



ANDRZEJ J. KOSICKI¹⁾

Administracja Drogowa
Stanu Maryland, USA
ajkosicki@verizon.net

Zmodyfikowany węzeł karo

Epoka, w której reszta świata przyjeżdżała do Stanów Zjednoczonych Ameryki Północnej po naukę wydaje się odchodzić do przeszłości. W artykule zaprezentowano przykład wdrażania europejskich rozwiązań na drogach USA szczegółowo opisany w [1]. Oto zagadka dla amerykańskich drogowców: co pochodzi z Francji i może przeprowadzić kierowcę bezpiecznie przez wiele punktów potencjalnych kolizji? Prawidłowa odpowiedź: zmodyfikowany węzeł typu karo z podwójnym skrzyżowaniem o angielskiej nazwie *double crossover diamond (DCD)*, nazywany również „rozbieżnym karem” (*diverging diamond*).

Bardzo wiele węzłów drogowych w terenach zurbanizowanych w USA charakteryzuje się nadmierną gęstością ruchu i w konsekwencji, wysokim wskaźnikiem wypadkowości. Konwencjonalne rozwiązanie typu karo (*conventional diamond*) jest najbardziej popularnym, stanowiącym aż 62% wszystkich amerykańskich węzłów drogowych. Tradycyjne karo są dwupoziomowymi rozwiązaniami pozwalającymi na bezkolizyjny ruch na drodze głównej, ale stwarzającym wiele punktów kolizji na drodze podporządkowanej. Dodatkowo, poszerzenie konstrukcji mostowych wymaganych na takich węzłach może być bardzo kosztowne, gdy rosnące natężenie ruchu wymaga wybudowania dodatkowych nowych pasów ruchu.

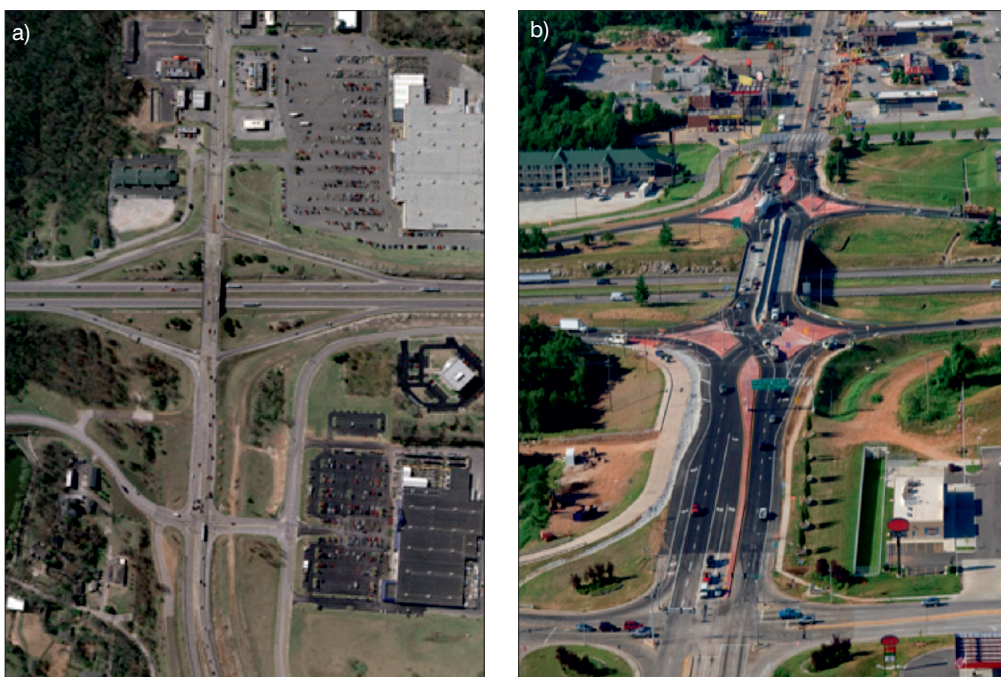
Pierwszy węzeł według koncepcji „rozbieżnego karo” został wybudowany we Francji 30 lat temu, w Wersalu. Innymi przykładami mogą być węzły w Seclin i Perreux-Sur-Marne, również we Francji. Dyrektor francuskiego *Centre d'Etudes Techniques de l'Equipement Normandie-Centre*, Michel Labrousse, zachował pełną kopię dokumentacji łącznie z projektem sygnalizacji świetlnej oraz danymi o ruchu i udostępnił ją amerykańskim projektantom. Projekt w Wersalu znacznie usprawnił przepustowość węzła i znacząco zredukował liczbę wypadków w porównaniu z uprzednio istniejącym tradycyjnym karem.

