

Indywidualne projektowanie nawierzchni w kontraktach prowadzonych w formule „projektuj-buduj”

Individual approach to road surfaces in design and build delivery system



Bartosz Budziński

Mgr inż.

Katedra Dróg i Mostów,
Zachodniopomorski Uniwersytet
Technologiczny w Szczecinie

bbudzinski@zut.edu.pl



Stanisław Majer

Dr inż.

Katedra Dróg i Mostów,
Zachodniopomorski Uniwersytet
Technologiczny w Szczecinie

majer@zut.edu.pl

Streszczenie: Na koniec 2017 w województwie zachodniopomorskim realizowano 14 kontraktów na autostradzie A6 i drogach ekspresowych o łącznej długości ponad 222 kilometrów. Wartość tych inwestycji przekracza 5 miliardów złotych. Zdecydowana większość tych inwestycji realizowana jest w formule „projektuj-buduj”. Najdłuższy odcinek drogi ekspresowej (realizowany w formule „projektuj-buduj”) na drodze ekspresowej S6 dotyczy odcinka Goleniów – Koszalin o długości 117,8 km. Inwestycja została podzielona na 6 kontaktów. Wykonawcy na etapie przygotowania projektu prowadzili optymalizację rozwiązań projektowych skupiając się w dużej mierze na możliwości indywidualnego projektowania nawierzchni. Autorzy w artykule przedstawia i porównują wykonane rozwiązania konstrukcji nawierzchni zwracając uwagę na wady i zalety wynikające z indywidualnego projektowania nawierzchni.

Słowa kluczowe: Nawierzchnia drogowa; Projektuj-buduj

Abstract: At the end of 2017 in Zachodniopomorskie voivodeship there were 14 ongoing projects on the A6 highway and other expressways. The total length of construction was 222 km with overall investment value of over 5 billion Polish Złoty. The majority of the projects are delivered in the design and build approach. The longest section (117,8 km) constructed under D&B approach is located on the S6 expressway between Goleniów and Koszalin. The investment was divided on 6 separate sections. The contractors tried to optimize the design solution during the preparation phase. Major focus was placed on the individual surface design. The authors try to present and compare chosen solutions of surface design, highlighting the pros and cons caused by this approach

Keywords: Pavement; Design and build

System prowadzenia inwestycji „projektuj-buduj” (ang. Design-Build), w odróżnieniu od klasycznego systemu „buduj” przenosi znaczną część ryzyka związanego z zamierzeniem budowlanym bezpośrednio na wykonawcę. To właśnie on jest odpowiedzialny zarówno za projekt jak i późniejszą realizację. Podejście takie pozwala na wykorzystanie najbardziej optymalnych technologii w inwestycji (z punktu widzenia wykonawcy). Wiąże się to z optymalizacją kosztów i teoretycznie niższą ceną końcową. Wykonawca ze swojej strony musi zapewnić utrzymanie narzuconych przez Inwestora wymagań technicznych, a także z reguły dłuższych terminów gwarancji. Realizacja drogi ekspresowej na odcinku Goleniów – Koszalin poprowadzono w formule „projektuj-buduj”. Umowy podpisywano od września do listo-

pada 2015 roku. Wartość kontraktowa zawartych umów to 2 107 693 535 złotych. Jeden fragment, na analizowanej drodze ekspresowej S6 – obwodnica Nowogardu został oddany do użytku w grudniu 2011 roku. Podstawowe parametry techniczne budowanej drogi [1]:

- prędkość projektowa - 100 km/h
- prędkość miarodajna - 110 km/h
- obciążenie nawierzchni - 115 kN/oś
- ilość pasów ruchu - 2 x 2
- szerokość jezdni - 2 x 7,0 m
- szerokość pasa awaryjnego - 2,5 m
- szerokość poboczy gruntowych - 2 x 0,75 m
- szerokość pasa dzielącego - 4,0 m (plus dwie opaski o szerokości po 0,5 m każda)
- obiekty inżynierskie w ciągu drogi ekspresowej - klasa obciążenia A

W pracach projektowych na wszystkich analizowanych 6 odcinkach oznaczonych od 1 do 6 (rys. 1), Zamawiający dopuścił indywidualne projektowanie nawierzchni drogowej. Wykonawcy skorzystali z tej możliwo-



1. Przebieg budowanej drogi S6 wraz z podziałem na odcinki – kolor pomarańczowy [1]

ści przedstawiając różniące się między sobą projekty nawierzchni. W niniejszym artykule zostaną przeanalizowane poszczególne konstrukcje.

