

Izabela SKRZYPCZAK<sup>1</sup>  
Grzegorz OLENIACZ<sup>2</sup>  
Dawid ZIENTEK<sup>3</sup>

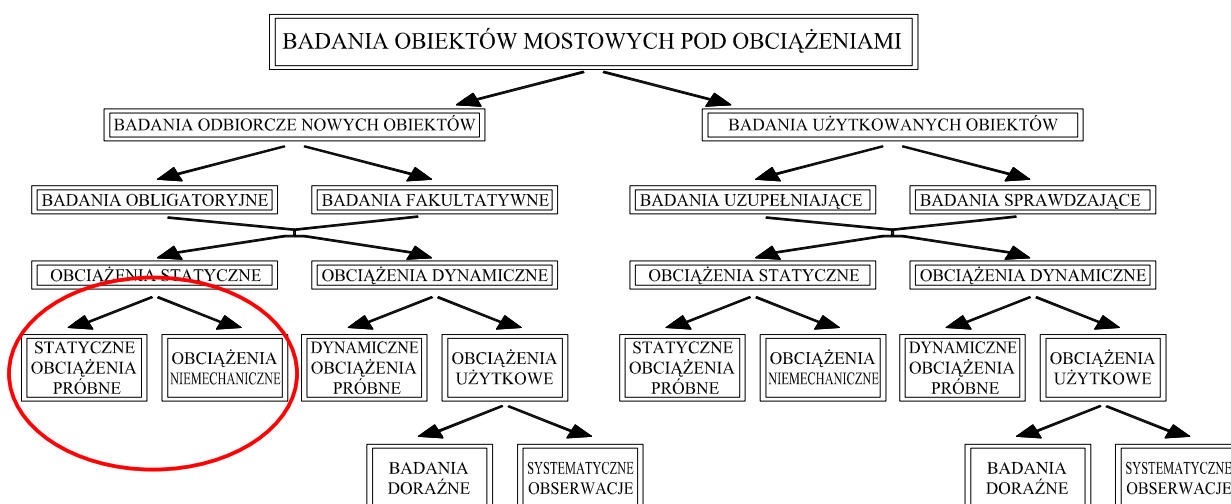
## DIAGNOSTYKA OBIEKTÓW MOSTOWYCH A POMIARY GEODEZYJNE

### Streszczenie

Artykuł dotyczy diagnostyki obiektów mostowych w odniesieniu do próbnych obciążeń tych konstrukcji. Statyczne obciążenie próbne miało na celu sprawdzenie projektowanej nośności wiaduktu oraz weryfikację słuszności założeń przyjętych w projekcie technicznym. Przeprowadzone badania stanowiły jednocześnie badania odbiorcze obiektu, wymagane przepisami i normami.

### 1. Wprowadzenie

W diagnostyce obiektów mostowych, zapewniającej informacje niezbędne do określania i prognozowania trwałości jest wykorzystywana szeroka gama metod badawczych związanych z technologiami fizycznymi, chemicznymi oraz biologicznymi. Poszczególne metody i techniki badań są bardzo zróżnicowane pod względem zakresu racjonalnych zastosowań praktycznych. Ich przydatność zależy przede wszystkim od rodzaju materiału i rozwiązań konstrukcyjnych, a także od typu zagadnienia stanowiącego przedmiot badań diagnostycznych. O zakresie poszczególnych metod decydują także: wymagany poziom przygotowania i doświadczenia w ich stosowaniu, koszty realizacji badań, pożądany rodzaj i sposób prezentacji wyników, dostępność urządzeń badawczych itp. Wskazówki, dotyczące obszarów zastosowań poszczególnych metod są zawarte między innymi w pracach [5,6,7].



Rys. 1. Badania obiektów mostowych pod obciążeniami [5,6]

<sup>1</sup>dr inż., Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Politechnika Rzeszowska

<sup>2</sup>mgr inż., Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Politechnika Rzeszowska

<sup>3</sup>mgr, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Politechnika Rzeszowska

Odrębną grupę narzędzi diagnostycznych stanowią badania obiektów mostowych poprzez pomiar i analizę odpowiedzi konstrukcji na obciążenia [6]. Badania doświadczalne tego typu umożliwiają kompleksową ocenę pracy całego obiektu, a ich wyniki tworzą bardzo cenną bazę zindywidualizowanych informacji o badanej konstrukcji i znajdują zastosowanie w wykrywaniu oraz identyfikacji ewentualnych jej uszkodzeń, co w konsekwencji umożliwia bardziej precyzyjne prognozowanie trwałości konstrukcji.

