

WYIMKI Z HISTORII TŁOKOWYCH SILNIKÓW SPALINOWYCH CZ. 1

# MASZYNA OGNIOWA LEONARDA DA VINCI

Obecnie wykorzystujemy wiele typów tłokowych silników spalinowych, pośród których na uwagę zasługują silniki okrętowe wykorzystywane od ponad wieku do napędu statków wodnych. Stopień ich rozwoju technicznego osiągnął wysoki pułap. Należy podkreślić, że współczesne krzyżulcowe, wolnoobrotowe silniki tłokowe są najbardziej sprawnymi maszynami cieplnymi zbudowanymi przez człowieka – ich sprawności ogólne przekraczają obecnie w układach z głęboką utylizacją ciepła 55%, moce znamionowe przekraczają 80 MW, ich waga przekroczyła już 2300 ton, długość i wysokość odpowiednio ponad 27 m i 13 m, zaś objętość skrzyni korbowej 500 m<sup>3</sup>. Silniki te są wciąż udoskonalane w kontekście podwyższania ich efektywności energetycznej, bezpieczeństwa eksploatacyjnego i niezawodności oraz minimalizacji emisji szkodliwych substancji do otoczenia. Mając na uwadze powyższe parametry współczesnych silników oraz fakt, że zanieczyszczenie powietrza przez spaliny z silników okrętowych szacowane jest przez Międzynarodową Organizację Morską na poziomie 2–3% całego antropogenicznego zanieczyszczenia środowiska, można przypuszczać, że silniki spalinowe jeszcze przez długi czas pozostaną podstawowym źródłem napędu statków.

Bardzo ciekawym jest jednak to, w jaki sposób silniki okrętowe osiągnęły tak wysoki poziom doskonałości technicznej oraz jakie były początki rozwoju silników. Niniejszy artykuł jest pierwszym z cyklu publikacji popularnonaukowych opisujących ciekawe koncepcje, które pojawiły się na ścieżce rozwoju silników spalinowych, prowadząc finalnie do nowoczesnych rozwiązań, które spotykamy dziś na statkach lub które zawitają do siłowni okrętowych w najbliższych latach. Chciałbym w nim przybliżyć czytelnikom przypuszczalnie pierwszy w historii techniki projekt tłokowego silnika spalinowego autorstwa włoskiego, renesansowego artysty i uczonego Leonarda da Vinci



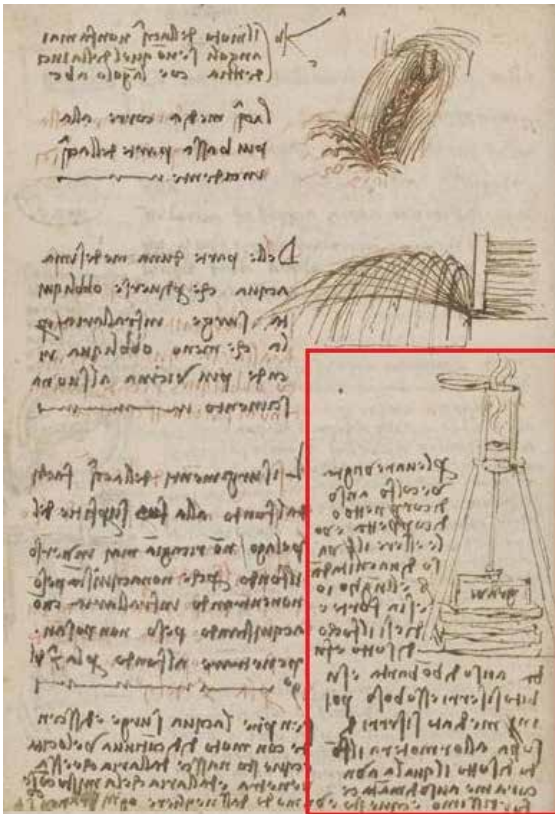
(ur. 15.04.1452, zm. 02.05.1519). Jest on twórcą m.in. wynalazków związanych z transportem wodnym, w tym na szczególną uwagę zasługuje koło ratunkowe wykorzystywane do dziś do ratowania osób, które znalazły się za burtą statku oraz wieloczerpakowe koło wodne służące do napędu katamaranów.