Tego typu projektowanie było jeszcze do niedawna praktycznie nieznaną w USA. Co gorsza, nieliczni projektanci posiadający wiedzę na ten temat odrzucali koncepcję zmodyfikowanego karo jako zbyt niekonwencjonalną. Powtarzała się trwająca trzy dekady historia skrzyżowania typu rondo. Było ono zdecydowanie odrzucane przez amerykańskich projektantów pomimo pozytywnych doświadczeń zarówno w Europie, jak i w Australii. Dzisiaj jest jednym z bardziej popularnych typów skrzyżowań na drogach USA.

Dopiero niedawno naukowcy z ośrodka badawczego federalnej administracji drogowej (FHWA) w Wirginii (*Turner-Fairbank Highway Research Center – TFHRC*) rozpoczęli popularyzowanie węzłów typu DCD w Stanach Zjednoczonych. W efekcie ich starań administracja drogowa stanu Missouri jako pierwsza w Stanach Zjednoczonych oddała do eksploatacji w czerwcu 2009 r. węzeł typu DCD (fot. 1b).

Organizacja ruchu na węźle typu DCD

Funkcjonowanie węzła DCD polega na skanalizowaniu ruchu na drodze podporządkowanej i przekierowaniu go z prawej strony drogi na lewą, a następnie powrocie na prawą stronę na końcu skrzyżowania. W odróżnieniu od tradycyjnego karo, węzeł typu DCD umożliwia połączenie potoków ru-



Fot. 1. a) Oryginalny węzeł typu karo przed przebudową [2], b) Pierwszy amerykański węzeł typu DCD w Springfield, stan Missouri [2]

¹⁾ Autor był pracownikiem Transprojektu-Warszawa w latach 1974–1981

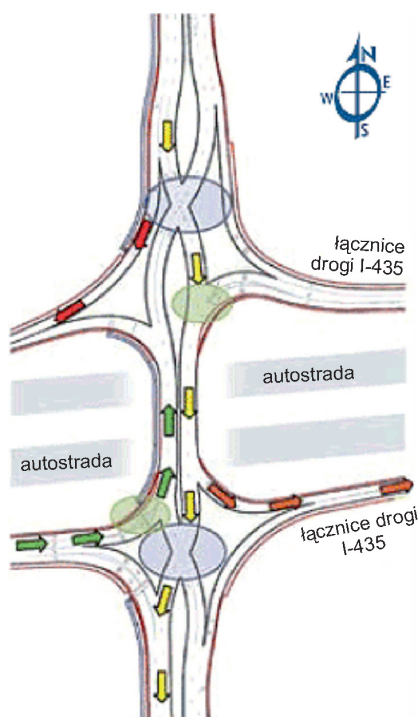
Tabela 1. Porównanie efektywności węzła DCD i konwencjonalnego kara [4]

Poziom natężenia ruchu	Ruch na wjeździe [poj/h]	Przepustowość węzła [poj/h]		Czas przejazdu [s/poj]		Czas oczekiwania na czerwonym świetle [s/poj]		Ilość miejsc zatrzymania pojazdu		Maksymalna długość kolejki na wjeździe [m]	
		DCD	Karo	DCD	Karo	DCD	Karo	DCD	Karo	DCD	Karo
Wysoki 3	6,100	5,800	5,228	62	105	32	55	1,4	2,4	363	507
Wysoki 2	5,600	5,380	5,187	40	91	24	46	0,9	2,3	305	357
Wysoki 1	5,100	4,912	4,869	32	66	20	35	0,8	1,8	147	338
Średni	3,200	3,074	3,104	20	26	12	13	0,7	0,9	73	80
Niski	1,700	1,631	1,631	17	20	11	11	0,6	0,8	37	36

chu pojazdów skręcających w lewo, z potokiem ruchu jadącym na wprost (tranzytowym). Osiąga się to przez skierowanie zarówno ruchu skręcającego w lewo, jak i ruchu tranzytowego na przeciwległe pasy na obu końcach skrzyżowania. W rezultacie pojazdy w obu kierunkach ruchu przejeżdżają przez wiadukt po lewej stronie.

