

20 Lepszy transport

Nowoczesne technologie w motoryzacji pozwalają ograniczyć emisje gazów cieplarnianych bez konieczności zmiany wyglądu, komfortu lub mocy samochodu, do których przyzwyczaili się kierowcy.

Kalifornijska Rada Zasobów Atmosferycznych
(California Air Resources Board)

Mniej więcej jedna trzecia energii wykorzystywana jest w transporcie [w Polsce jest podobnie – *red.*] Czy technologia może przyczynić się do zmniejszenia zużycia energii? W tym rozdziale rozważamy możliwości osiągnięcia dwóch celów. Chodzi o dokonanie jak największej redukcji zużycia energii oraz wyeliminowanie zużycia paliw kopalnych w transporcie.

O transporcie mówiliśmy w trzech rozdziałach dotyczących konsumpcji energii: rozdziale 3 (samochody), rozdziale 5 (samoloty) i rozdziale 15 (ciężarowy transport drogowy i morski). Mamy więc do czynienia z dwoma rodzajami transportu: pasażerskim oraz ciężarowym. Naszą jednostką dla transportu pasażerskiego będzie pasażerokilometr (pkm). Praca przewozowa samochodu, który przewozi jedną osobę na dystansie 100 km, wynosi 100 pkm. Praca przewozowa samochodu, który na tym samym dystansie przewozi 4 osoby, wynosi 400 pkm. Analogicznie, naszą jednostką dla transportu towarowego będzie tonokilometr (tkm). Praca przewozowa ciężarówki, która przewozi 5 ton na dystansie 100 km, wynosi 500 tkm. Energię zużytą w transporcie pasażerskim będziemy mierzyć w „kWh na 100 pasażerokilometrów”, a energię zużytą w transporcie ciężarowym w „kWh na tonokilometr”. Miara ta jest zbieżna z „litrami na 100 km” – podobnie jak chcemy, by zużycie paliwa w samochodzie wynosiło jak *najmniej* litrów na 100 km, tak samo chcemy, by zużycie energii wynosiło jak *najmniej* kWh na 100 pkm.

Rozpocniemy ten rozdział od rozważań, jak ograniczyć zużycie energii w transporcie lądowym. By to zdiagnozować, musimy najpierw oszacować, gdzie dokładnie energia jest zużywana. Mamy tu trzy kluczowe aspekty, które zostaną szczegółowo omówione w rozdziale Technicznym A.

1. W *podróżach na krótkie dystanse*, gdy samochód często zatrzymuje się i rusza, energia zużywana jest przede wszystkim do wprowadzenia w ruch i przyspieszania ruchu pojazdu wraz z tym, co wiezie. Kluczową strategią ograniczania zużycia energii w tego rodzaju transporcie jest *odchudzenie* oraz *pokonywanie większych dystansów między przystankami*. Pomocne może być też hamowanie z odzyskiwaniem energii. Co więcej, warto jeździć *wolniej* i *rzadziej*.
2. W *podróżach na długie dystanse* ze stałą prędkością, koleją lub samochodem najczęściej energii pochłania pokonywanie oporu powietrza, jako że pojazd rusza i przyspiesza tylko raz. Kluczowa strategia ograniczania zużycia energii w tego rodzaju transporcie to: jeździć *wolniej*, *rzadziej* oraz w *długich i wąskich pojazdach*.
3. W transporcie każdego rodzaju zachodzi łańcuch konwersji energii, w którym energia zawarta w paliwie zużywana jest do przemieszczania pojazdu. Ten łańcuch konwersji jest nieuchronnie nieefektywny. Na przykład, w standardowym samochodzie napędzanym paliwem kopalnym zaledwie 25% paliwa służy do przemieszczenia pojazdu, a jakieś 75% niepotrzebnie ogrzewa



Fot. 20.1. Punkt wyjścia dla tego rozdziału: luksusowy miejski van. Przeciętny brytyjski samochód pali 7l na 100 km, co odpowiada zużyciu energii rzędu **80 kWh na 100 km**. Czy można to poprawić?

silnik i chłodnicę. W tym wypadku strategia ograniczenia zużycia energii powinna się opierać na zwiększeniu efektywności łańcucha konwersji.

Nasze obserwacje prowadzą do sformułowania sześciu zasad konstrukcji i prowadzenia pojazdu, które pozwolą zwiększyć efektywność energetyczną transportu lądowego: *a)* redukcja strefy przedniej na osobę; *b)* redukcja wagi samochodu na osobę; *c)* jazda ze stałą prędkością i unikanie hamowania; *d)* wolniejsza jazda; *e)* rzadsze podróżowanie; *f)* zwiększenie efektywności łańcucha konwersji energii. Zastanowimy się teraz nad możliwymi zastosowaniami tych zasad.

Jak jeździć lepiej

Powszechnie cytowane statystyki mówią coś w stylu: „Zaledwie 1 procent energii zużywanej przez samochód służy do przemieszczania kierowcy”. Czy można stąd wnosić, że jeżeli się postaramy, możemy produkować samochody 100 razy bardziej efektywnie energetycznie? Odpowiedź brzmi: „Prawie”, ale tylko przy zastosowaniu wyżej wymienionych zasad konstrukcji i prowadzenia pojazdu. I to w stopniu *ekstremalnym*.

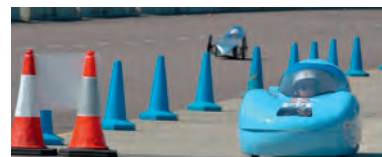
Ilustracją takiej ekstremalnej konstrukcji jest samochód ekologiczny o małej strefie przedniej i niskiej wadze, i który – jeśli mamy pobić wszystkie rekordy – prowadzony jest ostrożnie, z małą i stałą prędkością. Ekosamochód Drużyny Krokodyla (rys. 20.2) przejeżdża 2184 mile na galonie paliwa (czyli pali 0,1 l/100 km) przy prędkości 15 mil/h (24 km/h). To koszt energetyczny 1,3 kWh na 100 km. Pojazd waży 50 kg, jest niższy niż słupek drogowy i mieści bez problemu samotnego nastoletniego kierowcę.

Hmm. Myślę, że kierowca miejskiego vana z rys. 20.1 dostrzegłby różnicę w „wyglądzie, komforcie i mocy”, gdyby kazano mu przesiąść się do takiego ekosamochodu i prowadzić z prędkością nie większą niż 24 km/h. Między bajki można włożyć pomysł, że bez trudu stworzymy samochody 100 razy efektywniejsze energetycznie niż obecnie. Do wyzwania, jakim jest produkowanie samochodów efektywnych energetycznie, powrócimy za moment. Najpierw jednak zdiagnozujmy kilka innych sposobów na zwiększenie efektywności energetycznej transportu lądowego.

Fotografia 20.3 pokazuje pojazd pasażerski co najmniej 25-krotnie efektywniejszy energetycznie niż standardowy samochód na benzynę. To rower. Osiągi roweru (w zakresie zużycia energii na określonym dystansie) są zbliżone do osiągnięć ekosamochodu. Prędkość jest podobna, masa roweru jest mniejsza (bo człowiek zastępuje zbiornik na paliwo i silnik), ale jego strefa przednia jest większa, bo rowerzysta jest kształtem mniej opływowym niż ekosamochód.

Fotografia 20.4 ilustruje kolejną alternatywę dla samochodu na benzynę – pociąg, o całkowitym koszcie energetycznym 1,6 kWh na 100 pasażerokilometrów. W przeciwieństwie do ekosamochodu i roweru, pociąg osiąga znakomitą efektywność, mimo że nie jeździ wolno i nie waży mało w przeliczeniu na osobę. Pociągi kompensują dużą prędkość i dużą wagę dzięki małej strefie przedniej na osobę. Efektywna strefa przednia wynosi 0,8 m² dla rowerzysty i 0,5 m² dla zwykłego samochodu, a w przypadku pełnego pociągu pasażerskiego z Cambridge do Londynu wynosi ona zaledwie 0,02 m² na pasażera!

No, ale teraz wkraczamy na grząski teren – w perspektywie mamy dziele nie pojazdu z „tymi wszystkimi straszными ludźmi”. Mimo wszystko zadajmy



Fot. 20.2. Ekosamochód Drużyny Krokodyla zużywa 1,3 kWh energii na 100 km.

Fot. Team Crocodile
www.teamcrocodile.com



Fot. 20.3. „Dziecko na pokładzie”
Ten środek transportu ma koszt energetyczny około 1 kWh na 100 osobokilometrów.



Fot. 20.4. Ten pociąg z 8 wagonami, przy prędkości maksymalnej 100 mil/h (161 km/h), zużywa 1,6 kWh energii na 100 pasażerokilometrów (przy założeniu, że wszystkie miejsca są zajęte).

sobie pytanie: „Jak bardzo możemy ograniczyć zużycie energii, zamieniając samochody na świetnie zaprojektowany transport publiczny?”.



4,4 kWh na 100 pkm, jeżeli pełny



3 – 9 kWh na 100 pkm, jeżeli pełny



7 kWh na 100 pkm, jeżeli pełny



21 kWh na 100 pkm, jeżeli pełny

Transport publiczny

Transport publiczny – jeśli pojazdy jeżdżą zapełnione – jest znacznie bardziej efektywny energetycznie niż samochód. Zasilany dieslem autokar przewożący 49 pasażerów, palący 24 l/100 km, jadący z prędkością 105 km/h zużywa **6 kWh energii na 100 pkm**. To 13 razy mniej niż samochód wiozący jedynie kierowcę! Trolejbusy w Vancouver zużywają 270 kWh prądu na 100 pojazdokilometrów, przy średniej prędkości 15 km/h. Jeżeli trolejbus ma na pokładzie 40 pasażerów, wówczas koszt energetyczny przewozu jednego pasażera (koszt transportowy na pasażera) wynosi **7 kWh na 100 pkm**. Koszt transportowy promu w Vancouver wynosi 83 kWh na pojazdokilometr, przy prędkości 13,5 km/h. Prom może przewieźć 400 pasażerów. Jeżeli jest pełny, koszt transportowy na jednego pasażera wynosi **21 kWh na 100 pkm**. Pociągi londyńskiego metra w godzinach szczytu zużywają **4,4 kWh na 100 pkm** – 18 razy mniej niż samochody. Nawet pociągi dużej prędkości, które sprzeniewierzają się dwóm z naszych zasad dotyczących oszczędności energii (bo przemieszczają się dwa razy szybciej niż samochód i dużo ważą), są od niego znacznie bardziej efektywne energetycznie. Jeżeli elektryczny pociąg dużej prędkości jest pełen, jego koszt energetyczny wynosi **3 kWh na 100 pkm** – to 27 razy mniej niż w przypadku samochodu!

Niemniej jednak musimy planować realistycznie. Niektóre pociągi, autokary i autobusy jeżdżą puste (fot. 20.6). Średni koszt energetyczny transportu publicznego jest więc większy niż wskazywałyby podane wyżej liczby, oparte na optymalnym scenariuszu. Jakie jest więc średnie zużycie energii w transporcie publicznym i jak bardzo można, według realistycznych szacunków, ów transport poprawić?

