

Współczesny elektryczny napęd trakcyjny. Powody upowszechniania się pojazdów z napędem elektrycznym

Andrzej Dębowski

Od bardzo dawna pojazdy kołowe używane w różnych krajach na świecie do przewożenia ludzi i towarów na dłuższe i krótsze odległości, a także jako wozy bojowe (np. rzymskie rydwany czy średniowieczne maszyny oblężnicze) wprawiały w ruch zwierzęta (najczęściej – konie). Jedyną znaną cywilizacją, która nie używała takich pojazdów, byli peruwiańscy Inkowie, w których państwie aż do podboju przez Hiszpanów jedynym wykorzystywanym zwierzęciem jucznym była lama. Pomimo że ich królestwo pokryte było niezwykle gęstą siecią dróg, Inkowie pojazdów kołowych nie używali nie tylko dlatego, że ich kraj był górzyski, ale przede wszystkim z tego prozaicznego powodu, że nie odkryli tak ważnej maszyny prostej, jaką jest koło (sic!).

Na przestrzeni wielu wieków konstrukcje pojazdów ciągniętych przez zwierzęta bardzo się rozwinęły i uległy znacznemu zróżnicowaniu w zależności od ich przeznaczenia. Pod koniec XVIII wieku, poprzedzającego wiek „pary i elektryczności”, zaprzęgi konne, składające się najczęściej z pojedynczego konia, ale często także pary koni (lub czasem nawet z kilku par), używane były do poruszania pojazdów kołowych, takich jak [C1]:

- bryczki, powozy lub karoce – pojazdy używane prywatnie, wykorzystywane do przewożenia właścicieli na krótsze bądź dłuższe odległości;
- dorożki i tramwaje konne – wykorzystywane do przewożenia pasażerów w miastach;
- dyliżanse – obsługujące regularne połączenia pocztowe pomiędzy wybranymi miejscowościami, przewożące pasażerów i ich bagaże nawet na bardzo dalekie dystanse;
- wozy robocze: skrzyniowe, drabiniaste, platformowe – używane w rolnictwie,

w przemyśle i w wojsku do masowego przewozu towarów;

- zaprzęgi wielokonne – używane w charakterze specjalistycznych ciężkich ciągników w rolnictwie, przy robotach budowlanych, w przemyśle i w wojsku (np. przy transporcie dział).

Warto było tu te funkcje krótko przypomnieć po to, by uświadomić sobie, jak szeroki zakres wymagań był (i jest nadal) stawiany nowym rodzajom napędu takich pojazdów. W pierwszym rządzie wszystkie te funkcje dawnych pojazdów konnych z biegiem lat z powodzeniem przejęły powszechnie użytkowane do dzisiaj pojazdy z napędem mechanicznym, w których koła są napędzane bezpośrednio lub pośrednio – poprzez odpowiednio skonstruowane przekładnie kinematyczne – silnikami o różnych zasadach działania. Początkowo silniki te zasilane były parą wodną otrzymaną pod dużym ciśnieniem z kotła opalanego węglem lub drewnem. Potem wymyślono silniki wprawiane w ruch obrotowy za pomocą prądu elektrycznego oraz silniki spalinowe, podobne nieco w konstrukcji do tych parowych, ale w których komorach spalania, znajdujących się nad poruszającymi się tłokami, była spalana bezpośrednio zasysana tam mieszanka powietrza i paliwa płynnego, tzw. silniki o bezpośrednim spalaniu paliwa.

Historia komunikacji masowej tak naprawdę rozpoczęła się w pierwszej połowie XIX wieku – wieku „pary i elektryczności” – wraz z powstawaniem dużych miast i aglomeracji miejskich. W owym czasie lokalny transport publiczny opierał się przede wszystkim na koniach: główne pojazdy używane do tego celu to tradycyjne wozy konne – dorożki i pierwsze konne tramwaje. Napęd z użyciem pierwszych maszyn parowych raczej upowszechniał

się najbardziej na kolei. W związku z eksplozją ludności, szczególnie w miastach z niezliczoną liczbą osób dojeżdżających do pracy, transport konny wkrótce osiągnął granicę swoich możliwości. Konstrukcje lokomotyw parowych, które w tym czasie budowano głównie z myślą o podróżach dalekobieżnych (wynalazca współczesnego parowozu George Stephenson zbudował swoją „Rakietę” już w 1829 roku), okazały się również zbyt mało elastyczne, by można je było wykorzystać w miastach, a zanieczyszczenie spowodowane sadzą i hałasem byłoby ogromne. Potrzebny był więc nowy środek transportu, z napędem o wiele „czystszy” [C2].