W węźle DCD sygnalizacja drogowa wymaga tylko dwóch faz zamiast trzech lub czterech, a sygnalizatory są zlokalizowane w punktach krzyżującego się ruchu (*crossover junctions*) pokazanych na rysunku 1. Po przejechaniu sygnalizacji, zarówno ruch skręcający w lewo jak i ruch jadący na wprost kontynuują jazdę bez potrzeby zatrzymywania się. Odpowiednia konfiguracja świateł wymaga zatrzymania się tylko na jednej z dwóch sygnalizacji. Eliminuje to wymaganie osobnej fazy do ruchu lewoskrętnego, jak również potrzebę odrębnego pasa dla czekających na zielone światło pojazdów skręcających w lewo.

Pojazdy zjeżdżające z autostrady włączają się do ruchu na drodze podporządkowanej na odcinku pomiędzy sygnalizatorami i kontynuują jazdę po zmianie światła. W przypadku, gdy zjazd z autostrady jest kontrolowany sygnalizatorem umieszczonym na końcu łącznicy, ruch zjeżdżający może za-



Rys. 1. Schemat ruchu na węźle DCD [3]

trzymać się dwukrotnie: najpierw na czerwonym świetle na końcu łącznicy, a następnie na czerwonym świetle na skrzyżowaniu.

Zalety węzła typu DCD

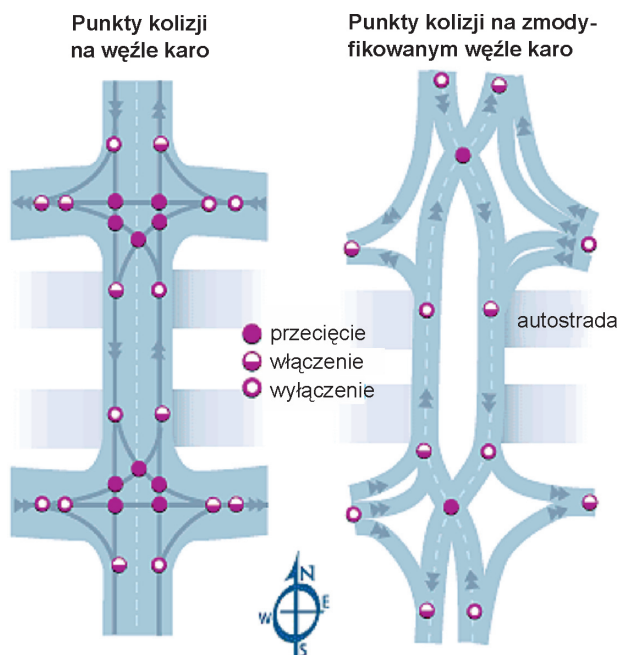
W porównaniu z konwencjonalnym karem węzeł typu DCD oferuje

zwiększenie funkcjonalności i bezpieczeństwa ruchu, mniejsze wpływy środowiskowe, oraz niższe koszty eksploatacji.

Zwiększona funkcjonalność oznacza korzyści operacyjne wynikające z możliwości łączenia ruchu lewoskrętnego z ruchem na wprost i wyeliminowania fazy sygnału dla skrętu w lewo, koniecznej w przypadku konwencjonalnego kara. Faza dla ruchu lewoskrętnego jest niepotrzebna, ponieważ ruch lewoskrętny jest połączony z ruchem na wprost po lewej stronie drogi. Pozwala to na podwojenie przepustowości dla pojazdów skręcających w lewo i zredukowanie całkowitego czasu przejazdu o około 50% w porównaniu z rozwiązaniem konwencjonalnym w warunkach wysokiego natężenia ruchu. Największe zyski w zwiększaniu przepustowości obserwuje się w warunkach zróżnicowanych natężeń ruchu w przeciwnych kierunkach ze względu na fakt, że światła pozwalają na ruch przelotowy tylko w jednym kierunku w danym momencie.

