

Nowości rynkowe s. 6



Wodór – na drodze do zielonej
transformacji energetycznej s. 15-22

Simon | Aquaclick

Prosty montaż, pełna ochrona



Dowiedz się więcej
o serii **AQUAClick**



Hermetyczny osprzęt
natynkowy IP44



IP44

ANTICOR®

ELEKTRYCZNY BOX DLA KAŻDEGO INSTALATORA

W zestawie taniej **124,45 zł netto**

WYPIJ BOX-KAWKĘ
I POCZUJ SIĘ JAK SUPERBOHATER!



✉ zamowienia@anticor.pl ☎ 12 289 18 30

Skład zestawu: ANTICOR Seal 511 – 2 szt., ELECTRIX 200Premium 15 szt.
(7x czarna, 2x biała, 2x żółta, 2x niebieska, 2x czerwona) + kubek Superbohatera.

Szanowni Państwo,

W najnowszym wydaniu magazynu ELEKTROPLUS tradycyjnie już na początku zapraszamy do zapoznania się z nowościami ze świata elektryki.

Najpierw przyglądamy się ofercie firmy **KONTAKT-SIMON**, która stawia na połączenie solidności z dobrym designem. Przedstawiamy serię Simon Aquaclick, praktyczny sterownik roletowy Simon GO, a także podwójne, bryzgoszczelne gniazdo modułowe Simon 55 – wszystko stworzone z myślą o wygodzie i trwałości.

Dalej mamy coś dla fanów precyzyjnych pomiarów – firma **BOSCH** prezentuje nową linię narzędzi pomiarowych: tester napięcia AC/DC, miernik cęgowy True RMS, multimetr cyfrowy, tester napięcia i ciągłości, a także precyzyjny miernik cęgowy. Sprawdzamy też, jak BOSCH dba o bezpieczeństwo, oferując izolowane narzędzia VDE. Na koniec pokazujemy trzy nowoczesne urządzenia 18 V, które pomagają elektrykom pracować szybciej, dokładniej i bardziej komfortowo.

Z kolei **EATON** prezentuje wyłączniki różnicowoprądowe z przetwornicami częstotliwości oraz podpowiada jak odpowiednio wybrać wyłącznik RCD do współpracy z przetwornicami częstotliwości, tak by uniknąć uciążliwego błędnego załączania wyłącznika i uniknąć niepotrzebnych przestojów maszyn.

W numerze został poruszony temat wodoru – na drodze do zielonej transformacji energetycznej. Z artykułu dowiemy się jakie możliwości energetyczne daje wodór, gdzie i w jaki sposób można go wykorzystać, jak pozytywnie może wpłynąć to na środowisko, ale również jakie problemy i przeszkody mogą stać na drodze rozwoju tego tematu.

Życzymy miłej lektury!
Redakcja ElektroPlus'a

W numerze:

Nowości rynkowe 6

Wyłączniki różnicowoprądowe z przetwornicami
częstotliwości 10

Wodór – na drodze do zielonej transformacji
energetycznej 15

Zapraszamy wszystkich Czytelników do współpracy
z redakcją EL-Plus, prosimy o przesyłanie swoich opinii,
spostrzeżeń oraz uwag. Dziękujemy.

Wydawca: EL-Plus Sp. z o.o.

ul. Działkowa 8; 41-506 Chorzów

tel. 32/346-01-00

www.el-plus.com.pl, e-mail: redakcja@el-plus.com.pl



Follow us on:



ETI ^{75 YEARS}
SWITCH TO
A SAFE FUTURE

LXN

IP41, IP44

Nowe obudowy metalowe w I klasie
ochronności w systemie **SOLID GSX**

Simon Aquaclick – wytrzymałość i design w jednym

Nowoczesne wnętrza i wymagające warunki pracy potrzebują niezawodnych rozwiązań. Seria Simon Aquaclick to natynkowe gniazda i włączniki, które sprawdzą się wszędzie tam, gdzie liczy się odporność na działanie czynników zewnętrznych – w garażach, piwnicach, warsztatach, a także na tarasach i w altanach. Produkty z klapką oferują stopień ochrony IP44, co zabezpiecza je przed rozbryzgami wody, a ich nowoczesny design pasuje do różnych przestrzeni. W serii warto zwrócić uwagę na kompaktowe gniazda oraz praktyczne 4-krotne gniazdo z wyłącznikiem, które pozwala jednym ruchem odłączyć wszystkie podłączone urządzenia.

www.kontakt-simon.pl

KONTAKT simon

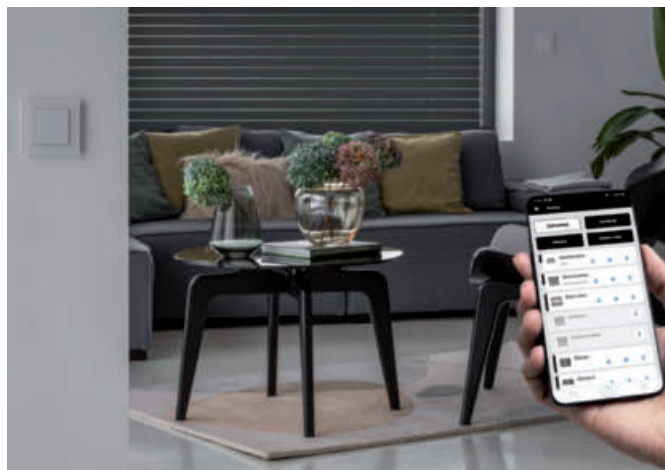


Simon GO – sterownik roletowy

Sterownik roletowy Simon GO umożliwia wygodne zarządzanie osłonami okiennymi – roletami, żaluzjami ze zmiennym kątem ułożenia lameli oraz markizami. Można sterować nimi przez aplikację mobilną lub klasycznie, klikając w przycisk na ścianie. Funkcja harmonogramów pozwala na automatyczne otwieranie i zamykanie osłon, zwiększając komfort oraz oszczędność energii. Dzięki temu rolety same opuszczają się wieczorem, a rano wpuścisz do wnętrza naturalne światło bez ruszania palcem. System działa bez potrzeby skomplikowanej instalacji – pasuje do standardowych puszek podtynkowych, a co za tym idzie montaż jest szybki i bezproblemowy.

www.kontakt-simon.pl

KONTAKT simon



Simon 55 – podwójne modułowe gniazdo bryzgoszczelne

Gniazdo bryzgoszczelne Simon 55 (IP44) pozwala na jednocześnie podłączenie dwóch urządzeń, co wyróżnia je na tle tradycyjnych, pojedynczych gniazd z klapką. Suszarka i prostownica? Szczoteczka elektryczna i maszynka do golenia? Teraz możesz korzystać z nich równocześnie – bez przepinania kabli. Gniazdo to sprawdzi się w łazience czy kuchni, gdzie ochrona przed wilgocią jest kluczowa. Klapka ochronna i solidne materiały gwarantują trwałość oraz estetyczny wygląd. To praktyczne rozwiązanie dla każdego, kto ceni wygodę i nowoczesny design.

www.kontakt-simon.pl

KONTAKT simon



Nowa oferta narzędzi pomiarowych Bosch


BOSCH

Robert Bosch prezentuje nową linię narzędzi pomiarowych dla elektryków, zaprojektowaną z myślą o precyzji, niezawodności i komforcie pracy. Wszystkie urządzenia spełniają normę IP54,

co oznacza zwiększoną odporność na pył i zachlapania. Nowoczesne rozwiązania gotowe na wyzwania codziennej pracy.

GVD 1000 – Tester napięcia AC/DC

Profesjonalny tester napięcia do 1000 V AC/DC z certyfikatem IEC EN 61243-3:2014. Podwójny zakres napięcia: od 24 V do 1000 V AC lub od 90 V do 1000 V AC umożliwia wszechstronne zastosowanie. Tryb niskiego napięcia zwiększa czułość działania. Wbudowana latarka zapewnia wygodę pracy w słabym oświetleniu. Odporny na upadek z wysokości 2 m. Stabilne połączenie uchwytu z obudową oraz ergonomiczna konstrukcja zwiększają komfort użytkownika.



GFM 1000-15 – Miernik cęgowy True RMS

Precyzyjny miernik do pomiaru prądu przemiennego do 200 A z funkcją True RMS. Otwarte cęgi umożliwiają szybki pomiar bez przerywania obwodu. Uchwyt magnetyczny MH1 Professional ułatwia zawieszenie urządzenia w miejscu pracy. Inwersyjny ekran LCD zapewnia dobrą widoczność wyników. Kompaktowa i ergonomiczna konstrukcja sprawia, że urządzenie doskonale sprawdza się w rozdzielniach i ciasnych przestrzeniach.



GDM 600-15 – Multimetr cyfrowy

Multimetr cyfrowy z funkcją True RMS i inwersyjnym wyświetlaczem LCD zapewnia precyzyjne pomiary nawet w trudnym środowisku. Umożliwia pomiar częstotliwości, rezystancji, pojemności i ciągłości z rejestrowaniem wartości MIN/MAX/AVG. Dzięki odporności na wstrząsy i upadki jest idealny do pracy na budowie i w warsztacie. Wszechstronny i niezawodny towarzysz elektryka do analizowania i diagnozowania instalacji.





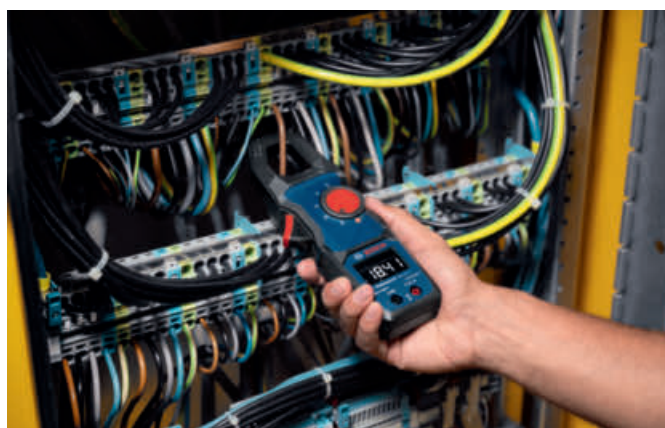
GVT 1000 – Tester napięcia i ciągłości

Tester napięcia AC/DC do 1000 V zapewnia szybkie i bezpieczne sprawdzanie obecności napięcia dzięki sygnalizacji optycznej, dźwiękowej i wibracyjnej. Spełnia normę IEC EN 61243-3:2014 i umożliwia potwierdzenie braku napięcia nawet przy rozładowanych bateriach. Wytrzymała konstrukcja, pewne połączenie przewodu z obudową i wygodna forma czynią go niezastąpionym narzędziem w codziennej pracy instalatora.



