



STEFAN SARNA

AECOM Sp. z o.o.
stefan.sarna@aecom.com

Tory wyścigów samochodowych

Udział Roberta Kubicy, pierwszego Polaka z sukcesami w tej dziedzinie, zwiększył zapewne zainteresowanie wyścigami samochodowymi Formuły 1 (F1), które regularnie rozgrywane są na torach wyścigowych na wszystkich kontynentach. Oglądanie sprawozdań telewizyjnych z wyścigów

może wywołać refleksję w poszukiwaniu odpowiedzi na pytanie: jak to się dzieje, że na ostrych, ale też często rozwartych do 180° kątach zwrotu, łukach kierowcy potrafią jechać z bardzo dużymi prędkościami i nie wypadają z trasy. Oczywiście zdarzają się tragiczne w skutkach przypadki.

Artykuł, bazując na informacjach pochodzących ze źródeł podanych na odnośnikach, ma na celu przekazanie syntetycznych danych na temat ważniejszych, a właściwie bardziej znanych z nazwy, torów wyścigów samochodowych. Informacje te poprzedzono omówieniem czynników bezpieczeństwa ruchu na torach, których podstawą jest przede wszystkim konstrukcja samochodów wyścigowych, F1 zwanych bolidami. Nie komentowano zapewne jednej z ważniejszych składowych bezpieczeństwa, jaką są umiejętności kierowców.

Tor wyścigowy to jezdnia o utwardzonej nawierzchni (bez poboczy utwardzonych), ograniczona białymi liniami, zazwyczaj o zamkniętym obiegu¹, na której ruch odbywa się zgodnie z ruchem wskazówek zegara, ale też na niektórych torach przeciwnie do tego ruchu. Tor wyścigowy służy do organizowania wyścigów samochodowych, motocyklowych i kartinowych, do których może być wyznaczone okrążenie o mniejszej długości.

Na pojęcie toru składa się kompleks obiektów, zazwyczaj ogrodzonych, położonych, ze względów ochrony środowiska, poza miastem. Są nimi: centrum kierowania wyścigiem, trybuny dla widzów, drogi dojazdowe do toru, strefy bezpieczeństwa tak dla widzów jak i kierowców, boksy techniczne, w których odbywa się tankowanie paliwa, parku maszyn, miejsca startu, parking na ambulansy, centrum medyczne, lądowisko helikopterów, parking na samochody osobowe i punkty obserwacyjne dla sędziów trasy. Ponadto zagospodarowanie terenu toru jest obsługiwane przez sprawne połączenia z siecią drogową i rozległym parkingiem dla widzów. Specjaliści z tej dziedziny inżynierii drogowej mówią, że tor wyścigowy powinien pobudzać wyobraźnię kierowców. Zdaniem doświadczonego eksperta, twórcy wielu torów Hermanna Tilke pobudzeniu służą, wzniesienia, „ślepe zakręty” (krzywe bez wystarczającej widoczności – przyp. autora), kombinacje szybkich i wolnych łuków. Każdy tor powinien ponadto mieć jeden bardzo trudny zakręt. Zakręt, który wymaga olbrzymich umiejętności oraz dużej dozy zimnej krwi. Powinien mieć miejsca do wyprzedzania.

¹ Są wyjątki, np. uliczny tor Monaco prowadzony ulicami Monte Carlo lub tor wyścigowy Kielce, wykorzystujący na wyścigi jezdnię drogi krajowej

W Europie zwykle tory są kręte i ciasne, choć tory włoskie odbiegają swoją koncepcją przestrzenną od innych. W USA zaś dominują obiekty owalne, na których osiągnęte są bardzo duże prędkości. Toru wyścigowego nie należy mylić z torem „rallycrossowym”, który oprócz odcinków asfaltowych często ma części o luźnej nawierzchni szutrowej.

Użytkowanie toru wyścigowego zgodnie z przeznaczeniem wymaga uzyskania licencji wydawanej przez Międzynarodową Federację Samochodową FIA².

Licencje FIA toru są wydawane od stopnia 1 do stopnia 6 w zależności od typów i grup samochodów, które uznaje się, że tor jest gotowy przyjąć do wyścigów (1 – F1, a 6 – rajdy terenowe).

