

Nie jest źle, jak jest głupie prawo i mądry urzędnik, gorzej, gdy jest dobre prawo i głupi urzędnik. Tragedia jest wtedy, gdy jest złe prawo i głupi urzędnik.

Otto von Bismarck (podobno)

Piksele zamiast TVL, czyli komu to przeszkadzało

Im dłużej analizuję treść rozporządzenia ministra spraw wewnętrznych i administracji w sprawie sposobu utrwalania przebiegu imprez masowych, tym bardziej wątpię w skuteczność jego działania. Największe zastrzeżenie budzi wprowadzony przez rozporządzenie zamęt pojęciowy i brak procedur weryfikacyjnych dla przywołanych w nim parametrów ilościowych.

Waldemar Fiałka

Podstawową nowelą wprowadzoną przez rozporządzenie jest rozdzielczość określona za pomocą liczby pikseli na obiekt testowy. Dotychczas standardową miarą rozdzielczości były linie telewizyjne, oznaczane symbolem TVL. Miara ta miała uzasadnienie w rozwiązaniach technicznych opartych na skanowaniu liniowym. Zarówno wiązka w lampach analizujących obraz, jak i wiązka w lampach wyświetlających obraz poruszały się od krawędzi do krawędzi lampy po odcinkach linii prostych. Wydawałoby się, że nie ma nic prostszego niż określenie rozdzielczości takiego systemu. Rozdzielczość to po prostu liczba linii kreślonych przez wiązkę analizującą lub wyświetlającą obraz.

Pozory jednak mylą. Rozdzielczość użytkowa w TVL jest definiowana jako maksymalna liczba naprzemiennych linii białych i czarnych możliwych do rozróżnienia w systemie. Co z tego wynika? Tak zdefiniowana rozdzielczość jest subiektywną miarą wrażeń wzrokowych, a nie miarą parametrów systemu wizyjnego. Przeprowadźmy szybką analizę systemu PAL. Ramka systemu PAL składa się z dwóch półobrazów po 312,5 linii, dających w sumie 625 linii. Na impulsy wygaszania pionowego wypada $2 \times 25 - 1 = 49$ linii. Zatem widoczna część obrazu wynosi $625 - 49 = 576$ linii. Zatem nasuwa się oczywisty wniosek – nasz system ma rozdzielczość 576 TVL, bo mo-

żemy przecież za jego pomocą przesłać 576 naprzemiennie ułożonych linii białych i czarnych.

Czy na pewno w naszej teorii nie ma luk? Rozpocznijmy od analizy początku toru wizyjnego, czyli od tworzenia sygnału



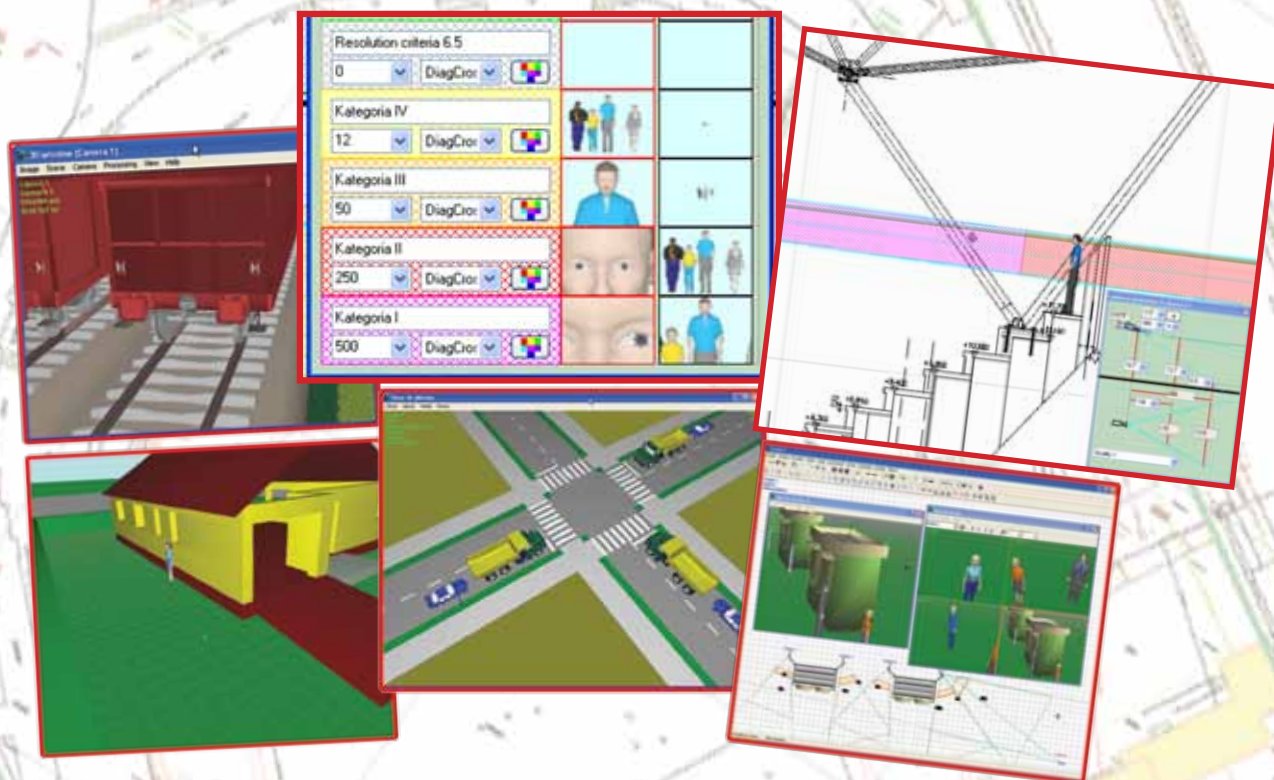
Rys. 1. Obraz testowy i jego projekcja na przetworniku kamery