Za pierwszy taki pojazd rozpoczynający nową erę w komunikacji masowej należy bezsprzecznie uznać małą lokomotywkę elektryczną Ernsta Wernera von Siemens & Halske z 1879 roku, zasilaną napięciem 150 V DC z tzw. trzeciej szyny, umieszczonej w torowisku, po którym się poruszała. Ciągnęła ona za sobą trzy małe wagoniki-ławki i woziła z dużym powodzeniem pasażerów wokół terenów wystawy powszechnej w Berlinie po zamkniętej trasie o długości ok. 300 metrów. Prowadzący lokomotywkę siedział na niej okrakiem, a pasażerowie w każdym wagoniku siedzieli w grupach po trzy osoby na dwóch ławkach zwróconych do siebie plecami – w sumie mogło ich być nawet 18. W następnym roku wynalazca zaproponował budowę w Berlinie podobnej trasy kolejowej, ale w trochę większej skali [C2].

Początkowo jednak był zmuszony porzucić swoje plany po zastrzeżeniach właścicieli nieruchomości i domów, którzy obawiali się, że może to wpłynąć na obniżenie ich wartości. Jednak jego pomysłowość nie dało się już

pohamować. Na własny koszt w 1881 roku zbudował w Berlinie elektryczną linię tramwajową o długości 2,5 km – pierwszą na świecie. W 1882 roku publicznie zademonstrował w Halensee na przedmieściach Berlina pierwszy na świecie trolejbus, za jaki należy uznać jego eksperymentalny pojazd kołowy o nazwie Elektromote. Była to przebudowana czterokołowa bryczka konna, wyposażona w dwa silniki elektryczne o mocy ok. 2 kW każdy, które za pomocą przekładni łańcuchowych połączone z tylnymi kołami. Energia elektryczna była dostarczana do pojazdu poprzez elastyczny kabel zwisający z zaczepu wyposażonego w obrotowe rolki i przesuwającego się po rozwieszanej nad jezdnią sieci trakcyjnej o napięciu 550 V DC, o długości ok. 500 metrów. Z jego inicjatywy zaczęto stosować elektryczne lokomotywy górnicze, a w Budapeszcie zbudowano pierwsze w Europie kontynentalnej metro – miejską kolej podziemną. W ten sposób dokonał się przełom w rozwoju transportu w miastach i jego dalszych postępów polegających na elektryfikacji napędów w pojazdach masowej komunikacji nie można było już powstrzymać [C2].

Przyjęto, że pojazdem elektrycznym (czyli pojazdem EV – z ang. *electric vehicle*) nazywa się każdy pojazd poruszający się na kołach po powierzchni ziemi, w których co najmniej jedno koło jezdne jest napędzane silnikiem elektrycznym [C11]. Pojazdy takie najczęściej poruszają się po specjalnie w tym celu zbudowanych szlakach – torach zbudowanych ze stalowych szyn lub drogach z utwardzoną nawierzchnią, ale zdarzają się także specjalne pojazdy potrafiące poruszać się po bezdrożach – co ma miejsce trochę rzadziej. Tradycyjny podział takich pojazdów ze względu na ich sposób zasilania w energię może być dokonany następująco [A4]:

1. Pojazdy pobierające energię elektryczną z zewnątrz pojazdu za pośrednictwem odbieraków prądowych ślizgających się po przewodach sieci trakcyjnej (wykonanej w postaci sieci górnej lub trzeciej szyny) zasilanej



Rys. 1. Kolejka Wernera von Siemens wioząca pasażerów na terenie wystawy w Berlinie w 1879 roku

Źródło: [C2]

przez urządzenia zasilające, rozmieszczone w pewnych odstępach wzdłuż toru jazdy. Do tej grupy do tej pory należały przede wszystkim pojazdy używane w transporcie miejskim lub kolejowym: szynowe (tramwaje oraz pociągi kolei naziemnej lub podziemnej – metra) lub kołowe (trolejbusy).