Parametry geometrii torów wyścigowych

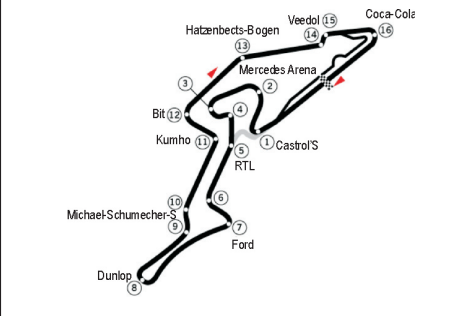
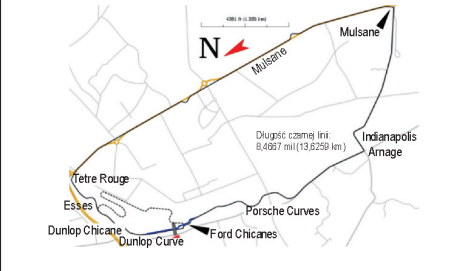
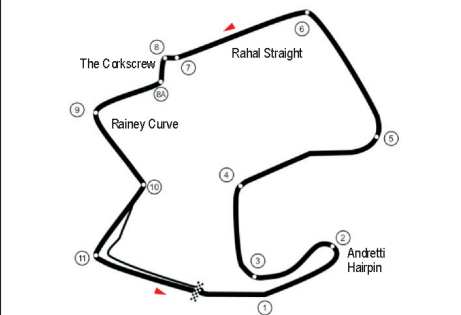
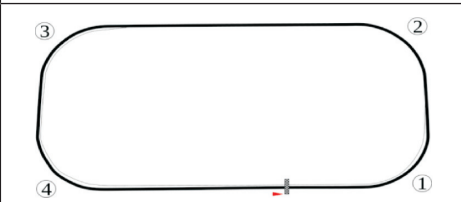
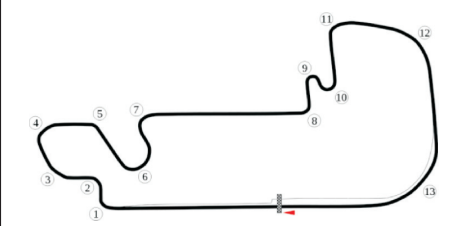

Kształt trasy toru zarówno w odniesieniu do jego planu (rzutu na płaszczyznę poziomą), jak i profilu (przekroju podłużnego) nie podlega żadnym ograniczeniom, chociaż FIA może zalecić pewne zmiany sprzyjające jakości współzawodnictwa i ze względów praktycznych. Maksymalna dozwolona długość sekcji w linii prostej jezdni wynosi 2 km. Jeżeli tor jest przewidywany do organizacji zawodów zaliczanych do mistrzostw, trofeum lub pucharów FIA, długość toru powinna być obliczona tak, aby spełnione były minima w zasadach homologacji. Zaleca się, aby maksymalna długość każdego nowo budowanego toru nie przekraczała 7 km. Do określania długości wyścigu, ważności rekordów tych wyścigów oraz klasyfikacji zawodników długość toru jest mierzona po osi jezdni, pomiędzy jej krawędziami, oznaczonymi białą linią z dokładnością do 1 m, uwzględniając trasę w planie i profilu podłużnym.

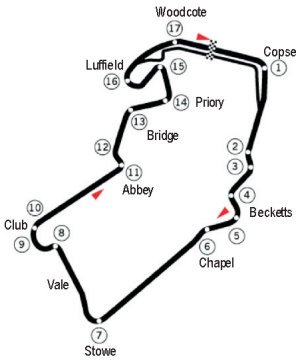

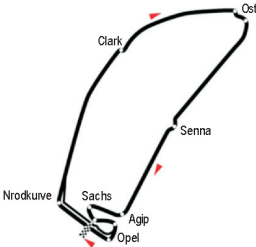
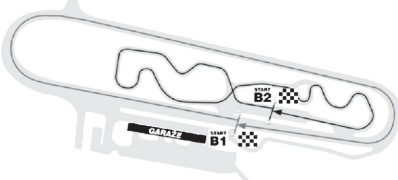
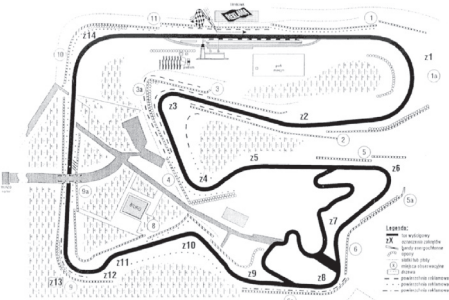
Faktycznie nie tak mierzona długość toru ma podstawowe znaczenie w przebiegu wyścigów. Obserwacja zachowań kierowców prowadzi do wniosku, że decyduje nie fizyczna (pomierzona) długość odcinków prostych i łuków, lecz rzeczywista trajektoria poruszania się samochodów o najwyższych parametrach. Wytyczana na planie trajektoria ruchu bolidów na ogół będzie się charakteryzować tendencją do skracania odcinków prostych i wydłużania odcinków krzywoliniowych. Dlatego podczas projektowania lub modyfikacji planu trasy toru należy uwzględniać w obliczeniach te okoliczności. W tym m.in. zawiera się różnica w podejściu do projektowania tzw. normalnej drogi i toru wyścigowego, też drogi, lecz specjalnej. Inne różnice z uwagi na skrótowy charakter artykułu nie będą omawiane.

