

KOMPUTEROWY MODEL SYSTEMU WSPOMAGAJĄCEGO PROJEKTOWANIE TRANSPORTU BLISKIEGO

COMPUTER MODEL SUPPORT SYSTEM MIDDLE OF TRANSPORTATION PLANNING

Paweł Zając, Stanisław Kwaśniewski – Wydział Mechaniczny, Politechnika Wrocławska

Problem optymalnego doboru wózka widłowego w logistycznym systemie transportu bliskiego dla magazynu sztukowych jednostek paletowych, występuje zarówno na etapie jego projektowania jak i rewitalizacji. Dotychczas zagadnienie to rozwiązuje się w oparciu o deterministycznie określone normy czasowe (dawne normy branżowe PN lub metodykę MTM), praca zawiera teoretyczne podstawy komputerowego modelowania tych zagadnień w systemie ReSolver oraz przykładowe obliczenia dla zadań przemysłowych, z wynikami.

The problem of optimal selection of a forklift truck in logistics handling system for a magazine piece cargo pallet units, occurs both at the stage of design and revitalization. Until this issue is resolved based on a deterministic time-specific standards (former industry standards BS or methodology MTM), the work includes theoretical foundations of computer modeling of these issues in the system resolver, and sample calculations for industrial tasks, the results.

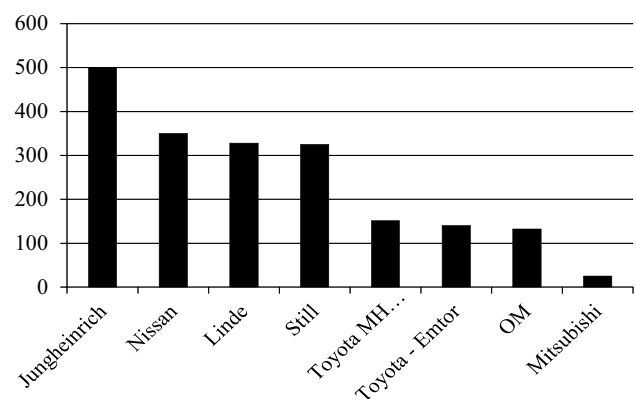
Wstęp

Analizując kryteria wpływające na sprzedaż wózków widłowych można stwierdzić na podstawie przeprowadzonych badań ankietowych, że najczęściej sprzedawanym wózkiem widłowym w Polsce była Toyota (rys. 1). Uwzględniano autoryzowane serwisy poszczególnych marek, z wyjątkiem Toyoty, gdzie uwzględniono Toyota Material Handling Polska Sp. z o.o. oraz Emtor.

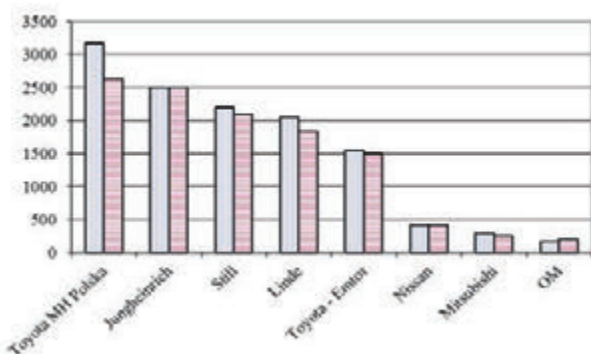
Związane jest to z pewnością z ogólnym kryzysem jaki dotknął gospodarkę w ostatnim czasie. Kupujący próbowali minimalizować koszty zakupu nowego wózka widłowego poprzez zakup wózków używanych. W 2012 roku po raz pierwszy autoryzowani dystrybutorzy przedstawili poziom takiej sprzedaży.

Największą sprzedaż w tym segmencie uzyskał Jungheinrich tj. ok. 20% sprzedaży nowych wózków w tym samym okresie. Bardzo istotnym kryterium decydującym o zakupie wózka jest ilość punktów serwisowych marki, wpływająca na jakość i czas oferowanych usług świadczonych w ramach gwarancji (najwyższe miejsce zajęła Toyota – Emtor rys. 3).

