

KONCEPCJA ROZRUCHU HYDRAULICZNEGO W LOKOMOTYWACH SPALINOWYCH

Streszczenie

Ze względu na wielkość silników spalinowych oraz ich zastosowanie, spotyka się różne rozwiązania układów rozruchowych. Najbardziej popularny niezależnie od mocy silnika spalinowego jest rozruch elektryczny. Jednak akumulator wykorzystywany jako źródło energii stanowi duże zagrożenie dla środowiska naturalnego. Ponadto miejsca o szczególnym zagrożeniu pożarowym również uniemożliwiają zastosowanie rozruszników elektrycznych w silnikach spalinowych. W celu ograniczenia niebezpieczeństwa możliwe jest zastosowanie rozruchu hydraulicznego, który wykorzystuje energię wysokiego ciśnienia cieczy roboczej. Obecnie powstało już kilka koncepcji rozruszników hydraulicznych, głównie dla maszyn górniczych.

Celem artykułu jest przedstawienie koncepcji rozruchu hydraulicznego silników samochodów lokomotyw, które posiadają instalację hydrauliczną do napędu maszyn pomocniczych.

WSTĘP

Od początku istnienia transportu kolejowego podstawową trakcją na całym świecie była trakcja parowa – stan taki utrzymywał się przez ponad 100 lat. Dopiero pod koniec XIX wieku zaczęły pojawiać się pierwsze pojazdy napędzane silnikami elektrycznymi. Początkowo były to pojazdy o stosunkowo małej mocy, wymagające jednocześnie kosztownej infrastruktury, więc nie były w stanie wówczas wyprzeć trakcji parowej z racji w większości słabo rozwiniętej sieci energetycznej. [9]

W tym samym okresie trwał rozwój silników spalinowych, które dość szybko znalazły zastosowanie w pojazdach samochodowych, jednak ich stosunkowo niska wydajność i moc, jak i też trudności z przeniesieniem napędu spowodowały, że nie stanowiły jeszcze wówczas konkurencji dla napędu parowego w transporcie kolejowym. Zaprezentowany w 1897 roku przez dr. Rudolfa Diesla silnik o wewnętrznym spalaniu okazał się być zawodny i trudny w eksploatacji ze względu na zastosowanie wtrysku za pośrednictwem sprężonego powietrza, który wymagał wielostopniowej sprężarki, która przy ówczesnym poziomie technologii materiałowej ulegała częstym uszkodzeniom i szybkiemu zużyciu. Musiało minąć jeszcze kilkanaście lat, zanim rozwiązano większość problemów. W lżejszych pojazdach, np. wagonach motorowych, można było wykorzystać silniki o zapłonie iskrowym, które sprzęgano z przekładniami mechanicznymi podobnymi do stosowanych w ulicznych autobusach, bądź z przekładniami elektrycznymi, których rozwój stał już wówczas na relatywnie wysokim poziomie, pozwalającym zastosować je w liniowym transporcie. Niemniej pierwsze udane adaptacje silników spalinowych do lokomotyw liniowych zaczęły się pojawiać dopiero w latach 20. XX wieku. [9]

Już na samym początku eksploatacji pojazdów szynowych z napędem spalinowym, powszechnie zaczęto stosować rozruch elektryczny. W nielicznych pojazdach wykorzystywano także rozruch pneumatyczny, jednakże dość szybko został on na wiele lat, poza specjalistycznymi zastosowaniami, zapomniany – wynikało to głównie z faktu łatwości zastosowania rozruchu elektrycznego: w przypadku pojazdów z przekładniami mechanicznymi lub hydraulicznymi sprowadzało się to do zastosowania dodatkowego silnika elektrycznego zasilanego z akumulatorów, natomiast w przypadku pojazdów z przekładnią elektryczną prądu stałego wystarczyło

wykorzystać prądnicę główną jako silnik elektryczny obracający wałem jednostki napędowej. [2, 5, 15]

Przez kilka następujących dekad, poza wyjątkowymi przypadkami, nie widziano potrzeby na stosowanie innego sposobu rozruchu, jedynie w miarę rozwoju techniki pewnym zmianom ulegały elementy układu rozruchowego.