2. Pojazdy czerpiące energię elektryczną bezpośrednio z umieszczonej w nich baterii akumulatorów lub ogniwa paliwowego.
3. Pojazdy wyposażone w silnik cieplny, przekazujący energię czerpaną z mobilnego źródła na koła za pośrednictwem tzw. przekładni elektrycznej, składającej się z prądnicy napędzanej przez taki silnik cieplny, zasilającej jeden bądź kilka współpracujących ze sobą silników elektrycznych. Do tej grupy należą pojazdy wyposażone w tłokowe silniki spalinowe (benzynowe lub wysokoprężne) lub silniki turbinowe (parowe – gdy para wodna jest wytworzona w tradycyjnie opalanym kotle lub reaktorze jądrowym albo gazowe – gdy paliwem jest sprężony gaz).

O ile wcześniej w tradycyjnej trakcji elektrycznej powszechnie spotykało się wyłącznie pojazdy typu 1, głównie szynowe, bowiem na uruchomienie linii trolejbusowych decydowały się jedynie nieliczne miasta, o tyle obecnie masowe wprowadzenie do komunikacji miejskiej autobusów elektrycznych (czyli pojazdów typu 2 lub 3) staje się coraz bardziej realne. Warto tu zauważyć, że dotychczas użytkowane trolejbusy (choć są to przecież pojazdy elektryczne – a więc przyjazne dla środowiska) ze względu na ich podstawową wadę – ograniczoną

manewrowość wynikającą z potrzeby ciągłego kontaktu z siecią trakcyjną – nie będą raczej dalej rozwijane, a na razie stanowią one jedynie rozwiązanie przejściowe. Ułożona na stałe sieć trakcyjna w powiązaniu z ogumionymi kołami to dla kołowego pojazdu nie jest przecież rozwiązaniem najzręczniejsze z inżynierskiego punktu widzenia. Wprawdzie ogumione koła pozwalają trolejbusowi opuścić w razie

potrzeby wydzielony pas ruchu (np. fizycznie wyznaczony na istniejącym torowisku tramwajowym lub wydzielonym pasie jezdni ograniczonym krawężnikami), ale rozwieszona na słupach jego sieć trakcyjna nadal dosyć skutecznie ogranicza możliwy tor jazdy samego pojazdu.

Wydaje się, że najbliższa przyszłość masowej komunikacji miejskiej to pojazd szynowy stanowiący połączenie pociągu metra i tramwaju, jeżdżący po szynach na wydzielonym torowisku w podziemnych tunelach lub na powierzchni, oraz autobusy z napędem elektrycznym i mobilnym magazynem energii „na podkładzie”, wygodnie doładowywanym na krańcówkach i o dosyć ściśle przewidywalnym harmonogramie jazdy pomiędzy doładowaniami! W warunkach miejskich sprawdzą się też na pewno małe samochody osobowe z takim samym rodzajem napędu, użytkowane jako taksówki lub prywatne pojazdy pozwalające na w pełni swobodne, indywidualne poruszanie się po ograniczonym obszarze w ramach dużych aglomeracji.

Do komunikacji zbiorowej na większe odległości (poza sieciami kolejowymi) oraz w komunikacji prywatnej (indywidualnej) chyba jednak najchętniej będą użytkowane (bo na to wskazują obecne obserwacje rynku motoryzacyjnego) pojazdy kołowe typu 3, tj. z napędem hybrydowym, składającym się z tłokowego silnika spalinowego i zbiornika paliwa płynnego lub gazowego, którego wał jest zablokowany z wałem maszyny elektrycznej wspomagającej silnik spalinowy. Maszyna ta, stanowiąca dodatkowy napęd elektryczny, musi być

sterowana tak, by przy pracy silnikowej zapewnić silnikowi spalinowemu ustalone warunki pracy w możliwie szerokim zakresie możliwych prędkości pojazdu (co pozwala zmniejszyć zużycie paliwa i zdecydowanie poprawić czystość spalin). Przy zmniejszaniu prędkości lub hamowaniu pojazdu, w wyniku przejścia w stan pracy prądnicowej, maszyna wraz z przekształtnikiem, wchodząca w skład tego napędu elektrycznego, pozwala odzyskać część energii kinetycznej i magazynować ją w mobilnym magazynie energii elektrycznej, aby w ten sposób dodatkowo oszczędzić paliwo płynne.