GMC 600-15 – Precyzyjny miernik cęgowy

Miernik cęgowy z funkcją True RMS do dokładnych pomiarów prądu i napięcia. Inwersyjny ekran LCD umożliwia łatwy odczyt w każdych warunkach. Kompaktowy kształt i ergonomiczna obudowa pozwalają na komfortową pracę w szafach elektrycznych i trudno dostępnych miejscach. Zoptymalizowany do pracy w terenie i w budynkach, oferuje doskonałą równowagę między precyzją, mobilnością i wygodą obsługi. Klasa bezpieczeństwa CAT IV 300 V/CAT III 600 V.



www.bosch-professional.com/pl/pl/

Bezpieczeństwo i jakość z narzędziami izolowanymi Bosch VDE

Narzędzia izolowane VDE od Bosch to gwarancja najwyższych standardów bezpieczeństwa i trwałości. Każde narzędzie posiada certyfikat do pracy pod napięciem do 1000 V zgodnie z normą DIN EN/IEC 60900. Nasze wkrętki VDE są precyzyjne i wytrzymałe: wąski grot i solidna końcówka zapewniają dokładność dopasowania. Końcówki wkrętek wykonana ze stali S2 mają ochronną powłokę izolacyjną, a rękojeść jest izolowana materiałem TPE. Narzędzia dostępne są także w praktycznych zestawach, w tym w solidnej walizce L-Boxx zawierającej aż 37 elementów — idealny wybór dla profesjonalnych elektro instalatorów. Wybierając te narzędzia, zyskujesz pewność, precyzję i wygodę pracy.

www.bosch-professional.com/pl/pl/



BOSCH



Nowości – trzy zaawansowane narzędzia 18 V, które zwiększają precyzję i efektywność pracy elektryków.


BOSCH


BOSCH GLH 18V-60 – Hydrauliczna otwornica akumulatorowa zapewnia precyzyjne wycinanie otworów o idealnie gładkich krawędziach. Dzięki wysokiej sile 60 kN oraz elektronicznemu monitorowaniu ciśnienia urządzenie gwarantuje maksymalną wydajność nawet przy intensywnej pracy. Długie okresy pracy między przeglądami i konserwacją sprawiają, że narzędzie jest zawsze gotowe do działania, redukując przestoje do minimum. Szeroka gama osprzętu Bosch w rozmiarach M16–M40 i PG9–PG36 umożliwia pracę zarówno w stali, jak i stali nierdzewnej. Oprogramowanie Read-Out Software daje pełny wgląd w historię cykli pracy, kluczowe parametry oraz nadchodzące terminy serwisowe.



BOSCH GKH 18V-50 – To profesjonalny hydrauliczny obcinak do kabli, który oferuje długi czas pracy pomiędzy planowymi przeglądami – aż do 20 000 cykli cięcia, co znacząco zwiększa efektywność na placu budowy. Dzięki specjalnie zaprojektowanym nożom i elektronicznemu monitorowaniu ciśnienia każde cięcie jest energiczne i perfekcyjnie czyste. Inteligentne wykrywanie cięcia automatycznie otwiera szczęki po zakończeniu cyklu, przyspieszając tempo pracy i eliminując zbędne ruchy. Narzędzie zapewnia wygodę użytkowania dzięki ergonomicznemu designowi, obracanej o 360° głowicy tnącej i zoptymalizowanemu środkowi ciężkości.



BOSCH GPH 18V-60 – Zaciskarka do kabli 18V zapewnia wyjątkowo długi czas pracy pomiędzy planowymi przeglądami – aż do 20 000 cykli zaciskania, co przekłada się na maksymalną efektywność i ograniczenie przestojów. Hydrauliczny proces zaciskania gwarantuje powtarzalność i siłę, a elektroniczny czujnik ciśnienia umożliwia precyzyjne monitorowanie każdego cyklu. Wbudowana dioda LED informuje o statusie pracy w czasie rzeczywistym, oferując pełną kontrolę i bezpieczeństwo. Ergonomiczna konstrukcja z głowicą zaciskową obracaną w zakresie 340° oraz zoptymalizowany środek ciężkości zapewniają wygodę i swobodę manewrowania nawet w trudno dostępnych miejscach.



www.bosch-professional.com/pl/pl/

Wyłączniki różnicowoprądowe z przetwornicami częstotliwości

Jak wybrać odpowiedni wyłącznik RCD do współpracy z przetwornicami częstotliwości, tak by uniknąć uciążliwego błędnego załączania wyłącznika i uniknąć niepotrzebnych przestojów maszyn

Wprowadzenie

Konstruktorzy nieustannie zmagają się z naciskami, by budować maszyny o lepszej wydajności produkcyjnej. Coraz częściej stosowanym rozwiązaniem jest wykorzystanie sterowanych częstotliwościowo napędów o zmiennej prędkości obrotowej. Choć niewątpliwie zdaje to egzamin, takie podejście może spowodować, niepożądane wyzwolenie zwykłych wyłączników różnicowoprądowych typu AC czy A. Dlatego tak istotny jest wybór odpowiedniego zabezpieczenia.

Sprawność takiego rozwiązania zależy od dokładnego zrozumienia budowy napędu i wyłącznika RCD oraz zasady ich współdziałania. Wybór jest uzależniony od miejsca, w którym pojawia się prąd upływu generowany przez napęd, a także od jego wartości, kształtu fali i składowych częstotliwości.

Napęd elektryczny i przetwornica częstotliwości – podstawy

Zmienna prędkość obrotowa znacznie rozszerza funkcjonalność napędu. Wykorzystanie modulacji częstotliwości umożliwia osiągnięcie dużej dokładności pozycjonowania za pomocą

konsekwentnej regulacji prędkości obrotowej silnika. Takie rozwiązanie może jednak powodować powstawanie nadmiaru prądów upływu, nie tylko w przypadku doziemienia, ale też podczas normalnej pracy.

W przypadku dysproporcji faz zasilania prądem zmiennym lub gdy podłączona zostanie znaczna liczba napędów, spodziewamy się prądu o częstotliwościach mieszanych w kHz. Wartość takiego prądu może przekraczać 100 mA, co wystarczy do błędnego zadziałania wyłącznika RCD.



Grafika nr 1 – wyłącznik różnicowoprądowy serii PFIM typu F



Przetwornice częstotliwości prostują napięcie sieci zasilającej za pomocą mostków diodowych.

Ogólnie rzecz biorąc, wraz ze wzrostem wartości prądu upływowego maleje emitowana interferencja pojemnościowa i przewodzone napięcie zakłóceńowe o wysokiej częstotliwości. Oznacza to, że konstruktorzy pozwalają czasem na wzrost prądu upływowego w celu ograniczenia częstotliwości radiowej zakłóceń.

Wyłączniki RCD współpracujące z napędami o zmiennej prędkości obrotowej

Nie da się obliczyć, ile napędów można podłączyć za wyłącznikiem RCD bez jego niepotrzebnego wyłączania, ponieważ jakość wykonania instalacji ma ogromny wpływ na poziom prądu upływowego. Można jednak przyjąć ogólną zasadę, że za wyłącznikiem mogą być podłączone maksymalnie trzy napędy, o ile instalacja została wykonana prawidłowo.

Wyłączniki RCD typu F zostały opracowane z myślą o jednofazowych falownikach, zapewniając wystarczającą ochronę na wypadek zwarcia doziemnego, ograniczając liczbę niepotrzebnych wyłączeń wyłącznika.

Ten rodzaj wyłączników oferuje taki sam zakres ochrony i funkcjonalności jak wyłączniki typu A i wykrywa zarówno sinusoidalne prądy zmienne, jak i pulsujące prądy stałe. Dzięki rozbudowanej funkcjonalności, w przypadku współpracy z jednofazowymi falownikami, wyłączniki typu F zapewniają większe bezpieczeństwo i wyższą stabilność systemu w porównaniu z wyłącznikami typu A. Prawidłowo reagują też przy zmiennej częstotliwości do 1 kHz.

Wyłączniki RCD **typu B** wykrywają sinusoidalny prąd zmienny, pulsujący prąd stały oraz zakłóceńowy prąd wyprostowany DC, dzięki czemu mają szerokie zastosowanie. Przystosowane są do pracy w układach trójfazowych o częstotliwości 50/60 Hz. Ponadto wyłączniki różnicowoprądowe typu B wyzwalane są przez prądy zakłóceńowe o częstotliwości do 2 kHz.

Wyłączniki RCD **typu Bf** jeszcze lepiej radzą sobie w aplikacjach napędowych niż zwykłe wyłączniki B. Charakteryzują się odpowiednio poprowadzoną krzywą wyłączania obejmującą zakres częstotliwości do 20 kHz, co pozwala uniknąć uciążliwego, błędnego załączenia wyłącznika. Przebieg krzywych zdradza obniżoną czułość na prąd upływowo o wyższej częstotliwości.

Wyłączniki RCD **typu B+** spełniają wymogi normy VDE 0664-400, a ich skuteczność reagowania na częstotliwość obejmuje zakres do 20 kHz. Maksymalny prąd wyłączeniowy przy wyższych częstotliwościach jest w ich przypadku ograniczony do 420 mA. To zapewnia doskonałą ochronę przed pożarami wywołanymi przez prąd ziemnozwarciowy w układach wyposażonych w napędy elektroniczne.

Warto zwrócić uwagę, że przy złożonym kształcie fali prądowej do załączenia wyłącznika RCD wystarczy, że prąd skuteczny na jednej częstotliwości osiągnie krzywą załączenia, ponieważ często prąd załączenia wyłącznika określany jest na poziomie zaledwie 50/60 Hz.



Grafika nr 2 – wyłącznik różnicowoprądowy serii FRCdM typu B

Wyłączniki RCD typu B, Bf i B+ (do 63 A) są standardowo wyposażone w funkcje cyfrowych wyłączników różnicowoprądowych, co daje dwie kluczowe korzyści przy zastosowaniu ich z falownikami częstotliwości. Po pierwsze cyfrowe wyłączniki RCD posiadają diodę LED sygnalizującą upływ prądu. To ułatwia użytkownikowi obserwowanie, czy prąd upływowo nie przekracza wartości granicznej. Po drugie działają z dużą dokładnością, dzięki czemu wartość załączenia może być bliższa 100% $I_{\Delta n}$. W rezultacie można uniknąć przedwczesnego załączenia wyłącznika. Co więcej, wbudowany styk bezpotencjałowy pozwala wyprowadzić sygnał o przekroczeniu 30% prądu $I_{\Delta n}$ np. do sterownika PLC, na brzęczyk (sygnał akustyczny) czy kolumnę sygnalizacyjną (sygnał optyczny i akustyczny). Dzięki temu służby utrzymania ruchu mogą zareagować zanim dojdzie do niepożądanego zadziałania wyłącznika RCD. NA koniec warto wspomnieć, że wyłączniki RCD typu F, B, Bf oraz B+ są w znacznym stopniu odporne na zbędne wyłączenia (obojętność na prąd udarowy ≤ 3 kA i opóźnione załączenie).