elektrycznego reprezentującego obraz. Przyjrzyjmy się rys. 1. Przedstawiono na nim proces tworzenia sygnału elektrycznego na przetworniku analizującym obraz. Nasz obraz – segment A – składa się z naprzemiennych linii czarnych i białych o jednakowej szerokości. Przez układ optyczny strumień światła jest transferowany na przetwornik reprezentowany przez segment B. Na wyjściu przetwornika pojawia się sygnał elektryczny – segment C – proporcjonalny do natężenia światła padającego na segment elementu światłoczułego. Każdy element światłoczuły zachowuje się zatem jak swego rodzaju element uśredniający sygnał luminacji. Jak widać na rysunku, uzyskany sygnał elektryczny nie odpowiada swojej treścią analizowanemu obrazowi. Obraz odtworzony na jego podstawie będzie miał mniejszą liczbę widocznych linii niż obraz oryginalny. Oprócz tego w obrazie odtworzonym pojawią się odcienie szarości, które w obrazie oryginalnym nie występują.

Zatem w naszej pierwotnej teorii na temat rozdzielczości systemu PAL są luki. Jak poważne? Może są nieistotne z punktu widzenia rozróżnialności szczegółów? Przeanalizujmy przypadek teoretyczny przedstawiony na rys. 2. Przypadek teoretyczny, bo rozmiar obrazu testowego idealnie odpowiada rozmiarom przetwornika. Prawdopodobieństwo wystąpienia takiej sytuacji w rzeczywistości jest zerowe. ▶

Z VideoCAD-em po polsku łatwiej!

Tylko dla prenumeratorów „Twierdzy”
polska wersja programu VideoCAD!



**Jeżeli pracujesz z programem VideoCAD,
a nie masz jeszcze polskiej wersji, możesz ją otrzymać w ramach bonusu do prenumeraty.
Informacje na temat pobrania programu są na www.twierdza.info**

Pobrany plik „Polski.Ing” umieszcza się w głównym folderze programu VideoCAD. Po uruchomieniu programu w zakładce „Language” pojawi się pole wyboru „Polski”. Wybieramy go i program przełącza okna dialogowe na język polski.

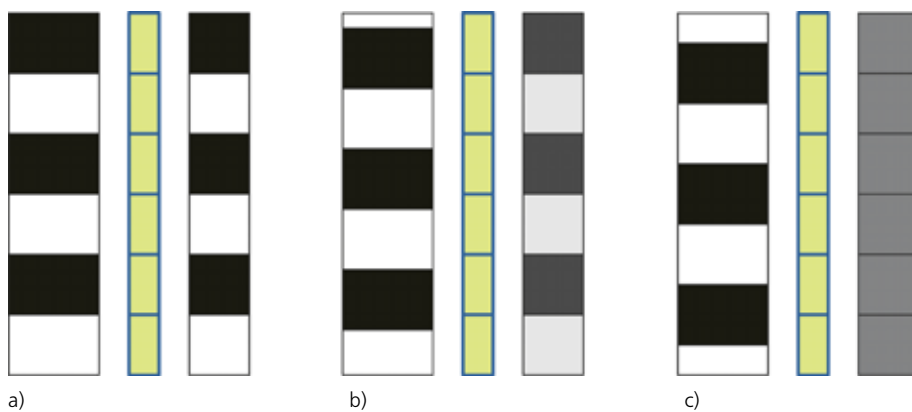
Do tej operacji nie jest potrzebna żadna instalacja.

Po prostu wstawiamy plik do katalogu.

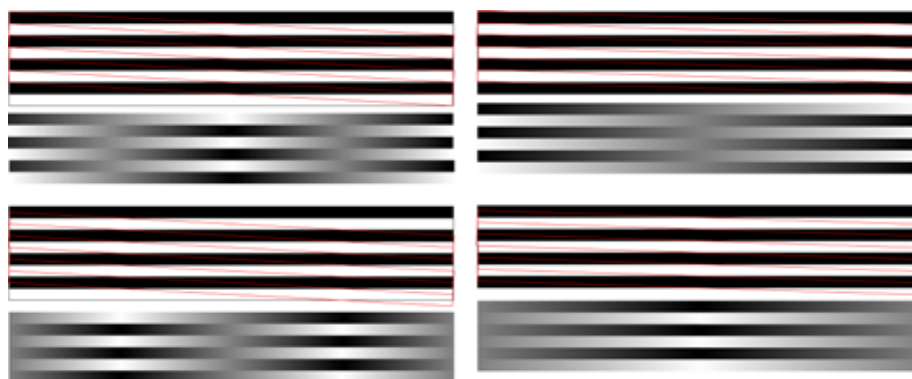
Niezbędny do efektywnego projektowania systemów monitoringu wideo

