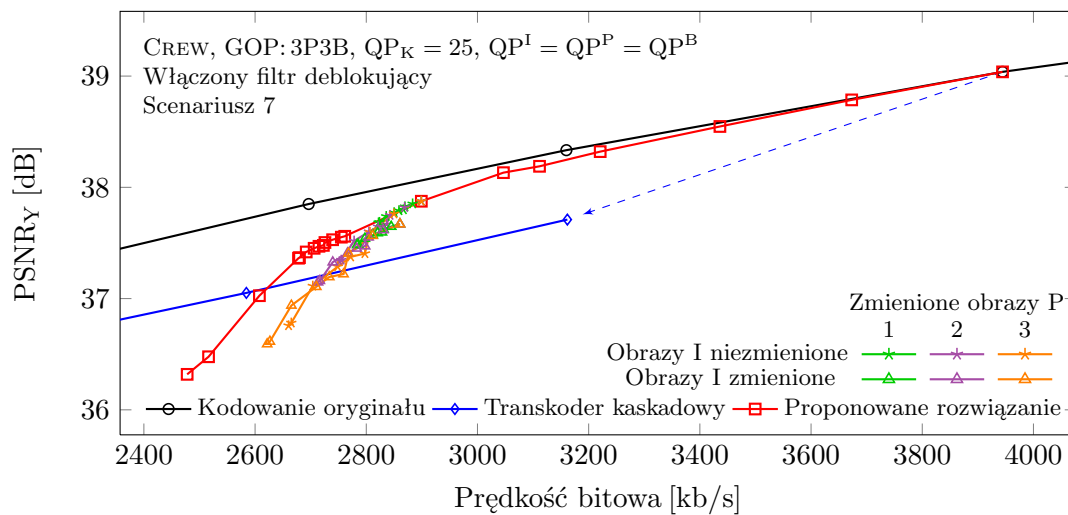
Rysunek D.87: (Kontynuacja) Strata jakości spowodowana modyfikacją próbek transformaty w obrazach typu I oraz P. Dozwolone makrobloki Intra w obrazach P i B



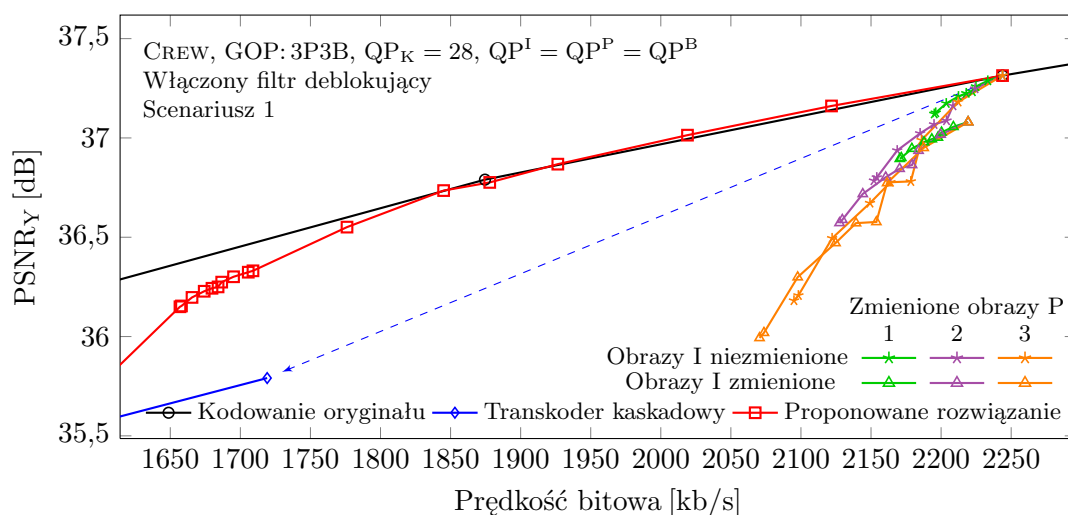
Rysunek D.88: Strata jakości spowodowana modyfikacją próbek transformaty w obrazach typu I oraz P. Dozwolone makrobloki Intra w obrazach P i B



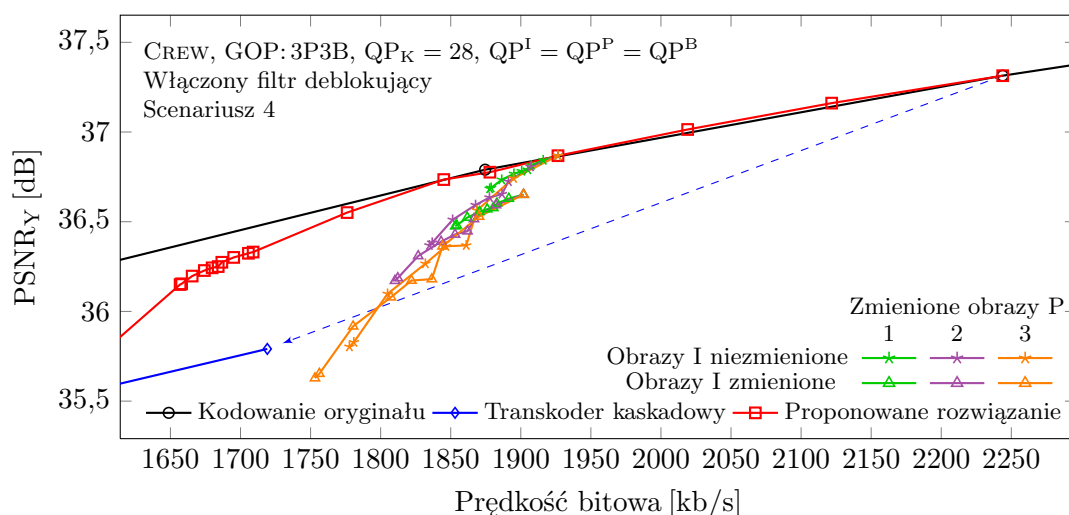
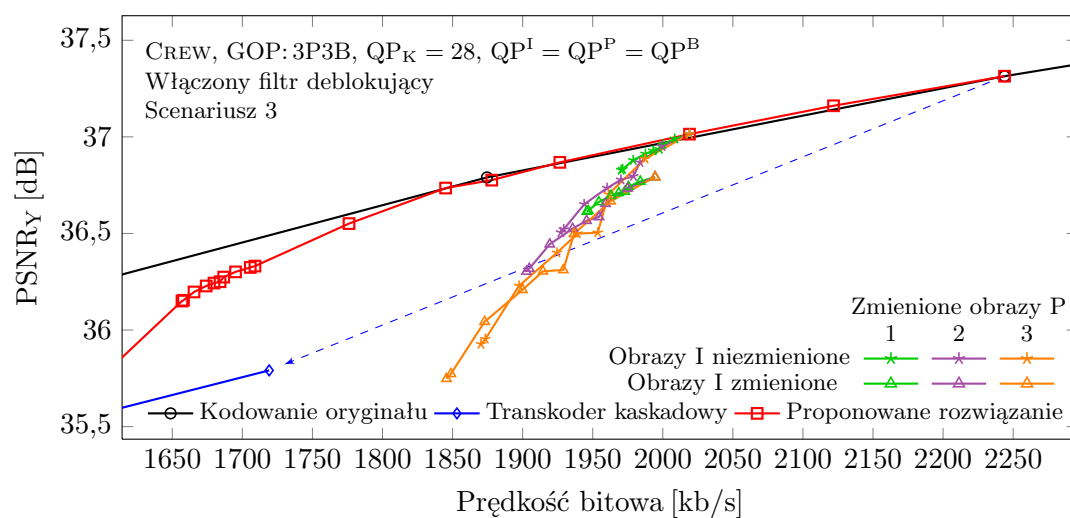
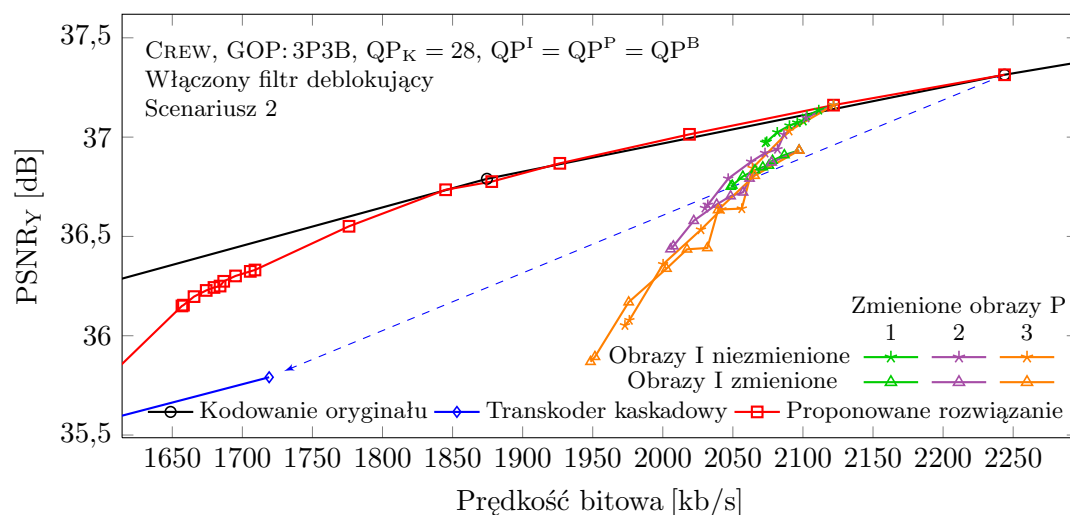
Rysunek D.88: (Kontynuacja) Strata jakości spowodowana modyfikacją próbek transformaty w obrazach typu I oraz P. Dozwolone makrobloki Intra w obrazach P i B



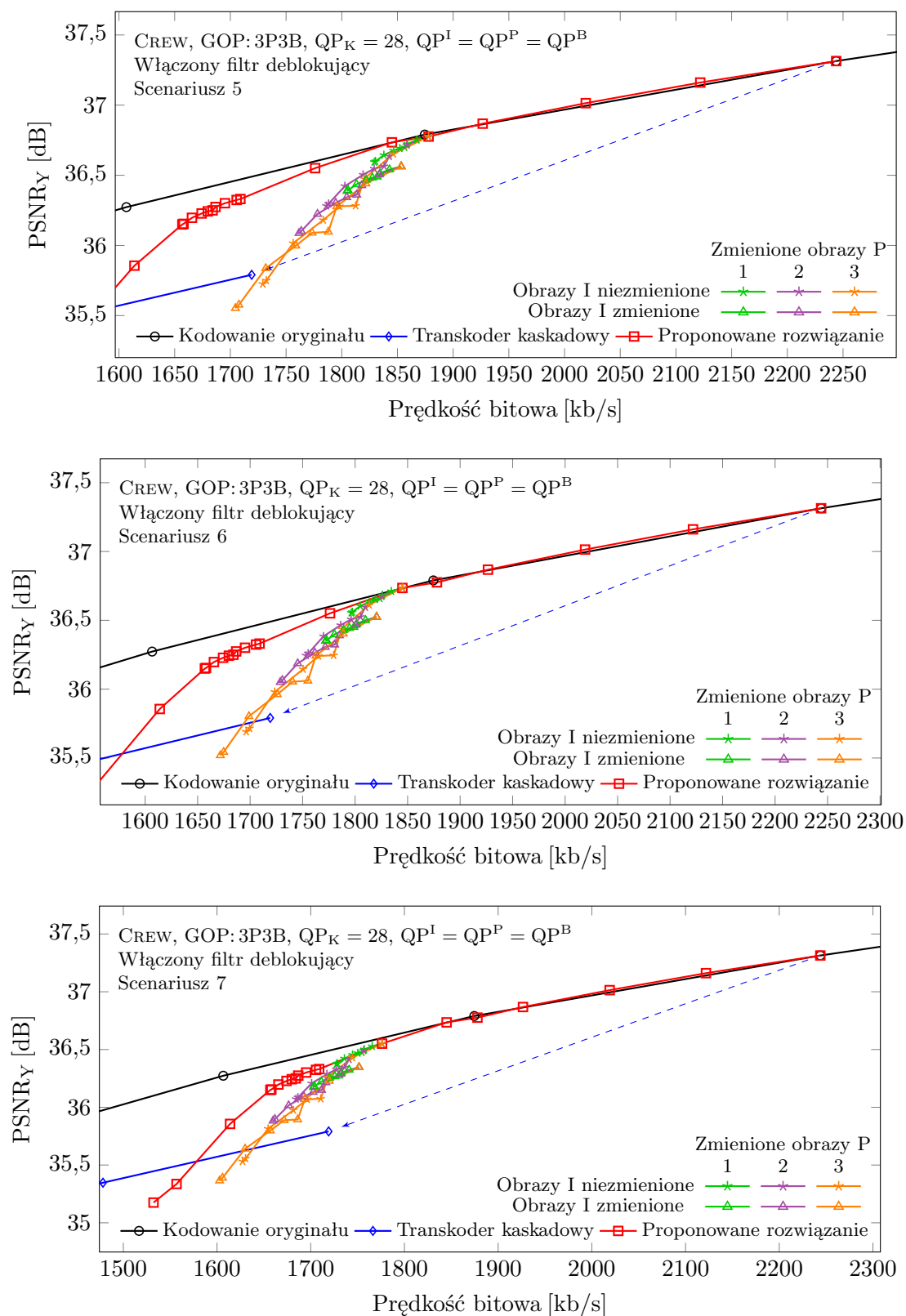
Rysunek D.88: (Kontynuacja) Strata jakości spowodowana modyfikacją próbek transformaty w obrazach typu I oraz P. Dozwolone makrobloki Intra w obrazach P i B



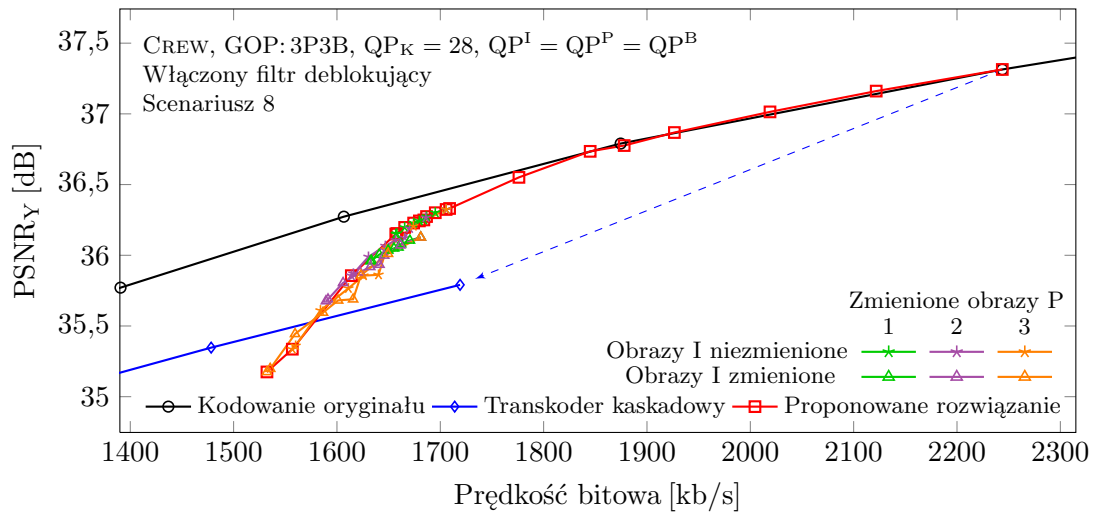
Rysunek D.89: Strata jakości spowodowana modyfikacją próbek transformaty w obrazach typu I oraz P. Dozwolone makrobloki Intra w obrazach P i B



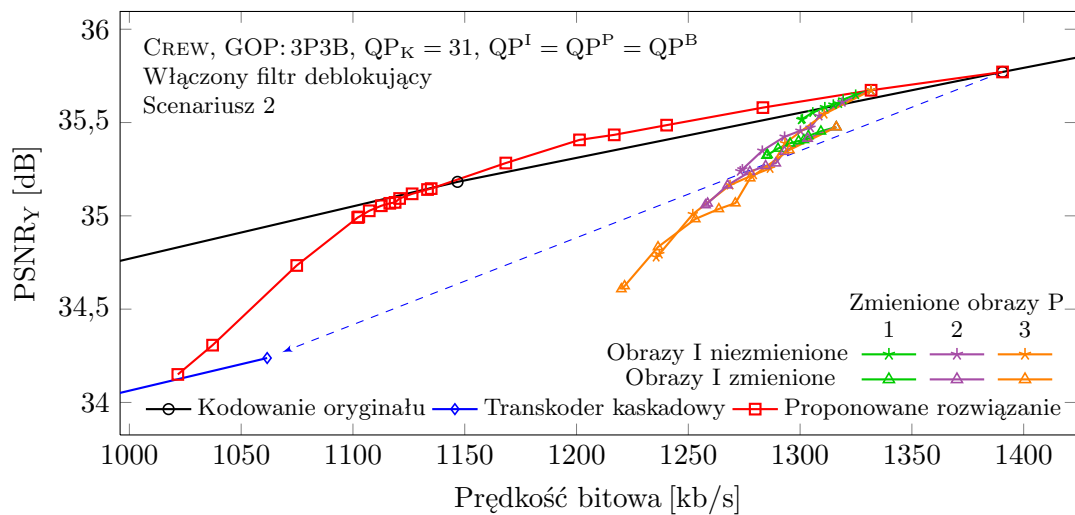
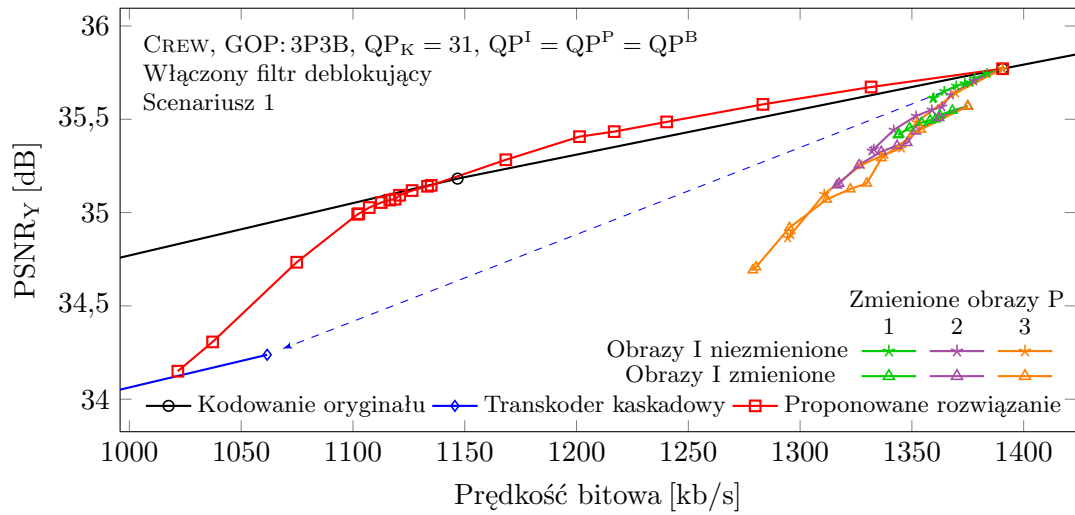
Rysunek D.89: (Kontynuacja) Strata jakości spowodowana modyfikacją próbek transformaty w obrazach typu I oraz P. Dozwolone makrobloki Intra w obrazach P i B



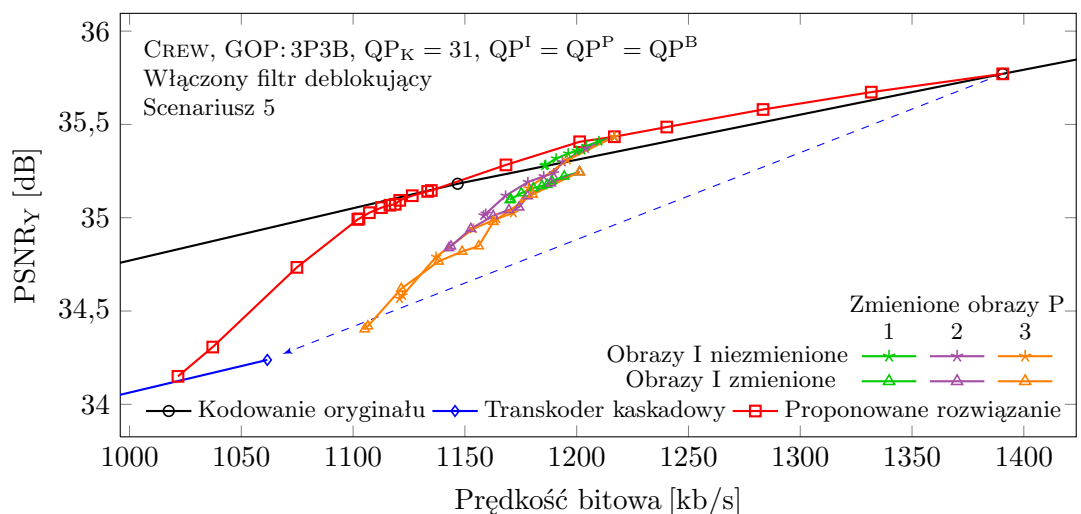
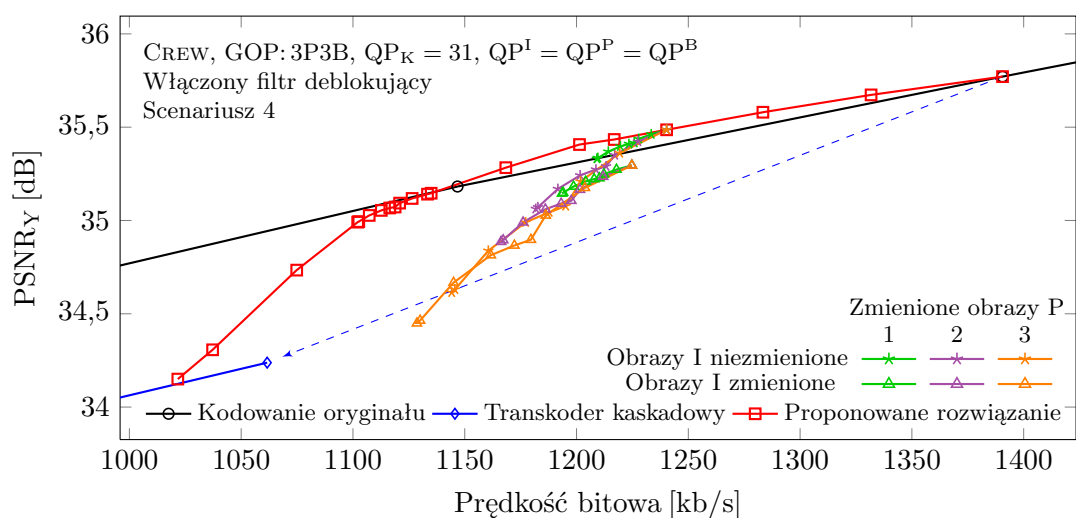
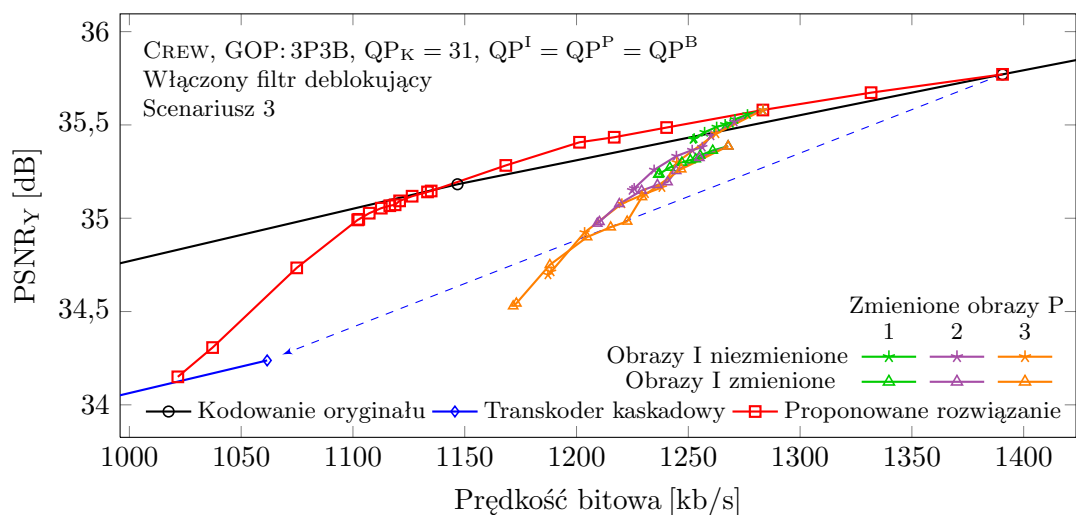
Rysunek D.89: (Kontynuacja) Strata jakości spowodowana modyfikacją próbek transformaty w obrazach typu I oraz P. Dozwolone makrobloki Intra w obrazach P i B



