

ZBIORNIKA NA WODÓR O ZWIĘKSZONEJ WYDAJNOŚCI WYMIANY CIEPŁA

HYDROCAR PREMIER - Projekt i wykonanie hybrydowego samochodu wodorowo-elektrycznego

Demonstrator technologii

1. Koncepcja demonstratora technologii – zbiornika do przechowywania wodoru w stanie stałym o zwiększonej efektywności wymiany ciepła.

Na podstawie długotrwałych, prowadzonych w ramach projektu badań, nad najnowocześniejszymi obecnie znanymi na świecie grupami zaawansowanych nanomateriałów do przechowywania wodoru, stwierdzono co następuje:

Faktyczna szybkość absorpcji i desorpcji wodoru przez materiał w skali laboratoryjnej, pomimo tego, iż na świecie przywiązuje się do niej bardzo wielką wagę, jest sprawą drugorzędną, gdy przychodzi do praktycznego zastosowania materiału w zasilaniu urządzeń w skali ponadlaboratoryjnej. Przeprowadzone unikalne na skalę światową badania (opublikowane w czasopiśmie o IF = od 2 do ponad 12!) na wielu grupach materiałów, z użyciem często stanowisk jedynych w swoim rodzaju specjalnie zaprojektowanych i wykonanych na potrzeby projektu, pozwoliły stwierdzić, ***że czynnikiem najważniejszym determinującym szybkość ładowania i rozładowania zbiornika na wodór jest szybkość wymiany ciepła.*** Ponieważ procesy absorpcji i desorpcji wiążą się z ogromną ilością wydzielanego i pochłanianego ciepła (kilkadziesiąt megadżuli energii w przypadku zbiornika zdolnego pomieścić kilka kilogramów wodoru), a stwierdzone wartości dyfuzyjności cieplnej złożów proszkowych używanych do magazynowania wodoru mają wartości bliskie bardziej izolatorom niż przewodnikom ciepła, naładowanie zbiornika wodoru nadającego się do zasilania samochodu osobowego, może trwać od kilkunastu do kilkudziesięciu godzin!.. w zależności od warunków i użytych materiałów.

W związku z tym opracowano koncepcję odważnych i nietuzinkowych rozwiązań inżynierskich (złożone zgłoszenie patentowe) pozwalających na zbudowanie zbiorników na wodór o wysokiej efektywności wymiany ciepła pozwalającej szacunkowo skrócić wielokrotnie czas napełniania zbiornika. Aby demonstrator dało się przetestować w warunkach rzeczywistych postanowiono zbiorniki zastosować do zasilania zbudowanego celowo na te potrzeby samochodu hybrydowego o zasilaniu elektryczno-wodorowym. Podstawowym wysokowydajnym źródłem zasilania samochodu miały być akumulatory elektryczne, w razie potrzeby doładowywane przy pomocy wodorowego ogniwa paliwowego typu PEM. Samochód otrzymał kodową nazwę HYDROCAR – PREMIER.

2. Skład zespołu zaangażowanego w tworzenie prototypu

Podczas tworzenia Demonstratora technologii – zbiornika na wodór o zwiększonej wydajności ciepła pod nadzorem kierownika projektu prof. dr. hab. Leszka Jaroszewicza pracowały równolegle trzy zespoły:

- 1) Zespół projektantów i konstruktorów samochodu.
- 2) Zespół projektantów i wykonawców zbiornika na wodór
- 3) Firma zewnętrzna wykonująca prototyp.

Zespół projektantów i konstruktorów samochodu składał się z 8 ekspertów zewnętrznych, posiadających doświadczenie w projektowaniu samochodów i platform mobilnych:

- 1) dr inż. Daniel Prusak – integracja systemów
- 2) dr inż. Grzegorz Karpiel – programowanie FPGA
- 3) mgr inż. Kacper Ziolo – podsystemy samochodu
- 4) mgr inż. Jan Żarów – konstrukcja ramy
- 5) mgr inż. Michał Bełzowski – układ przeniesienia napędu
- 6) inż. Paweł Jabłoński – układ zasilania
- 7) mgr inż. Władysław Hamiga – elementy i technologie kompozytowe
- 8) mgr Stefan Hamiga- projektowanie bryły i design wnętrza.

Zespół projektantów i konstruktorów zbiornika na wodór i układu zasilania wodorem składał się z 11 ekspertów, posiadających doświadczenie w badaniach materiałów do przechowywania wodoru, badań cieplnych oraz projektowaniu urządzeń precyzyjnych.

- 1) prof. Dr hab. inż. Andrzej Panas – badania właściwości cieplnych złożów proszkowych
- 2) dr hab. inż. Tomasz Czujko – dobór ogniwa paliwowego i układu zasilania
- 3) dr inż. Marek Polański – koncepcja i projektowanie zbiornika
- 4) dr inż. Paweł Płatek – projektowanie zbiorników
- 5) dr inż. Dariusz Siemiaszko – projektowanie podzespołów funkcjonalnych
- 6) mgr inż. Izabela Kunce – badanie materiałów
- 7) inż. Paulina Kuziora – dobór materiałów konstrukcyjnych
- 8) mgr inż. Katarzyna Witek – badania materiałów konstrukcyjnych oraz dobór instalacji
- 9) mgr inż. Bartosz Fikus – modelowanie i badanie właściwości cieplnych złoża
- 10) mgr inż. Sławomir Dyjak – projektowanie i testowanie aparatury pomiarowej
- 11) mgr inż. Tomasz Pogorzelski – układ autonomicznego sterowania autem

Firma zewnętrzna wykonująca prototyp to firma Riot Technologies – wyspecjalizowana w platformach mobilnych i układach sterowania.

3. Wstępna koncepcja demonstratora

Początkowo rozważano stworzenie demonstratora technologii w postaci samochodu zasilanego bezpośrednio (!) ogniwem paliwowym. Po dłuższej analizie ustalono jednak, że taka konstrukcja ma bardzo dużo wad:

- 1) Aby pełnowymiarowy samochód mógł ruszyć, nie mówiąc o sprawnym przyspieszaniu i przemieszczaniu się potrzeba przynajmniej kilkanaście a najlepiej kilkadziesiąt kilowatów mocy. Ogniwo dostępne na rynku o mocy 16 kW to cena rzędu 500 tys. złotych, a jest to moc absolutnie minimalna która mogłaby powodować sprawne przyspieszanie samochodu.
- 2) Podczas jazdy z ustaloną, umiarkowaną prędkością samochód z kolei potrzebuje nie więcej niż kilka kilowatów mocy.
- 3) W układzie z ogniwem brak jest możliwości odzysku energii elektrycznej podczas hamowania.
- 4) Ogniwo paliwowe typu PEM potrzebuje kilka sekund na rozruch (dopływ gazu do elektrod, stabilizacja pracy ogniwa).
- 5) Ogniwo działa sprawnie w przypadku stałego poboru mocy, ciągłe zmiany (podczas jazdy) powodują zmniejszenie jego efektywności.

W związku z powyższym stwierdzono, że powyższe wady powodują niecelowość bezpośredniego zasilania samochodu ogniwem paliwowym.

Postanowiono zatem, iż samochód będzie miał zasilanie podstawowe w postaci pojemnego i wydajnego pakietu akumulatorów, które będą doładowywane z ogniwa paliwowego podczas jazdy.

W ten sposób zostaną uzyskane następujące funkcjonalności budowanego prototypu:

- 1) Pomimo relatywnie niewielkiej mocy samego ogniwa paliwowego (a przez to wielokrotnie niższej ceny) możliwe będzie zastosowanie silników o wysokiej mocy (nawet ponad 100kW) co umożliwi szybkie przyspieszanie.
- 2) Możliwy będzie skuteczny odzysk energii hamowania
- 3) Ogniwo będzie podczas jazdy ładowało akumulatory, zwiększając możliwy do przejechania dystans.
- 4) Zwiększona efektywność wymiany ciepła powinna umożliwić w razie potrzeby znacznie szybsze naładowanie zbiornika z wodorem niż akumulatorów.

