

50 LAT KSIĘŻYCOWEGO SAMOCHODU – HISTORIA I KONSTRUKCJA LUNAR ROVING VEHICLE

Wojciech PILECKI

Wydział Elektryczny ZUT, Katedra Maszyn i Napędów Elektrycznych
Akademickie Koło SEP, Stowarzyszenie Elektryków Polskich Oddział Szczeciński
e-mail: wojciech-pilecki@zut.edu.pl

Streszczenie: W artykule przybliżono powstanie konceptu pojazdów księżycowych, przebieg badań nad ich konstruowaniem w latach 60. XX wieku oraz rezultat tych prac w postaci stworzenia Lunar Roving Vehicle, który został użyty w trzech ostatnich misjach Programu Apollo. Opisano proces budowy oraz konstrukcję LRV, a także jego znaczący wpływ na przebieg misji w których został użyty.

Słowa kluczowe: Program Apollo, pojazdy księżycowe, Lunar Roving Vehicle

1. WPROWADZENIE

Mijająca w grudniu tego roku 50. rocznica ostatniego dotychczas lądowania na Księżycu (w ramach misji Apollo 17) stanowi dobrą okazję, aby przypomnieć sobie jak niezwykle wydarzeniem w historii całego ludzkiego gatunku był program Apollo. Ta najwspanialsza w historii ludzkości misja zaowocowała podróżą dwudziestu czterech ludzi na oddalony o średnio 384 400 kilometrów Księżyc – przy czym dwunastu z nich miało możliwość postawienia swojej stopy na jego powierzchni.

Przygotowanie serii dwunastu załogowych oraz kilkunastu bezzałogowych misji kosztowało do 1973 roku 25,4 miliardów dolarów, co uwzględniając inflację daje nam dzisiaj 161,9 miliardów dolarów. Oprócz ogromnych pieniędzy program Apollo zaangażował do pracy również około 400 000 ludzi w ponad dwudziestu tysiącach przedsiębiorstw i uniwersytetów.

Na potrzeby programu skonstruowano rodzinę ogromnych rakiet Saturn, której największy przedstawiciel, Saturn V do dzisiaj pozostaje niepokonany pod względem możliwego do wyniesienia na orbitę ładunku. Powstały także pojazdy kosmiczne Apollo – moduły dowodzenia i serwisowe (Command Service Module – CSM), których zadaniem był transport astronautów z powierzchni Ziemi na orbitę Księżycza na szczycie wspomnianej rakiety Saturn V. Z orbity Księżycza na jego powierzchnię astronautów zabierał dwuczęściowy moduł księżycowy (Lunar Module – LM), który transportował ich również z powrotem z powierzchni Księżycza na okołoksiężycową orbitę.

Do grona księżycowych pojazdów od misji Apollo 15 dołączył jeszcze jeden, unikatowy pojazd, który jest bohaterem niniejszego artykułu. Był nim Lunar Roving Vehicle, znany w skrócie jako LRV. Służył on astronautom trzech ostatnich misji jako podstawowy środek przemieszczania się po powierzchni naszego naturalnego satelity. Ten elektryczny samochód, dzięki swojej

niezawodności i przemyślanej konstrukcji, miał niebagatelny wpływ na przebieg i rezultaty tych misji.



Rys. 1. Astronauta Apollo 17 Harrison Schmitt przy fladze USA. W tle po lewej stronie znajduje się LM a po prawej LRV [1]

W niniejszym artykule w oparciu o książki A. Younga [3] i E. Swifta [4] oraz dokumenty armii amerykańskiej [2] została opisana historia i przebieg powstania LRV. Na podstawie wspomnianych książek oraz instrukcji obsługi LRV stworzonej przez NASA [5] opisano również konstrukcję pojazdu, natomiast dane dotyczące wykorzystania LRV zaczerpnięto z książki R. Orloff'a [6] oraz dziennika misji Apollo opracowanego przez NASA [7].