Fot. 20.5. Efektywność energetyczna wybranych środków transportu, przy założeniu, że wszystkie miejsca są zajęte. Metro, peron i wnętrze pociągu. Dwa pociągi dużej prędkości. Napędzany elektrycznie zużywa 3 kWh na 100 pasażerokilometrów; napędzany dieslem – 9 kWh. Trolejbusy w San Francisco. SeaBus w Vancouver. Fot. Larry

W latach 2006–2007 całkowity koszt energetyczny funkcjonowania londyńskiego metra – włączając oświetlenie, platformy naprawcze, składy i hangary – wyniósł 15 kWh na 100 pkm. To pięć razy mniej niż w przypadku naszego samochodu. W tych samych latach koszt energetyczny londyńskich autobusów wyniósł 32 kWh na 100 pkm. Oczywiście, koszt energetyczny to nie wszystko. Dla pasażerów liczy się prędkość – pociągi podziemne jeżdżą szybciej (średnio z prędkością 33 km/h) niż autobusy (18 km/h). Menadżerów obchodzą koszty – koszty załogi i koszty na pasażerokilometr są niższe w przypadku pociągów podziemnych niż w przypadku autobusów.

Całkowite zużycie energii w systemie tramwajowym w londyńskim Croydon (fot. 20.7) w latach 2006–2007 (włączając zajezdnie tramwajowe i oświetlenie przystanków) wyniosło 9 kWh na 100 pkm, przy średniej prędkości 25 km/h.



32 kWh na 100 pkm



9 kWh na 100 pkm

Jak bardzo można poprawić transport publiczny? Wskazówką może stać się przykład Japonii (tabela 20.8). Przy 19 kWh na 100 pkm i 6 kWh na 100 pkm, autobusy i kolej wyglądają obiecująco. Kolej ma tę zaletę, że może przyczynić się do realizacji obu naszych celów: ograniczenia zużycia energii i uniezależnienia się od paliw kopalnych. Autobusy i autokary mają tę niewątpliwą przewagę, że mogą dotrzeć wszędzie, ale utrzymanie tej elastyczności może być trudne, jeżeli naprawdę chcemy zrezygnować z paliw kopalnych.

Przyjrzyjmy się warszawskiej Szybkiej Kolei Miejskiej (SKM). Dla nowoczesnego pociągu 14 WE średnie rzeczywiste zużycie energii elektrycznej wynosi 7 kWh na pojazdokilometr. Jeśli wszystkie 184 miejsca siedzące są zajęte, oznacza to koszt energetyczny równy 4 kWh na 100 pkm. Zważywszy, że SKM cieszy się w aglomeracji warszawskiej dużą popularnością (w godzinach szczytu pociągi jeżdżą wypełnione po brzegi, co rekompensuje pustki w godzinach poza szczytem), wartość tę możemy uznać za średnią.

Wyczekiwane przez pasażerów rozładowanie tłoku poprzez wprowadzenie większej liczby pociągów podniosłoby zużycie energii do brytyjskich 6 kWh na 100 pkm.

Reasumując, transport publiczny (a szczególnie pociągi elektryczne, tramwaje i autobusy) jest obiecującym sposobem transportowania pasażerów; w kategoriach energii na pasażerokilometr około 5–10 razy lepszym niż samochód. Niemniej jednak ludzie domagają się mobilności, jaką zapewnia własny samochód. Jakie mamy możliwości w tej kwestii?

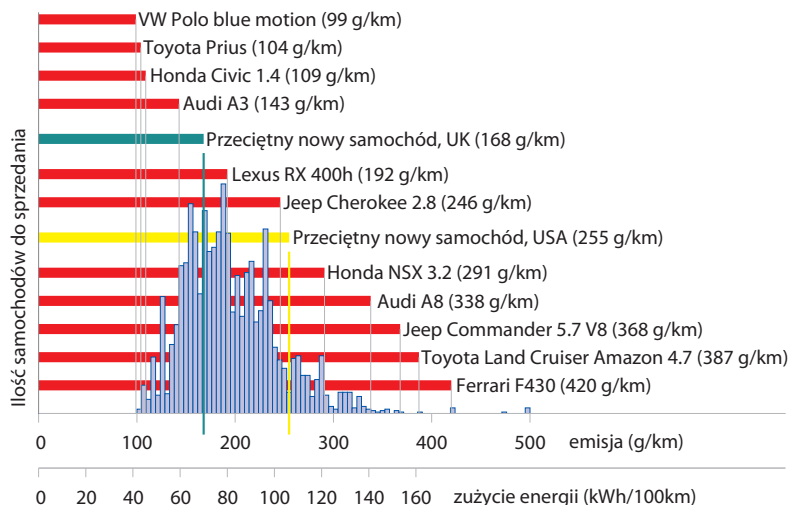


Fot. 20.6. Niektóre pociągi jeżdżą puste. Trzech ludzi i wiolonczeła to jedyni pasażerowie pociągu dużej prędkości z Edynburga do stacji Kings Cross w Londynie.

Fot. 20.7. Wybrane środki transportu oraz ich średnie zużycie energii. Po lewej: piętrusy. Po prawej: tramwaj w dzielnicy Londynu Croydon. Fot. Stephen Parascandolo

Zużycie energii (kWh na 100 pkm)	
Samochód	68
Autobus	19
Kolej	6
Transport lotniczy	51
Transport morski	57

Tabela 20.8. Całkowita efektywność środków transportu w Japonii (1999)



Pojazdy prywatne: technologia, prawodawstwo i zachęty

Można zredukować zużycie energii w samochodach. Dowodem jest rozpiętość efektywności energetycznej samochodów dostępnych na rynku. W 2006 roku można było kupić u tego samego dilerza Hondę Civic 1.4 zużywającą **44 kWh na 100 km** oraz Hondę NSX 3.2 zużywającą **116 kWh na 100 km** (fot. 20.9). Fakt, że ludzie po prostu *wybijają* z tej szerokiej oferty, oznacza, że potrzebują dodatkowych zachęt i legislacji, by *wybrać* bardziej efektywny energetycznie samochód. Jest wiele sposobów nakłonienia konsumenta do wyboru Hondy Civic zamiast paliwożernej Hondy NSX 3.2: podniesienie ceny paliwa i akcyzy proporcjonalnie do przewidywanego zużycia paliwa, podniesienie podatku drogowego dla paliwożernych samochodów, wprowadzenie przywilejów parkingowych dla samochodów o niskiej emisji CO₂ (fot. 20.10) albo racjonowanie paliwa. Prawdopodobnie metody te nie wywołają aplauzu, przynajmniej wśród części wyborców. Być może dobrą techniką legislacyjną byłoby *wymuszenie* rozsądnego poziomu efektywności energetycznej zamiast pozostawienia niekontrolowanego wyboru. Możemy na przykład w którymś momencie zakazać sprzedaży *wszystkich* samochodów o zużyciu energii większym niż 80 kWh na 100 km; z czasem obniżyć ten próg do 60 kWh na 100 km, potem do 40 kWh na 100 km, itd. Alternatywnie, by pozostawić konsumentom większy wybór, można wymusić na producentach samochodów obniżenie *średniego* zużycia paliwa we wszystkich samochodach, które oferują. Dodatkowe prawodawstwo, ograniczające wagę oraz wielkość strefy przedniej pojazdów pozwoliłoby jednocześnie ograniczyć zużycie paliwa oraz zwiększyć bezpieczeństwo na drogach (fot. 20.11). W dzisiejszych czasach zakup samochodu dyktowany jest modą lub chęcią zaznaczenia statusu. Silna legislacja regulująca efektywność pojazdów nie musi ograniczać wyboru – po prostu wszystkie modne samochody będą efektywne. Dostępny będzie każdy kolor pod warunkiem, że będzie to kolor zielony.

Rys. 20.9. Emisje CO₂, w gramach na km, w wybranych modelach samochodów sprzedawanych w Wielkiej Brytanii. Linia pozioma pokazuje wielkość emisji, a wysokość niebieskiego słupka – liczbę modeli o tym poziomie emisji będących w sprzedaży w 2006 r. Źródło: www.newcar.net.co.uk Druga skala pozioma wskazuje przybliżone wartości zużycia energii, przy założeniu, że z 1 kWh energii chemicznej wiąże się emisja 240 g CO₂.



Fot. 20.10. Specjalna strefa parkowania dla samochodów elektrycznych w Ann Arbor (Michigan, USA)



Fot. 20.11. Samochody-monstra są wystarczająco duże, by utrudnić widoczność i zupełnie zasłonić pieszych.

W Polsce modne i prestiżowe jest posiadanie samochodu typu SUV. Przy średnim spalaniu 14 l na 100 km koszt energetyczny wynosi 140 kWh na 100 km. Jeden z najpopularniejszych modeli na polskim rynku, Skoda Octavia, zużywa znacznie mniej, bo 70 kWh na 100 km. W aglomeracji warszawskiej energetyczny koszt dojazdu Octavią wynosi około 50 kWh na 100 pkm. W porównaniu ze Skodą SKM oferuje dziesięciokrotnie niższy koszt energetyczny na pasażera.

Zanim wyborcy i politycy uzgodnią ustawę na rzecz zwiększenia efektywności energetycznej samochodów, rozważmy inne rozwiązania.



Fot. 20.12. Rondo w Enschede (Holandia)

Rowery

Moja ulubiona propozycja to budowa znakomitej infrastruktury rowerowej wsparta właściwym prawodawstwem (np. obniżenie limitów prędkości dla samochodów i przepisy drogowe uprzywilejowujące rowerzystów). Na fot. 20.12 widzimy rondo w holenderskim Enschede. Rondo składa się z dwóch jezdni – ta dla samochodów jest wewnętrzna wobec tej dla rowerów, jezdnie dzieli pas bezpieczeństwa szerokości samochodu. Zasady pierwszeństwa są takie same, jak na skrzyżowaniach w Wielkiej Brytanii, tyle że samochody opuszczające wewnętrzną jezdnię muszą przepuszczać rowerzystów (zupełnie tak, jak brytyjscy kierowcy mają obowiązek przepuszczać pieszych na pasach). Tam, gdzie istnieje świetna infrastruktura rowerowa, ludzie jeżdżą rowerami, czego dowodzi niezliczona liczba rowerów przed stacją kolejową w Enschede (fot. 20.13).



Fot. 20.13. Kilka holenderskich rowerów



Fot. 20.14. Tymczasem w Wielkiej Brytanii...
Fot. Mike Armstrong

Tak się jakoś składa, że brytyjskim [i polskim – *red.*] ścieżkom rowerowym (fot. 20.14) daleko do holenderskich standardów.

W 2005 roku we francuskim Lyonie powstała prywatna, ale ogólnodostępna sieć rowerowa Vêlo'v. Pomysł okazał się sukcesem. 470 000 mieszkańców Lyonu ma do dyspozycji 2000 rowerów dostępnych na 175 stacjach rowerowych rozrzuconych na obszarze 50 km² (fot. 20.15). Praktycznie w każdym punkcie centrum miasta od stacji rowerowej dzieli nas nie więcej niż 400 metrów. Uczestnicy programu wnoszą opłatę abonamentową w wysokości 10 euro rocznie, po czym mogą nieodpłatnie używać rowerów, jeżeli wycieczka trwa mniej niż pół godziny. Przy dłuższych trasach dopłata wynosi do 1 euro za godzinę. Odwiedzający Lyon mogą wykupić abonament tygodniowy za 1 euro.