Od lat 90-tych zaczęto zwracać większą uwagę na zagadnienia ekologii, w tym recyklingu akumulatorów, szczególnie szkodliwych dla środowiska ze względu na dużą zawartość metali ciężkich. Z tego też powodu zaczęto szukać alternatywy dla najpopularniejszego rozruchu elektrycznego, wymagającego dla zapewnienia odpowiednio wysokiej mocy rozrusznika akumulatorów o znacznej pojemności. Tym samym do łask zaczął powracać rozruch pneumatyczny, stosowany w wielu współczesnych lokomotywach spalinowych, jak i zaczęto szukać rozwiązań całkowicie nowych. Przykładem takiego rozwiązania jest koncepcja rozruchu hydraulicznego, który wydaje się doskonałym rozwiązaniem dla pojazdów z własną instalacją hydrauliczną, a więc m. in. większości współczesnych spalinowych zespołów trakcyjnych.

1. METODY ROZRUCHU SILNIKÓW SPALINOWYCH W KOLEJNICTWIE

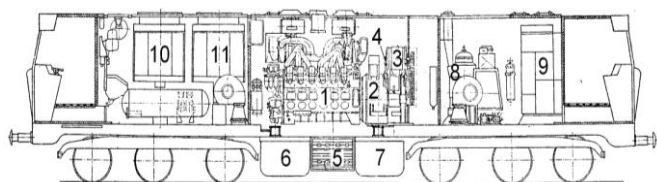
1.1. Rozruch elektryczny

Rozruch elektryczny jest w zasadzie od początku stosowania trakcji spalinowej najpopularniejszym sposobem uruchamiania jednostki napędowej pojazdu. Istotą procesu jest zamiana energii elektrycznej zgromadzonej w akumulatorach na energię mechaniczną na wale silnika spalinowego, którego rozpędzenie do prędkości biegu jałowego umożliwia dalszą samodzielną pracę jednostki. Zależnie od konstrukcji pojazdu, może być realizowany na kilka sposobów:

- rozruch za pomocą prądnicy głównej,
- rozruch za pomocą prądnicy pomocniczej,
- rozruch za pomocą rozrusznika.

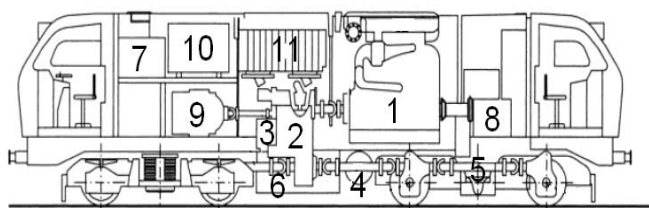
Rozruch za pomocą prądnicy głównej polega na zasilaniu prądnicy głównej lokomotywy energią elektryczną pochodzącą z akumulatorów, dzięki czemu działa ona jak silnik elektryczny obracający wałem silnika spalinowego. Zależnie od rodzaju zastosowanej prądnicy, prąd przepływa do niej bezpośrednio (prądnica prądu stałego – rys. 1) lub przez zespół przekształtnikowy (w przypadku

prądnic prądu przemiennego). Rozwiązanie takie wykorzystywane jest w większości lokomotyw z przekładnią elektryczną. [2]



Rys. 1. Rozmieszczenie głównych urządzeń w lokomotywie spalinowej z przekładnią elektryczną DC-DC typu 301Db (PKP SP45): 1 – silnik spalinowy, 2 – prądnica główna (pełniąca funkcję rozrusznika), 3 – prądnica pomocnicza, 4 – wzbudnica, 5 – skrzynia akumulatorów, 6 – zbiornik paliwa, 7 – zbiornik wody, 8 – kocioł ogrzewczy, 9 – szafa elektryczna, 10, 11 – zespół chłodzący [7]

