

BIULETYN TECHNIKI JACHTOWEJ



CREATOR OF BOAT SYSTEMS



Napędy elektryczne VETUS

NR 3/2023 (17) ISSN 2657-8328 WWW.VETUS.COM

Obsługa napędu po i przed sezonem nawigacyjnym

Relacja z targów
Poland Boat Show

Ubezpieczenie ryzyk
stoczniovych

Wielofunkcyjny
podkład epoksydowy
w aerozolu

Czy spalinowe napędy jachtów
zostaną wyeliminowane przez
napędy elektryczne?

Relacja ze spotkania
dilerów VETUS Polska
Karaiby – Grenada



Czy spalinowe napędy jachtów zostaną wyeliminowane przez napędy elektryczne?

Silniki elektryczne powoli wypychają silniki spalinowe z rozmaitych pojazdów lądowych i wodnych. Elektryczna technologia coraz mocniej „puka i puka do drzwi”. Myślę, że wreszcie się dopuka, choć jeszcze to potrwa, gdyż do pełnego sukcesu trzeba rozwiązać sporo problemów. Jednym z głównych jest stworzenie bardzo wydajnego, mobilnego źródła energii elektrycznej, nie mówiąc już o problemach utylizacji.

Ze względu na niedostateczną wydajność źródeł prądu, jakimi są rozmaite akumulatory czy ogniwa paliwowe, silniki elektryczne nie są jeszcze w stanie wyeliminować całkowicie silników spalinowych. W miarę rozwoju nowych technologii elektrycznych liczba pojazdów wodnych i lądowych napędzanych silnikami elektrycznymi z pewnością będzie się zwiększać.

Można przypuszczać, że za ok. 20 lat, a może wcześniej, widok lądowego czy wodnego pojazdu elektrycznego nie będzie niczym nadzwyczajnym, zaś mniejsza lub podobna będzie liczba pojazdów napędzanych silnikami spalinowymi. Biorąc pod uwagę aspekty ekologiczne wydaje się, że pojazdy elektryczne staną się podstawowymi środkami transportu w centrach aglomeracji miejskich, a także na wielu obszarach objętych zakazem używania silników spalinowych. Istotne znaczenie w tym mają już i będą mieć hybrydy. Mało jest

prawdopodobne, aby silniki spalinowe zostały całkowicie zastąpione przez silniki elektryczne. Ale spróbujmy szczegółowo przeanalizować istotę jednego i drugiego napędu.

Obydwa napędy, a ściślej silniki, mają ponadstuletnią historię. Pierwszy silnik elektryczny zbudował w 1838 r. Boris Siemienowicz Jacobi z przeznaczeniem do napędzania śruby promu rzeczno-jeziornego w Petersburgu. Pierwsze tłokowe silniki spalinowe powstały znacznie później, bo dopiero w 1876 r. silnik z zapłonem iskrowym Nicolausa Otto i w roku 1897 silnik z zapłonem samoczynnym Rudolfa Diesla. W czasie tych wielu lat silniki elektryczne i spalinowe były doskonalone, konkurowały ze sobą, a silnik elektryczny z coraz większą skutecznością wypychał z rynku silnik spalinowy. Opiera mu się jeszcze silnik spalinowy napędzający urządzenia mobilne, przede wszystkim samochody i jednostki pływające.

Od pewnego czasu obserwuje się rosnące zainteresowanie napędami elektrycznymi do niewielkich łodzi rekreacyjnych, regatowych, rybackich, a nawet szybkich, sportowych (rys. 1).

Szczególnie dotyczy to łodzi eksploatowanych na jeziorach, na które wyjeżdżamy spragnieni ciszy i braku spalin. Dotyczy to również, a może przede wszystkim, napędów samochodów i jednośladów. Trzeba tu jednak wyraźnie podkreślić, że samochody są wiodące w omawianej dziedzinie, z nich bowiem wiele technologii przenosi się na jachty i inne jednostki pływające. Im też wiele uwagi poświęcimy dalej.

Często słyszy się informacje, że lada chwila samochody elektryczne będą masowe, choć pewne ich odmiany są od dawna produkowane i eksploatowane [3]. Roi się od fanów silników elektrycznych i zagorzałych przeciwników silników spalinowych. Niektórzy autorzy tych informacji zapowiadają rychły koniec silników spalinowych, a silniki te jak pracowały, tak pracują, i wcale nie chcą przestać. A jak jest naprawdę? Myślę, że długo jeszcze nie uda się zastąpić całkowicie napędów spalinowych napędami elektrycznymi w całym obszarze zastosowań tych pierwszych ze względu na wiele ich zalet oraz cały czas dobrze prosperujące koncerny paliwowe. Tych silników starczy jeszcze dla kilku pokoleń.

Ekologia

Pojazd z napędem elektrycznym jest ekologiczny, gdyż nie emituje do atmosfery szkodliwych składników spalin, w przeciwieństwie do pojazdów z silnikami spalinowymi. W spalinach silników spalinowych, mimo udoskonalonych procesów spalania i oczyszczania spalin, znajdują się związki szkodliwe dla ludzi, zwierząt i całego ekosystemu. Ta szkodliwość jest oczywista przede wszystkim w dużych skupiskach ludzi, czyli w miastach. Z toksycznymi gazami emitowane są duże ilości dwutlenku węgla, wprawdzie nietoksycznego, ale bardzo szkodliwego. On bowiem odpowiedzialny jest za zmiany klimatyczne, przede wszystkim za globalne ocieplenie. Samochód elektryczny nie pozostawia na parkingach i ulicach plam, które powstają z wycieków oleju ze skrzyń biegów, mostów i silników spalinowych. Bezgłośna praca silnika nie wymagałaby konieczności stawiania ekranów wzdłuż tras szybkiego ruchu w miastach, co dałoby duże oszczędności.

Sprawność

Pomijając szczegółowe definicje sprawności, posłużmy się przykładem. Jeśli silnik elektryczny pobrał z sieci (źródła prądu) moc 10 kW i przekazał do urządzenia napędzanego moc 9 kW, to jego sprawność wynosi 0,9 (lub 90%), co wynika z podzielenia 9 kW przez 10 kW [4]. Strata mocy jest tu niewielka i jakże mała w stosunku do strat mocy w silniku spalinowym, którego sprawność szacuje się na 0,35–0,50 (35–50%). Oczywiście chodzi tu o tzw. sprawność ogólną. Zatem około połowy i więcej tanku paliwa idzie na straty, nie licząc szczególnych przypadków odzyskiwania energii.