Fot. 20.15. Stacja Vêlo'v w Lyonie

Inne możliwości legislacyjne

Pomysł z limitami prędkości nasuwa się sam. Co do zasady, samochody jeżdżące wolniej zużywają mniej energii (patrz: rozdział A). Praktyka czyni mistrza, kierowcy mogą nauczyć się, jak jeździć oszczędniej – rzadsze naciskanie gazu i hamulca, i jazda na najwyższym możliwym biegu pozwoli ograniczyć zużycie paliwa nawet o 20%.

Innym sposobem na zmniejszenie zużycia paliwa jest ograniczenie zatłoczenia dróg. Zatrzymywanie się i ruszanie, przyspieszanie i zwalnianie jest znacznie mniej efektywnym sposobem przemieszczania się niż płynna jazda. Tkwienie w korkach to wyjątkowo nieefektywny sposób przebywania kilometrów!

Zatłoczenie pojawia się wówczas, gdy na drogach jest zbyt wiele samochodów. Najprostszym sposobem zmniejszenia tłoku jest pogrupowanie podróżnych w mniejszej liczbie samochodów. Analizując przesiadkę z samochodów do autokarów, obliczymy przestrzeń na drodze zajmowaną przez jedno i drugie. Weźmy zatłoczoną autostradę, którą chcemy pokonywać z prędkością 100 km/h. Bezpieczna odległość między samochodami, przy tej prędkości, wynosi 80 m. Zakładając, że samochody jadą w odstępach 80 m, a każdy samochód wiezie 1,6 osoby, zapakowanie 40 osób do jednego autokaru zwalnia 2 kilometry drogi!

Zatłoczenie można ograniczyć, oferując dobre alternatywy (ścieżki rowerowe, transport publiczny) i pobierając dodatkowe opłaty od tych użytkowników dróg, którzy się do zatłoczenia przyczyniają. W przypisach do tego rozdziału wskazuję sprawiedliwą i prostą metodę szacowania tych opłat.

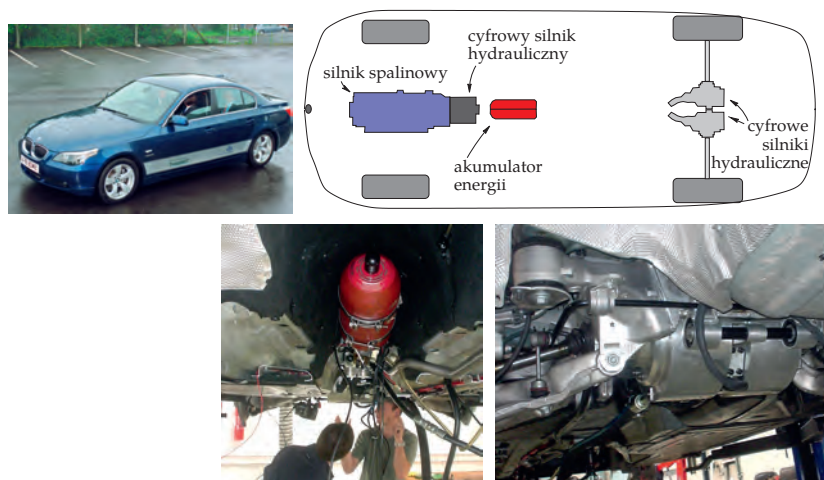
Usprawnianie samochodów

Zakładając, że romans krajów wysoko rozwiniętych z samochodem będzie trwał, jakie technologie zapewnią nam istotne oszczędności energetyczne? Oszczędności rzędu 10% czy 20% to pestka – omówiliśmy już niektóre sposoby ich osiągnięcia (np. produkowanie mniejszych i lżejszych samochodów). Inna możliwość to przejście z benzyny na olej napędowy. Silniki diesla są droższe w produkcji, ale zazwyczaj zużywają mniej paliwa. Czy jednak istnieją technologie, które mogą radykalnie zwiększyć efektywność łańcucha konwersji energii? (Przypominam, że w przeciętnym samochodzie na benzynę 75% energii jest przekształcane w ciepło i wyrzucane chłodnicą!) No i co z naszym celem odejścia od paliw kopalnych?

W tej części omówimy pięć technologii: hamowanie odzyskowe, samochody hybrydowe, samochody elektryczne, napędzane wodorem oraz samochody na sprężone powietrze.



Fot. 20.16. Przy takich korkach pieszo będzie szybciej...



Rys. 20.17. BMW 530i z zainstalowaną przez Artemis Intelligent Power hydrauliką sterowaną elektronicznie. U dołu, po lewej 6-litrowy akumulator (czerwona butla), mieszczący około 0,05 kWh energii w postaci sprężonego azotu. Na dole po prawej dwa 200-kilowatowe silniki hydrauliczne, napędzające tylne koła, służące zarówno do przyspieszania, jak i hamowania. Samochód wciąż jest zasilany standardowym silnikiem benzynowym o mocy 190 kW, ale dzięki sterowanej elektronicznie przekładni hydraulicznej i hamowaniu odzyskowemu, zużywa 30% mniej paliwa.

Hamowanie odzyskowe

Istnieją cztery sposoby odzyskiwania energii w procesie hamowania.

1. Prądnica połączona z kołami może ładować akumulator lub superkondensator.
2. Silniki hydrauliczne napędzane ruchem kół mogą sprężać powietrze, gromadzone następnie w małej butli.
3. Energię można gromadzić w kole zamachowym.
4. Energię hamowania można gromadzić w postaci energii grawitacyjnej, wjeżdżając pod górę (na rampę) zawsze, kiedy chcemy zwolnić. Opcja gromadzenia energii grawitacyjnej jest mało elastyczna, jako że rampa zawsze musi być tam, gdzie hamujemy. To dobre rozwiązanie dla pociągów, czego przykładem jest Victoria – londyńska linia metra. Każda stacja znajduje się na wzniesieniu. Nadjeżdżające pociągi samoistnie hamują, wjeżdżając pod górę, a odjeżdżając, samoistnie przyspieszają. Tak zaprojektowane „garbate” stacje pozwalają oszczędzić 5% energii i zwiększyć prędkość pociągów o 9%.

Elektryczne hamowanie odzyskowe (do magazynowania energii używa się akumulatora) pozwala odzyskać około 50% energii zużywanej na hamowanie, co przekłada się na około 20% redukcji kosztów energetycznych jazdy po mieście.

Systemy hamowania odzyskowego oparte na kole zamachowym lub silniku hydraulicznym wydają się działać lepiej niż systemy oparte na akumulatorach, odzyskując co najmniej 70% energii zużytej na hamowanie. Rys. 20.17 zawiera opis samochodu hybrydowego z silnikiem benzynowym napędzającym elektronicznie sterowany układ hydrauliczny. W zwykłym cyklu jazdy samochód taki zużywa 30% mniej paliwa niż samochód na benzynie. W trakcie jazdy po mieście zużywa o połowę mniej energii – 62 zamiast 131 kWh na 100 km (5,5 zamiast 12 l benzyny/100 km). Ta poprawa efektywności to zasługa zarówno hamowania odzyskowego, jak i technologii hybrydowej. Hydraulika i koło zamachowe są obiecującym sposobem odzyskiwania energii hamowania, bo są to małe systemy zdolne gromadzić duże ilości energii. Układ koła zamachowego, ważący zaledwie 24 kg (fot. 20.18), przeznaczony do magazynowania energii w samochodzie wyścigowym może zgromadzić 400 kJ (0,1 kWh) – ilość wystarczającą do rozpędzenia przeciętnego samochodu do prędkości 100 km/h, jest w stanie dostarczyć lub przyjąć moc 60 kW. Akumulatory o porównywalnej

mocy musiałyby ważyć jakieś 200 kg. Jeśli nie mamy w samochodzie tak dużego akumulatora, rozwiązaniem może być elektryczny system odzyskowy połączony z kondensatorem. Superkondensatory mają parametry magazynowania energii i zasilania podobne jak koło zamachowe.

Samochody hybrydowe

Samochody hybrydowe, takie jak Toyota Prius (fot. 20.19), mają bardziej efektywne silniki i system elektrycznego hamowania odzyskowego, jednak szczerze mówiąc, obecnie oferowane hybrydy nie wyróżniają się zbyt (rys. 20.9).

Poziome paski na rysunku 20.9 odpowiadają kilku wybranym modelom samochodów. Mamy tutaj dwie hybrydy. Podczas gdy przeciętny brytyjski samochód emituje 168 g CO₂ na km, hybrydowy Prius emituje około 100 g, podobnie jak kilka innych, niehybrydowych pojazdów – VW Polo *blue motion* emituje 99 g/km, a Smart zaledwie 88 g/km.

Druga hybryda to Lexus RX 400h, reklamowany sloganem „Niska emisja, zero poczucia winy!”. Ale przecież jego emisje to 192 g/km – więcej niż brytyjska średnia?! Komisja Etyki Mediów orzekła, że reklama złamała kodeks reklamowy w zakresie prawdomówności, jakości porównań oraz twierdzeń związanych z ochroną środowiska. „Wzięliśmy pod uwagę, że (...) odbiorcy mogli zrozumieć, iż samochód nie stanowi obciążenia dla środowiska naturalnego, co nie jest zgodne z prawdą, że samochód charakteryzuje się niską emisją CO₂ w stosunku do innych samochodów, co także jest nieprawdziwe”.

W praktyce technologie hybrydowe zapewniają oszczędności paliwa rzędu 20–30%. Tak więc ani hybrydy spalino-elektryczne, ani spalino-hydrauliczne pokazane na fot. 20.17 nie są prawdziwym przełomem w transporcie. 30-procentowa redukcja zużycia paliw kopalnych robi wrażenie, ale nie spełnia standardów tej książki. Zgodnie z naszym wyjściowym założeniem mamy odejść od paliw kopalnych, albo przynajmniej zredukować ich zużycie o 90%. Czy możemy wobec tego osiągnąć ten cel bez przesiadki na rowery?

Pojazdy elektryczne

Samochód elektryczny o nazwie REVA miał premierę w czerwcu 2001 roku w Bangalore. Eksportuje się go do Wielkiej Brytanii pod nazwą G-Wiz. Silnik elektryczny G-Wiza o mocy maksymalnej 13 kW pracuje ze stałą mocą 4,8 kW. Wyposażony jest w system hamowania odzyskowego. Zasila go osiem 6-woltowych akumulatorów kwasowych, na jednym ładowaniu przejeżdża „do 77 km”. Pełne ładowanie pobiera 9,7 kWh prądu. Liczby te oznaczają koszt transportowy rzędu 13 kWh na 100 km.