Rozruch za pomocą prądnicy pomocniczej opiera się na tej samej zasadzie, co w przypadku prądnicy głównej, jednak w tym wypadku rozruch dokonuje się za pomocą aparatury odpowiadającej za zasilanie obwodów pomocniczych lokomotywy. Stosowany był w starszych pojazdach z prądnicą główną prądu przemiennego (np. lokomotywy spalinowe typu 302D – PKP SP47), jak i w lokomotywach z przekładniami hydraulicznymi lub mechanicznymi (np. w lokomotywie BR218 kolei DB – rys. 2). [2, 11]



Rys. 2. Rozmieszczenie głównych urządzeń w lokomotywie spalinowej z przekładnią hydrauliczną serii BR218 kolei Deutsche Bahn: 1 – silnik spalinowy, 2 – przekładnia hydrokinetyczna, 3 – hamulec hydrodynamiczny, 4, 5 – sprzęgła Cardana, 6 – zbiornik paliwa, 7 – skrzynia akumulatorów, 8 – prądnica pomocnicza pełniąca funkcję rozrusznika, 9 – prądnica grzewcza, 10 – szafa elektryczna, 11 – zespół chłodzący [11]

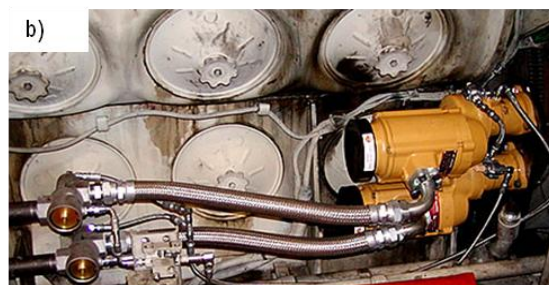
Rozruch za pomocą rozrusznika polega na zastosowaniu silnika prądu stałego z mechanizmem umożliwiającym zazębienie koła zębatego z wieńcem zębatym koła zamachowego silnika. Po uzyskaniu przez silnik prędkości biegu jałowego, przekładnia zostaje rozłączona w celu uniknięcia napędzania rozrusznika przez silnik spalinowy. Rozwiązanie to stosowane jest przede wszystkim w lżejszych pojazdach szynowych, jak np. spalinowe zespoły trakcyjne do ruchu lokalnego serii SA132. [6]

Szczególnym typem rozruchu elektrycznego jest rozruch z wykorzystaniem rozrusznika bezwładnościowego, w którym to silnik elektryczny napędza koło zamachowe rozrusznika, które następnie po osiągnięciu dużej prędkości i dużego momentu poprzez sprzęgło przenosi moment obrotowy na koło zamachowe silnika. Rozwiązanie to stosowano w starszych konstrukcjach lokomotyw z przekładniami mechanicznymi i hydraulicznymi. [9]

Rozruch elektryczny cechuje się wysokim momentem rozruchowym i prostą konstrukcją, jednakże, jak już wspomniano, wymaga zastosowania szkodliwych dla środowiska akumulatorów o znacznej pojemności. Inną wadą jest też podatność układu na niskie temperatury ze względu na spadek pojemności akumulatorów. [1]

1.2. Rozruch pneumatyczny

Rozruch pneumatyczny może być realizowany na dwa sposoby. Pierwszy sposób polega na wtłoczeniu powietrza pod wysokim ciśnieniem do cylindra. Wykorzystywane w tym celu sprężone powietrze pochodzi ze zbiornika głównego napełnianego sprężarką działającą podczas pracy pojazdu. Uzyskiwany duży moment pozwala na szybki rozruch silnika spalinowego. [1]



Rys. 3. Rozrusznik pneumatyczny: a) przekrój rozrusznika Ingersoll Rand ST1000, b) przykład zastosowania rozrusznika w lokomotywie EMD SD70 [10]

Rozruch pneumatyczny był stosowany już w początkach trakcji spalinowej jako alternatywa dla rozruchu elektrycznego – wynika to z dostępności sprężonego powietrza, które jest także wykorzystywane do hamowania. [5]



