

# PALIWA I NAPĘDY ALTERNATYWNE W KONTEKŚCIE ZAOSTRZANIA PRZEPISÓW DOTYCZĄCYCH EMISJI SPALIN

W artykule przedstawiono rozwój napędów zarówno w transporcie lądowym, jak i morskim, począwszy od pierwszych napędów parowych, motorowych i skończywszy na najmniej rozpowszechnionym napędzie atomowym. Następnie opisano rozwój silników spalinowych w kontekście coraz surowszych przepisów dotyczących dopuszczalnych wartości emisji szkodliwych związków do atmosfery. W kolejnej części artykułu zaprezentowano coraz bardziej zaostrzane przepisy dotyczące emisji związków toksycznych przez silniki okrętowe, ze szczególnym uwzględnieniem Obszarów Emisji Kontroli. Kolejna część artykułu przedstawia stosowane paliwa, zarówno ropopochodne, jak i alternatywne, z których największy rozwój dotyczy paliw odnawialnych. W ostatniej części artykułu omówiono napędy alternatywne, z których najbardziej rozwinięte są napędy elektryczne i hybrydowe. Poza tym uwagę zwrócono nad innymi napędami, nad którymi trwają prace nad ich rozwojem i zastosowaniem w lądowych i morskich środkach transportu. Należą do nich ogniwa paliwowe, panele słoneczne, a nawet niewielkie turbiny wiatrowe. Artykuł zakończono wnioskami, z których najważniejszy jest ten, że coraz trudniej będzie spełnić surowe wymagania stawiane silnikom spalinowym dotyczące emisji szkodliwych substancji, w związku z tym, powszechne wprowadzenie paliw i napędów alternatywnych, będą jedyną szansą na rozwiązanie tego problemu.

## WSTĘP

Od początku swojego istnienia człowiek posiadał potrzebę przemieszczania się. Najpierw było to spowodowane koczowniczym trybem życia i migracjami w poszukiwaniu żywności. Następnie, kiedy przeszliśmy do osiadłego trybu życia, wykształciliśmy rozmaite środki transportu, które miały nam pomóc w codziennym funkcjonowaniu i usprawniać podróż najczęściej w celach zarobkowych. Tak mijały wieki i co jakiś czas pojawiały się nowe pomysły i wynalazki umożliwiające przemieszczanie się z jednego miejsca na drugie [22].

W ostatnich latach jesteśmy świadkami niezwykłego rozwoju praktycznie wszystkich dziedzin nauki. Dzięki temu zwłaszcza w krajach wysoko rozwiniętych projektowane i produkowane są nowe maszyny i urządzenia o coraz bardziej niezwykłych możliwościach. Postęp nie ominął również szeroko pojętych środków transportu. Coraz ostrzejsze normy dotyczące ochrony środowiska oraz rosnące ceny paliw spowodowały, że podczas projektowania nowych jednostek oraz modernizacji starszych coraz większą wagę przywiązuje się do ich konstrukcji oraz przewidywanych kosztów eksploatacji [7]. Ponadto wraz z rozwojem środków transportu powstawały nowe koncepcje ich napędów i związane z tym nowe źródła energii.

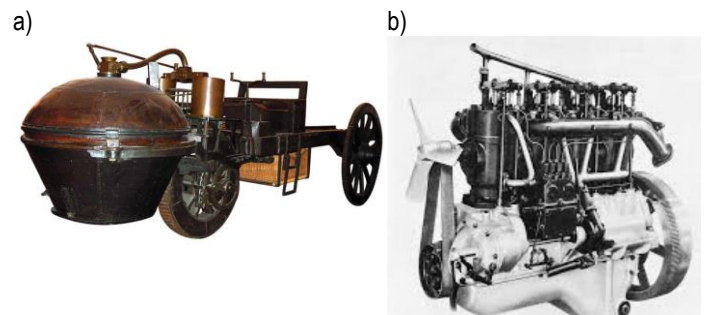
## 1. NAPĘDY W TRANSPORCIE SAMOCHODOWYM

### 1.1. Rozwój napędów w środkach transportu

Pierwsze środki transportu (samochody, statki) miały napęd parowy (rys. 1a), który znalazł powszechne zastosowanie w XIX w., ale prawdopodobnie już w XVI w., były prowadzone pierwsze prace nad tym napędem. Człowiek od dawna szukał mechanicznego rodzaju napędu, aby uniezależnić się od siły mięśni. Z tego względu, że silnik parowy odznaczał się bardzo skomplikowaną konstrukcją (duża masa własna, niskie obroty pracy, konieczność użycia

kotła parowego) i niską sprawnością, wciąż poszukiwano napędów bardziej efektywnych, tańszych i łatwiejszych w eksploatacji [14].

Kolejnym etapem rozwoju był napęd turbinowy zastosowany na statkach w końcu XIX w. W 1883 r. skonstruowano pierwsze turbiny parowe. W porównaniu z klasycznymi maszynami parowymi miały one mniejszy ciężar i wymiary, co w budownictwie okrętowym umożliwiała zmniejszenie siłowni na statkach bądź uzyskiwanie większych mocy przy jednakowych gabarytach. W 1898 r. napęd turbinowy zastosowano na okręcie i od tego czasu zaczął on szybko rozpowszechniać się na okrętach bojowych, a także na statkach pasażerskich. Najmłodszym rodzajem napędu jest napęd atomowy, w którym źródłem ciepła jest reaktor jądrowy, wytwarzający parę, która z kolei napędza turbiny. Napęd ten zastosowano po raz pierwszy na wybudowanym w latach 1952–1954 okręcie podwodnym. Ze względu na wysokie koszty i kwestie bezpieczeństwa napęd ten przede wszystkim ma zastosowanie na okrętach wojennych [6, 17, 23].