Rys. 1. Silniki elektryczne w napędach niewielkich łodzi

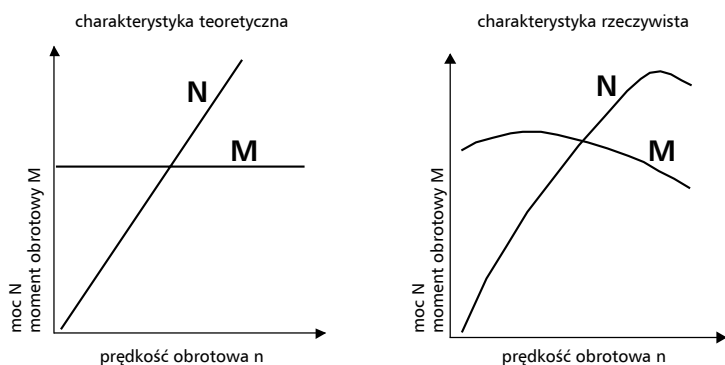
Można zatem powiedzieć, nie wnikając w rodzaj i metodę sterowania, że silnik elektryczny jest średnio dwa razy sprawniejszy od tłokowego silnika spalinowego.

Mówiąc o sprawności i ekologii silników elektrycznych warto przytoczyć poglądy na ten temat, jakie panowały pół wieku temu. Przedstawił je na przykład autor pracy [6], pisząc między innymi, że omówienia wymaga bardzo rozreklamowany problem napędu elektrycznego samochodu. W szeregu publikacji można znaleźć stwierdzenia, że napęd elektryczny jest bardzo sprawny i czysty pod względem toksyczności spalin. Są to stwierdzenia tylko pozornie prawdziwe. Sprawność silników elektrycznych stosowanych do napędu samochodów wynosi rzeczywiście 60–75%, ale przy rozpatrywaniu sprawności napędu elektrycznego w samochodach trzeba jeszcze uwzględnić:

- sprawność wytwarzania energii elektrycznej w elektrowniach 30–40%,
- sprawność przekazywania energii elektrycznej 90–95%,
- sprawność ładowania akumulatorów 85–95%,
- sprawność pobierania energii z akumulatorów 75–85%.

Po uwzględnieniu wszystkich tych sprawności, ogólna sprawność napędu elektrycznego wynosi 10–23%. Są to wielkości odnoszące się do obecnego, tradycyjnego (zwracam uwagę, pisano to 50 lat temu) sposobu wytwarzania energii elektrycznej w elektrowniach ciepłych. Sytuację może tu poprawić fakt, że niektóre elektrownie pracują na paliwach tańszych, takich jak miał węglowy, węgiel brunatny czy pozostałości z destylacji ropy naftowej, ale i tak napęd elektryczny jest w chwili obecnej znacznie mniej ekonomiczny niż tradycyjny napęd tłokowymi silnikami spalinowymi.

Samochód elektryczny jest również tylko pozornie „czysty” pod względem toksyczności, ponieważ w ogóle nie wydziela spalin. Większość energii elektrycznej wykorzystywanej w końcowym efekcie do napędu samochodu wytwarzana jest jednak, jak to już powiedziano poprzednio, w tradycyjnych elektrowniach ciepłych, które emitują do atmosfery więcej pyłów, tlenków siarki



Rys. 2. Charakterystyki tłokowych silników spalinowych

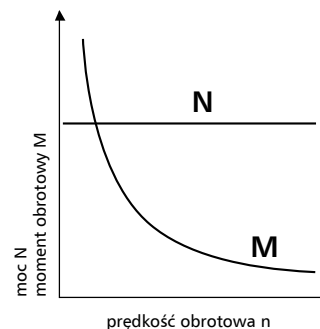
i tlenków azotu, niż konwencjonalne samochody, a jedynie mniej tlenku węgla i węglowodorów. Gdyby przeliczyć emisję toksycznych składników przy wytwarzaniu energii elektrycznej dla napędu elektrycznego z uwzględnieniem jego ogólnej sprawności, samochód elektryczny nie spełniałby w zasadzie wymagań normy europejskiej (Regulamin nr 15 ECE z roku 1977). Rozwiązanie problemu sprawności i „toksyczności” napędu elektrycznego może nastąpić, ale chyba w dość odległej przyszłości, przez opracowanie i powszechne wprowadzenie innych sposobów wytwarzania energii elektrycznej, np. z wykorzystaniem energii słonecznej czy nuklearnej.

Przytoczony pogląd jest niewątpliwie dyskusyjny, ale z pewnością zwraca uwagę na powiązanie napędu elektrycznego z całokształtem energetyki, a także na jakość energetyki w kraju.

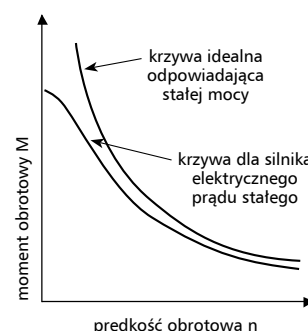
Funkcjonalność

Chodzi tu przede wszystkim o charakterystykę silnika, czyli zależność momentu obrotowego od prędkości obrotowej, która w silniku elektrycznym niemal idealnie pasuje do napędu samochodu i innych pojazdów, w przeciwieństwie do charakterystyki silnika spalinowego. W celu wyjaśnienia tego problemu, trochę o specyfice tłokowego silnika spalinowego. Otóż cechą wszystkich tłokowych silników spalinowych jest to, że przy małych prędkościach obrotowych wału mają niewielką moc (rys. 2). To niekorzystna cecha, która wywarła piętno na konstrukcji samochodu i nie tylko, powodując konieczność stosowania odpowiednich przekładni – skrzyni biegów. Najkorzystniej byłoby, gdyby silnik miał maksymalną moc niezależnie od prędkości obrotowej, a krzywa momentu obrotowego byłaby hiperbolą. Taką idealną charakterystykę przedstawia rys. 3.