Na rysunku 1 przedstawiono ogólną klasyfikację podstawowych rodzajów badań obiektów mostowych prowadzonych z wykorzystaniem różnego typu obciążeń.

Badania obiektów nowych jak i wcześniej użytkowanych, mogą dotyczyć odpowiedzi konstrukcji na obciążenia statyczne i dynamiczne. Najczęściej stosowaną formą badań przy obciążeniach statycznych są obciążenia próbne wykonywane przy użyciu środków obciążających o zaprogramowanych i kontrolowanych ciężarach oraz ściśle określonym usytuowaniu na badanym obiekcie.

## 2. Obiekt badań

Analizę przeprowadzono dla nowo wybudowanego wiaduktu o konstrukcji ramowej, wykonanej z prefabrykowanych belek strunobetonowych uciągłonych nad filarami o rozpiętości teoretycznej  $L_t = 24,45 + 25,50 + 24,45$  m (rys.2, rys.3) [3,4].



Rys. 2. Obiekt badań

Statyczne obciążenie próbne miało na celu sprawdzenie projektowanej nośności wiaduktu oraz weryfikację słuszności założeń przyjętych w projekcie technicznym. Przeprowadzone badania stanowiły jednocześnie badania odbiorcze obiektu, wymagane przepisami i normami [1,2,3]. Program badań wiaduktu przewidywał pomiary maksymalnych ugięć przęseł wiaduktu oraz ugięć wsporników i osiadań jego podpór pod obciążeniem statycznym. Próbne obciążenie zrealizowano zgodnie z [3] według czterech schematów.



Rys. 3. Rysunek schematyczny obiektu badań

Kolejność realizacji poszczególnych schematów została podyktowana:

- możliwymi przerwami ruchu na linii PKP,
- większą długością dojazdu do wiaduktu od strony południowo-wschodniej, niezbędnego do manewrowania pojazdami obciążającymi,
- zasadą, żeby przez przęsła jeszcze niezbadane nie przejeżdżały samochody do obciążenia innego przęsła.

Do realizacji obciążenia użyto 6 samochodów TATRA 815 S3, każdy o całkowitym ciężarze nominalnym 270 kN.

### 3. Realizacja badań

W przypadku każdego schematu obciążenia zmierzono ugięcia dziesięciu belek głównych i wsporników filarów, osiadania podpór badanego przęsła. W większości punktów pomiarowych ugięcia mierzono dwoma metodami: czujnikami zegarowymi oraz niwelacją precyzyjną przy użyciu niwelatora Zeiss Ni 002 (tab.1).

Podstawową metodą pomiaru ugięć belek głównych był pomiar czujnikami zegarowymi. Do belek przymocowano druty inwarowe, które za pośrednictwem przekładni, połączono z czujnikami zegarowymi. W ten sposób przygotowano 10 stanowisk pomiarowych, co odpowiadało liczbie belek głównych w każdym przęśle. Metoda niwelacji precyzyjnej miała w przypadku belek głównych charakter kontrolny. W środku rozpiętości belek przymocowano łatki geodezyjne. Łatki przymocowano na oczepach przyczółków oraz na oczepach filarów, natomiast na górnych powierzchniach gzymsów pomostu za pomocą metalowych trzpieni zastabilizowano w osiach filarów punkty pomiarowe, umożliwiło to pomiar ugięć wsporników oczepu filarów metodą niwelacji precyzyjnej.

Osiadania podpór oraz ugięcia wsporników oczepów filarów wykonano tylko metodą niwelacji precyzyjnej (tab.1). Pomiar przeprowadzono dla punktów określonych w projekcie [3,4].