2. POCZĄTEK WYŚCIGU KOSMICZNEGO I WCZESNE KONCEPCJE POJAZDÓW KSIĘŻYCOWYCH

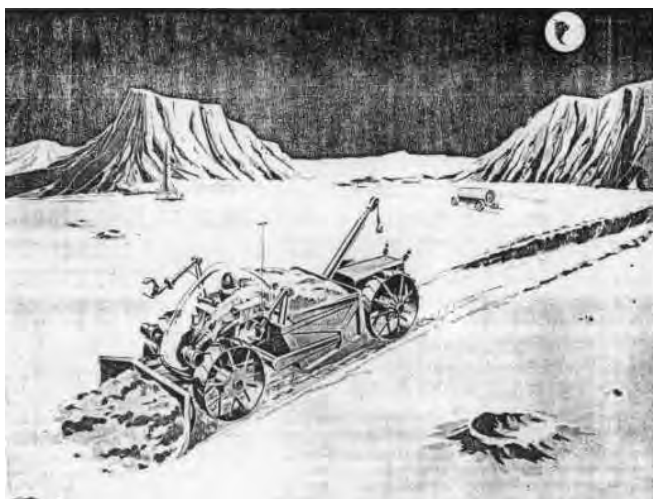
Gdy Związek Radziecki 4 października 1957 roku wystrzelił pierwszego sztucznego satelitę Ziemi – Sputnika 1, rozpoczął się wyścig kosmiczny. Amerykańskie społeczeństwo poczuło się zagrożone wizją sowieckiej dominacji w przestrzeni kosmicznej, a zwłaszcza jej potencjalnym militarnym aspektem. Już w 1959 roku armia amerykańska w ramach swojej Agencji ds. Pocisków Balistycznych (ABMA – U.S. Army Ballistic Missile Agency), na której czele stał wybitny i jednocześnie, ze względu na swoją działalność w trakcie wojny, kontrowersyjny niemiecki inżynier – Wernher von Braun, rozpoczęła opracowywanie raportu w ramach Projektu Horizon. Jego celem miałyby być stworzenie stałej, zamieszkałej księżycowej bazy wojskowej. Projekt był niezwykle ambitny w swoich założeniach – pierwsze załogowe lądowania były planowane na rok 1965, a baza miałyby być operacyjna już rok później. Projekt Horizon

nigdy nie doczekał się wdrożenia – już wkrótce amerykański program kosmiczny przejęła utworzona w lipcu 1958 roku w pełni cywilna Narodowa Agencja Aeronautyki i Przestrzeni Kosmicznej – znana po dziś jako NASA. Jednak założenia tego projektu miały wpływ na powstający od początku 1960 roku program Apollo, którego celem było bezpieczne lądowanie i pobyt człowieka na Księżycu oraz jego powrót.

Jednym z najwcześniejszych (i przy tym bardzo unikatowych) pomysłów dotyczących pojazdów księżycowych były te opracowane przez rumuńsko-niemieckiego pioniera inżynierii raketowej i mentora von Brauna, Hermanna Obertha. Proponował on zbudowanie pojazdu przypominającego kształtem lizaka – ze sferyczną kabiną umieszczoną na pojedynczej, długiej „nodze”, poruszanej za pomocą gąsienicy. W nodze miałyby znajdować się cylinder, który korzystając ze skompresowanego gazu mógłby powodować podskakiwanie pojazdu w celu pokonania napotkanych przeszkód terenowych.

Wraz z przygotowywaniem założeń Projektu Horizon podjęto pierwsze prace koncepcyjne nad pojazdami, które byłyby niezbędne na powierzchni Księżyca. Jednym z najważniejszych z nich miał być Multi-Purpose Construction Vehicle (MPCV), którego koncepcję przedstawiono na rysunku 2.

Pojazd ten miał być przeznaczony do prowadzenia wykopów na powierzchni Księżyca, transportu ładunków i modułów bazy. Miał mieć masę około 2 t przy długości około 4,5 m oraz szerokości i wysokości niecałych 2 m, moc przenosić do dwukrotności swojej masy własnej i być napędzany przez dwa silniki elektryczne o mocy 3 kW, połączone z tylną osią pojazdu. Źródłem energii miało być ogniwo paliwowe. Jednak wraz z zakończeniem prac nad Projektem Horizon pojazd ten nie wyszedł nigdy poza prace koncepcyjne.



Rys. 2. Jedna z najwcześniejszych koncepcji księżycowych pojazdów, przedstawiająca Multi Purpose Construction Vehicle, opracowana w ramach Projektu Horizon [2]

3. POCZĄTKI PROGRAMU APOLLO I POJAZDÓW KSIĘŻYCOWYCH

Już w 1960 roku Boeing Aircraft Corporation oraz Bendix Corporation rozpoczęły swoje badania nad potencjalnymi przyszłymi pojazdami księżycowymi. Szczególnie zainteresowany nim był Bendix, który na te prace wydał do 1969 roku ponad 12 milionów dolarów.

Jesienią 1962 roku Marshall Space Flight Center (MSFC) w Huntsville ogłasza pierwsze badania nad

pojazdami księżycowymi w ramach Lunar Logistics System (LLS). W ramach tego programu badania wykonały firmy Grumman Aircraft Engineering Corporation (który skonstruował również Moduł Księżycowy) oraz Northrop Space Laboratories Inc. Badania te stanowiły punkt wyjścia dla dalszych prac, stworzono wstępne projekty pojazdów zakładające użycie ciśnieniowych kabin oraz napędzanych silnikami elektrycznych kół.