Rys. 4. Widok lokomotyw wyposażonych w rozruch pneumatyczny: a) lokomotywa EMD SD70Ace, fot. D. Hawkins [8], b) lokomotywa Voith Maxima, fot. D. Meyer [4]

Drugi sposób polega na zastosowaniu rozrusznika pneumatycznego (rys. 3), zbudowanego z turbiny napędzanej sprężonym powietrzem ze zbiornika i przekładni zębatej przenoszącej moment

obrotowy na koło zębate napędzające wieniec zębaty koła zamachowego silnika spalinowego. Wydatną zaletą tego rozwiązania jest możliwość zastosowania go także w starszych konstrukcjach. [10]

Ze względu na tendencję do spadku ciśnienia w zbiorniku, technologia ta z początku nie przyjęła się na większą skalę i stosowana była w zasadzie wyłącznie tam, gdzie niedopuszczalne było iskrzenie obwodów elektrycznych, np. w kopalniach. Obecnie staje się coraz popularniejsza zarówno w lokomotywach z przekładnią elektryczną (np. EMD SD70ACe, rys. 4a), jak i hydrauliczną (np. Voith 40 CC Maxima, rys. 4b) ze względu na niezawodność, łatwość rozruchu w ekstremalnych temperaturach i możliwość ograniczenia dzięki nim liczby akumulatorów montowanych w pojeździe. Problem spadku ciśnienia rozwiązuje się przy tym przez zasilane elektrycznie sprężarki powietrza.

1.3. Rozruch silnikiem pomocniczym

Rozruch silnikiem pomocniczym polega na wykorzystaniu dodatkowego, małego silnika zwykle z zapłonem iskrowym, przymocowanego na stałe do silnika głównego, uruchamianego korbą lub rozrusznikiem elektrycznym (rys. 5). Oba silniki posiadają wspólny układ chłodzenia, co pozwala wstępnie nagrzać jednostkę napędową. Ponadto często stosuje się poprowadzenie kanału wylotowego silnika rozruchowego wewnątrz kanału dolotowego silnika głównego, dzięki czemu powietrze dolotowe jednostki jest już od razu ogrzane. [1]

a)



b)



Rys. 5. Rozrusznik spalinowy (pomocniczym silnikiem): a) widok silnika rozruchowego DT75 KPL PD 10 [13], b) przykład zastosowania silnika rozruchowego [14]

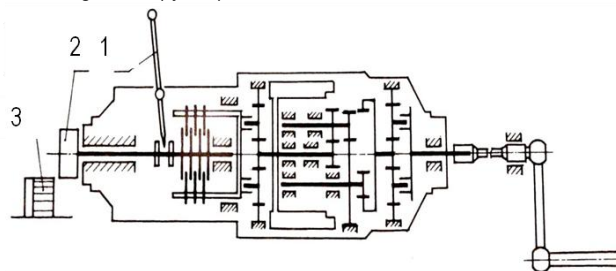
Rozwiązanie to znajdowało zastosowanie przede wszystkim w rejonach, gdzie wymagane było dokonanie rozruchu pojazdu w ekstremalnie niskich temperaturach. Dziś w transporcie kolejowym praktycznie jest już niespotykane.

1.4. Inne metody rozruchu

Oprócz wyżej wymienionych, istnieją także inne sposoby rozruchu silników spalinowych, stosowane na niewielką skalę. Należy do nich rozruch ręczny (za pomocą linki lub korby, którymi obraca się wał silnika), rozruch bezwładnościowy oraz rozruch hydrauliczny.

Ze względu na wielkość silnika kolejowego, rozruch ręczny nie występuje. W przypadku rozruchu bezwładnościowego, spotyka się

go w silnikach agregatowych oraz lotniczych, jednak są to już przypadki marginalne (rys. 6).