Rys. 1. Pierwsze środki transportu: a) silnik parowy, b) spalinowy z zapłonem samoczynnym [20, 22]

Historia napędu motorowego w transporcie rozpoczęła się dopiero w pierwszych latach ubiegłego stulecia, choć dzieje silnika spalinowego sięgają lat znacznie wcześniejszych. Zbudowanie lekkiego silnika spalinowego i zastosowanie go do napędu środków

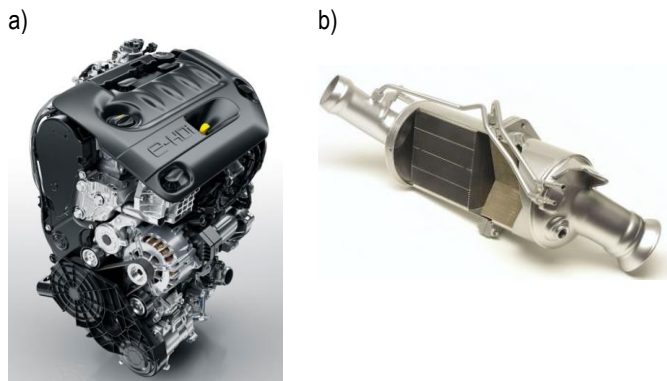
transportu zapoczątkowało rozwój motoryzacji i szybki postęp techniczny w tej dziedzinie (rys. 1b). Silnik o zapłonie samoczynnym, wynaleziony w 1892 roku i opatentowany rok później przez Rudolfa Diesla, po raz pierwszy został zastosowany w samochodzie osobowym w 1936 roku. W latach 1878—1897 niemieckiemu inżynierowi Rudolfowi Dieselowi udało się udoskonalić znany już silnik spalinywy do tego stopnia, że możliwe było zastosowanie go na statkach. Mimo bezspornego istnienia tych jednostek powszechnie jednak przyjmuje się, iż, się dopiero od 1912 r., kiedy to wprowadzono statki z napędem motorowym na szlaki oceaniczne. Od tej pory zaczął się szybki rozwój floty motorowej, trwający do dnia dzisiejszego [23].

Od tego czasu zmieniło się wszystko właśnie poza napędem. Wprowadzono ulepszenia w układzie napędowym, takie jak silnik Wankla, turbodoładowanie silnika wprowadzone po raz pierwszy w 1978 r., czy wreszcie bezpośredni wtrysk paliwa zarówno dla silników o zapłonie samoczynnym — typu common rail kolejno pierwszej, drugiej i trzeciej generacji, obecny na rynku od 1997 roku — jak i silników o zapłonie iskrowym, czyli Gasoline Direct Injection. Zasadniczo jednak te usprawnienia nie zmieniają samego napędu ani jego sposobu działania, opartego na technologii z drugiej połowy XIX wieku [25].

## 1.2. Rozwój silników spalinowych w aspekcie przepisów dotyczących redukcji emisji związków szkodliwych

Pierwsze silniki wysokoprężne były bez doładowania, natomiast benzynowe — z gaźnikiem. W związku z coraz bardziej rygorystycznymi przepisami dotyczącymi emisji spalin, tego typu silniki nie są i już nigdy nie będą produkowane. Newralgicznym momentem w rozwoju silników spalinowych był rok 2005. Od tego czasu zaczęła obowiązywać norma czystości spalin Euro 4. Już wtedy radykalnie ograniczono emisję szkodliwych substancji wydobywających się z układu wydechowego. Średnio o połowę miały spaść wartości emisji węglowodorów, tlenków azotu i tlenków węgla, a w silnikach o zapłonie samoczynnym również cząstek stałych. Następnie producenci myśleli o zbliżającej się Euro 5.

Rozpoczęły się prace nad technologiami i rozwiązaniami, które miały sprawić, że silniki staną się jeszcze czystsze. Norma Euro 5 głównie dotknęła silniki o zapłonie samoczynnym, które musiały się wykazać nieco niższą emisją węglowodorów i tlenków azotu, ale emisja cząstek stałych musiała zostać ograniczona aż 5-krotnie. Wprowadzenie tej normy w 2009 roku wyznaczyło nowe standardy w konstrukcji silników zasilanych olejem napędowym i zgodnie z nimi inżynierowie musieli przygotować silniki na normę Euro 6 ograniczającą przede wszystkim emisję tlenków azotu. Norma Euro 6 obowiązuje od września 2014 roku i dziś wszystkie sprzedawane w Unii Europejskiej samochody muszą ją spełniać [11, 19].



Rys. 2. Współczesne rozwiązania mające na celu zmniejszenie emisji związków toksycznych do atmosfery: a) zaawansowany technologicznie silnik spalinowy, b) filtr cząstek stałych [19]

Obecnie głównym celem konstruktorów silnika jest wzrost sprawności, a w związku z tym mniejsze zużycie paliwa, co wiąże się również z niższą emisją związków toksycznych do atmosfery. Spalanie paliwa ma się odbywać w taki sposób, by ograniczyć do minimum straty energii w nim zawartej i podwyższyć osiągi silnika. Aby osiągnąć ten cel, zaczęto od udoskonalenia układów wtryskowych podających paliwo do komór spalania. Pod koniec lat 90. XX wieku rozpoczął się rozwój silników wysokoprężnych z wtryskiem Common Rail. Rozwój tego systemu pozwolił na zwiększenie ciśnienia wtrysku z wartości rzędu 1000 barów do ponad 2000 barów w ciągu 15 lat. Obecnie, precyzyjny wtrysk paliwa jest możliwy dzięki wtryskiwaczom piezoelektrycznym, które zastąpiły zawory elektromagnetyczne. Wraz z wprowadzaniem kolejnych norm Euro wymagano już nie tylko dobrych osiągnięć, ale i wydajności objawiającej się niską emisją szkodliwych substancji. Osiągnięto to dzięki precyzyjnie podawanym w czasie jednego suwu pracy tłoka kilku dawek paliwa [8, 11,].