Podsumowanie

Aby nadążyć za oczekiwaniami użytkowników, konstruktorzy maszyn muszą być w stanie zaprojektować zharmonizowany układ złożony z wyłączników RCD i napędów, który zagwarantuje jednocześnie najwyższy możliwy poziom ochrony i wydajne sterowanie silnikiem. Cykl życia produktów jest coraz krótszy, w związku z czym od inżynierów i przedsiębiorstw oczekuje się coraz intensywniejszego poprawiania wydajności i zdolności produkcyjnych.

Aby zachować konkurencyjność i sprostać tym wyzwaniom, przedsiębiorstwa muszą nieustannie dopracowywać procesy, skracając czas i ograniczając koszt etapów projektowania, rozwoju, eksploatacji i optymalizacji wykorzystywanych przez siebie systemów automatyki przemysłowej.

Zharmonizowany układ obejmujący wyłącznik RCD i falownik częstotliwości zapewni konstruktorom maszyn dodatkową przewagę nad konkurencją, umożliwiając skrócenie przestojów i obniżenie kosztów eksploatacji ponoszonych przez zakłady produkcyjne będące odbiorcami konstrukcji. Odpowiednio dobrane urządzenia tylko usprawnią stosowane przez nich rozwiązania konstrukcyjne.

Autor: Bartłomiej Jaworski
Senior Product Manager, Eaton

Energizer 

Zagraj o **2 BILETY** do Energylandii. **300** BILETÓW CZEKA
by **DZIELIĆ RADOŚĆ** z wygranej!

energizerpromia.com

ENERGY LANDIA

AŻ DO 50% DŁUŻSZE DZIAŁANIE*
*W porównaniu z podstawowymi bateriami alkalicznymi.

LATARKI NR 1 W EUROPIE!*
*GfK Panelmarket E014 (PL, IT, SW, UK) – 12 miesięcy od grudnia 2016.

Energizer **MAX** **AAA** **10** **PROTECTS YOUR DEVICES**

Energizer **MAX** **AA** **10** **50% DŁUŻSZE DZIAŁANIE**

Energizer **400** **450** **1200** **300**

NOWOŚĆ!
ŻARÓWKI ENERGIZER LED

Energizer **LED**

Więcej informacji na: <https://selvista.com>

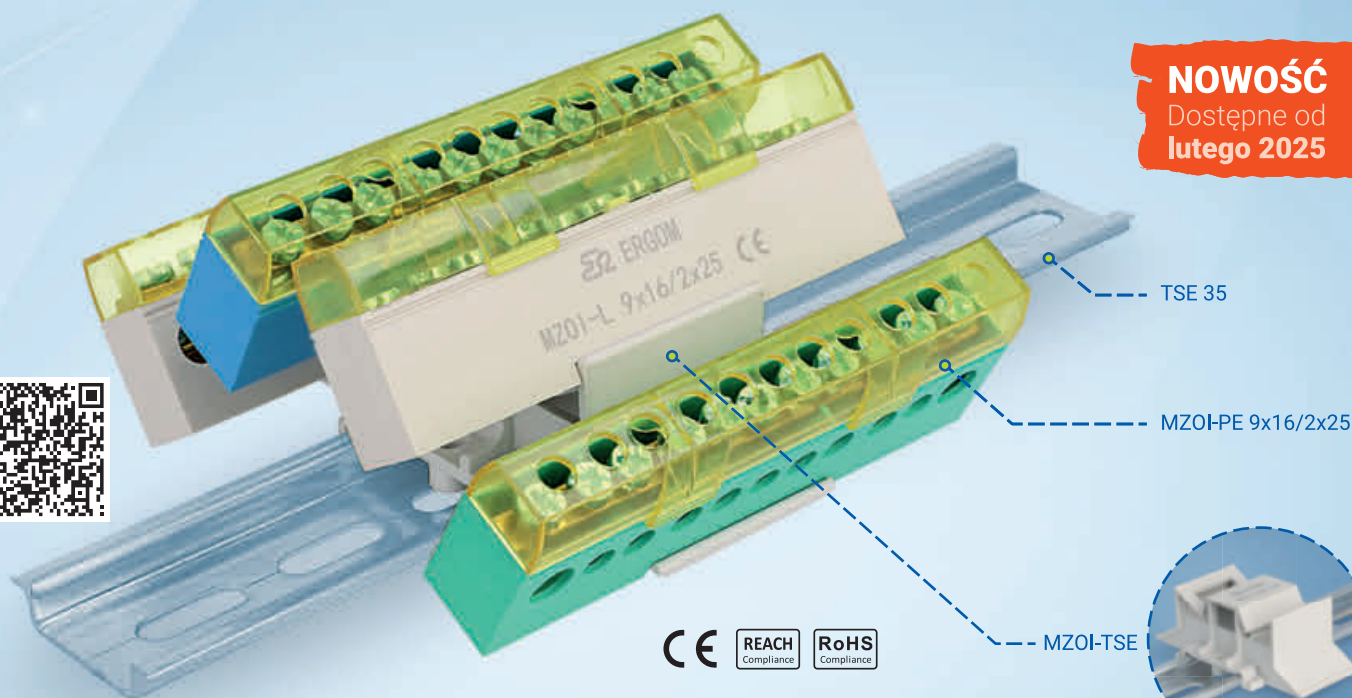
selvista

Mosiężne zaciski ochronne MZOI

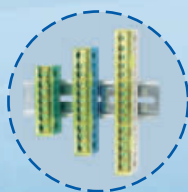
do samodzielnego użycia lub skonfigurowania
w pełni izolowanego bloku rozdzielczego

NOWOŚĆ

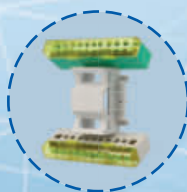
Dostępne od
lutego 2025



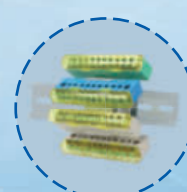
- ✓ pełna izolacja obudowy
- ✓ dowolna konfiguracja i rozbudowa bloku rozdzielczego
- ✓ dostępne 3 rozmiary zacisków (7,11,15 otworów)
oraz 3 wersje kolorystyczne (szary, niebieski, zielony)
- ✓ łatwość doprowadzenia przewodów
- ✓ tanie i solidne rozwiązanie
- ✓ zgodne z PN-EN 60947-7-1, PN-EN IEC 60947-1
- ✓ montaż pionowy, poziomy na szynie TSE 35
lub bezpośrednio do podłoża



montaż
pionowy
na szynie
TSE 35



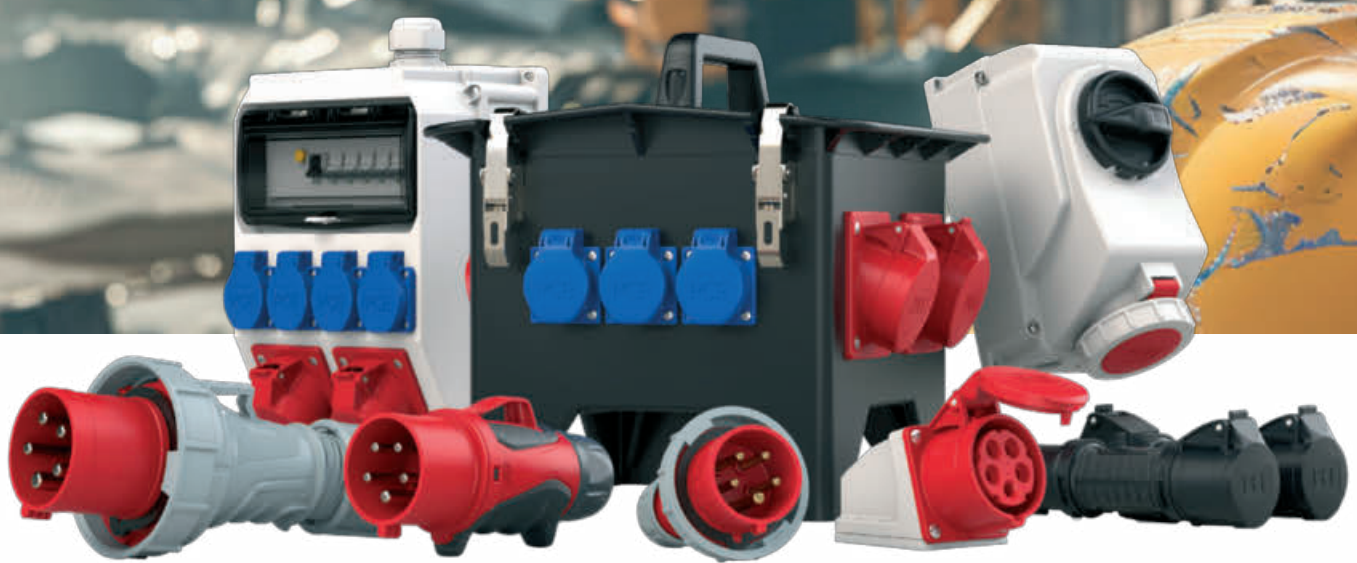
montaż
do podłoża
z podstawką
MZOI-TSE



montaż
poziomy
na szynie
TSE 35
z podstawką
MZOI-TSE

PCE

CONNECTION TO THE **FUTURE**



dr inż. Jakub Grela

Wodór – na drodze do zielonej transformacji energetycznej

Wodór jest pierwiastkiem, który od pewnego czasu i coraz częściej pojawia się w dyskusjach o przyszłości energetyki. Ten pierwiastek o najprostszej budowie - składający się z jednego protonu i jednego elektronu o najmniejszej masie atomowej – pierwszy w układzie okresowym, stanowi około 75% masy wszechświata. Na Ziemi występuje jednak głównie w postaci związków chemicznych, takich jak woda czy węglowodory, a nie w czystej formie gazowej H_2 , która jest przedmiotem zainteresowania sektora energetycznego. Wodór jako nośnik energii posiada kilka charakterystycznych cech, które sprawiają, że jego zastosowanie w energetyce jest przedmiotem intensywnych badań. Jedną z jego głównych zalet jest wysoka wartość energetyczna – jeden kilogram wodoru zawiera około trzy razy więcej energii niż ta sama ilość benzyny. Warto również podkreślić, że podczas wykorzystania wodoru w ogniwach paliwowych lub jego spalania jedynym produktem ubocznym jest woda, co czyni go potencjalnie zeroemisyjnym paliwem. Ta właściwość nabiera szczególnego znaczenia w kontekście trwającej transformacji energetycznej, której celem jest ograniczenie emisji gazów cieplarnianych i stopniowe odchodzenie od paliw kopalnych. Chociaż wodór nie jest źródłem energii pierwotnej (trzeba go najpierw wyprodukować), może pełnić funkcję nośnika energii, umożliwiającego jej magazynowanie i transport. Warto zaznaczyć, że sposób produkcji wodoru ma kluczowe znaczenie dla jego faktycznego wpływu na środowisko. Obecnie większość wodoru przemysłowego pochodzi z procesów wykorzystujących paliwa kopalne, jednak coraz większą uwagę poświęca się tzw. zielonemu wodorowi, otrzymywanemu w procesie elektrolizy wody z wykorzystaniem energii ze źródeł odnawialnych.