Wartym uwagi jest fakt ogromnego wkładu, jaki w powstanie LRV miał Polak, prof. Mieczysław Bekker, absolwent Politechniki Warszawskiej, pionier teorii pojazdów terenowych, który od 1960 roku pracował dla General Motors Defense Research Laboratories (GMDRL). To właśnie tam, już w maju 1963, Bekker wraz ze swoim węgierskim współpracownikiem Ferencem Pavlicsem, przeprowadził badania nad koncepcją bezzałogowego pojazdu księżycowego w ramach kontraktu GMDRL z NASA Jet Propulsion Laboratory, pracującego wówczas nad Programem Surveyor, mającym wysłać na Księżyc bezzałogowe sondy. Koncepcja ta zakładała sześciokołowy pojazd z elastyczną ramą, zapewniającą swobodę poruszania się każdej osi, a każde koło miałyby swój własny napęd oparty na silniku prądu stałego. W tym projekcie po raz pierwszy pojawił się pomysł użycia siatkowych kół, który znajdzie się ostatecznie w finalnym pojeździe.

W czerwcu 1964 roku MSFC wydaje dla Bendixa oraz Boeinga (którego podwykonawcą w dziedzinie pojazdów jest GMDRL) kontrakty na prace nad dużym pojazdem księżycowym w ramach Mobility Laboratory (MOLAB). Opracowany pojazd miał utrzymać przez okres do dwóch tygodni czterech astronautów.



Rys. 3. Pojazd skonstruowany dla programu MTA przez GMDRL w trakcie pokonywania przeszkód terenowych [1]

Po zakończeniu prac w ramach MOLAB-u zdecydowano wydać kontrakty ponownie dla Bendixa i Boeinga na opracowanie mniejszych księżycowych pojazdów w ramach Lunar Scientific Surface Module (LSSM), w którego założeniach zrezygnowano z ciśnieniowej kabiny na rzecz otwartej konstrukcji dla dwóch astronautów i ich ładunku. Następną serią badań był Mobility Test Articles (MTA), przeprowadzony w latach 1965 i 1966, mający na celu zbadać tylko różnego rodzaju zawieszania i konfiguracje kół. Na rysunku 3 zaprezentowano jedną z propozycji powstałych w ramach MTA.

4. OKREŚLENIE WYMAGAŃ KSIĘŻYCOWYCH POJAZDÓW

W czerwcu 1965 roku NASA przeprowadziła Summer Conference on Lunar Exploration and Science w Falmouth, Massachusetts. Jej celem było sformułowanie dziesięcioletniego planu księżycowej eksploracji, z naciskiem na eksplorację załogową. Wśród postanowień konferencji znalazło się wymaganie dotyczące zaprojektowania małego pojazdu dla jednego bądź dwóch astronautów i ładunku co najmniej 270 kg, z minimalnym zasięgiem 8 km i rekomendowanym - 15 km. Było to pierwsze formalne stwierdzenie zapotrzebowania na taki pojazd w ramach programu Apollo.

Druga konferencja odbyła się w 1967 roku na Uniwersytecie Kalifornijskim w Santa Cruz. Jej celem było określenie przyszłości załogowych i bezzałogowych programów eksploracji oraz ustalenie sprzętu niezbędnego do realizacji tych programów. Prowadzone w ramach kilku grup roboczych prace zaowocowały ustaleniem, że misje należy przeprowadzać korzystając z dwóch rakiet Saturn V dla dostarczenia ludzi i sprzętu na Księżyc. Jednak ostateczne formalne stanowisko konferencji było bardziej zdystansowane. Uznano że rekomendacje te mogą być niemożliwe do zrealizowania z przyczyn budżetowych i w przyszłości może być niezbędna kolejna konferencja, aby ponownie określić cele eksploracyjne. Jeden z uczestników konferencji, Maxime Faget, zasłużony inżynier NASA od czasów Projektu Merkury oraz jeden z projektantów statku Apollo, stwierdził, że koszt zrealizowania dużych pojazdów księżycowych, takich jak MOLAB będzie niemożliwy do sfinansowania, oceniając koszt na aż ćwierć miliarda dolarów.

5. POCZĄTEK LUNAR ROVING VEHICLE

Wkrótce okazało się że, zgodnie ze wcześniejszymi obawami, misje używające dwóch Saturnów V będą niemożliwe z przyczyn ekonomicznych. Pojazd księżycowy musiał być możliwie jak najmniejszy i najlżejszy, tak, aby zmieścić się w Module Księżycowym. Pojawiły się obawy o zwiększone zużycie paliwa ze względu na obecność pojazdu, a co za tym idzie, na bezpieczeństwo astronautów i misji.