Niektóre napędy elektryczne mają korzystny przebieg krzywej momentu obrotowego, zbliżony do „krzywej idealnej” (rys. 4) [1]. Jest to duży moment obrotowy w całym zakresie prędkości obrotowej, a zaraz po starcie maksymalny moment przy bardzo małej prędkości obrotowej. Duży moment obrotowy silnika elektrycznego przy ruszaniu oraz możliwość chwilowego jego przeciążenia zapewnia samochodom elektrycznym dobrą dynamikę jazdy. Dzięki przedstawionej charakterystyce można wyeliminować skomplikowane mechanizmy, jakimi są sprzęgła i skrzynie biegów. Te mechanizmy,



Rys. 3. Idealna charakterystyka silnika napędowego



Rys. 4. Idealne charakterystyki dla silników elektrycznych do napędów samochodów

a także dwumasowe koła zamachowe są przyczyną częstych niedomagań. Silnik elektryczny zastępuje całkowicie skrzynię biegów, ponadto umożliwia odzyskiwanie energii kinetycznej podczas hamowania. Hamowanie odzyskowe włącza się w silniku elektrycznym po zdjęciu nogi z pedału przyspieszenia. To przekłada się też na mniejsze zużycie klocków hamulcowych w pojeździe samochodowym. Dzięki hamowaniu odzyskowemu znacznie skraca się droga hamowania. Samochody elektryczne zużywają mniej energii niż klasyczne auta, bo mają możliwość odzyskania części energii dostępnej podczas hamowania. Jest to możliwe ze względu na odwracalność pracy maszyn elektrycznych. W trybie napędzania pojazdu maszyna pracuje jako silnik elektryczny, a podczas hamowania – jako generator, zamieniający energię mechaniczną od kół na energię elektryczną. Ta zmagazynowana energia jest użyta do następnego rozpędzania samochodu. Odzysk energii może osiągnąć ok. 15–25% całkowitej energii zużytej do napędu.

Warto również zwrócić uwagę na to, że silnik elektryczny ma zaledwie kilka ruchomych części, zaś spalinowy ponad sto, i wykonują one ruchy obrotowe i postępowo zwrotne. Te ruchome części wymagają smarowania olejem, który musi być kupowany, po czasie wymieniany i utylizowany. W silniku elektrycznym nie ma tego problemu, gdyż jego łożyska toczne napełniane są smarem raz na cały okres eksploatacji.

Ponadto silnik elektryczny w stosunku do spalinowego jest gabarytowo mniejszy. Uzyskano to między innymi dzięki zastosowaniu do ich budowy magnesów stałych ziem rzadkich, których głównym składnikiem

jest neodym. Dało to gęstość pola magnetycznego znacznie większą od gęstości stosowanych przez wiele lat magnesów ferrytowych. W napędach elektrycznych stosuje się aktualnie klasyczne silniki szczotkowe, sterowane impulsowo, oraz bezszczotkowe, trójfazowe, sterowane poprzez przetwornik prądu stałego w trójfazowy prąd przemienny. Te pierwsze są oczywiście prostsze i tańsze. [18].

Opisane korzystne właściwości napędu elektrycznego w stosunku do spalinowego są niewątpliwie imponujące i stąd zainteresowanie nimi od prawie dwustu lat. Jak wspomniałem we wstępie, pierwszy silnik elektryczny datuje się na 1838 r. Przez kolejne lata, silniki elektryczne były doskonałe. Warto wiedzieć, że w roku 1898 zastosowano napęd elektryczny na okręcie podwodnym Hollan VIII, nadającym się do długich rejsów w zanurzeniu. Zasilanie prądem silników elektrycznych odbywało się z akumulatorów. Napęd elektryczny był dalej rozwijany na różnych jednostkach nawodnych, ale właściwie silniki elektryczne jako napędy różnego typu statków pojawiły się trwale dopiero jako elementy przekładni elektrycznej w napędach pośrednich (hybrydy szeregowe).

Mimo imponujących cech silników elektrycznych ciągle jeszcze istnieje problem w ich swobodnym stosowaniu. Najpoważniejszą jednak przeszkodą szerszego upowszechnienia napędu elektrycznego jest trudność zaopatrywania jachtów i samochodów w energię elektryczną.

Zasilanie prądem z akumulatorów

W początkowym stadium rozwoju pojazdów stosowano ciężkie akumulatory kwasowe (ołowiowe) lub rzadziej zasadowe (żelazowo-niklowe) lub kadmowo-żelazowo-niklowe. Charakteryzowały się one bardzo małą pojemnością elektryczną. Różnica między nimi w praktycznym stosowaniu polega na tym, że akumulatory zasadowe posiadają 4–5-krotnie większą trwałość, natomiast akumulatory ołowiowe umożliwiają większy chwilowy pobór mocy, co jest bardzo istotne przy ruszaniu z miejsca lub przy przyspieszaniu samochodu z napędem elektrycznym. Przy zastosowaniu akumulatorów ołowiowych do zasilania samochodów elektrycznych o mocy silników wynoszącej np. 60 kW, ich masa konieczna do uzyskania przebiegu rzędu 100 km wynosić by musiała 1500–2000 kg. Znacznie większą pojemnością niż akumulatory ołowiowe charakteryzują się akumulatory srebrno-cynkowe. Akumulatory te nie znajdują jednak szerszego zastosowania ze względu na zbyt wysoką cenę. Dużą wydajność mają akumulatory niklowo-metalowo-wodorkowe (NiMH z ang. nickel metal hydride) stosowane w napędach hybrydowych i elektrycznych Toyoty. Duże nadzieje rokują tu akumulatory litowe (nie wnikając w ich odmiany) o wysokiej wydajności, dzięki którym samochody będą mogły pokonywać dystans do 320 km i więcej na jednym ładowaniu. Do ich produkcji powstała pod Wrocławiem pierwsza w Europie fabryka baterii do samochodów elektrycznych [13].