Rys. 6. Schemat rozrusznika bezwładnościowego: 1 – dźwignia, 2 – koło zębate rozrusznika, 3 – koło zamachowe silnika [16]



Rys. 7. Widok lokomotywy przemysłowej typu DLP140F stosowanej w kopalniach węgla kamiennego [12]

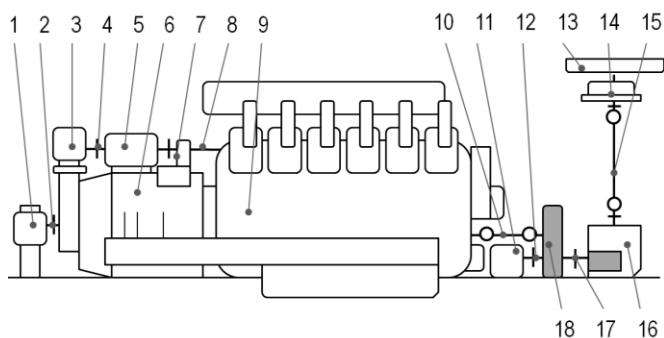
Rozruch hydrauliczny (hydrostatyczny) wykorzystywany jest obecnie właściwie wyłącznie w specjalistycznych pojazdach przemysłowych, jak np. lokomotywach kopalnianych, co przedstawia rysunek 7. Na podstawie [1], stwierdza się, że ten rodzaj rozruchu, może być alternatywnym rozwiązaniem do rozruchu elektrycznego, ze względów środowiskowych i w najbliższych latach może być dalej rozwijany.

2. KONCEPCJA UKŁADU HYDRAULICZNEGO DO ROZRUCHU SILNIKÓW SPALINOWYCH LOKOMOTYW

W lokomotywach z silnikami spalinowymi, poza napędem prądnicą głównej (w przypadku przekładni elektrycznej), konieczne jest przekazanie części momentu obrotowego z jednostki napędowej na urządzenia pomocnicze. Do napędów pomocniczych zalicza się wszystkie urządzenia, które służą do przenoszenia momentu obrotowego z wału silnika spalinowego do urządzeń takich jak: wentylatory chłodnicy, wentylatory silników trakcyjnych i prądnicy głównej oraz elektryczne maszyny pomocnicze.

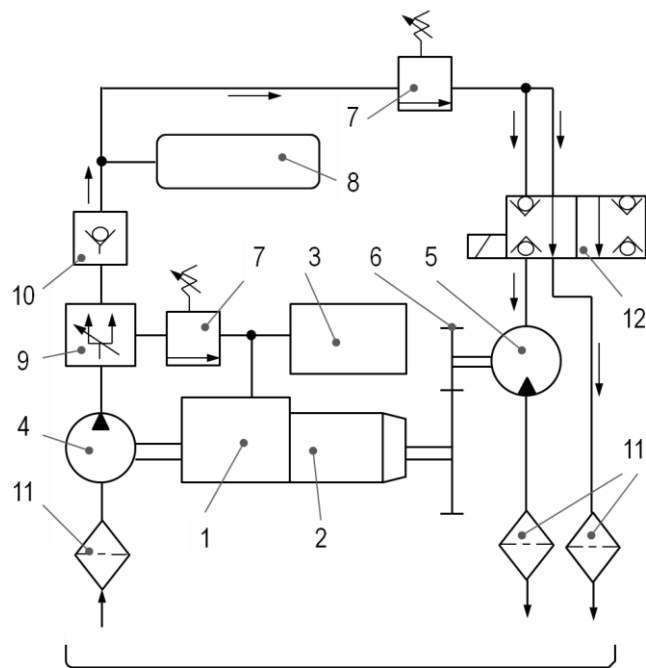
Urządzeniami przenoszącymi moment obrotowy są przekładnie rozdzielcze napędów pomocniczych, sprzęgła stałe i hydrauliczne oraz wały przegubowe. [3]

Na rysunku 8 przedstawiono cały układ napędów pomocniczych z zaznaczonymi miejscami, w których znajdują się pompy olejowe. W przypadku zastosowania rozruchu hydraulicznego, jedną z tych pomp należałoby zastąpić pompą wielotłoczkową w celu zasilania silnika hydraulicznego do uruchomienia silnika lokomotywy.