Ruch projektowy na drodze ekspresowej S6

Punktem wyjścia przy projektowaniu nawierzchni jest przyjęcie odpowiedniej liczby równoważnych osi standardowych w okresie projektowym, który dla dróg ekspresowych wynosi 30 lat. Wartość tą przyjmuje się w oparciu o prognozę ruchu lub zgodnie z oczekiwaniami inwestora określonego w programie funkcjonalno-użytkowym (PFU). W analizowanym przypadku w PFU na każdym z odcinków wymagana była kategoria ruchu KR6. Jednocześnie określono, że materiałem wiążącym stanowiącym opis zamówienia jest prognoza ruchu opracowana przez wykonawcę Koncepcji Projektowej. Konstrukcje podatne podane w Katalogu Typowych Nawierzchni Podatnych i Półsztywnych (dalej katalog) [2] pokrywają cały przedział ruchu projektowanego, który dla kategorii ruchu KR6 wynosi 22,0 – 52,0 mln [3]. Dopuszczenie projektowania indywidualnego spowodowało określenie sumarycznej liczby równoważnych osi standardowych 100 kN na podstawie prognozy ruchu. Porównanie ruchu projektowanego na poszczególnych odcinkach zestawiono w tabeli 1.

Na podstawie danych zawartych w tabeli 1 należy stwierdzić, że prognozowane obciążenie ruchem na całej analizowanej drodze ekspresowej S6 znajduje się w dolnym zakresie kategorii ruchu KR6. Zatem wszystkie odcinki pod względem wymaganej trwałości zmęczeniowej są do siebie podobne.

Tab. 1. Porównanie ruchu projektowego i kategorii ruchu dla poszczególnych odcinków

Odcinek	1	2	3	4	5	6
Liczba osi standardowych [mln]	24,4	24,5	26,0	19,5 (22,0)*	23,1	22,4
Kategoria ruchu zgodnie z prognozą	KR6	KR6	KR6	KR5/ KR6*	KR6	KR6
Kategoria ruchu zgodnie z PFU	KR6	KR6	KR6	KR6	KR6	KR6

*Ostatecznie przyjęto wartość 22 mln osi – dolny zakres KR6

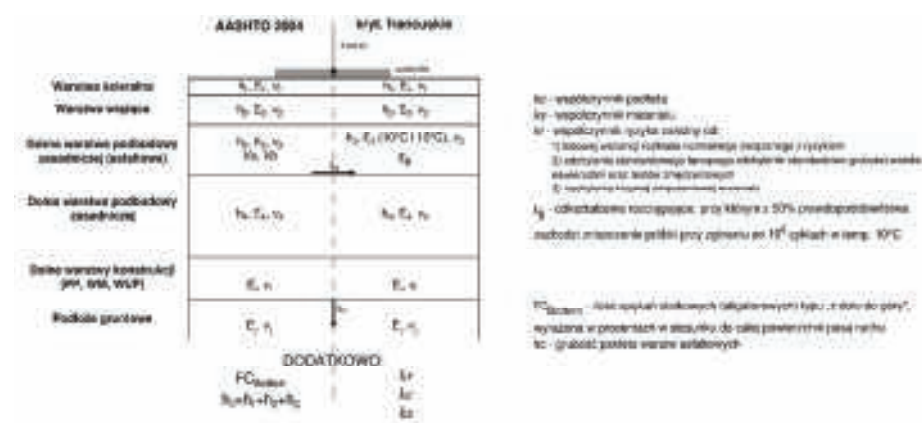
W przypadku jednego odcinka wyznaczony ruch projektowany był nieco mniejszy od dolnego zakresu kategorii ruchu KR6, ale ostatecznie przyjęto na nim liczbę osi standardowych na poziomie 22 milionów. Przyjęty ruch projektowy między poszczególnymi odcinkami nie różnił się między sobą więcej niż o 10%. Wyznaczone obciążenie ruchem pozwoliło Wykonawcom „zoptymalizować” konstrukcje w stosunku do rozwiązań katalogowych.