**Dane dostarczone przez VideoCAD
na etapie tworzenia programu funkcjonalno-użytkowego systemu monitoringu
pozwalają uniknąć problemów i wybrać najefektywniejsze/optymalne rozwiązania.**

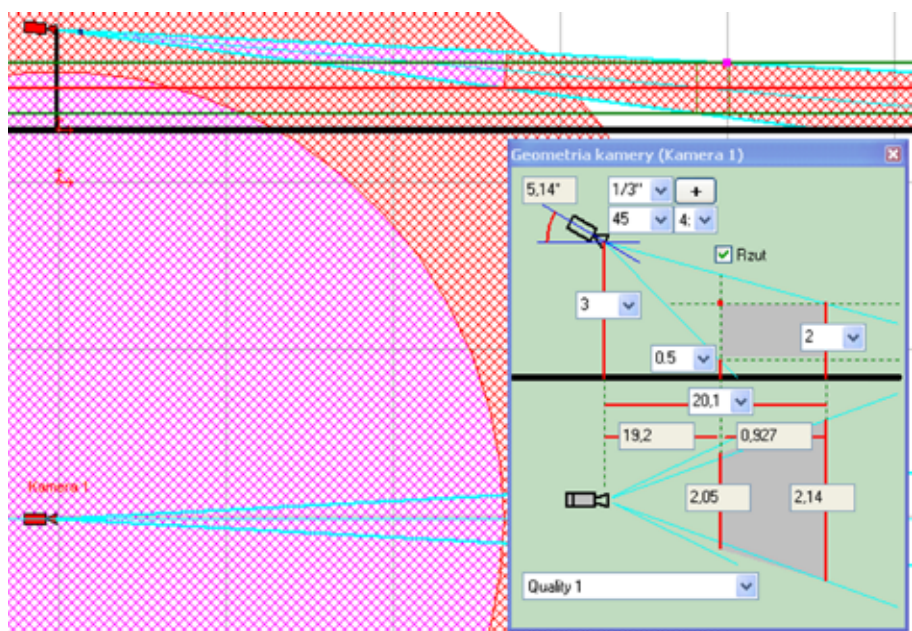
**Bazujący na narzędziach zaawansowanej analizy program
pokaże słabe i mocne strony przyjętych rozwiązań na etapie projektu
– najszybciej i najczytelniej!**



Rys. 2. Obraz testowy i jego projekcja na przetworniku kamery dla różnych przesunięć obrazu testowego względem przetwornika



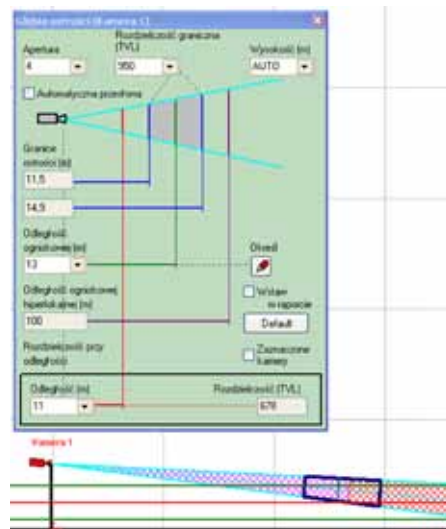
Rys. 3. Obraz testowy i jego projekcja na przetworniku kamery dla różnych przesunięć i obrotu obrazu testowego względem przetwornika



Rys. 4. Analiza rozdzielczości przestrzennej dla analizowanego przypadku

► Rozdzielczość przetwornika idealnie odpowiada rozmiarom obrazu testowego. Dla przypadku a) generowany jest sygnał idealnie odpowiadający zawartości obrazu testowego – czyli czerni (100%) i biel (0%). W przypadku b) obraz testowy jest przesunięty względem segmentów przetwornika

o ok. 25%. Sygnał elektryczny zawiera wyłącznie stopnie szarości – odpowiednio 25% i 75%. I przypadku najbardziej spektakularny – przesunięcie o 50% między obrazem testowym a przetwornikiem. Na wyjściu uzyskujemy jednolity szary obraz odpowiadający 50% czerni.



Rys. 5. Analiza rozdzielczości przestrzennej i głębi ostrości dla analizowanego przypadku

W przedstawionej analizie założyliśmy, że linie obrazu testowego są ułożone równoległe do linii analizy przetwornika. Jeszcze ciekawiej sytuacja wygląda, gdy przeanalizujemy przypadek nierównoległego ułożenia obrazu testowego (czarno-białe paski) i przetwornika (czerwone obwódki).