Transformacja energetyczna stawia przed społeczeństwem szereg wyzwań technicznych i ekonomicznych. Odnawialne źródła energii, takie jak energia słoneczna czy wiatrowa, charakteryzują się zmienną dostępnością, co stwarza problemy dla stabilności systemów energetycznych. Wodór może potencjalnie stanowić rozwiązanie tego problemu, pełniąc rolę magazynu energii. Energia elektryczna wyprodukowana w okresach zwiększonej dostępności źródeł odnawialnych może zostać wykorzystana do produkcji wodoru poprzez elektrolizę wody. Otrzymany w ten sposób wodór można przechowywać, a na-

stępnie użyć do wytworzenia energii elektrycznej w ogniwach paliwowych w momentach zwiększonego zapotrzebowania. Kolejnym aspektem, który warto rozważyć, jest możliwość wykorzystania wodoru w sektorach trudnych do elektryfikacji, takich jak ciężki transport, przemysł stalowy czy chemiczny. W tych obszarach bezpośrednie zastosowanie energii elektrycznej napotyka istotne ograniczenia techniczne i ekonomiczne, a wodór może stanowić alternatywę dla konwencjonalnych paliw. Należy również wspomnieć o potencjalnych korzyściach wynikających z możliwości lokalnej produkcji wodoru, co mogłoby przyczynić się do zwiększenia bezpieczeństwa energetycznego i zmniejszenia zależności od importu surowców energetycznych. Jednakże realizacja tej koncepcji wymaga odpowiedniej infrastruktury oraz rozwiązania licznych wyzwań technicznych i ekonomicznych.

Wodorowe magazyny energii

Wodorowe magazyny energii opierają swoje działanie na trójstopniowym procesie konwersji i przechowywania energii. Pierwszym elementem takiego systemu jest elektrolizer, który wykorzystuje nadmiarową energię elektryczną (najczęściej pochodzącą z odnawialnych źródeł) do przeprowadzenia procesu elektrolizy wody. W trakcie tego procesu następuje rozszczepienie cząsteczek H_2O na wodór i tlen. Uzyskany w ten sposób wodór stanowi formę zmagazynowanej energii chemicznej, która może być przechowywana przez długi okres. Drugim, kluczowym elementem systemu jest zbiornik magazynujący, w którym przechowywany jest wodór. W zależności od zastosowanej technologii, wodór może być magazynowany pod wysokim ciśnieniem, w postaci ciekłej (w bardzo niskich temperaturach) lub w formie stałej - jako wodoroki metali. Każda z tych metod posiada swoje zalety i ograniczenia, jednak wszystkie umożliwiają bezpieczne i efektywne przechowywanie energii przez długi czas. Ostatnim elementem systemu jest urządzenie pozwalające na ponowne przekształcenie zgromadzonego wodoru w energię elektryczną. Najczęściej wykorzystuje się w tym celu ogniwa paliwowe, w których zachodzi kontrolowana reakcja łączenia wodoru z tlenem. W wyniku tego procesu powstaje energia elektryczna, ciepło oraz woda jako jedyny produkt uboczny. Ten etap zamyka cykl konwersji energii, umożliwiając

jej wykorzystanie w momencie zwiększonego zapotrzebowania. Warto podkreślić, że sprawność całego procesu magazynowania energii w postaci wodoru i jej ponownego wykorzystania wynosi obecnie około 40-60%. Mimo że nie jest to wartość idealna, zalety tej technologii w wielu zastosowaniach przeważają nad jej ograniczeniami.

Jedną z najważniejszych zalet wodorowych magazynów energii jest możliwość długotrwałego przechowywania znacznych ilości energii. Wodór umożliwia magazynowanie dużych ilości energii odnawialnej nawet przez okres kilkunastu miesięcy, co jest istotnym parametrem w porównaniu z wieloma innymi technologiami magazynowania. Ta właściwość ma kluczowe znaczenie w kontekście sezonowych wahań produkcji energii z odnawialnych źródeł. Podczas gdy produkcja energii z fotowoltaiki jest wyższa latem, a zapotrzebowanie na energię często wzrasta zimą, wodorowe magazyny energii mogą służyć jako pomost między tymi okresami, zapewniając ciągłość dostaw energii. W przypadku technologii wykorzystujących wodorki metali, okres przechowywania może wynosić nawet dziesięciolecia bez znaczących strat energii. Jest to szczególnie istotne dla tworzenia strategicznych rezerw energetycznych, które mogą być wykorzystane w sytuacjach kryzysowych lub podczas szczytowego zapotrzebowania na energię.

Kolejną, równie istotną, zaletą wodoru jako nośnika energii jest jego wysoka gęstość energetyczna. Wodór cechuje się gęstością energii ponad dwadzieścia razy większą niż węgiel brunatny i ponad trzy razy większą niż olej opałowy czy ropa naftowa. Oznacza to, że w relatywnie niewielkiej masie wodoru można zmagazynować znaczne ilości energii, co czyni tę technologię atrakcyjną z punktu widzenia efektywności przestrzennej. Wysoka gęstość energetyczna wodoru przekłada się na mniejsze zapotrzebowanie na przestrzeń magazynową w porównaniu z innymi technologiami, o podobnym zastosowaniu. W porównaniu ze zbiornikami gazu sprężonego pod ciśnieniem 40 barów, systemy magazynowania wodoru w stanie stałym mogą być nawet 15 razy mniejsze przy tej samej ilości zmagazynowanej energii. Ta właściwość jest szczególnie cenna w kontekście ograniczonej dostępności przestrzeni w gęsto zaludnionych obszarach miejskich lub przemysłowych.

Wodorowe magazyny energii charakteryzują się wysokim stopniem ekologiczności, zwłaszcza gdy wodór produkowany jest przy użyciu energii z odnawialnych źródeł. W takim przypadku mówi się o tzw. "zielonym wodorze", którego produkcja i wykorzystanie praktycznie nie generują emisji gazów cieplarnianych. Jedynym produktem ubocznym wykorzystania wodoru w ogniach paliwowych jest czysta woda, co czyni tę technologię jedną z najbardziej przyjaznych środowisku spośród dostępnych rozwiązań energetycznych. Dodatkowo, komponenty systemów wodorowych, takie jak zbiorniki czy elektrolizery, mogą być w pełni poddane recyklingowi, co dodatkowo zwiększa ich ekologiczny charakter. Okres użytkowania nowoczesnych magazynów wodorowych szacuje się na około 30 lat, przy zachowaniu pełnej pojemności magazynowania przez cały ten czas.

Jednym z kluczowych zastosowań wodorowych magazynów energii jest ich rola w stabilizacji pracy systemów energetycznych. Wraz z rosnącym udziałem odnawialnych źródeł energii w miksie energetycznym, zwiększa się problem niestabilności sieci wynikający z zależności produkcji energii od warunków atmosferycznych. Systemy wodorowe mogą pełnić funkcję bufora, absorbującego nadwyżki energii w okresach wysokiej produkcji i niskiego zapotrzebowania, a następnie uwalniającego tę energię w momentach zwiększonego zapotrzebowania lub niskiej produkcji z OZE. Przykładem takiego zastosowania jest koncepcja tzw. "punktu odcięcia" w umowach sprzedaży energii, która zakłada wprowadzenie stabilnych transferów energii w każdym miesiącu. W praktyce oznacza to, że nadwyżki energii elektrycznej z OZE są wykorzystywane do produkcji wodoru, który następnie może być przechowywany i w razie potrzeby ponownie przekształcany w energię elektryczną, zapewniając równe miesięczne przesyły energii do sieci. Takie rozwiązanie jest szczególnie cenne dla operatorów sieci energetycznych, którzy muszą dbać o bilansowanie popytu i podaży energii w czasie rzeczywistym. Wodorowe magazyny energii mogą reagować stosunkowo szybko na zmiany w zapotrzebowaniu, co czyni je użytecznym narzędziem w zarządzaniu siecią energetyczną.

Wodorowe magazyny energii stanowią idealne rozwiązanie dla problemu zmiennej dostępności energii z odnawialnych źródeł. Jak powszechnie wiadomo elektrownie słoneczne i wiatrowe charakteryzują się znaczną zmiennością produkcji, zależną od warunków atmosferycznych. W słoneczne i wietrzne dni mogą generować znaczne nadwyżki energii, które bez odpowiednich systemów magazynowania byłyby marnowane. Wykorzystanie technologii wodorowej umożliwia efektywne zagospodarowanie tych nadwyżek. Nadmiarowa energia jest wykorzystywana do produkcji wodoru poprzez elektrolizę, a następnie wodór ten może być przechowywany do momentu, gdy produkcja energii z OZE spadnie poniżej poziomu zapotrzebowania. Dzięki temu możliwe jest zwiększenie ogólnej efektywności instalacji odnawialnych źródeł energii i maksymalizacja ich wykorzystania. Warto podkreślić, że taki system magazynowania energii może współpracować z różnymi źródłami energii odnawialnej, takimi jak panele fotowoltaiczne, turbiny wiatrowe czy elektrownie wodne. Dzięki temu możliwe jest optymalne wykorzystanie potencjału OZE i uniezależnienie się od dostaw prądu z sieci opartej na paliwach kopalnych, zwłaszcza w okresach mniejszej produkcji z odnawialnych źródeł, np. zimą czy podczas bezwietrznej pogody.