Projektowane indywidualne nawierzchni na przykładzie drogi ekspresowej S6

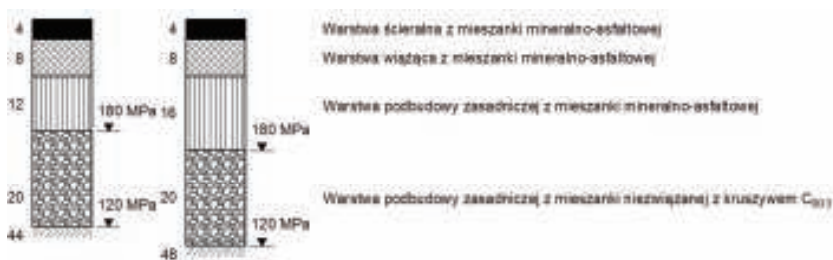
Wykonawcy na każdym z odcinków podeszli do problemu projektowania w sposób odmienny. Na dwóch odcinkach z sześciu zastosowano rozwiązania zbliżone do katalogowych w zakresie układu warstw i materiałów, przy czym zmniejszono grubość warstw w stosunku do katalogu. Tym samym dostosowując grubość konstrukcji nawierzchni do prognozowanego obciążenia ruchem. W przypadku w/w odcinków zdecydowano się na zastosowanie do górnej warstwy podbudowy zasadniczej betonu asfaltowego (AC). Na trzech innych odcinkach w dolnej warstwie podbudowy zdecydowano się na zastosowanie betonu asfaltowego o wysokim module sztywności (AC WMS), na tych odcinkach doszło do znaczącego obniżenia grubości względem katalogu. W jednym przypadku zastosowano konstrukcje z wykorzystaniem cienkiej warstwy antyzmęczeniowej (AC AF) projektując nawierzchnie w opar-

ciu o koncepcje nawierzchni długowiecznych [4]. Inwestor w oparciu o przedstawienie projekty nawierzchni drogowych otrzymał 6 różnych konstrukcji różniących się nie tylko grubością ale również użytymi materiałami, w tym w jednym przypadku z warstwą antyzmęczeniową, nie stosowaną do tej pory na terenie województwa zachodniopomorskiego.

Przedstawione projekty konstrukcji nawierzchni do zatwierdzenia przez zespół Inżynieria Kontraktu, musiały zawierać odpowiednie obliczenia popierające przyjęte założenia. Ze względu na zastosowanie różnych materiałów, metody obliczeniowe a ściślej kryteria zmęczeniowe dla warstw asfaltowych również musiały się różnić. W przypadku tradycyjnych betonów asfaltowych użytych w warstwie podbudowy kryterium użytym przy projektowaniu było AASHTO 2004 stosowane w katalogu i szerzej opisane w [3]. W przypadku pozostałych odcinków zastosowano kryterium francuskie [3, 5], jako najlepiej pasujące do betonów asfaltowych o wysokim module sztywności oraz mieszanek AC AF. Wykorzystane kryteria zmęczeniowe różnią się między sobą w odniesieniu do danych potrzebnych do wykonania odpowiednich obliczeń, przede wszystkim różnice można zaobserwować w parametrach mieszanek mineralno asfaltowych. W kryterium AASHTO 2004 oprócz grubości i modułu sztywności na trwałość zmęczeniową wpływa objętościowa zawartość wolnych przestrzeni i asfaltu oraz przyjęty współczynnik FC_{Bot} mówiący o ilości spękań siatko-



2. Porównanie kryteriów: AASHTO 2004 i kryterium francuskiego



3. Konstrukcja na ruch KR5 i KR6 zgodnie z Katalogiem Typowych Konstrukcji Podatnych i Półsztywnych

KONSTRUKCJA Przeznaczona na Prędkość 80 km/h	4		4		4		4		4		3	
	8	13	8	13	8	13	7	12	8	10	10	7
	AC WMS	AC WMS	AC WMS	AC WMS	AC WMS	AC WMS	AC WMS	AC WMS	AC WMS	AC WMS	AC WMS	AC WMS
	AC AF	AC AF	AC AF	AC AF	AC AF	AC AF	AC AF	AC AF	AC AF	AC AF	AC AF	AC AF
	RSM	RSM	RSM	RSM	RSM	RSM	RSM	RSM	RSM	RSM	RSM	RSM
	C _{100/3}	C _{100/3}	C _{100/3}	C _{100/3}	C _{100/3}	C _{100/3}	C _{100/3}	C _{100/3}	C _{100/3}	C _{100/3}	C _{100/3}	C _{100/3}
Wykorzystane kryterium	AASHTO 2004		AASHTO 2004		AASHTO 2004		Kryt. francuskie		Kryt. francuskie		Kryt. francuskie	
Grubość warstwy asf.	25 cm		25 cm		25 cm		23 cm		22 cm		22 cm	
Grubość łaznia na G1	65 cm		65 cm		62 cm		58 cm		57 cm		74 cm	
Uwagi	Warstwa podbudowy z mieszanki mineralno-asfaltowej (WMA) z dodatkiem modyfikatora polimerowego (PM) - klasa WMA-2		Warstwa podbudowy z mieszanki mineralno-asfaltowej (WMA) z dodatkiem modyfikatora polimerowego (PM) - klasa WMA-2		Warstwa podbudowy z mieszanki mineralno-asfaltowej (WMA) z dodatkiem modyfikatora polimerowego (PM) - klasa WMA-2						Warstwa podbudowy z mieszanki mineralno-asfaltowej (WMA) z dodatkiem modyfikatora polimerowego (PM) - klasa WMA-2	