Prawie wszystkie pojazdy użytkowane w skali masowej dotychczas na świecie (pojazdy kołowe, statki i samoloty) są napędzane silnikami spalinowymi o różnych konstrukcjach i zasadach działania i opierają się na spalaniu paliw płynnych, głównie pochodnych ropy naftowej, takich jak olej napędowy, benzyna, nafta lotnicza czy gaz – propan-butan. Napędy tego rodzaju osiągnęły bardzo wysoki stopień sprawności i niezawodności technicznej, a napędzane nimi pojazdy w pełni zaspokajają potrzeby ich użytkowników.

Dlatego więc obecnie coraz powszechniej widzi się potrzebę zmiany rodzaju napędu pojazdów ze spalinowego na elektryczny? Głównie taka potrzeba dotyczy pojazdów kołowych (w znacznie mniejszym zakresie statków, a o samolotach na razie się praktycznie nie wspomina – poza eksperymentalnymi lotami w rodzaju Solar Impulse).

Najważniejszymi dwoma powodami, dla którego są podejmowane intensywne działania na tym polu są [C11]:

- powód długoterminowy: obawa przed wyczerpaniem się zapasów ropy naftowej, stanowiącej podstawę produkcji paliw płynnych;
- powód krótkoterminowy: nabierająca coraz większego znaczenia obawa przed narastającymi zmianami klimatycznymi wywoływanymi nadmiernym wytwarzaniem przez ludzkość CO₂.

Dotychczasowe kołowe pojazdy elektryczne użytkowane w skali masowej to pojazdy szynowe zasilane z elektrycznej sieci trakcyjnej (tramwaje i pociągi elektryczne – te tradycyjne naziemne i te podziemne, czyli metro), które wydają

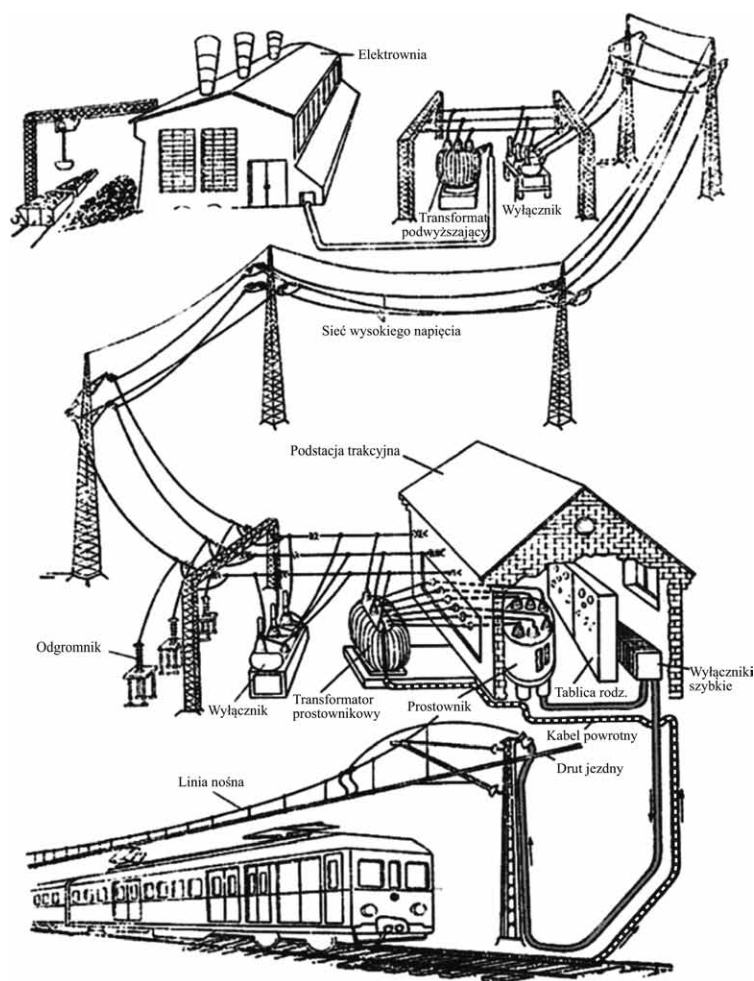
się być wręcz idealnym środkiem transportowym zarówno w obrębie miast czy ruchu w podmiejskim, jak i w dalekobieżnej komunikacji międzymiastowej. Z kolei dotychczasowe sposoby pozyskiwania energii elektrycznej na dużą skalę to elektrownie ciepłone opalane węglem kamiennym, węglem brunatnym, gazem ziemnym czy też ciężkimi frakcjami pozostałymi po destylacji ropy naftowej – mazutem.