Tablica 1. Opis położenia punktów pomiarowych

Metoda pomiaru	Opis
NP	Przyczółek od strony NW, w osi słupa od strony N (wzdłuż linii PKP)
NP	Przyczółek od strony NW, w osi słupa od strony W (wzdłuż linii PKP)
NP	Filar od strony NW, gzyms od strony N (wzdłuż linii PKP)
NP	Filar od strony NW, w osi słupa
NP	Filar od strony NW, gzyms od strony W (wzdłuż linii PKP)
NP	Filar od strony SE, gzyms od strony E (wzdłuż linii PKP)
NP	Filar od strony SE, w osi słupa
NP	Filar od strony SE, gzyms od strony S (wzdłuż linii PKP)
NP	Przyczółek od strony SE, w osi słupa od strony E (wzdłuż linii PKP)
NP	Przyczółek od strony SE, w osi słupa od strony S (wzdłuż linii PKP)
NP, CZ	Środek rozpiętości belek przęsła skrajnego od strony NW
NP, CZ	Środek rozpiętości belek przęsła środkowego
NP, CZ	Środek rozpiętości belek przęsła skrajnego od strony SE
Oznaczenia:	
NP – metoda niwelacji precyzyjnej	
CZ – czujniki zegarowe	

Odczyty ugięć w punktach pomiarowych wykonywano w każdym schemacie obciążenia, w następującej kolejności:

- pomiar zerowy, przed wjazdem samochodów,
- bezpośrednio po wjeździe samochodów,
- po 15 minutach od wjazdu samochodów,
- po 30 minutach od wjazdu samochodów,
- bezpośrednio po zjeździe samochodów,
- po 15 minutach od zjazdu samochodów,
- po 30 minutach od zjazdu samochodów.

#### 4. Wyniki badań

Wyniki badań osiadania podpór oraz ugięcia belek głównych dla poszczególnych schematów obciążeń przedstawiono w poniższych tablicach oraz na wykresach (tab. 2-5, rys. 4-7).

Tablica 2. Osiadania podpór – schemat 1

OSIADANIA ZMIERZONE [mm]							Osiadanie maksymalne podpory [mm]	Osiadania trwałe podpory [mm]
Pomiar zerowy	Pełne obciążenie			Pomiary po zjeździe				
1	2	3	4	5	6	7		
0.00	0.05	0.10	0.10	0.05	0.00	0.00	0.25	0
0.00	0.15	0.25	0.40	0.05	0.00	0.00		
0.00	0.55	0.90	0.90	0.35	0.20	0.15		
0.00	0.45	0.45	0.60	0.25	0.25	0.25	0.60	0.25
0.00	0.60	0.75	0.80	0.65	0.50	0.25		

Tablica 3. Osiadania podpór – schemat 2

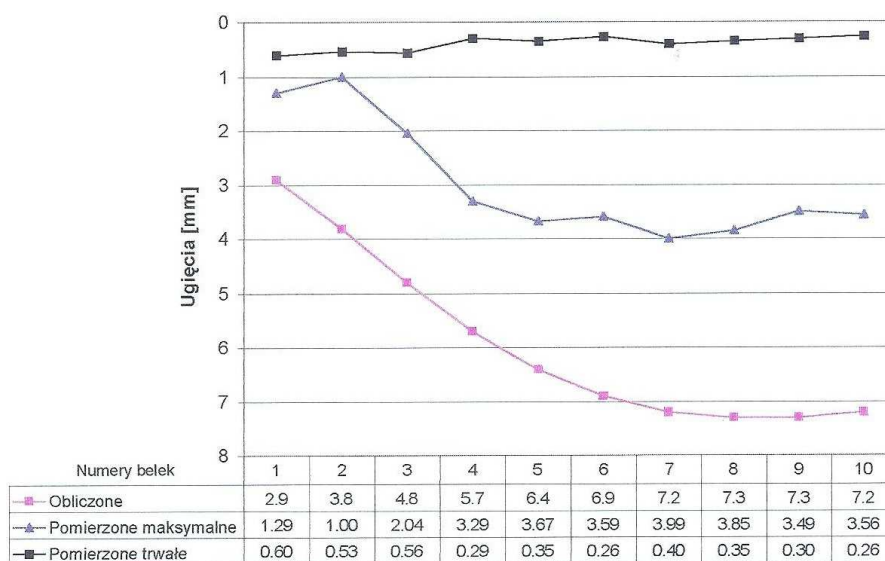
OSIADANIA ZMIERZONE [mm]							Osiadanie maksymalne podpory [mm]	Osiadania trwałe podpory [mm]
Pomiar zerowy	Pełne obciążenie			Pomiary po zjeździe				
1	2	3	4	5	6	7		
0.00	0.25	0.40	0.40	0.20	0.20	0.20	0.50	0.20
0.00	0.45	0.45	0.50	0.30	0.30	0.20		
0.00	1.20	1.35	1.40	0.40	0.35	0.35		
0.00	0.30	0.35	0.40	0.20	0.20	0.20	1.25	0.15
0.00	1.30	1.30	1.25	0.20	0.15	0.15		
0.00	0.90	1.00	1.10	0.15	0.15	0.15		