Zwiększone bezpieczeństwo ruchu jest efektem trzech elementów projektowania. Po pierwsze, ilość potencjalnych punktów kolizyjnych jest zmniejszona do 14 w porównaniu z 26 takimi punktami w węźle konwencjonalnym (rys. 2). Po drugie, poprawę bezpieczeństwa ruchu osiąga się poprzez zastosowanie odwrotnych łuków na skrzyżowaniach ze światłami. Wprowadzenie krzywizny prowadzi do redukcji prędkości w potencjalnych punktach kolizji, zmniejszając ich prawdopodobieństwo. Dodatkowym aspektem bezpieczeństwa jest zwiększona ochrona pieszych oraz rowerzystów (w odróżnieniu od konwencjonalnego kara ruch przelotowy na węźle DCD musi zatrzymać się przynajmniej raz na jednym ze świateł w czasie przejazdu przez skrzyżowanie). FHWA i administracja drogowa w stanie Missouri planują opublikowanie amerykańskich danych w ciągu najbliższych dwóch lat. Dane dostępne w chwili obecnej pokazują, że na węźle DCD w Wersalu odnotowano zaledwie 11 drobnych stłuczek w okresie 5 lat, podczas gdy przeciętna dla konwencjonalnego kara w Stanach Zjednoczonych to 23 poważne wypadki (z ofiarami śmiertelnymi bądź poważnymi zranieniami) w takim samym czasie.

Zmniejszone wpływy środowiskowe. Obecnie brak jeszcze konkretnych danych, ale porównując węzły konwencjonalne z węzłami typu DCD należy wskazać na zmniejszony areał powierzchni terenu wymaganego pod budowę, co pozwala na zmniejszenie kosztów nabycia gruntów oraz na stwarzanie dodatkowych elementów zieleni. W przypadku przebudowy istniejących węzłów, korzyści są jeszcze większe ze względu na zmniejszenie ilości robót ziemnych, oraz



Rys. 2. Porównanie punktów kolizji w obu typach węzłów; po lewej tradycyjne karo, po prawej DCD [3]

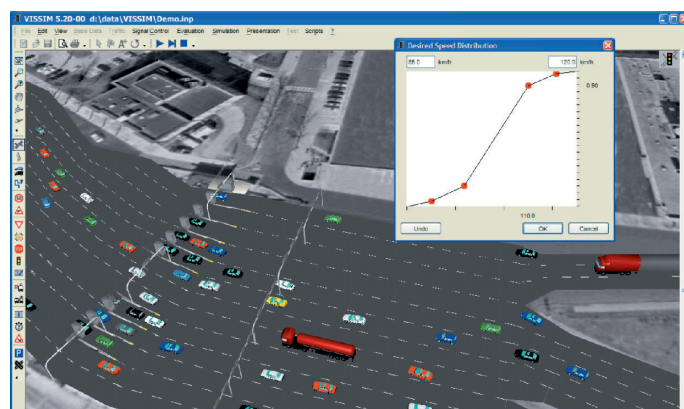
z uwagi na wykorzystanie istniejącego wiaduktu bez potrzeby dobudowy dodatkowych pasów ruchu. Inne korzyści to skrócony czas postoju na światłach i wynikające z tego oszczędności w paliwie oraz zmniejszenie zanieczyszczenia środowiska.

Niższe koszty budowy. Przebudowa konwencjonalnego węzła typu karo w Springfield w stanie Missouri na węzeł typu DCD pozwoliła zaoszczędzić 6,8 miliona dolarów w porównaniu do kosztu modyfikacji tradycyjnego karo wymagającej dobudowy dodatkowych pasów ruchu bądź budowy nowego węzła.

Wdrażanie DCD w USA

Przy tak wielu zaletach wydawałoby się, że rozpowszechnienie tego typu węzła nie powinno przedstawiać żadnych problemów. Tak jednak nie jest pomimo faktu, że wielu inżynierów docenia walory zmodyfikowanego węzła. Pytania wymagające odpowiedzi wiążą się ze społeczną akceptacją tego typu projektowania: czy kierowcy amerykańscy nie będą protestować, widząc ruch w przeciwnym kierunku po swojej prawej stronie, zamiast zwyczajowej lewej? Czy geometria skrzyżowań nie będzie problemem dla kierowców, zwłaszcza tych mniej doświadczonych? I wreszcie, czy lokalne władze będą miały odwagę wprowadzić nowy, nieznan w Stanach typ węzła drogowego?

Inżynierowie w *TFHRC* przewidując tego typu wątpliwości rozpoczęli prace badawcze nad DCD już kilka lat temu. Pierwszym kro-



Rys. 3. Przykładowa symulacja w aplikacji VISSIM

kiem było przetestowanie geometrii i aspektów eksploatacyjnych węzła DCD. Do tego celu posłużyły dwa typy symulacji: najpierw w skali mikro przy pomocy modeli komputerowych, a następnie w skali 1:1 w warunkach terenowych pozwalających na bezpośrednią obserwację zachowania kierowców.