Jeden z inżynierów GMDRL, Sam Romano, który - podobnie jak Bekker i Pavlics miał, duży udział we wcześniejszych pracach nad księżycowymi pojazdami - udał się do Waszyngtonu wraz ze swoimi inżynierami, aby dowiedzieć się od NASA ile miejsca może zająć pojazd księżycowy w Module Księżycowym oraz jaką wagę mógłby on mieć. Pojazdowi zostaje przydzielony jeden z przedziałów Modułu oraz limit wagowy 227 kilogramów. W ciągu czterech miesięcy inżynierowie GMDRL opracowali konfigurację, która podołałaby tym wymaganiom. Opracowano zdalnie sterowane modele w skali 1:6 oraz przetestowano mechanizm składania i rozkładania. Udali się oni do MSFC na spotkanie z inżynierami NASA. Na tym spotkaniu zdalnie sterowany model, wraz z zabawkowym żołnierzem w stroju astronauty należącym do syna Pavlicsa, został niespodziewanie wprowadzony do biura von Brauna celem prezentacji. Po pół godziny rozmów von Braun został przekonany o konieczności zbudowania LRV.

7 kwietnia 1969 roku von Braun utworzył w MSFC Lunar Roving Task Team – zespół poświęcony budowie LRV. Szefem zespołu wybrał Saverio „Sonny” Moreę,

swojego wieloletniego współpracownika z czasów początków Projektu Mercury, który także współtworzył silniki F-1 pierwszego stopnia oraz J-2 drugiego i trzeciego stopnia rakiety Saturn V.

W maju 1969 roku LRV został wybrany jako środek przemieszczania się astronautów po Księżycu. 11 lipca 1969 roku, kilka dni przed startem misji Apollo 11 ogłoszono zapytania ofertowe dla 29 podwykonawców NASA. Sformułowano listę 22 dokładnych wymagań co do przyszłego LRV. Określono w nich, że LRV będzie czterokołowym, zasilanym bateryjnie pojazdem, o masie nieprzekraczającej 181 kg (wraz z systemem składania i rozkładania), obsługiwany przez jednego astronautę. Prócz tego pojazd musiał być w stanie przewieźć astronautów i eksperymenty naukowe o masie do 381 kg i dodatkowo do 31 kg próbek gruntu i skał. Pojazd musiał mieć także zasięg do 120 km w czterech przejazdach po 30 km w okresie 78 godzin przy prędkości do 16 km/h pod pełnym obciążeniem. Wymagania dotyczyły również zdolności pokonywania przeszkód, zwrotności, bezpieczeństwa załogi czy niezawodności.

Tylko cztery firmy zgłosiły swoje wstępne oferty – Boeing, Bendix, Grumman oraz Chrysler. Otrzymały one 10 tygodni na przedstawienie początkowych projektów. Ostatecznie, pod koniec września 1969 roku odrzucono propozycje Chryslera oraz Grummana. W następnym miesiącu przeprowadzono negocjacje kontraktów, a 28 października ogłoszono wybór Boeinga jako wykonawcy. Kwota kontraktu opiewała na 19,6 miliona dolarów. Zakładała ona budowę czterech jednostek do użycia w misjach Apollo i oprócz tego budowę kilku egzemplarzy dla potrzeb różnych testów oraz trenażera 1G przeznaczonego do szkoleń astronautów na Ziemi. Czas na dostarczenie gotowych jednostek był bardzo krótki – Boeing miał czas do kwietnia 1971 roku. Kontrakt zawierał klauzulę, że w razie niewypełnienia tego zobowiązania Boeing nie otrzymałby zapłaty. Podobnie, w razie awarii LRV na Księżycu otrzymaliby oni tylko 1% zapłaty. Kontrakt przewidywał natomiast premię za dotrzymanie terminów oraz budżetu.

6. PRACE BOEINGA ORAZ MSFC

MSFC w toku prac bardzo ściśle współpracowało z Boeingiem. Kierownicy Centrum z doświadczenia wiedzieli, że taka współpraca jest niezbędna do rozwiązywania problemów na bieżąco i trzymania się planu oraz budżetu. Odpowiadali oni również za koordynację z innymi ośrodkami NASA – Manned Spacecraft Center w Houston, które było przeciwne radykalnym zmianom w konstrukcji Modułu Księżycowego, a także Kennedy Space Center na Florydzie, które odpowiadało za ostateczne testy i kwalifikację do lotu, a także szkolenie astronautów.