Tablica 4. Osiadania podpór – schemat 3

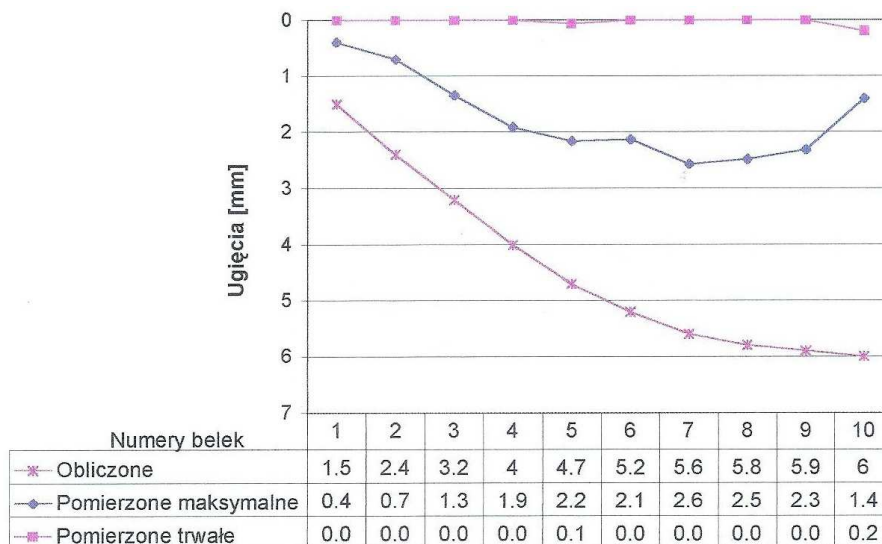
OSIADANIA    ZMIERZONE [mm]							Osiadanie maksymalne podpory [mm]	Osiadania trwałe podpory [mm]
Pomiar zerowy	Pełne obciążenie			Pomiary po zjeździe				
1	2	3	4	5	6	7		
0.00	0.70	0.85	0.85	0.30	0.30	0.30	0.20	0.10
0.00	0.00	0.10	0.20	0.15	0.10	0.10		
0.00	0.35	0.85	1.55	0.45	0.45	0.45		
0.00	0.15	1.10	0.80	0.30	0.25	0.25	0.80	0.20
0.00	0.55	0.60	0.80	0.30	0.20	0.20		
0.00	1.00	0.20	0.30	0.30	0.30	0.30		

Tablica 5. Osiadania podpór – schemat 4

OSIADANIA ZMIERZONE [mm]							Osiadanie maksymalne podpory [mm]	Osiadania trwałe podpory [mm]
Pomiar zerowy	Pełne obciążenie			Pomiary po zjeździe				
1	2	3	4	5	6	7		
0.00	0.20	0.25	0.35	0.00	0.00	0.00	0.25	0
0.00	0.05	0.10	0.10	0.00	0.00	0.00		
0.00	0.10	0.10	0.10	0.00	0.00	0.00		
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0
0.00	0.10	0.15	0.20	0.05	0.05	0.05		