Producenci zawsze informują o najlepszych możliwych osiągnięciach swojego produktu. Jak to wygląda w rzeczywistości? Rzeczywiste osiągnięcia G-Wiza w Londynie pokazane są na fot. 20.21. Po 19 ładowaniach średni koszt transportowy tego G-Wiza wynosi 21 kWh na 100 km – mniej więcej cztery razy mniej niż w przypadku przeciętnego samochodu na benzynę. Najlepszy wynik to 16 kWh na 100 km, najgorszy – 33 kWh na 100 km. Jeżeli kogoś interesują emisje CO₂, 21 kWh na 100 km jest równoważne 105 g CO₂ na km, zakładając, że ślad węglowy elektryczności wynosi 500 g CO₂ na kWh [dla Polski 21 kWh na 100 km odpowiada emisjom 210 g CO₂ na km, przyjmując, że ślad węglowy elektryczności w Polsce wynosi 1 kg CO₂ na kWh – *red.*]

W tabeli osiągnięć G-Wiz plasuje się na jednym krańcu spektrum. A jeśli chcemy więcej – lepszego przyspieszenia, większej prędkości maksymalnej



Fot. 20.18. System hamowania odzyskowego oparty na kole zamachowym
Fot. Flybrid Systems



Fot. 20.19. Toyota Prius – wg. Jeremiego Clarksona, „bardzo drogi, bardzo skomplikowany, niezbyt ekologiczny, powolny, wyprodukowany niskim kosztem i w ogóle pozbawiony sensu sposób podróżowania”.



i większego zasięgu bez doładowywania? Na drugim końcu spektrum mamy Teslę Roadstera. Tesla Roadster 2008 przejeżdża na jednym ładowaniu 350 km; akumulator litowo-jonowy gromadzi 53 kWh energii, a waży 450 kg (120 Wh/kg). Samochód waży 1220 kg, a moc maksymalna silnika wynosi 185 kW. Jakie jest zużycie energii tego pokaznego samochodu? Co ciekawe, jest mniejsze niż w przypadku G-Wiz i wynosi **15 kWh na 100 km**. Dowodem na to, że zasięg 350 km powinien satysfakcjonować większość ludzi, jest fakt, że zaledwie 8,3% kierowców jeździ do pracy dalej niż 30 km.

Przejrzałem dane dotyczące osiągnięć wielu pojazdów elektrycznych – wymienia je w przypisach na końcu rozdziału – wydają się zgodne z naszym twierdzeniem, że koszt transportowy samochodów elektrycznych wynosi mniej więcej **15 kWh na 100 km**.

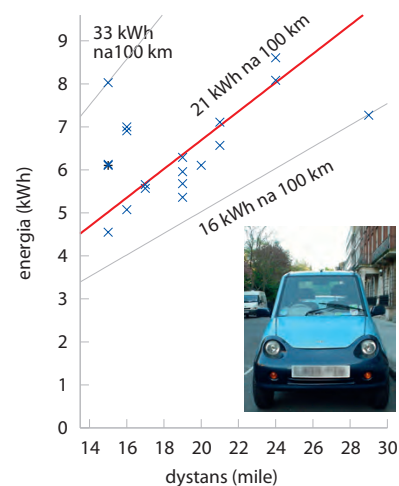
To pięć razy mniej niż nasz standardowy samochód na benzynę i znacznie mniej niż którykolwiek samochód hybrydowy. Hura! By jeździć oszczędnie, nie musimy się tłoczyć w środkach transportu publicznego – nadal możemy pomykać swobodnie, ciesząc się przyjemnościami jazdy w pojedynkę, właśnie dzięki samochodom elektrycznym.

W Pruszkowie produkuje się samochód elektryczny SAM RE-Volt. Silnik o mocy znamionowej 11,6 kW zasilany jest akumulatorami litowo-jonowymi o pojemności 7 kWh każdy. SAM wyposażony jest w system hamowania odzyskowego KERS. Na jednym ładowaniu przejeżdża „do 100 km”. Zużywa przeciętnie 7 kWh na 100 km, czyli o ponad połowę mniej niż średnia oszacowana przez Davida (SAM jest jednak lekkim, dwuosobowym trójkołowcem). Przy koszcie 50 gr za 1 kWh prądu 100-kilometrowa przejażdżka SAM-em kosztuje 3,5 zł.

Ta radosna chwila to dobry moment, by ujawnić wielki wykres podsumowujący ten rozdział. Rys. 20.23 ilustruje zapotrzebowanie na energię wszystkich form transportu pasażerskiego, które przedyskutowaliśmy i jeszcze kilku, które dopiero przedyskutujemy.

Dobrze więc, mamy koniec wyścigu i ogłosiliśmy zwycięzców – to transport publiczny, rowery i samochody elektryczne. A może są inne możliwości, dojeżdżające właśnie do mety? Musimy jeszcze omówić samochody zasilane sprężonym powietrzem i samochody na wodór. Nawet jeśli któryś z nich okaże się lepszy niż samochód elektryczny, nie wpłynie to znacząco na długofalową perspektywę – którąkolwiek z tych trzech technologii wybierzemy, pojazdy powinny być zasilane energią z „zielonych” źródeł.

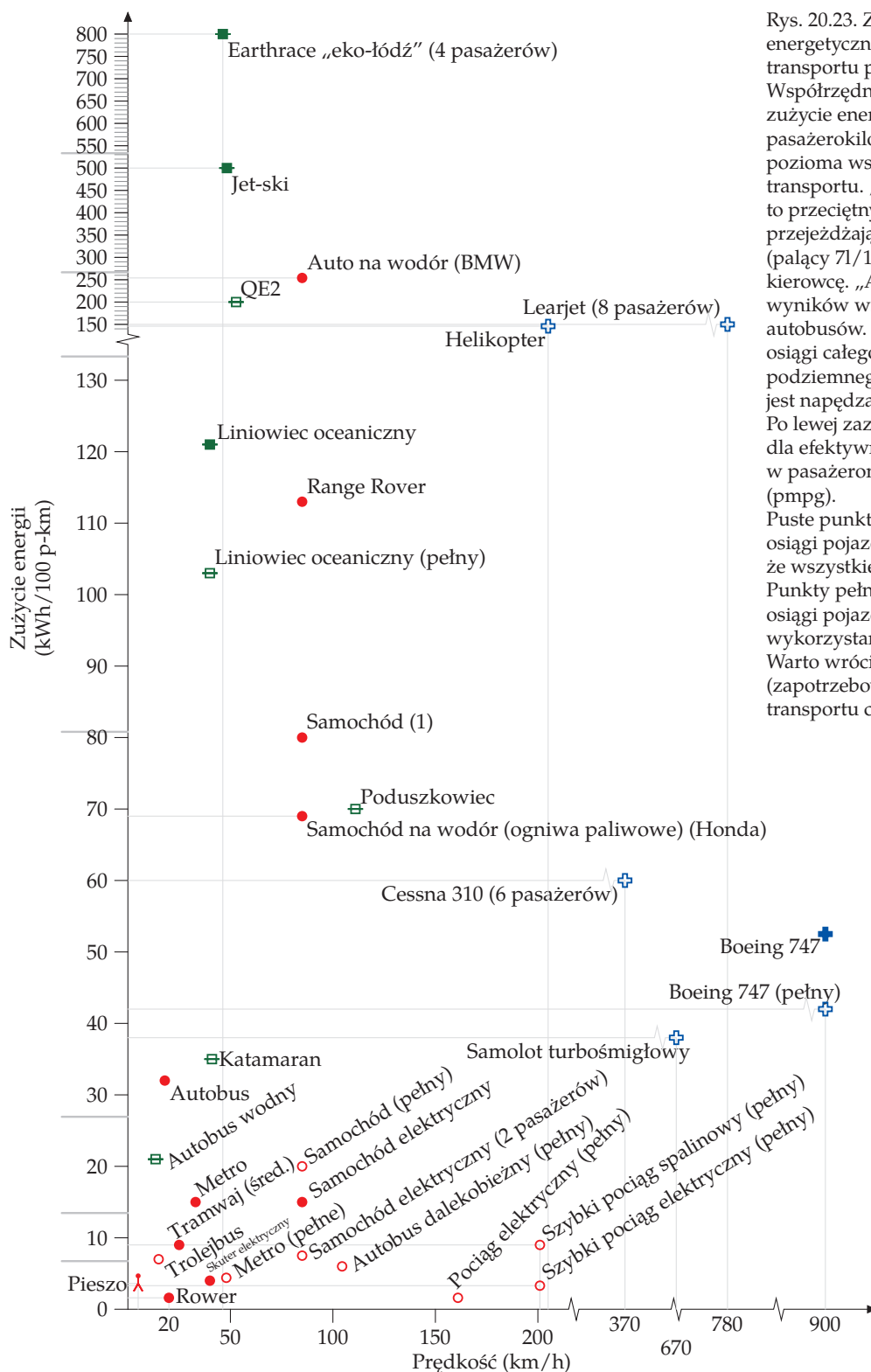
Fot. 20.20. Pojazdy elektryczne. Od lewej: G-Wiz, rdzewiejący wrak Sinclaira C5, Citroën Berlingo oraz Elettrica



Rys. 20.21. Ilość prądu potrzebna do naładowania G-Wiza w stosunku do przejechanego dystansu. Pomiary przy gniazdku



Fot. 20.22. Tesla Roadster, **15 kWh na 100 km**
www.teslamotors.com



Rys. 20.23. Zapotrzebowanie energetyczne różnych środków transportu pasażerskiego. Współrzędna pionowa pokazuje zużycie energii w kWh na 100 pasażerokilometrów. Współrzędna pozioma wskazuje prędkość środka transportu. „Samochód (1)” to przeciętny brytyjski samochód, przejeżdżający 33 mile na galonie (palący 7l/100 km), wiozący tylko kierowcę. „Autobus” to średnia wyników wszystkich londyńskich autobusów. „Metro” odzwierciedla osiągi całego systemu transportu podziemnego Londynu. Katamaran jest napędzany silnikiem diesla. Po lewej zaznaczyłem odpowiednik dla efektywności paliwowej w pasażeromilach na galon brytyjski (pmpg). Puste punkty oznaczają najlepsze osiągi pojazdu przy założeniu, że wszystkie miejsca są zajęte. Punkty pełne oznaczają rzeczywiste osiągi pojazdu dla typowego wykorzystania. Warto wrócić do rys. 15.8 (zapotrzebowanie na energię transportu ciężarowego).

Samochody na sprężone powietrze

Samochody zasilane powietrzem to pomysł nienowowy. Setki tramwajów na sprężone powietrze i gorącą wodę przemierzały ulice Nantes i Paryża w latach 1879–1911. Na fot. 20.24 widać niemiecką lokomotywę pneumatyczną z 1958 roku. Sądzę, że w zakresie efektywności energetycznej technika sprężania powietrza w celu magazynowania energii jest równie dobra, jak akumulatory elektryczne. Sęk w tym, że przy sprężaniu powietrza powstaje *ciepło*, które raczej nie zostanie spożytkowane efektywnie, a przy rozprężaniu powietrza – *chłód*, inny produkt uboczny, który też raczej nie zostanie zużyty efektywnie. Technologia sprężania powietrza ma jednak kilka istotnych przewag nad akumulatorem elektrycznym. Na przykład powietrze może być sprężane tysiące razy i nie zużywa się! Interesujące, że pierwszym produktem wypuszczonym na rynek przez Aircar jest skuter *elektryczny* [www.theaircar.com/acf].