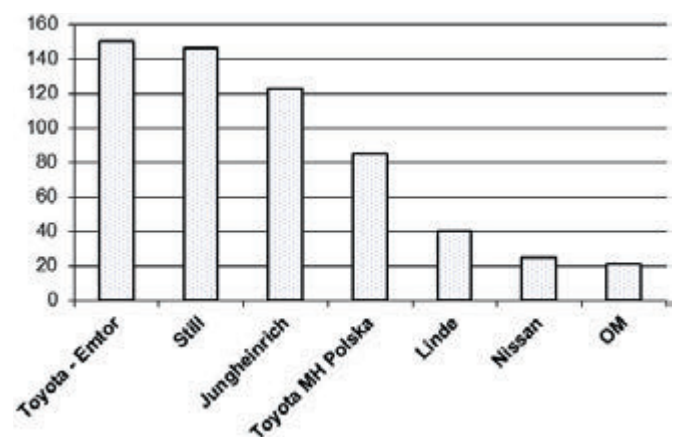
Z przeprowadzonych badań również widać, że kryterium istotnie wpływające na wybór danej marki/typu wózka widłowego są względy pozamerytoryczne, kupujący kierują się reklamą, przyzwyczajeniami etc.



Rys. 2. Sprzedaż wózków używanych przez autoryzowanych dystrybutorów w Polsce [6]



Rys. 1. Sprzedaż wózków nowych w latach 2011-13 w Polsce [6]



Rys. 3. Ilość punktów serwisowych w Polsce [6]

Stan wiedzy

Dotychczasowa metodyka doboru wózków widłowych w systemach logistycznych opierała się przede wszystkim na takich parametrach jak [1, 2, 4, 5, 6]:

- wysokość podnoszenia,
- maksymalny udźwig,
- masa wózka,
- szerokość korytarza roboczego,
- czas cyklu transportowego.

Do obliczenia czasów cykli transportowych dla uniwersalnych wózków widłowych, wykorzystywano zależności (1), (2).

$$t_{CT} = 2t_L + L(t_{VL} + t_{VB}) + t_s + (t_o + t_k + t_{pi}) \quad (1)$$

gdzie: L – długość trasy (w jedną stronę) [m],

t_{VL} – norma czasu jazdy wózka z ładunkiem na 1 m [min/m],

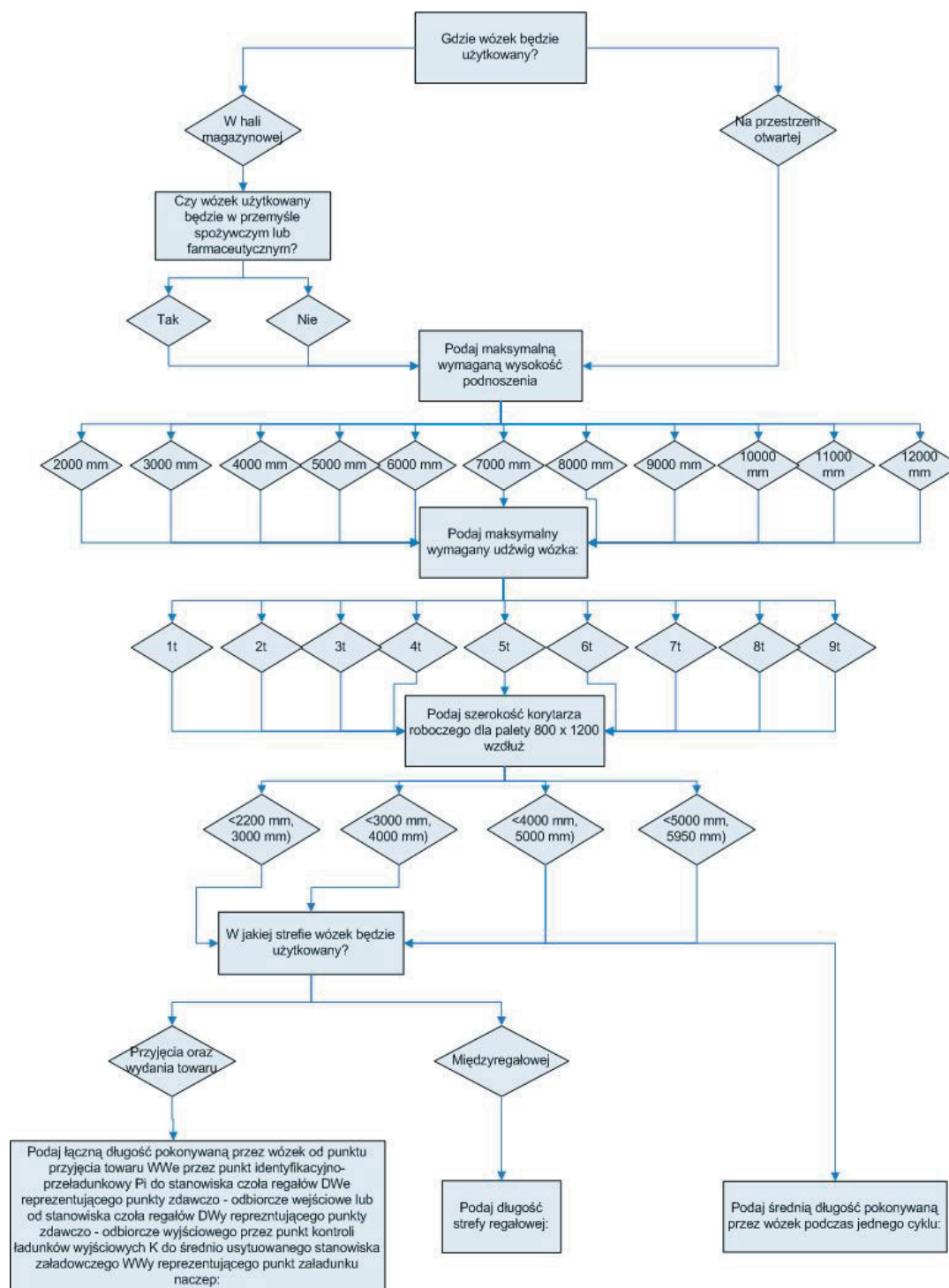
t_{VB} – norma czasu jazdy wózka bez ładunku na 1 m [min/m],