LRV było pojazdem bez precedensu. W przeciwieństwie do statku Apollo, które czerpało z doświadczeń Projektu Merkury i Programu Gemini, LRV nie miało nigdy poprzednika realizującego podobne zadania. Jednak prowadzone przez niemal całą dekadę badania i projekty okazały się wtedy niezwykle pomocne. Konstrukcja takiego pojazdu była tylko pozornie prosta – złożony był on z ośmiu podsystemów, które wymagały bycia niezawodnymi – przykładowo w razie awarii pojazd musiał być zdolny powrócić do lądownika na tylko jednym napędzanym kole.

W połowie stycznia 1970 zaczynało być widoczne, że Boeing i jego podwykonawca, GMDRL, mają problemy z utrzymaniem się w budżecie i dotrzymaniem ram

czasowych. Już po trzech miesiącach budżet przekroczono. Dokonana 28 stycznia pierwsza ocena wykazała problemy z podsystemami nawigacji oraz rozkładania. Następna ocena była planowana na czerwiec. Morea, niezadowolony z pracy Boeinga zdecydował wkrótce o utworzeniu „zespołu tygrysów” MSFC mającego wspomóc Boeigna i GMDRL w rozwiązywaniu problemów technicznych, budżetowych i czasowych.

29 kwietnia 1970 r. w trakcie testu obciążenia zawieszenia dochodzi do uszkodzenia jego struktury. Pojawiają się poważne obawy czy Boeing będzie w stanie dotrzymać warunków kontraktu, zwłaszcza w bardzo krótkim 17-miesięcznym terminie. 18 czerwca Morea przeprowadza niejawnie spotkanie z przedstawicielami NASA, debatując nad przyszłością programu LRV. Zapada decyzja o kontynuacji programu. Wkrótce na rosnące koszty zwraca uwagę Kongres, żądając audytu programu, który jednak udaje się odwołać, wskazując na zawarte w kontrakcie klauzule mające chronić interes rządu.

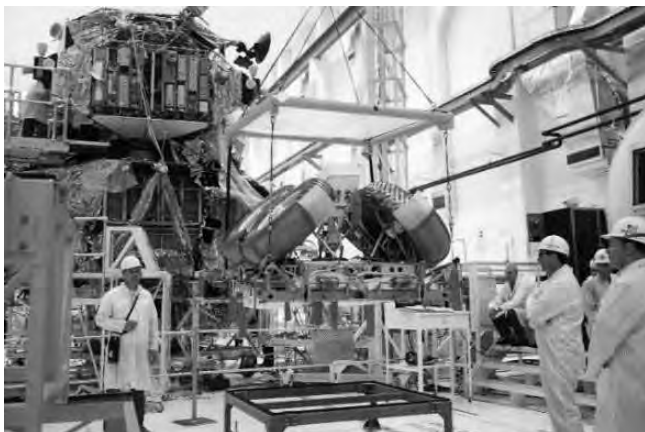
W listopadzie w trakcie testów systemu rozkładania ponownie stwierdzono problemy. MSFC wraz z MSC zaleciły przeprojektowanie podsystemu w związku z ryzykiem wystąpienia problemów na powierzchni Księżyca, które zagroziłyby całemu planowi danej misji. Dokonano także na prośbę astronautów zmian związanych z kształtem drążka sterowniczego. W błyskawicznym tempie wykonano niezbędne prace i już 14 grudnia 1970 r. dostarczono jednostkę do testów kwalifikacyjnych, które przeprowadzono od stycznia do marca 1971 r. 10 marca 1971 r. Morea zatwierdził do lotu pierwszy pojazd LRV, który został użyty w ramach misji Apollo 15.

7. KONSTRUKCJA LRV

Ostatecznie zbudowany pojazd miał długość 3,1 m, rozstaw osi 2,3 m i wysokość maksymalną 1,14 m. Rozwijał prędkość maksymalną 13 km/h, chociaż w trakcie ostatniej misji, Apollo 17 poruszał się aż 18 km/h. Ważył on 210 kg oraz był w stanie przewieźć do 490 kg na powierzchni Księżyca.

7.1. Podsystem mobilności

Podsystem mobilności był największym systemem LRV i został zaprojektowany przez GMDRL. Podwozie zostało wykonane ze stopów aluminium 2024 oraz 2219 i zostało podzielone na trzy składane części, co było realizacją pomysłu Pavlicsa i umożliwiło zmieszczenie pojazdu w Module Księżycowym. Złożony LRV ukazano na rysunku 4.