4. Zaplanowana specyfikacja techniczna demonstratora- samochodu hybrydowego

W wyniku dyskusji i analiz sprecyzowano warunki techniczne, które powinien spełnić projektowany samochód hybrydowy, tak aby był w stanie skutecznie demonstrować zasadę działania zbiornika na wodór o zwiększonej efektywności wymiany ciepła.

Ustalono następujące parametry samochodu:

- Pojazd czterokołowy

- Pojazd dwuosobowy (osoby siedzące obok siebie)
- Napęd na 4 koła (4 silniki elektryczne)
- Moc szczytowa napędów minimum: 100kW
- Elektronicznie sterowany mechanizm różnicowy
- 1-wszy typ zasilania: pakiet lekkich baterii
- 2-gi typ zasilania: ogniwo paliwowe wodorowe
- Elektroniczna synchronizacja pracy pomiędzy dwoma systemami zasilania
- Pojazd przystosowany do jazdy z prędkością ponad 100km/h
- Możliwość ładowania samochodu z gniazdka elektrycznego lub słupka dla pojazdów elektrycznych standardu RWE
- Układ elektronicznego sterowania samochodem przystosowany do pracy z autonomicznym systemem kontroli jazdy bez udziału kierowcy
- Odzysk energii elektrycznej podczas hamowania w postaci ładowania akumulatorów

5. Dobór ogniwa paliwowego

Ocenę dostępności wodorowych ogniw paliwowych PEM o mocy do 5KW z chłodzeniem powietrzem, przeprowadzono w oparciu o trzech wiodących na rynku ogniw paliwowych dostawców:

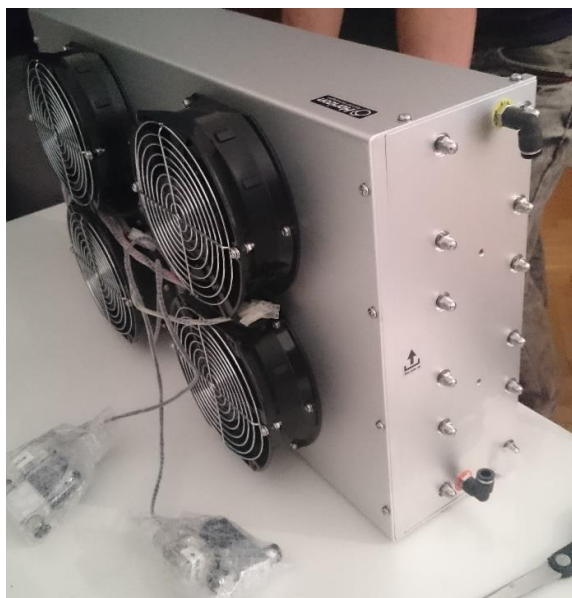
- Test Equipment Connection, USA (Horizon)
- Whole Win (Beijing) Materials Sci. & Tech. Co., Ltd.
- Zibo Cantian Commercial Trade CO.,LTD

Na podstawie wstępnego rozeznania ustalono, że wszelkie ogniwa o wyższej mocy są znacznie poza budżetem projektu oraz ze względu na koncepcję samochodu, który ma być hybrydą, tak duża moc nie jest wymagana.

Specyfikacja ogniw paliwowych:

Horizon H-5000

Nowy H-5000 system 5kW PEM Fuel Cell Horizon należy do grupy najlżejszych, najbardziej kompaktowych (i najbardziej konkurencyjnych cenowo) systemów o mocy 5kW na świecie. Firma Horizon dostarcza systemy dla inżynierów i naukowców w ramach dużych korporacji, organizacji rządowych, instytutów badawczych i uniwersytetów na całym świecie. Ogniwa paliwowe Horizon są proste, zasilane powietrzem i chłodzone powietrzem, posiadają własny system nawilżania, które ograniczają ilość urządzeń peryferyjnych do minimum.



Rys. 1. Fotografia systemu ogniw paliwowych typu HORIZON - 5000.

HYFC- 5KW

Whole Win (Beijing) Materials Sci. & Tech. Co., Ltd.



HYFC-2KW	HYFC-3KW	HYFC-5KW
Stack	Stack	Stack
Control box	Control box	Control box
PEM	PEM	PEM
48	72	120
2000W	3000W	5000W
28.8V @ 70A	43.2V @ 70A	72V @ 70A
12V	12V	12V
12V	12V	12V
12V	12V	24V
Hydrogen and Air	Hydrogen and Air	Hydrogen and Air
5 to 30°C	5 to 30°C	5 to 30°C
65°C	65°C	65°C
0.45-0.55bar	0.45-0.55bar	0.45-0.55bar
≈99.995% dry H2	≈99.995% dry H2	≈99.995% dry H2
self-humidified	self-humidified	self-humidified
Air (integrated cooling fan)	Air (integrated cooling fan)	Air (integrated cooling fan)
10000 grams(±200grams)	15000 grams(±200grams)	30000 grams(±200grams)
2500 grams(±100grams)	2500 grams(±100grams)	2500 grams(±100grams)
30.3cm x 35cm x 18.3cm	41.8cm x35cm x 18.3cm	65cm x 35cm x 21.2cm
26 L/min	39 L/min	65 L/min
≈30S at ambient temperature	≈30S at ambient temperature	≈30S at ambient temperature
40% @ 28.8V	40% @ 43.2V	40% @ 72V
24V	36V	60V
90A	90A	90A
65°C	65°C	65°C
13V(±1V). 5A~8A	13V(±1V). 5A~8A	24V(±1V). 8A~12A

Rys. 2. Specyfikacja i fotografia systemu ogniw paliwowych systemu HYFC- 5KW.

Hydrogen Fuel Cell CTHFC-5000

4. Technical Specifications

Control electronics included:

Type of fuel cell	FEM
Number of cells	120
Rated Power	5000W
Performance	72V @ 70A
H2 Supply valve voltage	12V
Purging valve voltage	12V
Blower voltage	24V
Reactants	Hydrogen and Air
External temperature	5 to 30°C
Max stack temperature	65°C
H2 Pressure	0.45-0.55bar
Hydrogen purity	≥99.995 % dry H2
Humidification	self-humidified
Cooling	Air (integrated cooling fan)
Weight (with fan & casing)	30kg (±200g)
Controller	2.5kg (±100g)
Dimension	65cm x 35cm x 21.2cm
Flow rate at max output*	65 L/min
Start up time	≤30s at ambient temperature
Efficiency of stack	40% @ 72V
Low voltage shut down	60V
Over current shut down	90A
Over temperature shut down	65 °C
External power supply**	24V(±1V), 8A~12A