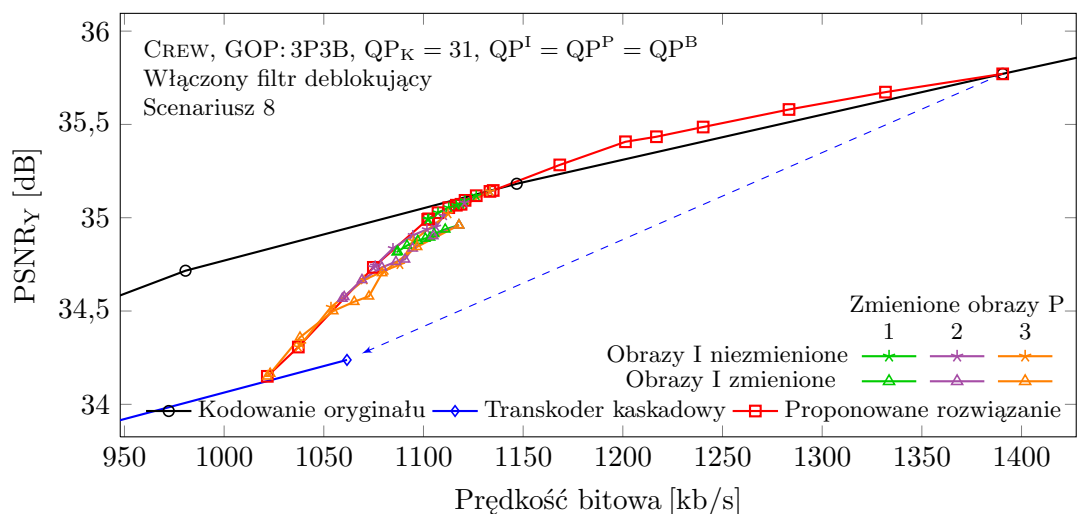
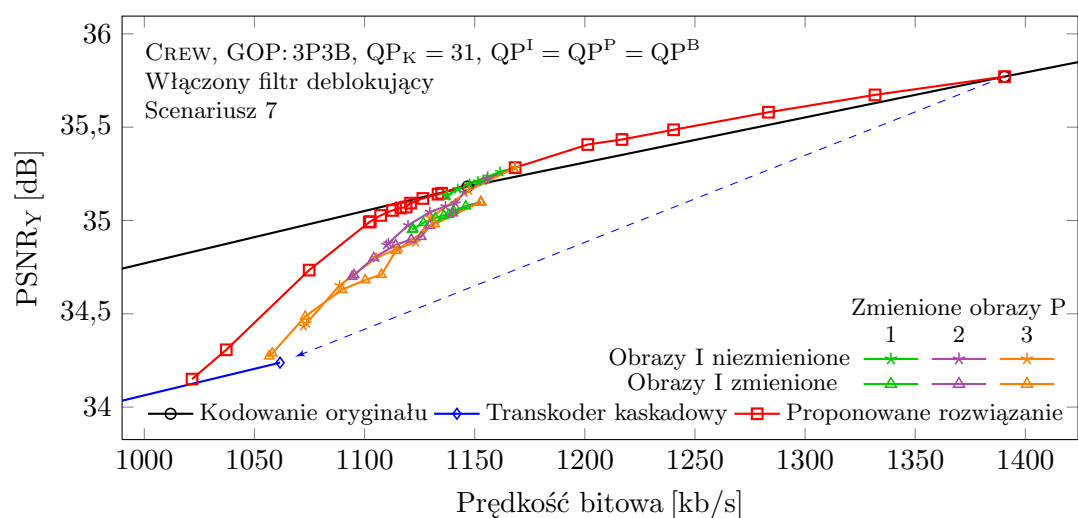
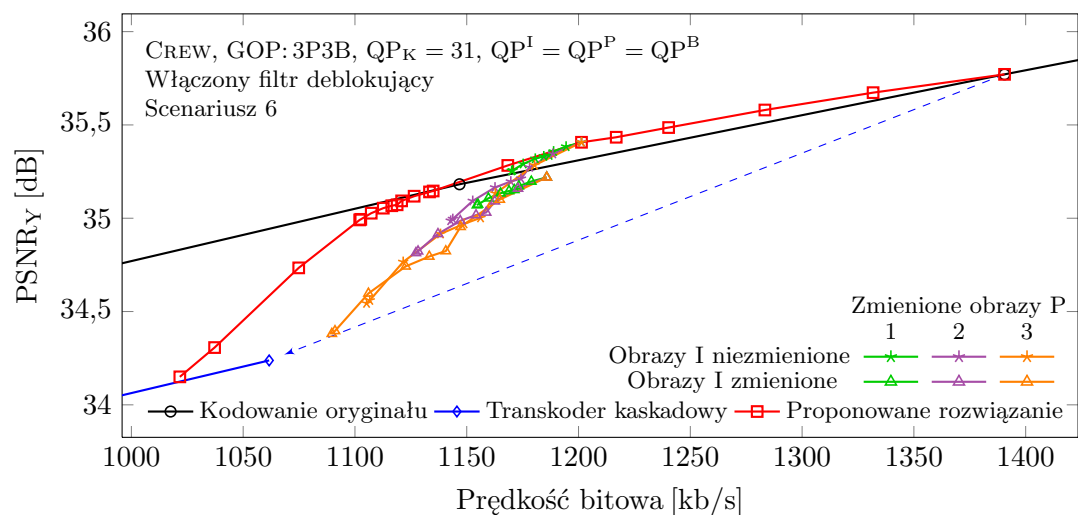
Rysunek D.89: (Kontynuacja) Strata jakości spowodowana modyfikacją próbek transformaty w obrazach typu I oraz P. Dozwolone makrobloki Intra w obrazach P i B



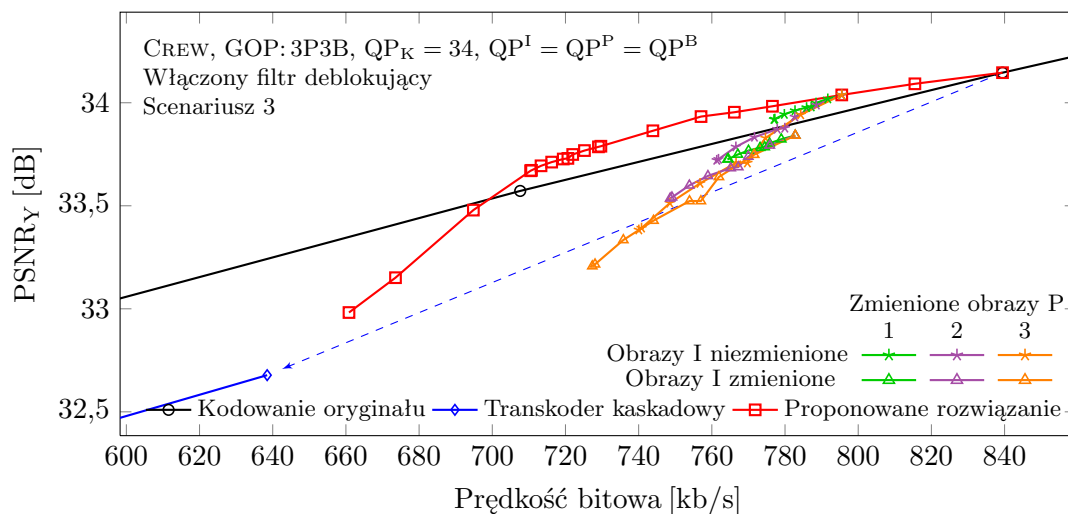
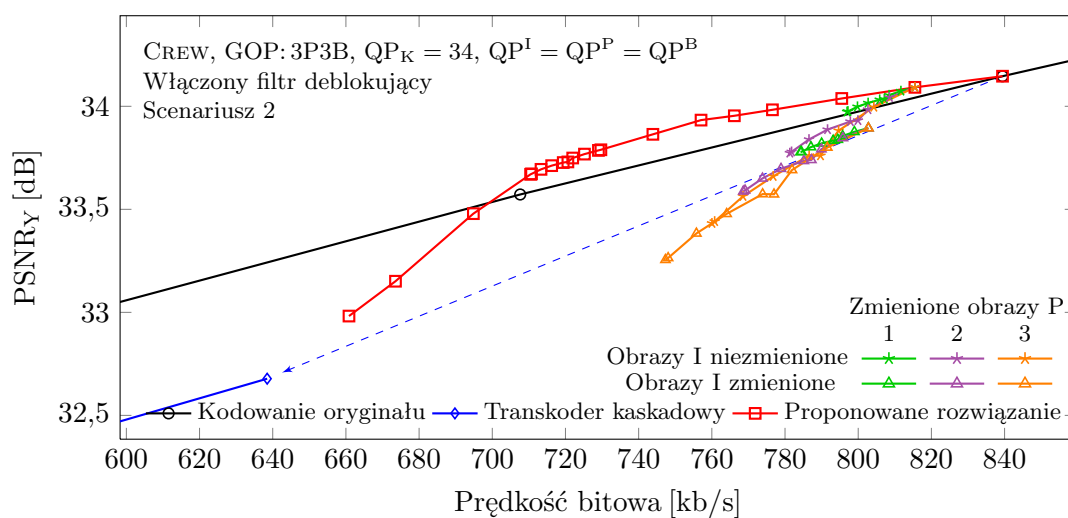
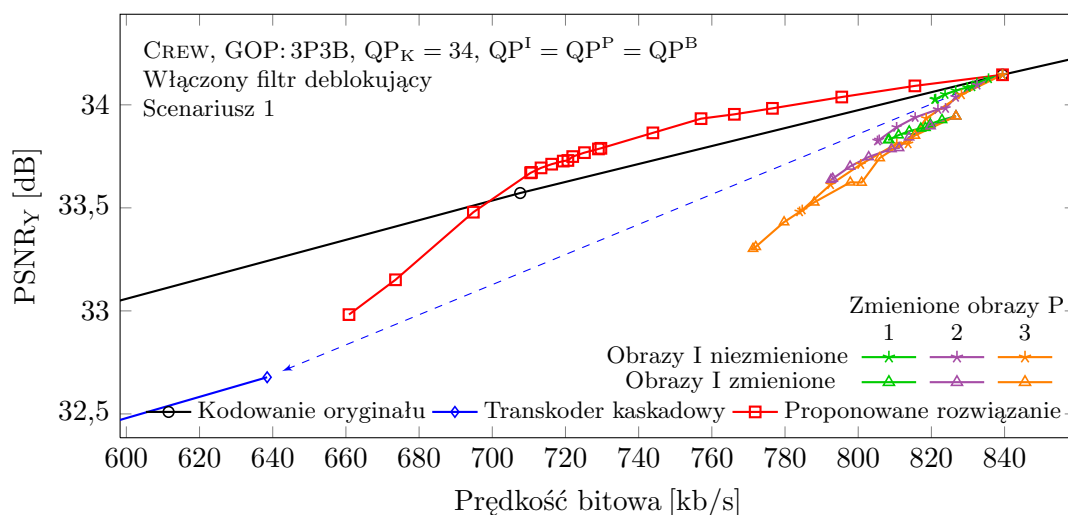
Rysunek D.90: Strata jakości spowodowana modyfikacją próbek transformaty w obrazach typu I oraz P. Dozwolone makrobloki Intra w obrazach P i B



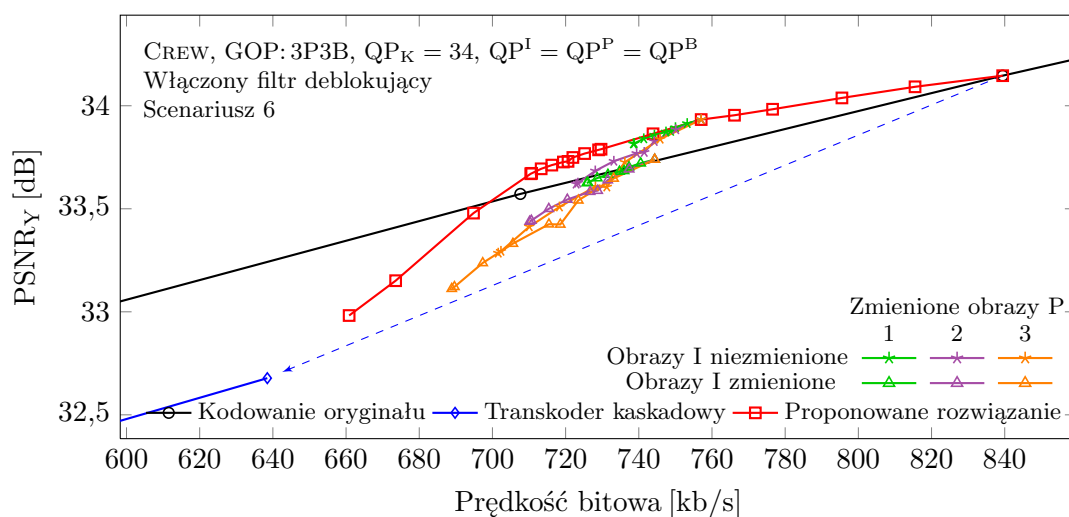
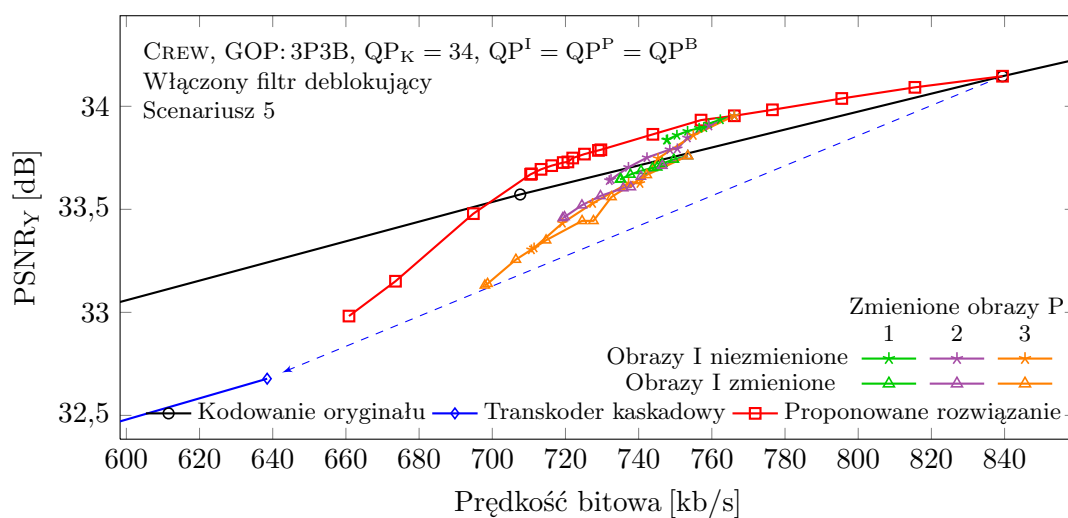
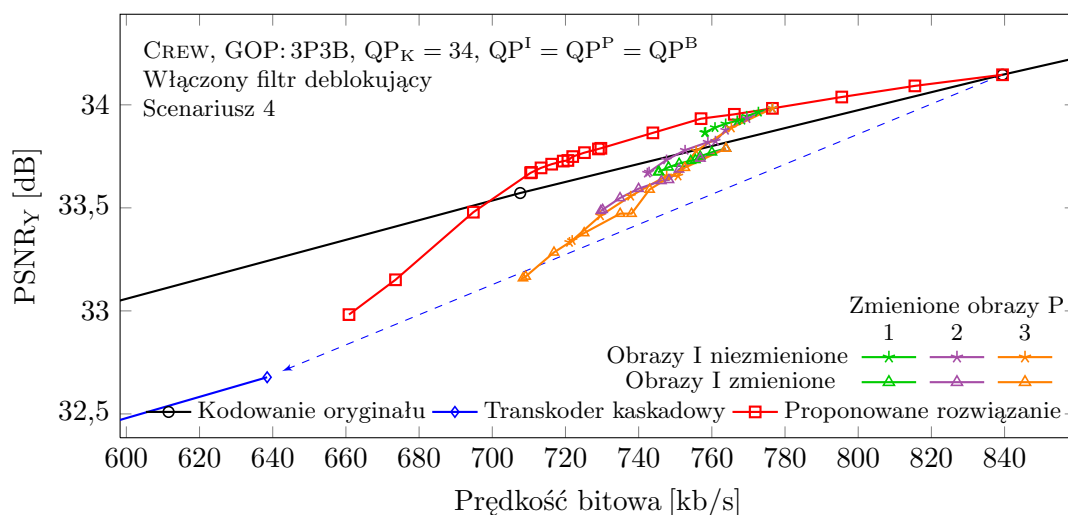
Rysunek D.90: (Kontynuacja) Strata jakości spowodowana modyfikacją próbek transformaty w obrazach typu I oraz P. Dozwolone makrobloki Intra w obrazach P i B



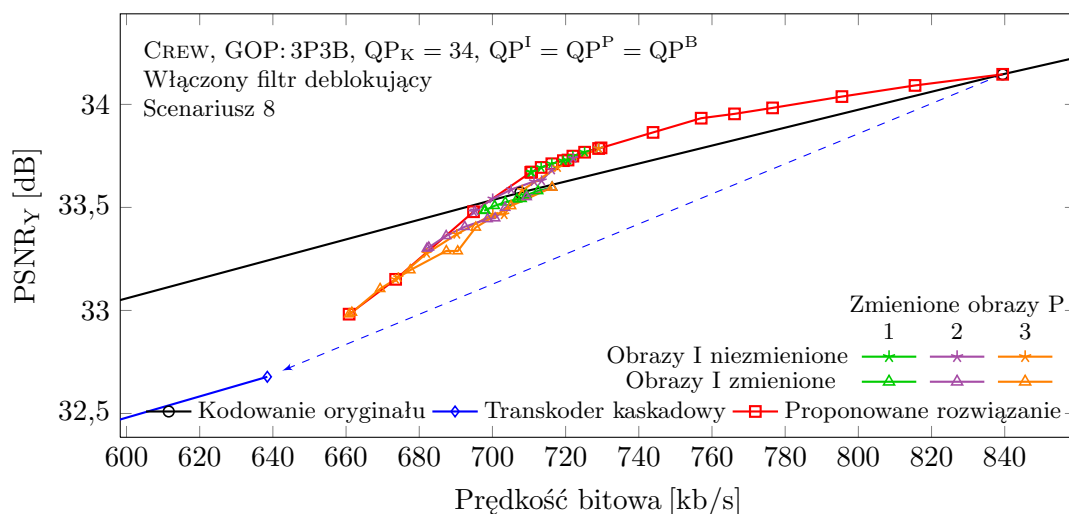
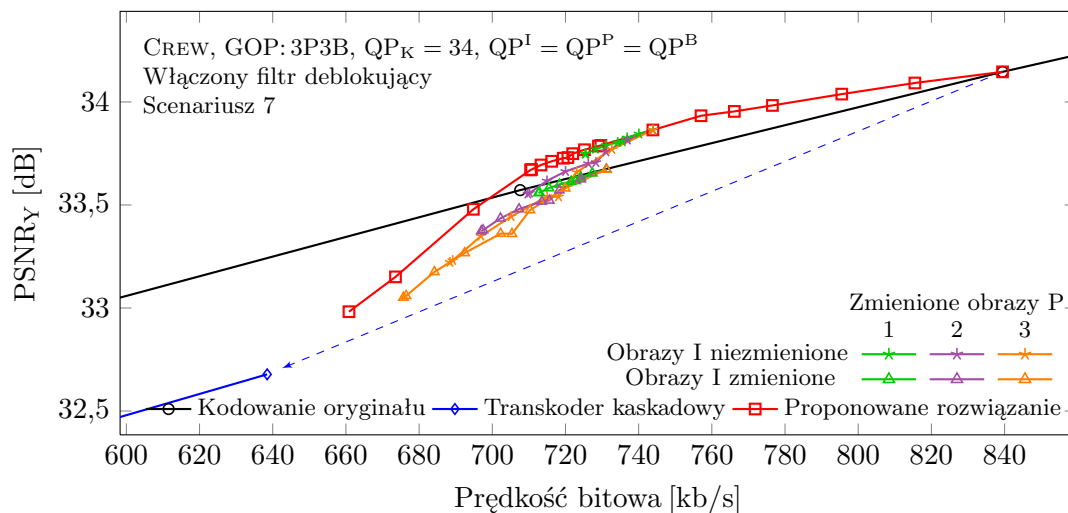
Rysunek D.90: (Kontynuacja) Strata jakości spowodowana modyfikacją próbek transformaty w obrazach typu I oraz P. Dozwolone makrobloki Intra w obrazach P i B



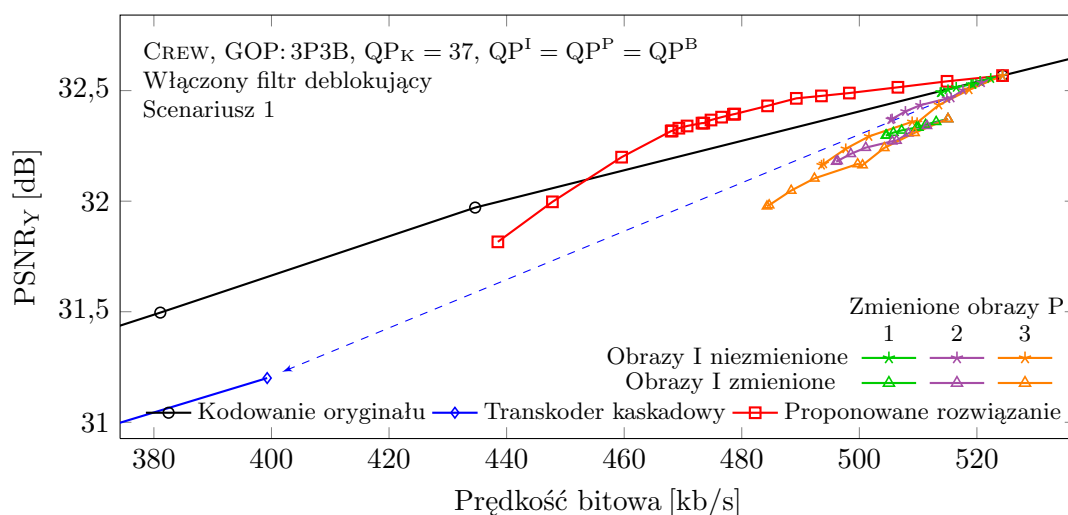
Rysunek D.91: Strata jakości spowodowana modyfikacją próbek transformaty w obrazach typu I oraz P. Dozwolone makrobloki Intra w obrazach P i B