Nowe tory stałe mają szerokość co najmniej 12 m. W miejscach gdzie szerokość jezdni zmniejsza się, zmiana szerokości jest robiona w sposób możliwie stopniowy, z minimalnym skosem 1:20 (1 m zmiany szerokości na 20 m długości trasy).

² (fr. Federation Internationale de l'Automobile)

Tabela 1. Zestawienie ważniejszych informacji o wybranych torach wyścigowych

Lp	Nazwa i lokalizacja toru	Główne imprezy motorowe	Charakterystyka		Plan sytuacyjny
			Długość w km, funkcjonowanie	Wybrane cechy geometrii toru	
1	Nürburgring (Niemcy) ¹	Formuła 1 Grand Prix Niemiec Grand Prix Europy	Długość 5,141 km. Funkcjonuje od 1985 r. kierunek jazdy zgodny ze wskazówkami zegara. Tor łączy się ze specjalnie przygotowaną trasą górską Nordschleife o dł. 20,8 km, udostępniane z torem odpłatnie dla chętnych	16 zakrętów, w tym 14 o kącie zwrotu ponad 90°, w tym 3 po ok.300°, krótkie proste; krętość 316,6°/km	
2	Circuit de la Sarthe ² -Le Mans (Francja)	24 h LeMans	Długość 13,629 km. Wykorzystanie lokalnych dróg, kierunek jw.	15 zakrętów, lecz bardzo długa prosta 6 km na której osiągnęła prędkość do 400 km/h, aby zmniejszyć zastosowano szykany; krętość 71°/km	
3	Mazda Raceway Laguna Seca ³ USA, Monterey, Kalifornia		Długość 3,602 km. Funkcjonuje od 1957 r., kierunek jazdy przeciwny	11 zakrętów; krętość 297°/km	
4	Indianapolis, stan Indiana USA ⁴	Indianapolis 500, NASCAR i MotoGP.	Długość 4,023 km. Funkcjonuje od 1909 r., kierunek jazdy zgodny, 273 tys. widzów, z miejscami wewnątrz 400 tys.	Tor owalny, 4 zakręty; krętość 89,5°/km. Z uwagi na duże prędkości dla Formuły 1 wybudowano tor poniższy, wykorzystujący fragmenty owalnego	
5	Indianapolis, jw.	Formuła 1	Długość 4,2 km. Otwarcie w 2000 r.	13 zakrętów; krętość 315°/km	
6	Tor wyścigowy Enzo i Dino Ferrari, Imola ⁵ k. Bolonii Włochy	MotoGP, Formuła 2, WTCC, GP San Marino	Długość 4,933 km. Funkcjonował od 1980 r. do 2006 r.	17 zakrętów; krętość 243°/km	

Lp	Nazwa i lokalizacja toru	Główne imprezy motorowe	Charakterystyka		Plan sytuacyjny
			Długość w km, funkcjonowanie	Wybrane cechy geometrii toru	
7	Silverstone Circuit ⁶ , Northampton-shire i Buckingham-shire, Wielka Brytania	Formuła 1, GP2, BTCC	Długość 5,141 km. Funkcjonuje od 1948 r. kierunek jazdy zgodny ze wskazówkami zegara	17 zakrętów, krętość toru 290°/km	
8	Suzuka Circuit ⁷ , Japonia Prefektura Mie		Długość 5,807 km. Otwarcie w 1962 r.	17 zakrętów, kształt ósemki z przecięciem dwupoziomowym toru, krętość toru 260°/km	
9	Hockenheimring ⁸	GP Niemiec	Długość 4,574 km. Otwarcie po przebudowie w 1970 r. ale wybudowany był w 1936 r. dla spółki Mercedes	17 zakrętów, szerokość: w największym miejscu 15 m. Trybuny wokół mogą pomieścić 120 tys. widzów	
10	Tor Wyścigowy Kielce ⁹ , Miedziana Góra k. Kielc		Mała pętla (owal) długość 1,140 km, duża – 4,160 km (częściowo pokrywa się DK 75). Otwarcie 1976 r.	Był to pierwszy w Polsce tor wyścigowy samochodowy, motocyklowy i kartingowy. Tor jest wykorzystywany też jako giełda samochodowa	
11	Tor wyścigowy Poznań ¹⁰		Tor samochodowy/motocyklowy o długości 4,083 km, tor kartingowy Otwarty w 1977 r.	14 zakrętów (9 lewych, 5 prawych). Najdłuższa prosta 560 m, najkrótsza 60 m. Różnica wysokości 6,7 m. Szerokość toru 12 m.	