Dynamiczny rozwój samochodów elektrycznych zasilanych prądem z akumulatorów przypada na ostatnie dwadzieścia lat. Produkowane są różne samochody miejskie i szosowe o większym lub mniejszym zasięgu i prędkości. Na uwagę zasługują mikrosamochody firmy Renault o zasięgu jazdy do 100 km, czteroosobowy samochód miejski Mitsubishi z silnikiem o mocy 67 KM o zasięgu 140 km, a także Renault Zoe o zasięgu 210 km, Hyundai Ioniq o zasięgu 250 km, Tesla Model S o zasięgu nawet 500 km i możliwości rozpędzania się do stu kilometrów na godzinę w zaledwie cztery sekundy, oraz samochody elektryczne innych firm [3,18]. Z nowości 2017 roku nie sposób nie wymienić samochodu Ampera-e firmy Opel z baterią o pojemności 60 kWh składającą się z 288 komórek litowo-jonowych. Jego zasięg wynosi 400 km. Podobnie zasilane z akumulatorów są silniki elektryczne niewielkich łodzi, co pokazano już na rys. 1. Wszystkie jednak napędy elektryczne „cierpią” na niewystarczająco wydajne źródła zasilania prądem. Z tym związany jest też mały zasięg, który nie przekracza średnio 150 km. Do uzupełniania prądem akumulatorów stosuje się superkondensatory oraz ogniwa fotowoltaiczne [3,9]. Ładowanie akumulatorów samochodów i łodzi elektrycznych może odbywać się ze standardowego gniazda 230 V, czyli ze źródła napięcia jednofazowego. Maksymalna moc ładowania wynosi 7,2 kW. W przypadku samochodów elektrycznych przewiduje się ich ładowanie także w dedykowanych stacjach ładowania. W stacjach ładowania wymagane są inne złącza do ładowarek o mocy 50 kW i jeszcze inne do ładowarek o mocach do 145 kW [2]. Tu pojawia się też istotna niedogodność eksploatacji napędu elektrycznego, a mianowicie czas ładowania. Może on wynosić od około 30 minut do kilku godzin. To jest niewątpliwie długo, jeśli zważy się na fakt, że tankowanie benzyny czy oleju napędowego trwa zaledwie kilka minut. Nie jest więc możliwe w porównywalnym czasie z tankowaniem pojazdu z silnikiem spalinowym dostarczenie 20–25 kWh energii elektrycznej do akumulatora, potrzebnych do przejechania 150 km. Czas ładowania akumulatorów to nie jedyny problem tzw. elektromobilności. Ważne jest zapewnienie infrastruktury do dystrybucji energii elektrycznej, która umożliwiłaby pobranie z sieci zasilającej 20–25 kWh w ciągu kilku minut. To jednak nie jest ani praktyczne, ani ekonomiczne. Gdyby to było jednak wykonalne, żadna bateria pojazdu nie może przyjąć takiej ilości energii w tak krótkim czasie [2].

Na koniec rozważań dotyczących ładowania akumulatorów warto poruszyć jeszcze problem wpływu elektrycznych pojazdów na sieć elektroenergetyczną. Różne aspekty tego problemu badane są przez ośrodki normalizacyjne i naukowo-badawcze [2]. Nie wnikając w jakiegokolwiek szczegóły i dotychczasowe wyniki tych badań, można z całą pewnością powiedzieć, że w Polsce nie jest zauważalny jakiegokolwiek wpływ pojazdów elektrycznych na sieć elektroenergetyczną ze względu na ich niewielką liczbę w połączeniu z małą mocą ładowarek pokładowych. Podobnie w wielu innych krajach

o nieporównywalnie bardziej rozwiniętej elektromobilności. Ale w miarę „zagęszczania” dróg i szlaków wodnych przez pojazdy elektryczne sytuacja z pewnością będzie się zmieniać i nie trzeba być badaczem i znawcą elektromobilności, aby wyobrazić sobie, że w pewnej chwili mogą zacząć się problemy z wydolnością sieci elektroenergetycznych. Przytoczę tu jeszcze raz autora pracy [6], który pisał: „Obliczono, że gdyby po drogach Niemiec w roku 1970 poruszały się tylko samochody elektryczne, to wymagałoby to zbudowania wielu elektrowni atomowych, które dopiero byłyby w stanie zabezpieczyć ilość prądu potrzebną do ładowania akumulatorów zasilających silniki elektryczne tych samochodów”. Myślę, że nie jest potrzebny do tego komentarz, a jedynie, z jednej strony, uświadomienie sobie, że może w pewnej chwili wystąpić problem ładowania akumulatorów, z drugiej strony, że przed „przyjęciem” dużej liczby elektrycznych pojazdów musi nastąpić najpierw modernizacja energetyki w wielu krajach. Szczególnie w Polsce, biorąc pod uwagę aktualną wydajność polskiej energetyki, bez jej modernizacji – budowy elektrowni jądrowych – chyba nie ma szans, aby w niedalekiej przyszłości zabezpieczyć potrzeby elektrycznych pojazdów.

Zasilanie prądem z ogniw paliwowych

Od dłuższego czasu prowadzone są również prace nad wykorzystaniem ogniw paliwowych do napędu samochodów elektrycznych. Przewaga takich ogniw, przetwarzających energię chemiczną na energię elektryczną, nad akumulatorami polega na tym, że dla zwiększenia zasięgu jazdy nie trzeba zwiększać liczby baterii, ale tylko konieczny zapas paliwa.

Zasada działania ogniwa paliwowego polega na niskotemperaturowym utlenianiu paliwa, którym może być wodór, tlenek węgla, metan czy alkohol metylowy. Elektrolitem jest zwykle wodny roztwór mocnej zasady