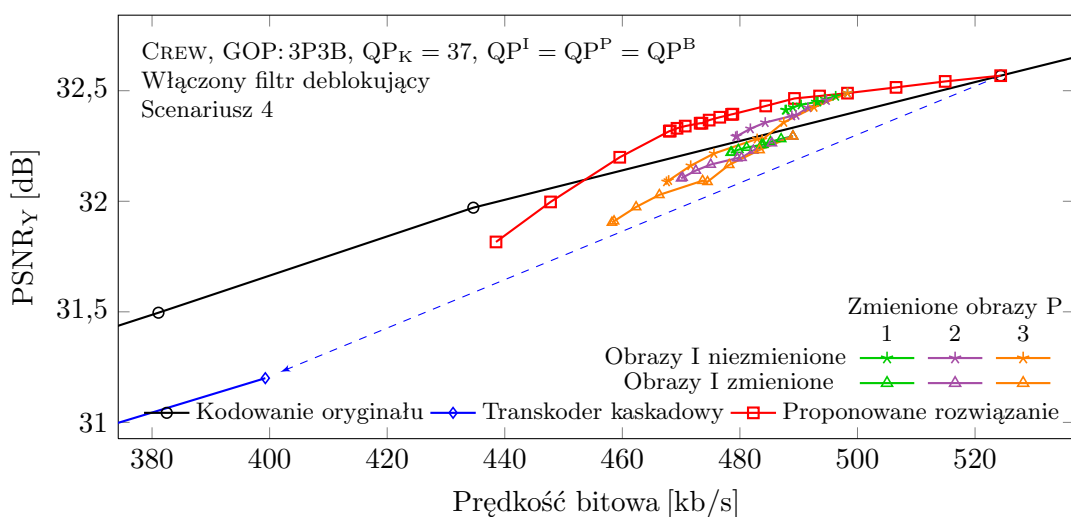
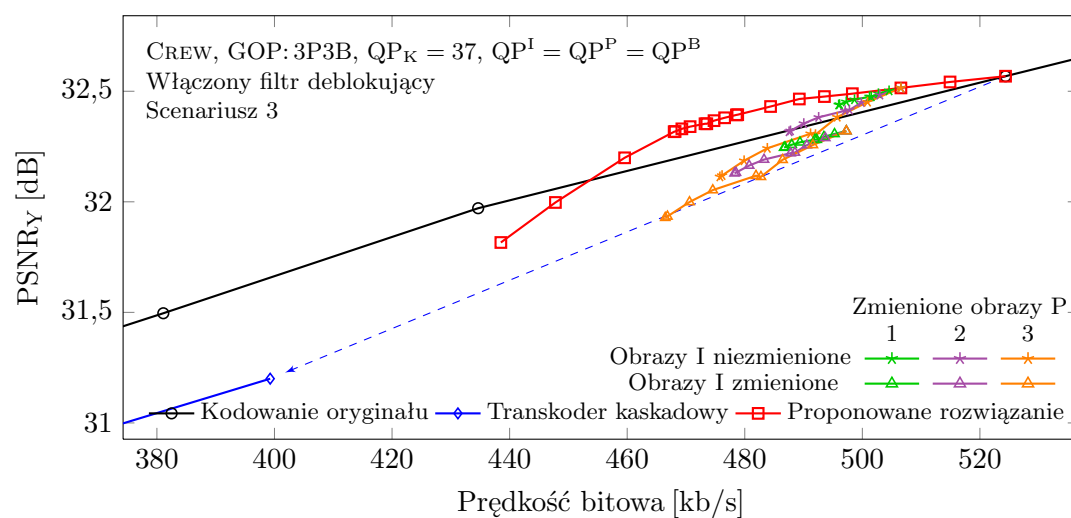
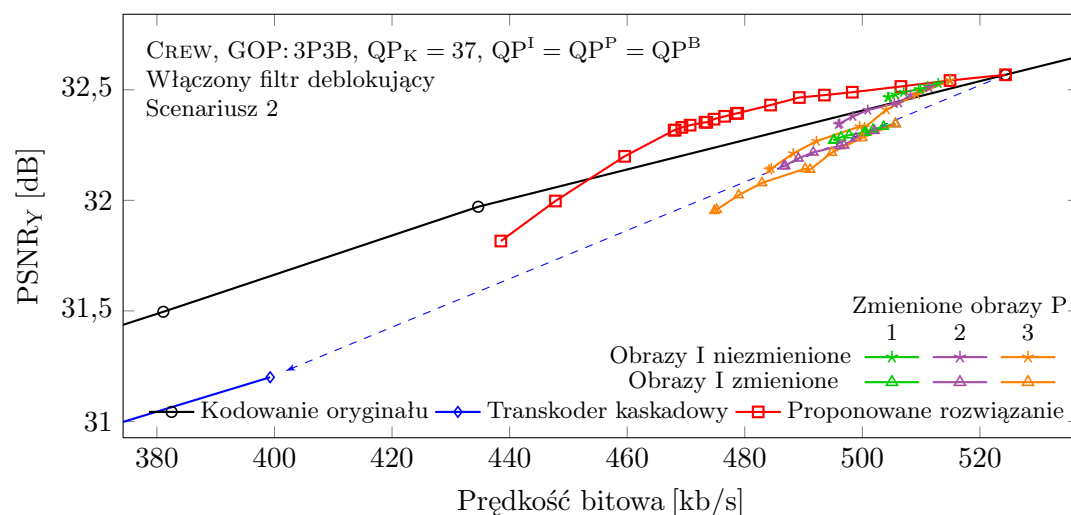
Rysunek D.91: (Kontynuacja) Strata jakości spowodowana modyfikacją próbek transformaty w obrazach typu I oraz P. Dozwolone makrobloki Intra w obrazach P i B



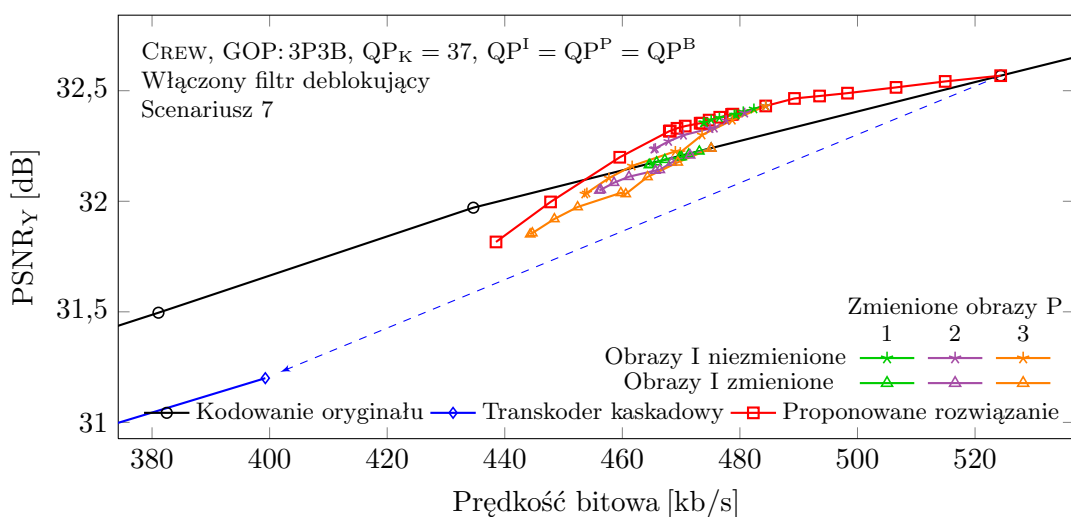
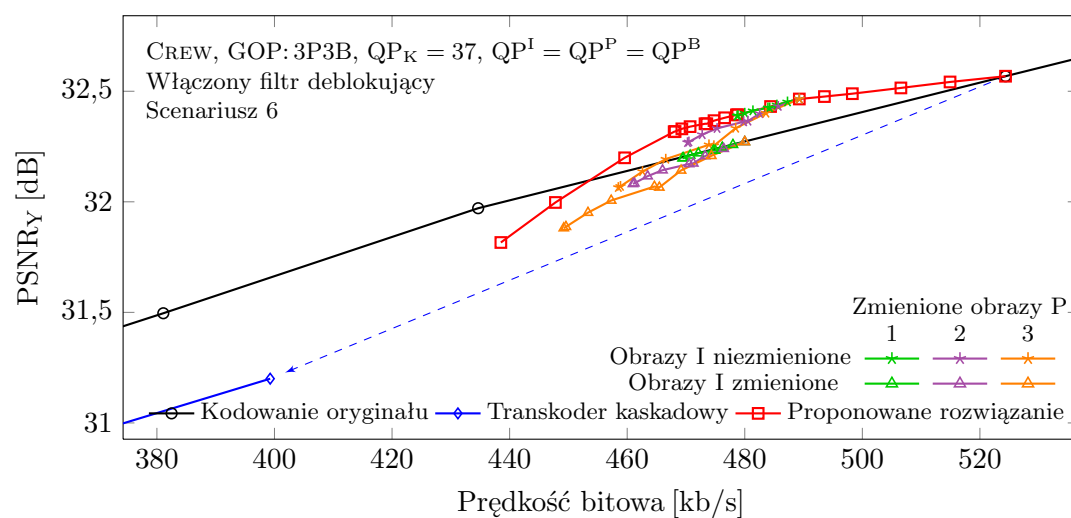
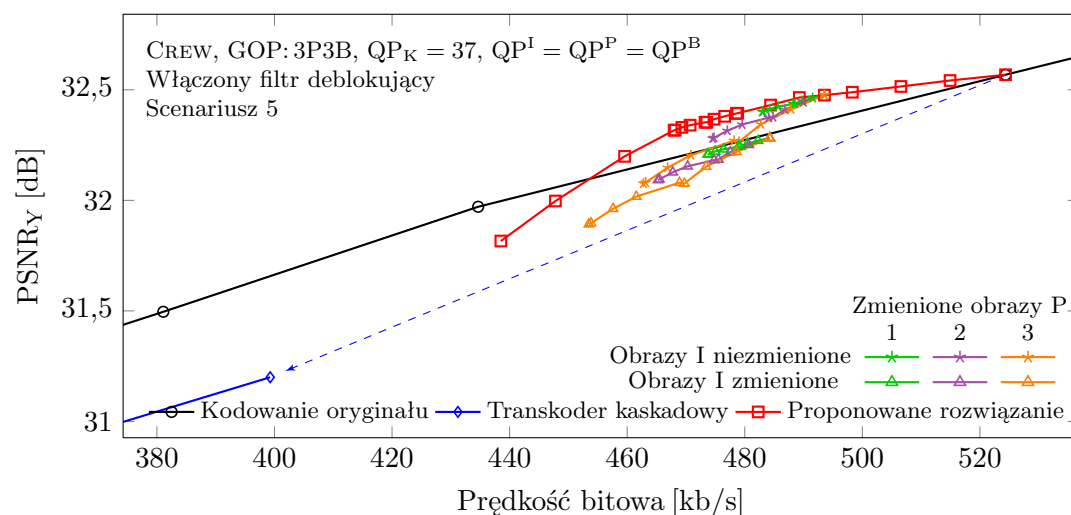
Rysunek D.91: (Kontynuacja) Strata jakości spowodowana modyfikacją próbek transformaty w obrazach typu I oraz P. Dozwolone makrobloki Intra w obrazach P i B



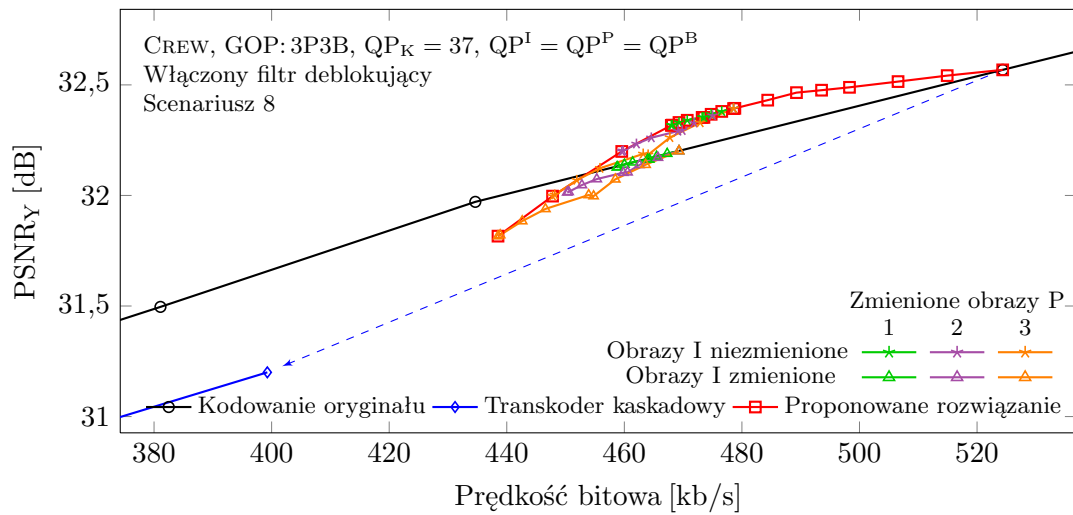
Rysunek D.92: Strata jakości spowodowana modyfikacją próbek transformaty w obrazach typu I oraz P. Dozwolone makrobloki Intra w obrazach P i B



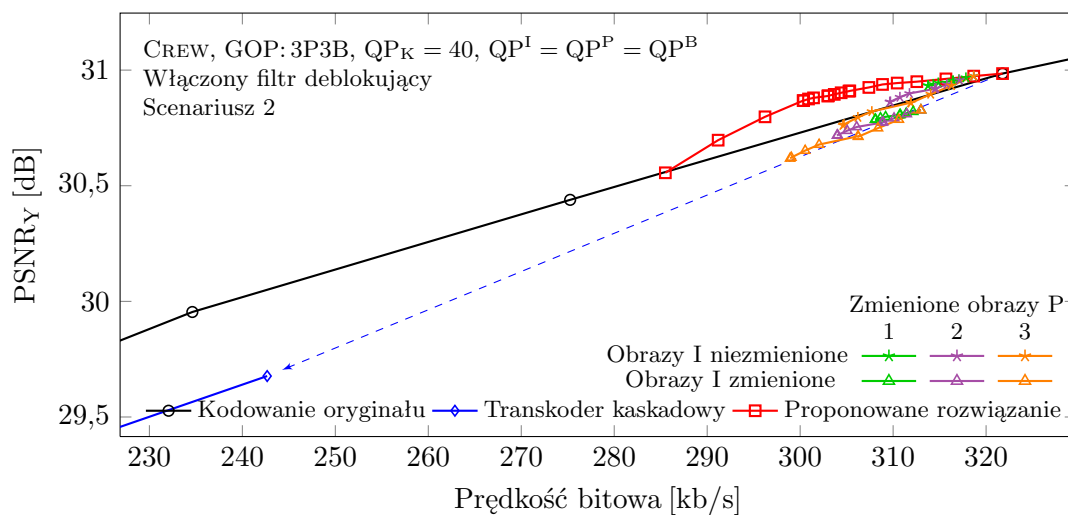
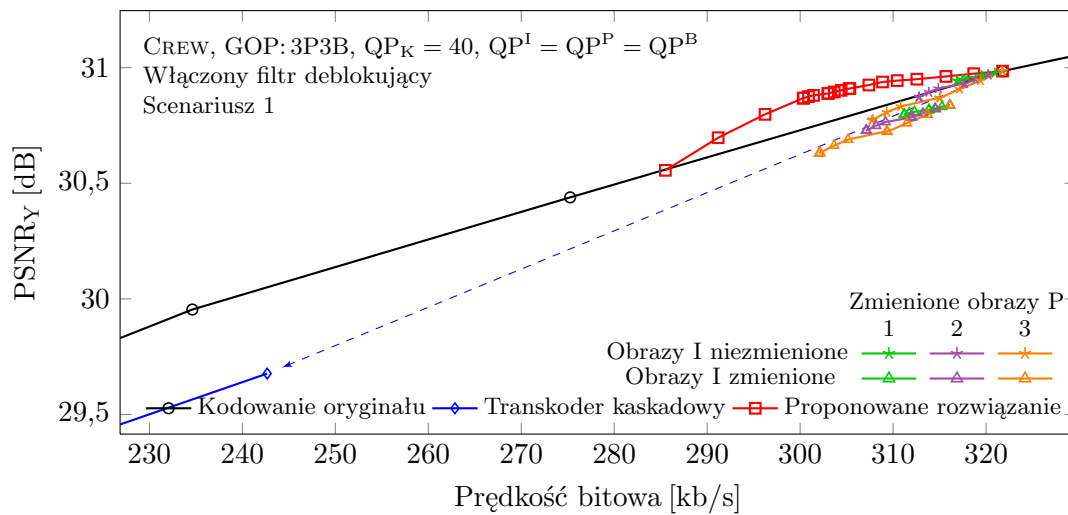
Rysunek D.92: (Kontynuacja) Strata jakości spowodowana modyfikacją próbek transformaty w obrazach typu I oraz P. Dozwolone makrobloki Intra w obrazach P i B



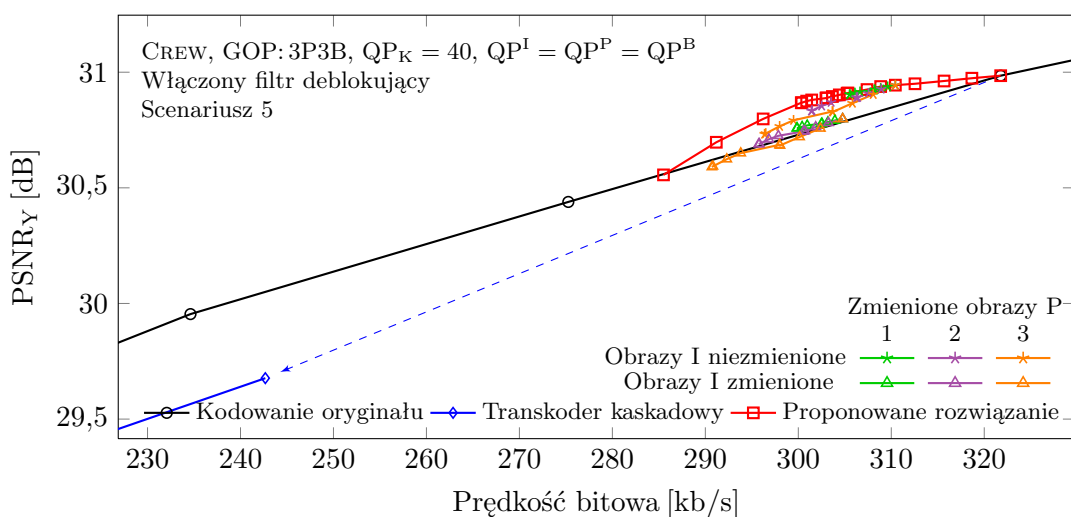
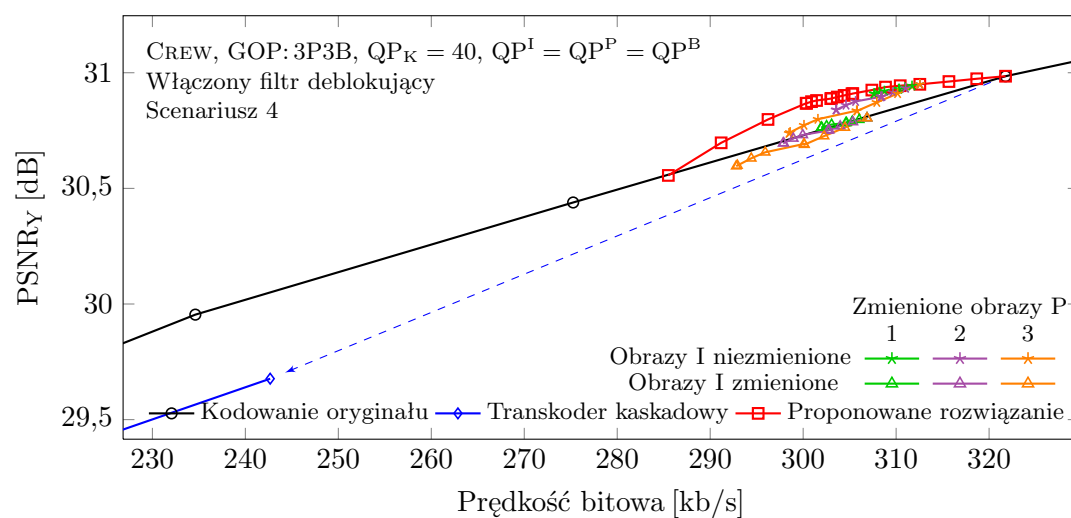
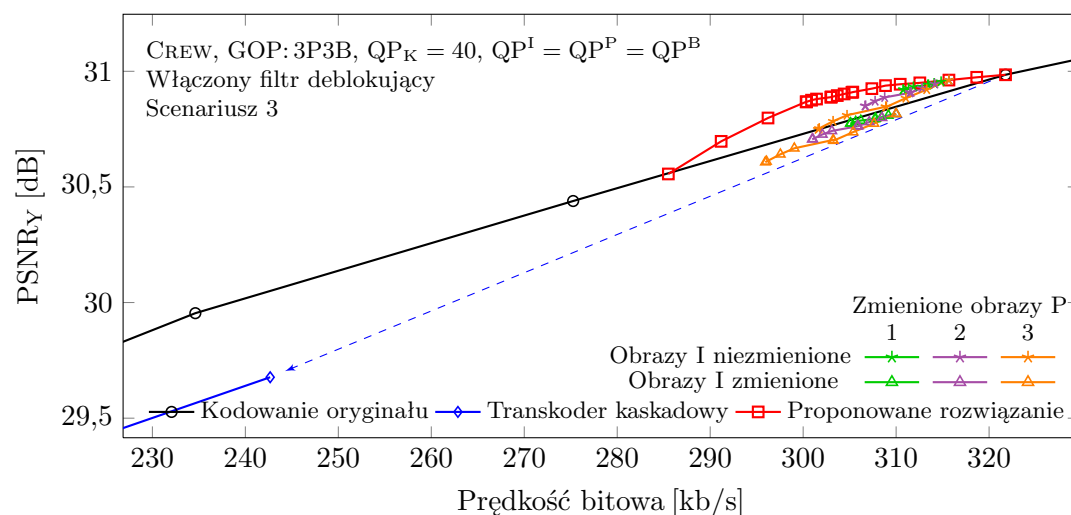
Rysunek D.92: (Kontynuacja) Strata jakości spowodowana modyfikacją próbek transformaty w obrazach typu I oraz P. Dozwolone makrobloki Intra w obrazach P i B



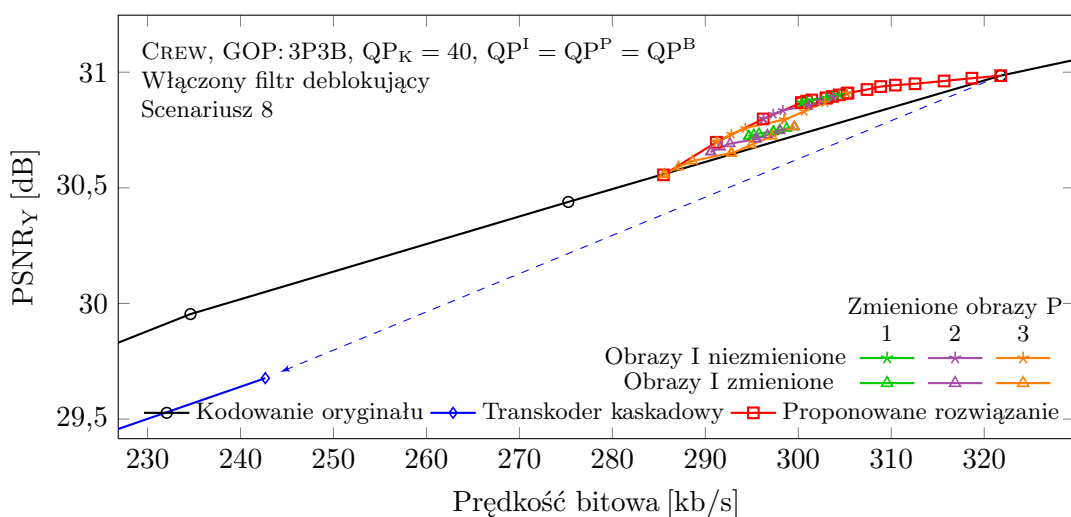
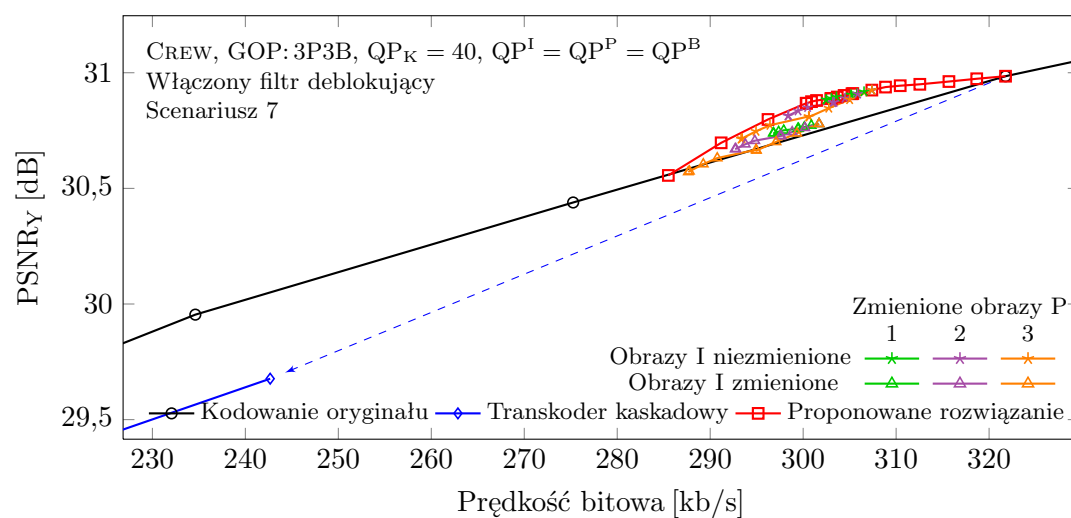
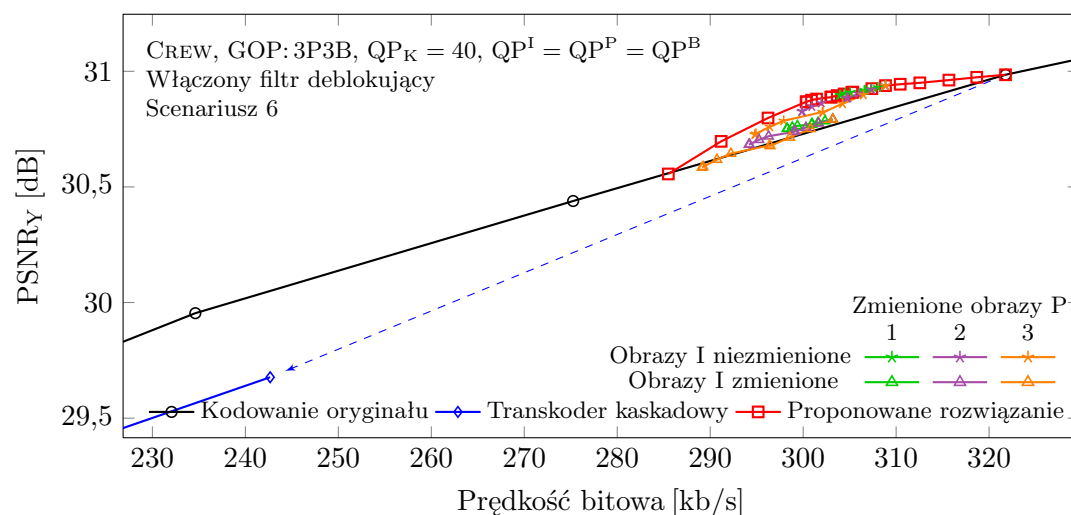
Rysunek D.92: (Kontynuacja) Strata jakości spowodowana modyfikacją próbek transformaty w obrazach typu I oraz P. Dozwolone makrobloki Intra w obrazach P i B