¹ http://pl.wikipedia.org/w/index.php?title=Plik:Circuit_N%C3%BCrburging

² http://pl.wikipedia.org/wiki/24h_Le_Mans

³ http://pl.wikipedia.org/wiki/Mazda_Raceway_Laguna_Seca

⁴ http://pl.wikipedia.org/wiki/Indianapolis_Motor_Speedway

⁵ http://pl.wikipedia.org/wiki/Autodromo_Enzo_e_Dino_Ferrari

⁶ http://pl.wikipedia.org/wiki/Silverstone_Circuit

⁷ http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/79/Circuit_Suzuka

⁸ <http://pl.wikipedia.org/wiki/Hockenheimring>

⁹ http://pl.wikipedia.org/wiki/Tor_Kielce

¹⁰ http://pl.wikipedia.org/wiki/Tor_Pozna%C5%84

Szerokość pola startowego musi wynosić co najmniej 15 m; szerokość ta musi być utrzymana do wyjścia z pierwszego zakrętu (tak, jak wskazana przez trajektorię wyścigową).

Każda zmiana nachylenia niwelety toru powinna być wyokrąglona łukiem kołowym z zastosowaniem co najmniej minimalnego promienia R w płaszczyźnie pionowej³.

Wartość promienia R powinna być odpowiednio zwiększona w strefach krzywizn, hamowania, wjazdu i zjazdu z łuków. Jeżeli to możliwe, na odcinkach tych należy w ogóle unikać zmiany nachylenia. Pochylenie podłużne prostej startu/mety nie powinno przekraczać 2%.

Przekrój poprzeczny, odwodnienie

Na odcinkach prostych spadki poprzeczne jezdni powinny zawierać się w granicach między 1,5, a 3%, w celu właściwego odprowadzenia wody deszczowej. Łuki poziome powinny być wyposażone w przechyłki nieprzekraczające 10% (z dopuszczeniem wyjątków dla torów specjalnych, jak na przykład owalnych).

Odwrócone spadki poprzeczne są zasadniczo niedopuszczalne, o ile nie wynika to ze szczególnych okoliczności, lecz wówczas prędkość w geometrycznym początku łuku nie może przekraczać 125 km/h. Wszelkie zmiany spadków poprzecznych, zwłaszcza w rejonie geometrycznego początku i końca łuku poziomego nie mogą być gwałtowne i należy je projektować w oparciu o trajektorię ruchu samochodu o najwyższych parametrach trakcyjnych oraz o wymagania podane dla profilu podłużnego.

System odwadniający oprócz jezdni musi zapewnić właściwe odprowadzanie wody zarówno z jezdni, jak również z drogi dojazdowej do boksów, parku maszyn i stref zastrzeżonych dla widzów.

Krawędzie nawierzchni toru, obrzeża i pobocza

Chyba, że postanowiono inaczej, ze względu na takie elementy jak drogi wjazdowe i wyjazdowe z boksów, jezdni toru stałego musi mieć na obrzeżach po swoich obu stronach na całej swej długości białe linie ciągłe o szerokości minimalnej 10 cm, wymalowane farbą przeciwpoślizgową. Obrzeża muszą stanowić kontynuację przekroju poprzecznego jezdni – bez żadnych uskoków pomiędzy nawierzchnią jezdni i obrzeżem: wszelkie przejścia poziome powinny być stopniowe.

Poprzez strefę pobocza toru należy rozumieć obszar zawarty pomiędzy obrzeżem i pierwszą linią zabezpieczenia toru. Powierzchnia pobocza musi być wyrównana w stosunku do powierzchni obrzeża, jeżeli ma ono pewne pochylenie.

Prosta startowa

W przypadku startów zatrzymanych, każdy samochód musi dysponować odcinkiem pola startowego o długości co najmniej 6 m (8 m w Mistrzostwach świata F 1). Zaleca się, aby odległość linii startu do pierwszego łuku wynosiła co najmniej

³ obliczonym według wzoru: $R = V^2/K$ gdzie: R jest promieniem wyokrąglenia wyrażonym w metrach, V prędkość w km/h, K parametr stały równy 20 w przypadku profilu wklęsłego lub 15 dla profilu wypukłego

250 m. Przez łuk rozumie się – tylko w odniesieniu do rozpatrywanych tu okoliczności – zmianę zwrotu łuku o co najmniej 45° przy promieniu mniejszym niż 300 m.