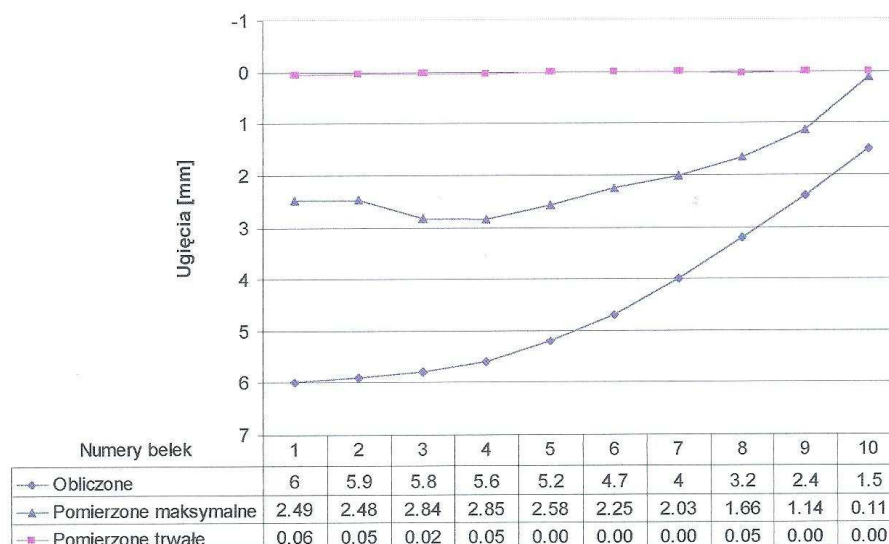


Rys. 4. Ugięcia belek – schemat 1

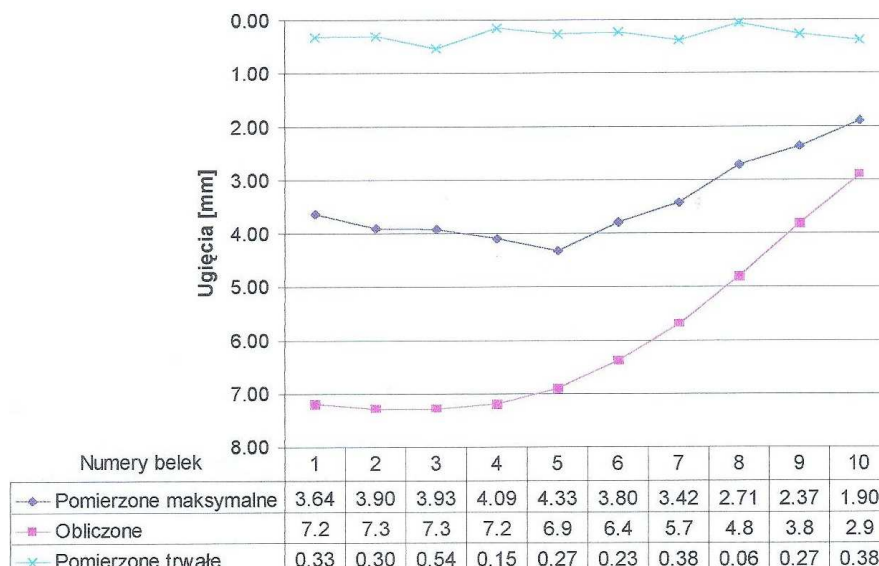


Rys. 5. Ugięcia belek – schemat 2





Rys. 6. Ugięcia belek – schemat 3



Rys. 7. Ugięcia belek – schemat 4

Zmierzone maksymalne ugięcia belek głównych w środkach ich rozpiętości były mniejsze niż wartości teoretyczne i stanowiły w przypadku obciążeń według:

- schematu 1 – 42–57 % ugięć obliczeniowych,
- schematu 2 – 23–47 % ugięć obliczeniowych,
- schematu 3 – 41–52 % ugięć obliczeniowych,
- schematu 4 – 51–67 % ugięć obliczeniowych.

Powyższe wartości ugięć mogą świadczyć o większej niż zakładano w projekcie wiaduktu rzeczywistej jego sztywności. Kształt i przebieg poprzecznych linii ugięć przeszły są zgodne z liniami ugięć teoretycznych. Świadczy to o zgodności z rzeczywistą pracą konstrukcji przyjętego w projekcie wiaduktu poprzecznego rozkładu obciążenia na poszczególne belki.

Największe ugięcie belki przęsła skrajnego wynoszące 4,33 mm było mniejsze niż dopuszczone normą  $L_t/800 = 30$  mm. Podobnie w przypadku przęsła środkowego ugięcie 2,85 mm było znacznie mniejsze niż dopuszczalne  $L_t/800 = 32$  mm.