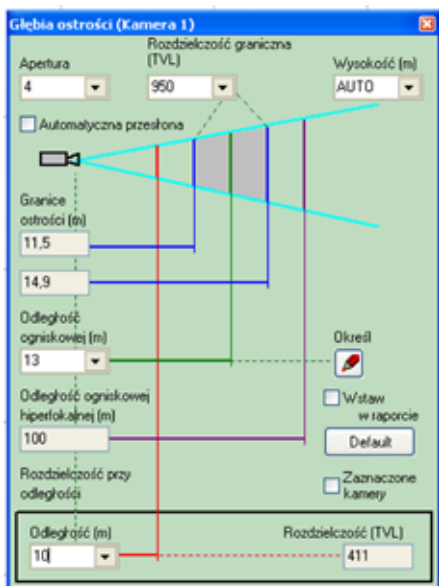
Jak widać na rys. 3, w zależności od stopnia pochylecia i przesunięcia linii obrazu testowego względem linii przetwornika uzyskujemy efekty dość zaskakujące – oprócz linii obrazu testowego pojawiają się linie, których nie ma na obrazie testowym. W naszym przypadku są to np. linie odchylone w innym kierunku niż obraz testowy oraz szare pionowe pasy.

Przedstawione przykłady pokazują, że nie ma praktycznie możliwości uzyskania rozdzielczości użytkowej mierzonej w TVL, odpowiadającej natywnej rozdzielczości przetwornika. O ile zmniejsza się ta rozdzielczość? Zagadnieniem tym zajmował się już w latach 30. ubiegłego stulecia inżynier pracujący w RCA – Raymond D. Kell. Relacje wiążące użyteczną rozdzielczość urządzeń wizyjnych z ich parametrami geometrycznymi są określane jako współczynniki Kella (*Kell factor*). Dla systemów ze skanowaniem liniowym za pomocą wiązki elektronicznej współczynnik ten wynosi 0,7, dla systemów ze skanowaniem pikselowym – 0,85. Co wynika z tych liczb? Skuteczna pionowa rozdzielczość systemu PAL dla 576 linii obrazu wynosi zaledwie $576 \times 0,7 = 403$ TVL. Dla proporcji ekranu 4:3 przy zachowaniu takich samych parametrów jakościowych dla rozdzielczości pionowej i poziomej rozdzielczość pozioma powinna wynosić co najmniej $403 \times 4/3 = 537$ TVL. Zatem obraz PAL generowany na przetworniku o rozmiarach 768 x 576 pikseli ma rozdzielczość użytkową 537 x 403 TVL.

Liczba pikseli nie przekłada się w prosty sposób na subiektywne wrażenia wzrokowe. Przeanalizujemy zagadnienie głębi ostrości w aspekcie rozdzielczości użytkowej mierzonej TVL z wykorzystaniem jednej z właściwości programu VideoCAD.

Zdefiniujemy przykładowy problem. Z programu użytkowego jakiegoś obiektu wynika, że dla obserwacji obiektu z kategorią I odległego o 13 m od kamery musimy użyć kamery o rozdzielczości 1920 x 1080 pikseli, a dla przetwornika 1/3" powinniśmy użyć obiektywu o ogniskowej $F = 45$ mm (rys. 4).

Przeprowadźmy analizę głębi ostrości dla takiej kamery (rys. 5). Zakładamy, że graniczna rozdzielczość mierzona liniami TVL nie powinna być gorsza niż 950. Dla apertury 4, dla ogniskowej obiektywu $F = 45$ mm i punktu maksymalnej ostrości ustawionego na $f = 13$ m uzyskujemy granicę ostrości odpowiadającą założonemu kryterium 950 TVL dla strefy od 11,5 do 14,9 m. Zaledwie w strefie o długości 3,4 m będziemy mieli obraz odpowiadający założonej rozdzielczości mierzonej liczbą linii telewizyjnych. Jeżeli punkt analizy ustalimy na $f = 11$ m, czyli przed obszar założonej rozdzielczości 950 TVL, to rozdzielczość użytkowa spadnie do 678 TVL. Dla odległości $f = 10$ m uzyskujemy rozdzielczość użytkową zaledwie 411 TVL.



Rys. 6. Analiza głębi ostrości dla $f = 10$ m dla analizowanego przypadku

Mimo zastosowania kamery o rozdzielczości 1920 x 1080 pikseli, wrażenie wzrokowe będzie podobne jak dla kamery z rozdzielczością np. 420 TVL z optymalnie wyregulowaną optyką. Rodzi się pytanie, jak to możliwe, skoro odległość 10 m mieści się wewnątrz obszaru oznaczonego jako strefa do obserwacji z kategorią I?

Na tym właśnie polega bałagan pojęciowy wprowadzony przez wspomniane na początku rozporządzenie. Obserwacja prowadzona przez ludzi opiera się na subiektywnych wrażeniach. Oceniamy wrażenia wzrokowe, a nie mierzalne parametry ilościowe.

Widzimy obraz ostry lub nieostry. Widzimy kolor czerwony, a nie $RGB = 255, 0, 0$. Enumeratywnie określona liczba pikseli na obiekt jest parametrem ilościowym, nie zawsze odpowiadającym jakości. Jest zasadnicza różnica między rozmytym obiektem o rozmiarze 500 pikseli a wyraźnym obiektem o takich samych rozmiarach. Twierdzę, że zdecydowana większość obserwatorów wyżej oceni system umożliwiający obserwację obiektu o rozmiarach 250 pikseli z rozdzielczością użytkową 1200 TVL niż system umożliwiający obserwację obiektu o rozmiarach 500 pikseli z rozdzielczością użytkową np. 470 TVL. Nie można utożsamiać natywnej rozdzielczości urządzeń wyrażonej w pikselach z rozdzielczością użytkową wyrażoną w TVL.