Indyjski Tata Motors deklaruje zainteresowanie samochodami na powietrze. Nie wiadomo jednak, czy będziemy mieli renesans technologii sprężania powietrza, bo nie upubliczniono specyfikacji żadnego nowoczesnego prototypu. Podstawowym ograniczeniem jest fakt, że gęstość energetyczna w butli na sprężone powietrze wynosi zaledwie 11–28 Wh na kg. To mniej więcej tyle, ile w akumulatorze kwasowym i jakieś pięć razy mniej niż w akumulatorze litowo-jonowym (szczegóły dotyczące innych technologii magazynowania dostępne są na rys. 26.13, str. 208). Zasięg samochodu na sprężone powietrze nie będzie nigdy większy niż zasięg pierwszych samochodów elektrycznych. Systemy magazynowania za pomocą sprężonego powietrza mają jednak nad akumulatorami kilka przewag: większa trwałość, tańsza konstrukcja i mniej paskudnych chemikaliów.

Pojazdy napędzane wodorem – samochody jak sterowce

Uważam, że wodór jest przereklamowany. Wolałbym się mylić, nie wiem jednak, w jaki sposób wodór miałby przyczynić się do rozwiązania naszych problemów energetycznych. Wodór nie jest jakimś cudownym *źródłem* energii, jest jedynie *nośnikiem* energii, jak bateria wielokrotnego ładowania. I to raczej nieefektywnym nośnikiem energii, z całą masą defektów w użytkowaniu.

„Gospodarkę opartą na wodorze” wsparł magazyn „Nature”. Pochwalił gubernatora Kalifornii Arnolda Schwarzeneggera za to, że jeździ hummerem na wodór (fot. 20.25) „Nature” przytakuje wizji Arnolda, według którego samochody na wodór zastąpią „brudne modele” i konstatuje, że „gubernator jest prawdziwym bohaterem akcji na rzecz klimatu”. Skoro już mowa o wodorowym bohaterstwie, należy zadać sobie kluczowe pytanie: „Skąd weźmiemy energię, by wyprodukować wodór?”. Konwersja energii do postaci wodoru i z wodoru jest zawsze nieefektywna. Przynajmniej przy obecnym poziomie zaawansowania technologicznego.

Oto kilka liczb.

- W projekcie CUTE (Clean Urban Transport for Europe – Czysty Transport dla Europy), który miał pokazać możliwość zastosowania autobusów na ogniwa paliwowe oraz w technologii wodorowej, zasilanie autobusów na wodór wymagało od 80% do 200% *więcej* energii niż w przypadku zwykłego autobusu z silnikiem diesla.



Fot. 20.24. U góry: tramwaj na sprężone powietrze tankujący powietrze i parę wodną w Nantes. Napędzanie tramwajów w Nantes pochłaniało 4,4 kg węgla (36 kWh) na pojazdokilometr lub **115 kWh na 100 pkm**, przy założeniu, że wszystkie miejsca były zajęte. {5qhvcb}

U dołu: lokomotywa na sprężone powietrze o wadze 9,2 t, ciśnieniu 175 bar, mocy 26 kW.

Fot. Rüdiger Fach, Rolf-Dieter Reichert i Frankfurter Feldbahnmuseum



Fot. 20.25. Hummer H2H – zielona rewolucja na modłę amerykańską. Fot. General Motors

- Zasilenie BMW na wodór *Hydrogen 7* pochłania **254 kWh energii na 100 km** – 220% więcej niż w przypadku przeciętnego europejskiego samochodu.

Gdyby naszym zadaniem było „odejście od paliw kopalnych w transporcie przy założeniu, że dysponujemy nieskończoną ilością darmowej zielonej energii”, wówczas można by brać pod uwagę energochłonne rozwiązania transportowe, takie jak wodór (aczkolwiek z wodorem wiążą się też inne problemy). Niestety *zielona elektryczność nie jest za darmo*. W istocie, zapewnienie zielonej energii na miarę naszej konsumpcji będzie nie lada wyzwaniem. Paliwa kopalne są wyzwaniem energetycznym. Zmiany klimatu są problemem energetycznym. Musimy skupić się na rozwiązaniach mniej, a nie bardziej energochłonnych! Nie znam żadnego środka transportu lądowego o zużyciu energii wyższym niż samochód na wodór! (Bardziej energochłonny jest tylko odrzutowiec, zużywający jakieś **500 kWh na 100 km** oraz *Earthrace* – motorówka napędzana biodieslem, absurdalnie zwana ekolodnią, zużywająca **800 kWh na 100 pkm**).

Zwolennicy wodoru stwierdzą: „BMW Hydrogen 7 jest prototypem i potężnym autem luksusowym – efektywność technologii się poprawi”. Mam nadzieję, bo jest tu wiele do zrobienia. Tesla Roadster (fot. 20.22) też jest prototypem i potężnym autem luksusowym. A mimo to jest ponad 10 razy efektywniejsza energetycznie niż Hydrogen 7! Kto chce, niech stawia na wodorowego konia, droga wolna. To jednak nierozsądne typować konia, który tak wyraźnie zostaje w tyle. Wystarczy spojrzeć na rys. 20.30 – gdybyśmy nie skompresowali górnej części osi pionowej, samochód na wodór nie zmieściłby się na stronie!

Owszem, Honda na ogniwa paliwowe FCX Clarity jest lepsza – zużywa 69 kWh na 100 km – przewiduję jednak, że kiedy umilkną fanfary „zeroemisyjności”, okaże się, że samochody na wodór zużywają tyle samo energii, co dzisiejsze samochody na benzynę.

Oto kilka kolejnych problemów związanych z wodorem. Wodór jest gorszą formą magazynowania energii niż większość paliw płynnych, a to z uwagi na swoją objętość – niezależnie, czy występuje w postaci gazu pod wysokim ciśnieniem, czy płynu (co wymaga temperatury rzędu minus 253 °C). Nawet pod ciśnieniem 700 atmosfer (co wymaga naprawdę mocnego pojemnika ciśnieniowego) jego gęstość energetyczna (energia na jednostkę objętości) wynosi 22% gęstości benzyny. Kriogeniczny bak BMW Hydrogen 7 waży 120 kg i mieści 8 kg wodoru. Co więcej, wodór stopniowo wycieknie z praktycznie każdego zbiornika. Spróbujmy zaparkować samochód z pełnym bakiem wodoru na stacji kolejowej i wróćmy po tygodniu. Zapewne większość wodoru zniknie.

Kilka pytań o samochody elektryczne

Dowodzi pan, że samochody elektryczne są bardziej efektywne energetycznie niż te zasilane paliwami kopalnymi. Czy jednak przyczynią się do ograniczenia emisji CO₂, skoro większość prądu nadal pochodzi z elektrowni na węgiel i gaz?

Rachunek jest prosty. Załóżmy, że koszt energetyczny samochodu elektrycznego wynosi 20 kWh(e) na 100 km (choć uważam, że możliwe jest 15 kWh(e) na 100 km, poprzestańmy jednak na ostrożnej kalkulacji). Jeżeli sieć elektryczna ma ślad węglowy rzędu 500 g na kWh(e), wówczas rzeczywista emisja samochodu wyniesie **100 g CO₂ na km**, czyli tyle, ile emisja najmniej emisyjnego samochodu z silnikiem spalinowym (fot. 20.9). Reasumując, samochody elektryczne już teraz są dobrym wyborem. Jeszcze zanim zapewnimy sobie prąd z odnawialnych źródeł.



Fot. 20.26. BMW Hydrogen 7. Zużycie energii: **252 kWh na 100 km**
Fot. BMW



Fot. 20.27. „Ekołodka” Earthrace
Fot. David Castor



Fot. 20.28. Honda FCX Clarity – sedan na ogniwa paliwowe zasilane wodorem.
Obok aktorka Jamie Lee Curtis
Fot. automobiles.honda.com

Polska energetyka oparta jest na węglu – brudnym paliwie kopalnym, którego spalanie wiąże się z wysoką emisją CO₂. Do tego polskie elektrownie są niezbyt efektywne, zamieniając w elektryczność jedynie ok. 1/3 energii węgla. W rezultacie prowadzi to do emisji 1 kg CO₂ na każdą kWh prądu – dwukrotnie więcej niż w Wielkiej Brytanii. Związana z przejechaniem 1 km emisja CO₂ nie będzie więc wynosić 100 g, lecz 200 – czyli wynik dla sporej terenówki. Z tego powodu dzisiaj jazda samochodem elektrycznym w Polsce nie jest niestety dobrym sposobem na zmniejszenie emisji dwutlenku węgla.

Produkcja i eksploatacja samochodu kosztuje – niezależnie, czy to samochód elektryczny, czy z silnikiem spalinowym. Jazda samochodem elektrycznym może być tańsza niż jazda samochodem na benzynę czy gaz, jednak jego akumulatory nie są zbyt trwałe. Czy nie powinniśmy tego uwzględnić w kosztach eksploatacji?

To słuszna uwaga. Mój diagram transportowy pokazuje jedynie koszt przejazdu. Jeżeli w samochodzie elektrycznym co kilka lat trzeba wymieniać akumulator, moje liczby mogą być niedoszacowane. Żywotność akumulatora dla Toyoty Prius szacuje się na zaledwie 10 lat, a nowy kosztuje 3500 funtów. Czy posiadacz dziesięcioletniego Priusa zechce tyle zapłacić? Zapewne większość Priusów po 10 latach trafi na złom. Akumulator to pięta achillesowa pojazdów elektrycznych. Zakładam optymistycznie, że wraz z rozpowszechnieniem samochodów na prąd, powstaną lepsze akumulatory.

Mieszkam w gorącym klimacie. Jak mam jeździć elektrycznym samochodem? Muszę mieć w nim energożerną klimatyzację!

Istnieje dobry sposób zaspokojenia tego zwiększonego zapotrzebowania na prąd – 4 m² paneli fotowoltaicznych na dachu samochodu elektrycznego. Jeżeli potrzebujemy włączyć klimatyzację, znaczy to, że świeci słońce. Panele o efektywności rzędu 20% wygenerują do 800 W energii, co wystarczy do zasilenia klimatyzacji. Panele mogą nawet częściowo ładować zaparkowany samochód. Klimatyzacja zasilana słońcem znalazła się na wyposażeniu Mazdy w 1993 roku – ogniwa słoneczne zostały umieszczone w szklanym dachu.

Mieszkam w zimnym klimacie. Jak mam jeździć elektrycznym samochodem? Muszę mieć w nim energożerne ogrzewanie!

Silnik samochodu elektrycznego podczas jazdy zużywa średnio 10 kW, z efektywnością rzędu 90–95%. Pozostała część energii 5–10%, wydzielona w silniku w postaci ciepła. Zapewne da się tak zaprojektować samochody elektryczne do użytku w chłodnym klimacie, by to ciepło, rzędu nawet 250 lub 500 W, ogrzewało wnętrze samochodu. Taka ilość ciepła przyczyniłaby się do ogrzania szyb, kierowcy i pasażerów.

Czy akumulatory litowo-jonowe mogą stanowić zagrożenie w razie wypadku?