Rys. 8. Układ napędów pomocniczych [3]: 1 – sprężarka, 2 – sprzęgło półsztywne, 3 – wentylator prądnicy głównej, 4 – sprzęgło półsztywne, 5 – prądnica pomocnicza, 6 – prądnica główna, 7 – przekładnia rozdzielcza, 8 – wał, 9 – silnik spalinowy, 10 – wał przegubowy, 11 – wentylator silników trakcyjnych, 12 – sprzęgło półsztywne, 13 – wentylator chłodnicy, 14 – ułożyskowanie wał, 15 – wał wentylatora, 16 – sprzęgło hydrauliczne z pompą hydrauliczną (kolor szary), 17 – sprzęgło półsztywne, 18 – przekładnia rozdzielcza z pompą hydrauliczną (kolor szary)

Na rysunku 9 przedstawiono schemat instalacji hydraulicznej, który może być przeznaczony do rozruchu silników spalinowych lokomotyw. Jest to zewnętrzny układ, który został połączony z instalacją hydrauliczną napędów pomocniczych lokomotywy.



Rys. 9. Schemat układu hydraulicznego do rozruchu silnika spalinowego, 1 – silnik spalinowy lokomotywy, 2 – prądnica główna, 3 – napęd urządzeń pomocniczych, 4 – pompa hydrauliczna, 5 – silnik hydrauliczny (rozrusznik), 6 – przekładnia zębatą rozrusznika, 7 – zawór przelewowy, 8 – akumulator hydrauliczny, 9 – dzielnik strumienia regulowany, 10 – zawór zwrotny, 11 – filtr olejowy, 12 – rozdzielacz hydrauliczny

W zależności od zapotrzebowania ciśnienie oleju jest kierowane do silnika hydraulicznego, który przenosi moment obrotowy na koło zamachowe silnika spalinowego. Podczas pracy pompy hydraulicznej monitorowane jest ciśnienie oleju w akumulatorze hydraulicznym poprzez przekaźnik ciśnienia. Gdy ciśnienie w akumulatorze hydraulicznym spadnie do określonego poziomu, to następu-

je przesterowanie zaworu suwakowego i doładowanie akumulatora hydraulicznego.

PODSUMOWANIE

Analizując przegląd literaturowy w zakresie rozruchu silników spalinowych stwierdza, że w pojazdach kolejowych, rozruch hydrauliczny nie jest stosowany. Najbardziej powszechnym sposobem uruchamiania silników spalinowych lokomotyw jest rozrusznik elektryczny, realizowany najczęściej przez prądnicę główną. Wynika to z zastosowanej przekładni elektrycznej, która występuje najczęściej w lokomotywach spalinowych (liniowych jak i manewrowych). Rozruch hydrauliczny ze względu na zagrożenie pożarowe coraz częściej występuje w lokomotywach pracujących w kopalniach przy wydobyciu węgla kamiennego.

W przypadku lokomotyw z przekładnią hydrauliczną uzasadnione jest zastosowanie rozrusznika hydraulicznego (hydrostatycznego), ze względu na posiadaną instalację hydrauliczną do przekładni hydrokinetycznej, która rozbudowana będzie o silnik hydrauliczny, akumulator hydrauliczny oraz układ rozdzielczy wraz ze sterowaniem. Również w lokomotywach spalinowych z przekładnią elektryczną, ze względu na posiadany układ napędu maszyn pomocniczych z pompami hydraulicznymi, możliwe jest rozbudowanie instalacji hydraulicznej o dodatkowy zespół. Istotną zaletą stosowania rozruszników hydraulicznych będzie wydłużenie żywotności akumulatorów, co przełoży się pozytywnie na środowisko naturalne i ograniczy ilość odpadów w postaci związków ołowiu, rtęci czy kwasu siarkowego.