t_s – suma czasów skrętów w czasie jazdy [min],

t_o, t_k, t_{pi} – czasy pracy ręcznej operatora wózka (operacje: kontroli i przekazywania informacji w czasie pracy wózka) [min],

$t_o + t_k + t_{pi} \approx 0,7$,

t_L – średni czas podjęcia i odłożenia ładunku [min].



Rys. 4. Schemat procesu decyzyjnego systemu doradczego część 1 [6]

$$t_L = 2 t_{op} + t_d + t_{wj} + t_g + t_{sz} + t_{wy} \quad (2)$$

gdzie: t_{op} – średnia wartość czasu przyspieszenia i zatrzymania,

t_d, t_g – średnia wartość czasu podnoszenia (opuszczania),

t_{wj}, t_{wy} – czas wjazdu (wyjazdu) widel w paletę,

t_{sz} – czas skrętu z zatrzymaniem.

Obecnie dla wielu przedsiębiorstw czynnikiem istotniejszym od szybkości pracy jest jej koszt eksploatacji, dlatego w systemie doradczym obliczono zużywaną energię przez wózek oraz wskazanie najbardziej ekonomicznego wózka spełniającego zadane kryteria użytkownika.

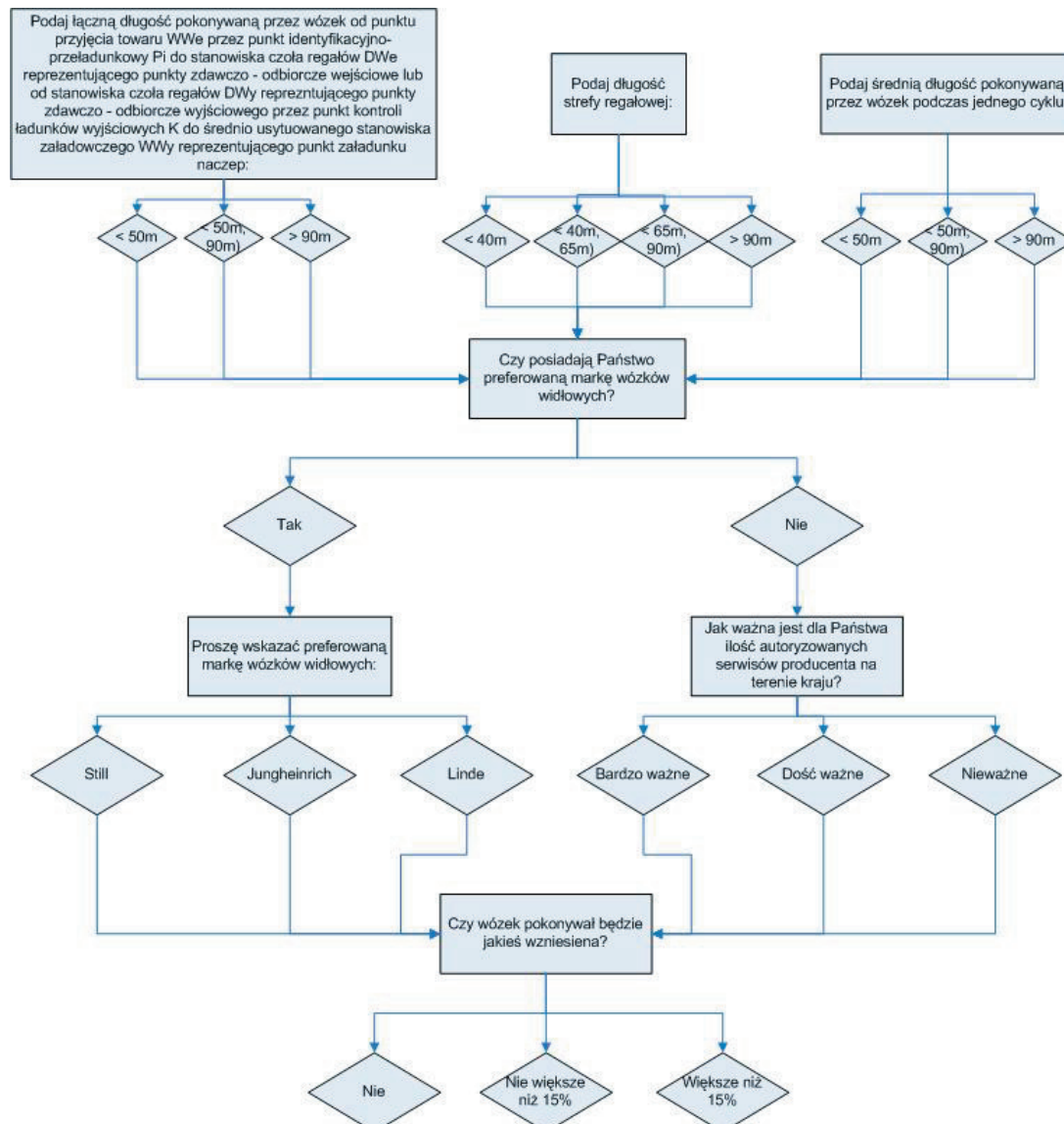
Ponadto można spotkać portale jak np. www.plmtm.com, gdzie osoby zajmujące się doбором wózków oraz ich harmonogramowaniem czasu pracy wymieniają się normami czasowymi dla pewnej grupy przypadków.