Wraz z rozwojem układów wtryskowych silników Diesla, trwały próby z wtryskiem bezpośrednim w silnikach benzynowych, które obecnie wyróżniają się wysoką kulturą pracy, dużo wyższą wydajnością niż w przypadku wtrysku pośredniego oraz korzystnym przebiegiem momentu obrotowego, dostępnego w niższym zakresie obrotów. W niedługim czasie można się spodziewać kolejnych etapów zwiększenia wydajności silników benzynowych poprzez podniesienie ciśnienia doładowania, ciśnienia wtrysku i zwiększenia stopnia sprężania. Prowadzone są również prace na temat zapłonu samoczynnego w silnikach benzynowych, przynajmniej w pewnym zakresie obrotów i obciążeń.

Kolejnym etapem w rozwoju silników spalinowych jest technologia downsizingu, czyli zmniejszanie rozmiarów silnika bez utraty osiągnięć. Jest to realizowane poprzez turbodoładowanie silnika. Technologia ta przez ostatnie kilka lat została wprowadzona w życie u prawie wszystkich producentów samochodów na świecie. Silniki te podczas normalnej pracy uzyskują dużo niższe zużycie paliwa, a dzięki wyższym wartościom momentu obrotowego dynamiczniej przyspieszają od niskich obrotów [9, 19].

Ponadto od dłuższego czasu stosuje się tzw. zawory EGR, czyli urządzenia pozwalające na recyrkulację spalin. Spaliny wydalone z komór spalania w odpowiednim momencie wracają z powrotem do silnika i są „przetwarzane” kilkakrotnie. Ponadto kiedy wprowadzono normy Euro 5, to filtr cząstek stałych stał się urządzeniem standardowym w każdym samochodzie z silnikiem Diesla i do dziś stosuje się go powszechnie. Od momentu wprowadzenia normy Euro 6 niektóre silniki wysokoprężne muszą być wyposażone także w technologię selektywnej redukcji katalitycznej (SCR), jeszcze lepiej oczyszczającej spalinę z tlenków azotu, które są efektem stałego podnoszenia ciśnienia doładowania i ciśnienia wtrysku bez zmiany dawki paliwa.

Problemem konstruktorów będzie wejście w 2020 roku ograniczenia emisji dwutlenku węgla. To wiąże się z jeszcze bardziej radykalnym downsizingiem i jeszcze lżejszymi konstrukcjami silnika i nadwozia. Jest to obecnie największe wyzwanie jakiego będą musieli stawić czoło inżynierowie od momentu powstania pierwszego silnika spalinowego [9, 12].

## 1.3. Wymagania stawiane silnikom okrętowym w kontekście przepisów dotyczących redukcji emisji związków szkodliwych do atmosfery

W większości budowanych obecnie statków stosuje się napęd konwencjonalny wykorzystujący paliwo ciężkie (mazut) w silnikach głównych oraz paliwo lekkie (olej napędowy) w agregatach prądotwórczych. Nowoczesne silniki tego typu wyposażone są w skomplikowany osprzęt, umożliwiający ograniczenie emisji szkodliwych

związków do atmosfery. W związku z tym, że coraz trudniej spełnić coraz surowsze przepisy dotyczące emisji szkodliwych substancji do atmosfery, prowadzone są również zaawansowane prace nad zastosowaniem paliw alternatywnych w silnikach okrętowych [2, 5].

Do tych przepisów należą wymogi Międzynarodowej Organizacji Morskiej (IMO) zawarte w VI załączniku do Konwencji MARPOL 73/78, który to reguluje sprawę zanieczyszczeń atmosfery przez statki, zwłaszcza takich pochodzących ze spalin silników okrętowych. Przepisy te ratyfikowano w 2004 roku i obowiązują od 19 maja 2005 r. Załącznik ten wprowadza limity zawartości siarki w paliwie bunkrowym oraz limity emisji tlenków azotu z silników okrętowych. Natomiast w październiku 2008 roku IMO przyjęła poprawiony Załącznik VI, który wszedł w życie 1 lipca 2010 roku. Załącznik VI wyznacza pewne obszary jako Obszary Kontroli Emisji (ECA – Emission Control Area), dla których przyjęto specjalne obostrzone przepisy dotyczące zapobiegania, redukcji i kontroli zanieczyszczenia powietrza przez tlenki azotu lub tlenki siarki i cząstki stałe lub przez wszystkie trzy rodzaje zanieczyszczeń razem [15, 18].

W Załączniku VI definiuje się również trzy poziomy emisji tlenków azotu dla zamontowanych na statkach silników, w zależności od daty konstrukcji statku, na którym silnik został zainstalowany. Poziomy te określane są jako Tier I, Tier II i Tier III.

Poziom I dotyczy silników zamontowanych na statkach zbudowanych 1.01.2000 roku lub po tej dacie ale przed 1.01.2011 roku.

Poziom II dotyczy silników zamontowanych na statkach zbudowanych 1.01.2011 roku i później.

Poziom III będzie miał zastosowanie wyłącznie dla statków eksploatowanych w obszarach kontroli emisji NOx. Limity te będą dotyczyć silników zamontowanych na statkach zbudowanych 1.01.2016 roku lub później [15].