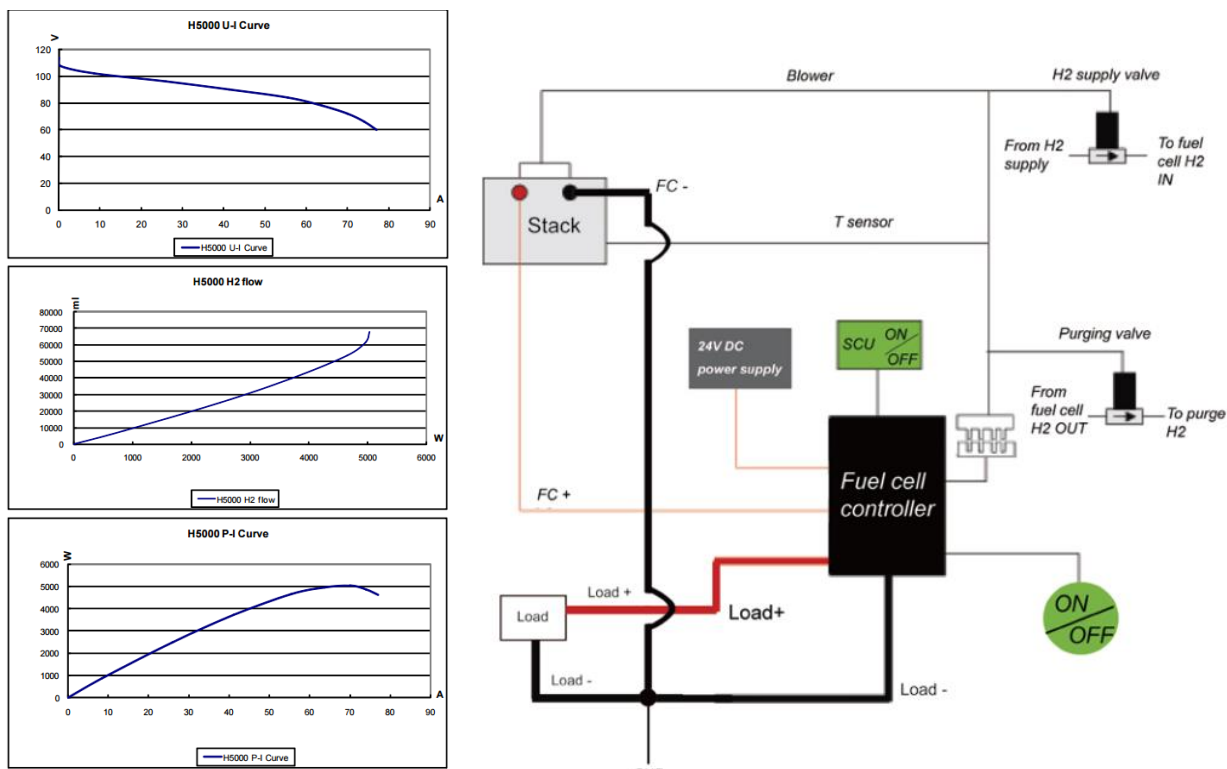
* The flow rate may change with the power output



Rys. 3. Specyfikacja i fotografia systemu ogniw paliwowych systemu HYFC- 5KW.

Oferty poszczególnych firm porównywalne są cenowo. Ze względu na dotychczasowe doświadczenie i opinie na temat dostawców, a także możliwość obejrzenia ogniwa paliwowego „na żywo” w Pradze, ale przede wszystkim ze względu na bardzo krótki czas dostawy, zdecydowano się na zakup ogniwa paliwowego z firmy Horizon.

Charakterystyki ogniwa przedstawiono na rysunku 4. Można z nich wyczytać, iż ogniwo dysponuje maksymalną mocą w granicach 5000 W, przy czym generuje wtedy prąd ok 70A pobierając jednocześnie 65 litrów wodoru na minutę.



Rys. 4. Charakterystyki i schemat zakupionego ogniwa paliwowego

Sprawdzono działanie zakupionego ogniwa paliwowego, ogniwo zachowywało się stabilnie i generowało moc nawet wyższą niż maksymalna zadeklarowana przez producenta.

6. Dobór akumulatorów i silników napędowych

Ze względu na duże możliwości sterowania oraz charakterystyki postanowiono zastosować silniki typu BLDC (Goldenmotor). Każde koło napędzane silnikiem o mocy 25kW (50kW chwilowe). Wybrano również dwa pakiety akumulatorów o łącznej pojemności 200Ah przy napięciu zasilania 72V. Napięcie zostało ograniczone ze względu na brak sterowników do silników o tej mocy i wyższym napięciu. Parametry techniczne i zdjęcie silnika oraz sterownika przedstawiono na rysunku 5.

High Efficiency + Very Compact 20KW BLDC Motor

1. Voltages: 72V-120Vdc
2. Rated power: 20-25KW
3. Peak power: 50KW
4. Speed: 3200-5000rpm
5. Rated torque: 80 Nm
6. Peak torque: 160 Nm
7. Efficiency: >90%
8. Dimensions: 30x30x25cm
9. Weight: 39kgs
10. Cooling: liquid cooling



Rys. 5. Wybrane silniki BLDC oraz dedykowane sterowniki (Goldenmotor).

7. Zbiornik na wodór o wysokiej efektywności wymiany ciepła.

Najważniejszym elementem prezentowanego demonstratora jest zbiornik na wodór o zwiększonej efektywności wymiany ciepła.

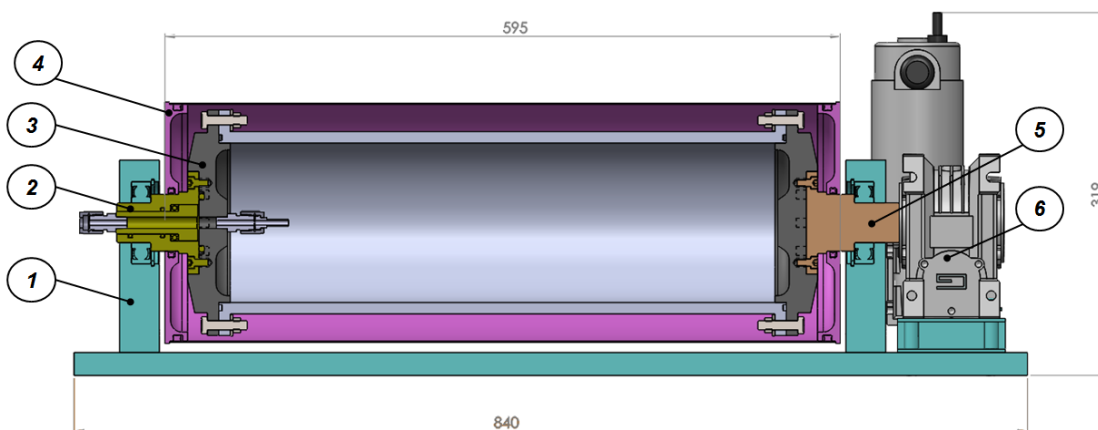
Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że **NAJEFEKTYWNIJSZĄ METODĄ ZWIĘKSZENIA SZYBKOŚCI WYMIANY CIEPŁA POMIĘDZY ZŁOŻEM PROSZKOWY A OTOCZNIEM BĘDZIE WPRAWIENIE W RUCH SAMEGO ZŁOŻA (MIESZANIE).**

Idea ta została zgłoszona do ochrony patentowej i wcielona w życie w postaci dwóch prototypów, które zostaną opisane poniżej.

Do zastosowania w prototypie samochodu napędzanego ogniwem paliwowym wytypowano różne rodzaje zbiorników wodoru z wykorzystaniem wodorków. Pierwszy to zbiornik mieszany wewnątrz z użyciem specjalnego mieszadła. Drugi to bęben obrotowy z wodorkiem w środku. Obydwa wymienione rozwiązania wykorzystują mieszanie proszku jako metodę poprawy wymiany ciepła.

Zbiornik bębnowy.

Niniejsza koncepcja powstała w wyniku przeprowadzonych wcześniej analiz konstrukcyjnych i testów z wykorzystaniem makiet wykonanych technologią szybkiego prototypowania. Podstawową zaletą rozważanego rozwiązania konstrukcyjnego jest możliwość wprowadzenia w ruch złoża proszkowego bez konieczności stosowania dodatkowego elementu -mieszadła. Niniejsze podejście może pozwolić na skuteczne odprowadzenie ciepła z złoża proszkowego do ścianek zbiornika w trakcie sorpcji wodoru. Na rys.6 przedstawiono widok ogólny zaproponowanego układu do magazynowania wodoru z obrotowym zbiornikiem.