System ekspertowy

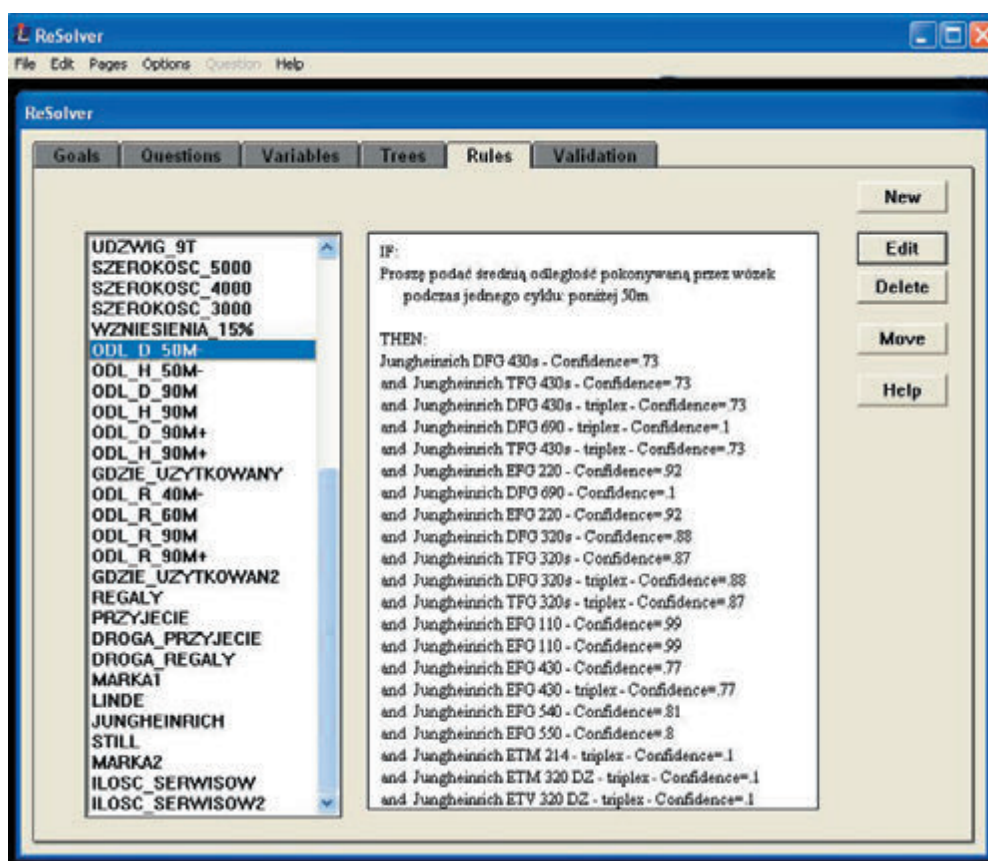
Proces doradczy doboru wózka widłowego przedstawiono na rysunkach 4 i 5, w postaci algorytmu blokowego, który

z uwagi na wielkość i czytelność rysunku podzielono na dwie części.

System doradczy doboru wózków widłowych w systemach logistycznych opracowano w systemie komputerowym ReSolver, użyto poziomu pewności Fuzzy logic (*ang. rozmyta logika*) Fuzzy logic, służąca do analizy systemów zbliżonych do takich, które występują w rzeczywistości tj. oprócz wartości, które powinny zostać automatycznie odrzucone lub przyjęte, wskazuje również wartości pośrednie. Ostateczny wynik bazuje na wartościach liczbowych poszczególnych pytań a progiem wyświetlania jest wartość 0,01. Najważniejszą wartością wpływającą na końcowy wynik jest wartość przyporządkowana każdemu wózkowi w zależności od energochłonności (powiązanej z kształtem 3-D trasy wózka). Energochłonność wózka widłowego obliczono według metodyki „DEKRA – energochłonność wózków widłowych”. Spośród wszystkich otrzymanych wyników wybierano dwa skrajne: tj. największą oraz najmniejszą, którym przypisywano noty – najmniej energochłonny wózek – 0,99 oraz najbardziej – 0,01. Następnie wszystkim pozostałym wózkom przypisywano wartości w sposób proporcjonalny.

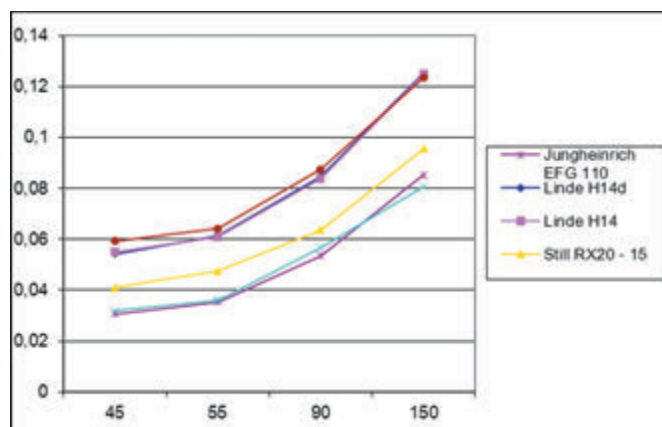


Rys. 5. Schemat procesu decyzyjnego systemu doradczego część 2 [6]



Rys. 6. Przykładowe reguły systemu ekspertowego [6]