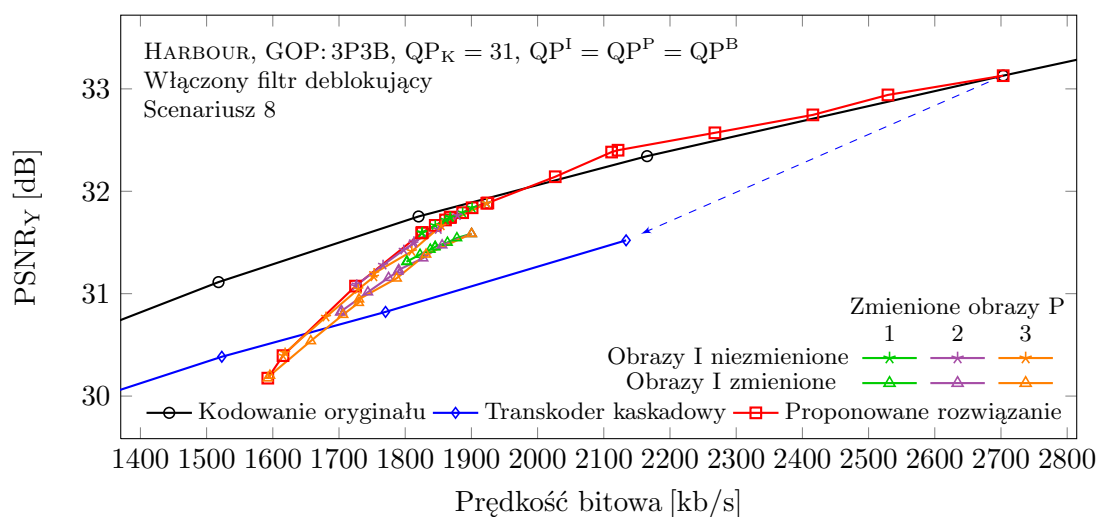
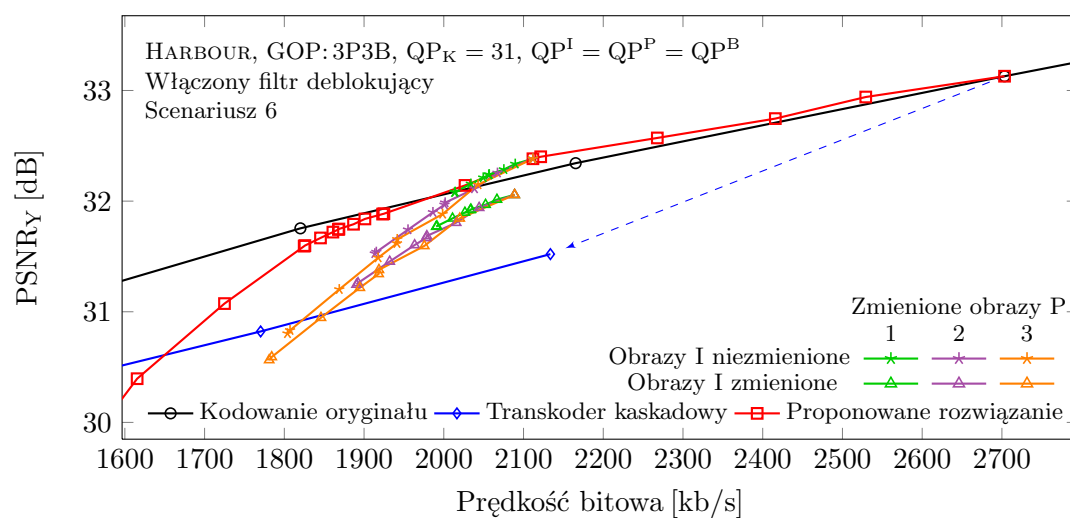
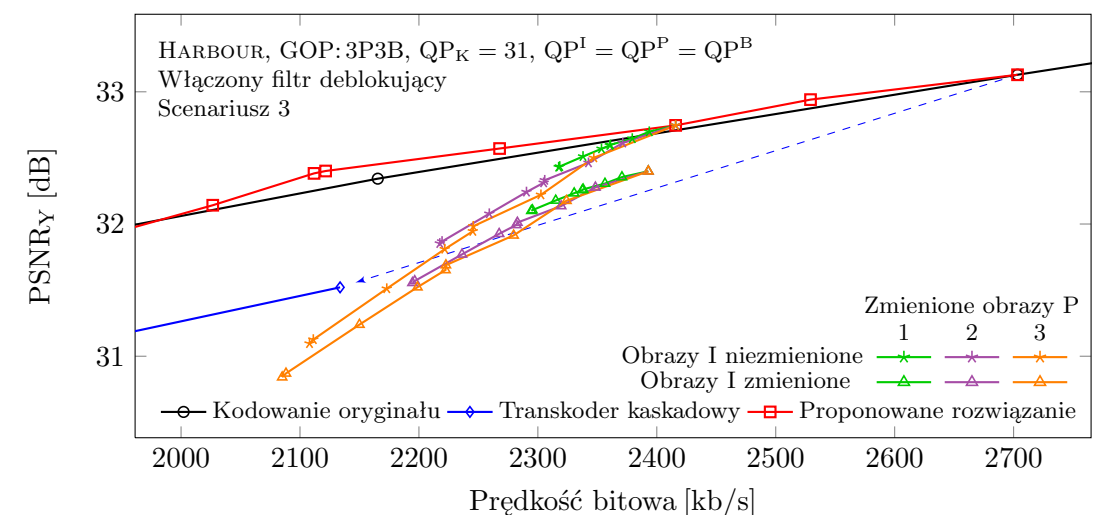
Rysunek D.93: Strata jakości spowodowana modyfikacją próbek transformaty w obrazach typu I oraz P. Dozwolone makrobloki Intra w obrazach P i B



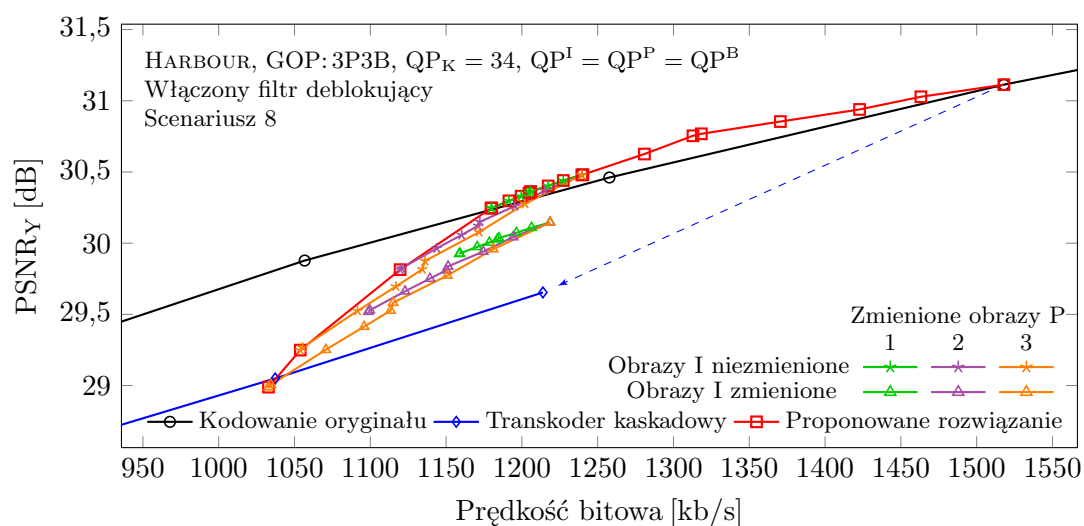
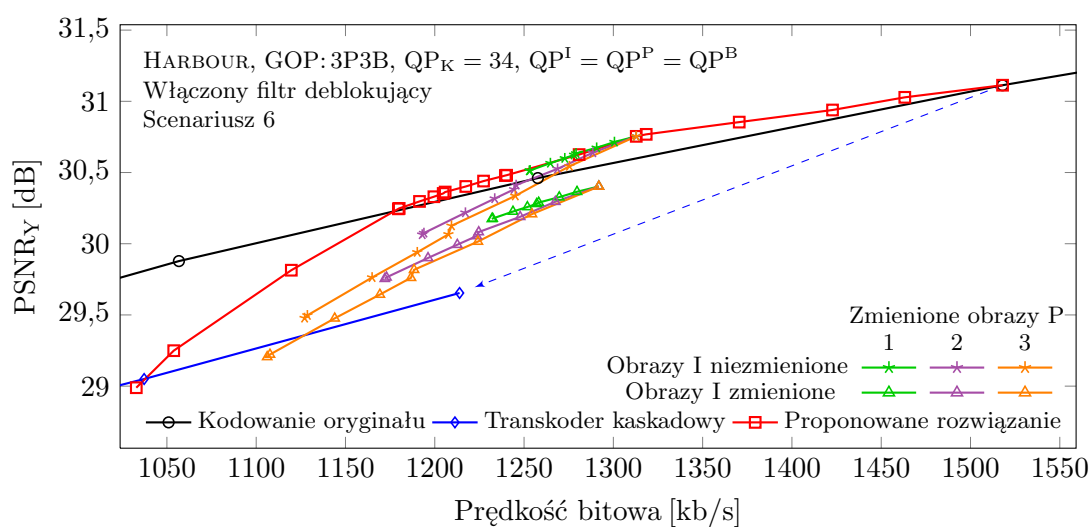
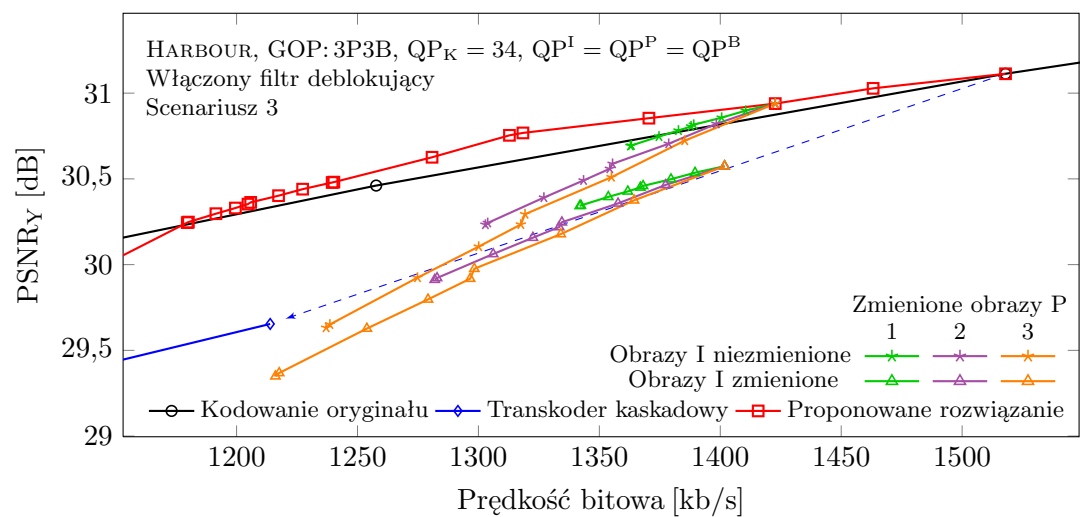
Rysunek D.93: (Kontynuacja) Strata jakości spowodowana modyfikacją próbek transformaty w obrazach typu I oraz P. Dozwolone makrobloki Intra w obrazach P i B



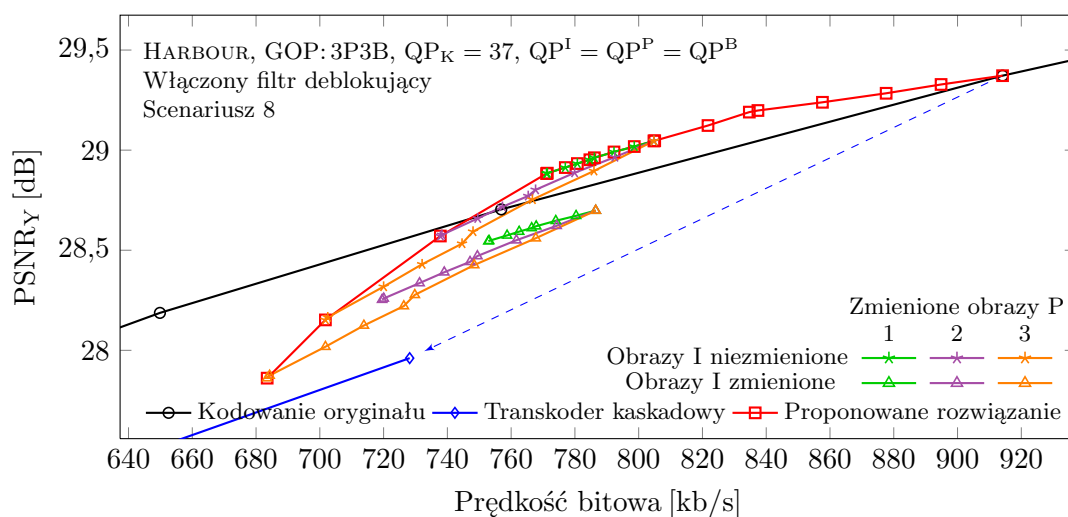
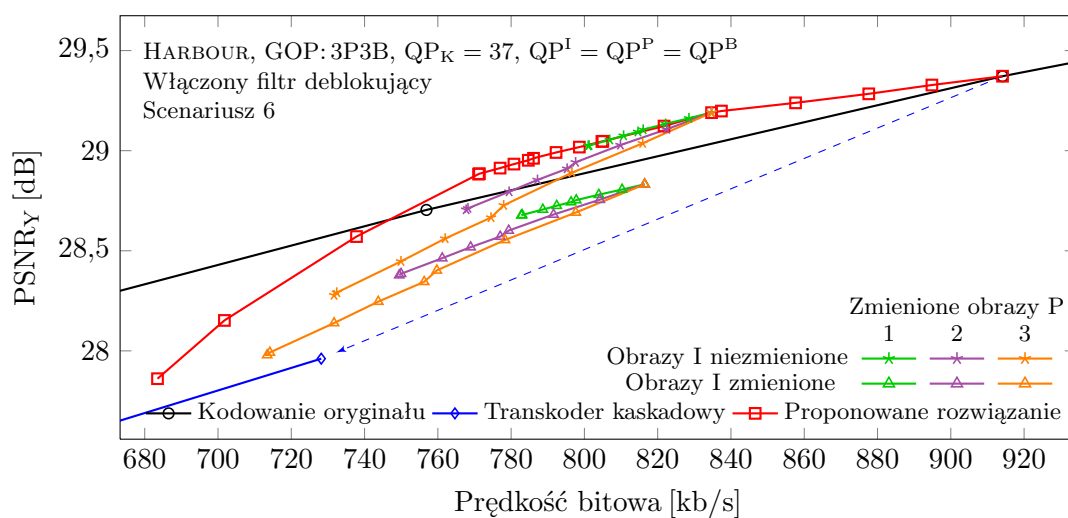
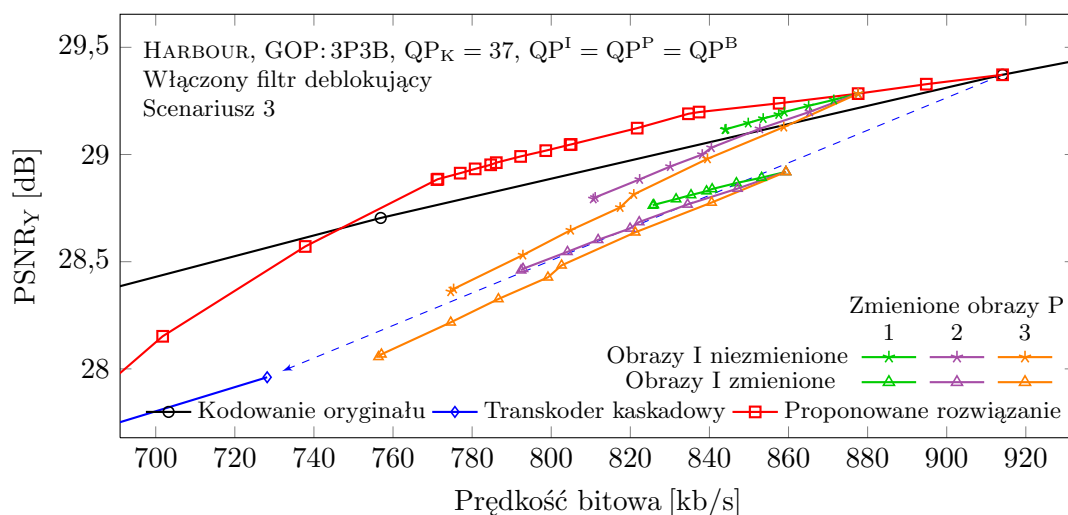
Rysunek D.93: (Kontynuacja) Strata jakości spowodowana modyfikacją próbek transformaty w obrazach typu I oraz P. Dozwolone makrobloki Intra w obrazach P i B



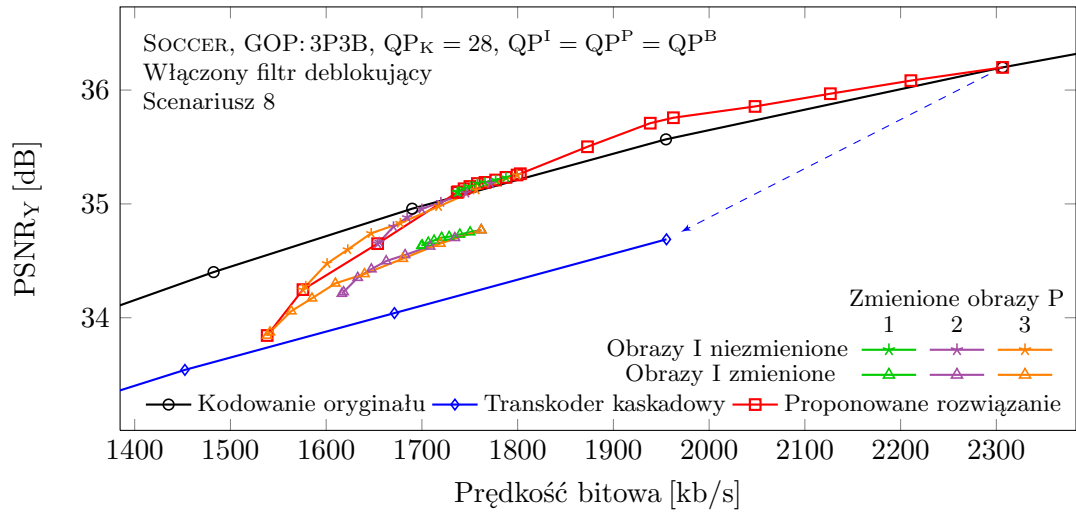
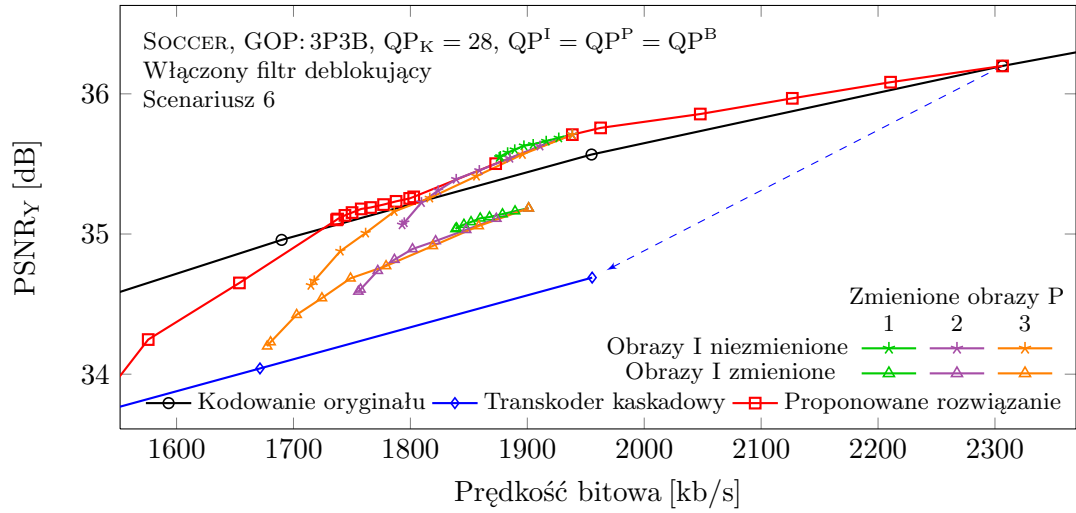
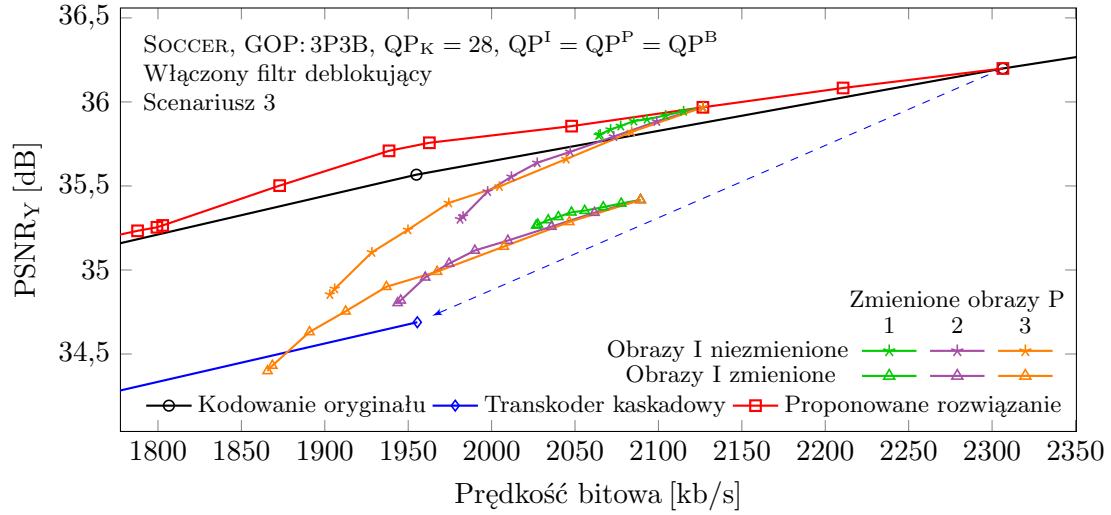
Rysunek D.94: Strata jakości spowodowana modyfikacją próbek transformaty w obrazach typu I oraz P. Dozwolone makrobloki Intra w obrazach P i B