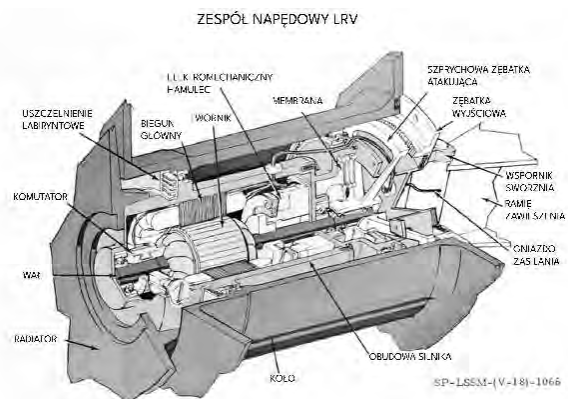


Rys. 4. Złożony LRV instalowany w Module Księżycowym [1]

Przód podwozia mieścił baterie, układy sterujące napędem oraz podzespoły systemu nawigacji. Zamontowano tam również zespół przekaźników telekomunikacyjnych Lunar Communications Relay Unit (LCRU) oraz Ground-Commanded Television Assembly (GCTA) wraz z anteną wysokiego zysku. W środkowej części znajdowały się miejsca załogi oraz podsystem kontroli i sterowania. W tylnej części zlokalizowano natomiast miejsca na ekwipunek załogi, narzędzia oraz próbki księżycowe.

Zawieszenie składało się z dolnego i górnego trójkątnego wahacza z najszerszą częścią zamontowaną do podwozia poprzez drążki skrętne oraz amortyzatory. Druga strona była przymocowana do miejsca montażu zespołu napędowego koła. Budowa zawieszenia stanowiła duże wyzwanie dla konstruktorów, zwłaszcza wykonanie odpowiednio wytrzymałych spawów.

Każde z kół miało swój niezależny napęd, który składał się ze szczotkowego silnika szeregowego prądu stałego, zasilanego napięciem 36 V o mocy 0,18 kW i prędkości obrotowej 10 000 obr/min, który następnie połączony był z przekładnią falową o przełożeniu 80:1. Równolegle opracowywano silniki bezszczotkowe, ale Morea wolał użyć sprawdzonych silników szczotkowych. Aby uniknąć księżycowego pyłu i próżni, całość wypełniono azotem i zamknięto hermetycznie pod ciśnieniem 0,5 bara. Na rysunkach 5 oraz 6 przedstawiono zespół napędowy LRV.



Rys. 5. Przekrój zespołu napędowego LRV [3]



Rys. 6. Zespół napędowy LRV [1]

Sterowanie napędem odbywało się poprzez układ Drive Control Electronics (DCE), który odbierając sygnał z wychyłanego przez astronautę drążka sterującego przetwarzał go na proporcjonalny sygnał PWM, który następnie sterował prędkością silnika. System odczytywał prędkość koła korzystając z umieszczonego na nim kontaktronu, który był także wykorzystywany przez drogomierze systemu nawigacji. Każde z kół mogło zostać w razie awarii odłączone, a LRV był w stanie wrócić do LM korzystając z tylko jednego silnika.

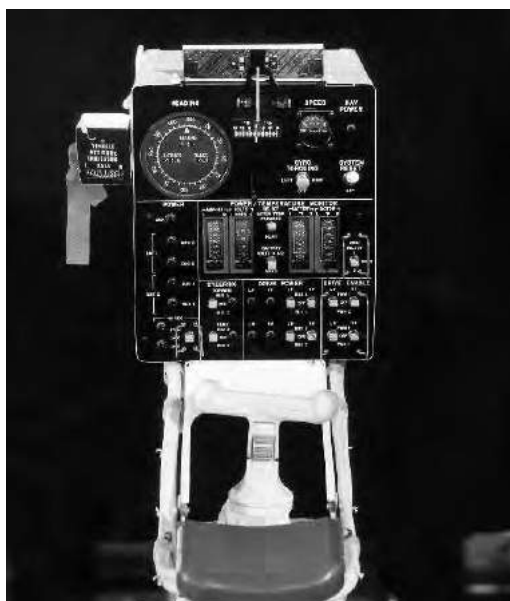
Układ kierowniczy był oparty o układ Ackermanna i napędzany był przez silniki szeregowo o mocy 0,07 kW. Każda z dwóch osi pojazdu posiadała niezależny od siebie układ kierowniczy, aby w razie awarii jednego z nich zachować możliwość kierowania pojazdem.

Unikalny projekt kół był rezultatem wcześniejszych prac prowadzonych przez GMDRL. Koła wykonano ze stalowej siatki tkanej z drutu o średnicy 0,84 mm. Na siatce przynitowane zostały tytanowe bieżniki. Całość przynitowano do aluminiowego dysku i obręczy. Koła zostały wzmocnione wewnętrzną ramą. Miały średnicę 81,3 cm, grubość 22,8 cm i ważyły 5,5 kg.