Dostosowanie się do nowych przepisów będzie wymagało zastosowania znacznie droższego oleju napędowego żeglugowego (MGO) zamiast paliwa ciężkiego lub w przypadku stosowania paliwa ciężkiego o zawartości siarki większej niż dozwolona konieczne będzie zainstalowanie na pokładzie statku instalacji odsiarczających tzw. skruberów (płuczek spalin). Płuczki służą do płukania spalin wodą morską, słodką lub stosuje się suchy sorbent. Zabieg ten ma na celu zubożenie kwaśnych gazów wydechowych. Jednakże pierwsze z wymienionych rozwiązań będzie się wiązało ze zwiększonymi kosztami eksploatacyjnymi (wyższa cena paliwa MGO) natomiast drugie rozwiązanie z dodatkowymi wyzwaniem technicznymi jakie niesie za sobą zainstalowanie skrubera. Dlatego też nowe przepisy skłaniają do poszukiwania alternatywnych rozwiązań dla obecnie stosowanego tradycyjnego paliwa. Taką alternatywą jest wykorzystywanie skroplonego gazu ziemnego (LNG) jako paliwa w jednostkach napędowych statków. Zastosowanie paliwa LNG pozwoli sprostać wymaganiom przepisów IMO. LNG nie zawiera praktycznie siarki oraz metali ciężkich jak np. kobalt, ołów, rtęć, dlatego też podczas spalania nie tworzą się tlenki siarki, pyły oraz nie powstają stałe odpady spalania jak żużel, popiół, czy sadze. W porównaniu z tradycyjnymi paliwami stosowanymi na statkach spalany gaz ziemny emituje znacznie mniej tlenków azotu oraz dwutlenku węgla. W wyniku spalania LNG powstaje około 85-90% mniej emisji tlenków azotu oraz 15-25% mniej emisji dwutlenku węgla niż w przypadku spalania paliw konwencjonalnych [15].

## 2. PALIWA ALTERNATYWNE

Od początku istnienia przemysłu motoryzacyjnego podstawowym surowcem paliw do pojazdów były produkty ropopochodne (benzyna, olej napędowy). Inne alternatywne źródła zasilania były tylko obiektem badań naukowców i konstruktorów [1].

Szersze zainteresowanie się niekonwencjonalnymi paliwami i wprowadzanie nowych technologii do przemysłu towarzyszyło wystąpieniu na świecie kryzysów paliwowych (związanych z niedoborem paliw lub wzrostem cen wydobywanej ropy naftowej). Drugim czynnikiem sprzyjającym rozwojowi prac nad alternatywnymi źródłami zasilania pojazdów jest wprowadzanie nowych zastrzonych norm dotyczących emisji spalin, których silniki zasilane tylko tradycyjnymi paliwami ropopochodnymi nie będą w stanie spełnić. Chodzi tu głównie o tlenki azotu, dwutlenek węgla i cząstki stałe. Ostatnim, ale jakże ważnym czynnikiem stymulującym wykorzystanie alternatywnych układów paliwowych jest fakt, że obecnie znane i udokumentowane zasoby ropy naftowej, przy obecnym zużyciu, wystarczą wg szacunkowych danych na 30–40 lat.

Paliwa alternatywne można podzielić ze względu na okres cyrkulacji w środowisku na [16]:

- odnawialne (ich zasoby odtwarzają się w stosunkowo krótkim czasie. Paliwa odnawialne charakteryzują się krótkim czasem cyrkulacji pierwiastków składowych w stosunku do przeciętnego czasu życia ludzi),
- nieodnawialne (w przypadku paliw nieodnawialnych wykorzystanie ich postępuje znacznie szybciej niż naturalnie odtwarzane. Ze względu na surowiec, paliwa nieodnawialne są nazywane paliwami kopalnymi).

Gazowe alternatywne paliwa nieodnawialne to przede wszystkim [4]:

- paliwa na bazie gazu ropopochodnego (składającego się głównie z propanu i butanu) – LPG (Liquefied Petroleum Gas);
- paliwa na bazie gazu ziemnego, którego głównym składnikiem jest metan:
  - CNG (Compressed Natural Gas) – sprężony gaz ziemny,
  - LNG (Liquefied Natural Gas) – skroplony gaz ziemny,
- oleje roślinne PVO (Pure Vegetable Oils) i ich pochodne, głównie estry wyższych kwasów karboksylowych
- alkohole, przede wszystkim jednorzędowe: metanol i etanol oraz dwurzędowe oraz pochodne alkoholi, głównie etery.

Zastosowanie znajdują również mieszanki paliw odnawialnych i nieodnawialnych. Ciekłymi mieszankami paliw odnawialnych i nieodnawialnych są m.in.:

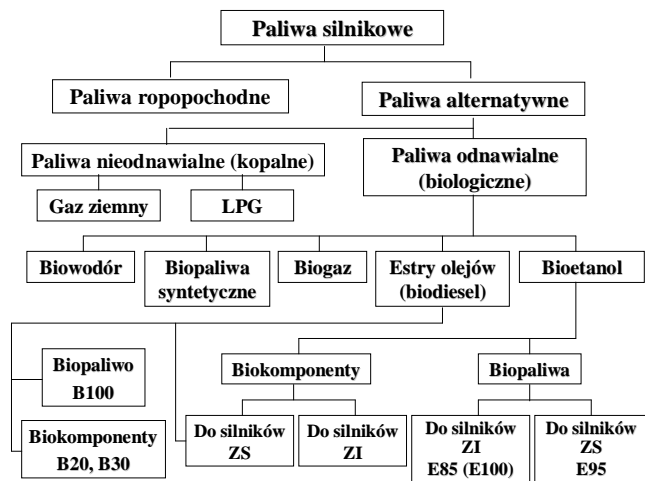
- mieszanki oleju napędowego z ciekłymi produktami przeróbki biomasy, m.in. z estrami metylowymi kwasów tłuszczowych oleju rzepakowego (RME), np. B20 (z dodatkiem 20% v/v RME),
- mieszanki benzyny z ciekłymi produktami przeróbki biomasy, np. E85 – paliwo zawierające (70 ÷ 80)% v/v etanolu w mieszance z benzyną.

Gazowe mieszanki paliw odnawialnych i nieodnawialnych to mieszanki z dominującym udziałem odnawialnych i nieodnawialnych gazów: wodoru i metanu. Mieszanki metanu i wodoru noszą nazwę hytanu [3]. Na rys. 3 przedstawione są paliwa ropopochodne i alternatywne stosowane do napędu silników spalinowych.