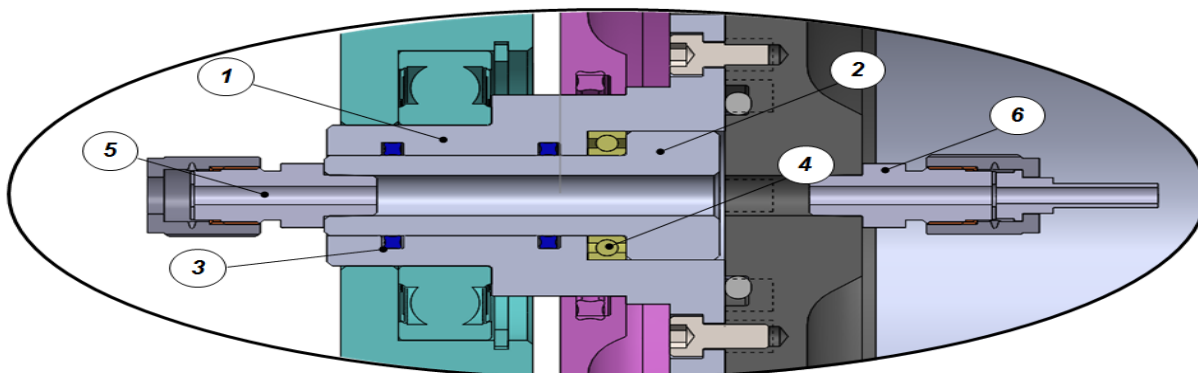


Rys.6 Widok ogólny obrotowego zbiornika na wodór: 1 – podstawa montażowa, 2 – przyłącze wodorowe, 3 – zbiornik, 4 – płaszcz wodny, 5 – złącze napędowe, 6 – przekładnia z motoreduktorem

Jego podstawowym podzespołem jest zbiornik (3) składający się z cylindrycznej tulei wykonanej z aluminium PA38 EN AW6060 wraz z przykręconymi do niej po obydwu stronach pokrywami. Do pokryw zamocowane zostaną dwie półosie (2,5) wykonane ze stali nierdzewnej montowane w osadach podstawy (1). Półoś (2) zaznaczona na rys.6 będzie pełnić funkcję przyłącza wodorowego. W jej wnętrzu wytoczone zostanie dodatkowe gniazdo mieszczące komponenty przedstawione na rys.2. Składa się ona z dodatkowej tulei (2) osadzonej na łożysku kulkowym (4).

Do tulei przykręcony zostanie nypel zewnętrzny (5) doprowadzający wodór z instalacji zewnętrznej. W celu zapewnienia szczelności układu wewnątrz półosi montażowej zostaną wykonane dodatkowe gniazda umożliwiające montaż quad ringów wykonanych z Vitonu. Gwarantują one szczelność złącz obrotowych w zakresie do 5 MPa. Ponadto, połączenie pomiędzy pokrywą zbiornika oraz półosią zostanie dodatkowo uszczelnione za pomocą oringu. Do wewnętrznej powierzchni pokrywy zbiornika zostanie przykręcony nypel wewnętrzny (6) wyposażony w filtr, pozwalający na dystrybucję wodoru do wnętrza zbiornika.

Druga półoś zbiornika (5) przedstawiona na rys.1, przykręcona do pokrywy zbiornika będzie połączona z motoreduktorem (6) odpowiedzialnym za wprawienie w ruch obrotowy zbiornika. Motoreduktor zasilany silnikiem 12 V pozwoli wprawić w ruch zbiornik z prędkością obrotową 5 obr./min.



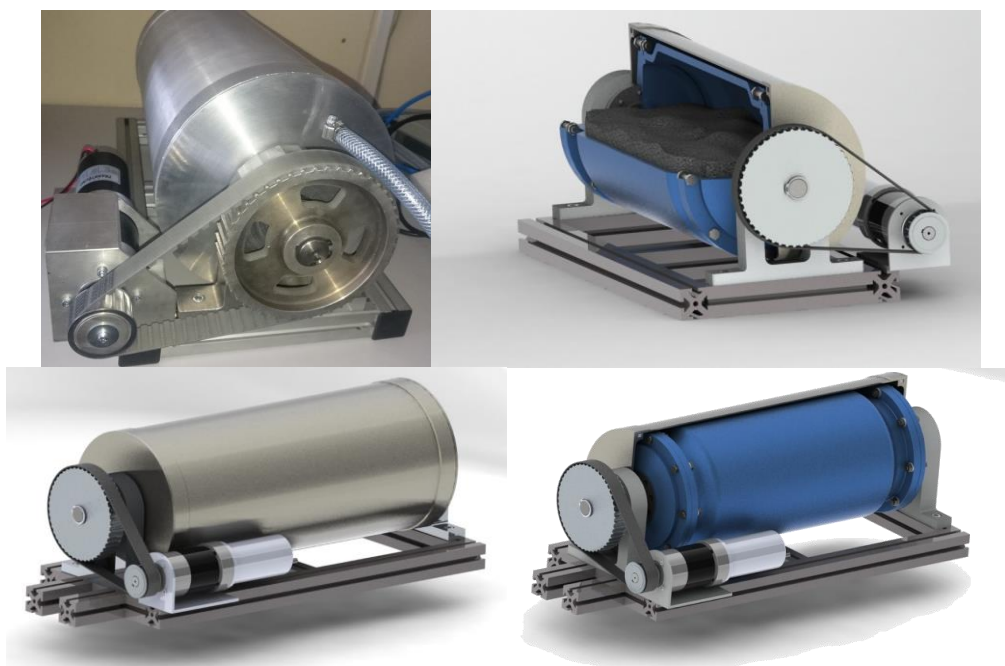
Rys.7 Widok szczegółowy przyłącza wodorowego: 1 – obsada obrotowa, 2 – obsada nieruchoma, 3 – uszczelnienie typu quad ring, 4 – łożysko obrotowe, 5 – nypel zewnętrzny, 6 – nypel wewnętrzny z filtrem

W celu odprowadzenia nadmiaru ciepła ze złoża proszkowego zbiornik umieszczono we wnętrzu dodatkowego płaszcza wodnego. Będzie składał się on z dwóch deklin oraz rury aluminiowej o średnicy 210 mm, grubości 1 mm i długości ok. 600 mm. Połączenia pomiędzy deklami, a półosiami oraz deklami i rurą zostaną uszczelnione za pomocą quad ringów. Rura zewnętrzna zostanie zamocowana na wystęпах montażowych deklin z wykorzystaniem uniwersalnych opasek zaciskowych.

Wymienione podzespoły funkcjonalne będą przytwierdzone do podstawy montażowej (1) za pomocą dwóch obsad. Elementy podstawy będą wykonane ze stopu aluminium w celu zminimalizowania masy układu. Zaprojektowany reaktor przy gęstości nasypowej złoża proszkowego wynoszącej ok. 4650 kg/m³ powinien umożliwić wykorzystanie ok. 80 kg złoża proszkowego do zmagazynowania wodoru przy zasypaniu zbiornika usytuowanego w położeniu poziomym ok. 70% jego objętości.