Na rysunku 2 pokazano, jak wygląda całość dotychczasowego sposobu zaopatrywania klasycznych pojazdów szynowych w energię elektryczną, co umożliwi im jazdę po torach nawet na znaczne odległości. Towarzysząca tym torom sieć trakcyjna, czyli przewody, po których ślizgają się odbieraki prądu na poruszającym się pojeździe, może być podwieszana na słupach (tak jak pokazano to na tym rysunku), ale może też być ułożona na specjalnych izolatorach wzdłuż torowiska w postaci tzw. trzeciej szyny. Sieć ta, ze względu na swoją znaczną długość i występujące wtedy spadki napięć wywołane na rezystancji tych przewodów przez prąd, zwykle o znacznym natężeniu, pobierany przez przemieszczający się pojazd, musi być podzielona na pewne odizolowane od siebie fragmenty (sekcje). Poszczególne sekcje są zasilane oddzielnie, przez podstacje trakcyjne, rozlokowane w pewnych odstępach wzdłuż trasy przejazdu i podłączone do krajowego systemu elektroenergetycznego. Jeżeli dotychczas w napędach elektrycznych pojazdów szynowych stosowano powszechnie szeregowo silniki prądu stałego, to najwygodniej było mieć w sieci trakcyjnej zasilanie napięciem stałym. W takim przypadku trzeba było w podstacjach trakcyjnych poza transformatorami obniżającymi trójfazowe napięcie przemienne, pochodzące z systemu elektroenergetycznego, umieścić jeszcze potężne prostowniki tak, by całość pozwoliła utrzymać wartość napięcia zasilania danej sekcji sieci trakcyjnej na przyjętym poziomie. W Polsce te wartości wynoszą: dla tramwajów i trolejbusów – 600 V DC, a dla kolei – 3 kV DC. Krajowy system elektroenergetyczny tworzą trójprzewodowe sieci przesyłowe, rozwieszone na słupach i łączące ze sobą podstacje energetyczne

z transformatorami oddzielającymi od siebie linie przesyłowe o różnych wartościach napięć (by mieć jak najmniejsze straty energii elektrycznej przy jej przesyłaniu, przy dużych odległościach potrzebne są jak najwyższe napięcia). Sieci elektroenergetyczne wysokiego napięcia są zasilane w energię elektryczną przez elektrownie.

Jak więc wynika z omówionego wyżej schematu zasilania w energię elektryczną tradycyjnych pojazdów szynowych, „prądu elektrycznego”, zwłaszcza na skalę przemysłową (a o takiej skali należy mówić w przypadku masowego transportu ludzi i towarów), nie pobiera się – ot tak po prostu – z jakiegoś „gniazdka w ścianie”. Za tym „gniazdkiem” musi znajdować się potężny system elektroenergetyczny. A ten system w wielu krajach, a zwłaszcza w Polsce, oparty jest nadal na dużych elektrowniach ciepłych, w których na ogół spalany jest węgiel. W Polsce prawie 90% energii elektrycznej nadal jest produkowane w takich elektrowniach – w ok. 2/3 tych elektrowni jest spalany węgiel kamienny, a w ok. 1/3 – węgiel brunatny. Choć elektrownie zawodowe cechuje relatywnie wysoka sprawność produkcji energii elektrycznej (w naszych na ogół nieprzekraczająca jednak 45%), jednak przy tak dużym (i ciągle rosnącym) zapotrzebowaniu na energię elektryczną ilość zanieczyszczeń wyrzucanych przez te elektrownie do atmosfery zaczyna poważnie zagrażać naszemu środowisku. Czyli wynika stąd jasno, że nigdy nie wystarczy koncentrowanie uwagi na samych pojazdach, nawet jeśli one same są wyposażone w „ekologiczny napęd elektryczny”.