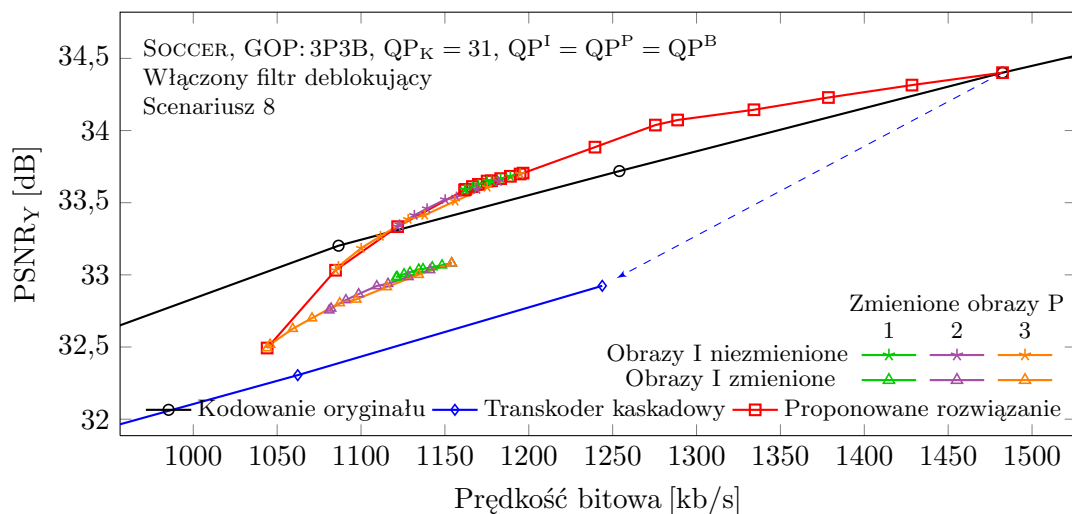
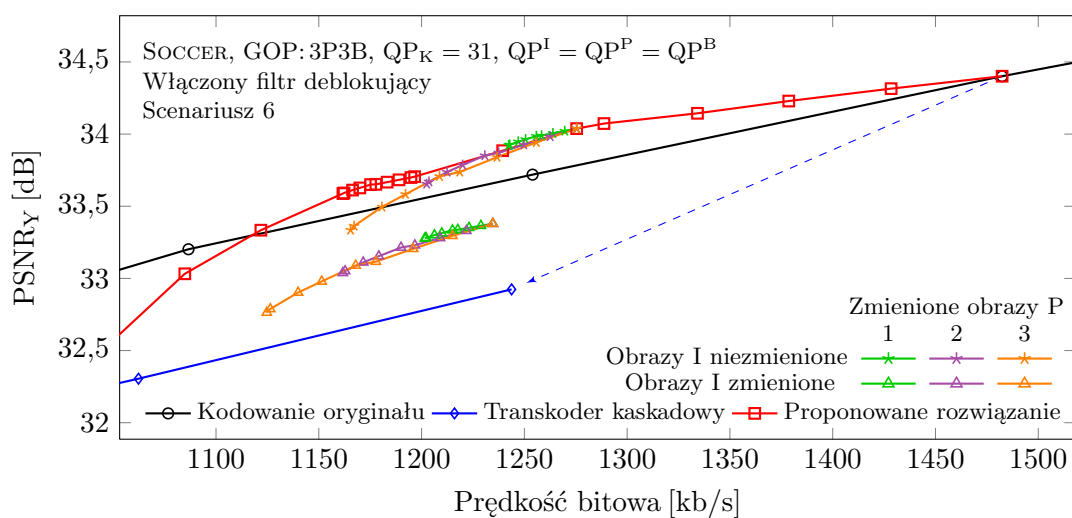
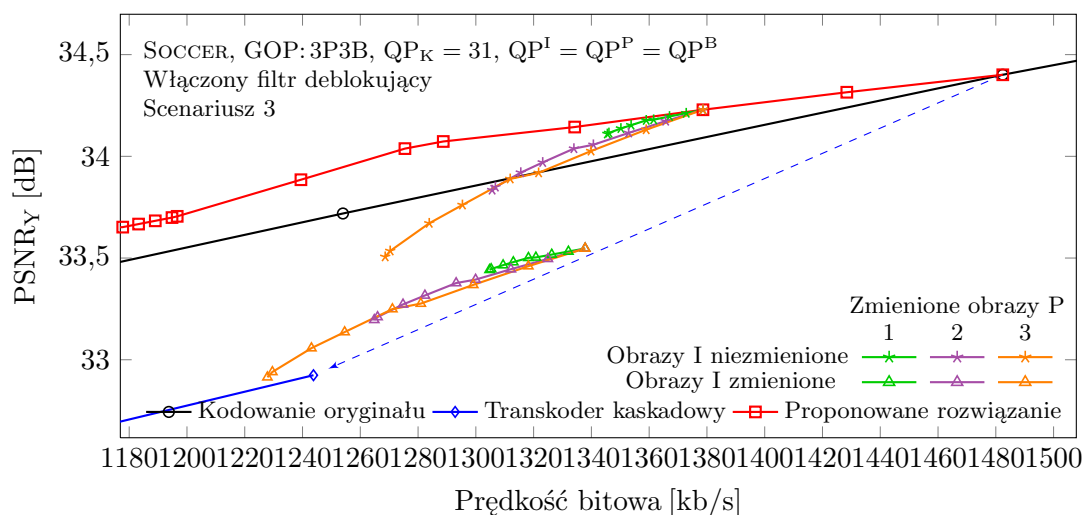
Rysunek D.95: Strata jakości spowodowana modyfikacją próbek transformaty w obrazach typu I oraz P. Dozwolone makrobloki Intra w obrazach P i B



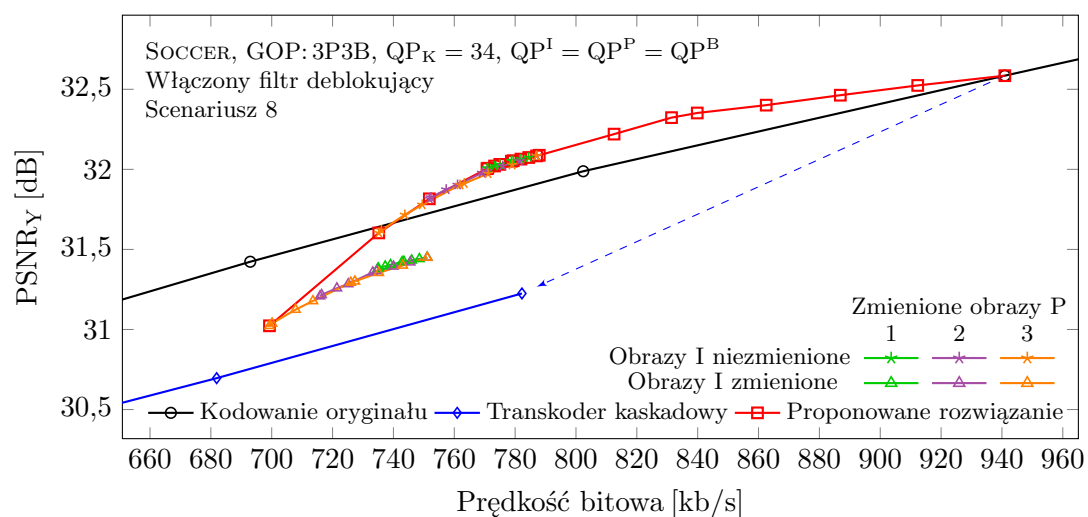
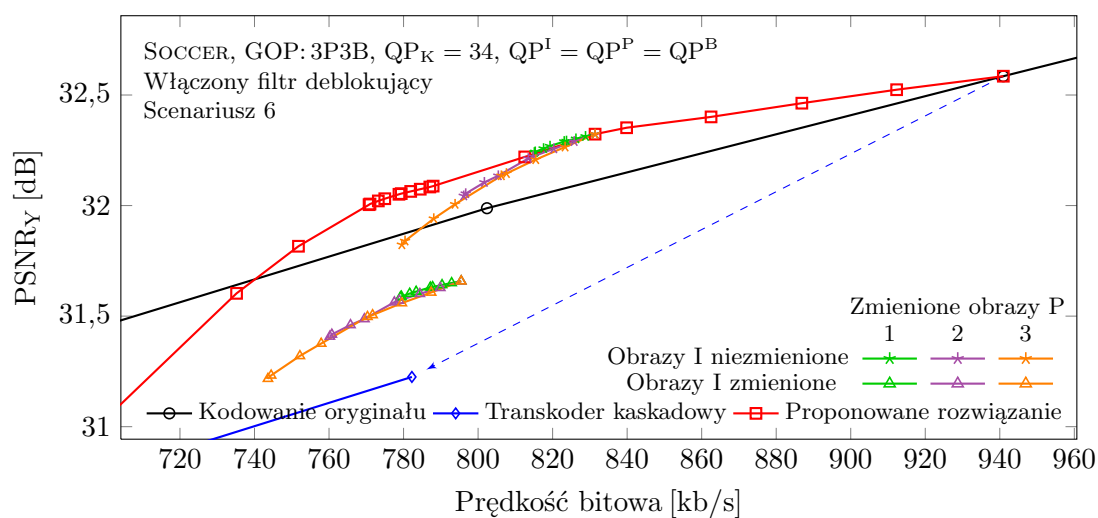
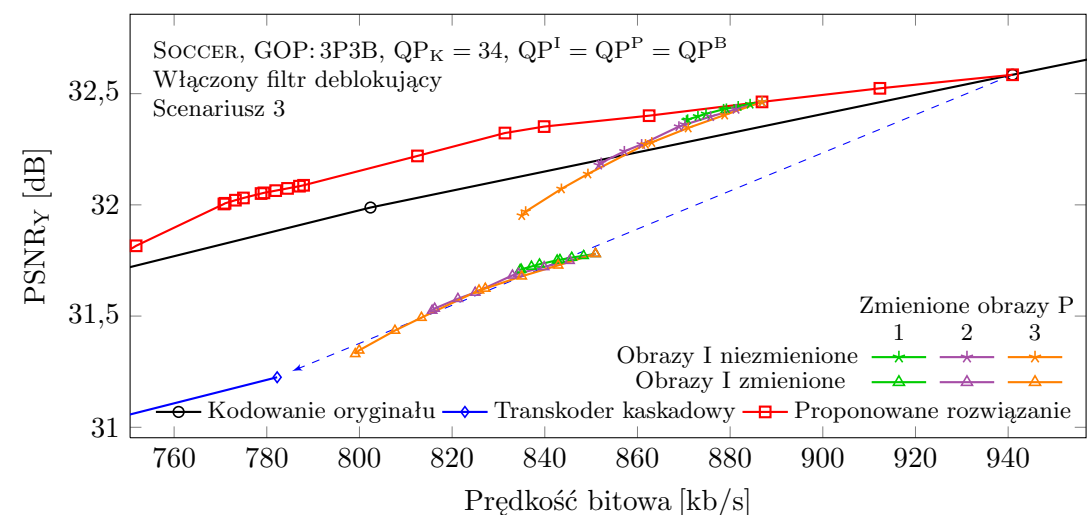
Rysunek D.96: Strata jakości spowodowana modyfikacją próbek transformaty w obrazach typu I oraz P. Dozwolone makrobloki Intra w obrazach P i B



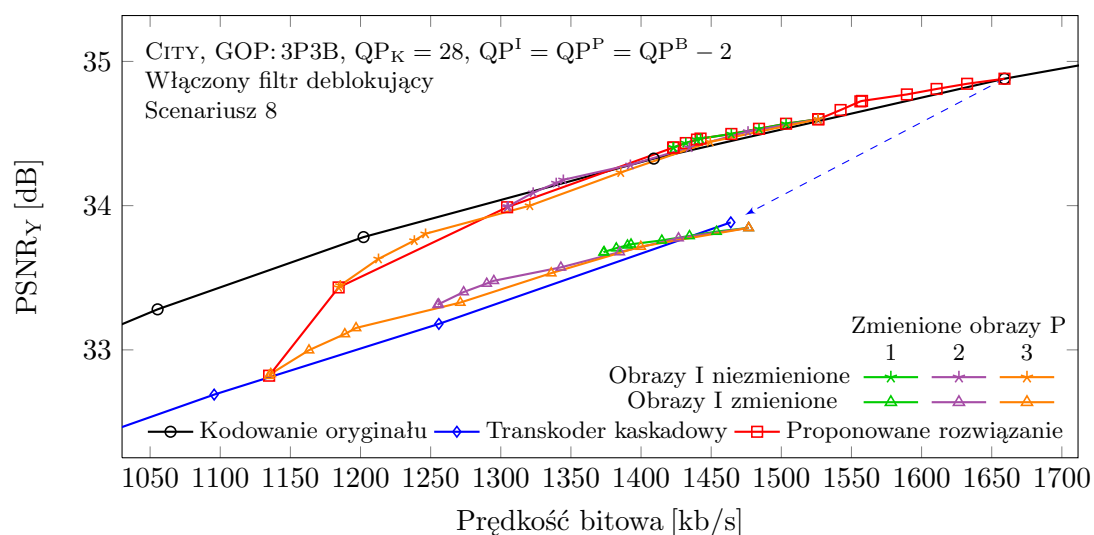
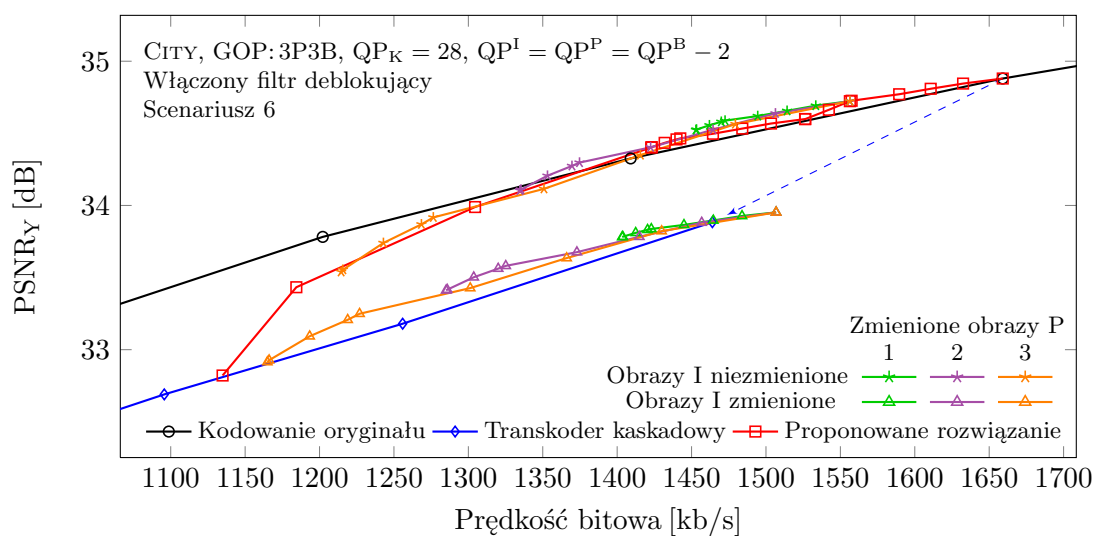
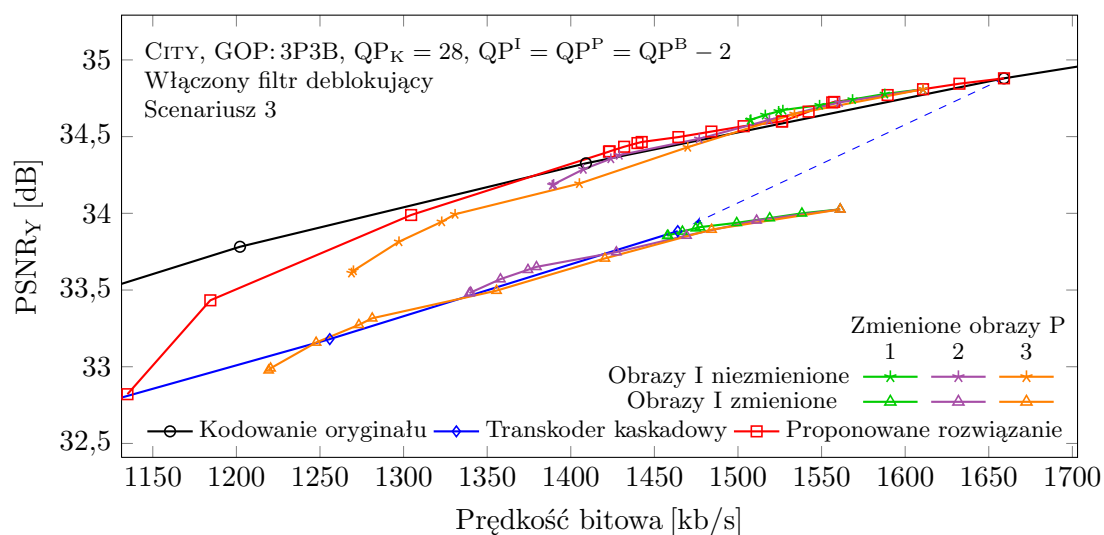
Rysunek D.97: Strata jakości spowodowana modyfikacją próbek transformaty w obrazach typu I oraz P. Dozwolone makrobloki Intra w obrazach P i B



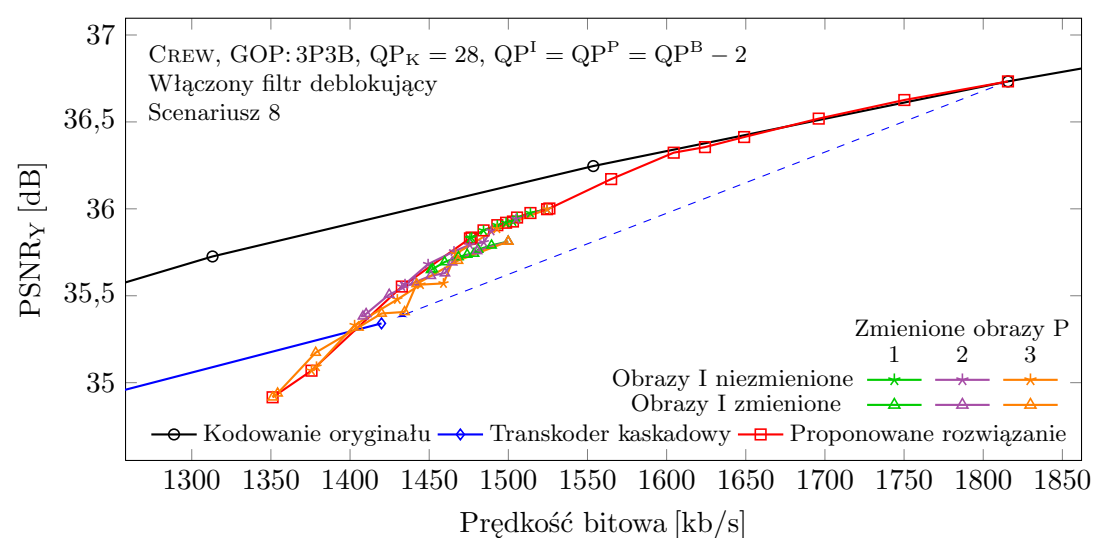
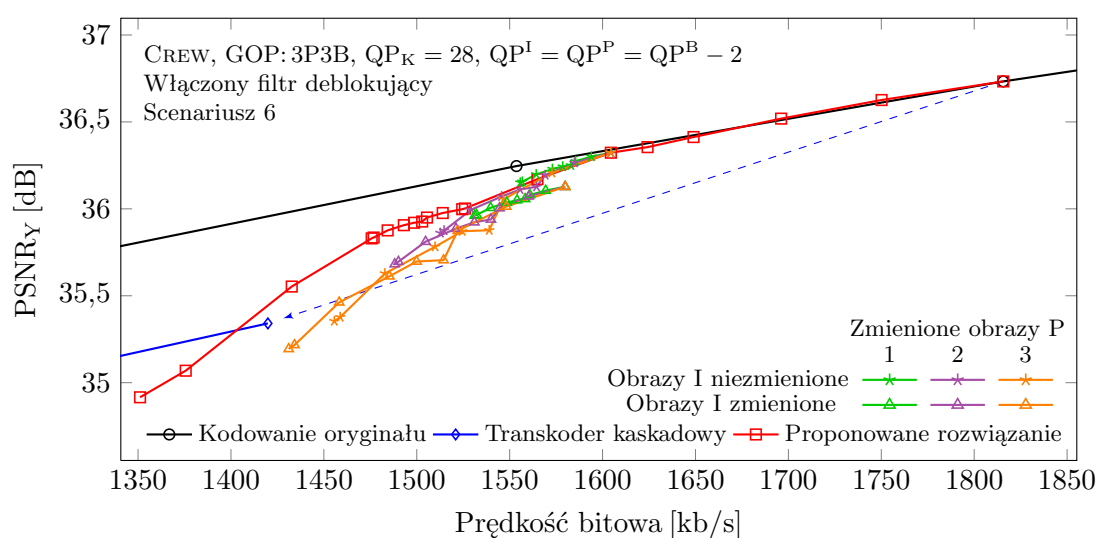
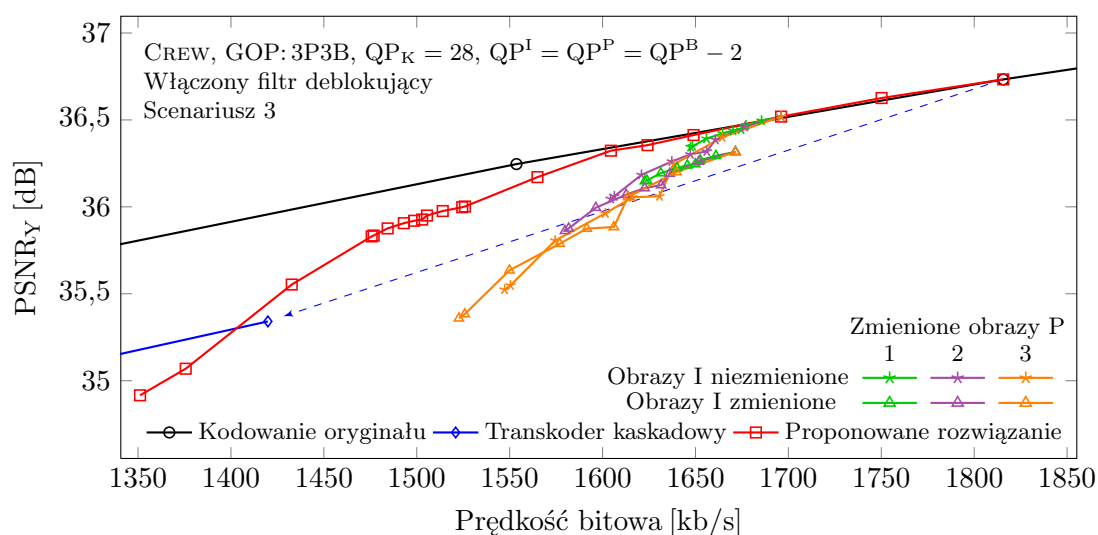
Rysunek D.98: Strata jakości spowodowana modyfikacją próbek transformaty w obrazach typu I oraz P. Dozwolone makrobloki Intra w obrazach P i B