Wydaje się, że w najbliższych latach będą rozpowszechniane do zastosowania do silników o zapłonie iskrowym paliwa z udziałem bioetanolu: obecnie biopaliwo E85, a w nieodległej przyszłości również E100 – bioetanol z dodatkami funkcyjnymi, paliwo już stosowane w prototypowym silniku koncernu Saab [3]. Biopaliwo E85 jest to mieszanka 85% bioetanolu i 15% benzyny zwana E85.

Biokomponenty, które niedawno dodawano w ilości do 5% same stały się alternatywnym paliwem. Paliwo to ma 107 oktanów, ale także większą moc silnika o 20% i moment obrotowy o 15%. Główną przeszkodą w upowszechnieniu E85 jest wysoki koszt wejścia na rynek — nie ma samochodów, bo nie ma stacji paliw i odwrotnie.





Rys. 3. Podział najczęściej stosowanych paliw do silników spalinywych [3]

Zasilanie silników spalinywych mieszaniną gazów LPG (Liquefied Petroleum Gas, czyli skroplony gaz ropopochodny) nie jest zjawiskiem nowym. Ma on już ponad półwieczną historię. Jak wskazuje nazwa, LPG jest skroploną mieszaniną gazów, których głównymi składnikami są propan oraz butan (n-butan i izobutan). Układy te wykorzystują koncepcję reduktora umożliwiającego dopasowanie ciśnienia do potrzeb powstawania odpowiedniej mieszanki paliwo-powietrznej. Ich niewątpliwą zaletą jest możliwość zastosowania tego układu jako alternatywnego paliwa w standardowym silniku benzynowym. W porównaniu z paliwem benzynowym paliwo LPG ma wyższą liczbę oktanową, która w zależności od stosunku zawartości propanu do butanu wynosi od 100 do 110 oktanów, przy podobnym zapotrzebowaniu na powietrze podczas procesu spalania. Jednak w porównaniu z benzyną gaz LPG charakteryzuje się mniejszą o ok. 30% wartością opałową na jednostkę objętości. Dlatego zużycie paliwa przy zasilaniu gazem LPG w porównaniu z zasilaniem silnika benzyną jest większe o 20–30%. Do wad paliwa LPG zalicza się [3]:

- niską temperaturę wrzenia, szczególnie dla butanu, co powoduje problemy przy zasilaniu pojazdu w zimie przy nierozgrzanym silniku,
- słabo miesza się z powietrzem,
- LPG jest gazem cięższym od powietrza i w przypadku nieszczelnej instalacji może gromadzić się pod pojazdem (np. w garażach) i być przyczyną wybuchu.

Podobnie jak w przypadku LPG, zastosowanie do zasilania pojazdów paliwa CNG (Compressed Natural Gas – sprężony gaz ziemny) nie jest zjawiskiem nowym. Prace nad układami zasilania CNG postępowały równolegle z pracami nad LPG. Ich zasada wykorzystania jako paliw do zasilania pojazdów jest podobna i opiera się na zamontowaniu zbiornika ze sprężonym, znajdującym się w stanie płynnym gazem, a następnie jego odparowaniu w reduktorze, wymieszaniu z powietrzem i doprowadzeniu do komory spalania w silniku. Podobnie jak gaz LPG, CNG może być stosowany jako paliwo alternatywne do zasilania silników benzynowych. CNG w porównaniu z paliwami benzynowymi ma dużo większą liczbę oktanową (ok.130), także jego temperatura wrzenia jest dużo niższa niż gazowi LPG. Niewątpliwą zaletą tego paliwa jest fakt, że jest lżejsze od powietrza i łatwo się z nim miesza. Zmniejsza to ryzyko wystąpienia wybuchów przy nieszczelnej instalacji. Jest uważane za czyste paliwo, emisja zanieczyszczeń jest ok. 3 razy mniejsza w porównaniu z silnikami zasilanymi olejem napędowym. Instalacja CNG - może być zasilana z domowej sieci gazowej oraz nie używa w ogóle benzyny. Jest to paliwo tańsze w eksploatacji niż benzyna.

W Polsce instalacje CNG nie cieszą się obecnie dużym zainteresowaniem, brak także stacji paliw mających w swoim asortymencie gaz ziemny [13].

Skroplony gaz ziemny LNG (Liquefied Natural Gas) składa się w 95% z metanu, który w temperaturze poniżej -162 °C przechodzi ze stanu lotnego w ciekły. Aby do tego doszło, należy uprzednio oczyścić gaz z komponentów takich jak woda, dwutlenek węgla, butan czy pentan. LNG nie ma zapachu, barwy oraz nie jest toksyczny. Skroplony gaz ziemny jest wykorzystywany również jako paliwo dla transportu, głównie w ciężkim transporcie drogowym. Od niedawna LNG jest wykorzystywany jako paliwo do zasilania jednostek pływających. Wykorzystywanie LNG w napędach statku nie jest zupełnie nowym rozwiązaniem. Od wielu lat statki przystosowane do przewozu LNG wykorzystują pary przewożonego ładunku do zasilania napędu głównego. Jednakże zastosowanie LNG jako paliwa na innych statkach niż metanowce ma znacznie krótszą historię.

Istotną kwestią stanowiącą wyzwanie związane z użyciem LNG jako paliwa na statkach jest wymagana znacznie większa niż w przypadku tradycyjnych paliw okrętowych przestrzeń na zbiorniki paliwowe. Można się spodziewać, że właśnie z powodu dość dużej przestrzeni wymaganej na zbiorniki paliwowe, LNG jako paliwo będzie wykorzystywane przede wszystkim przez statki operujące na krótkich dystansach. LNG jako paliwo jest zatem najbardziej odpowiednie dla statków żeglugi bliskiego zasięgu takich jak promy, ro-ro, a także dla jednostek offshore, jednostek patrolowych, czy holowników.