Jedną z zalet niniejszego rozwiązania konstrukcyjnego jest jego podatność eksploatacyjna oraz możliwość łatwego transportowania z uwagi na fakt, iż zbiornik został zaprojektowany jako moduł, który może być łatwo usytuowany na pokładzie samochodu. Na podstawie ostatnich konsultacji przeprowadzonych w zespole konstrukcyjnym zaproponowano, aby motoreduktor którego masa wynosi ok. 6,5 kg zastąpić układem rolkowym pozwalającym na wprawienie układu w ruch obrotowy. Wówczas zbiornik należałoby umieścić w dodatkowej ramie, która jednoznacznie określałaby jego położenie.

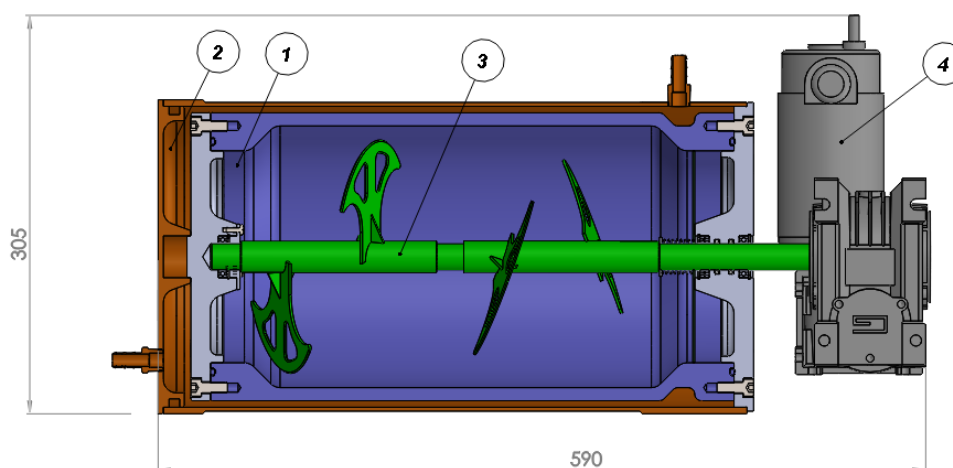
Na podstawie nieco zmodyfikowanego ostatecznie projektu powstał prototyp zbiornika na wodór. Wizualizacje prototypu oraz zdjęcia podczas testów w laboratorium przedstawiono na rysunku 8.



Rys. 8. Zdjęcie prototypu oraz wizualizacje pokazujące budowę wewnętrzną zbiornika „bębnowego”.

Zbiornik z mieszadłem

Projektowany zbiornik charakteryzuje się objętością umożliwiającą zmagazynowanie ilości wodoru wystarczającej do zasilenia elektrycznego samochodu osobowego. Wstępnie przyjęte wymagania konstrukcyjne zakładały, że zbiornik wraz z dodatkowym osprzętem za zajmować objętość prostopadłościanu o wymiarach: 600x300x350mm. Wewnątrz zbiornika ma znajdować się dodatkowy układ mieszający poprawiający kinetykę procesu absorpcji i desorpcji wodoru. W celu odprowadzenia nadmiaru ciepła wydzielanego w procesie absorpcji zbiornik ma być wyposażony w układ chłodzący. Opracowano model 3D poszczególnych elementów składowych urządzenia oraz wykonano dokumentację techniczną. Widok ogólny zbiornika przedstawiono na rys. 9.



Rys.9 Widok ogólny zbiornika do przechowywania wodoru z wewnętrznym mieszadłem: 1- zbiornik, 2 – chłodnica, 3 – mieszadło, 4 - motoreduktor

Zaproponowane rozwiązanie układu do magazynowania wodoru składa się ze zbiornika (1) wykonanego z rury grubościennej i dwóch dekli wykonanych ze stopu aluminium AW 6082, który charakteryzuje się odpornością na działanie korozji wodorowej. Zbiornik umieszczono wewnątrz chłodnicy (2). W przestrzeni pomiędzy ściankami zbiornika i chłodnicy będzie znajdować się czynnik chłodzący, którego przepływ pozwoli na efektywne odprowadzenie nadmiaru ciepła z układu. Wewnątrz zbiornika umieszczono mieszadło (3), które składa się z trzpienia oraz dwóch segmentów zawierających dwie łopatki odpowiedzialne za wymuszenie ruchu złoża proszkowego. Do napędu mieszadła wykorzystany zostanie motoreduktor firmy Transtenco (4). Składa się on z silnika prądu stałego zasilanego napięciem 12 V oraz dwóch połączonych ze sobą przekładni ślimakowych redukujących liczbę obrotów silnika z 3000 obr./min do 5 obr./min celem zapewnienia wysokiego momentu obrotowego. W celu zapewnienia właściwej szczelności zbiornika w jego górnej części wykonano gniazda umożliwiające montaż uszczelnienia typu quad-ringi. Ponadto celem zapewnienia należytej szczelności układu podczas mieszania złoża proszkowego w górnym dekle zbiornika wykonano dodatkowe gniazdo wewnątrz którego osadzone zostaną łożyska oraz quad-ringi uszczelniające powierzchnie między dekle i trzpieniem mieszadła.

W trakcie projektowania niniejszego zbiornika uwzględniono wnioski sformułowane na podstawie badań laboratoryjnych pierwszej wersji zbiornika z dodatkowym układem mieszającym. Jednym z głównych problemów jaki należało rozwiązać podczas projektowania wcześniejszego układu było zabezpieczenie armatury doprowadzającej wodór przed zanieczyszczeniem proszkiem złoża reakcyjnego znajdującego się w zbiorniku. W tym celu w układzie zastosowano dodatkowe rozwiązanie pełniące funkcję zaworu. Bezpośrednio pod górnym dekle zbiornika umieszczono na trzpieniu mieszadła krążek blachy podparty sprężyną. W trakcie napełniania zbiornika wodorem pod wpływem ciśnienia gazu krążek przemieszcza się na trzpieniu mieszadła pionowo w dół i napina sprężynę. Powstająca szczelina pomiędzy ścianką boczną zbiornika i krążkiem zapewnia przepływ wodoru do zbiornika. W chwili kiedy zawór doprowadzający wodór zostanie zamknięty krążek pod wpływem działania sprężyny przemieści się w położenie górne i zabezpieczy armaturę przed zapyleniem złożem proszkowym. Pomiędzy krążkiem, a dekle górnym zostanie umieszczona dodatkowa warstwa filtrująca np. wełna mineralna.

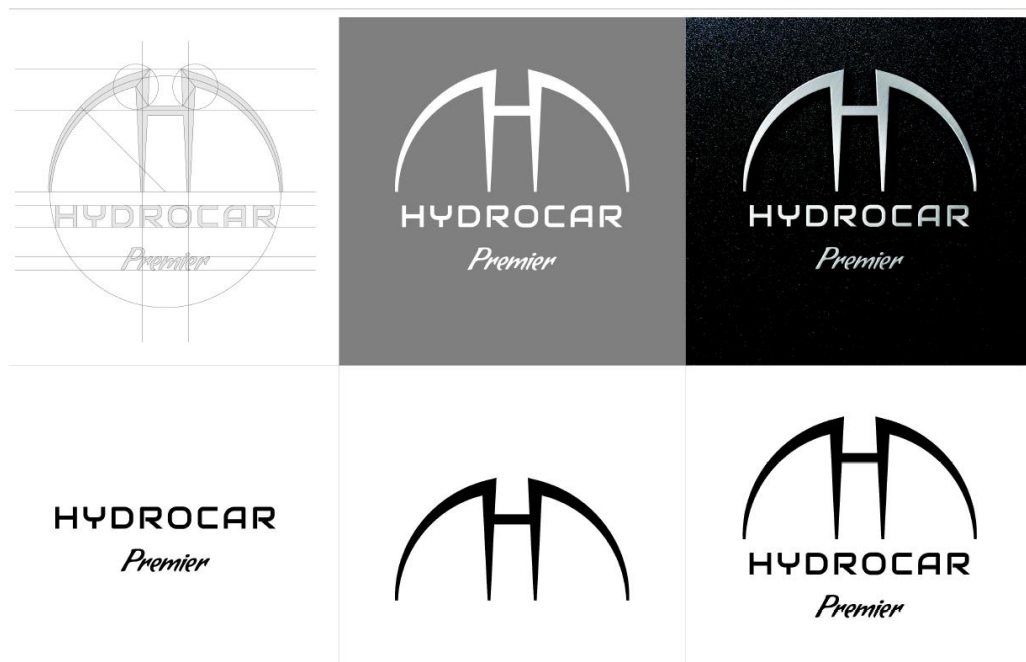
8. Design samochodu HYDROCAR PREMIER

Ze względu na bardzo krótki czas realizacji ostatniego etapu projektu, logicznym wydawałoby się, iż podstawę do demonstracji zbiornika na wodór stanowić będzie dowolny istniejący już samochód osobowy.