Mimo że tradycyjne elektryczne pojazdy szynowe, jak wynika z rysunku 2, same w sobie nie stanowiły (i nie stanowią bynajmniej nadal) rozwiązania problemów transportowych w dążeniu do „zerowej” łącznej emisji CO₂ i spalin, użytkowanie ich w terenach gęsto zaludnionych i zabudowanych (czyli w miastach, a szczególnie w wielkich aglomeracjach) jest bardzo korzystne. Polega to jednak nie na całkowitym braku zanieczyszczeń towarzyszących eksploatacji elektrycznych napędów tych pojazdów, jako elementu składowego w łańcuchu przetwarzania energii – od



Rys. 2. Poglądowy schemat zasilania w energię kolei elektrycznej korzystającej z sieci trakcyjnej prądu stałego Zródło: [A4]

energii zawartej w surowcach kopalnych do „czystej” energii elektrycznej, ale na wyprowadzenia źródła powstawania tych zanieczyszczeń z centrów ośrodków miejskich daleko na peryferia, bo duże elektrownie na ogół są budowane z dala od terenów gęsto zaludnionych. Dlatego współczesny transport szynowy nadal intensywnie się rozwija, wprowadza się ekspresowe połączenia nawet między oddalonymi od siebie aglomeracjami. Umożliwia to nowoczesny szybki tabor kolejowy jeżdżący po unowocześnionych torowiskach przewidzianych do rozwijania dużych prędkości. A nowoczesne, komfortowe tramwaje i metro to do tej pory najczęściej spotykane skuteczne rozwiązanie szybkiego przewozu dużej liczby pasażerów w tych zanieczyszczonych spalinami i zatłoczonych aglomeracjach.

Nową alternatywę w dotychczasowych rozwiązaniach masowej komunikacji stworzyło jednak w ostatnich

latach pojawienie się coraz bardziej pojemnych i coraz tańszych, a przy tym lekkich i mobilnych magazynów energii elektrycznej, jakimi są ogniwa elektrochemiczne nowej konstrukcji, popularnie nazywane akumulatorami – jeśli pozwalają na wielokrotne powtarzanie cyklu ładowania/rozładowania – lub bateriami – jeśli po ich wyprodukowaniu od razu są w stanie naładowane i bez ingerencji w ich konstrukcję nie nadają się do powtórnego naładowania. Dawne ciężkie i mało pojemne akumulatory kwasowo-ołowiowe zastąpiły we wszystkich mniejszych pojazdach elektrycznych znacznie od nich lżejsze ogniwa litowo-jonowe, mające najlepsze właściwości spośród znanych obecnie ogniw nowej generacji.

W charakterze dynamicznych magazynów energii elektrycznej są obecnie używane superkondensatory – nadal intensywnie rozwijane. Spełniają one podobne funkcje jak tradycyjne

akumulatory o dużych pojemnościach, czyli pozwalają na wielokrotne powtarzanie cyklu ładowanie/rozładowanie. Charakteryzują się jednak wyraźnie innymi parametrami eksploatacyjnymi. Cenną cechą superkondensatorów, pomimo ich relatywnie (w stosunku do ogniw elektrochemicznych) mniejszej pojemności, jest lekkość – ponieważ nie zawierają wewnątrz elektrolitu – oraz zdecydowanie większe dopuszczalne wartości prądów przy ładowaniu i rozładowywaniu, w dodatku mogącymi następować natychmiast tuż po sobie. Czyni je to cennymi magazynami buforowymi w dynamicznych stanach pracy napędu. W elektrycznych napędach trakcyjnych bardzo podobną rolę do superkondensatorów mogą także odgrywać mechaniczne akumulatory energii w postaci koła zamachowego (ang. *fly wheel*), mogącego wirować swobodnie z ogromną prędkością, sprzęgniętego z wałem (oddzielonym od wału napędowego kół pojazdu) własnego pomocniczego silnika elektrycznego, podłączonego do szyn głównej magistrali elektrycznej układu napędowego za pośrednictwem indywidualnego przekształtnika dwukierunkowego.