4. Porównanie projektowanych konstrukcji na drodze ekspresowej S6

wych na powierzchni nawierzchni. W przypadku kryterium francuskiego parametrami wiodącymi również jest moduł sztywności i grubość, ale oprócz tego są jeszcze odkształcenia rozciągające ϵ_6 . Parametr ten należy określić w badaniu, w którym schematem jest zginanie wspornikowe belki trapezowej (w Polsce stosowany jest schemat belki zginanej czteropunktowej). W obliczeniach dodatkowo należy uwzględnić współczynniki ryzyka, materiału i podłoża (rys. 2).

Analizę porównawczą konstrukcji nawierzchni drogi ekspresowej S-6 na poszczególnych odcinkach należy rozpocząć od przedstawienia typowej konstrukcji dla kategorii ruchu KR5 i KR6 według w katalogu (rys. 3).

Łączna grubość warstw asfaltowych przy typowej konstrukcji na ruch KR6, przy podbudowie z mieszanki niezwiązanej z kruszywa $C_{90/3}$ wynosi 28 cm. Grubość warstw asfaltowych przy kategorii ruchu KR5 wynosi 24 cm. Jak już wspomniano konstrukcje katalogowe w pełni pokrywają zakres danej kategorii ruchu, to konstrukcje o warstwach asfaltowych o grubości w zakresie 25 – 28 cm mają trwałość zmęczeniowa będącą w zakresie kategorii ruchu KR6. To założenie jest poprawne w sytuacji odpowiednio dobranych dolnych warstw konstrukcji i ulepszo-

nego podłoża. Na ilustracji 4 przedstawiono konstrukcje zaprojektowane na drodze ekspresowej S6. Poszczególne rozwiązania uszeregowano od najgrubszych (pod względem warstw bitumicznych) do najcieńszych.

Największa grubość warstw asfaltowych wyniosła 25 cm i taką grubość zaprojektowano na trzech odcinkach. W tym przypadku wykorzystano kryterium AASHTO 2004. W jednej z trzech konstrukcji w warstwie wiążącej przewidziano beton asfaltowy o wysokim module sztywności. W każdej z trzech konstrukcji obliczonych kryterium AASHTO 2004 dolna warstwa asfaltowa (podbudowa) została zmodyfikowana względem WT-2 [6, 7] poprzez zmniejszenie objętościowej zawartości wolnych przestrzeni oraz zwiększenia zawartości asfaltu. Pozostałe 3 konstrukcje zostały wyznaczone w oparciu o kryterium francuskie. Grubość warstw asfaltowych wyniosła 22-23 cm. W najniższej warstwie asfaltowej wykorzystano beton asfaltowy o wysokim module sztywności AC WMS (2 konstrukcje) oraz mieszankę niestandardową, AC AF (antyzmęczeniową). W przypadku konstrukcji zaprojektowanej z wykorzystaniem koncepcji nawierzchni długowiecznej, pomiędzy warstwą ścierną i podbudową (warstwa AC AF) wykorzystano

warstwę wiążącą z betonu asfaltowego o wysokim module sztywności. Konstrukcja ta charakteryzuje się również najcieńszą warstwą ścierną (3 cm) wykonaną z mieszanki SMA 8 z lepiszczem modyfikowanym gumą. Niewielkie różnice występują w dolnej warstwie podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywa $C_{90/3}$. Grubość tej warstwy wynosi od 15 cm (1 konstrukcja) przez 17 cm (1 konstrukcja) do 20 cm (4 konstrukcje). Dolne warstwy (ulepszonego podłoża/podbudowy pomocniczej) zostały wykonane z mieszanek związanych spoiwem. Grubość tych warstw wynosiła od 15 cm do 22 cm, w zależności od projektu wykorzystano mieszanki związane spoiwem klasy $C_{1,5/2,0}$ lub $C_{3/4}$.