Jednakże polska myśl technologiczna – motoryzacyjna w ostatnich latach nie jest dostatecznie dobrze wyeksponowana. Pomimo bardzo krótkiego terminu postanowiono stworzyć unikalny własny projekt, który nie tylko będzie charakteryzował się walorami użytkowymi, ale również nienaganną estetyką oraz własną marką.

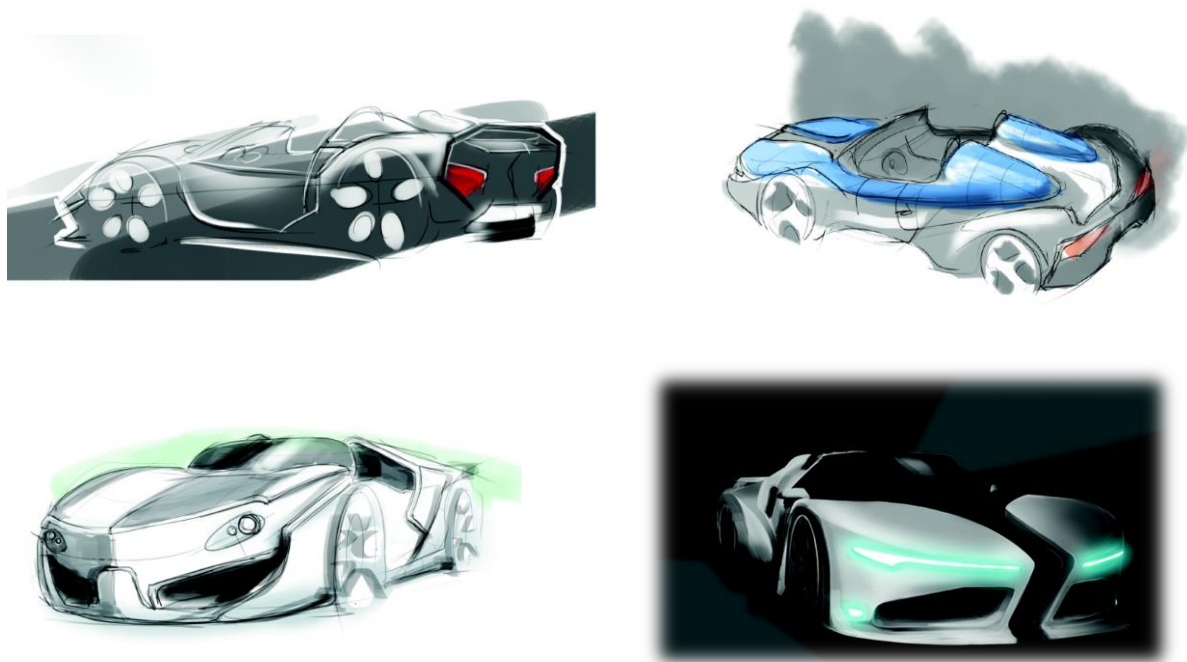
Postanowiono, iż samochód będzie miał postać sportowego samochodu typu „roadster”, nadwozie będzie wykonane z kompozytów wysokiej jakości a charakterystyka samego pojazdu powinna zadowolić nawet wymagających użytkowników.

Pojazd koncepcyjny nazwano HYDROCAR PREMIER. Zaprojektowane specjalnie dla niego logo marki i modelu przedstawiono na rysunku 10.



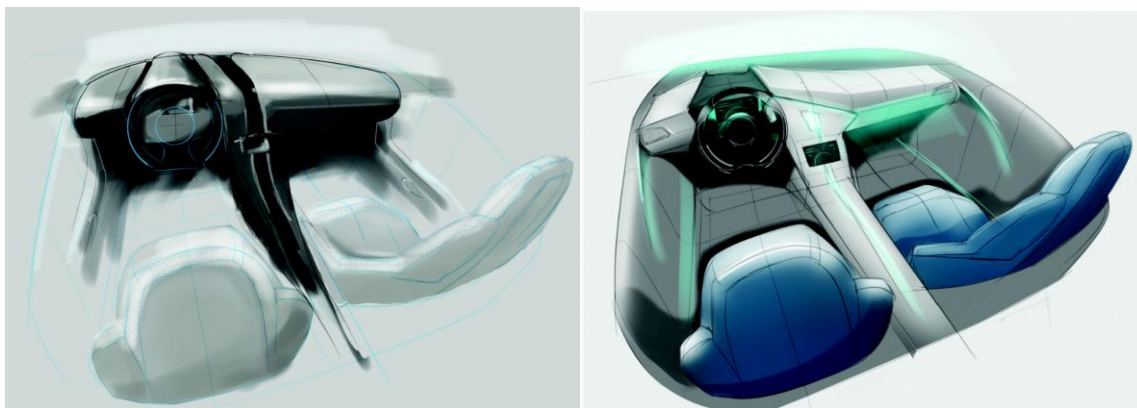
Rys. 10. Logo marki i modelu samochodu koncepcyjnego.

Przeprowadzono wiele dyskusji nad wyglądem samochodu. Niektóre z proponowanych wariantów nadwozia przedstawiono na rysunku 11.



Rys.11. Niektóre z wariantów sylwetki prototypu.

Przeprowadzono też dyskusje nad wyglądem wnętrza samochodu, z uwzględnieniem konieczności zamontowania wszystkich urządzeń pozwalających na sterowanie oraz kontrolę parametrów układu zasilania – ogniwa paliwowego. Proponowane wersje przedstawiono na rysunku 12.



Rys.12. Propozycje wnętrza prototypu.

Wnętrze ma mieć charakter futurystyczny ale jednocześnie minimalistyczny i ergonomiczny.