Wszystkie wózki, stanowiące bazę wyboru systemu doradczego zbudowano uwzględniając następujące dane: marka-producent, typ, sposób napędu, maksymalną wysokość podnoszenia, maksymalny udźwig, szerokość roboczą korytarza, zdolności pokonywania wzniesień, maksymalną prędkość z ładunkiem, masę własną, maksymalną siłę ciągu. Dla zwiększenia możliwości wyboru systemu doradczego, wózki opisano w wersji: standardowej i z masztami opcjonalnymi. Do obliczeń energochłonności, wózki opisano z przyrostem prędkości o 0,1 km/h. W obliczeniach poszczególnych modeli wartości użyte do porównania zaznaczono kolorem niebieskim. Wybór wózka przeprowadza się na podstawie wykresu zbiorczego wszystkich modeli spełniających zadane kryteria.



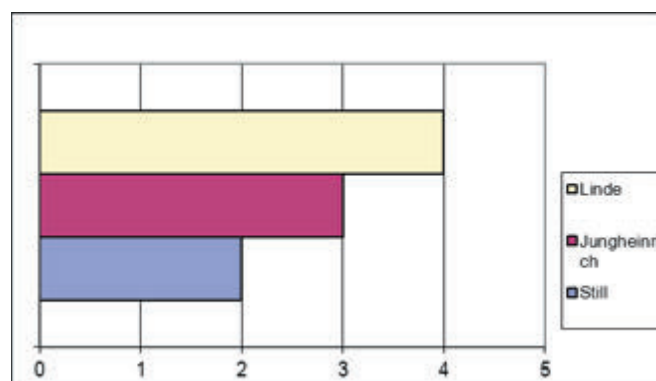
Rys. 7. Przykładowy wykres wszystkich wózków o wymaganym maksymalnym udźwigu 1t

Analiza wyników

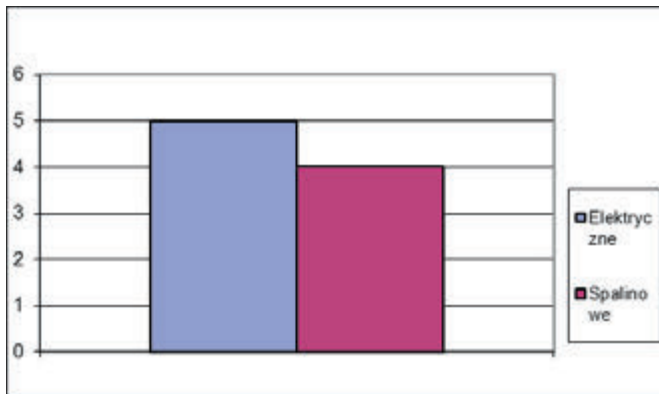
Na początek porównano wózki o najmniejszej energochłonności w swojej kategorii udźwigu (tj. 1 t, 2 t, 3 t, 4 t, 5 t, 6 t, 7 t, 8 t oraz 9 t). Aby na wynik nie wpływały inne czynniki przyjęto maksymalną szerokość korytarza roboczego oraz najmniejszą wymaganą wysokość podnoszenia według DEKR'y.

Spośród dziewięciu porównywanych kategorii w czterech przypadkach wózki tego producenta okazały się lepsze od konkurencji (dla udźwigu: 2 t, 3 t, 4 t oraz 7 t), Jungheinrich w trzech (dla udźwigu 1 t, 8 t oraz 9 t) a Still jedynie w dwóch (dla udźwigu 5 t oraz 6 t). Dużo jednak ważniejszym zestawieniem niż ze względu na markę producenta jest względ na napęd.