Oszacowaliśmy rozdzielczość użytkową obrazu PAL na 537 x 403 TVL. Co jeszcze wynika z tych liczb? Linia telewizyjna w systemie PAL ma długość $64 \mu s$, z czego na sygnał obrazu przypadają $52 \mu s$. W tym czasie dla poziomej rozdzielczości użytkowej 537 TVL musimy zmieścić 268,5 okresu fali prostokątnej odpowiadającej na przemian białemu i czarnemu paskowi – w sumie 537 pasków. Jeden taki okres trwa zatem $52/268,5 = 0,19366 \mu s$, co odpowiada częstotliwości 5,1636 MHz. Żeby wiernie odtworzyć falę prostokątną powinniśmy np. w torze transmisyjnym umożliwić przesłanie co najmniej 3. i 5. harmonicznej. Dla naszego przypadku są to częstotliwości odpowiednio 15,5 i 25,8 MHz. Zatem przesłanie bez zauważalnych zniekształceń czarno-białych pionowych pasków odpowiadających rozdzielczości zaledwie 537 TVL wymaga użycia medium i pasma transmisyjnego o szerokości co naj-

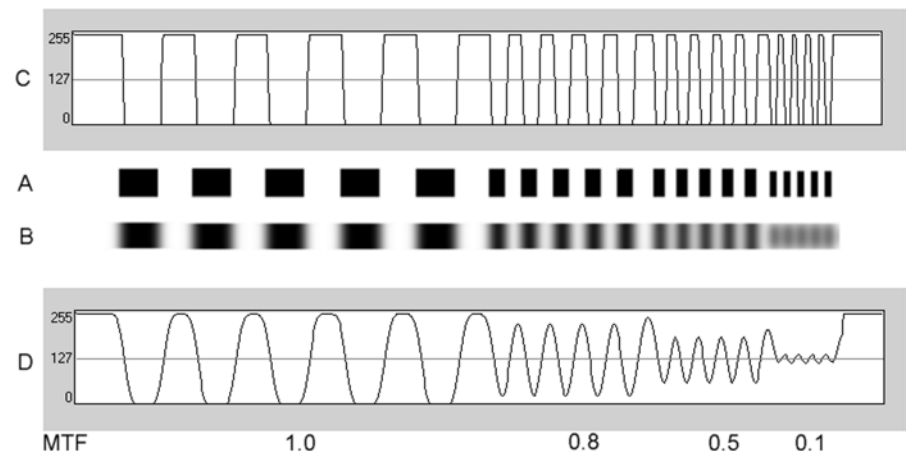
mniej 25 MHz. Dla innego ujęcia – falistość wierzchołka odpowiadającego za kolor czarny i biały nie gorsza niż 0,5 dB wymaga 3 dB pasma nie mniejszego niż 20 MHz. Falistość wierzchołka odpowiadającego za kolor czarny i biały nie gorsza niż 0,1 dB wymaga 3 dB pasma nie mniejszego niż 50 MHz.

Zatem pasmo wymagane dla analogowej transmisji wielokrotnie przekracza pasmo wymagane dla cyfrowej transmisji sygnałów wizyjnych o znacznie wyższych parametrach jakościowych. Urządzenia transmisyjne powinny wymusić w torze prędkość narastania napięcia rzędu $64 V/\mu s$. Dla kamer o deklarowanej rozdzielczości poziomej rzędu 700 TVL wszystkie wartości są o 1/3 wyższe. Jeżeli nie zapewnimy właściwego toru transmisyjnego, który nie będzie wprowadzał zniekształceń liniowych i fazowych, stosowanie kamer analogowych o wysokiej rozdzielczości jest bezcelowe. Uzyskany efekt będzie niewspółmierny do poniesionych kosztów.

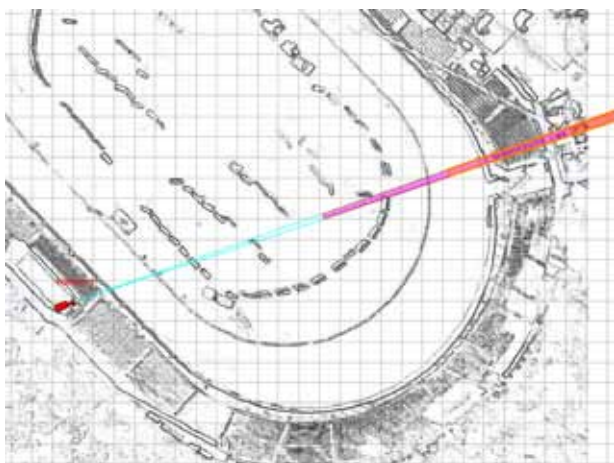
Przytoczone liczby przedstawiają najważniejsze problemy do przewyższenia przy budowie rozległych systemów analogowych. Właśnie ze względu na te wartości dla systemów monitoringu wizyjnego z analogowym sygnałem wizyjnym w jakiegokolwiek części toru wizyjnego stosujemy współczynnik Kella $K = 0,7$ a nie $K = 0,85$ – mimo że zarówno kamery, jak i monitory działają w oparciu o skanowanie pikselowe.