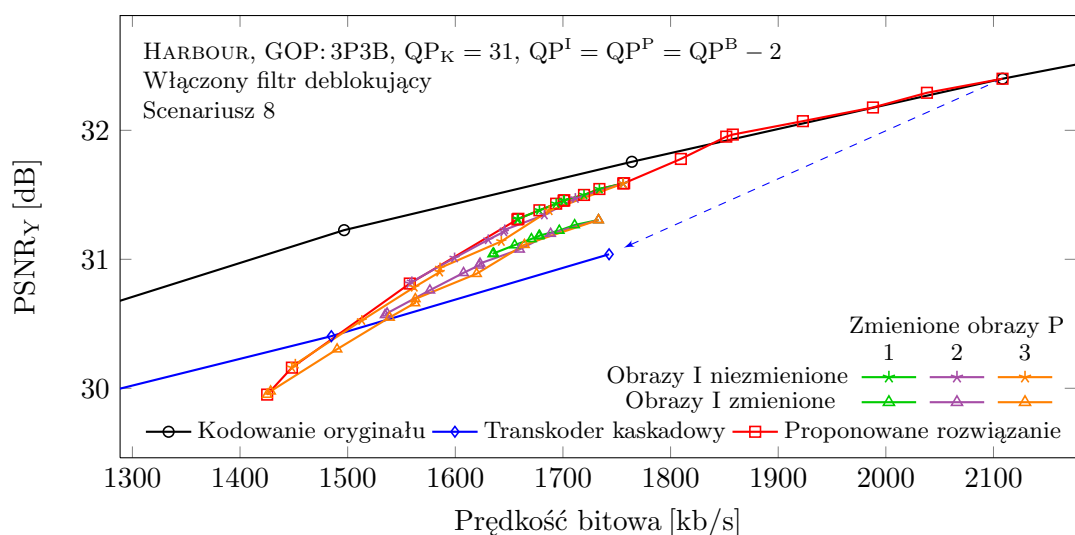
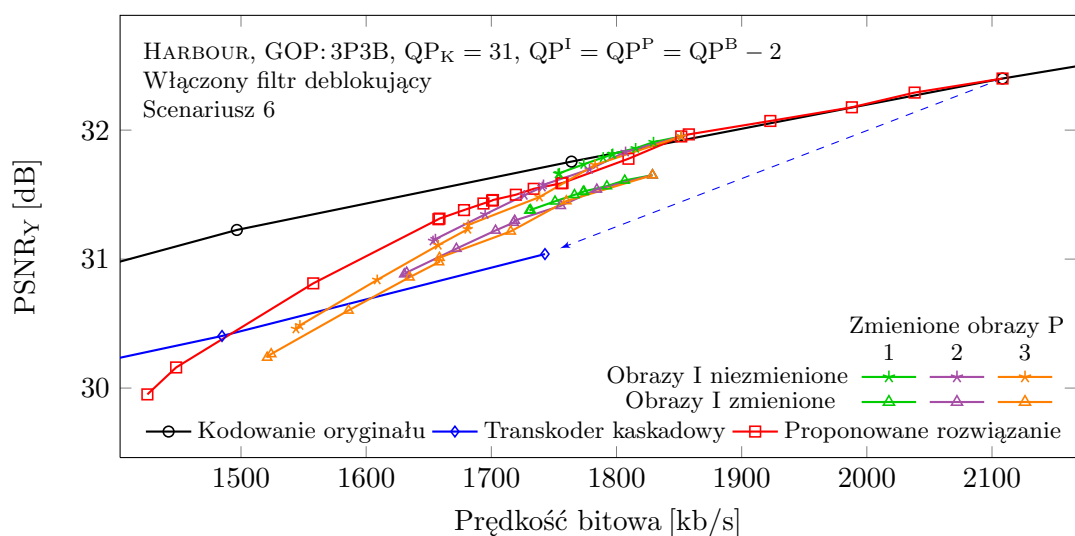
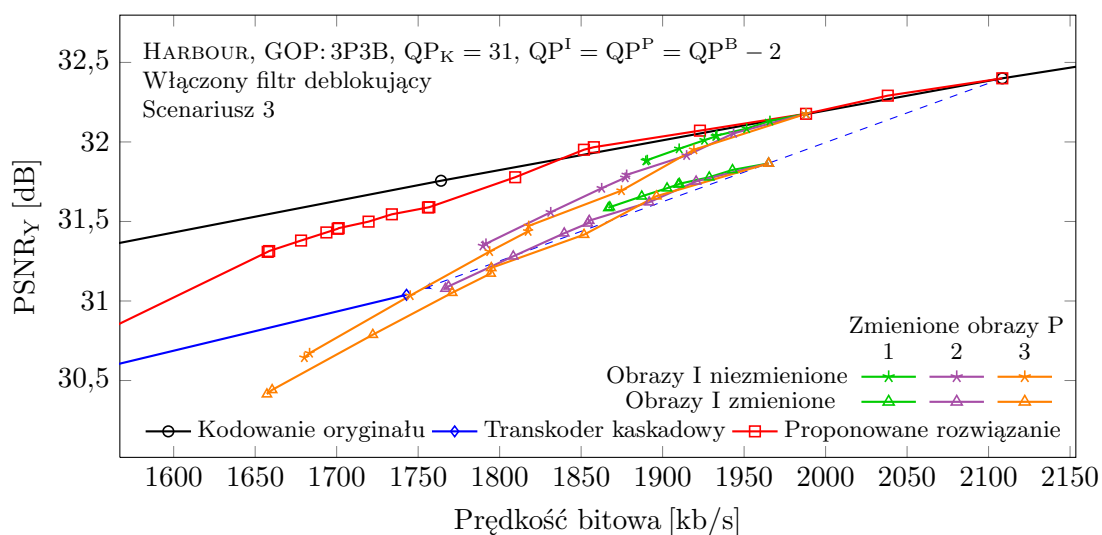
Rysunek D.99: Strata jakości spowodowana modyfikacją próbek transformaty w obrazach typu I oraz P. Dozwolone makrobloki Intra w obrazach P i B



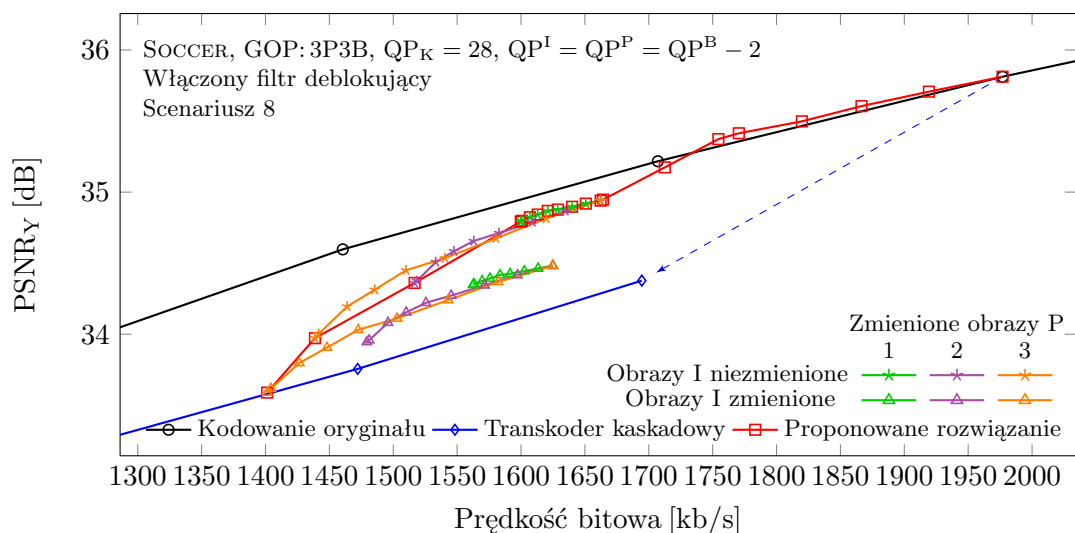
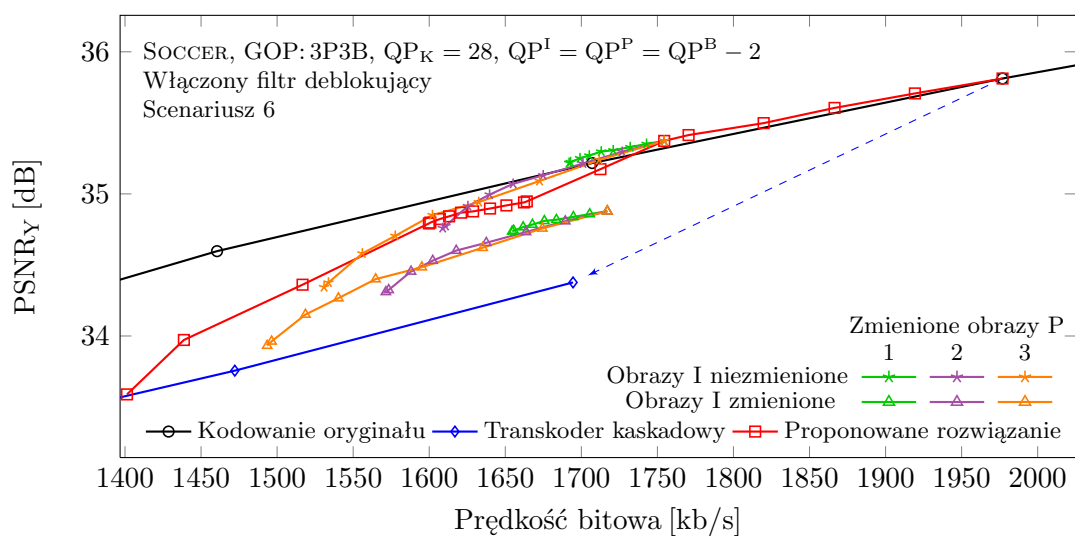
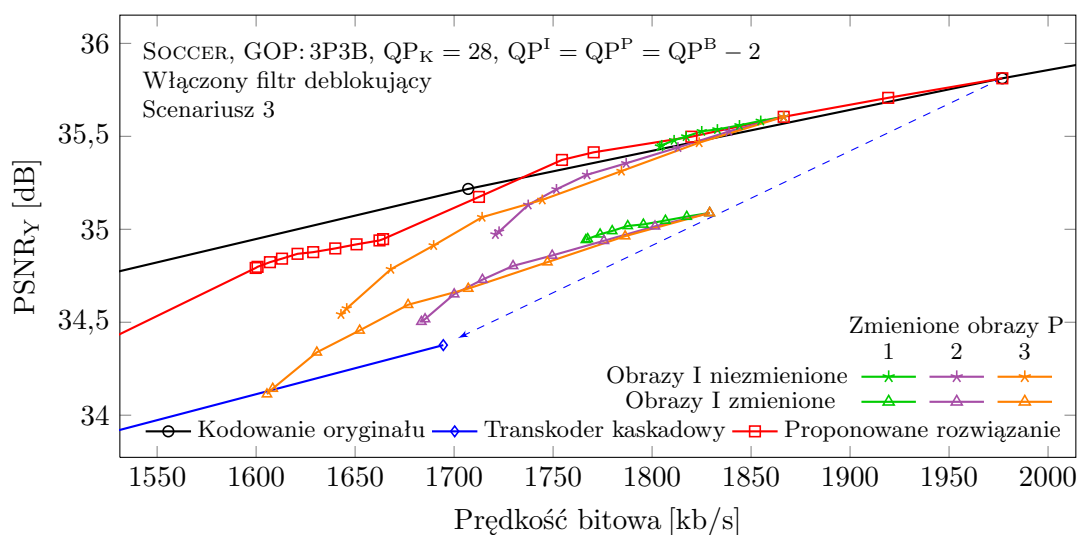
Rysunek D.100: Strata jakości spowodowana modyfikacją próbek transformaty w obrazach typu I oraz P. Dozwolone makrobloki Intra w obrazach P i B



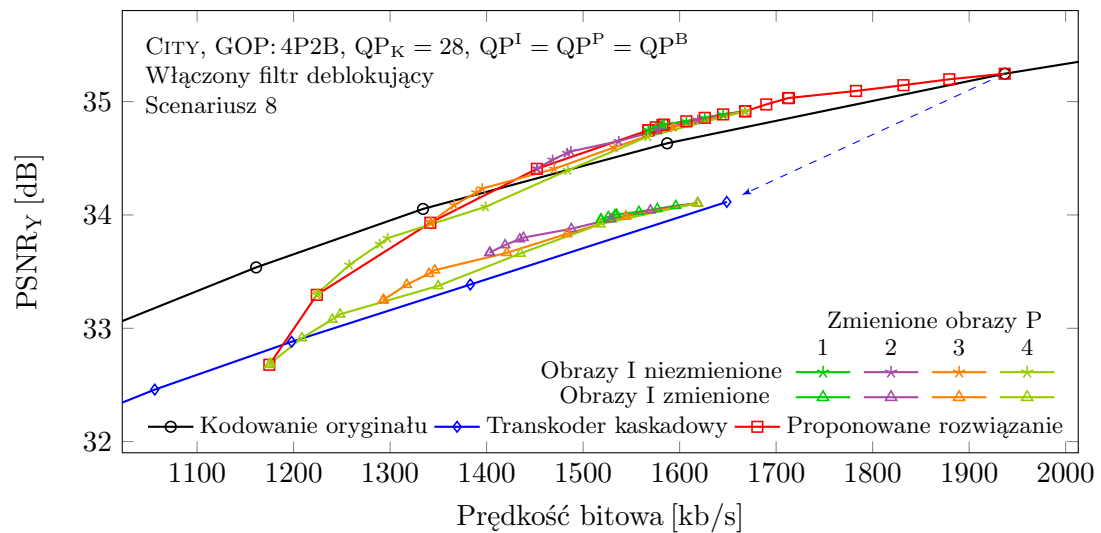
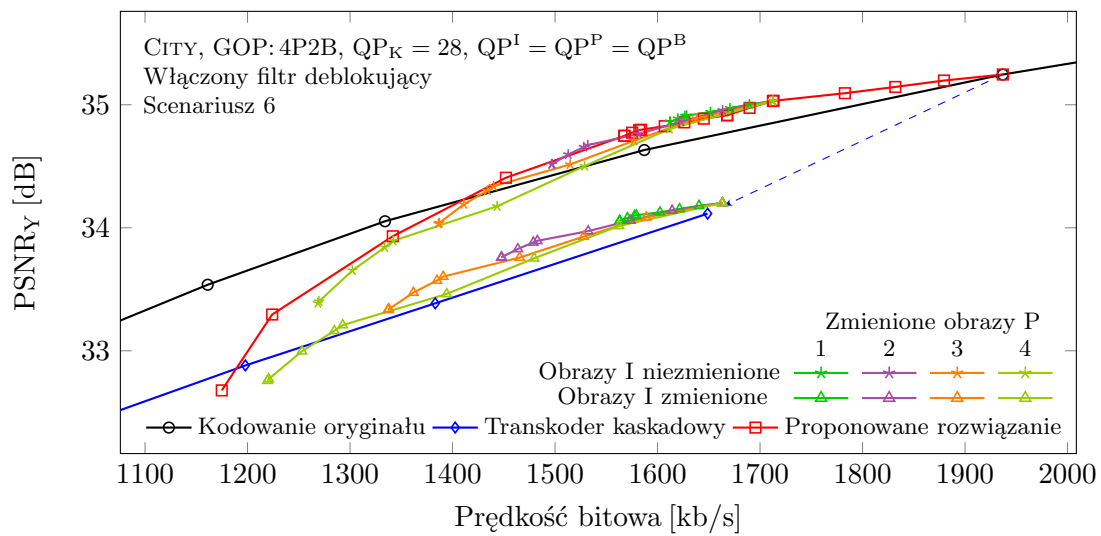
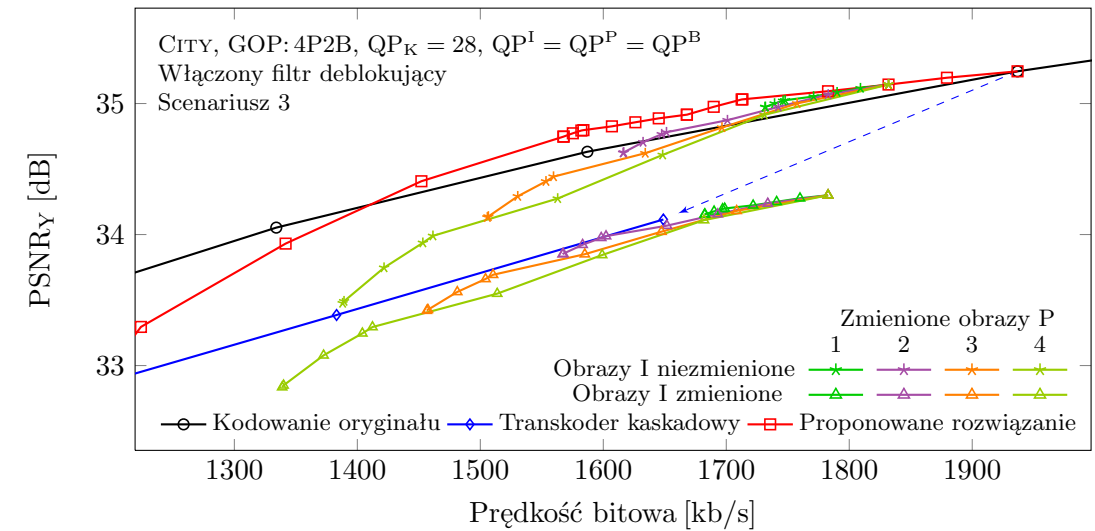
Rysunek D.101: Strata jakości spowodowana modyfikacją próbek transformaty w obrazach typu I oraz P. Dozwolone makrobloki Intra w obrazach P i B



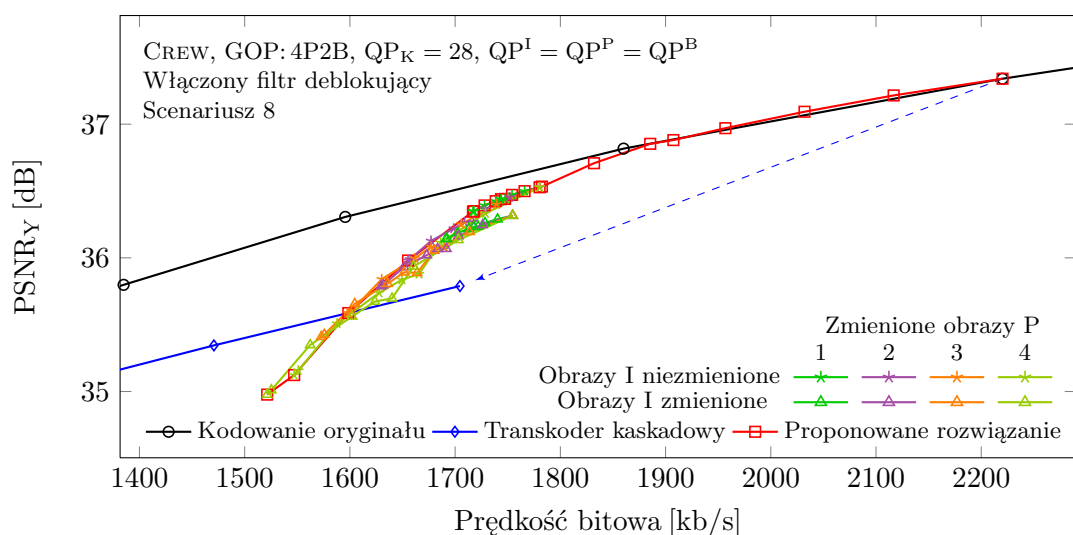
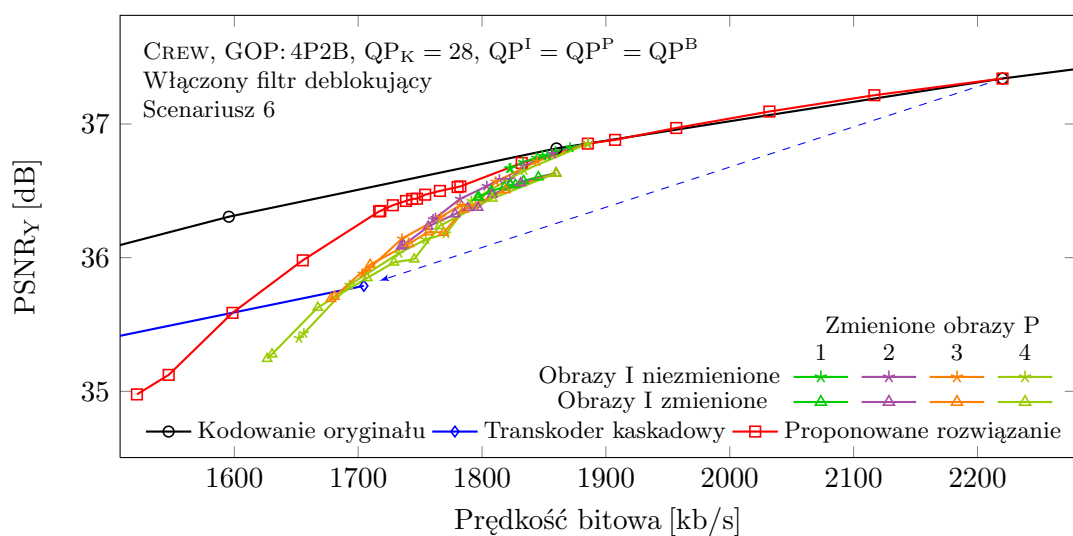
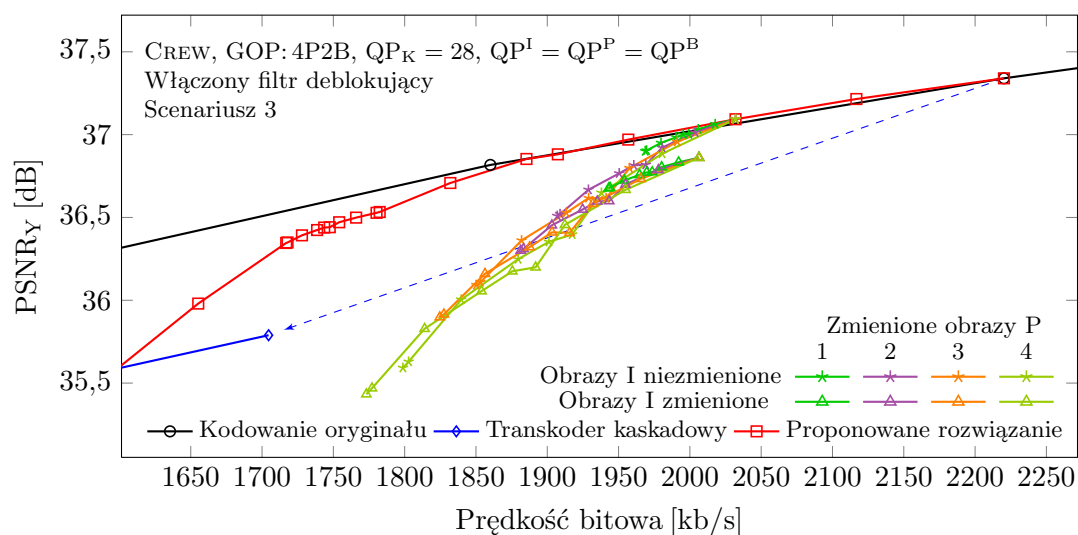
Rysunek D.102: Strata jakości spowodowana modyfikacją próbek transformaty w obrazach typu I oraz P. Dozwolone makrobloki Intra w obrazach P i B



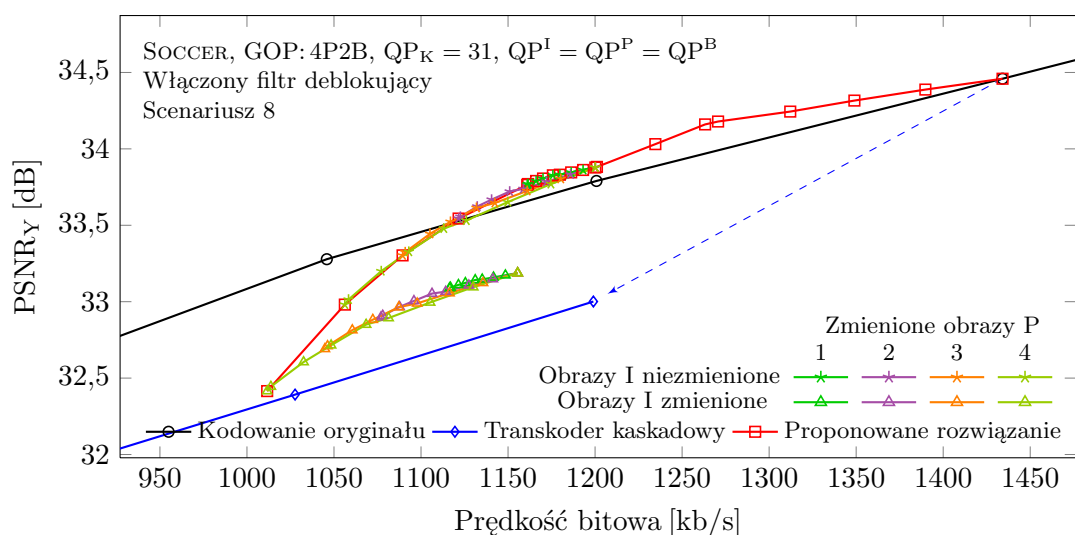
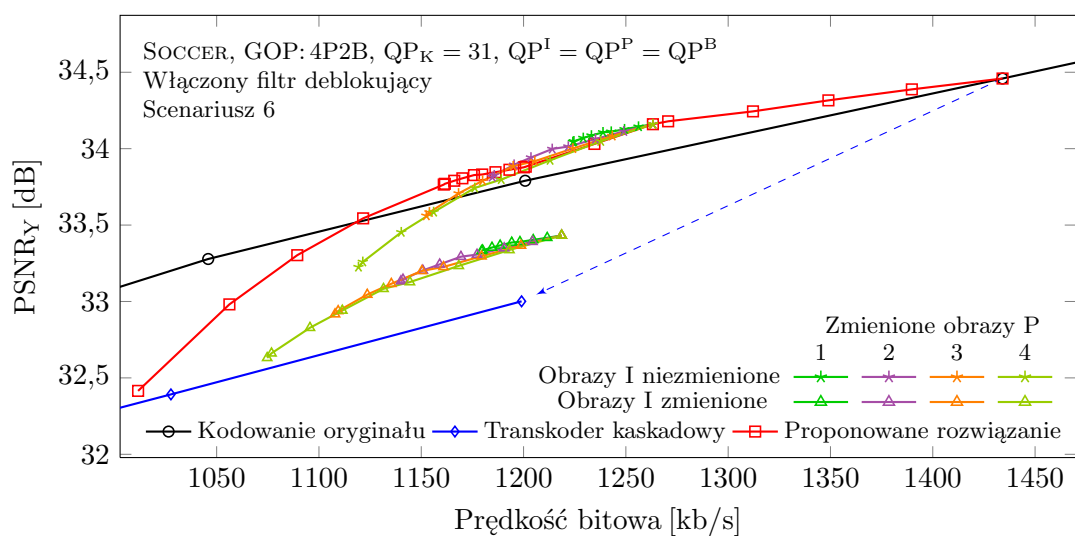
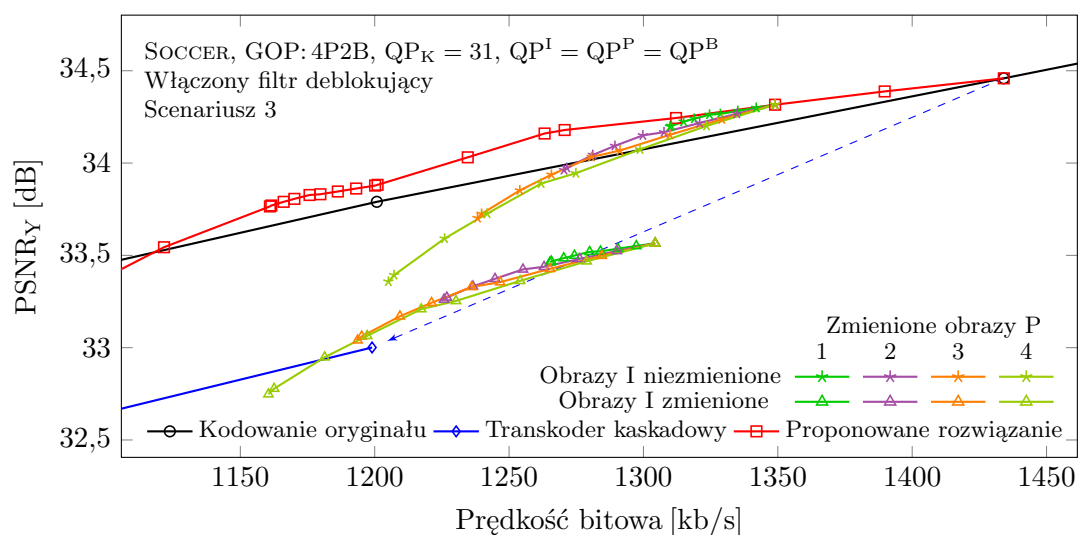
Rysunek D.103: Strata jakości spowodowana modyfikacją próbek transformaty w obrazach typu I oraz P. Dozwolone makrobloki Intra w obrazach P i B