Zmierzone ugięcia trwałe były niewielkie oraz dla większości belek i schematów obciążenia stanowiły nie więcej niż 10% ugięć pod obciążeniem maksymalnym. Były to wartości bliskie zeru, co jest m.in. następstwem zwiększonej niż projektowa sztywności konstrukcji wiaduktu. Podane na rysunkach 4-7 wartości stosunku ugięć trwałych do maksymalnych, które przekraczały 20%

występują w belkach skrajnych, które były najmniej wyężone w czasie realizacji poszczególnych schematów obciążenia.

Pomiary metodą niwelacji precyzyjnej, znacznie mniej wrażliwej na zmieniające się warunki nasłonecznienia, zapewniającej dokładność wyznaczania ugięć z błędem średnim  $\pm 0,1\text{mm}$  [8], wykazały mniejsze wartości ugięć trwałych:

- dla schematu 1 – ugięcia trwałe osiągnęły zaledwie od 12,6 do 6,5% ugięć maksymalnych dla poszczególnych punktów pomiarowych,
- dla schematu 4 – tylko 5%.

Nie można więc wykluczyć, że wpływ na duży udział w ugięciach trwałych belek skrajnych miało także ugięcie wsporników oczepów filarów. Powodami tego mogło być więc zarówno zachowanie się wsporników oczepów podpierających belki, jak i wpływ nagrzania czujników zegarowych promieniami słonecznymi. Hipoteza o nagrzaniu czujników okazała się słuszną, z drugiej strony wiaduktu (w cieniu) udział ugięć trwałych był znacznie mniejszy.

We wszystkich przypadkach ugięcia trwałe stanowiły więc mniej niż 20% ugięć całkowitych, co spełnia wymagania normy [1] dotyczące dopuszczalnych ugięć trwałych.

## 5. Wnioski

Obserwacja zachowania się konstrukcji wiaduktu w czasie próbnego obciążenia statycznego oraz analiza wyników badań upoważniają do sformułowania następujących wniosków:

- wartości zmierzonych ugięć belek głównych były mniejsze niż wartości obliczone, co świadczy o większej niż projektowa sztywności konstrukcji przęseł i o rezerwie jej nośności,
- geodezyjne pomiary ugięć elementów konstrukcji zapewniają dokładność mniejszą niż dla czujników zegarowych, ale wystarczającą przy pomiarach odbiorczych większości obiektów mostowych, ponadto stanowią niezależną kontrolę przeprowadzonych badań,
- zmiany warunków pomiaru: stały przepływ powietrza z jego cyrkulacją, zmiany temperatury powietrza i obiektu, zmiennej wilgotności powietrza nad ciekami oraz drgań podłoża wywołanego ruchem kołowym powodują, że przy realizacji próbnych obciążeń obiektów mostowych należy stosować co najmniej dwie uzupełniające się metody pomiaru.

## Literatura

- [1] PN-85/S-10030, Obiekty mostowe. Obciążenia.
- [2] PN-77/S10040, Żelbetowe i betonowe konstrukcje mostowe. Wymagania i badania.
- [3] Projekt techniczny próbnego obciążenia wiaduktu w ciągu drogi krajowej.
- [4] Sprawozdanie z badań odbiorczych wiaduktu w ciągu drogi, Politechnika Rzeszowska, Rzeszów 1998.
- [5] BIEŃ J., Zagadnienia trwałości obiektów mostowych w europejskich projektach badawczych, 56 KN, Krynica 2010.
- [6] BIEŃ J., Uszkodzenia obiektów mostowych, WKŁ, 2010.
- [7] ZOBEL H., ALKHAFADI T., WRÓBEL T., Określanie trwałości mostów drogowych, Mosty, nr 2, 2007, s. 40-54.
- [8] SKRZYPCZAK I., OLENIACZ G., Metodyka pomiarów statycznych i dynamicznych zespolonych obiektów mostowych, Monitoring i inżynieryjne pomiary geodezyjne, Archiwum Geomatyki, Gdańsk 2010, s. 7-22.

## DIAGNOSTICS OF BRIDGES IN RELATION TO GEODETIC MEASUREMENTS

### Summary

The article concerns the diagnostics of bridges in relation to load tests of these structures. Static load test aimed to checking the capacity of the proposed bridge and verifying the validity of the assumptions in the technical project. The studies conducted were also acceptance testing of the bridge, required by law and standards.