Rejestrator i monitor są na końcu łańcucha wizyjnego. Najważniejsze i najtrudniejsze dzieje się dużo wcześniej. W zasadzie, biorąc pod uwagę wymagania ilościowe (i wynikające z nich w domyśle wymagania jakościowe) stawiane systemom wizyjnym, w przypadku obiektów do przeprowadzania imprez masowych należy powoli zapominać o budowie systemów analogowych.

Wracajmy do naszego rozporządzenia. Dlaczego uważam, że jest niekonsekwentne? Bo nie ma w nim procedury lub metody weryfikacji wymaganych parametrów jakościowych.



Rys. 7. Interpretacja sygnału testowego (A), odpowiadającego mu sygnału luminacji (C), rzeczywistemu sygnałowi na przetworniku (B) i wartości współczynnika MTF (D)



Rys. 8. Analizowany obiekt sportowy – obserwacja najdalszego fragmentu trybuny w kategorii I

Metoda opisana w normie EN 50132-7 "Systemy dozоровe CCTV w zastosowaniach dotyczących zabezpieczenia" z użyciem figury testowej rotakin jest nieprzydatna zarówno ze względu na użytą nomenklaturę kryteriów jakościowych, jak i jednostki odniesienia. Można co prawda posłużyć się figurą rotakina i zastosować przeliczniki, ale jest to już magia, a nie technika. Tym bardziej że wyniki pomiarów uzyskane za pomocą figury rotakin są trochę naciągane – jak łatwo wykazać, do obliczenia rozmiarów pól testowych użyto rozdzielczości natywnej bez uwzględnienia współczynnika Kella. Oznacza to, że uzyskujemy wyniki optymistyczne – są one o 30-40% lepsze niż rzeczywista rozdzielczość użytkowa. Dla systemów analogowych możemy takie wyniki zweryfikować przez oscyloskopowy pomiar współczynnika MTF.

Za graniczną rozdzielczość użytkową uznajemy wartość, dla której MTF wyniesie 0,1. Nasze linie są widoczne jako różnialne paski płynnie przechodzących odcieni szarości. O ile w systemach analogowych jest to możliwe, o tyle w przypadku systemów cyfrowych taki pomiar jest niemożliwy. Musimy zatem posłużyć się inną metodą. Po pierwsze – możemy zbadać system pod względem formalnym za pomocą obliczeń analitycznych lub za pomocą symulacji za pomocą programu VideoCAD. Po drugie – możemy zmierzyć tor wideo od kamery do rejestratora/monitora za pomocą dedykowanego obiektu testowego i związanej z nim procedury pomiarowej.

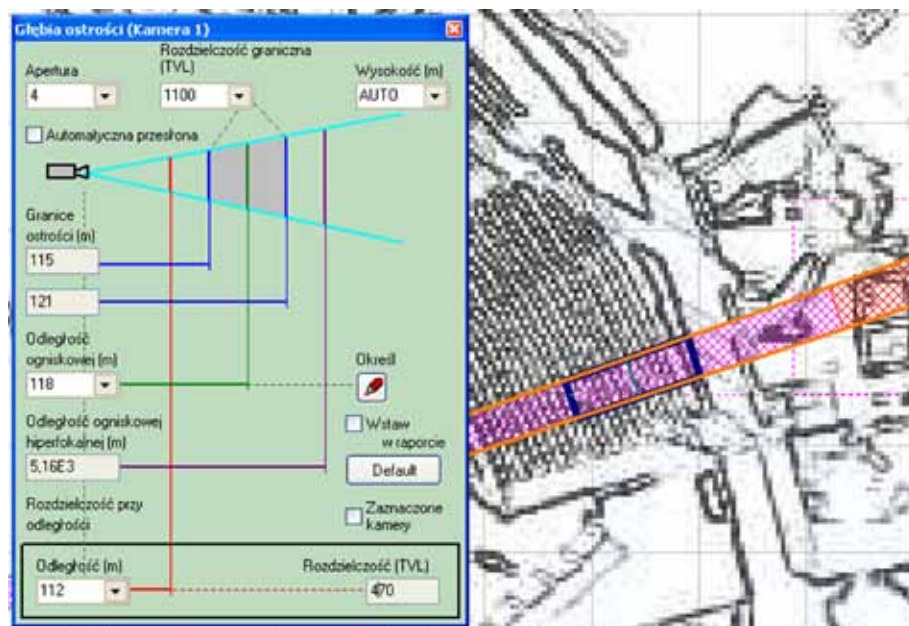
Ponieważ analityczna weryfikacja poprawności systemu jest żmudna i mało efektywna, zajmiemy się drugą metodą – weryfikacją za pomocą programu VideoCAD. I tutaj kolejny zarzut do rozporządzenia. Organ wpro-

wadający nie określił, jak obiekt testowy ma być ułożony względem osi optycznej kamery. Można się domyślać, że chodzi po położenie optymalne. Takim położeniem jest ortogonalna pozycja obiektu względem osi optycznej, ale dobrze byłoby to jednoznacznie określić. Inne położenie może skutkować zaniżaniem wyników testów, co w efekcie może doprowadzić do negatywnej weryfikacji monitoringu i nie-emożliwić przekazanie obiektu sportowego do eksploatacji.