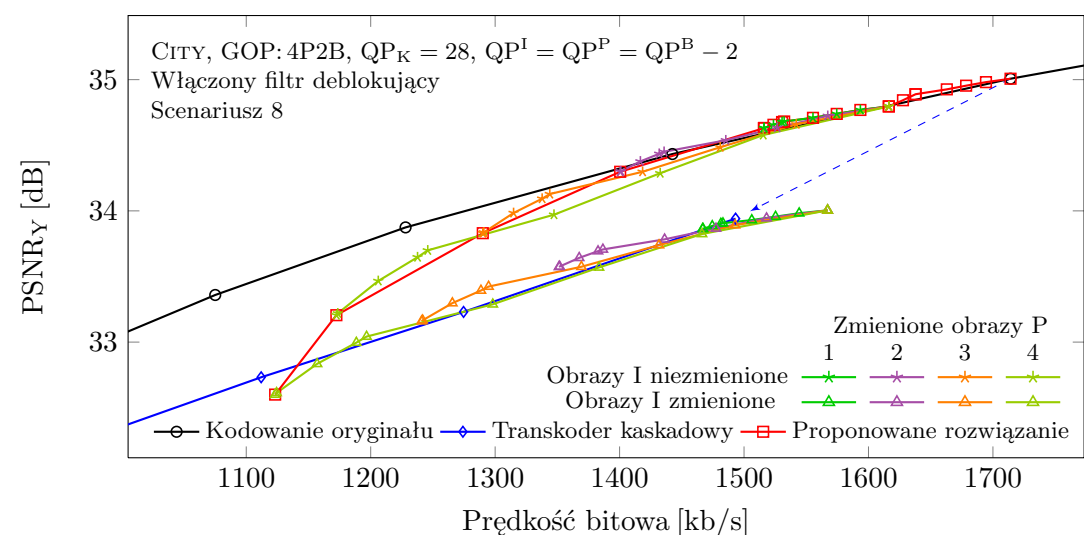
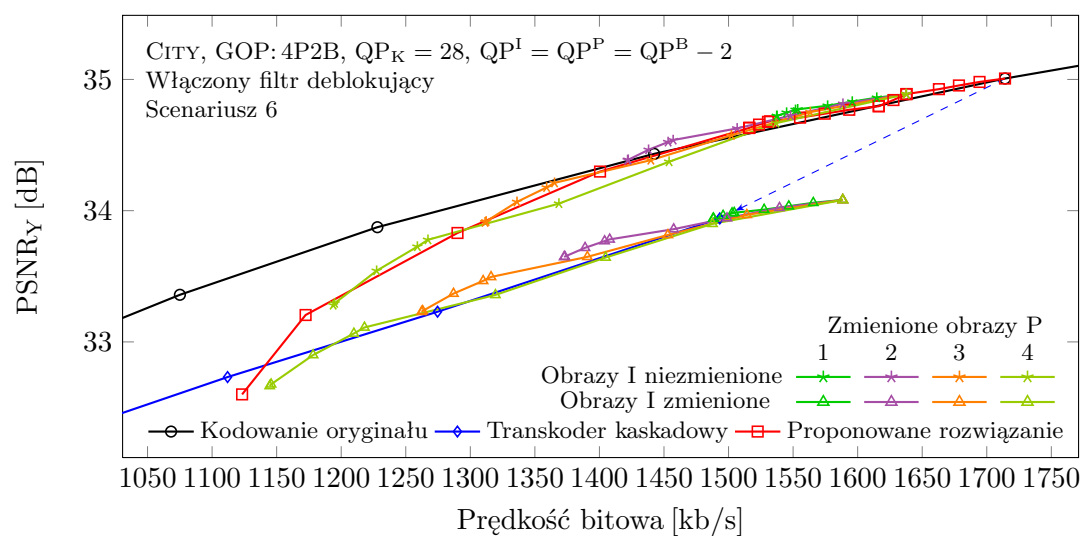
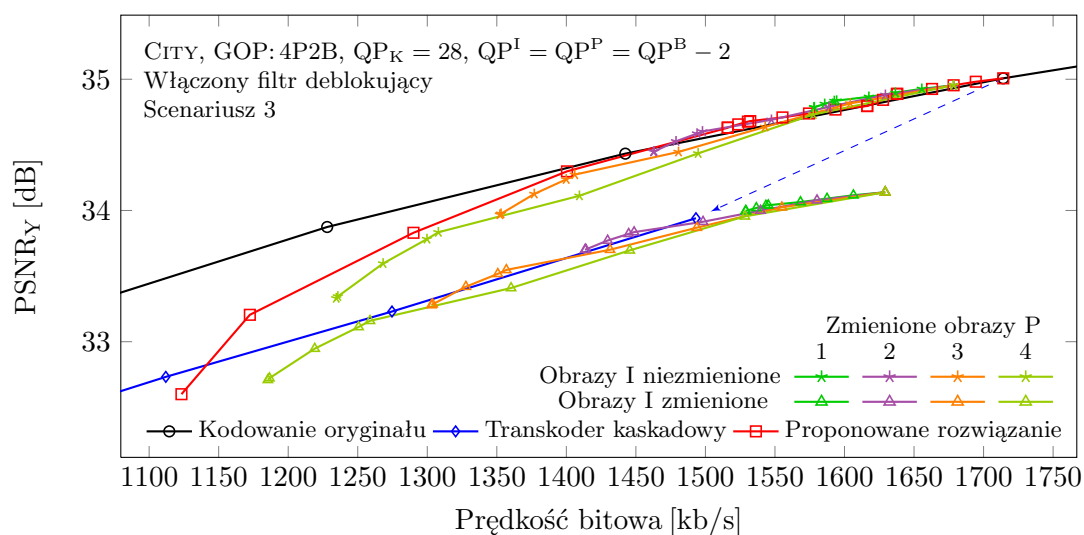
Rysunek D.104: Strata jakości spowodowana modyfikacją próbek transformaty w obrazach typu I oraz P. Dozwolone makrobloki Intra w obrazach P i B



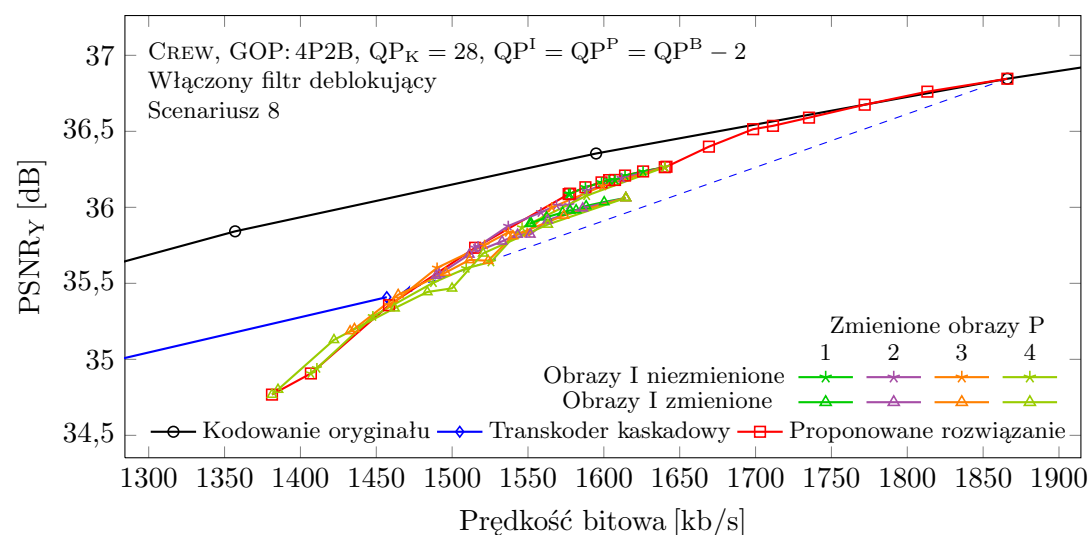
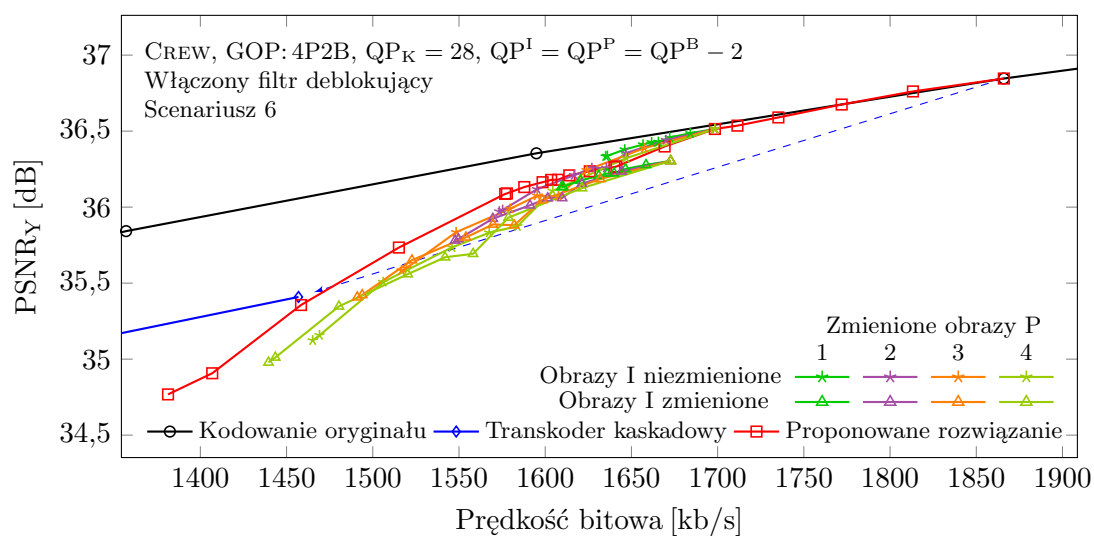
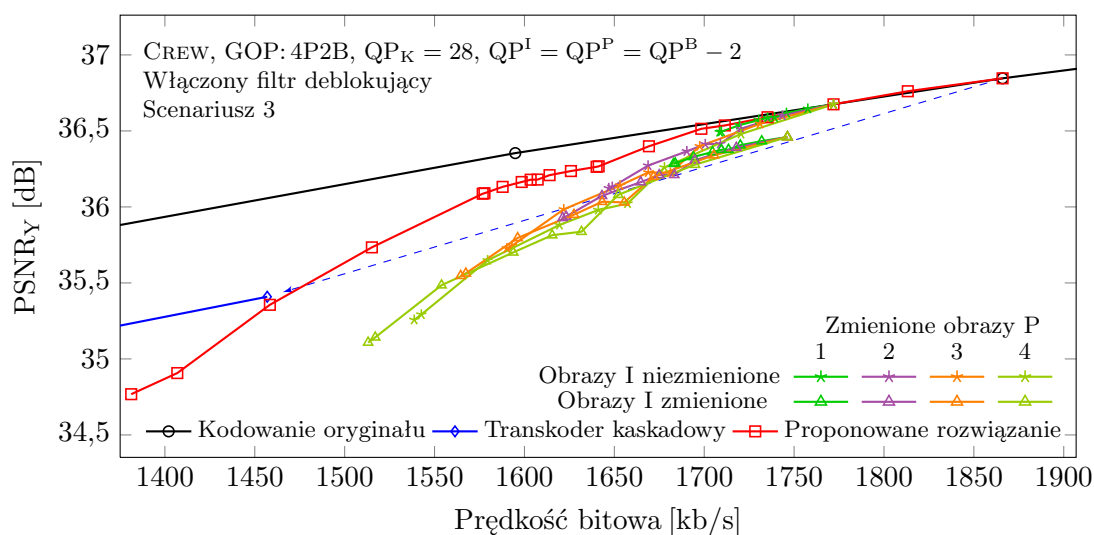
Rysunek D.105: Strata jakości spowodowana modyfikacją próbek transformaty w obrazach typu I oraz P. Dozwolone makrobloki Intra w obrazach P i B



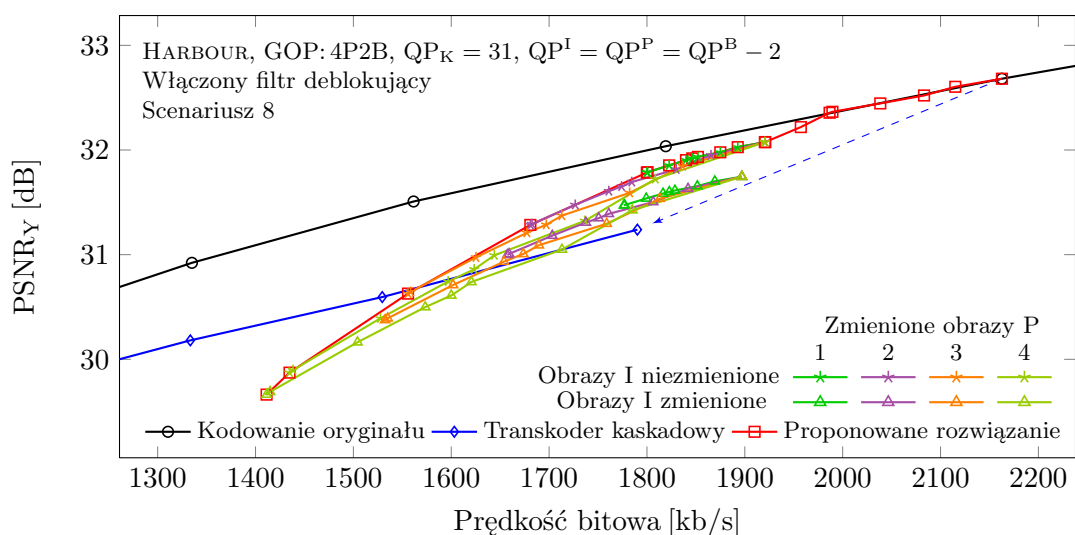
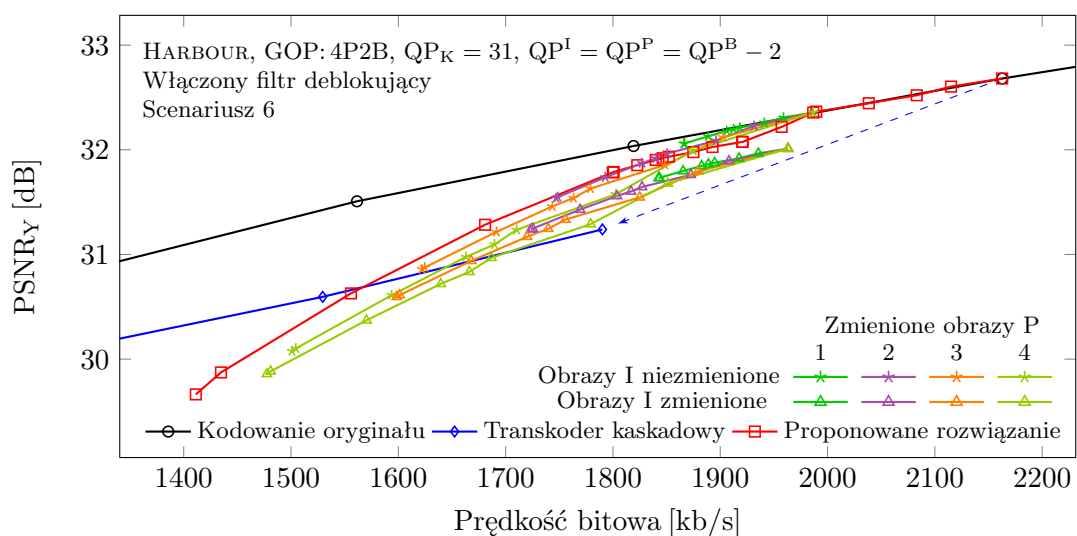
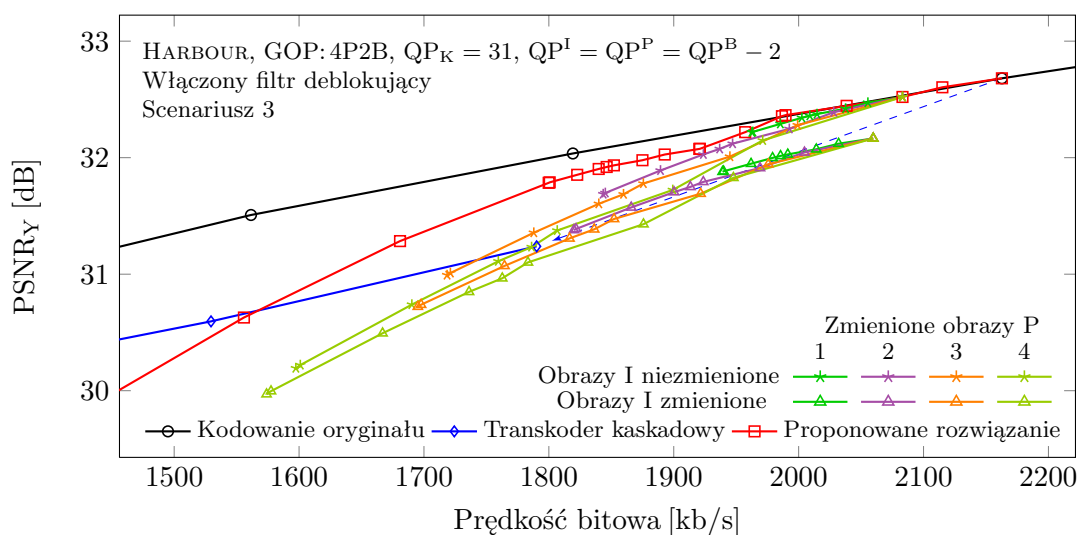
Rysunek D.106: Strata jakości spowodowana modyfikacją próbek transformaty w obrazach typu I oraz P. Dozwolone makrobloki Intra w obrazach P i B



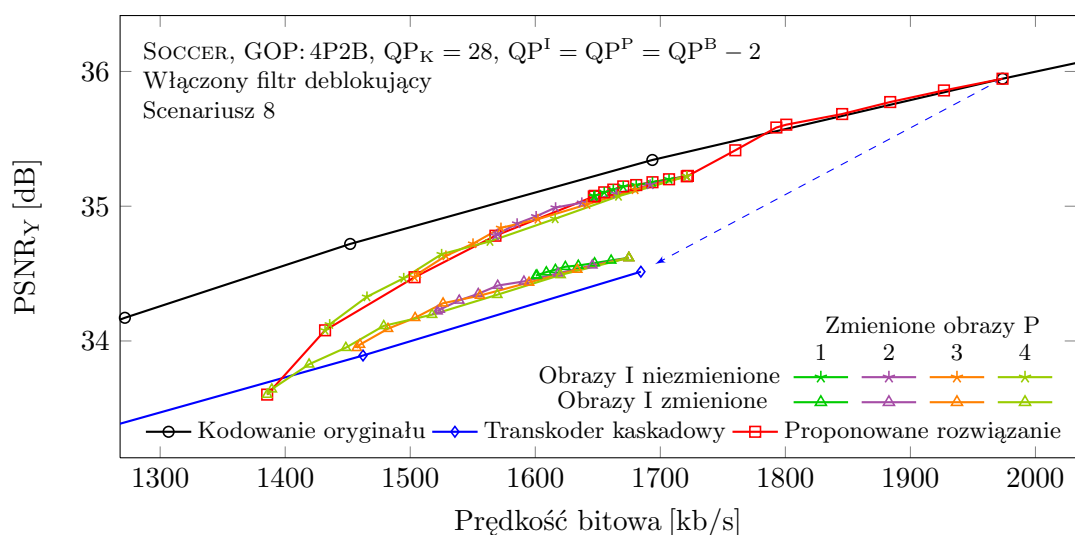
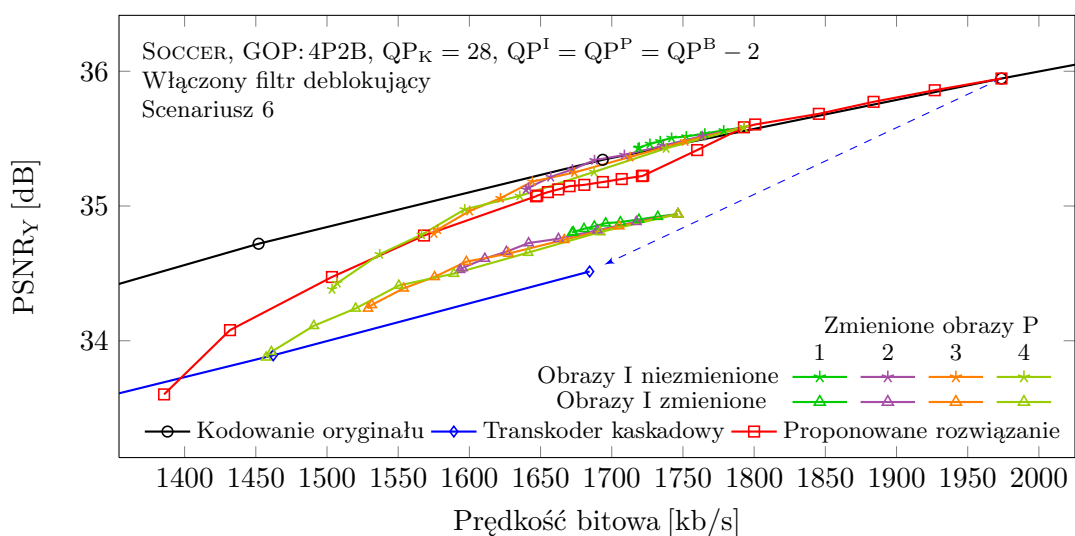
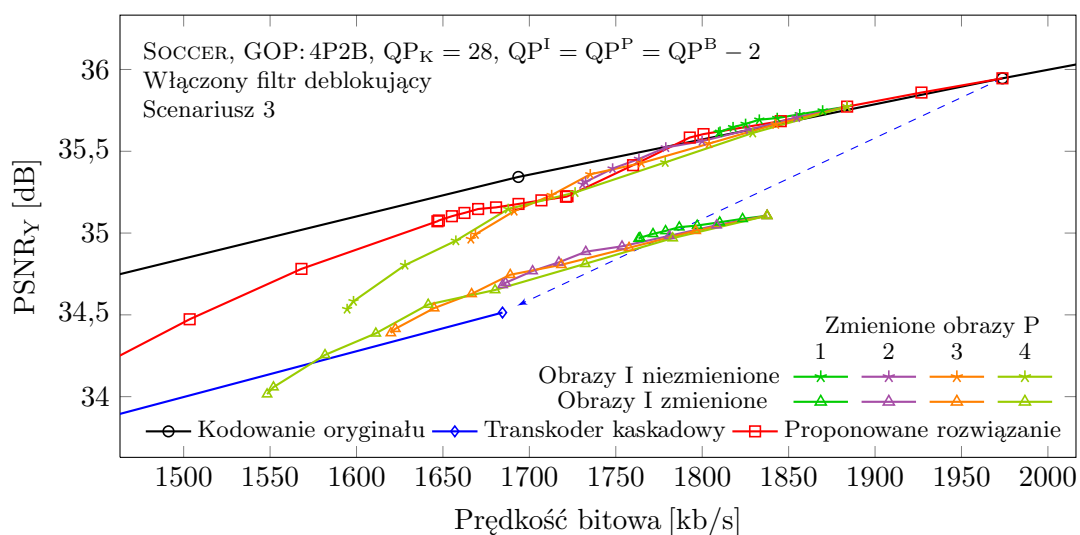
Rysunek D.107: Strata jakości spowodowana modyfikacją próbek transformaty w obrazach typu I oraz P. Dozwolone makrobloki Intra w obrazach P i B