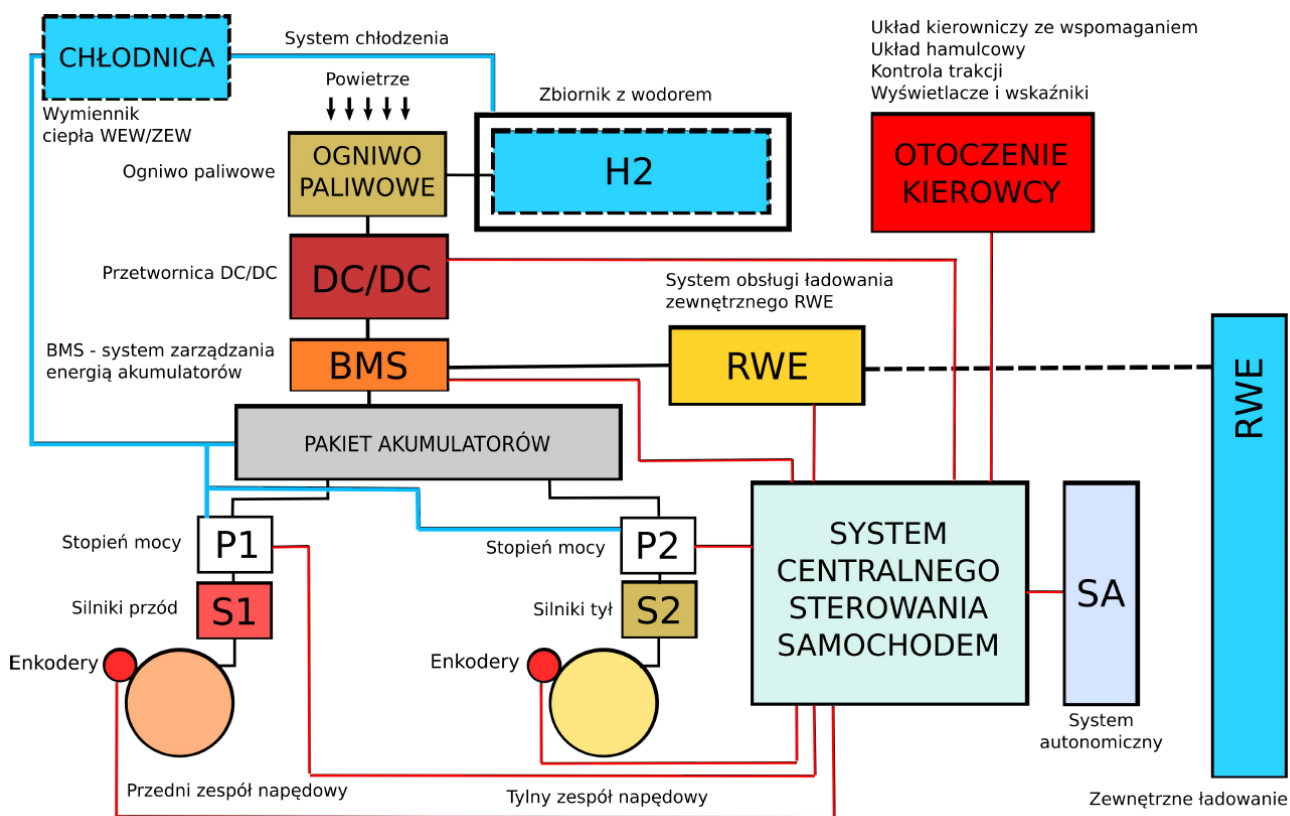
Zasadniczo składa się z deski rozdzielczej z umieszczonym w niej wyświetlaczem LCD (rysunek 13) wskazującym parametry jazdy i pracy podzespołów oraz konsoli środkowej, w której mieszczą się elementy sterowania podzespołami oraz wyświetlacz z mapą i nawigacją.



Rys. 13. Projekt wyświetlacza LCD.

9. Schemat funkcjonalny prototypu

Po wybraniu konkretnej wersji designerskiej, przystąpiono do finalizacji prac nad ostatecznym schematem funkcjonalnym pojazdu (rysunek 14).

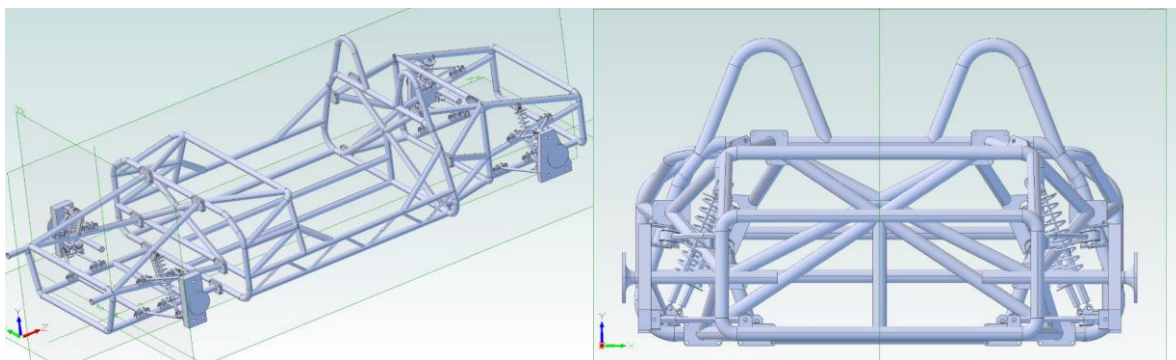


Rys.14. Schemat podzespołów funkcjonalnych pojazdu.

Zdecydowano również o dostosowaniu pojazdu do możliwości sterowania autonomicznego.

10. Projekt konstrukcyjny prototypu

Na podstawie wstępnie wybranej koncepcji designerskiej, zaprojektowana została rama pojazdu którą przedstawiono na rysunku 15. Rama została zaprojektowana w konstrukcji stalowej, spawanej.

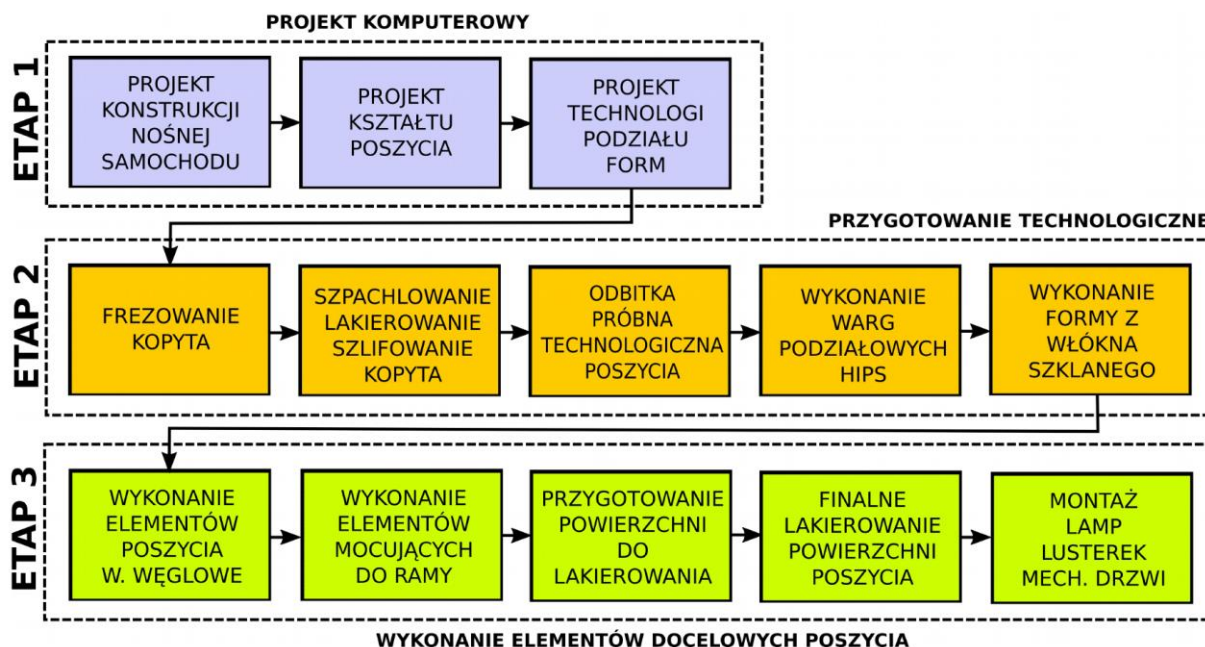


Rys. 15. Model ramy samochodu z elementami zawieszenia.

Kolejnym etapem było zaprojektowanie technologii wykonania poszycia oraz modelowanie samej bryły pojazdu z uwzględnieniem ograniczeń wynikających z wybranej technologii.