7.2. Podsystem załogi

Podsystem załogi znajdował się głównie w środkowej części LRV i zawierał składane siedziska, pasy, wsparcia dla nóg i ramion oraz panel Control and Display Console (CDC) oraz drążek sterujący całym pojazdem. Miał on początkowo kształt chwytu pistoletowego, ale ze względu na uwagi astronautów wskazujące na trudności w użyciu go w skafandrze, zmieniony został na T-kształtny. Drążek zapewniał proporcjonalne do wychylenia przyspieszenie. W momencie wychylenia do tyłu układ DCE odcinał zasilanie silników kół i uruchamiał elektromechaniczny hamulec.

CDC składało się z dwóch części, pierwsza zawierała wskazania przyrządów i podsystemu nawigacyjnego takie jak położenie, prędkość oraz drogomierz, a druga zawierała informacje z podsystemu elektrycznego i umożliwiała załączanie podsystemów LRV. Dla zapewnienia widoczności panel pokryto czarną farbą, a oznaczenia pomalowano fluorescencyjną farbą z izotopem prometu 147. CDC zawierało też przyrząd do określania pozycji LRV względem Słońca. Na rysunku 7 przedstawiono panel CDC.



Rys. 7. Panel CDC oraz drążek sterujący [1]

7.3. Podsystem nawigacji

Początkowo zaproponowany przez Boeinga system nawigacji okazał się być skomplikowany i pojawiły się obawy co do jego niezawodności. System ten musiał być prosty w obsłudze i niezawodny, a także umożliwiać odczyt wskazań nawet po zaniku zasilania. Oprócz tego musiał umożliwić nawigację do wskazanego punktu i wskazać drogę najszybszego powrotu do LM. MSFC zdecydowało się zaprojektować prosty i niezawodny system oparty o nawigację zliczeniową. Składał się on z żyroskopu kierunkowego, czterech drogomierzy, procesora przetwarzającego otrzymywane sygnały i wskaźników położenia, pozycji i prędkości.

7.4. Podsystem zasilania elektrycznego

Podstawę zasilania stanowiły dwie baterie srebrowo-cynkowe o napięciu 36 VDC i pojemności 121 Ah każda. Baterie dostarczyła firma Eagle Picher. Zostały one umieszczone w lekkiej obudowie z magnezu i zamontowane w przedniej części podwozia. Baterie wyposażono w zawór umożliwiający uwolnienie nadmiarowego ciśnienia, które mogłoby powstać w wyniku przeciążenia. Informacje o zasilaniu były przekazywane do LM i tam dalej na Ziemię. Baterie zostały dobrane tak, aby w razie awarii jednej z nich, druga była w stanie przejąć całość zasilania LRV. Nominalnie jednak pracowały z równomiernym obciążeniem. Obecny był także układ oszczędzania energii, który wyłączał wszystkie podsystemy, oprócz nawigacji, jeśli postój trwał dłużej niż 5 minut.