Niektóre akumulatory litowo-jonowe źle znoszą krótkie spięcia lub przegrzanie, ale w produkcji są już bezpieczniejsze akumulatory, litowo-fosforanowe. Więcej na ten temat w zabawnym filmiku na www.valence.com

Czy wystarczy litu do akumulatorów, jeżeli zaczniemy masowo produkować samochody elektryczne?

Światowe zasoby litu, w postaci rudy, szacuje się na 9,5 mln ton (str. 175). Akumulator litowo-jonowy zawiera 3% litu. Przy założeniu, że akumulator waży 200 kg, potrzebujemy 6 kg litu na pojazd. Szacowane zasoby rud litu wystarczą na wyprodukowanie akumulatorów dla 1,6 mld pojazdów. To więcej niż mamy obecnie samochodów na świecie (około miliard), ale niewiele więcej, tak więc obawy o wyczerpywanie złóż litu są uzasadnione. Szczególnie, że konkurencję stanowi przemysł jądrowy i pomysł zastosowania litu w reaktorach (rozdział 24). Tysiące razy więcej litu zawiera woda morska – być może dodatkowego litu dostarczą oceany. Co więcej, jak mówi ekspert zajmujący się litem R. Keith Evans: „Nieuzasadnione są obawy, czy wystarczy litu do akumulatorów dla samochodów hybrydowych i elektrycznych i dla innych znanych nam zastosowań”. Tak czy owak, już rozwijają się inne technologie bezlitowych akumulatorów, takie jak akumulator cynkowo-powietrzny [www.revolttechnology.com]. Myślę, że samochód elektryczny ma przyszłość!

Przyszłość latania?

Według Airbusa Superjumbo A380 jest „samolotem o wysokiej efektywności zużycia paliwa”. W rzeczywistości pali zaledwie 12% mniej paliwa na pasażera niż Boeing 747.

Boeing ogłosił podobne rewelacje: nowy 747-8 Intercontinental, obtrąbiony jako przyjazny planecie, ma (według reklamy Boeinga) zaledwie 15% niższe zużycie paliwa niż 747-400.

Wolne tempo postępu technologicznego (w kontraście do postępu w motoryzacji, gdzie przełomy technologiczne przynoszą dwukrotną, a nawet trzykrotną poprawę efektywności), wyjaśniono w rozdziale technicznym C. Samoloty wznoszą się w powietrze, walcząc z podstawowymi prawami fizyki. Każdy samolot, niezależnie od rozmiaru, musi zużywać 0,4 kWh na tonokilometr, by przemieszczać się w powietrzu. Efektywność samolotów i tak została już fantastycznie zoptymalizowana. Nie ma widoków na znaczącą poprawę w tym zakresie.

Jakiś czas temu sądziłem, że rozwiązaniem problemu transportu długodystansowego byłby powrót do tego, co było przed samolotami, czyli statków morskich. Potem przeanalizowałem liczby. Smutna prawda jest taka, że statek zużywa więcej energii na pasażerokilometr niż samolot. Queen Elisabeth 2 zużywa 4 razy więcej energii na pasażerokilometr niż samolot odrzutowy. No dobrze, to statek luksusowy, co z wolniejszym liniowcem klasy turystycznej? W latach 1952–1968 tanim sposobem przedostania się przez Atlantyk była podróż jednym z dwóch holenderskich liniowców, zwanych „Tanimi Bliźniakami” – Maasdamem lub Rijndamem. Pływały z prędkością 16,5 węzłów (30,5 km/h), tak więc podróż z Wielkiej Brytanii do Nowego Jorku zabierała 8 dni. Jeżeli wiozły komplet pasażerów, czyli 893 osób, zużycie energii wynosiło 103 kWh na 100 pkm. Przy średnim wypełnieniu rzędu 85% zużycie energii wynosiło 121 kWh na 100 pkm – ponad dwa razy więcej niż w przypadku samolotu odrzutowego. Oddając statkom sprawiedliwość, energię zużywają nie tylko na transport, ale też na ogrzewanie, gorącą wodę, światło i rozrywki dla załogi i pasażerów, w dodatku przez szereg dni. Niestety, energia zaoszczędzona w domu (bo zużyta na statku) jest niczym w porównaniu z konsumpcją



Fot. 20.29. Airbus A380

energii na liniowcu, która, w przypadku Queen Elisabeth 2, wynosi jakieś 3 000 kWh na osobę dziennie.

Ze smutkiem stwierdzam, że statki nie konsumują mniej energii niż samoloty. Skoro jednak szukamy możliwości podróżowania na długich dystansach bez wykorzystania paliw kopalnych, ciekawą opcją mogą być statki z napędem atomowym (fot. 20.31 i 20.32).

A co z transportem towarowym?

Międzynarodowy towarowy transport morski zaskakująco efektywnie wykorzystuje paliwa kopalne. Odejście od paliw kopalnych w transporcie drogowym jest więc większym priorytetem niż odejście od paliw kopalnych w transporcie morskim. Tak, ale paliwa kopalne są zasobem nieodnawialnym i statki, koniec końców, będą musiały pływać dzięki innemu paliwu. Rozwiązaniem mogą być biopaliwa. Kolejnym może być energia jądrowa. Pierwszym statkiem towarowo-pasażerskim zasilanym energią jądrową był NS Savannah, zwodowany w 1962 jako element inicjatywy prezydenta Dwighta D. Eisenhowera „Atom dla pokoju” (fot. 20.31).

Zasilany 74-megawatowym reaktorem jądrowym, wprawiającym w ruch 15-megawatowy silnik Savannah pływał z prędkością eksploatacyjną 21 węzłów (39 km/h), zabierał 60 pasażerów i 14 000 ton ładunku. Oznacza to koszt transportowy w wysokości 0,14 kWh na tonokilometr. Statek mógł przepłynąć 500 000 km bez pobrania paliwa. Pływa już wiele okrętów jądrowych zarówno wojskowych, jak i cywilnych. Na przykład Rosja dysponuje dziesięcioma lodołamaczami o napędzie nuklearnym, z czego siedem jest wciąż na chodzie. Na fot. 20.32 znajduje się lodołamacz o napędzie jądrowym Jamał, wyposażony w dwa 171-megawatowe reaktory oraz silniki o mocy 55 MW.

„Chwileczkę! Nie wspomniał pan o lewitacji magnetycznej”

Niemiecka firma Transrapid, która zbudowała kolej magnetyczną w chińskim Szanghaju (fot. 20.33), twierdzi: „Superszybki system kolei magnetycznej Transrapid nie ma sobie równych w kategoriach redukcji hałasu, niskiego zużycia energii i użytkowania przestrzeni. Innowacyjny transport bez kontaktu z podłożem oferuje mobilność bez obciążania środowiska naturalnego”.

Lewitacja magnetyczna (*maglev*) to jedna z wielu technologii podawanych jako dobry przykład w dyskusjach na tematy energetyczne. Tymczasem w zakresie zużycia energii, w porównaniu z innymi pociągami dużej prędkości Transrapid nie wypada aż tak korzystnie:

Pociągi dużej prędkości przy prędkości 200 km/h (125 mil/h)	
Transrapid	2,2 kWh na 100 pasażerokilometrów (jeśli pełny)
ICE	2,9 kWh na 100 pasażerokilometrów (jeśli pełny)

Strona internetowa Transrapid zawiera porównanie Transrapid z pociągiem Inter-CityExpress (ICE), elektrycznym pociągiem dużych prędkości.

Oto główne powody, dla których kolej magnetyczna wypadła nieco lepiej niż ICE: silnik z napędem magnetycznym ma wysoką sprawność; sam pociąg jest lekki, bo większa część systemu napędowego znajduje się w torowisku;



Fot. 20.30. TSS Rijndam



Fot. 20.31. NS Savannah, pierwszy handlowy statek towarowy o napędzie nuklearnym, przepływający pod Golden Gate Bridge w 1962



Fot. 20.32. Lodołamacz o napędzie nuklearnym Jamał z setką turystów na pokładzie płynie na biegun północny (2001).
Fot. Wofratz

zabiera większą liczbę pasażerów, bo nie potrzebuje miejsca na silniki. Nie bez znaczenia jest fakt, że to dane ze strony producenta *magleva*. Muszą wskazywać, że kolej magnetyczna jest lepsza!

Co ciekawe, ci którzy widzieli Transrapid w Szanghaju, twierdzą, że przy pełnej prędkości jest „równie cichy jak odrzutowiec”.

Przypisy i zalecana literatura

Numer strony:

- 131 Powszechnie cytowane statystyki mówią: „Zaledwie 1 procent energii zużywanej przez samochód służy do przemieszczania kierowcy”. Liczne wersje tej legendy różnią się wartością procentową. Jedni mówią: „5% energii służy do przemieszczania kierowcy”. Inni twierdzą: „Zaledwie trzy dziesiąte z jednego procenta energii zawartej w paliwie służy do przemieszczania kierowcy”. [4qgg8q] Według mnie żadna z tych liczb nie jest ani prawdziwa, ani przydatna.
- Osiągi roweru są zbliżone do osiągnięć ekosamochodu. Jazda zwykłym rowerem to koszt energetyczny ok. 1,6 kWh na 100 km, przy prędkości 20 km/h. Szczegóły i adnotacje zawarte są w rozdziale A, str. 262.
- Pociąg osobowy z Cambridge do Londynu liczący 8 wagonów (fot. 20.4) waży 275 ton i ma 584 miejsc siedzących. Jego prędkość maksymalna wynosi 100 mi/h (161 km/h), a moc wyjściowa – 1,5 MW. Jeżeli wszystkie miejsca są zajęte, to przy prędkości maksymalnej pociąg zużywa najwyżej 1,6 kWh na 100 pasażerokilometrów.
- 132 Londyńska kolej podziemna. Pociąg linii Victoria składa się z czterech 30,5-tonowych i czterech 20,5-tonowych wagonów (te pierwsze wyposażone są w silniki). Przeciętna waga pociągu wynosi więc 228 ton. Prędkość maksymalna wynosi 45 mi/h (72 km/h). Prędkość średnia – 31 mi/h (50 km/h). Kiedy większość miejsc siedzących jest zajęta, pociąg wiezie około 350 pasażerów; zapakowany po brzegi – około 620. Zużycie energii w godzinach szczytu wynosi mniej więcej 4,4 kWh na 100 pasażerokilometrów (Catling, 1966).
- Pociąg dużej prędkości. Napędzany silnikiem diesla pociąg InterCity 125 (na fot. 20.5 po lewej) waży 410 ton. Przy prędkości 125 mi/h (201 km/h), zużywana moc wynosi 2,6 MW. Pociąg zabiera do 500 pasażerów. Średnie zużycie paliwa wynosi 0,84 litra diesla na 100 pasażerokilometrów [5o5x5m], co daje koszt transportowy rzędu 9 kWh na 100 pasażerokilometrów. Elektryczny pociąg Class 91 (na fot. 20.5 po lewej) przy prędkości 140 mi/h (225 km/h) zużywa 4,5 MW. Wg Rogera Kempa średnie zużycie energii tego pociągu wynosi 3 kWh na 100 pasażerokilometrów [5o5x5m]. Wg analiz rządowych [5fbeg9] pociągi na magistralach kolejowych wschodniego i zachodniego wybrzeża zużywają około 15 kWh na km (cały pociąg). Liczba miejsc w tych pociągach wynosi 526 (na magistrali wschodniego wybrzeża) i 470 (na zachodnim wybrzeżu). Daje to 2,9 – 3,2 kWh na 100 pasażerokilometrów.
- 133 całkowity koszt energetyczny funkcjonowania londyńskiego metra wyniósł 15 kWh na 100 pkm (...) koszt energetyczny londyńskich autobusów wyniósł 32 kWh na 100 pkm. Źródło: [679rpc]. Źródło danych dot. prędkości pociągów i autobusów: Ridley and Catling (1982).
- Całkowite zużycie energii w systemie tramwajowym w londyńskim Croydon. www.tfl.gov.uk/assets/downloads/corporate/TfL-environment-report-2007.pdf
www.tfl.gov.uk/assets/downloads/corporate/London-Travel-Report-2007-final.pdf
www.croydon-tramlink.co.uk
- 135 W aglomeracji warszawskiej energetyczny koszt dojazdu Octavią wynosi około 50 kWh na 100 pkm. W 2005 roku samochody wiozły przeciętnie 1,3 pasażera (źródło: *Warszawskie Badanie Ruchu 2005*, <http://www.siskom.waw.pl/komunikacja/WBR2005-raport-koncowy.pdf>). Przy koszcie energetycznym samochodu rzędu 70 kWh na 100 km daje to około 50 kWh na 100 pasażerokilometrów.