Analizując powyższe konstrukcje należy stwierdzić, że żadne z zaprezentowanych rozwiązań, zarówno w odniesieniu do grubości warstw jak i użytych materiałów nie są zgodne z rozwiązaniami katalogowymi. Zmiany te są znaczne i nie ograniczają się wyłącznie do grubości, ale dotyczą również parametrów mieszanek mineralno-asfaltowych. W trzech konstrukcjach przy ustalaniu trwałości zmęczeniowej wykorzystano inne kryterium warstw asfaltowych niż w katalogu. W przypadku jednej konstrukcji zdecydowano się na zaprojektowanie konstrukcji w oparciu o koncepcję nawierzchni długowiecznej.

Podsumowanie i wnioski

Z punktu widzenia trwałości zmęczeniowej nawierzchni istotne są również dolne warstwy konstrukcji i ulepszonego podłoża. Zgodnie z ogólnie panującą metodologią przyjmowano je w zależności od warunków gruntowo-wodnych. Autorzy w ramach artykułu skupili się jednak tylko na warstwach górnych konstrukcji. Analizując poszczególne rozwiązania, a także proces zatwierdzania projektów oraz realizacji nawierzchni, można przedstawić następujące wnioski:

1. kontrakty prowadzone w formule „projektuj-buduj” mogą prowadzić do zmniejszenia kosztów realizacji inwestycji przy jednoczesnym

- przeniesieniu części ryzyka na wykonawcę,
- zespół Inżyniera Kontraktu oraz inwestor musi posiadać odpowiednią kadrę do weryfikacji przedstawianych rozwiązań projektowych oraz do kontroli prac budowlanych w tym egzekwowania kluczowych niejednokrotnie niestandardowych rozwiązań projektowych,
 - w przypadku długich odcinków dróg podzielonych na mniejsze kontrakty, dopuszczenie indywidualnego projektowania nawierzchni może wiązać ze znacznym różnicowaniem konstrukcji nawierzchni co może przyczynić się do trudniejszego utrzymania nawierzchni i jej remontów,
 - w przypadku realizacji różnych konstrukcji nawierzchni przez różnych wykonawców istnieje pro-

blem odpowiedniego połączenia na odcinkach stykowych,

- projektant w formule „projektuj-buduj” jest podany presji ekonomicznej przy jednoczesnym konieczności spełnienia wymagań kontraktowych oraz poprawności technicznej przyjmowanych rozwiązań. ◀

Materiały źródłowe

- www.gddkia.gov.pl, 05.10.2018 r.
- Katalog typowych konstrukcji nawierzchni podatnych i półsztywnych, GDDKiA, Politechnika Gdańska, Załącznik do zarządzenia Nr 31 Generalnego Dyrektora Dróg Krajowych i Autostrad z dnia 16.06.2014 r.
- Judycki i inni, Weryfikacja i aktualizacja „katalogu typowych kon-

- strukcji nawierzchni podatnych i półsztywnych” z 1997 roku - Raport z trzeciego etapu, Politechnika Gdańska, Gdańsk 2011
- Zborowski A., Ruttmar I. Nawierzchnie długowieczne, kolejny poziom ewolucji w rozwoju drogownictwa, Krakowskie Dni Nawierzchni 2014, 25-27 listopad 2014
 - Mieczkowski P., Majer St., Budziński B. Potrzeba adaptacji kryterium francuskiego do projektowania nawierzchni podatnych i półsztywnych w Polsce, Magazyn Autostrady, 11-12/2017, 72-76
 - WT-2 2014 – część I Mieszanki mineralno-asfaltowe Wymagania Techniczne, GDDKiA 2014
 - WT-2 2014 – część II Wykonanie warstw nawierzchni asfaltowych Wymagania Techniczne, GDDKiA 2014

REKLAMA



CZAS NA INNOWACYJNE BUDOWNICTWO

Oferujemy **profesjonalne usługi** z zakresu:

- budowy infrastruktury komunikacyjnej, sieci instalacyjnych i obiektów hydrotechnicznych,
- wykonywania pomiarów geodezyjnych, tworzenia map do celów projektowych, wytyczenia budynku i sieci.



**W BUDOWNICTWIE WYBIERZ FIRME,
KTÓREJ MOŻESZ ZAUFAĆ**

Zobacz, co już wybudowaliśmy
i dla kogo pracowaliśmy:
www.gm-roads.pl

Biuro:

ul. Krzemieniecka 47,
54-613 Wrocław

Budownictwo inżynieryjne:

tel.: (71) 300 12 40
e-mail: info@gm-roads.pl

Geodezja:

tel.: 697 660 932
e-mail: m.wozniak@gm-roads.com

Siedziba firmy:

ul. Wrocławska 41, Łążany
58-130 Żarów