W ostatnich latach rozwijane są nowe, zaawansowane technologie magazynowania wodoru, które mają na celu zwiększenie efektywności i bezpieczeństwa tych systemów. Jednym z takich rozwiązań jest wykorzystanie kawern solnych do magazynowania wodoru na dużą skalę. Technologia ta polega na zatłaczaniu wodoru do podziemnych komór utworzonych w złożach soli kamiennej. Takie rozwiązanie umożliwia magazynowanie ogromnych ilości energii przy relatywnie niskich kosztach i wysokim poziomie bezpieczeństwa. Innym inno-

wacyjnym podejściem jest magazynowanie wodoru w postaci wodoroków metali. Technologia ta polega na absorbowaniu cząsteczek wodoru w specjalnej siatce metalowej. Zaletą tego rozwiązania jest możliwość przechowywania wodoru pod niskim ciśnieniem (maksymalnie 40 barów), co znacząco zwiększa bezpieczeństwo systemu. Dodatkowo, wodoroki metali mogą przetrwać dziesięciolecia bez strat energii, co czyni je idealnym rozwiązaniem do długoterminowego magazynowania energii. Warto również wspomnieć o koncepcji łączenia różnych technologii magazynowania energii w ramach tzw. hybrydowych systemów energetycznych. Przykładem takiego rozwiązania jest połączenie wodorowego magazynu energii z magazynem litowo-jonowym. Podczas gdy magazyn wodorowy służy do długoterminowego przechowywania energii, magazyn litowo-jonowy może pełnić funkcję stabilizatora krótkoterminowego, bilansującego system w skali godzinowej i dobowej.

Wodór w transporcie



Rysunek 1. Wodór w transporcie.

Pojazdy wodorowe (rys. 1) należą do kategorii pojazdów elektrycznych, jednak w przeciwieństwie do pojazdów bateryjnych, wykorzystują one ogniwa paliwowe do produkcji energii elektrycznej. Ogniwo paliwowe to urządzenie elektrochemiczne, które przekształca energię chemiczną zawartą w paliwie (w tym przypadku w wodorze) bezpośrednio w energię elektryczną. W typowym pojeździe wodorowym można wyróżnić kilka kluczowych elementów. Zbiorniki wysokociśnieniowe służą do przechowywania wodoru (najczęściej pod ciśnieniem 700 barów w samochodach osobowych i 350 barów w autobusach). Ogniwa paliwowe, stanowiące serce układu napędowego, wykorzystują reakcję łączenia wodoru z tlenem do produkcji energii elektrycznej. Produktami ubocznymi tej reakcji są ciepło oraz woda, która jest jedyną substancją emitowaną przez pojazd. Wytworzona w ogniwach paliwowych energia elektryczna zasila silniki elektryczne, które przekształcają ją w ener-

gię mechaniczną napędzającą pojazd. Dodatkowo, pojazdy wodorowe wyposażone są zazwyczaj w mniejszą baterię buforową, która magazynuje energię odzyskiwaną podczas hamowania oraz wspomaga ogniwa paliwowe podczas przyspieszania, gdy zapotrzebowanie na moc jest największe. Warto podkreślić, że sprawność ogniw paliwowych wynosi obecnie około 60%, co oznacza, że ponad połowa energii zawartej w wodorze jest przekształcana w energię elektryczną. Jest to wartość znacznie wyższa niż w przypadku tradycyjnych silników spalinowych, których sprawność rzadko przekracza 40%.

Autobusy wodorowe stanowią jedną z pierwszych i najszerzej wdrażanych aplikacji technologii wodorowej w transporcie. Wynika to z kilku czynników, w tym z regularnych tras przejazdu, przewidywalnego zapotrzebowania na energię oraz możliwości centralnego tankowania w zajezdniach. Te cechy sprawiają, że autobusy są idealnym segmentem rynku do wprowadzania nowych technologii napędowych, zanim staną się one powszechnie dostępne dla użytkowników indywidualnych. Typowy autobus wodorowy posiada zbiorniki wodoru o pojemności 30-50 kg, co pozwala na przejechanie 350-450 km bez konieczności uzupełniania paliwa. Czas tankowania wynosi około 10-15 minut, co jest porównywalne z autobusami napędzanymi konwencjonalnymi paliwami i znacznie krótsze, niż w przypadku autobusów elektrycznych, których ładowanie może trwać od 3 do 8 godzin w zależności od zastosowanej technologii. Autobusy wodorowe charakteryzują się cichą pracą, brakiem emisji spalin oraz płynnym przyspieszeniem, co przekłada się na większy komfort zarówno dla pasażerów, jak i dla mieszkańców miast. Dodatkową zaletą jest możliwość wykorzystania ciepła produkowanego przez ogniwa paliwowe do ogrzewania wnętrza pojazdu, co jest szczególnie istotne w chłodniejszych okresach roku, gdy pojazdy elektryczne zużywają znaczną część energii z baterii na ogrzewanie, co istotnie skraca ich zasięg.

Na świecie realizowanych jest wiele projektów wdrożeń związanych z autobusami wodorowymi. W Europie funkcjonuje już kilka dużych flot takich pojazdów, m.in. w Londynie, Aberdeen, Kolonii czy Hamburgu. Również w Polsce można zaobserwować rosnące zainteresowanie tą technologią – pierwsze autobusy wodorowe jeżdżą już po ulicach Konina, Poznania, Gdyni i Warszawy. Na podstawie dotychczasowych doświadczeń eksploatacyjnych można stwierdzić, że autobusy wodorowe sprawdzają się zarówno w ruchu miejskim, jak i na dłuższych trasach podmiejskich. Ich zasięg jest wystarczający do obsługi większości linii komunikacyjnych bez konieczności uzupełniania paliwa w ciągu dnia pracy, a czas tankowania umożliwia efektywne wykorzystanie taboru. Badania przeprowadzone w ramach europejskiego projektu JIVE (Joint Initiative for Hydrogen Vehicles across Europe) wskazują, że całkowity koszt posiadania (TCO) autobusów wodorowych systematycznie spada i przewiduje się, że około 2030 roku zrówna się z kosztem autobusów konwencjonalnych. Jest to efekt zarówno spadających kosztów produkcji samych autobusów (wynikających z efektu skali), jak i obniżających się cen produkcji wodoru.

Rynek wodorowych samochodów osobowych jest obecnie na wczesnym etapie rozwoju, jednak kilku producentów oferuje już komercyjnie dostępne modele. Do najbardziej znanych należą Toyota Mirai, Hyundai Nexo oraz Honda Clarity Fuel Cell. Pojazdy te charakteryzują się zasięgiem porównywalnym z samochodami spalinowymi (od 500 do 700 km na jednym tankowaniu) oraz krótkim czasem uzupełniania paliwa (3-5 minut), co stanowi istotną przewagę nad pojazdami elektrycznymi w kontekście długodystansowych podróży. Wodorowe samochody osobowe wyposażone są zazwyczaj w zbiorniki wodoru wykonane z włókna węglowego, które mogą przechowywać wodór pod ciśnieniem 700 barów. Dzięki zaawansowanym technologiom produkcji zbiorników oraz restrykcyjnym normom bezpieczeństwa, ryzyko związane z przechowywaniem wodoru pod wysokim ciśnieniem zostało zminimalizowane, a zbiorniki poddawane są rygorystycznym testom, w tym próbom zderzeniowym oraz ostrzału z broni palnej. Wodorowe samochody osobowe oferują komfort użytkowania porównywalny z pojazdami spalinowymi, przy jednoczesnym zerowym poziomie emisji lokalnych. Ich dynamika jazdy jest zbliżona do pojazdów elektrycznych, charakteryzując się płynnym przyspieszeniem i cichą pracą napędu. Dodatkową zaletą jest możliwość efektywnej pracy w niskich temperaturach, gdy baterie pojazdów elektrycznych tracą znaczną część swojej pojemności.

Głównym wyzwaniem dla rozwoju rynku wodorowych samochodów osobowych jest obecnie ograniczona infrastruktura tankowania. W Europie funkcjonuje około 200 stacji tankowania wodoru, z czego większość zlokalizowana jest w Niemczech, Francji, Wielkiej Brytanii oraz krajach skandynawskich. Dla porównania, liczba stacji ładowania pojazdów elektrycznych w UE przekracza 450 000. Jednak sytuacja ta ulega systematycznej poprawie. W ramach europejskiej strategii wodorowej zaplanowano budowę sieci stacji tankowania wodoru wzdłuż głównych korytarzy transportowych, co ma umożliwić swobodne przemieszczanie się pojazdami wodorowymi na terenie całej Unii Europejskiej. Również w Polsce planowana jest budowa kilkudziesięciu stacji tankowania wodoru do 2030 roku. Drugim istotnym wyzwaniem jest obecnie wysoka cena pojazdów wodorowych, wynikająca głównie z małej skali produkcji oraz kosztu ogniw paliwowych. Jednak analogicznie, jak w przypadku pojazdów elektrycznych bateryjnych, przewiduje się systematyczny spadek cen wraz ze wzrostem produkcji i rozwojem technologii. Analizy przeprowadzone przez Międzynarodową Agencję Energii wskazują, że około 2030 roku ceny pojazdów wodorowych mogą zrównać się z cenami pojazdów spalinowych o porównywalnych parametrach.

Jedną z najważniejszych zalet pojazdów wodorowych, szczególnie w porównaniu do pojazdów elektrycznych bateryjnych, jest krótki czas tankowania. Uzupełnienie wodoru w zbiorniku samochodu osobowego trwa około 3-5 minut, co jest porównywalne z czasem tankowania pojazdów spalinowych. Dla kontrastu, ładowanie standardowego pojazdu elektrycznego, nawet przy wykorzystaniu typowych szybkich ładowarek DC, zajmuje co najmniej 30-45 minut do osiągnięcia 80% pojemności ba-

terii. Ten aspekt ma szczególne znaczenie dla użytkowników, którzy nie mają możliwości regularnego ładowania pojazdu w miejscu zamieszkania lub pracy, a także dla osób odbywających dłuższe podróże. Krótki czas tankowania wodoru eliminuje tzw. "stres zasięgu", który jest jednym z głównych czynników ograniczających popularność pojazdów elektrycznych. W przypadku transportu publicznego, krótki czas tankowania przekłada się bezpośrednio na efektywność wykorzystania taboru. Autobus wodorowy może być eksploatowany praktycznie bez przerw, z krótką przerwą na tankowanie, podczas gdy autobusy elektryczne wymagają długiego czasu ładowania, co może wymagać zwiększenia floty o 15-20% w celu utrzymania tej samej częstotliwości kursowania.