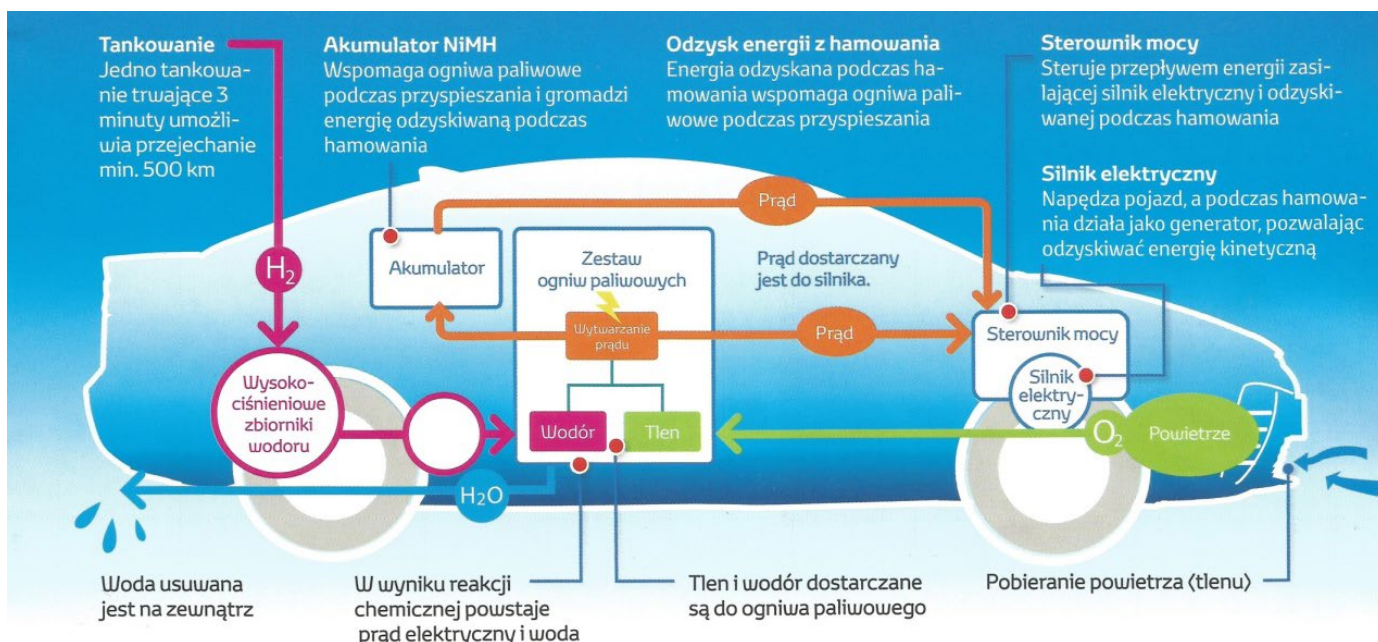
lub kwasu. Jako elektrody stosuje się porowaty węgiel pokryty katalizatorem lub metale szlachetne (Ag, Pt) – wówczas, gdy elektrolitem jest kwas. W wyniku zachodzących w obecności katalizatorów reakcji chemicznych powstaje siła elektromotoryczna ogniwa.

Rozwój ogniw paliwowych, szczególnie wodorowo-tlenowych, związany był dotychczas z programami lotów kosmicznych lub badań podwodnych (proces utleniania nie powoduje wydzielania spalin). Ogniwa wodorowe do zasilania silnika elektrycznego napędzającego zastosowała firma Toyota w samochodzie Mirai [14]. Istotą działania takiego ogniwa w zespole samochodu elektrycznego przedstawia rysunek 5. Samochód ten pojawił się na rynku japońskim w 2014 r. zaś w USA oraz w wybranych krajach europejskich w Wielkiej Brytanii, Niemczech i Danii w 2015 r. Samochód ma zasięg 550 km i maksymalną prędkość 178 km/h. Na owe czasy to ogromne osiągnięcie.

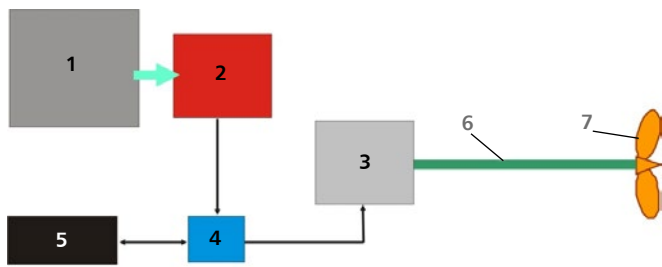
Hybrydy

Hybryda (łac. hybryda = mieszaniec) to układ napędowy, w którym współpracują ze sobą dwa źródła napędu, a mianowicie tłokowy silnik spalinowy (także silnik turbospalinowy) i silnik elektryczny. Innymi słowy jest to napęd spalinowo-elektryczny.

Mogą być wykorzystywane obydwie źródła naraz lub każde z osobna w zależności od potrzeb. Najprostsze odmiany (szeregowe) tych napędów są stosowane od wielu lat w różnych jednostkach pływających [10]. Natomiast w jachtingu napędy hybrydowe są nowością. Pojawiają się ich nieliczne egzemplarze mimo ogromnych zalet, ale niestety w wysokiej cenie. W zależności od rozwiązania napędu hybrydowego można uzyskać zmniejszenie zużycia paliwa i emisji szkodliwych składników spalin za pomocą silnika elektrycznego, można uruchamiać silnik spalinowy i ładować jachtowe akumulatory. Atrakcyjne jest napędzanie jachtu przez pewien

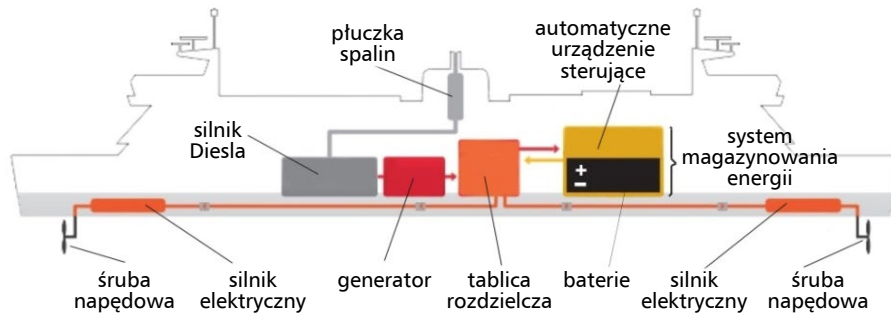


Rys. 5. Działanie napędu elektrycznego z wodorowymi ogniwami paliwowymi w samochodzie Toyota Mirai [14]



Rys. 6. Schemat szeregowego napędu spalinowo-elektrycznego (szeregowego napędu hybrydowego)

1 – silnik spalinowy Diesla, 2 – prądnica (generator prądu), 3 – silnik elektryczny, 4 – przemiennik napięcia, 5 – akumulatory, 6 – wał śrubowy w pochwie, 7 – śruba napędowa



Rys. 7. Schemat hybrydowego napędu promu

czas tylko za pomocą silnika elektrycznego, co szczególnie jest istotne w czasie manewrów portowych i pływania w strefach ciszy. Zastosowanie takiego napędu daje możliwość dowolnej i ciągłej zmiany parametrów współpracy silnika spalinowego i śruby napędowej. Umożliwia uzyskanie dużych momentów obrotowych przy małych prędkościach obrotowych. Jest przydatne w czasie ruszania jachtu, holowania innego jachtu, a także podczas pracy w różnorodnych warunkach zewnętrznych z różnym obciążeniem.