Kształt geometryczny trasy określony jest jej rzutem na płaszczyznę poziomą⁴ oraz profilem podłużnym po linii środkowej trasy, która będzie wykorzystana do obliczenia oficjalnej długości toru.

Profil podłużny to krzywe kołowe pionowe i serie odcinków prostych linii środkowej w przedziałach minimum co 10 m, z dokładnością do 0,01 m. Formalna długość jezdni toru jest obliczana z dokładnością do 1 m, z uwzględnieniem kombinacji długości toru w planie i w profilu podłużnym.

Minimalna długość toru zależy od czasu trwania wyścigów oraz typów samochodów biorących udział w wyścigach. W odniesieniu do samochodów formuły 1 wynosi 3,5 km, a w odniesieniu do samochodów turystycznych od 3–4 km.

W przypadku Formuły 1 parametry geometryczne toru, a więc długość, szerokość jezdni oraz czas trwania wyścigu wpływają na liczbę samochodów, która bierze udział w zawodach. Dopuszczalną szerokością maksymalną toru jest 15 m, zaś minimalną 8 m.

Bezpieczeństwo ruchu pojazdów F1

W omówieniu zagadnienia dynamiki ruchu bolidów F1 skorzystano z informacji zawartych w opracowaniu pt. Fizyka Formuły 1⁵. Z punkty widzenia inżyniera ruchu drogowego oglądanie wyścigów samochodowych, w szczególności F1, charakteryzujących się ogromnymi prędkościami jazdy na prostych, ale też na ciasnych, wąskich łukach nasuwa się pytanie typu, jak to jest możliwe? Pytanie jest zasadne, gdyż bolid osiąga prędkość 100 km/h po 1,8 s, 200 km/h po 3,1 s, 300 km/h po 8 s, co potwierdzają dane doświadczalne⁶.

Okazuje się, że niesprzyjająca bardzo szybkiej jeździe obecność praw fizyki, rządzących ruchem pojazdów, jest kompensowana przez dodatkowe wyposażenie bolidów w skrzydła (spojlery) o regulowanym kącie nachylenia, dyfuzory i inne urządzenia. Okazuje się, że głównym czynnikiem decydującym o wyniku na mecie jest przyczepność kół samochodu. Siła przyczepności opon bolidów Formuły 1 do nawierzchni jest bardzo duża, znacznie większa niż w samochodach, którymi jeździmy. Stosowane opony są bardzo szerokie. Siła ta zależy od dwóch składowych: od współczynnika tarcia opon i docisku aerodynamicznego, generowanego przez różne podzespoły. Stąd główne zainteresowanie fizyki zajmującej się wyścigami F 1 koncentruje się na poznaniu efektów aerodynamicznych i zachowania opon na drodze. Dzięki dużej przyczepności opon samochodu w znacznie mniejszym stopniu niż normalnym samochodom grozi poślizg przy szybkim wchodzeniu w wiraże czy ślizganie kół podczas zbyt ostrego przyspieszania. Źródłem przyczepności każdego samochodu jest oczywiście siła tarcia. Siła tar-

⁴ Definicja rzutu na płaszczyznę poziomą obejmuje długość poziomą linii środkowej wszystkich łuków i prostych, promień wszystkich krzywizn kołowych oraz opis matematyczny wszystkich krzywizn przejściowych

⁵ Przemysław Borys: Fizyka Formuły 1. PŚ, Gliwice 2009 r.

⁶ A więc większe niż w samolocie (Boeing 777 startuje z przyspieszeniem 1,6 g)

cia⁷ działająca między oponą a podłożem jest bowiem siłą dośrodkową, działającą na samochód jadący po łuku drogi. Jeśli jest ona zbyt mała, to samochód wpada w poślizg, z którego często dzięki umiejętnościom kierowcy wychodzi, ale nie zawsze.

Opony wyścigowe dzięki specjalnym materiałom mogą osiągać wartości współczynnika tarcia nawet 1,7 na suchej nawierzchni toru. Dla porównania współczynniki tarcia zwykłych opon samochodowych są dwukrotnie mniejsze, i osiągają wartość ok. 0,8. Współczynnik tarcia 1,7 jest to praktycznie maksimum osiągalne przez opony, lecz okazuje się niewystarczający do bezpiecznej szybkiej jazdy na łukach. I dlatego, aby jeszcze bardziej zwiększyć przyczepność, wykorzystuje się drugi czynnik, mianowicie siłę nacisku bolidu na podłoże.