Fot. 20.33. Pociąg kolei magnetycznej na międzynarodowym lotnisku Pudong w Szanghaju:

„jadący bez kół,
lejący bez skrzydeł”

Fot. Alex Needham



Fot. 20.34. 9 na 10 samochodów w Londynie to elektryczne G-Wizy (a 95% statystyk sfalszowano)

- 135 (...) **budowa znakomitej infrastruktury rowerowej** (...) – Brytyjskie wytyczne w sprawie projektowania ulic [www.manualforstreets.org.uk] promują projekty ulic o optymalnej prędkości ruchu na poziomie 20 mil/h (32 km/h). Więcej w: Franklin (2007).
- 136 ... **sprawiedliwą i prostą metodę pobierania tych opłat**. Stephen Salter opowiedział mi o świetnym pomysle zautomatyzowanego poboru opłat za wjazd do centrum. Zwykła dzienna opłata za wjazd do centrum Londynu wysyła kierowcom jedynie sygnał – kiedy kierowca zdecyduje się zapłacić, nie ma zachęty, by niewiele jeździć po centrum. Ani też nie odnosi żadnych korzyści, jeżeli skrupulatnie wybierze mało zatłoczone ulice. Zamiast więc delegować odgórnie siły porządkowe, które zdecydują zawczasu, gdzie są płatne strefy, a potem będą je drogo i kosztem naszej intymności monitorować i nagrywać, Salter proponuje prostszy, zdecentralizowany i anonimowy system poboru opłat za wjazd do zatłoczonych stref – kiedykolwiek i gdziekolwiek to zatłoczenie rzeczywiście występuje. System działałby na poziomie kraju. A oto zasady jego funkcjonowania. Potrzebujemy urządzenia, które odpowie nam na pytanie: „Jak bardzo zatłoczona jest droga, którą właśnie jadę?”. Dobrym sposobem mierzenia zatłoczenia jest sprawdzenie „jak dużo samochodów jedzie obok mnie?”. W szybkim ruchu drogowym odległość między pojazdami jest większa niż w powolnym. W korku samochody toczą się z trudem, blisko siebie, jeden za drugim. Liczba samochodów jadących w pobliżu można zmierzyć anonimowo, umieszczając w każdym pojeździe radionadajnik/odbiornik (np. najtańszą komórkę), który będzie transmitował regularne sygnały radiowe zawsze, kiedy silnik jest w ruchu oraz liczył sygnały, które odbiera od innych samochodów. Opłata za przejazd byłaby proporcjonalna do liczby sygnałów naliczonych, można by ją uiszczać na stacjach benzynowych przy okazji tankowania. Radionadajnik/odbiornik zastąpiłby stosowaną dziś w Wielkiej Brytanii winietę podatkową.
- 137 **Systemy hamowania odzyskowego oparte na silniku hydraulicznym lub kole zamachowym odzyskują co najmniej 70% energii zużytej na hamowanie**. Sprężone powietrze stosowane jest do hamowania odzyskowego w ciężarówkach; strona www.eaton.com podaje, że „hydrauliczne wspomaganie startu” (*hydraulic launch assist* – HLA) odzyskuje 70% energii kinetycznej. [5cp27]]. System oparty na kole zamachowym flybridsystems.com również wychwytuje 70% energii kinetycznej: www.flybridsystems.com/F1System.html
Elektryczne hamowanie odzyskowe pozwala odzyskać około 50% energii.
Źródło: E4tech (2007).
- 138 **Akumulatory o mocy 60 kW musiałyby ważyć jakieś 200 kg**. Dobre akumulatory litowo-jonowe mają moc właściwą rzędu 300 W/kg (Horie i inni, 1997; Mindl, 2003).
- ... **przeciętny brytyjski samochód emituje 168 g CO₂ na km**.
To dane z roku 2006 (King, 2008). Średnia emisja nowego samochodu osobowego w SA wyniosła 255 g na km (King, 2008).
 - **Samochody hybrydowe, takie jak Toyota Prius, mają bardziej efektywne silniki i system elektrycznego hamowania odzyskowego**. Silnik benzynowy Priusa pracuje w obiegu Atkinsona zamiast w konwencjonalnym obiegu Otto. Dzięki sprytnemu mieszanii mocy elektrycznej i mocy benzyny, zgodnie z potrzebami kierowcy, Prius zadowala się silnikiem mniejszym niż zazwyczaj mają samochody tej wagi i konwertuje benzynę na pracę w sposób bardziej efektywny niż konwencjonalne silniki spalinowe.
 - **Technologie hybrydowe zapewniają oszczędności paliwa rzędu 20 – 30%**. Na przykład raport badawczy Hitachi (Kaneko i inni, 2004) w opisie pociągów hybrydowych stwierdza, że wysokoefektywne generowanie mocy oraz hamowanie odzyskowe: „Mogą dać oszczędności paliwa rzędu 20% w porównaniu do konwencjonalnych pociągów zasilanych silnikiem diesla”.
- 139 **zaledwie 8,3% kierowców jeździ do pracy dalej niż 30 km**. Źródło: Eddington (2006). Zależność między wielkością akumulatora i zasięgiem samochodu elektrycznego została omówiona w rozdziale A (str. 261).

Auto (100 km):
80 kWh

Pociąg: 3 kWh

Rys. 20.35. Koszt energetyczny na podróżnego: 100 km w samochodzie (jedzie tylko kierowca) i 100 km w elektrycznym pociągu dużej prędkości (wszystkie miejsca są zajęte).



Fot. 20.36. Tramwaje sprawdzają się zarówno w Stambule, jak i w Pradze.

- ...wielu pojazdów elektrycznych. Wszystkie wymieniam poniżej bez szczególnego porządku. Dane dotyczące osiągnięć pochodzą głównie od producentów. Jak przekonaaliśmy się na stronie 127, rzeczywiste osiągi nie zawsze pokrywają się z deklaracjami producentów.

Th!nk Norweskie samochody elektryczne. Pięciodrzwiowy Th!nk Ox ma zasięg 200 km. Akumulatory ważą 350 kg, a cały samochód – 1 500 kg. Zużycie energii wynosi mniej więcej **20 kWh na 100 km**. www.think.no

Elektryczny Smart „Wersja elektryczna jest zasilana przez silnik o mocy 40 koni mechanicznych BHP (29KW). Przejeżdża do 70 mil (113 km). Prędkość maksymalna wynosi 70 mil/h (113 km/h). Ładowanie w zwykłym gniazdku kosztuje około 1,20 funta i odpowiada emisji CO₂ rzędu 60 g/km [dla Polski 120g/km – red.] [jego odpowiednik wśród samochodów na benzynę, Smart, ma emisję rzędu 116 g/km]. Pełne ładowanie zajmuje około 8 godzin, ale naładowanie akumulatora wyczerpanego w 80% do poziomu naładowania w 80% zabiera mniej więcej 3,5 godziny”. [ze strony: www.whatcar.com/news-article.aspx?NA=226488].

Berlingo Electrique 500E Miejski samochód dostawczy (fot. 20.20), ma 27 akumulatorów niklowo-kadmowych i silnik o mocy 28 kW. Ładowność 500 kg. Prędkość maksymalna 100 km/h; zasięg 100 km. **25 kWh na 100 km** (szacunki posiadacza Berlingo). [4wm2w4]

i MiEV Ten samochód elektryczny ma mieć zasięg 160 km na akumulatorach o pojemności 16 kWh. To **10 kWh na 100 km** – wynik lepszy niż w przypadku G-Wiza. Podczas gdy trudno byłoby upchnąć w G-Wizie dwóch dorosłych Europejczyków, prototyp Mitsubishi ma czworo drzwi i cztery pełnowymiarowe siedzenia (fot. 20.38). [658ode]

EV1 Dwuosobowy samochód General Motors ma zasięg na pełnym akumulatorze od 120 do 240 km, hybrydowe akumulatory niklowo-metalowe o pojemności 26,4 kWh. Oznacza to zużycie energii **11 – 22 kWh na 100 km**.

Lightning (fot. 20.39) – ma cztery silniki bezszczotkowe o mocy 120 kW każdy, po jednym na każde koło, system hamowania odzyskowego i szybko ładujące się akumulatory litowo-tytanowe Nanosafe. Pojemność 36 kWh pozwala przejechać 200 mil (320 km). To **11 kWh energii na 100 km**.

Aptera Ta fantastyczna obła ryba to dwuosobowy samochód, którego koszt energetyczny podobno wynosi **6 kWh na 100 km**. Jego współczynnik oporu powietrza wynosi 0,11 (fot. 20.40). W przygotowaniu są modele elektryczne i hybrydowe.

Loremo Tak jak Aptera Loremo (fot. 20.41) ma małą strefę przednią i niski współczynnik oporu powietrza (0,2). On też ma być oferowany zarówno w wersji z silnikiem spalinowym, jak i elektrycznym. Ma dwa pełnowymiarowe miejsca z przodu i dwa dziecięce siedzonka skierowane do tyłu. Loremo EV będzie miał akumulatory litowo-jonowe. Przewiduje się, że będzie miał koszt energetyczny rzędu **6 kWh na 100 km**, prędkość maksymalną 170 km/h oraz zasięg 153 km. Waga 600 kg.

eBox eBox ma akumulator litowo-jonowy o pojemności 35 kWh i wadze 280 kg oraz zasięg 140–180 mil (225–290 km). Silnik o mocy maksymalnej 120 kW pracuje ze stałą mocą 50 kW. Zużycie energii: **12 kWh na 100 km**.