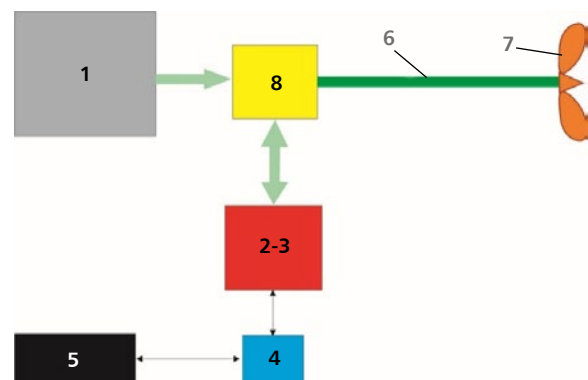
Na rysunku 6 przedstawiono schemat klasycznego napędu spalinowo-elektrycznego. Z punktu widzenia systematyki rodzajów napędów hybrydowych jest to napęd szeregowy. W okrętownictwie określany jest jako napęd diesel-elektryczny [5, 10]. Śruba 7 napędzana jest bezpośrednio za pomocą silnika elektrycznego 3, zasilanego prądem z prądnicy 2, napędzanej za pomocą silnika spalinowego Diesla 1. Silnik Diesla z prądnicą tworzą agregat prądotwórczy. Przemiennik napięcia 4 przetwarza energię elektryczną dla uzyskania odpowiednich parametrów prądu zasilającego silnik elektryczny 3. W dużych siłowniach może być kilka zespołów prądotwórczych. Przeniesienie mocy z silnika spalinowego do śruby napędowej odbywa się za pomocą tzw. przekładni elektrycznej, która składa się z prądnicy 2 i silnika elektrycznego 3. Moc przekazywana śrubie napędowej pochodzi wyłącznie z silnika elektrycznego.

Silnik elektryczny może być przez pewien czas zasilany z akumulatorów. Ładowanie akumulatorów odbywa się podczas pracy agregatu prądotwórczego. Stosowanie przekładni elektrycznych umożliwia zastosowanie do napędu jednostki dowolnej liczby silników spalinowych. Siłownia tego typu może być usytuowana w dowolnym miejscu kadłuba. Linia wału ze względu na niewielkie oddalenia silnika elektrycznego od śruby może być bardzo krótka.

Napędy spalinowo-elektryczne pojawiły się w okrętownictwie na początku lat dwudziestych dwudziestego wieku, a więc prawie sto lat temu. Jednym z większych

statków w tym czasie był United Fruit Company La Playa, który w roku 1924 przepłynął Atlantyk. Za największy statek z napędem spalinowo-elektrycznym trzeba uznać statek pasażerski Queen Elizabeth 2 z 1987 roku, którego siłownia miała dziewięć zespołów prądotwórczych o mocy 94500 kW, zasilających dwa elektryczne silniki napędowe o łącznej mocy 88000 kW [5]. Współcześnie coraz więcej statków wyposaża się w napędy hybrydowe. Przykładem może być budowany aktualnie w stoczni CRIST w Gdyni największy hybrydowy prom świata. Siłownia promu wyposażona jest między innymi w cztery generatory, system magazynowania energii wspomagany solarami oraz dwa elektryczne silniki napędowe [11]. Na rysunku 7 pokazano schemat napędu hybrydowego jednego z współczesnych promów [12].

Pojawiające się w jachtingu, wprawdzie bardzo powoli, napędy hybrydowe są w swych odmianach bardziej skomplikowane niż napędy szeregowy. Przenikają one z konstrukcji samochodów. Na rysunku 8 pokazano schemat takiego napędu hybrydowego nazywanego



Rys. 8. Schemat równoległego napędu spalinowo-elektrycznego (równoległego napędu hybrydowego)

1 – silnik spalinowy Diesla, 2-3 – generator prądu 2 zintegrowany z silnikiem elektrycznym 3, 4 – przemiennik napięcia, 5 – akumulatory, 6 – wał śrubowy w pochwie, 7 – śruba napędowa, 8 – przekładnia mechaniczna

równoległym. Występujące w nim dwa źródła mocy (energii), czyli silnik spalinowy Diesla i silnik elektryczny, mogą pracować razem lub indywidualnie. Zatem są to dwa źródła bezpośredniego napędu śruby. Energia mechaniczna silnika spalinowego przekazywana jest częściowo poprzez napęd prądniczy do ładowania akumulatorów.

Oprócz napędów szeregowego i równoległego mogą występować ich kombinacje [8].

Przykładem zastosowania równoległego (także szeregowo-równoległego) napędu hybrydowego jest samochód Toyota Prius (prius z jęz. łacińskiego oznacza pierwszy). Ukazał się on na rynku w 1997 r., czyli dwadzieścia cztery lata temu. Samochód może przejechać w trybie elektrycznym na jednym ładowaniu dystans 50 km z prędkością 135 km/h. Panel słoneczny na dachu samochodu doładowuje akumulatory, dzięki czemu wydłuża się jazda w trybie elektrycznym. Dzisiaj po drogach świata jeździ ponad 10 milionów hybrydowych samochodów. W Polsce w marcu 2017 r. łączna

sprzedaż wszystkich generacji samochodów hybrydowych Toyoty przekroczyła 21 tys. Na rysunku 9 pokazano napęd hybrydowy Toyoty Prius [15].