Z powyższych rozważań wynika, że rozwijanie nowych konstrukcji elektrycznych napędów trakcyjnych musi być bardzo ściśle związane z przekształcaniem struktury systemu elektroenergetycznego we wszystkich krajach na świecie. Rozwijanie źródeł energii elektrycznej alternatywnych w stosunku do klasycznych elektrowni ciepłych staje się pilną potrzebą. Pomimo oporów społecznych nie należy chyba rezygnować z rozwijania energetyki jądrowej, chociaż elektrownie atomowe także produkują zanieczyszczenia, tylko innego rodzaju i w innej skali. Niestety, przy spodziewanym wkrótce tak dużym zapotrzebowaniu na energię elektryczną nawet te nowe elektrownie atomowe okażą się niewystarczające.

Szczegółne nadzieje wiąże się od wielu lat z pozyskiwaniem energii elektrycznej z tzw. odnawialnych źródeł energii (OZE, ang. *renewable energy sources*). Są to:

- wiatr (elektrownie wiatrowe);
- światło słoneczne (elektrownie fotowoltaiczne, słoneczne elektrownie ciepłe);

- energia płynącej wody (hydroenergia wykorzystująca energię wody płynącej w otwartej rzece lub spiętrzonyj przez zapory, fale morskie oraz pływy morskie);
- energia geotermalna (uzyskiwana za pośrednictwem wody tłoczonyj pod ziemię);
- przetwarzane szczątki organiczne (biopaliwa czy też biogaz);
- przetwarzane odpady (spalarnie śmieci).

Nowe technologie pozyskiwania energii elektrycznej z takich źródeł pozwolą nie tylko uniknąć obaw związanych z wyczerpywaniem się zasobów paliw kopalnych, lecz także ograniczyć, a może nawet zahamować tendencję w narastaniu szkodliwej emisji CO₂. Ponieważ w niedalekiej przyszłości większość produkowanyj nowymi sposobami energii elektrycznej będzie zużywana na cele transportowe (ludzi i towarów), już teraz mówi się o potrzebie rozwijania tzw. transportu zrównoważonyj (ang. *sustainable transport*). Pojęcie to odnosi się do tematów związanych z szeroko pojętym transportem, który pozostaje zrównoważony pod względem skutków społecznych, środowiskowych i klimatycznych oraz ma zdolności globalnego wytwarzania w nieskończoność energii źródłowej na własne potrzeby. Składniki służące ocenie zrównoważonyj rozwoju obejmują: poszczególne pojazdy wykorzystywane do transportu (drogowego, wodnego lub lotniczego), źródła energii oraz infrastrukturę wykorzystywaną do transportu (drogi, linie kolejowe, drogi powietrzne, drogi wodne, kanały i terminale). Działania gospodarcze powiązane z transportem i logistyką również są brane pod uwagę w tym bilansie. Na ocenę stopnia „zrównoważonyj transportu” ma przy takim ujęciu w dużej mierze wpływ nie tylko skuteczność i wydajność samego systemu transportowego, ale również jego wpływ na środowisko i klimat [C11].

Niezależnie od wymienionych wyżej powodów najpilniejszą, bardzo konkretną, sprawą wymuszającą wręcz niezwłoczne zajęcie się problemem masowego przejścia na napędy elektryczne w pojazdach używanych do masowego transportu ludzi i towarów jest pogarszająca się jakość powietrza, czasami wręcz

dramatycznie utrudniająca codzienne życie mieszkańcom wielkich aglomeracji miejskich. Nadmierna obecność gazowyj spalin i innyj rozdrobnionyj produktów spalania w powietrzu, powszechnie nazywana smogiem, zmusza ludzi w skrajnych przypadkach do poruszania się po ulicach miast w maseczkach. Znaczący udział w tym zjawisku mają setki tysięcy pojazdów, małych i dużych, tych prywatnych i tych używanych w komunikacji publicznej, napędzanych nadal najczęściej silnikami spalinowymi. Ideałem, do którego się dąży, jest jak najszybsze upowszechnienie, szczególnie w takich aglomeracjach, pojazdów o tzw. zerowej emisji gazów wydechowyj – popularnie mówiąc: spalin (ang. *zero emission vehicle*) [C11].