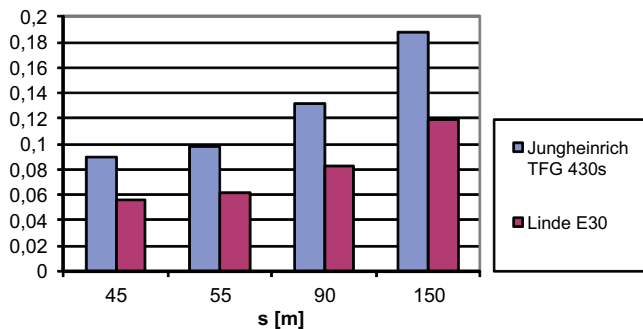
Wyraźnie widać dominację wózków elektrycznych: w pięciu spośród dziewięciu rozpatrywanych przypadków są one mniej



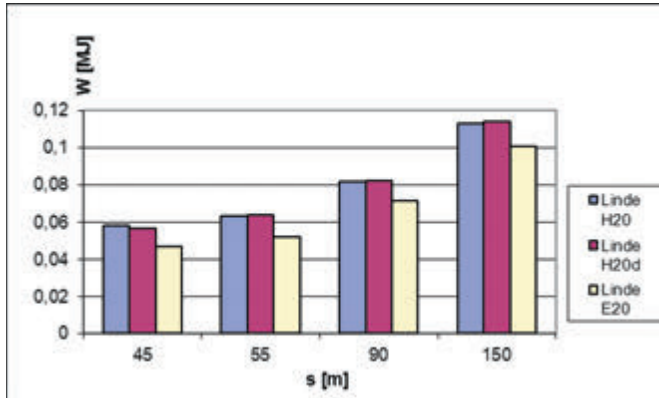
Rys. 8. Porównanie wózków o najwyższej noście i wysokości podnoszenia 2000 mm – wg producentów



Rys. 9. Porównanie wózków o najwyższej nocie i wysokości podnoszenia 2000 mm – wg napędu



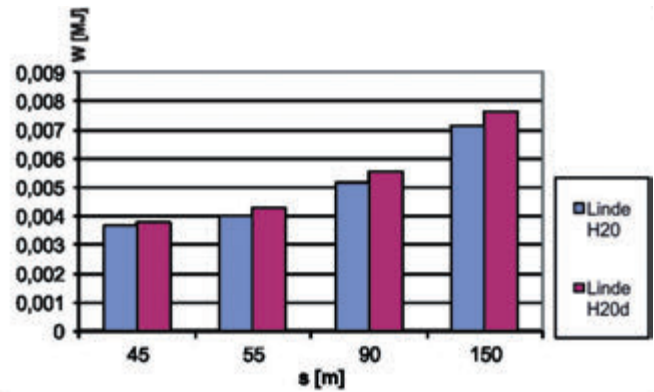
Rys. 10. Porównanie zużycia energii najmniej energochłonnych wózków o napędzie elektrycznym – Linde E30 oraz spalinowym – Jungheinrich TFG 430s o udźwigu 3



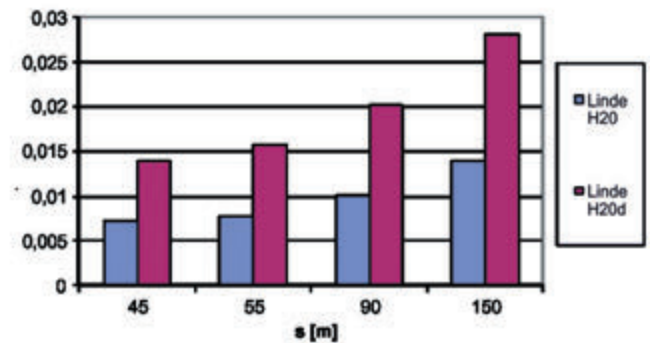
Rys. 11. Porównanie zużycia energii najmniej energochłonnych wózków o napędzie elektrycznym – Linde E20 oraz spalinowym: gazowym – Linde H20 oraz z silnikiem wysokoprężnym – Linde H20d o udźwigu 2

energochłonne od spalinowych. Warto również zauważyć, że wszystkie pierwsze miejsca wózków spalinowych są dla udźwigów 6 t, 7 t, 8 t oraz 9 t, czyli dla takich dla których wózki elektryczne już nie występują! Wynika z tego jasno, iż w każdym przypadku porównania wózka elektrycznego ze spalinowym o tym samym udźwigu, ten pierwszy pokonując taką samą trasę zużywa mniej energii.

Aby podkreślić różnicę, poniżej przedstawiono najmniej energochłonne wózki obu napędów wraz z pokonywaną drogą. Przykładem będą wózki o udźwigu 3 t: z napędem elektrycznym – Linde E30 oraz z napędem spalinowym – Jungheinrich TFG 430s.