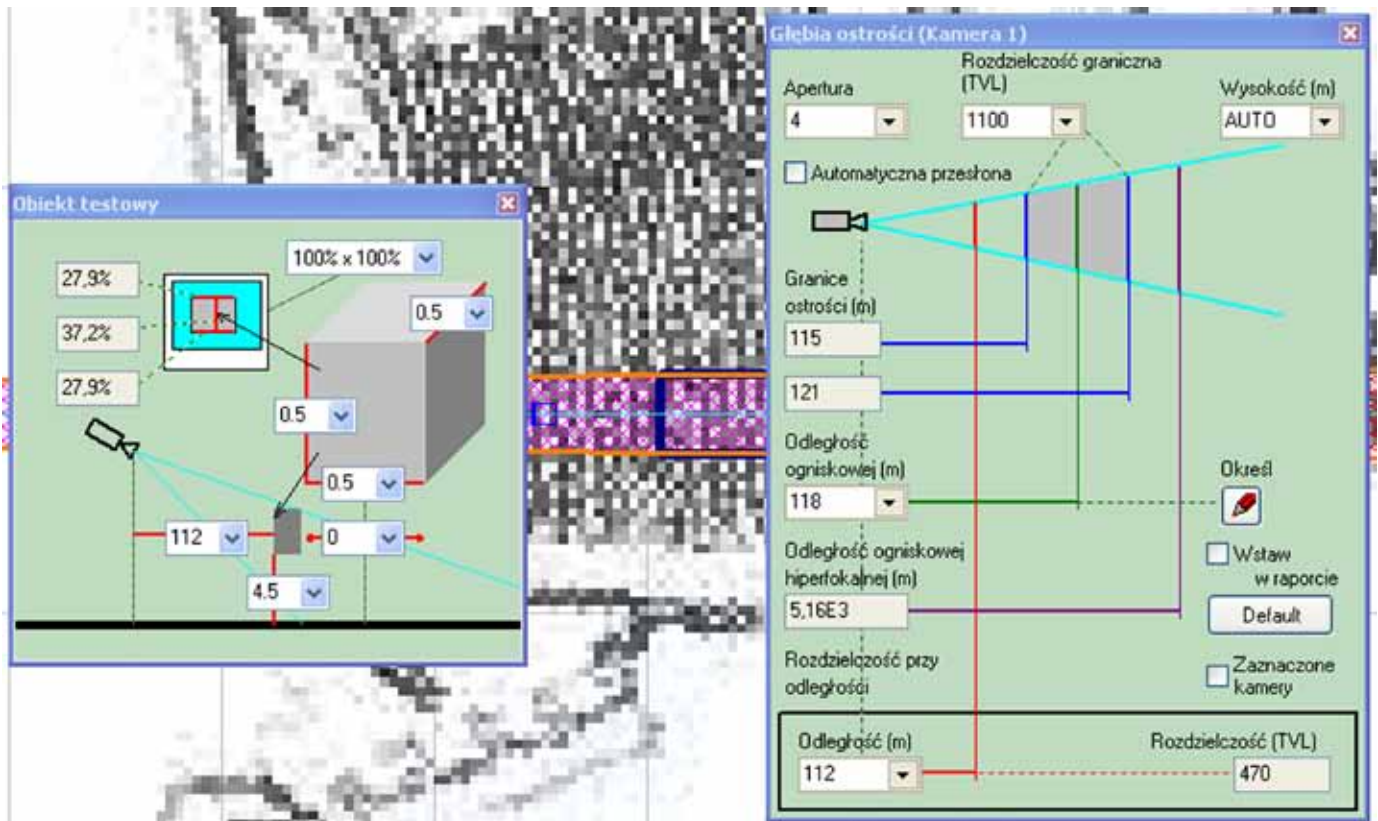
Przygotujmy sobie jakiś stadion. Niech to będzie zielonogórski stadion żużlowy W69. Zajmiemy się analizą jakości i skuteczności kamer do obserwacji z jakością kategorii I. Dopowiadamy sobie: w najbardziej odległym punkcie trybun obiekt testowy powinien mieć rozmiar co najmniej 500 pikseli. Nasz przeskalowany obiekt

wprowadzony do VideoCAD-a wygląda jak na rys. 8.