W normalnych samochodach siła nacisku wynika z ciężaru samochodu (i oscyluje zależnie od stanu i typu amortyzatorów, dając na płaskiej powierzchni nacisk $N = mg$ (masa \times siła grawitacji)). W bolidach F 1, oprócz siły ciężkości, na samochód działa siła aerodynamiczna. Ta siła jest wywoływana tak samo, jak siła nośna w samolocie. W odróżnieniu jednak od samolotu siła aerodynamiczna w samochodzie, dzięki wyprofilowaniu i ustawieniu spojlerów, zwrócona jest ku dołowi, dociskając samochód do podłoża. Docisk aerodynamiczny samochodu generowany jest za pomocą wielu elementów aerodynamicznych, z których największą rolę odgrywają trzy: skrzydło przednie (ok. 30% docisku), skrzydło tylne (ok. 30–35% docisku) i dyfuzor (20–40% docisku). Opony wyścigowe, z uwagi na swoje właściwości, charakteryzują się szybkim zużyciem. Są przeznaczone na odcinki ok. 200 km, w odróżnieniu od zwykłych opon samochodowych, których zadaniem jest przejechanie do kilkudziesięciu tysięcy kilometrów. Tak wysoka przyczepność opon osiągana jest dwiema metodami: adhezyjną (powstanie wiązań pomiędzy cząsteczkami trący mi) oraz deformacyjną związaną z histerezą gumy. Dzięki łatwej deformacji opona dopasowuje się do nierówności drogi i rozprasza energię, a przez to utrzymuje pojazd na jezdni. Zwykle główny wkład do siły tarcia pochodzi od mechanizmu adhezyjnego. Mechanizm ten w przypadku opon wyścigowych jest tak mocny, że ich producenci porównują je nawet do taśmy samoprzylepnej. Aby osiągnąć najlepsze własności, konieczne jest m.in. osiągnięcie przez oponę właściwej temperatury, ciśnienia oraz poślizgu opony w ruchu. Oglądając wyścigi samochodowe można zauważyć, że opony do chwili wymiany przechowywane są w ogrzewanych pokrowcach, a podczas wolniejszej jazdy na przykład na pierwszym próbnym okrążeniu przed głównym startem do wyścigu F1 kierowcy wykonują nagłe ruchy kierownicą w celu obciążania opon, co pozwala zachować ich wysoką temperaturę i miękkość. Optymalny poślizg, przy którym siła tarcia jest najwyższa, wynosi ok. 15%, wówczas wiązania gumy z podłożem rozciągane są do maksimum i siła sprężysta kontaktów osiąga najwyższe wartości.

⁷ Uproszczony wzór na wartość siły tarcia F_t ma postać: $F_t = f \cdot N$ gdzie:

f – współczynnik tarcia a o wartości zmiennej zależnej od temperatury nawierzchni, materiału opony, który cechuje się dużą lepkością (klei się do jezdni), siły odśrodkowej,

N – wartość siły nacisku na podłoże, zależna od kąta ustawienia skrzydeł stateczników.

W warunkach deszczu lub intensywnego kurzu (piasku) na torze źródłem tarcia staje się podatność na deformację opony. Wówczas w zwykłych oponach samochodowych współczynnik tarcia spada z 0,7 nawet do 0,2 przy prędkości 100 km/h. Właśnie dlatego, z uwagi na zmienność warunków podczas wyścigów F1 wykorzystywane są 3 rodzaje opon, dobieranych w zależności od panujących warunków. Wszystko to robi się mając na względzie bezpieczeństwo wyścigu. Mimo zastosowań opon odpowiednich na deszcz nie zawsze udaje się uniknąć zjawiska aquaplaningu tj. zaniku siły tarcia na skutek warstwy wody pomiędzy oponą a jezdnią. Innym groźnym zjawiskiem, występującym w wysokiej temperaturze nawierzchni toru i szybkiej jazdy z częstymi hamowaniami, jest granulowanie się wierzchniej warstwy opony. Jest to zjawisko będące efektem zbyt wysokiej plastyczności niektórych typów opon.

Warto też zwrócić uwagę na wpływ ciśnienia w oponie na bezpieczeństwo jazdy. Znaczenie tego czynnika ma również znaczenie w jeździe każdego samochodu, chociaż zapewne nasila się przy dużych prędkościach jazdy. Problem ciśnienia jest bardziej złożony niż się na pierwszy rzut oka wydaje: wilgoć w powietrzu może wpływać na ciśnienie wraz z temperaturą, a tlen reagując z gumą może zmniejszać ciśnienie. Trzeba przy tym pamiętać, że w F 1 przy optymalnym nacisku gumy na tor⁸ rzędu 1,1 kg/cm² różnica rzędu 0,2 kg/cm² może być decydująca.