Ze-0 Samochód pięciuosobowy i pięciodrzwiowy. Prędkość maksymalna 50 mil/h (80 km/h). Zasięg 50 mil (80 km). Waga, włączając akumulatory, 1350 kg. Akumulatory ołowiowo-kwasowe o pojemności 18 kWh. Silnik 15 kW. **22,4 kWh na 100 km**.

e500 Włoski samochód podobny do Fiata, dwudrzwiowy, czteroosobowy. Prędkość maksymalna 60 mil/h (97 km/h). Zasięg w cyklu miejskim 75 mil (120 km). Akumulator polimerowy litowo-jonowy.

MyCar MyCar to samochód dwuosobowy włoskiego projektu. Prędkość maksymalna 40 mil/h (64 km/h). Zasięg maksymalny 60 mil (97 km). Akumulatory ołowiowo-kwasowe.

Mega City Dwuosobowy samochód o maksymalnej mocy trwałej 4 kW i prędkości maksymalnej 40 mil/h (64 km/h), co daje **11,5 kWh na 100 km**. Waga bez załadunku (włączając akumulatory) – 725 kg. Akumulatory ołowiowe mają pojemność 10 kWh.



Fot. 20.37. Th!nk Ox.
Fot. z: www.think.no

Xebra Podobno ma zasięg 40 km przy akumulatorze o pojemności 4,75 kWh. **12 kWh na 100 km**. Prędkość maksymalna 65 km/h. Akumulatory ołowioowo-kwasowe.

TREV Nazwa jest skrótem od The Two-Seater Renewable Energy Vehicle (dwuosobowy samochód na odnawialne źródła energii). TREV jest prototypem zaprojektowanym na Uniwersytecie Południowej Australii (fot. 20.42). Ten trzykołowiec ma zasięg 150 km, prędkość maksymalną 120 km/h, masę 300 kg i akumulatory polimerowe litowo-jonowe o wadze 45 kg. Podczas podróży na dystansie 3000 km zużycie energii wyniosło **6,2 kWh na 100 km**.

Venturi Fetish Ma akumulator o pojemności 28 kWh, ważący 248 kg. Samochód waży 1000 kg. Zasięg 160–250 km. To koszt energetyczny rzędu **11–17 kWh na 100 km**. www.venturifetish.fr/fetish.html

Toyota RAV4 EV Ten całkowicie zasilany elektrycznością mini SUV był w ofercie Toyoty w latach 1997–2003 (fot. 20.43). RAV4 EV ma 24 akumulatory 12-voltowe o pojemności 95 Ah, niklowo-metalowo-wodorowe (NiMH), zdolne zgromadzić 27,4 kWh. Zasięg 130–190 km. W tym przypadku zużycie energii wynosi **14–21 Wh na 100 km**. Samochodami RAV4 EV jeździła policja w brytyjskim Jersey.

Phoenix SUT – pięciosobowy sportowy pickup („sport utility truck” – SUT) wyprodukowany w Kalifornii. Ma zasięg „do 130 mil (209 km)” na akumulatorach litowo-jonowych o pojemności 35 kWh (to **17 kWh energii na 100 km**). Akumulatory można naładować w specjalnych punktach ładowania w ciągu 10 minut. www.gizmag.com/go/7446/

SAM RE-Volt – produkowany w Pruszkowie polski samochód elektryczny. Silnik o mocy znamionowej 11,6 kW zasilany jest akumulatorami litowo-jonowymi o pojemności 7 kWh każdy. SAM wyposażony jest w system hamowania odzyskowego KERS. Na jednym ładowaniu przejeżdża „do 100 km”. Zużywa przeciętnie 7 kWh na 100 km. <http://www.auto-elektryczne.pl/sam.html> [red.]

Samochód dostawczy Modec – Modec przewozi dwie tony na dystansie 100 mil (161 km). Masa pojazdu gotowego do jazdy – 3000 kg. www.modec.co.uk

Smith Ampere Mniejszy van dostawczy, akumulatory litowo-jonowe o pojemności 24 kWh. Zasięg „ponad 100 mil (161 km)”. www.smithelectricvehicles.com

Minibus elektryczny – Ze strony www.smithelectricvehicles.com:

Akumulatory Li-Ion o pojemności 40 kWh, silnik o mocy 90 kW z hamowaniem odzyskowym. Zasięg „ponad 100 mil (161 km)”. 15 miejsc siedzących. Masa pojazdu gotowego do jazdy – 3026 kg. Ładowność 1224 kg. W najlepszym razie zużycie energii wynosi **25 kWh na 100 km**. Jeżeli wszystkie miejsca są zajęte, koszt energetyczny na pasażera jest imponująco mały – zaledwie **2 kWh na 100 pkm**.

Autokar elektryczny – Autobus Thunder Sky ma zasięg 180 mil (290 km). Ładuje się w 3 godziny. www.thunder-sky.com

Skuter elektryczny – Vectrix to pokazny skuter (fot. 20.44). Hybrydowy akumulator niklowo-metalowy ma pojemność 3,7 kWh. Przejedzie do 68 mil (110 km) z prędkością 25 mil/h (40 km/h), ładuje się 2 godziny w zwykłym gniazdku. Na 110 km zużywa 3 kWh, co oznacza **2,75 kWh na 100 km**. Prędkość maksymalna 62 mil/h (100 km/h). Waga 210 kg, moc maksymalna 20 kW. www.vectrix.com
Skuter Oxygen Cargo jest mniejszy. Waży 121 kg, ma zasięg 38 mil (61 km), ładuje się 2–3 godziny. Moc maksymalna 3,5 kW; prędkość maksymalna 28 mil/h (45 km/h). Ma dwa akumulatory Li-Ion i system hamowania odzyskowego. Zasięg można zwiększyć przez dodanie akumulatorów, z których każdy gromadzi 1,2 kWh energii i waży 15 kg. Zużycie energii: **4 kWh na 100 km**.

141 ... gęstość energetyczna w butli na sprężone powietrze wynosi zaledwie **11–28 Wh na kg**. Granica teoretyczna, przy założeniu doskonałej kompresji izotermicznej: jeżeli 1 m³ powietrza zostanie powoli skompresowany w 5-litrowej butli pod ciśnieniem 200 bar, potencjalnie można zmagazynować 0,16 kWh w 1,2 kg powietrza. W praktyce, 5-litrowa butla wytrzymująca takie ciśnienie waży ok. 7,5 kg (stalowa) lub 2 kg (z włókien kevlarowych lub węglowych). Ostatecznie gęstość energetyczna wyniesie około 11–28 Wh na kg. Teoretyczna gęstość energetyczna jest niezależna od objętości butli.



Fot. 20.38. The i-MiEV produkcji Mitsubishi. Ma silnik o mocy 47 kW, waży 1080 kg. Prędkość maksymalna 130 km/h



Fot. 20.39. Lightning, 11 kWh na 100 km.

Fot. www.lightningcarcompany.co.uk



Fot. 20.40. APTERA, 6 kWh na 100 km.

Fot. www.aptera.com



Fot. 20.41. Loremo, 6 kWh na 100 km.

Fot. evolution.loremo.com

- 141 Pochwalił gubernatora Kalifornii Arnolda Schwarzeneggera za to, że jeździ Hummerem na wodór. „Nature” nr 438, 24 listopada 2005. Nie twierdzą, że wodór nigdy nie znajdzie zastosowania w transporcie. Wolałbym jednak, by tak prestiżowe pismo jak „Nature”, zamiast wpadać w euforię, dokonało nieco bardziej krytycznej oceny przereklamowanego wodoru.

Wodór i ogniwa paliwowe nie są właściwym rozwiązaniem. Decyzja administracji Busha i władz stanowych Kalifornii o inwestowaniu w wodór to najgorsza decyzja ostatnich lat.

James Woolsey, przewodniczący rady doradczej przy Amerykańskiej Fundacji Czystych Paliw, 27 listopada 2007

We wrześniu 2008 roku „The Economist” napisał: „Niemalże wszyscy są zgodni, że (...) w końcu wszystkie samochody będą zasilane tylko i wyłącznie akumulatorami”.

Dla przeciwwagi, argumenty rzeczników transportu opartego na wodorze znaleźć można na stronie Rocky Mountain Institute dotyczącej „HyperCar” www.rmi.org/hypercar/

- W projekcie CUTE (Clean Urban Transport for Europe – Czysty Transport dla Europy), zasilenie autobusów na wodór wymagało od 80% do 200% więcej energii niż w przypadku zwykłego autobusu z silnikiem diesla. – Źródło: CUTE (2006); Binder i inni (2006).

- 142 Zasilenie BMW na wodór pochłania trzy razy więcej energii niż w przypadku przeciętnego samochodu. Połowę bagażnika w BMW Hydrogen 7 zajmuje 170-litrowy zbiornik na wodór, gromadzący 8 kg wodoru, dający zasięg 200 km na jednym tankowaniu. [news.bbc.co.uk/1/hi/business/6154212.stm]. Wartość kaloryczna wodoru wynosi 39 kWh na kg, a jego wyprodukowanie pochłania co najmniej 63 kWh na kg (w tym 52 kWh z gazu ziemnego i 11 kWh z elektryczności) (CUTE, 2006). Oznacza to, że napełnienie baku 8 kilogramami wodoru pochłania ponad 504 kWh energii, a jeżeli na jednym tankowaniu rzeczywiście da się przejechać 200 km, to koszt energetyczny wynosi 252 kWh na 100 km.

Hydrogen 7 i jego kuzyni na ogniwa paliwowe zasilane wodorem, to pod wieloma względami para w gwizdek.

David Talbot, MIT Technology Review
www.technologyreview.com/Energy/18301/

- Honda FCX Clarity na ogniwa paliwowe zasilane wodorem waży 1625 kg, gromadzi 4,1 kg wodoru pod ciśnieniem 345 bar, na jednym baku pokonuje 280 mil (451 km), przejeżdżając 57 mil na 1 kg wodoru (92 km na kg) w przeciętnych warunkach jazdy. [czjjo], [5a3ryx]. Uwzględniając koszt energetyczny wyprodukowania wodoru podany powyżej i przyjmując, że głównym źródłem energii do produkcji jest gaz ziemny, samochód ma koszt transportowy rzędu 69 kWh na 100 km.

Przedstawiciele Hondy mogą zwodzić dziennikarzy, że samochody na wodór są „zero-emisyjne”, ale niestety nie oszukają klimatu.

Merrick Godhaven

- 144 Akumulator litowo-jonowy zawiera 3% litu. – Źródło: Fisher i inni (2006).
- jak mówi ekspert zajmujący się litem R. Keith Evans: „nieuzasadnione są obawy, czy wystarczy litu” – Evans (2008).
 - dwóch holenderskich liniowców, zwanych „Tanimi Bliźniakami”, www.ssmaritime.com/rijn-dam-maasdam.htm. QE2: www.qe2.org.uk
- 145 system kolei magnetycznej Transrapid. www.transrapid.de



Fot. 20.42. TREV. 6 kWh na 100 km.
Fot. www.unisa.edu.au



Fot. 20.43. Toyota RAV4 EV.
Fot. Kenneth Adelman,
www.solarwarrior.com



Fot. 20.44. Vectrix. 2.75 kWh na 100 km
Fot. www.vectrix.com