Znacznie bardziej od powyższych obiecujące są pomysły częściowego lub całkowitego zastąpienia benzyny i ON prądem elektrycznym. Do tej pory technologia ta znajduje się praktycznie w fazie rozwoju [15].

### 3. NAPĘDY ALTERNATYWNE

W związku z tym, że normy dotyczące emisji związków toksycznych są coraz bardziej restrykcyjne i coraz trudniej je spełnić, to oprócz badań nad paliwami alternatywnymi równolegle prowadzone są prace na napędami, które pozwolą zmniejszyć lub nawet całkowicie wyeliminować emisję związków szkodliwych do atmosfery.

Najbardziej rozwinięte są prace nad rozwojem napędów elektrycznych, które wykorzystują baterie litowo-jonowe. Wykorzystanie baterii w motoryzacji początkowo okazało się być bardzo trudne, ponieważ odpowiednio duże niebezpiecznie nagrzewały się i wymykały spod kontroli. Wyniki udało się jednak poprawić i pojawiły się samochody z tymi bateriami. Szacuje się, że krytyczną granicą dla samochodów na baterie jest prędkość maksymalna samochodów miejskich czyli ok. 150-160 km/h oraz 500 km zasięgu - po jej osiągnięciu będą wypierać dzisiejsze auta. W osiągnięciu tego może pomóc samo wykorzystanie zbędnych elementów mechanicznych w samochodach spalinywych — nie tylko samego zbiornika paliwa, ale także silnika, skrzyni biegów, sprzęgła i in., które ma za cel zamienić energię chemiczną zawartą w paliwie na pracę mechaniczną. Razem jest to co najmniej 300 kg w każdym samochodzie osobowym. Baterie zaś znajdują się pod podłogą. Samochód elektryczny ma wiele innych zalet — jest prosty w obsłudze (nie ma sprzęgła ani skrzyni biegów), jest bezszelestny, stały moment obrotowy dostępny jest przy każdej prędkości, jego waga w czasie jazdy nie zmienia się, nie wymaga ani nowej infrastruktury (jak E85) ani nawet istniejącej — do ładowania można go podłączyć do dowolnego gniazdka elektrycznego. Korzysta więc z takich źródeł prądu jakie zasilają sieć elektryczną i w tym sensie zanieczyszcza środowisko w takim samym stopniu jak każde urządzenie elektryczne. Tutaj zaś rozwiązaniem jest najbardziej ekologiczna energia jądrowa.

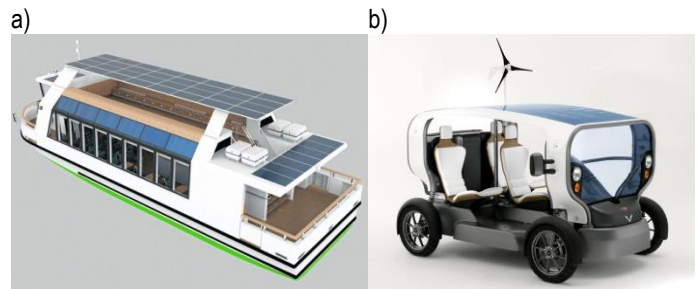
wa oraz energia odnawialna, głównie słoneczna, która według prognoz długoterminowych w połowie XXI wieku ma dostarczać połowy zużywanej energii na świecie [26]. Drugą - poza obecnie niezadowalającym zasięgiem — wadą samochodów elektrycznych był długi czas ładowania, praktycznie uziemiający samochód i jego właściciela. Tu też dzięki nanotechnologii osiągnięto postęp i obecnie baterie można naładować do 90% w ciągu 5 minut. Ładowanie przyszłej baterii samochodowej nie będzie trwało dłużej niż dziś wlewanie paliwa. Trzecim problemem było zmniejszanie się pojemności baterii w miarę kolejnych ładowań. Nanotechnologia pozwala rozwiązać ten problem całkowicie — w obecnych prototypach samorozładowanie w ogóle nie występuje [25].

Przyszłość motoryzacji należy do samochodów elektrycznych napędzanych dopiero opracowywanymi rodzajami wysokowydajnych baterii lub hybryd baterijno-akumulatorowych. Zanim to nastąpi czeka nas okres rozwoju obecnych napędów hybrydowych.

Napęd hybrydowy jest rozwiązaniem niezwykle elastycznym. Układy hybrydowe wykorzystują do zasilania przynajmniej dwa rodzaje energii. W motoryzacji stosuje się układy umożliwiające powstanie energii mechanicznej z energii: chemicznej, uzyskiwanej podczas spalania paliwa w silniku i elektrycznej, dostarczanej z silnika elektrycznego zasilanego z układu baterii akumulatorów. Pojazdy takie mogą korzystać z silnika elektrycznego na krótkich dystansach w czasie codziennego użytkowania, a na dłuższych trasach z tradycyjnego silnika spalinowego. Łącząc silniki o różnych mocach można uzyskać pożądany efekt, którym w przypadku pojazdu, może być na przykład wysoka prędkość maksymalna oraz energooszczędność podczas powolnej jazdy w korku. Pojazdy te charakteryzują się zmniejszonym w porównaniu z klasycznymi układami zasilania zużyciem paliwa, ograniczoną nawet o 50% emisją spalin i cichą pracą. Silnik spalinowy, oprócz zasilania układu napędowego, służy jako źródło energii elektrycznej magazynowanej w akumulatorach. Napęd elektryczny jest napędem głównym, a napęd spalinowy pomocniczym. W odróżnieniu od klasycznych pojazdów, energia hamowania jest również wykorzystywana [7, 10].

Jeśli chodzi o jednostki pływające, to dzięki silnikowi spalinowemu o dużej mocy mogą mieć wysoką prędkość maksymalną oraz duży uciąg, a napęd elektryczny może być szczególnie użyteczny podczas precyzyjnego manewrowania (port, śluzy itp.) oraz podczas żeglugi przez rejony objęte ochroną czy na przykład strefą ciszy. Ważną zaletą takiego rozwiązania jest też niezawodność oraz wysoka sprawność napędu [24].