Rysunek D.108: Strata jakości spowodowana modyfikacją próbek transformaty w obrazach typu I oraz P. Dozwolone makrobloki Intra w obrazach P i B

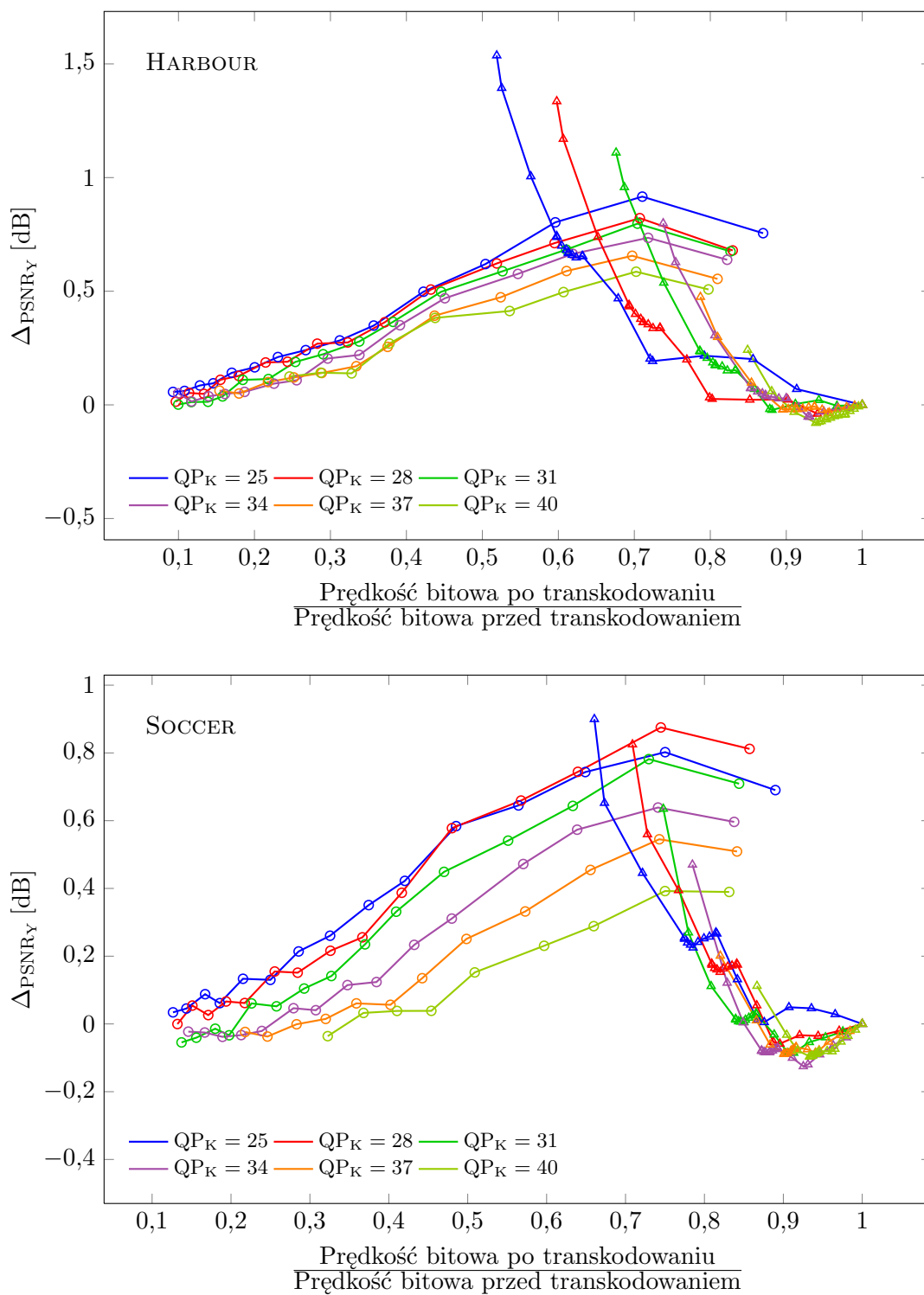


Rysunek D.109: Strata jakości spowodowana modyfikacją próbek transformaty w obrazach typu I oraz P. Dozwolone makrobloki Intra w obrazach P i B

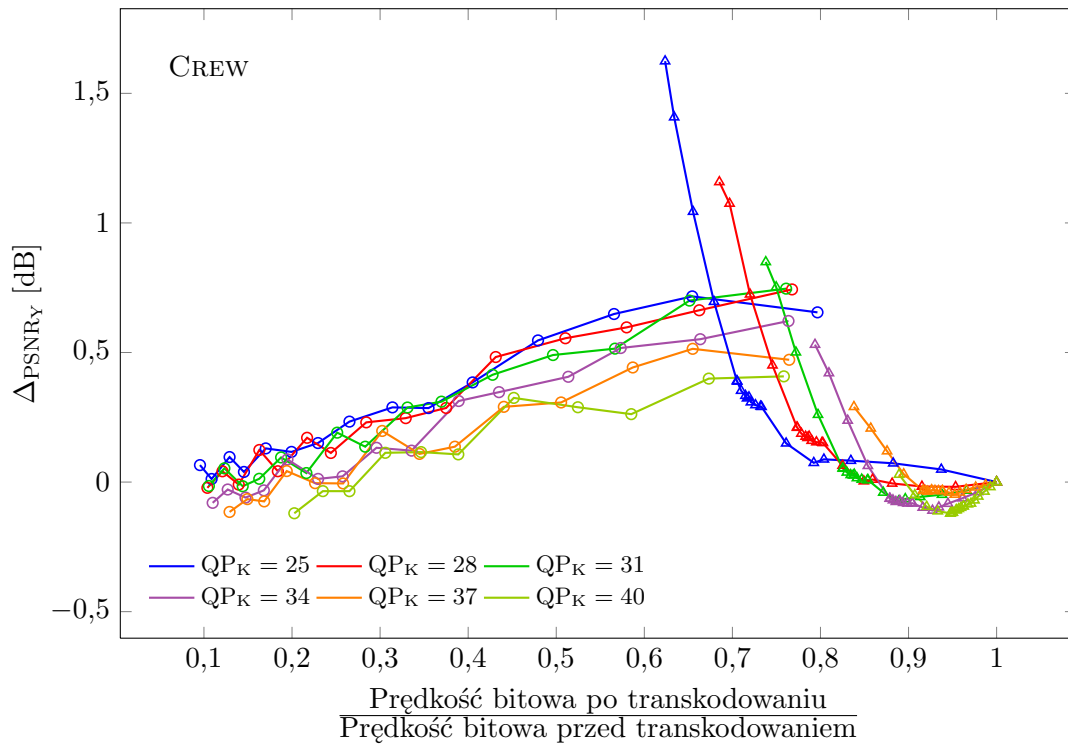
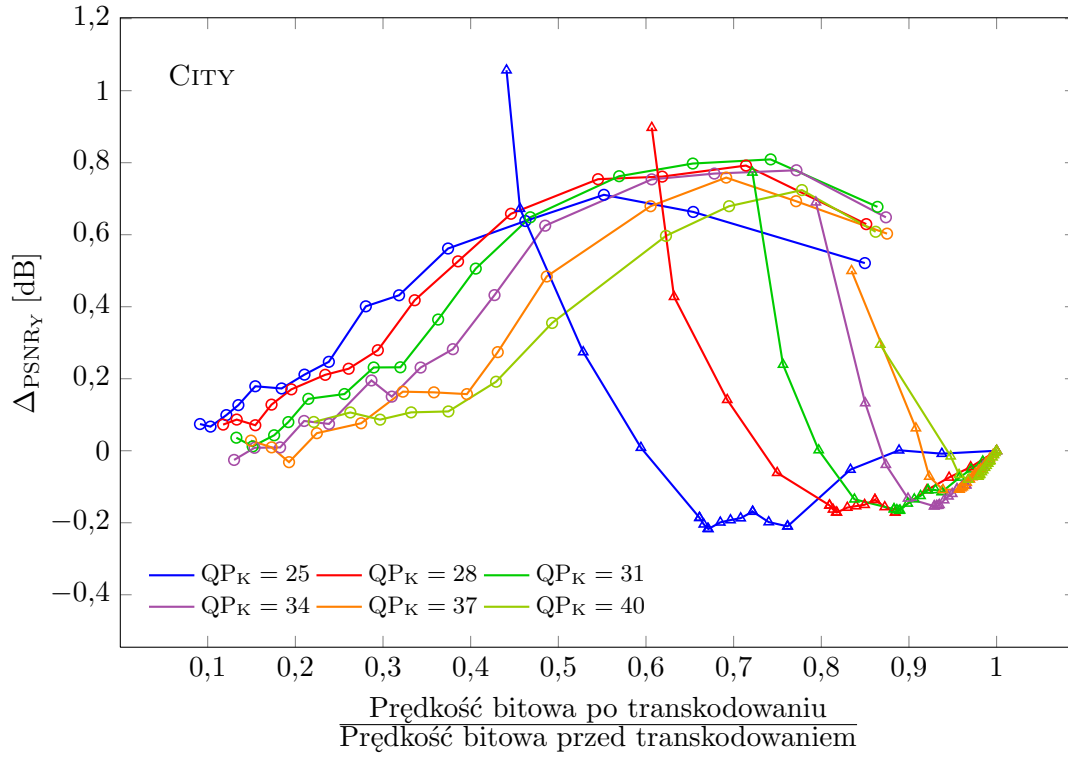


Rysunek D.110: Strata jakości spowodowana modyfikacją próbek transformaty w obrazach typu I oraz P. Dozwolone makrobloki Intra w obrazach P i B

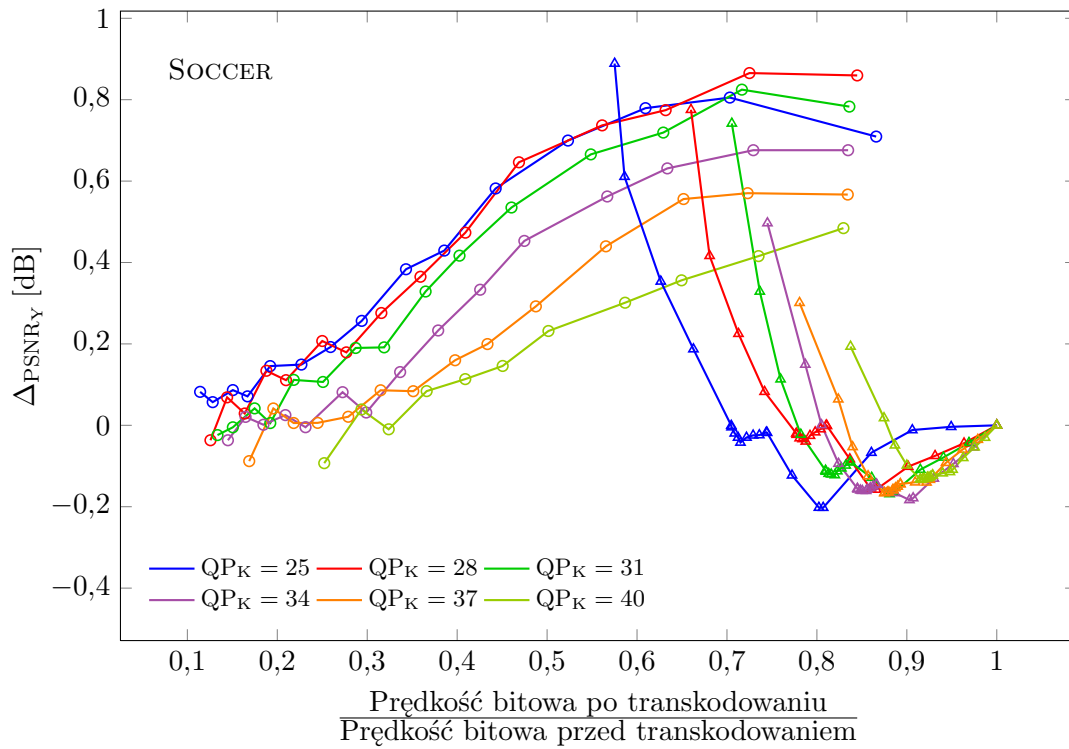
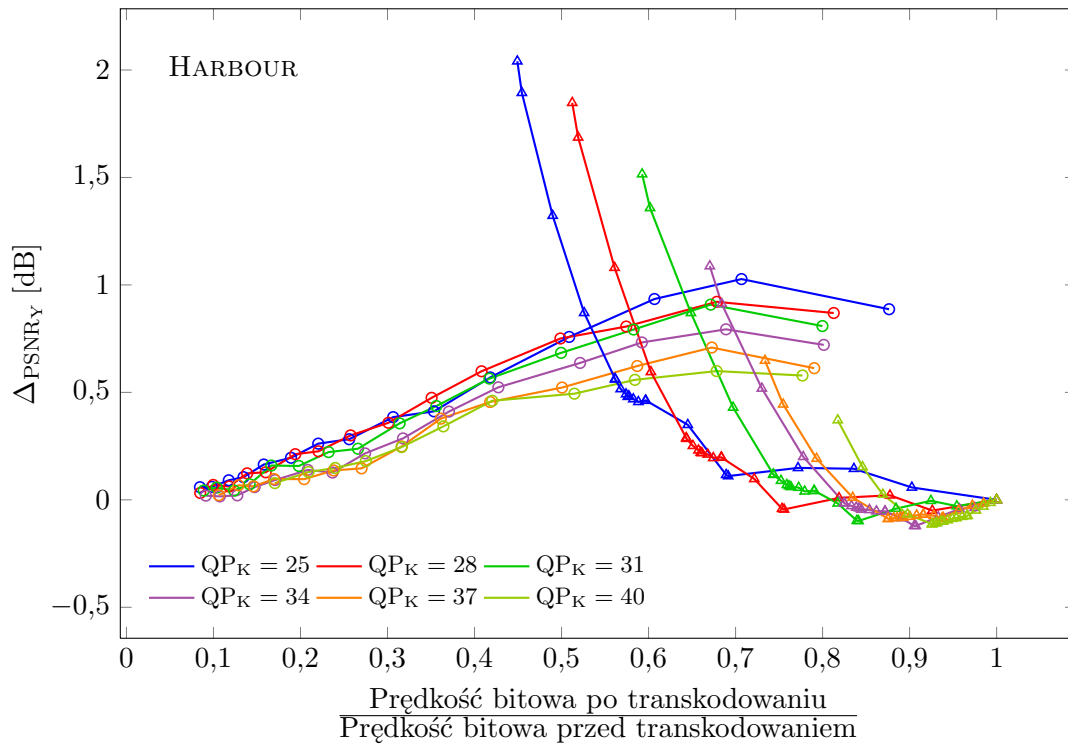
Dodatek D.5 Uzupełnienia do punktu 5.4.2



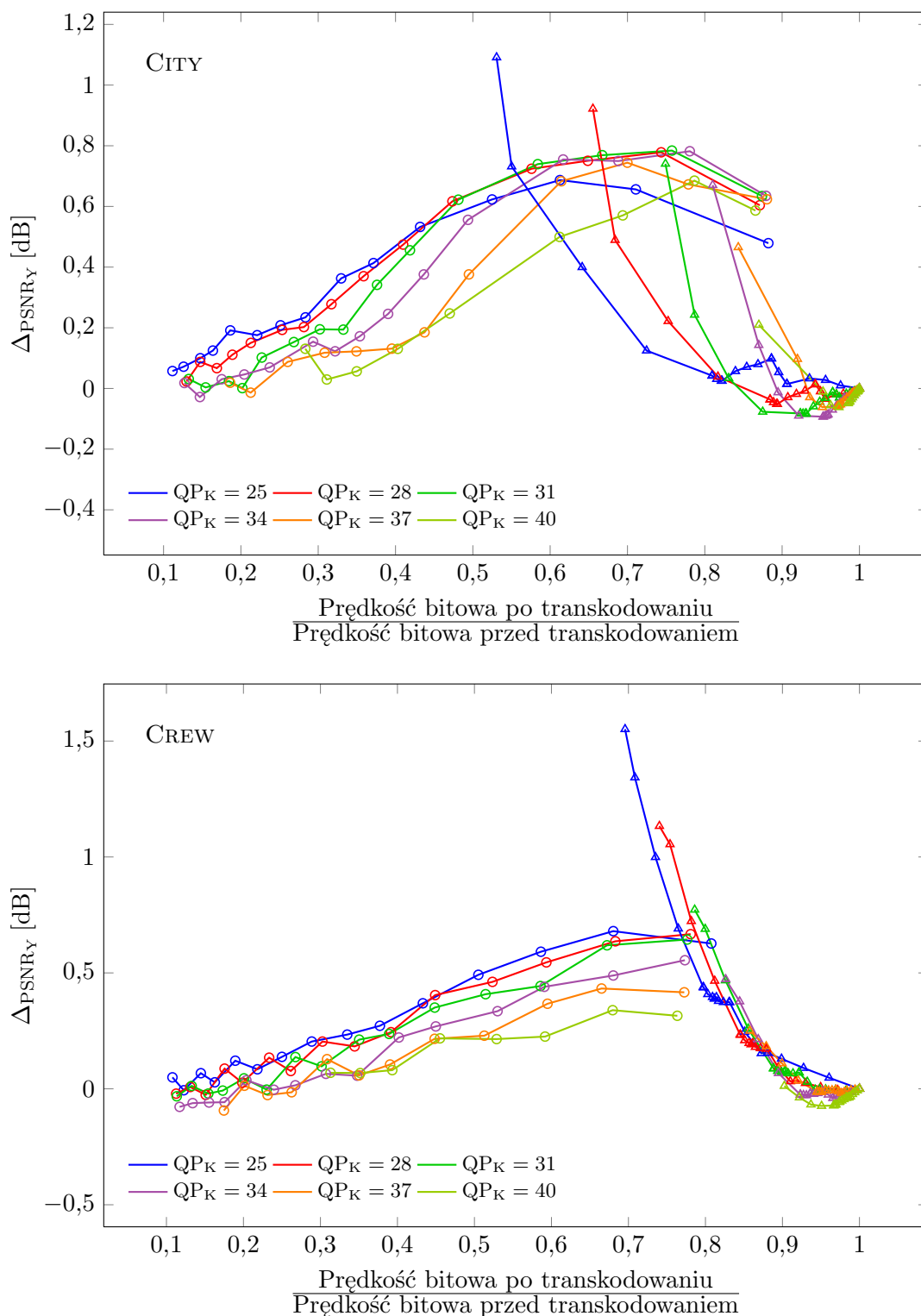
Rysunek D.111: Straty jakości dla transkodera kaskadowego (—○—) i proponowanej metody redukcji strumienia bitowego (—▲—) w odniesieniu do jakości otrzymanej w wyniku jednokrotnej kompresji sekwencji oryginalnej (struktura GOP: 3P3B, $QP^I = QP^P = QP^B - 2$, włączony filtr deblokujący, dozwolone makrobloki Intra w obrazach P i B)



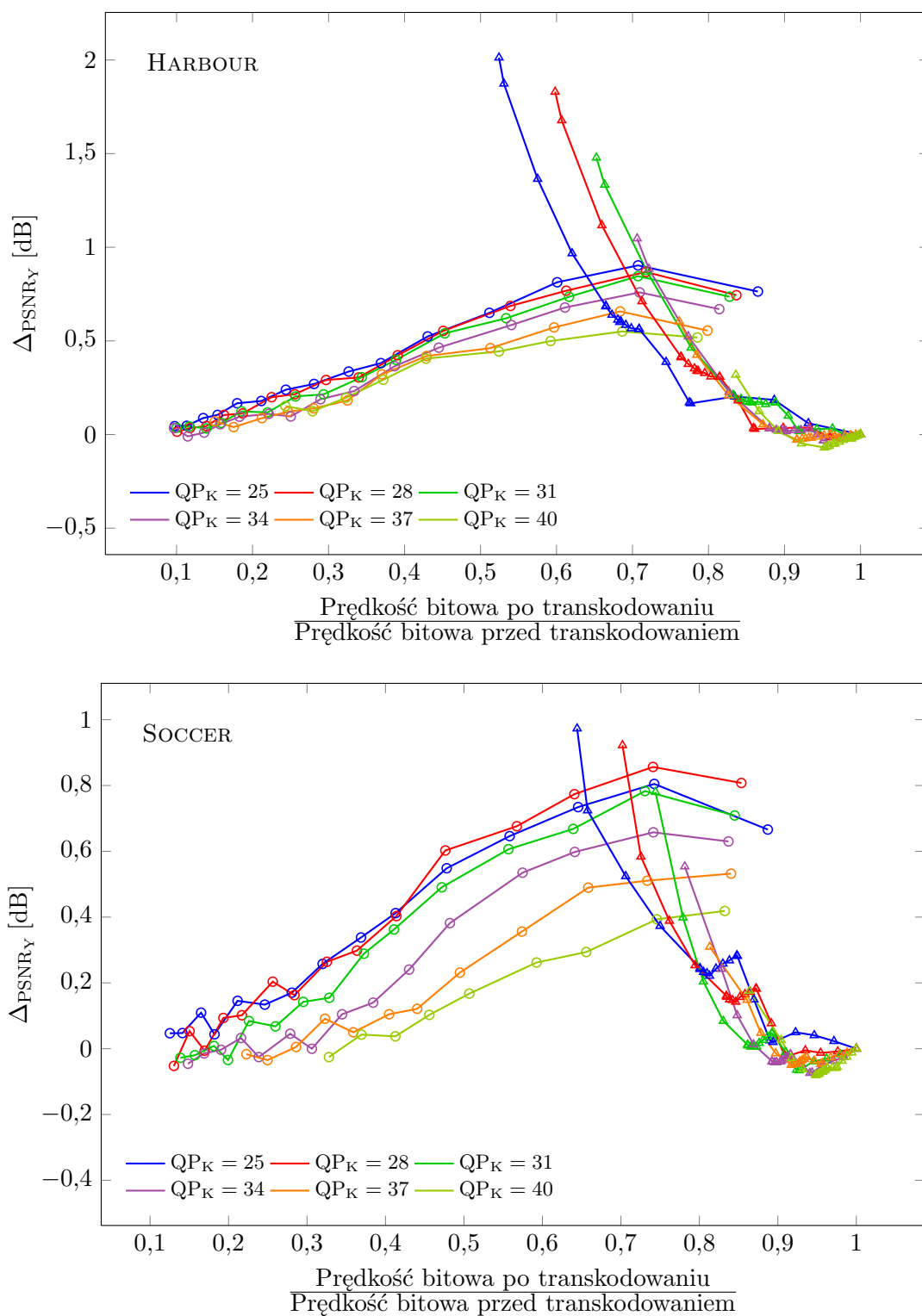
Rysunek D.112: Straty jakości dla transkodera kaskadowego (—○—) i proponowanej metody redukcji strumienia bitowego (—▲—) w odniesieniu do jakości otrzymanej w wyniku jednokrotnej kompresji sekwencji oryginalnej (struktura GOP: 4P2B, $QP^I = QP^P = QP^B$, włączony filtr deblokujący, dozwolone makrobloki Intra w obrazach P i B)



Rysunek D.112: (Kontynuacja) Straty jakości dla transkodera kaskadowego ($\circ$) i proponowanej metody redukcji strumienia bitowego ($\triangle$) w odniesieniu do jakości otrzymanej w wyniku jednokrotnej kompresji sekwencji oryginalnej (struktura GOP: 4P2B, $QP^I = QP^P = QP^B$, włączony filtr deblokujący, dozwolone makrobloki Intra w obrazach P i B)



Rysunek D.113: Straty jakości dla transkodera kaskadowego (—○—) i proponowanej metody redukcji strumienia bitowego (—▲—) w odniesieniu do jakości otrzymanej w wyniku jednokrotnej kompresji sekwencji oryginalnej (struktura GOP: 4P2B, $QP^I = QP^P = QP^B - 2$, włączony filtr deblokujący, dozwolone makrobloki Intra w obrazach P i B)



Rysunek D.113: (Kontynuacja) Straty jakości dla transkodera kaskadowego (—○—) i proponowanej metody redukcji strumienia bitowego (—▲—) w odniesieniu do jakości otrzymanej w wyniku jednokrotnej kompresji sekwencji oryginalnej (struktura GOP: 4P2B, $QP^I = QP^P = QP^B - 2$, włączony filtr deblokujący, dozwolone makrobloki Intra w obrazach P i B)