Analizując wpływ różnych technologii napędowych na środowisko, konieczne jest uwzględnienie całego cyklu życia pojazdu – od produkcji, przez eksploatację, aż po utylizację. W przypadku pojazdów wodorowych, kluczowym czynnikiem determinującym ich ślad węglowy jest sposób produkcji wodoru. Obecnie większość wodoru produkowana jest z paliw kopalnych, głównie gazu ziemnego, w procesie wspomnianego reformingu parowego (tzw. wodór szary). Jednak coraz większego znaczenia nabiera produkcja wodoru przy użyciu energii elektrycznej z odnawialnych źródeł energii (tzw. wodór zielony). W tym przypadku emisja CO₂ związana z produkcją wodoru może być bliska zeru. Badania przeprowadzone przez Fraunhofer Institute wskazują, że pojazdy wodorowe zasilane zielonym wodorem mogą charakteryzować się niższą emisją CO₂ w całym cyklu życia, niż pojazdy elektryczne bateryjne, szczególnie w przypadku większych pojazdów z dużymi bateriami. Wynika to z dwóch głównych czynników: energochłonności produkcji baterii litowo-jonowych oraz wyzwań związanych z ich recyklingiem. Produkcja 1 kWh pojemności baterii litowo-jonowej wiąże się z emisją od 61 do 106 kg CO₂, w zależności od technologii i lokalizacji fabryki. Dla porównania, produkcja systemu ogniw paliwowych o porównywalnej mocy generuje około 2-3 razy mniejszą emisję. Dodatkowo, obecne technologie recyklingu baterii litowo-jonowych są mniej efektywne, niż recykling materiałów wykorzystywanych w ogniwach paliwowych, co dodatkowo zwiększa przewagę pojazdów wodorowych w kontekście emisji w całym cyklu życia. Warto również podkreślić, że w przypadku produkcji wodoru z wykorzystaniem nadwyżek energii z odnawialnych źródeł (które w innym przypadku zostałyby zmarnowane), korzyści środowiskowe są jeszcze większe. Takie podejście, łączące sektor energetyczny z transportowym, stanowi element koncepcji sektorowego łączenia, która jest jednym z filarów przyszłych zintegrowanych systemów energetycznych.

Wodorowe pojazdy charakteryzują się zasięgiem porównywalnym z pojazdami spalinowymi, co stanowi istotną przewagę nad pojazdami elektrycznymi, szczególnie w niższych segmentach cenowych. Toyota Mirai drugiej generacji oferuje zasięg do 650 km, Hyundai Nexo do 666 km, a Mercedes GLC F-Cell do 478 km na jednym tankowaniu. Co istotne, zasięg pojazdów wodorowych w niewielkim stopniu zależy od warunków atmo-

sferycznych, podczas gdy niskie temperatury mogą zmniejszyć zasięg pojazdów elektrycznych bateryjnych nawet o 40-50%. Wynika to z faktu, że w ogniwach paliwowych podczas produkcji energii elektrycznej generowane jest również ciepło, które może być wykorzystane do ogrzewania wnętrza pojazdu bez konieczności zużywania dodatkowej energii. Ponadto, wydajność ogniw paliwowych spada mniej drastycznie w niskich temperaturach niż wydajność baterii litowo-jonowych, co przekłada się na bardziej stabilne osiągi pojazdu w trudnych warunkach atmosferycznych. Jest to szczególnie istotne w krajach o chłodniejszym klimacie, gdzie problemy z zasięgiem pojazdów elektrycznych w okresie zimowym stanowią istotne ograniczenie ich użyteczności.

Pomimo licznych zalet, technologia wodorowa w transporcie stoi przed szeregiem wyzwań, które muszą zostać przezwyciężone, aby umożliwić jej szerokie wdrożenie. Najważniejsze z nich to koszty związane zarówno z produkcją wodoru, jak i z produkcją pojazdów wodorowych oraz rozwój infrastruktury tankowania. Obecnie koszty produkcji zielonego wodoru wynoszą od 4 do 10 euro za kilogram, co przekłada się na koszt paliwa wynoszący około 0,12-0,24 euro za kilometr dla typowego samochodu osobowego. Jest to wartość wyższa niż w przypadku pojazdów spalinowych i elektrycznych. Jednak zgodnie z prognozami, do 2030 roku koszty produkcji zielonego wodoru mogą spaść do 1,5-3 euro za kilogram, co znacząco zwiększy konkurencyjność tej technologii. Rozwój infrastruktury tankowania wodoru wymaga znaczących inwestycji. Koszt budowy jednej stacji tankowania wodoru wynosi obecnie od 1 do 2 milionów euro, w zależności od jej wydajności. Jednak wraz z rozwojem technologii i standaryzacją rozwiązań przewiduje się spadek tych kosztów o 50-70% do 2030 roku. Dodatkowo, konieczne jest rozwiązanie wyzwań związanych z transportem i magazynowaniem wodoru. Ze względu na niską gęstość energetyczną na jednostkę objętości, transport wodoru w postaci gazowej jest mniej efektywny niż transport paliw konwencjonalnych. Rozwiązaniem może być transport wodoru w postaci ciekłej (wymagający niskiej temperatury) lub w formie związków chemicznych, takich jak amoniak czy metanol, które są łatwiejsze w transporcie, a następnie ich konwersja do wodoru w miejscu użytkowania.

Inne zastosowania wodoru w energetyce

Wykorzystanie wodoru do ogrzewania budynków (rys. 2) stanowi obiecującą alternatywę dla tradycyjnych systemów grzewczych opartych na paliwach kopalnych. Technologia ta opiera się głównie na dwóch rozwiązaniach: spalaniu wodoru w kotłach dostosowanych do tego paliwa oraz wykorzystaniu ogniw paliwowych, które przekształcają energię chemiczną wodoru bezpośrednio w energię elektryczną i ciepłą. W przypadku ogniw paliwowych zasada działania opiera się na kontrolowanej reakcji łączenia wodoru z tlenem, w wyniku której powstaje energia elektryczna, ciepło oraz woda jako jedyny produkt uboczny. Systemy te charakteryzują się wysoką sprawnością, przekraczającą często 90% przy jednoczesnym wyko-

rzystaniu energii elektrycznej i ciepłej (w układach kogeneracyjnych). Standardowe systemy ogrzewania wodorowego dla domów jednorodzinnych mają zazwyczaj moc w zakresie od 1 do 10 kW, co pozwala na efektywne ogrzanie budynku o powierzchni do około 150 m². W zależności od warunków klimatycznych i standardu izolacji budynku, codzienne zużycie wodoru może wynosić około 1 kg, co przy obecnych cenach przekłada się na koszty porównywalne z tradycyjnymi systemami grzewczymi.



Rysunek 2. Grafika reprezentująca wodór zastosowany do ogrzewania budynku.

Ogrzewanie wodorowe oferuje szereg korzyści środowiskowych i technicznych. Przede wszystkim, wykorzystanie zielonego wodoru (produkowanego z wykorzystaniem odnawialnych źródeł energii) pozwala na całkowitą eliminację emisji gazów cieplarnianych związanych z ogrzewaniem budynków. Biorąc pod uwagę, że sektor budowlany odpowiada za około 40% globalnego zużycia energii i związanych z tym emisji CO₂, potencjał redukcji emisji jest znaczący. Według przewidywań ekspertów Komisji Europejskiej, do 2050 roku wodór będzie w stanie zaspokoić aż 24% globalnego zapotrzebowania na energię, co podkreśla jego znaczenie w kontekście transformacji energetycznej. Co więcej, wodór może przyczynić się do znacznego ograniczenia emisji gazów cieplarnianych z niemal natychmiastowym skutkiem. Elastyczność wykorzystania wodoru w ogrzewnictwie przejawia się również w możliwości adaptacji istniejącej infrastruktury gazowej. Część obecnych sieci gazowych może być, po odpowiednich modyfikacjach, wykorzystana do transportu mieszanin wodoru z gazem ziemnym lub czystego wodoru, co pozwala na stopniowe przechodzenie na niskoemisyjne źródła energii bez, konieczności całkowitej wymiany infrastruktury. Należy jednak zwrócić uwagę na wyzwania związane z wykorzystaniem wodoru w ogrzewnictwie. Jednym z głównych problemów są obecnie wysokie koszty. Według badań brytyjskiej komisji infrastruktury krajowej, wy-

korzystanie wodoru w ogrzewnictwie może podnosić koszty systemu energetycznego o około 18% w porównaniu do innych rozwiązań niskoemisyjnych. Z tego powodu niektóre kraje rozważają elektryfikację ogrzewnictwa i szersze wykorzystanie pomp ciepła jako bardziej efektywnej ekonomicznie ścieżki dekarbonizacji tego sektora. Innym wyzwaniem jest efektywność energetyczna całego łańcucha. Produkcja wodoru poprzez elektrolizę, jego magazynowanie, transport i następnie wykorzystanie w systemach grzewczych wiąże się z wielokrotnymi konwersjami energii, z których każda generuje straty. W niektórych przypadkach bezpośrednie wykorzystanie energii elektrycznej może być bardziej efektywne energetycznie.

Pomimo istniejących wyzwań, ogrzewanie wodorowe znajduje coraz szersze zastosowanie, szczególnie w instalacjach demonstracyjnych i pilotażowych. Producenty urządzeń grzewczych rozwijają technologie kotłów i ogniw paliwowych dostosowanych do pracy z wodorem. W przyszłości przewiduje się, że ogrzewanie wodorowe może znaleźć zastosowanie głównie w obszarach, gdzie elektryfikacja jest trudna lub nieefektywna, a także jako element hybrydowych systemów grzewczych, łączących różne technologie w celu optymalizacji kosztów i efektywności energetycznej. Wodór od lat jest powszechnie wykorzystywany w przemyśle jako surowiec w różnorodnych procesach produkcyjnych. Główne obszary zastosowań obejmują przemysł chemiczny, rafineryjny, metalurgiczny oraz spożywczy. W przemyśle chemicznym wodór stanowi kluczowy surowiec do produkcji amoniaku (wykorzystywanego głównie do wytwarzania nawozów), metanolu oraz różnorodnych związków chemicznych. Amoniak, produkowany w procesie Habera-Boscha, pochłania obecnie około 50% globalnej produkcji wodoru. W rafineriach wodór jest wykorzystywany do procesów hydrotorafinacji i hydrokonwersji, które służą do usuwania zanieczyszczeń (głównie siarki) z paliw oraz do rozłamu cięższych frakcji ropy naftowej na lżejsze produkty.