Kamera 3M o rozdzielczości 2048 x 1536 pikseli, obiektywie o $F = 300$ mm pozwala obserwować najdalsze miejsca na trybunie z obrazem I kategorii. Warto zauważyć, że kryteria identyfikacji określone w normie EN 50132-7 "Systemy dozоровe CCTV w zastosowaniach dotyczących zabezpieczenia" (oznaczone na rys. 8 pomarańczową obwódką) są znacznie mniej restrykcyjne niż kryteria z rozporządzenia MSWiA dotyczącego zabezpieczenia imprez masowych. Dla apertury 4 i założonej rozdzielczości granicznej 1100 TVL (co nie wydaje się wielkością ekstremalną dla zastosowanego przetwornika) dla punktu ogniskowania $f = 118$ m mamy zakres głębi ostrości 115 do 121 m



Rys. 9. Analizowany obiekt sportowy – obserwacja fragmentu trybuny w kategorii I z jednoczesną analizą głębi ostrości



Rys. 10. Analizowany obiekt sportowy – obserwacja fragmentu trybuny w kategorii I z jednoczesną analizą głębi ostrości i rozmiarami obiektu testowego 0,5 x 0,5 x 0,5 m

(granatowa obwódka na rys. 9). Zatem ostro widzimy zaledwie około 1/2 szerokości trybuny.

Dlaczego pomysł z obiektem testowym uważam za niezbyt szczęśliwy? Bo została słabo zdefiniowany i w ogóle nie została opisana metoda posługiwania się tym obiektem. Przeanalizujmy parametry obiektu testowego umieszczonego w odległości 112 m od kamery – jak na rys 10.

Obiekt ten będzie miał na ekranie rozmiary odpowiednio 27,9 x 37,2 x 27,9%. Dla kamery o rozmiarach przetwornika 2048 x 1536 pikseli oznacza to odpowiednio 575 x 571 x 575 pikseli. Zatem warunki rozporządzenia są formalnie spełnione. Ale nasz obiekt umieściliśmy w odległości 112 m, czyli zaledwie 3 m przed założonym zakresem rozdzielczości użytkowej 1100 TVL. Okazuje się, że nasz obiekt obserwujemy z rozdzielczością użytkową 470 TVL, czyli z rozdzielczością osiąganą w kamerach analogowych.

Oczywiście dopuściłem się tutaj celowo drobnej manipulacji, żeby przerysować i w ten sposób lepiej unaocznić problem. Jak łatwo zauważyć formalne spełnienie warunków rozmiaru obiektu testowego na obrazie nie zawsze musi odpowiadać parametrom jakościowym wymaganym dla identyfikacji obiektu. Sytuację oczywiście ratuje np. przestawienie punktu maksymalnej ostrości

na odległość $f=114$ m, co pozwala nam obserwować obiekt kontrolny zarówno w zgodzie z parametrami ilościowymi (rozmiar większy niż 500 pikseli), jak i jakościowymi (rozdzielczość użytkowa większa niż 1100 TVL), ale wymaga to albo interwencji operatora, albo użycia obiektywu z funkcją „Autofocus”.

Moim zdaniem w rozporządzeniu zbyt optymistycznie wprowadzono wyłącznie parametr ilościowy zdefiniowany za pomocą pikseli, zapominając jednocześnie o parametrze jakościowym, czyli o zdefiniowaniu granicznej rozdzielczości użytkowej w TVL, z jaką obiekt testowy dla każdej kategorii powinien być obserwowany. Lepiej sprawdziłaby się sytuacja procentowego rozmiaru obiektu testowego na ekranie z określeniem granicznej rozdzielczości użytkowej.

Zapomniano również o zdefiniowaniu lokalizacji obiektu testowego w przestrzeni. Czy ma to być obiekt liniowy, dwuwymiarowy, trójwymiarowy? Jak powinien być ułożony w przestrzeni w stosunku do osi optycznej kamery? Jak powinna być przeprowadzona procedura weryfikacji systemu? Czy weryfikacja będzie polegać tylko na formalnym sprawdzeniu potencjalnych możliwości urządzeń; bez analizy i weryfikacji w terenie? Tak wiele niedopowiedzeń pozwala na swobodę interpretacji zapisów rozporządzenia.

A swoboda w interpretacji nie zawsze jest pożądana.

Przenieśmy się na chwilę w dziedzinę znaną doskonale wszystkim – w dziedzinę motoryzacji. Mamy ustawę Prawo o ruchu drogowym, które nakłada na kierowców pewne ograniczenia co do prędkości. Wyobraźmy sobie sytuację, gdy samochody nie są wyposażane w prędkościomierze. Mało tego – policja nie dysponuje narzędziami do pomiaru prędkości pojazdów. I teraz wyobraźmy sobie dyskusję po zatrzymaniu w trakcie kontroli prędkości. Mamy temat na kilka skeczy w stylu Monty Pythona. Skeczu na temat weryfikacji parametrów systemu monitoringu do utrwalania imprez masowych raczej nikt nie napisze. Choć materiał wyjściowy jest gotowy. ■

W następnym artykule przedstawię koncepcję prostej metody testowania systemów monitoringu cyfrowego imprez masowych, która powinna pogodzić wymagania zarówno normy EN 50132-7 “Systemy dozoru CCTV w zastosowaniach dotyczących zabezpieczenia”, jak i rozporządzenia ministra spraw wewnętrznych i administracji w sprawie sposobu utrwalania przebiegu imprez masowych.

Bezpośredni kontakt do autora:
wfialka@hot.pl