Do jednej z takich mikrosymulacji użyto niemiecki model VISSIM (<http://www.vissim.de>) pozwalający na symulację rozmaitych scenariuszy ruchowych pomagających projektantom w wyborze optymalnego do danego projektu typu węzła bądź skrzyżowania drogowego (rys. 3).

Porównanie tradycyjnego karo z węzłem DCD w tych samych warunkach ruchu pokazało wzrost przepustowości o około 30%. Największy wzrost odnotowano w warunkach nie zrównoważonego ruchu tj. przy znacznych różnicach natężenia ruchu w przeciwnych kierunkach, oraz przy dużym natężeniu ruchu lewoskrętnego na obu drogach.

Następnym etapem było wytypowanie stanowej administracji drogowej zainteresowanej budową węzła typu DCD. W tym celu FHWA rozpoczęła rozmowy z administracją drogową stanu Missouri, gdzie projektanci pracowali nad projektem przebudowy węzła typu karo na skrzyżowaniu autostrady I-44 (*Interstate Route 44*) z drogą stanową nr 13 (*Kansas Expressway*). Inżynierowie z Missouri odwiedzili *TFHRC*, aby przeprowadzić wirtualne testy proponowanego węzła typu DCD. Testy przekonały projektantów, że nowy typ węzła jest lepszym rozwiązaniem. Ponadto symulacje przejazdu przez proponowany węzeł pozwoliły nie tylko na nabranie zaufania, co do zdolności adaptacji kierowców do odmiennej organizacji ruchu na węzle, ale również zaowocowały różnymi ulepszeniami w geometrii węzła, jego oznakowaniu oraz sygnalizacji świetlnej.

Tabela 2. Porównanie efektywności węzłów typu konwencjonalne karo i DCD [4]

Przepustowość	Zjazd na północ [poj/h/pas]		Zjazd na południe [poj/h/pas]		Zjazd na wschód [poj/h/pas]		Zjazd na zachód [poj/h/pas]	
	L	T	L	T	L	T	L	T
Konwencjonalne karo	390	390	330	600	330	600	330	600
DCD (cztery pasy ruchu)	600	600	600(L/T)*	600	600(L/T)*	600	600(L/T)*	600
DCD (sześć pasów ruchu)	700	700	600(L/T)*	600	600(L/T)*	600	600(L/T)*	600

* (L/T) oznacza, że pas jest używany zarówno przez ruch lewoskrętny, jak i ruch tranzytowy (na wprost)

Podsumowanie

Administracja drogowa stanu Missouri pierwotnie planowała budowę węzła *DCD* w Kansas City, ale ze względów budżetowych jako pierwszy wybudowano węzeł w Springfield. Wynikało to z potrzeby rozwiązania korków drogowych na bardzo obciążonej ruchem drodze stanowej nr 13 (*Kansas Expressway*), przede wszystkim na węźle z autostradą I-44. O wyborze węzła typu *DCD* zdecydowało kilka czynników: niższe koszty, krótszy czas budowy oraz większe bezpieczeństwo ruchu. Pozwoliło to na stworzenie hasła dla projektu: szybciej, taniej i bezpieczniej! Dodatkowym plusem nowego typu węzła była możliwość oddzielenia ruchu pieszego i rowerowego od ruchu samochodowego poprzez zlokalizowanie ciągu pieszo-rowerowego w pasie dzielącym.

Koszt budowy węzła wyniósł zaledwie 3,2 miliona dolarów dzięki wyeliminowaniu potrzeby przebudowy istniejącego wiaduktu, która byłaby konieczna w przypadku węzła konwencjonalnego (kosztem dodatkowych 6,8 milionów dolarów). Czas trwania budowy został skrócony do 6 miesięcy dzięki adaptacji istniejącego wiaduktu (w porównaniu z 12–18 miesiącami niezbędnymi do budowy poszerzonego wiaduktu wymaganego w przypadku tradycyjnego węzła karo). Zaoszczędzone fundusze pozwoliły na dodatkowe inwestycje drogowe.