Założenie o stałej wartości siły tarcia, stosowane w podejściu klasycznym, w przypadku w F 1 jest niewłaściwe, chociażby ze względu na obecność dociskającej siły aerodynamicznej. Jednak nie tylko ta siła zmienia obciążenie kół samochodu. Zmienia się ona również podczas manewrowania samochodem: podczas przyspieszania, zwiększa się nacisk na tylną oś; podczas hamowania – zwiększa się nacisk na oś przednią. Dlatego samochody z napędem na tylną oś efektywniej przyspieszają od samochodów z napędem na oś przednią. Położenie środka ciężkości samochodu ma również istotne znaczenie dla zachowania samochodu na łukach toru.

Jeszcze parę uwag o wpływie siły aerodynamicznej na bezpieczeństwo wyścigu. Należy podkreślić, że większy kąt natarcia skrzydeł spojlerów – przedniego i tylnego – wywołuje większą siłę nośną, ale również i większe opory powietrzne. Stąd skrzydła ustawia się do każdego toru indywidualnie: jeżeli tor ma wiele zakrętów, ustawia się wyższy kąt natarcia skrzydeł, aby umożliwić większą prędkość na zakrętach). Jeżeli tor składa się głównie z prostych odcinków (np. włoski tor Monza) kąt natarcia skrzydeł jest obniżany, aby lepiej wykorzystać przyspieszenie na prostych.

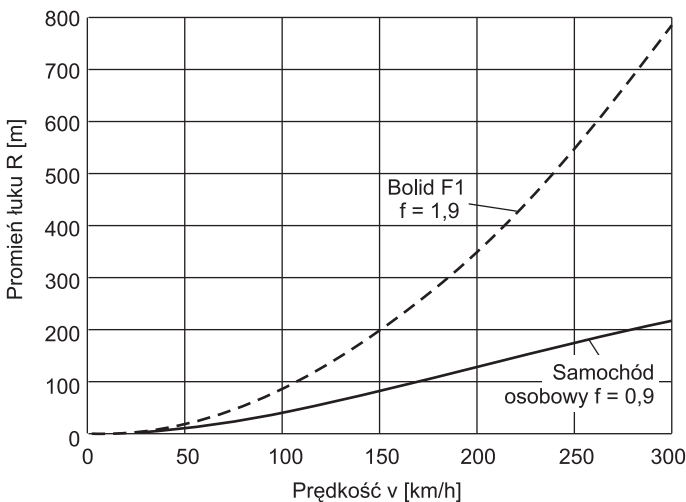
Wśród urządzeń bolidu mających za zadanie zwiększenie jego stateczności na łukach jest wymieniony wcześniej dyfuzor. Po raz pierwszy pojawił się w 1976 r. Dyfuzor jest wyłotową częścią aerodynamicznego systemu podwozia i składa się z kilku kanałów o odpowiednio ukształtowanym przebiegu, separujących strugi powietrza o różnych prędkościach przepływu. Jego działanie polega na tym, że jeżeli samochód porusza się do przodu, to za nim powstaje pustka, która musi się wypełnić. Chodzi o uniknięcie turbulencji

⁸ Waga bolidu z kierowcą (i pustym bakiem) wynosi min. 605 kg, gdy samochodu turystycznego waży 1000–1400 kg.

pod samochodem, aby przepływ powietrza był laminarny, i w ten sposób nie zmniejszał efektów działania docisku aerodynamicznego.

I jeszcze jedna nowość w konstrukcji bolidu. Jest nim system KERS⁹, który umożliwia odzyskanie energii podczas hamowania, którą można wykorzystać przy przyspieszeniach na prostych – nawet 80 KM w ciągu 6 s. Na razie system okazuje się być mało efektywny, samochody korzystające z nowego rozwiązania nie są znacząco szybsze od pozostałych. Problem jest spowodowany między innymi ciężarem samego urządzenia, który minimalizuje zyski wynikające z dodatkowej mocy. Należy podejrzewać, że doskonalenie tego systemu poprawi jego efektywność.

Analizując wykres (rys. 1) widzimy, że łuk drogi, który zwykły samochód pokonuje z prędkością 90 km/h, bolid może pokonać z prędkością 160 km/h. Różnice między tymi pojazdami zwiększają się wraz ze wzrostem prędkości.