W odróżnieniu od poprzednio przedstawionych alternatywnych źródeł zasilania pojazdów, wodór jako paliwo ciągle jest w fazie badań. Rozpatruje się następujące metody jego wykorzystania: do specjalnych silników spalinowych i do ogniw paliwowych. W obu tych przypadkach emisja zanieczyszczeń praktycznie nie istnieje, ponieważ jedyną substancją powstałą w wyniku spalania wodoru jest woda. Zastosowanie wodoru do zasilania pojazdów umożliwi radykalne zmniejszenie emisji spalin, a po wyczerpaniu zapasów ropy naftowej może stać się głównym źródłem energii. Obecnie sprawność ogniw przekracza 50%. Ogniwo paliwowe zasilane metanolem jest szczególnym przypadkiem ogniwa z elektrolitem polimerowym. Jego budowa jest podobna do budowy klasycznego ogniwa, natomiast paliwem jest metanol, będący cieczą w stosunkowo szerokim zakresie temperatur (od  $-97$  do  $64^{\circ}\text{C}$  przy ciśnieniu atmosferycznym), co jest jego olbrzymią zaletą. Metanol można zatem łatwo magazynować i transportować. Obecnie trwają intensywne prace, których celem jest podwyższenie sprawności oraz poziomu mocy tego typu ogniw [10].



**Rys. 4.** Nowoczesne środki transportu z napędem alternatywnym: a) nieduży statek pasażerski z napędem hybrydowym wykorzystującym do napędu energię słoneczną [24], b) samochód z turbiną wiatrową [27]

Idea wykorzystania energii słonecznej do zasilania pojazdów, tak jak innych alternatywnych źródeł, nie jest sprawą nową i sięga drugiej połowy XX w. Jednak ze względu na duże nakłady finansowe, jakie należy ponieść oraz jeszcze ciągle małą sprawność tych układów (do 15% w najnowszych elementach fotowoltaicznych) jest technologią przyszłości. Pojazdy wykorzystujące jako paliwo energię słoneczną są w fazie modeli i prototypów. Panel słoneczny zamontowany na dachu samochodu Toyota Prius poruszającego się w słonecznym terenie może poprawić spalanie paliwa o 10%-15% i wydłużyć zasięg o 15 km. Istnieją również koncepcje montowania paneli słonecznych zasilających akumulatory, a te - silnik elektryczny ze śrubą napędową na jednostkach pływających. Na rysunku 4a przedstawiono koncepcyjny statek pasażerski, o napędzie hybrydowym, czyli spalinowo-elektrycznym, wykorzystującym energię elektryczną uzyskiwaną z paneli z fotoogniwami, w których następuje przemiana światła słonecznego na energię elektryczną [21].

Ponadto firma Venturi dodała do samochodu Eclectic (rys. 4b) montowany na dachu wiatrak produkujący do 400W noszący nazwę „osobistej turbiny wiatrowej” [27]. Według producenta w wietrzny dzień turbina pozwala na przejechanie 15 kilometrów. Nowe turbiny produkują prąd już przy wietrze 1,6 m/s, mają 60% efektywności, pracują do prędkości wiatru wynoszącego 45 km/h i nie mają ostrych krawędzi. Poza tym w warunkach ruchu miejskiego wiatr jest wręcz gwarantowany za sprawą ciężarówek, pojazdów uprzywilejowanych i innych uczestników ruchu.

## PODSUMOWANIE

Człowiek od dawna szukał mechanicznego rodzaju napędu, aby uniezależnić się od siły mięśni. Z tego powodu od dawna trwały prace nad ich rozwojem, najpierw z powodu poprawy efektywności, a obecnie głównie z powodu coraz ostrzejszych przepisów dotyczących ochrony środowiska. Wprowadzane są coraz bardziej surowe normy dopuszczalnych emisji spalin, które determinują rozwój i wyznaczają nowe standardy w konstrukcji silników spalinowych. Normy te dotyczą zarówno środków transportu poruszających się na lądzie, jak i na morzu.

Obecnie głównym celem konstruktorów silnika jest wzrost sprawności, a w związku z tym mniejsze zużycie paliwa, co wiąże się również z niższą emisją związków toksycznych do atmosfery.

Dotychczas alternatywne źródła zasilania były tylko obiektem badań naukowców i konstruktorów. Szersze zainteresowanie się niekonwencjonalnymi paliwami i wprowadzanie nowych technologii do przemysłu towarzyszyło wystąpieniu na świecie kryzysów paliwowych i wprowadzanie nowych zaostrzonych norm dotyczących emisji spalin, których silniki zasilane tylko tradycyjnymi paliwami ropopochodnymi nie będą w stanie spełnić.

W związku z tym, że normy dotyczące emisji związków toksycznych są coraz bardziej restrykcyjne i coraz trudniej je spełnić, to

oprócz badań nad paliwami alternatywnymi równolegle prowadzone są prace na napędami, które pozwolą zmniejszyć lub nawet całkowicie wyeliminować emisję związków szkodliwych do atmosfery. Należą do nich napędy elektryczne, ogniwa paliwowe, panele słoneczne, a nawet niewielkie turbiny wiatrowe