Rys. 12. Zużycie paliwa wózka spalinowego gazowego – Linde H20 oraz z silnikiem wysokoprężnym – Linde H20d



Rys. 13. Porównanie kosztów zużywanego paliwa wózka spalinowego gazowego – Linde H20 oraz spalinowego z silnikiem wysokoprężnym – Linde H20d

W kolejnym kroku jest rozdzielenie najmniej energochłonnych wózków spalinowych na gazowe oraz z silnikiem wysokoprężnym, a następnie przyrównanie ich do najmniej energochłonnego wózka elektrycznego. W wielu przypadkach jest to utrudnione z powodu prezentacji danych o nich przez firmy, gdyż producenci często wózki spalinowe opisują wspólnie i ich energochłonność jest taka sama. Do przedstawienia odmienności wszystkich trzech rodzajów napędów wykorzystano wózki dwutonowe: elektryczny – Linde E20 oraz spalinowy: gazowy – Linde H20 oraz z silnikiem wysokoprężnym – Linde H20d.

Przedstawiony wykres pokazuje, iż w przypadku wózków o mniejszym udźwigu różnice w zużyciu energii pomiędzy najmniej energochłonnym wózkiem elektrycznym a spalinowym nie są już tak znaczne jak miało to miejsce poprzednio. Widać również także, że wartości zużycia energii przez wózki spalinowe gazowe są bardzo zbliżone do tych z silnikiem Diesla. Aby jednak podkreślić różnicę pomiędzy tymi rodzajami wózków obliczone zostało również ich teoretyczne zużycie paliwa.

Z powyższego wykresu wyraźnie wynika ogromna różnica w kosztach paliwa na korzyść wózków zasilanych LPG. W omawianym przypadku koszt oleju napędowego jest niemalże dwukrotnie większy niż gazu!

Porównanie to jednak opiera się przede wszystkim na założonej sprawności (35%) dlatego wyniki mogą częściowo odbiegać od rzeczywistości, aczkolwiek przy aż tak znacznej różnicy można zaryzykować stwierdzenie, iż wózki gazowe są zdecydowanie tańsze w eksploatacji niż wózki z silnikiem Diesla.

Podsumowanie

Wyniki otrzymane pozwalają stwierdzić, że:

1. Pod względem energochłonności zdecydowanie najkorzystniej przedstawiają się wózki elektryczne. W porównaniu do, wciąż najpopularniejszych w naszym kraju, wózków spalinowych przy jednakowym udźwigu pobierają one nawet do 60% energii mniej. Dodając do tego odzysk energii podczas hamowania – dochodzący do 10% całkowitej zużywanej energii - oraz znaczną różnicę w negatywnym oddziaływaniu na środowisko, wózki akumulatorowe absolutnie przodują na obecnym rynku wózków widłowych. Koszt
2. Spośród wózków spalinowych stosowanych obecnie, korzystniej przedstawiają się wózki zasilane gazem LPG niż z silnikiem wysokoprężnym. W większości przypadków zużywają one mniej energii niż ich odpowiedniki z silnikiem Diesla, jednak ogromną różnicę widać dopiero w koszcie użytkowania obu pojazdów, gdyż koszt paliwa jest niemal dwukrotnie niższy.

Literatura

- [1] Dudziński Z., Kizyn M., „Vademecum gospodarki magazynowej” Zdzisław Dudziński, Michał Kizyn Ośrodek Doradztwa i Doszkalania Kadr, Gdańsk 2002
- [2] Fijałkowski J., „Transport wewnętrzny w systemach logistycznych”, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej 2000
- [3] Korzeń Z., „Logistyczne systemy transportu bliskiego i magazynowania – Tom I”, Biblioteka Logistyka 1998
- [4] Korzeń Z., „Logistyczne systemy transportu bliskiego i magazynowania – Tom II”, Biblioteka Logistyka 1998
- [5] Sauter T., „Maszyny i urządzenia transportu wewnętrznego”, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1976
- [6] Wesseli P., „Opracowanie systemu doradczego do optymalnego doboru wózków widłowych w systemach logistycznych”, Praca nie publikowana Politechnika Wrocławska, Wrocław, 2009