W przemyśle metalurgicznym wodór znajduje zastosowanie głównie jako środek redukujący w procesach obróbki metali. Szczególnie obiecujące jest wykorzystanie wodoru w produkcji stali jako alternatywy dla koksu, co może przyczynić się do znacznej redukcji emisji CO₂ z tego energochłonnego sektora.

Obecnie większość wodoru wykorzystywanego w przemyśle pochodzi z paliw kopalnych (tzw. wodór szary), co przyczynia się do emisji znacznych ilości gazów cieplarnianych. Szacuje się, że produkcja wodoru odpowiada za emisję 70-100 mln ton CO₂ rocznie w Unii Europejskiej. Dlatego też kluczowym wyzwaniem jest zastąpienie szarego wodoru jego niskoemisyjnymi odpowiednikami - wodorem niebieskim (z wychwytem CO₂) a jeszcze lepiej zielonym (z elektrolizy zasilanej OZE).

Poza zastosowaniem jako surowiec, wodór znajduje również wykorzystanie jako nośnik energii w procesach przemysłowych, szczególnie tych wymagających wysokich temperatur. Paliwa kopalne zaspokajają obecnie ponad 70% zapotrzebowania energetycznego przemysłu, głównie w gałęziach przemysłu chemicznego, metalurgicznego oraz rafineryjnego, co skutkuje wysoką emisyjnością procesów. Szczególnym wyzwaniem jest

dekarbonizacja przemysłu ciężkiego, w którym elektryfikacja procesów jest często nieopłacalna ze względu na konieczność wykorzystania wysokich temperatur. W takich przypadkach wodór może stanowić zeroemisyjną alternatywę dla paliw kopalnych, umożliwiając generowanie wysokich temperatur przy jednoczesnej eliminacji emisji CO₂. Jednym z innowacyjnych rozwiązań w tym zakresie jest bezemisyjny kocioł wodorowo-tlenowy do zastosowań przemysłowych, który opiera się na spalaniu wodoru z czystym tlenem w obiegu zamkniętym. Technologia ta umożliwia eliminację emisji CO₂, tlenków azotu, siarki oraz pyłów, przy jednoczesnym zapewnieniu wysokosprawnej produkcji przegrzanej pary wodnej, która może służyć jako nośnik energii cieplnej lub para technologiczna w procesach przemysłowych.

Wykorzystanie odnawialnego wodoru w przemyśle niesie ze sobą liczne korzyści środowiskowe i ekonomiczne. Według raportu Międzynarodowej Agencji Energii (IEA), wodór w przemyśle może doprowadzić do zmniejszenia emisji CO₂ o ponad 830 mln ton do 2030 roku, przyczyniając się do osiągnięcia celów zrównoważonego rozwoju oraz zwiększenia efektywności energetycznej. Wodór umożliwia również integrację sektora przemysłowego z systemem energetycznym opartym na odnawialnych źródłach energii. Nadwyżki energii elektrycznej z OZE mogą być wykorzystane do produkcji wodoru, który następnie może być magazynowany i używany w procesach przemysłowych, stanowiąc elastyczny element systemu energetycznego. Przewiduje się, że znaczenie wodoru w przemyśle będzie systematycznie rosło wraz z postępem technologicznym, spadającymi kosztami produkcji odnawialnego wodoru oraz zaostrzającymi się regulacjami dotyczącymi emisji gazów cieplarnianych. Szczególnie perspektywiczne wydaje się wykorzystanie wodoru w sektorach, w których elektryfikacja procesów jest technicznie trudna lub ekonomicznie nieopłacalna.

Lotnictwo jest jednym z najtrudniejszych sektorów do dekarbonizacji ze względu na specyficzne wymagania dotyczące gęstości energetycznej paliwa, bezpieczeństwa oraz zasięgu. Wodór oferuje w tym kontekście obiecującą alternatywę dla konwencjonalnych paliw lotniczych. Samoloty napędzane wodorem czerpią energię ze sprężonego ciekłego wodoru. Proces ten polega na połączeniu wodoru i tlenu w ogniwie paliwowym, a reakcja tych dwóch pierwiastków powoduje powstanie trzech produktów ubocznych: wody, ciepła i przede wszystkim elektryczności, która zasila silniki elektryczne napędzające samolot. Kluczową różnicą w porównaniu z konwencjonalnymi silnikami odrzutowymi jest brak emisji CO₂ podczas lotu. W rezultacie samoloty wodorowe są bardziej przyjazne dla środowiska i mogłyby pomóc liniom lotniczym wywiązać się ze zobowiązań dotyczących neutralności emisyjnej.

W ramach finansowania z Unii Europejskiej prowadzone są projekty badawczo-rozwojowe związane z wykorzystaniem wodoru w lotnictwie. Jednym z przykładów jest spółka H2FLY, która przeprowadziła siedem lotów testowych samolotem HY4 wykorzystującym wodór jako paliwo. W trakcie testów wykazano, że zastosowanie ciekłego wodoru może podwoić maksy-

malny zasięg samolotu HY4 z 750 do 1500 kilometrów. W rozwój technologii wodorowych dla lotnictwa zaangażowane są zarówno wyspecjalizowane firmy, jak i duże koncerny lotnicze. Air Liquide Advanced Technologies opracowało zbiornik ciekłego wodoru wraz z niezbędnymi urządzeniami na potrzeby tankowania samolotów, a Pipistrel Vertical Solutions zajmuje się instalacją takich zbiorników w samolotach testowych oraz przeprowadzaniem koniecznych modyfikacji płatowca i testów bezpieczeństwa strukturalnego. Przygotowywane są również plany opracowania pierwszej w Europie komercyjnej instalacji paliw lotniczych na bazie wodoru. Projekt prowadzony przez konsorcjum Norsk e-Fuel ma na celu stworzenie technologii kompatybilnej z istniejącą infrastrukturą. W ramach tego przedsięwzięcia planuje się, że do 2026 roku produkcja paliwa wodorowego dla lotnictwa komercyjnego osiągnie poziom 100 mln litrów.

Wykorzystanie wodoru w lotnictwie niesie ze sobą szereg potencjalnych korzyści. Wodorowe ogniwa paliwowe drastycznie zmniejszają ślad węglowy przemysłu lotniczego, który odpowiada za około 2,5% globalnych emisji CO₂. Ponadto, samoloty wodorowe charakteryzują się niższym poziomem hałasu w porównaniu do konwencjonalnych maszyn z silnikami odrzutowymi. Wodór jako paliwo lotnicze oferuje również znacznie wyższą gęstość energetyczną na jednostkę masy w porównaniu do kerozyny, co teoretycznie umożliwia większy zasięg przy tej samej masie paliwa. Jest to szczególnie istotne w kontekście długodystansowych lotów, które są najtrudniejsze do dekarbonizacji. Należy jednak zwrócić uwagę na istotne wyzwania techniczne i infrastrukturalne. Przechowywanie wodoru w postaci ciekłej wymaga utrzymania bardzo niskich temperatur (około -253°C), co wiąże się z koniecznością stosowania zaawansowanych technologii izolacyjnych i specjalnych zbiorników. Ponadto, chociaż wodór ma wysoką gęstość energetyczną na jednostkę masy, jego gęstość energetyczna na jednostkę objętości jest znacznie niższa niż w przypadku konwencjonalnych paliw lotniczych, co wymaga większych zbiorników i modyfikacji konstrukcji samolotu. Kolejnym wyzwaniem jest obecnie brak odpowiedniej infrastruktury do tankowania samolotów wodorem na lotniskach. Stworzenie takiej infrastruktury będzie wymagało znaczących inwestycji i zmian w funkcjonowaniu portów lotniczych.

Przyszłość technologii wodorowej – wyzwania, perspektywy i strategię rozwoju

Unia Europejska traktuje rozwój gospodarki wodorowej jako jeden z priorytetów w ramach Europejskiego Zielonego Ładu, czyli strategii mającej na celu osiągnięcie neutralności klimatycznej do 2050 roku. W lipcu 2020 roku Komisja Europejska opublikowała strategię wodorową dla Europy, która wyznacza ambitne cele dotyczące rozwoju technologii wodorowych. Zgodnie z tą strategią, UE planuje zainstalowanie elektrolizatorów o mocy co najmniej 40 GW do 2030 roku. Przekłada się to na zdolność produkcyjną na poziomie 10 milionów ton do 2030 roku. Na realizację tych celów przewidziano znaczące środki fi-

nansowe – szacuje się, że do 2050 roku inwestycje w zdolności produkcyjne odnawialnego wodoru w Europie mogą wynieść od 180 do 470 miliardów euro. W ramach budżetu UE na lata 2021-2027 oraz instrumentu odbudowy Next Generation EU przewidziano szereg mechanizmów finansowania projektów wodorowych. Fundusz Innowacyjny, finansowany z systemu handlu emisjami UE (EU ETS), dysponuje budżetem około 10 miliardów euro na wsparcie innowacyjnych technologii niskoemisyjnych, w tym wodorowych. Dodatkowo, w ramach programu Horyzont Europa przeznaczono środki na badania i innowacje w dziedzinie wodoru, a Instrument „Łącząc Europę” (CEF) wspiera rozwój infrastruktury wodorowej. Jednym z kluczowych elementów strategii wodorowej UE jest stworzenie europejskiej infrastruktury wodorowej, obejmującej sieci przesyłowe, magazyny oraz stacje tankowania. Planowane jest przekształcenie części istniejącej infrastruktury gazowej na potrzeby transportu wodoru oraz budowa nowych, dedykowanych rurociągów wodorowych. Do 2030 roku przewiduje się utworzenie tzw. „wodorowych dolin” – klastrów łączących produkcję, przemysł i transport wodoru, które następnie zostaną połączone w ogólnoeuropejską sieć wodorową.

W zakresie transportu, UE planuje wsparcie rozwoju infrastruktury tankowania wodoru. Zgodnie z rozporządzeniem w sprawie infrastruktury paliw alternatywnych, do 2030 roku wzdłuż głównych korytarzy transportowych sieci TEN-T mają powstać stacje tankowania wodoru rozmieszczone co 150 km. Na obszarach miejskich planowany jest rozwój stacji tankowania dla autobusów i pojazdów ciężarowych. Ważnym elementem europejskiej strategii wodorowej jest również Europejski Sojusz na rzecz Czystego Wodoru (European Clean Hydrogen Alliance), który zrzesza przedstawicieli przemysłu, instytucji publicznych, środowiska akademickiego oraz społeczeństwa obywatelskiego. Celem sojuszu jest mobilizacja zasobów i koordynacja działań na rzecz rozwoju gospodarki wodorowej.