Profesor Horst O. Hardenberg w swojej książce „The Antiquity of the Internal Combustion Engine 1509–1688” (SAE, Warrendale, 1993) jako pierwszą znaną obecnie koncepcję spalinowego silnika tłokowego wskazał maszynę ogniową wykorzystaną w podnośniku przedstawionym w paryskim manuskrypcie F autorstwa Leonarda da Vinci (Paryż, 1513, karta 16 parzysta). Rozwiązanie to analizowali w swoich publikacjach naukowych wybitni badacze historii nauki i techniki tacy jak Franz Maria Feldhaus, Gustav Goldbeck, Ladislao Reti czy Arturo Uccelli.

Reti podał, że Feldhaus był pierwszym, który próbował wyjaśnić konstrukcję maszyny Leonarda (1913 r.). Zauważył też, że maszyna jest wspomniana ponownie dopiero w 1939 r. w eseju autorstwa Sebastiano Timpanaro poświęconemu dziełom Leonarda, gdzie zamieszczono reprodukcję szkicu maszyny, jednak bez oryginalnego opisu wynalazcy. Trzeba tu zaznaczyć, że pomimo odległego czasu powstania tego rozwiązania, z uwagi na skąpy opis, propozycja Leonarda da Vinci została zaklasyfikowana jako najstarszy, znany silnik spalinowy dopiero w 1972 r.

Leonardo opatrzył rysunek komentarzem o następującej treści: *Niech będzie naczynie [cylinder] o średnicy 1 łokcia i długości 10 łokci, i niech będzie wytrzymałe, i niech będzie pod nim ogień, i niech wytrzyma jak bomba [działo], i nagle niech ten otwór zostanie zamknięty, i natychmiast niech będzie zamknięty u góry, bo wtedy podniesie się dno [tłok], które ma u dołu skórzaną klapę, jak bardzo silny miech, i to jest sposób na podniesienie każdego wielkiego przedmiotu w górę.*

Leonardo wynalazł więc maszynę do podnoszenia ładunku za pomocą podciśnienia powietrza. Jej metalowy cylinder o długości dziesięciu łokci (ta jednostka miary przyjmowała w czasach Leonarda w różnych włoskich miastach różne wartości; można przyjąć, że średnio odpowiada ona długości 0,63 m) wypełniony jest powietrzem, które jest wypierane przez spaliny generowane przez ogień przypuszczalnie podstawiany okresowo pod cylinder. W opisie Leonarda nie jest jednak wyjaśnione, gdzie ma znajdować się płonący pod cylindrem ogień. Według Retiego ogień miałby znajdować się wewnątrz cylindra, co potwierdzałby szkic Leonarda pokazujący spaliny uchodzące na zewnątrz z cylindra i brak na szkicu zewnętrznego źródła ciepła ułożonego pod cylindrem. Po wyparciu powietrza przez rozgrzany gaz zgodnie



Szkic maszyny ogniowej Leonarda da Vinci wraz z opisem jej zasady działania zamieszczony w paryskim manuskrypcie F

z opisem Leonarda operator maszyny powinien zamknąć zawór zamykający otwór w tłoku oraz umieszczoną powyżej pokrywę cylindra, czyli swobodną ruchomą głowicę cylindrową. W przypadku zastosowania zewnętrznego źródła ciepła należałoby usunąć ogień spod cylindra, natomiast jeśli