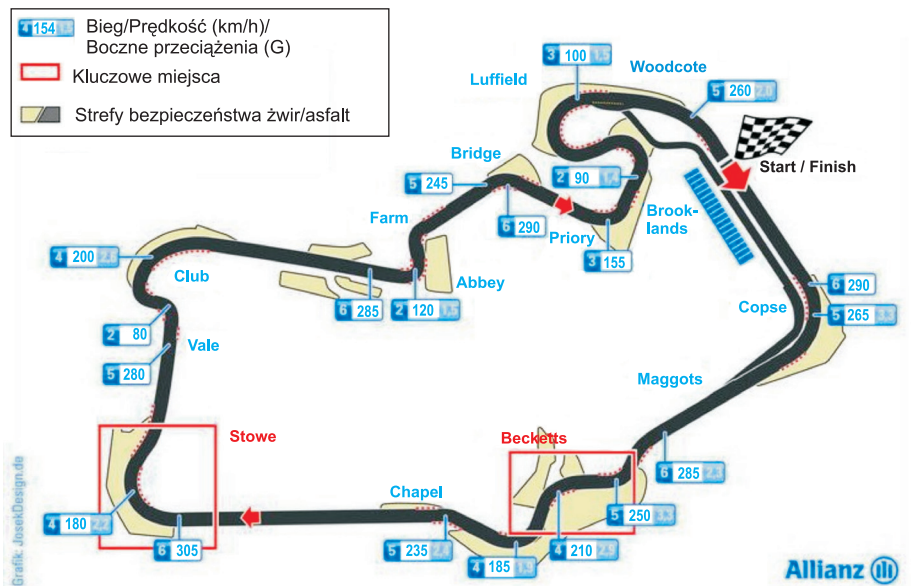


Rys. 1. Wykres zależności promienia łuku od prędkości dla bolidu F1 (współczynnik tarcia $f = 1,9$ + docisk aerodynamiczny) i dla zwykłego samochodu (dla $f = 0,9$)¹⁰ na łuku o identycznym promieniu

Z powyższych informacji wynika, że analizując bezpieczeństwo ruchu bolidu F1 mamy do czynienia z czymś, co można określić mianem reżyserii inżynierskiej. Reżyseria ta polega na wykreowaniu w konkretnym bolidzie takich sił tarcia i docisku aerodynamicznego, aby były odpowiednie do warunków geometrycznych toru, jego nawierzchni i warunków atmosferycznych.

⁹ (ang. Kinetic Energy Recovery System)

¹⁰ Przemysław Borys: Fizyka Formuły 1. PŚ, Gliwice 2009 r.



Rys. 2. Schemat toru Silverstone w Wielkiej Brytanii z opisem dla kierowców zawierającym sugestie jaki i w którym miejscu bieg wybrać, z jaką prędkością jechać na konkretnym łuku toru i informacją o występującym bocznym przeciążeniu przy podanej prędkości, jak też wskazaniem trudnych miejsc oraz stref bezpieczeństwa dla widzów (źródło: http://pl.wikipedia.org/wiki/Silverstone_Circuit)

Podsumowanie

W artykule scharakteryzowano podstawowe wymagania, które muszą być spełnione w kształtowaniu geometrii jezdni torów, wydobywając niektóre różnice i ich uwarunkowania w porównaniu do znanych zapewne czytelnikom warunków technicznych projektowania dróg do pojazdów niewyścigowych oraz zamieszczono syntetyczne informacje o 12 torach wyścigów samochodowych, tym 10 wykorzystywanych w wyścigach Formuły 1, w szczególności ich długości i kształt trasy w planie, obrazujący poziom trudności w walce kierowców o trofeum zwycięzcy. Niektóre z nich wybudowano wiele lat temu, nawet w początkach motoryzacji amerykańskiej i europejskiej, co świadczy o kluczowym znaczeniu wyścigów samochodowych dla rozwoju przemysłu samochodowego i dla znaczenia handlowego marek motoryzacyjnych biorących udział w wyścigach. Do najnowszych zaliczyć można tor wybudowane w Kielcach i Poznaniu, choć nie osiągnęły dotąd one większego znaczenia w zawodach międzynarodowych. ■

Z prasy zagranicznej

Autostrady brytyjskie mają 50 lat

W końcu 2008 r. obchodzono w Wielkiej Brytanii 50-lecie oddania do ruchu pierwszych odcinków autostrad. W latach 1960–1970 powstała sieć autostrad licząca 2 500 km. W ciągu ostatnich 20 lat zbudowano tylko 1 000 km autostrad. Sieć autostrad o długości 3 500 km jest już niewystarczająca i planuje się jej rozbudowę.

World Highways, styczeń/luty 2009

Stefan Rolla