Fot. 2. Przejście dla pieszych zlokalizowane w pasie dzielącym węzła w Springfield [2]

Już w ciągu pierwszych miesięcy eksploatacji węzła zaobserwowano zwiększone bezpieczeństwo ruchu: w ciągu pierwszych sześciu miesięcy liczba kolizji pomiędzy punktami włączenia i wyłączenia zmniejszyła się o 50%, zaś ilość kolizji w obrębie całego węzła spadła o 25% w porównaniu z analogicznym okresem w 2008 roku. Większość wypadków była efektem najechania na samochód poprzedzający; nie odnotowano ani jednego wypadku, który byłby spowodowany jazdą po złej stronie drogi. Redukcja ilości kolizji jest efektem wyeliminowania punktów kolizji ruchu lewoskrętnego oraz poprawienia poziomu swobody ruchu. Zdaniem administracji drogowej stanu Missouri żaden z zaistniałych wypadków nie był efektem zmiany typu węzła.

Węzeł *DCD* pozwala również na zwiększenie bezpieczeństwa ruchu pieszego i rowerowego dzięki wykorzystaniu pasa dzielącego, w którym zlokalizowano pas dla pieszych i rowerzystów o łącznej szerokości 2,9 m. Po obu stronach pasa umieszczono betonowe bariery ochronne oddzielające ruch samochodowy. Światła zlokalizowane na skrzyżowaniach (*crossover junctions*), będących jednocześnie końcami pasa dzielącego, pozwalają na bezpieczne przekraczanie jezdni.

Wkrótce po zakończeniu budowy administracja drogowa stanu Missouri przeprowadziła ankietę wśród mieszkańców Springfield. Zatrudniona w tym celu wyspecjalizowana firma przesłała ankiety do 400 losowo wybranych mieszkańców miasta i otrzymała 75 odpowiedzi. Znakomita większość odpowiedzi oceniła projekt bardzo pozytywnie: 96,7% uznało nowy węzeł za bardziej bezpieczny, 95,2% za mniej zatłoczony, 86,9% za łatwiejszy do przejazdu i 89,8% za lepiej oznakowany. 89,4% uważało, że węzeł typu *DCD* jest właściwym rozwiązaniem drogowym.

Równie pozytywnie wyrażają się o węźle *DCD* funkcjonariusze ruchu drogowego miejscowej policji. Ich zdaniem częstość wypadków na węźle została znacznie zmniejszona. Ponadto rekonfiguracja węzła poprawiła przelotowość ruchu miejskiego.

Zdaniem menadżerów *FHWA*, inżynierowie z Ośrodka Badawczego w Turner-Fairbanks mieli poważny wpływ na decyzję administracji drogowej stanu Missouri o wyborze węzła *DCD* dzięki wykonanym przez nich symulacjom komputerowym. Podkreślają również, że *FHWA* od wielu lat promuje nowatorskie i efektywne rozwiązania w projektowaniu skrzyżowań. Węzeł typu *DCD* jest doskonałym tego przykładem.

Bibliografia

- [1] Public Roads (November/December 2010)
 - [2] Archiwum Missouri Department of Transportation (MoDOT)
 - [3] Archiwum Federalnej Administracji Drogowej (FHWA)
 - [4] Archiwum Transportation Research Board (TRB; 3rd International Symposium on Highway Geometric Design, June 29-July 2005, Chicago, Illinois Compendium of Papers CD-ROM, Table 6, p. 14)
- Wszystkie materiały wykorzystano za zgodą powyższych instytucji. ■

Z prasy zagranicznej

Pożyczka dla Bangladeszu

Pożyczka z Japonii i Banku Światowego ma wspomóc sfinansowanie budowy mostu w Bangladeszu o koszcie 300 mln USD. Po wybudowaniu most, przekraczający rzekę Padma, będzie dwupoziomym mostem drogowo-kolejowym. Górny poziom będzie przeznaczony dla ruchu kołowego, a dolny dla jednotorowej linii kolejowej.

World Highways, listopad – grudzień 2010

JG

Tunel w Seattle

Tunel długości 2,7 km poprowadzi autostradę 999 wzdłuż nabrzeży Seattle. Tunel ten będzie biegł na głębokości do 61 m. Waszyngtońskie Ministerstwo Transportu przeznaczy na ten projekt 1,1 miliarda dolarów. Będzie on zrealizowany przez hiszpańską firmę, a jego planowana przepustowość wyniesie 110 tys. pojazdów na dobę.

World Highways, 1-2/2011

MR