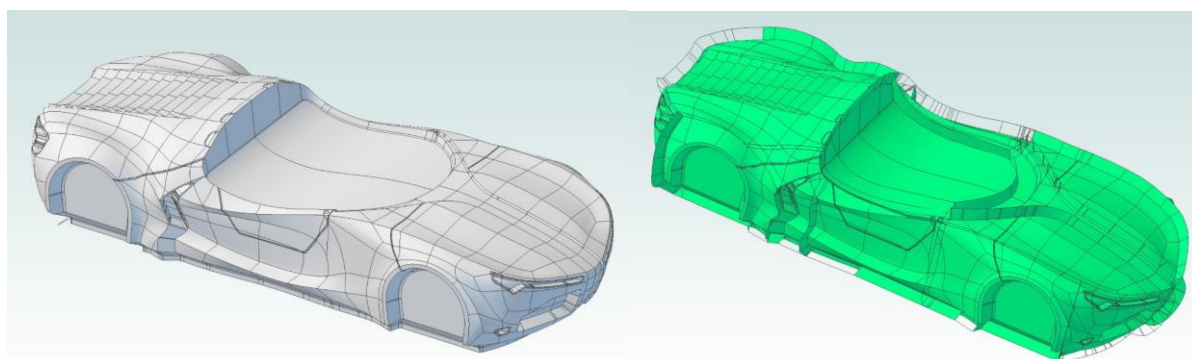
11. Projekt technologiczny poszycia

Schemat procesu technologicznego niezbędnego do wytworzenia kompozytowego poszycia przedstawiono na rysunku 16.



Rys. 16. Schemat technologii wykonania poszycia kompozytowego.

Stworzono model poszycia z uwzględnieniem ograniczeń technologicznych. Bryła prototypu oraz lica podziałowe form zostały pokazane na rysunku 17.



Rys. 17. Bryła poszycia z licami podziałowymi form.

Kolejnym etapem wytwarzania poszycia było wykonanie tzw. kopyta. Zostało ono wyfrezowane z użyciem obrabiarki sterowanej numerycznie w celu zapewnienia najwyższej dokładności i symetrii karoserii. Zdjęcia z frezowania przedstawiono na rysunku 18.



Rys. 18. Elementy kopyta wyfrezowane ze specjalnej pianki modelowej.

W następnym etapie wyfrezowane element z pianki są pokrywane specjalną żywicą a następnie wielokrotnie szlifowane i szpachlowane. Kolejne etapy wytwarzania kopyta przedstawiono na rysunku 19.





Rys. 19. Elementy kopyta podczas obróbki wykańczającej.

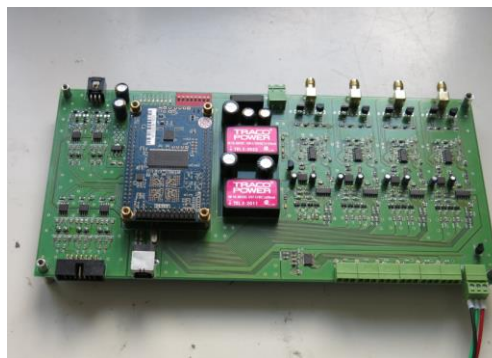
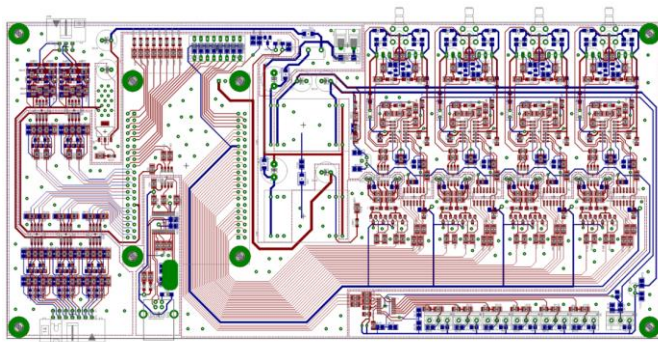
Z wykorzystaniem gotowego kopyta wykonano próbną wersję poszycia, która miała na celu sprawdzenie mocowań oraz pasowania elementów nadwozia. Próbne poszycie wykonano z kompozytu szklano epoksydowego o grubości jednej warstwy. Proces jego wytwarzania przedstawiono na rysunku 20.



Rys. 20. Wytwarzania próbnego poszycia z kompozytu na bazie włókna szklanego.

12. Sterowanie pojazdem i budowa prototypu

W międzyczasie wykonywano elementy sterowania pojazdem , takie jak np. specjalnie zaprojektowany i wykonany sterownik pełniący funkcję elektronicznego mechanizmu różnicowego. Jego podstawową funkcjonalnością jest sterownie silnikami tak aby zachowany był stały moment obrotowy, jednakże jego uniwersalność będzie pozwalała na implementację takich układów jak ASR i ESP. Schemat układu oraz gotowe urządzenie przedstawiono na rysunku 21.



Rys. 21. Sterownik elektronicznego mechanizmu różnicowego

Prototyp samochodu jest konstrukcją zbudowaną praktycznie od podstaw. Tylko bardzo nieliczne elementy pochodzą z komercyjnie dostępnych samochodów – gdyż ich wykonanie na zamówienie byłoby całkowicie nieopłacalne (szyba, przekładnia kierownicza, pompa wody, chłodnica). Pozostałe elementy takie jak całe zawieszenie, układ przekazania napędu, rama, wszelkie mocowania akumulatorów są od podstaw zaprojektowane i wykonane tylko na potrzeby tego projektu. Modyfikacji poddano nawet silniki elektryczne. Przykładowe zdjęcia z montażu końcowego tych elementów przedstawiono na rysunku 22.



Rys.22 . Prototyp samochodu podczas montażu.

Prototyp samochodu hybrydowego o zasilaniu elektryczno -wodorowym, powstający pod nazwą kodową HYDROCAR- Premier został uruchomiony. Jego wersja z tymczasowym poszyciem z kompozytu z włókna szklanego została przedstawiona na rysunku 23.



Rys. 23. Prototyp HYDROCAR PREMIER z tymczasowym poszyciem.

Docelowy wygląd samochodu z właściwym malowaniem i wykończeniem przedstawiają wizualizacje na rysunku 24.



Rys. 23. Wizualizacja prototypu HYDROCAR PREMIER z docelowym poszyciem i malowaniem

13. Podsumowanie

W ramach zadania wykonano demonstrator technologii w postaci zbiornika na wodór zasilającego ogniwo paliwowe, o znacznie polepszonej szybkości wymiany ciepła.

Demonstrator zaprezentowano w warunkach realnych tzn. jako wspomagające źródło zasilania prototypu samochodu elektrycznego.

W wyniku zastosowanych rozwiązań inżynierskich (poruszanie złoża proszkowego podczas ładowania wodorem) uzyskano zbiornik o unikalnych, lepszych niż dotychczas stosowane właściwościach (jeśli chodzi o możliwość szybkiego ładowania wodorem) właściwościach.

Przedstawiony demonstrator głównie z powodów bezpieczeństwa, został wytworzony z użyciem komercyjnie dostępnego proszku o niskiej maksymalnej zawartości wodoru (1.4%). Natomiast przedstawione rozwiązania mają charakter uniwersalny i mogą być stosowane z powodzeniem z innymi materiałami, wymagają tylko niezbędnych charakterystycznych dla danego materiału adaptacji.

Pomimo niedawnego zakończenia przedstawiony projekt wzbudził już bardzo daleko idące zainteresowanie w środowisku „wodorkowym”. Autorzy zostali zaproszeni na konferencję tematyczną HyDEM 2016 w celu wygłoszenia „keynote plenary lecture” na temat projektu.