Do tej grupy należą przede wszystkim pojazdy o „czystym” napędzie elektrycznym, czyli te, które są zasilane energią elektryczną czerpaną z zewnątrz za pośrednictwem odpowiednio skonstruowanyj „odbieraków prądu”, ślizgających się po przewodach rozłożonyj wzdłuż trasy przejazdu lub czerpiących tę energię z autonomicznyj zbiorników energii elektrycznej umieszczonyj bezpośrednio na pojazdach. W pierwszym przypadku są to najbardziej dotychczas rozpowszechnione elektryczne pojazdy szynowe, takie jak tramwaje, trolejbusy, metro czy pociągi elektryczne. W drugim przypadku w charakterze mobilnyj zbiorników energii elektrycznej są obecnie najczęściej używane ogniwa chemiczne (akumulatory), umożliwiające ich wielokrotne ładowanie i rozładowywanie. Tego rodzaju pojazdy są nazywane elektrycznymi pojazdami bateryjnymi (pojazdami BEV, ang. *battery electric vehicle*). Są to: samochody elektryczne (ang. *electric car*), autobusy elektryczne (ang. *electric bus*), rowery elektryczne (ang. *electric bicycle*). Pojazdy takie na razie najczęściej stanowią własność prywatną i są eksploatowane całkowicie indywidualnie lub coraz częściej pojawiają się w miastach także w charakterze sieci pojazdów elektrycznyj (ang. *electric vehicle network*), stanowiąc składnik miejskiego transportu publicznego, będący własnością komunalną eksploatowaną publicznie [C11]. Wcześniej już wykazano jednak, że ta energetyczna „czystość” tak zasilanych w energię elektryczną pojazdów

jest pozorna (patrz rys. 2). Pojazdy te są naprawdę „czyste” tylko wtedy, gdy sieć trakcyjna lub sieć stacji ładującyj mobilne ogniwa elektryczne jest zasilana w energię elektryczną nie przez zwykłe elektrownie ciepłne, lecz przez elektrownie pozyskujące tę energię z odnawialnyj źródeł energii. W bilansie wszystkich zanieczyszczeń emitowanyj do atmosfery poważny udział mają także tzw. gazy cieplarniane powstające w procesie wytwarzania różnyj komponentów używanych do produkcji środków transportu – w pojazdach elektrycznyj dotyczy to zwłaszcza baterii, niezbędnyj do magazynowania energii elektrycznej.

Jak powiedziano na początku tego podrozdziału, we wszystkich pojazdach z napędem elektrycznym do jego napędzania jest wykorzystywany co najmniej jeden silnik elektryczny. W wyniku rozpowszechnienia się mikroprocesorowo sterowanyj energoelektrycznyj przekształtników energii elektrycznej najpopularniejszymi rodzajami używanych w nich silników stały się: klatkowy silnik indukcyjny (AC-SCIM, ang. *alternating-current squirrel-cage induction motor*) oraz silnik synchroniczny z magnesami trwałymi umieszczonymi w wirniku (AC-PMSM, ang. *alternating-current permanent magnet synchronous motor*). Najczęściej ich stojany są wyposażone w symetryczne uzwojenia trójfazowe, ponieważ wtedy konstrukcja i układy sterowania modułami energoelektrycznymi zasilającyj je przekształtników (falowników) są najprostsze i najtańsze. Z tego powodu rozważania na temat elektrycznyj napędu trakcyjnyj, prowadzone w dalszej części tej książki, zostały ograniczone do szczegółowyj omawiania budowy, opisu matematycznyj i algorytmów sterowania jedynie falownikowymi napędami asynchronicznymi (z silnikiem SCIM) oraz synchronicznymi (z silnikiem PMSM). ■

Bibliografia dostępna pod linkiem: nis.com.pl/bibliografia.html

Fragment pochodzi z książki: *Elektryczny napęd trakcyjny*, Andrzej Dębowski, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2019