Jak już wspominałem, w jachtingu też pojawiają się napędy hybrydowe. Przykładem może być hybrydowy, równoległy napęd firmy Diesel Air Poland, pokazany na rysunku 10 [16].

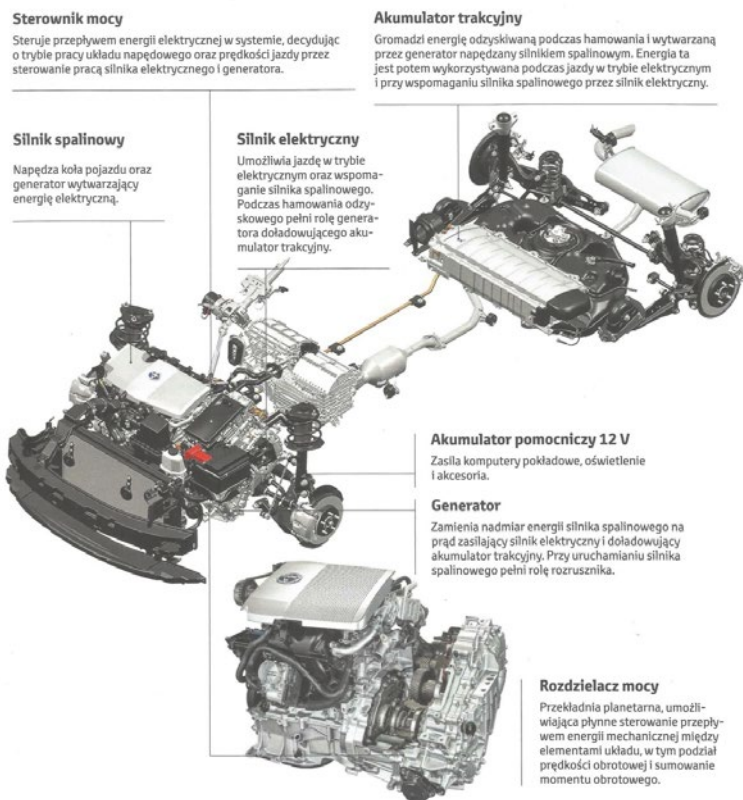
Napęd ten, o mocy do 50 kW, dedykowany jest jachtom żaglowym i motorowym.

Dobrze rokują także napędy hybrydowe równoległe oraz w pełni elektryczne przeznaczone do napędu jachtów, opracowane przez firmę Marineworks przy współpracy z Politechniką Gdańską. Napęd hybrydowy zaprezentowany był w 2017 r. na Targach Wiatr i Woda w Warszawie. Produkt ten został doceniony przez Polską Izbę Przemysłu Jachtowego i Sportów Wodnych, która uznając go za najlepszy wyrób przyznała mu nagrodę.

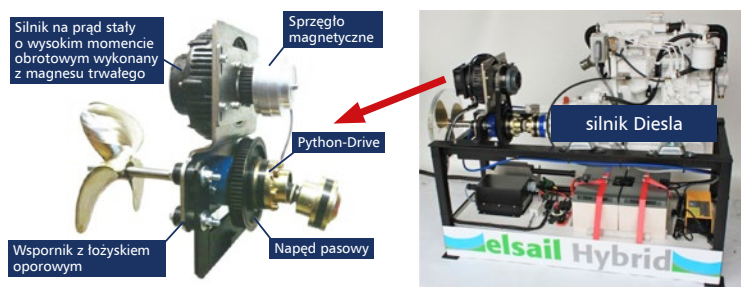
Wizja niektórych przyszłościowych napędów

Nieustanny rozwój nowych technologii stymuluje powstawanie rozmaitych koncepcji elektrycznych napędów pojazdów lądowych, wodnych, a nawet powietrznych. Wiele z nich jest aktualnie w fazie badań o różnym stopniu zaawansowania: jedne lepiej, inne gorzej rokują co do realizacji, ale ważne jest, że trwa poszukiwanie najsprawniejszych i ekologicznych napędów. W literaturze znajduje się wiele takich koncepcji. Sporo z nich można zakwalifikować do kategorii fantastyki. Są wśród nich nawet niemożliwe do zrealizowania napędy – perpetuum mobile. Niektóre koncepcje zasługują na uwagę. Jedną z nich jest napęd (pędnik) magnetohydrodynamiczny oznaczony skrótem MHD (rys. 11) [5]. Idea tego wynalazku, będącego od wielu lat w badaniach, polega na uzyskaniu siły napędowej statku za pomocą energii elektrycznej w powiązaniu ze zjawiskiem nadprzewodnictwa (zerowym oporze). Stąd też nazwa nadprzewodzącego pędnika magnetohydrodynamicznego. Cechą charakterystyczną tego napędu jest brak jakichkolwiek części ruchomych wystających poza obrys kadłuba. Jest on rodzajem elektrycznego silnika liniowego, w którym nadprzewodzące cewki związane z kadłubem statku stanowią wzbudnik, zaś woda morska, jako elektrolit – twornik. Zasada pracy tego pędnika polega na zastosowaniu reguły lewej dłoni, określającej kierunek i zwrot siły F , nazywanej siłą Lorentza. Działa ona na wodę morską prostopadle do wektorów indukcji magnetycznej B i prądu elektrycznego J przepływającego przez cewkę, którego zwrot wektora pokrywa się z wyprostowanymi palcami dłoni. Siła naporu T wytwarzana przez pędnik jest reakcją względem siły Lorentza F . Równa się ona iloczynowi indukcji magnetycznej B , natężenia prądu J oraz długości przewodu elektrycznego cewki.