## BIBLIOGRAFIA

1. Baczewski K., Kałdoński, T., *Paliwa do silników o zapłonie samoczynnym*, WKŁ. Warszawa 2004.
2. Balcerski A., Bocheński D., *Układy technologiczne i energetyczne jednostek oceanotechnicznych*, Politechnika Gdańska, Gdańsk 1998.
3. Chłopek Z., *Ekologiczne aspekty motoryzacji i bezpieczeństwo ruchu drogowego*, Wydawnictwo Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2012.
4. Cole R.L., Poola R.B., Sekar R., Schaus J.E., McPartlin P., *Effects of ethanol additives on diesel particulate and NOx emissions*, SAE 2001-01-1937.
5. Kopczyński M., Mańczak J., Przewozny W., *Rozwój konstrukcji dwusuwowych silników okrętowych na tle osiągnięć firmy H. Cegielski-Poznań S.A.*, Silniki Spalinowe, R.45, nr 3, str. 3-37, 2006.
6. Kuźmicki S., *Ewolucja napędu okrętów podwodnych od połowy XX wieku*, Zeszyty Naukowe Akademii Marynarki Wojennej, R. 47 nr 3 (166), str. 43-60, 2006.
7. Leśniewski W., Litwin W., *Napęd i zasilanie hybrydowe niewielkich jednostek pływających*, Napędy i sterowanie, R. 15, nr 5, str. 76-81, 2013.
8. Mazanek A., *Tendencje rozwoju silników o zapłonie samoczynnym w ujęciu proekologicznym*, Nafta-Gaz, R. 70, nr 6, str. 390-394, 2014.
9. Menes M., *Współczesne kierunki rozwoju techniki samochodowej*, Wydawnictwo ITS, Tom 4, str. 19-36, 2011.
10. Merkisz J., Pielecha I., *Alternatywne paliwa i układy napędowe pojazdów*, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej. Poznań 2004.
11. Merkisz J., *Rozwój silników spalinowych w aspekcie ich ekologii*, Zeszyty Naukowe Instytutu Pojazdów Politechniki Warszawskiej. Z. 2/78, str. 103-125, 2010.
12. Merkisz J., Walasik S., *Uwagi o przepisach dotyczących emisji związków toksycznych spalin z silników pojazdów o zastosowaniach pozadrogowych*, Archiwum Motoryzacji, nr 1, str. 41-51, 2006.
13. Merkisz J., Pielecha I., *Wymagania i kierunki rozwoju napędów zasilanych gazem ziemnym CNG/LNG*, Zeszyty Naukowe Politechniki Częstochowskiej. Mechanika, nr 26(162), str. 458-475, 2006.
14. Myszczyński J., *Wpływ maszyny parowej na rozwój gospodarczy świata w XIX i XX w.* Kultura i Historia, nr 16, str. 95-102, 2009.
15. Rozmarynowska M., *LNG jako alternatywne paliwo dla statków- aspekty techniczne, ekologiczne, ekonomiczne i regulacyjne*, Logistyka, nr 5, str. 741-748, 2012.
16. Tic W., *Alternative fuels for diesel engines*, Zeszyty Naukowe. Inżynieria Środowiska. Politechnika Opolska, Vol. 319, z. 5, str. 111-120, 2006.
17. Walentyłowicz J., *Historia rozwoju silników cieplnych*, Wyd. Ilot, Warszawa 2011.
18. Wojtyła Z., *Problemy eksploatacji dwusuwowych silników okrętowych na paliwach niskosiarkowych według doświadczeń firmy MAN Diesel*, Silniki spalinowe, R. 45, nr 3, str. 77-89, 2006.
19. [www.autokult.pl/26407,rozwoj-silnikow-spalinowych-na-przestrzeni-ostatnich-lat](http://www.autokult.pl/26407,rozwoj-silnikow-spalinowych-na-przestrzeni-ostatnich-lat)
20. [www.ciekawostki.eu/ciekawe-225.html](http://www.ciekawostki.eu/ciekawe-225.html)
21. [www.motonews.pl/toyota/news-1499-wszystkie-toyota-do-2020-roku-beda-hybrydami.html](http://www.motonews.pl/toyota/news-1499-wszystkie-toyota-do-2020-roku-beda-hybrydami.html)
22. [www.motopl.com/2015,rozwoj-srodkow-transportu-czyli-odrobina-historii-1087.html](http://www.motopl.com/2015,rozwoj-srodkow-transportu-czyli-odrobina-historii-1087.html)
23. [www.pierwszyportal.pl/teksty,pancerniki,25,1,kto\\_zastosowal\\_na\\_okretach\\_naped\\_parowy\\_motorowy\\_turbinowy\\_i\\_atomowy,11220.html](http://www.pierwszyportal.pl/teksty,pancerniki,25,1,kto_zastosowal_na_okretach_naped_parowy_motorowy_turbinowy_i_atomowy,11220.html)
24. [www.polskatimes.pl/artukul/908080,statki-o-napedzie-slonecznym-moga-plywac-po-wisle,id,t.html](http://www.polskatimes.pl/artukul/908080,statki-o-napedzie-slonecznym-moga-plywac-po-wisle,id,t.html)
25. [www.racjonalista.pl](http://www.racjonalista.pl) › Państwo i polityka › Energetyka
26. [www.test.auto.pl/alternatywy/alternatywne-zrodla-napedzania-silnika-samochodu/](http://www.test.auto.pl/alternatywy/alternatywne-zrodla-napedzania-silnika-samochodu/)
27. [www.venturi.fr/electric-vehicules-eclectic-concept.html](http://www.venturi.fr/electric-vehicules-eclectic-concept.html)

### Alternative fuels and drives in the context of tightening emission regulations

*The article presents the development of drives, both in land and sea transport, from the first drive of steam, motor and ending with the least widespread nuclear-powered. Then, the development of internal combustion engines in the context of increasingly stringent regulations concerning emission limit values of harmful substances into the atmosphere was presented. Another part of the article presents the used fuel, both petroleum and alternative, with the largest development concerns renewable fuels. In the last part of the article discusses alternative drives, the most developed are electric drives and hybrid. The article was completed conclusions, of which the most important is the only chance to solve the problem of air pollution by combustion engines is the use of alternative fuels.*

Autor:

dr inż. **Rafał Krakowski** – Akademia Morska w Gdyni, Wydział Mechaniczny, Katedra Siłowni Okrętowych,  
e-mail: [r.krakowski@am.gdynia.pl](mailto:r.krakowski@am.gdynia.pl)