Pomimo obiecujących perspektyw, technologia wodorowa stoi przed szeregiem wyzwań, które muszą zostać przezwyciężone, aby umożliwić jej szerokie wdrożenie w różnych sektorach gospodarki. Jednym z głównych ograniczeń jest koszt produkcji zielonego wodoru, który obecnie jest znacznie wyższy niż koszt produkcji wodoru z paliw kopalnych. Ta różnica cenowa stanowi istotną barierę dla konkurencyjności odnawialnego wodoru na rynku. Ponadto, efektywność energetyczna całego łańcucha wodorowego pozostaje wyzwaniem. W procesie produkcji wodoru poprzez elektrolizę, jego magazynowania, transportu i końcowego wykorzystania dochodzi do strat energii na każdym etapie. W rezultacie, całkowita sprawność łańcucha „power-to-hydrogen-to-power” wynosi obecnie około 30-40%, co jest wartością niższą, niż w przypadku bezpośredniego wykorzystania energii elektrycznej.

Infrastruktura stanowi kolejne istotne ograniczenie. Brak rozwiniętej sieci dystrybucji wodoru oraz ograniczona liczba stacji tankowania hamują rozwój rynku, szczególnie w sektorze transportu. Budowa dedykowanej infrastruktury wodorowej wymaga znacznych nakładów kapitałowych i stwarza klasyczny

dylemat „jajka i kury” – brak infrastruktury ogranicza popyt na pojazdy wodorowe, a ograniczony popyt nie uzasadnia inwestycji w infrastrukturę. Nie bez znaczenia są również wyzwania związane z bezpieczeństwem i akceptacją społeczną. Wodór jest gazem wysoce łatwopalnym, a jego wykorzystanie na szeroką skalę wymaga odpowiednich procedur bezpieczeństwa, szkoleń oraz edukacji społeczeństwa. Problemy z akceptacją społeczną mogą wynikać zarówno z obaw o bezpieczeństwo, jak i z niewystarczającej wiedzy na temat korzyści płynących z technologii wodorowych.

Prognozuje się, że koszty produkcji zielonego wodoru będą systematycznie spadać w wyniku kombinacji kilku czynników: spadku kosztów energii odnawialnej, zwiększenia efektywności elektrolizerów oraz efektu skali w produkcji. Według analiz Międzynarodowej Agencji Energii Odnawialnej, koszt produkcji zielonego wodoru może spaść do 1,3-2,4 euro za kilogram do 2030 roku, a do 1-1,5 euro za kilogram do 2050 roku, osiągając konkurencyjność cenową względem wodoru z paliw kopalnych. W zakresie technologii elektrolizerów oczekuje się znaczących postępów. Obecne technologie (elektrolizery alkaliczne, PEM, stałotlenkowe) są na różnych etapach dojrzałości komercyjnej, ale wszystkie mają potencjał do dalszej optymalizacji. Przewiduje się zwiększenie sprawności elektrolizerów z obecnych 65-75% do ponad 80% w perspektywie 2030 roku, a także wydłużenie ich żywotności oraz obniżenie kosztów produkcji.

Ogniwa paliwowe, wykorzystywane do przekształcania wodoru z powrotem w energię elektryczną, również podlegają intensywnym pracom badawczo-rozwojowym. Oczekuje się, że ich sprawność, niezawodność oraz żywotność będą systematycznie wzrastać, przy jednoczesnym spadku kosztów produkcji. Ogniwa paliwowe PEM, które obecnie dominują w zastosowaniach transportowych, mogą osiągnąć koszt poniżej 60 EUR/kW do 2030 roku, w porównaniu z obecnymi 100-200 EUR/kW.

W dziedzinie magazynowania i transportu wodoru rozwijane są nowe technologie mające na celu zwiększenie efektywności i bezpieczeństwa. Obiecujące kierunki badań obejmują magazynowanie wodoru w postaci ciekłej organicznej (LOHC), w wodorkach metali oraz w nowych materiałach adsorpcyjnych. W zakresie transportu wodoru na większe odległości, perspektywiczne wydaje się wykorzystanie istniejącej infrastruktury gazowej po odpowiednich modyfikacjach oraz rozwój technologii konwersji wodoru do amoniaku lub metanolu w celu ułatwienia transportu.

Wodór jest postrzegany jako kluczowy element strategii dekarbonizacji, szczególnie w sektorach, które są trudne do elektryfikacji. Zgodnie z analizami Międzynarodowej Agencji Energii (IEA), wodór może przyczynić się do redukcji globalnych emisji CO₂ o około 6 gigaton rocznie, co stanowi około 17% obecnych emisji. W przemyśle ciężkim, takim jak produkcja stali, chemikaliów czy cementu, wodór może zastąpić paliwa kopalne jako źródło ciepła procesowego oraz jako środek redukujący w procesach metalurgicznych. Zastosowanie wodoru w produkcji stali może zmniejszyć emisje CO₂ o około 90%

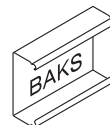
w porównaniu z tradycyjną metodą wielkopiecową. W sektorze transportu, wodór może odegrać istotną rolę w dekarbonizacji segmentów, w których elektryfikacja jest trudna ze względu na wymagania dotyczące zasięgu, ładowności lub czasu pracy. Dotyczy to przede wszystkim transportu ciężkiego, dalekobieżnego oraz specjalistycznego, takiego jak autobusy, ciężarówki, pociągi (na nieelektryfikowanych liniach), statki czy potencjalnie samoloty. W systemie energetycznym wodór może przyczynić się do integracji większej ilości zmiennych odnawialnych źródeł energii poprzez długoterminowe magazynowanie nadwyżek energii. Może również służyć jako paliwo dla elastycznych elektrowni gazowych, które będą wspierać stabilność sieci w systemie zdominowanym przez OZE.

Podsumowanie i perspektywy długoterminowe

Wodór jako nośnik energii i surowiec przemysłowy ma potencjał, aby odegrać istotną rolę w transformacji energetycznej i dekarbonizacji gospodarki. Jego uniwersalność, możliwość produkcji z odnawialnych źródeł energii oraz zdolność do magazynowania i transportu energii na dużą skalę czynią go atrakcyjnym elementem przyszłego, zrównoważonego systemu energetycznego. Zastosowanie wodorowych magazynów energii może znacząco przyczynić się do zwiększenia stabilności systemów energetycznych opartych na odnawialnych źródłach energii oraz do efektywnego wykorzystania nadwyżek energii, które w innym przypadku zostałyby zmarnowane. W transporcie, wodór oferuje rozwiązanie dla segmentów rynku, w których elektryfikacja jest trudna lub nieefektywna. Wykorzystanie wodoru w przemyśle stwarza możliwości dekarbonizacji procesów wysokotemperaturowych oraz produkcji surowców, takich jak stal czy chemikalia. Pomimo istniejących wyzwań technicznych, ekonomicznych oraz infrastrukturalnych, perspektywy rozwoju technologii wodorowej są obiecujące. Spadające koszty produkcji odnawialnego wodoru, postęp technologiczny w dziedzinie elektrolizerów i ogniw paliwowych oraz ambitne plany inwestycyjne, szczególnie w Unii Europejskiej, stwarzają solidne podstawy dla rozwoju gospodarki wodorowej. Kluczowym czynnikiem sukcesu będzie integracja różnych sektorów – od energetyki, przez transport, po przemysł – w ramach spójnej strategii wykorzystującej synergię między nimi. Takie podejście umożliwi maksymalizację korzyści ekonomicznych i środowiskowych wynikających z zastosowania wodoru jako uniwersalnego nośnika energii i surowca. Ostateczny potencjał wodoru w transformacji energetycznej będzie zależał od wielu już wspomnianych czynników, w tym od postępu technologicznego, kosztów produkcji odnawialnej energii elektrycznej, rozwoju infrastruktury oraz politycznych decyzji dotyczących redukcji emisji gazów cieplarnianych. Jednak już teraz można stwierdzić, że wodór będzie odgrywał istotną rolę w kształtowaniu przyszłego systemu energetycznego, umożliwiając dekarbonizację sektorów, które do tej pory były trudne do elektryfikacji, a tym samym przyczyniając się do osiągnięcia celów klimatycznych.

dr inż. Jakub Grela

Znaki firmowe Partnerów, którzy w rankingu wzajemnych obrotów ze Spółką EL-Plus w 2024 r. zajęli miejsca 1-50





Systemy Teletechniczne

Technologia bezpieczeństwa przeciwpożarowego.

niezawodne kable klasy **B2ca i Dca**

Kable o wyższej klasie CPR (B2ca i Dca) spełniające rygorystyczne europejskie normy dotyczące reakcji na ogień.

W naszej ofercie znajdziesz:



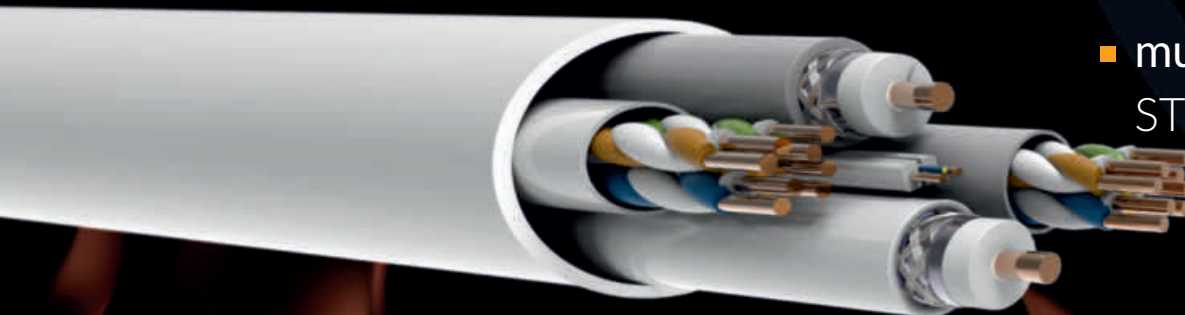
- kable koncentryczne RG6
685CU B2ca ; Dca



- kable teleinformatyczne UTP
U/UTP kat. 5e B2ca ; Dca
U/UTP kat. 6 B2ca ; Dca



- kable światłowodowe
FTTH 2J B2ca



- multikabel
STD Dca