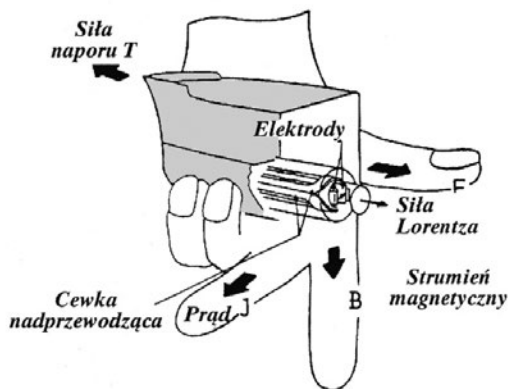
W pędniku tym dzięki wykonaniu nadprzewodzącej cewki wzbudzenia, chłodzonej ciekłym helem, uzyskano bardzo dużą indukcję magnetyczną B . Pierwsze dobrze rokujące próby omawianego pędnika przeprowadzono na statku Yamato I w Japonii w 1992 r. Z dwóch pędników uzyskano siłę naporu 15 kN. Badania tych



Rys. 9. Napęd hybrydowy Toyoty Prius



Rys. 10. Równoległy napęd hybrydowy firmy Diesel Air Poland



Rys. 11. Zasada działania pędnika magneto hydrodynamicznego (MHD)

napędów są kontynuowane. Zastosowanie omawianych pędników pozwoliłoby:

- wyeliminować hałas i drgania spowodowane śrubą napędową,
- regulować wielkość i kierunek siły naporu,
- uzyskać dużą sprawność pędnika,
- zwiększyć ogólną sprawność napędu poprzez zastosowanie nadprzewodnictwa również przy wytwarzaniu i przesyłaniu energii elektrycznej.

Może któregoś dnia okaże się, że napęd ten osiągnął dojrzałość i jest wdrażany do jednostek pływających.

Podsumowanie

W artykule wyjaśniono, z jakich powodów dąży się do zastąpienia napędów spalinowych napędami elektrycznymi i czy te pierwsze zostaną wyeliminowane przez napędy elektryczne. Za główne powody uznaje się większą ekologiczność, sprawność, mniejsze koszty eksploatacji i korzystniejsze właściwości napędowe silników elektrycznych w stosunku do silników spalinowych. Stwierdzenie we wstępie artykułu, że elektryczna technologia „puka i puka do drzwi” poparte zostało przykładami, jakimi są elektryczne napędy niektórych jednostek pływających i samochodów. Nie można też pominąć elektrycznych jednoślądów. Głównym problemem – „hamulcem” ich dynamicznego rozwoju są jeszcze zbyt mało wydajne źródła zasilania prądem w postaci akumulatorów bądź ogniw paliwowych. Ale wydaje się, że w akumulatorach pokłada się największe nadzieje. One jednak powinny być małe i lekkie, niewrażliwe na szybkie ładowanie, przeładowanie oraz głębokie rozładowanie. Ideałem byłoby, gdyby ich pojemność mierzona w amperogodzinach była stała i nie spadała wraz ze wzrostem pobieranego prądu. Ponadto musiałyby być bezpieczne w użyciu, zaś ich procesy produkcji i utylizacji nie powinny powodować skażenia środowiska naturalnego [18]. Chciałoby się powiedzieć, puszczając wodze fantazji, że marzeniem byłaby mała, wymienna „pastylka energetyczna”, zapewniająca pojazdowi kilkakrotnie większy zasięg niż dotychczas. Póki co, produkowane akumulatory są coraz lepsze i wprawdzie powoli, ale z dnia na dzień przybywa na świecie pojazdów z napędami elektrycznymi.

Można przypuszczać, że za około 20 lat widok pojazdu elektrycznego nie będzie niczym nadzwyczajnym, zaś zauważalnie mniej będzie pojazdów napędzanych silnikami spalinowymi. Biorąc pod uwagę aspekty ekologiczne wydaje się, że pojazdy elektryczne staną się podstawowymi środkami transportu w centrach aglomeracji miejskich, a także na wielu obszarach objętych zakazem używania silników spalinowych. Istotne znaczenie w tym już mają i będą mieć hybrydy.

Dynamika rozwoju pojazdów elektrycznych nie tylko będzie zależać od wydajnych źródeł prądu, ale też od infrastruktury sieci zasilania akumulatorów oraz od poziomu energetyki. Wiązać się to będzie z koniecznością przyspieszonego rozwoju energetyki w miejscu przemysłu rafineryjnego. Duży wpływ na przyspieszenie rozwoju ogólnie pojętej elektromobilności będzie miał ewentualny niedostatek paliw.

Tak więc całkowite wyeliminowanie silników spalinowych długo nie nastąpi i, jak poprzednio zaznaczyłem, starczy ich jeszcze dla co najmniej kilku pokoleń. Natomiast silniki elektryczne będą coraz skuteczniej wypychały z rynku tłokowe silniki spalinowe. [17]

dr inż. Krzysztof Zbierski

Literatura:

- [1] Dębicki M.: Teoria samochodu teoria napędu. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne. Warszawa 1969.
- [2] Kelm P.: Interoperacyjność infrastruktury do ładowania pojazdów elektrycznych z sieciami typu smartgrid. Biuletyn Techniczno-Informacyjny Oddziału Łódzkiego Stowarzyszenia Elektryków Polskich. Łódź 2/2017.
- [3] Fic B.: Samochody elektryczne. Wydawnictwo i Handel Książkami „KaBe”. Krosno 2015.
- [4] Stein Z.: Maszyny elektryczne. Wydawnictwa Szkolne i Pedagogiczne. Warszawa 1982.
- [5] Urbański Prz.: Dwa wieki mechanicznego napędu statków. Wydawnictwo Marpress. Gdańsk 1997.
- [6] Sygniewicz J.: Motoryzacja a zagrożenie naturalnego środowiska. Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej 1984.
- [7] Zbierski K.: Dieslowskie napędy jachtów. Wydawca Studio M. Łódź 2012.
- [8] Bosch R.: Napędy hybrydowe, ogniwa paliwowe i paliwa alternatywne. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności. Warszawa 2010.
- [9] Walas D.: Słoneczna moc. Jachting Motorowy nr 6/2014.
- [10] Charchalis A.: Siłownie okrętowe. Wyższa Szkoła Marynarki Wojennej. Gdynia 1980.
- [11] www.gospodarkamorska.pl
- [12] <https://www.freightlink.pl/knowledge/artykuly/czym-sa-promy-hybrydowe>
- [13] www.lgchem.com
- [14] www.toyota.pl/mirai
- [15] www.toyota.pl/hybridy
- [16] www.DieselAir.pl
- [17] www.marine-works.eu
- [18] Litwin W., Leśniewski W.: Ekologiczne zasilanie i napędy małych statków i łodzi. Napędy i sterowanie, 1 /2008.