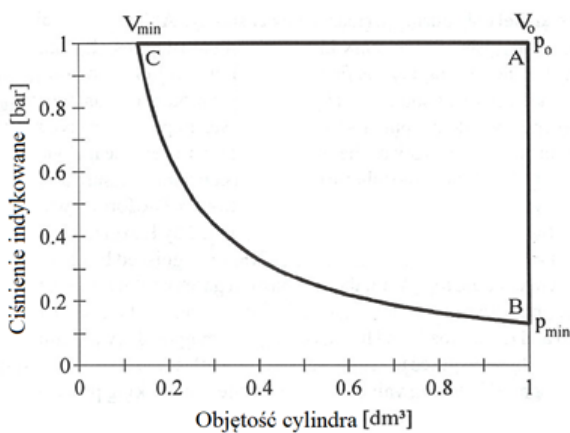
prawdziwa jest teza Retiego, zawór i kłapkę należałoby zamknąć niezwłocznie po całkowitym spalaniu się paliwa w cylindrze. Działania powyższe skutkują w kolejnym kroku schłodzeniem gazów wewnątrz cylindra i w wyniku powstania podciśnienia wewnątrz cylindra do wciśnięcia tłoka do wnętrza cylindra podnoszą do góry ciężki przedmiot (Leonardo opisuje go na szkicu słowem „grave”, co można tłumaczyć z włoskiego jako „coś ciężkiego”). Brak jest w opisie autorstwa Leonarda da Vinci informacji dotyczących tego, w jaki sposób miałby z zewnątrz być zamykany otwór w denku tłoka. Na załączonych rysunkach przedstawiony został obieg cieplny realizowany w maszynie ogniowej oraz obliczone wartości sprawności indykowanej silnika w funkcji jednostkowej pracy indykowanej w oparciu o kalkulacje przedstawione przez prof. Hardenberga opublikowane w książce „The middle ages of the internal-combustion engine 1794–1886” (SAE, Warrendale, 1999). Najniższe, teoretycznie osiągalne w cylindrze ciśnienie bezwzględne wynosi w tym przypadku 0,13 bar. Natomiast maksymalna sprawność indykowana wynosi

4,24%, co jest bardzo niską wartością w porównaniu do obecnie budowanych silników, gdyż sprawność indykowana współczesnych silników okrętowych dochodzi do 60%.

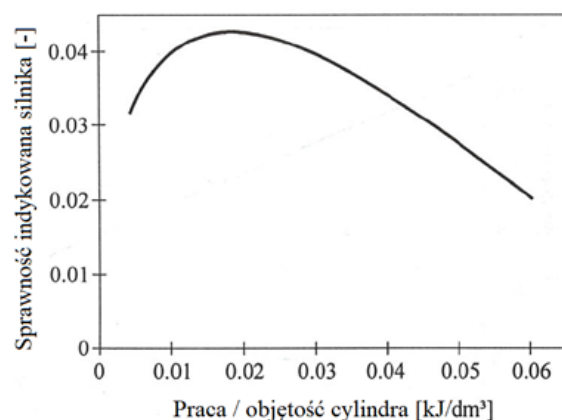
Widzimy więc, że koncepcja Leonarda jest teoretyczna i obciążona szeregiem niedomówień, a potencjalna sprawność silnika bardzo niska. Nie ulega jednak wątpliwości, że wykorzystanie zmiany ciśnienia gazów wewnątrz cylindra i oddziaływanie tym sposobem na tłok, wykorzystując ciśnienie atmosferyczne, stawia maszynę Leonarda w pozycji prekursora później opracowywanych silników prochowych Christiaana Huygensa (1600) i Denisa Papina (1688). Wraz z tymi koncepcjami i atmosferycznym silnikiem parowym Thomasa Newcomena (1712) rozpoczyna się etap szybkiego rozwoju silników energetycznych. W pierwszej połowie XIX wieku rozwijane były konstrukcje silników atmosferycznych, które ostatecznie doprowadziły do powstania i rozwinięcia stosowanych w przemyśle spalinowych silników tłokowych opracowanych i rozwijanych przez Nicolasa Otto, Eugena Langena, Étienna Lenoira, Gottlieba Daimlera, Wilhelma Maybacha, Rudolfa Diesla i wielu innych. Dzięki temu tłokowe silniki spalinowe znalazły zastosowanie w fabrykach i do napędu statków wodnych.

**Leszek Chybowski**

szkice: Leonardo da Vinci  
wykresy: Leszek Chybowski  
na podst. prac Horsta Hardenberga



Idealny obieg maszyny ogniowej Leonarda da Vinci: A-B – izochoryczne odprowadzenie ciepła i rozprężanie, B-C – izotermiczne sprężanie, C-A – izobaryczne doprowadzenie ciepła;  $p_{\min}$  – ciśnienie minimalne,  $p_0$  – ciśnienie otoczenia,  $V_0$  – wyjściowa (maksymalna) objętość cylindra,  $V_{\min}$  – minimalna objętość cylindra



Sprawność indykowana maszyny ogniowej pracującej według idealnego obiegu Leonarda da Vinci w funkcji jednostkowej pracy indykowanej