BIBLIOGRAFIA

1. Boczula M., Kołodziejki S., Sawczuk W., *Koncepcja rozruchu hydraulicznego silników spalinowych samochodów ciężarowych*. Logistyka 3/2015, Instytut Logistyki i Magazynowania, Poznań 2015.
2. Ćwikła M., Terczyński P., *Lokomotywy spalinowe produkcji HCP serii: SP45, SU46, SP47*. Kolpress, Poznań 2004.
3. Domański E., Ozóg Z., *LOKOMOTYWY SPALINOWE serii ST44*. Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa 1973.
4. Die Voith Maxima 40CC 264 008-4 der Firma Wiebe in Ratingen Tiefenbroich am 24.05.10, www.bahnbilder.de, dostęp: 11.10.2015.
5. Pokropiński B., *Lux-torpeda PKP*. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 2007.
6. PESA Bydgoszcz/Koleje Wielkopolskie, *Dokumentacja Systemu Utrzymania – Autobus szynowy typu 218Ma*. Bydgoszcz 2011.
7. Piątek S., Węcłowski S., Żalopa J., *Lokomotywy spalinowe serii SP45 i SU46*. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 1989.
8. RailPictures.net Photo, *BNSF 9371 at Wichita Falls, Texas, USA*, <http://www.railpictures.net/viewphoto.php?id=140565>, dostęp: 11.10.2015.
9. Ross D., *Encyklopedia: Lokomotywy*. MUZA SA, Warszawa 2005.
10. ST1000 Series Air Starters, *Materiały reklamowe Ingersoll Rand Industrial Technologies 2007*.
11. Steimel A., *Electric Traction – Motive Power and Energy Supply: Basics and Practical Experience*. Oldenbourg Industrieverlag München, Monachium 2008.
12. Strona internetowa: <http://www.cz.all.biz/dulni-lokomotiva-pozemni-dlp140f-dlp140f13t-g9457#.VijHc8vouM>, dostęp: 22.10.2015.
13. Strona internetowa:

<http://agrotrade.home.pl/produkt,2630,850,SILNIK-ROZRUCHOWY-DT75-KPL-----PD10.html>

dostęp:

22.10.2015

14. Strona internetowa: <http://olx.pl/oferta/spych-spycharka-spychacz-dt75-CID5-IDbxFOt.html> dostęp: 22.10.2015
15. Terczyński P., *Atlas lokomotyw 2007*. Kolpress, Poznań 2007.
Wajand J.A, Wajand J.T., *Tłokowe silniki spalinowe średnio- i szybkoobrotowe*. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 2000, Wyd. III.

THE CONCEPT OF RUNNING THE HYDRAULIC SYSTEM IN THE SHAFT OF THE INTERNAL COMBUSTION ENGINE

Abstract

Because of the size of internal combustion engines and their application, there are various solutions systems start-up. The most popular, regardless of the power of the internal combustion engine is the electric starter. However, the battery used as an energy source is a big threat to the environment. In addition, places of special fire hazard is also impossible to use electric starters of internal combustion engines. To reduce the risk can be used to load a hydraulic system, which harnesses the energy of high pressure working fluid. Currently already created a few concepts of hydraulic starter motors, primarily for mining machines.

The purpose of this article is to present the concept of the running hydraulic motors cars, locomotives that have mounting of a hydraulic pump for driving the auxiliary machines.

Autorzy:

inż. **Mateusz Jüngst** – Student specjalności Transport Szynowy na Politechnice Poznańskiej. Tel. +48 504-402-559, Fax. +48 61 665-2204, mateusz.jungst@gmail.com.

mgr inż. **Sławomir Kołodziejski** – AKSA Poland Hydraulika Sławomir Kołodziejski, ul. Unii Lubelskiej 1, 61-249 Poznań. Tel. +48 664-093-902, +48 61 653-1460, slawomir.kolodziejski@aksapoland.pl.

Dr inż. **Wojciech Sawczuk** – Politechnika Poznańska, Wydział Maszyn Roboczych i Transportu, Instytut Silników Spalinowych i Transportu, Zakład Pojazdów Szynowych, 60-965 Poznań, ul. Piotrowo 3, Tel. +48 61 665-2023, Fax. +48 61 665-2204, e-mail: wojciech.sawczuk@put.poznan.pl.