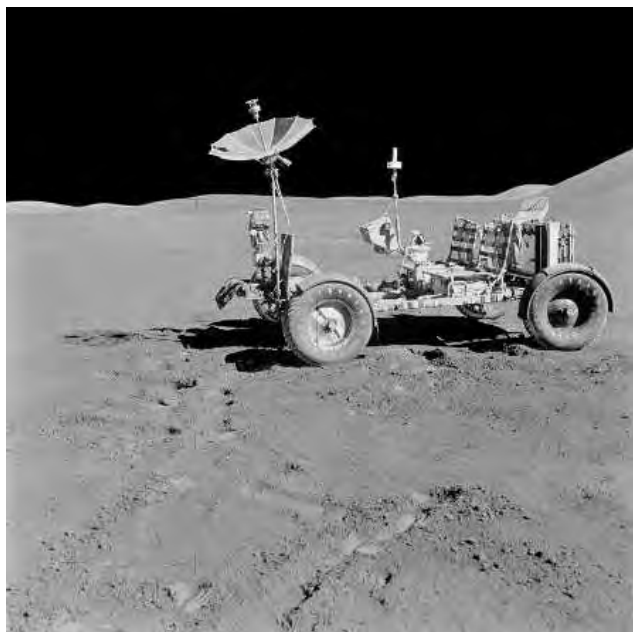
7.5. Podsystem termiczny

System termiczny pełnił bardzo ważną rolę, ponieważ musiał utrzymać nominalne temperatury podzespołów pojazdu od startu z Ziemi aż do zakończenia pobytu na Księżycu. Problematyczny był bardzo szeroki zakres temperatur na powierzchni oraz szkodliwy wpływ księżycowego pyłu na odprowadzanie ciepła. Błotniki, jakimi osłonięto koła LRV były krytycznie ważne, gdyż ograniczały osadzanie pyłu na podsystemach. System termiczny był niemal całkowicie autonomiczny – jedyną czynność, jaką musiał podjąć astronauta, było uruchomienie przy postoju sekwencji chłodzenia poprzez otwarcie osłon przeciwpływowych. Rozważano chłodzenie amoniakiem dla podsystemów elektronicznych, ale uznano je za zbyt ciężkie. Ostatecznie wykorzystano obudowy baterii jako radiatory, poprzez połączenia termiczne z układami elektronicznymi. Układ DCE, umieszczony w dalszej części pojazdu zamontowano w zbiorniku z 7,7 kg wosku, który wraz z pochłanianiem ciepła roztopiał się i ponownie zestalał przy postoju. System ten zapewniał też monitorowanie temperatury baterii i silników, które następnie były wyświetlane na CDC. W razie przekroczenia dozwolonych temperatur zostawał uruchomiony alarm wizualny.

7.6. Podsystem komunikacji

Podsystem komunikacji tworzyły wspomniane układy LCRU oraz GCTA wraz z anteną wysokiego zysku pasma S oraz anteną niskiego zysku. W trakcie jazdy komunikacja astronautów była przekazywana przez LCRU do Modułu Księżycowego i stamtąd na Ziemię. Przy postoju korzystano z anteny wysokiego zysku, którą również transmitowano kolorowy obraz telewizyjny, korzystając z GCTA. Dzięki temu układowi telewizyjna kamera mogła być również sterowana z Ziemi.

8. PODSUMOWANIE



Rys. 8. Pojazd LRV misji Apollo 15 w miejscu, w którym spoczywa do dziś [1]

Lunar Roving Vehicle okazał się mieć ogromny wpływ na przebieg trzech ostatnich misji Programu Apollo. Umożliwił on przebycie znacznie większych dystansów i zbadanie o wiele większej liczby miejsc niż w trakcie wcześniejszych trzech lądowań. Zebrano także znacznie

więcej próbek księżycowego gruntu. Dla porównania, misje Apollo 11, 12 oraz 14 zebrały 98,18 kg próbek, podczas gdy samo Apollo 17 zebrało ich 110,40 kg.

LRV w trakcie żadnej z misji nie zawiódł i był pewnym środkiem przemieszczania się po powierzchni Księżyca dla astronautów. Astronauci przebyli na nim odpowiednio - 27,78 km w trakcie Apollo 15, w trakcie Apollo 16 - 25,92 km, a w trakcie Apollo 17 aż 35,18 kilometrów. Była to ogromna różnica w porównaniu do poprzednich misji, w trakcie których największy dystans wynoszący 3,7 km przebyła załoga Apollo 14.

9. BIBLIOGRAFIA

1. Archiwa fotografii NASA MSFC, <https://archive.org/search.php?query=creator%3A%22NASA%2FMarshall+Space+Flight+Center%22>, data dostępu 13.02.2022.
2. United States Army: Project Horizon Volume II Technical Considerations & Plans, 1959.
3. Young A.: Lunar and Planetary Rovers – The Wheels of Apollo and the Quest for Mars, Praxis Publishing, 2007.
4. Swift E.: Across The Airless Wilds – The Lunar Rover and the Triumph of the Final Moon Landings, HarperCollins Publishers, 2021.
5. Lunar Roving Vehicle Operations Handbook, NASA, 1971.
6. Orloff R.: Apollo By The Numbers – A Statistical Reference, NASA, 2000.
7. Apollo Lunar Surface Journal, <https://www.hq.nasa.gov/office/pao/History/alsj/main.html>, data dostępu 13.02.2022.

50 YEARS OF LUNAR CAR – HISTORY AND CONSTRUCTION OF LUNAR ROVING VEHICLE

This article presents a history of Lunar Roving Vehicle which has been used in three final missions of Apollo Program. Article describes the beginning of lunar vehicle concepts in the early 1960s starting from Project Horizon and continued in further NASA projects and individual work of American companies, like e.g. Boeing Corporation or Bendix Corporation. It also describes methods of designing first lunar vehicle prototypes for space programs like e.g. Lunar Logistics Systems, Mobility Laboratory and Mobility Test Articles. In addition there is discussed process of defining requirements which will become a Lunar Roving Vehicle. The article also describes a designing process and problems that Rover met during creation. It contains a description of LRV various systems like mobility, electrical power supply and navigation subsystems. In the end of the paper there is a short summary of impact that LRV made for final Apollo missions in terms of travelled distance and amount of collected lunar samples. The article has been illustrated with various drawings and photos of early lunar vehicle concepts and LRV itself.

Keywords: Apollo Program, lunar vehicles, Lunar Roving Vehicle.