

Paweł ZAJĄC¹

METODOLOGIA DOBORU WÓZKÓW DIS-2 Z UWZGLĘDNIENIEM ENERGOCHŁONNOŚCI

Omówiono problematykę doboru elementów techniki składowania drive-in na przykładzie DIS-2 (www.jungheinrich.com), zawierającą elementy optymalizacji z uwzględnieniem energochłonności systemów transportu bliskiego i składowania. Opisano model pozwalający tę analizę przeprowadzać. Zaprezentowano wyniki obliczeń dla rzeczywistych systemów magazynowych.

METHODOLOGY FOR SELECTION OF DIS-2 TRUCKS INCLUDING ENERGY CONSUMPTION

Discusses the problems of selection of the technical elements of the storage drive-in on the example of the DIS-2 (www.jungheinrich.com), containing the optimization of the energy consumption of materials handling systems and storage. Described model to perform this analysis. Presents the results of calculations for real storage systems.

1. WSTĘP

W systemie głębokiego składowania DIS (drive-in-system) palety transportowane są w kanałach za pomocą samojezdnej karetki widel, która porusza się w głąb danego kanału (poziomu) składowania. Pozwala to wykorzystać powierzchnię dostępną w magazynie, ponieważ można zaprojektować mniej korytarzy roboczych, a więcej miejsc paletowych. System zapewnia duże wypełnienie regałów przy bardzo zróżnicowanej ilości składowanych artykułów, na poziomie 95% (rys. 1).

Obszar zastosowania systemu DIS jest podobny jak dla regałów wjezdnych i przejezdnych. Z tą jednak różnicą, że zdolność przeładunkowa systemu DIS jest o wiele wyższa a konieczność składowania jednorodnych artykułów ogranicza się tylko do jednego poziomu w kanale. Typowe zastosowanie to: mroźnie, przyprodukcyjne magazyny buforowe oraz magazyny dystrybucyjne.

System DIS może być obsługiwany przez każdy wózek widłowy z karetką FEM, przy czym jeden wózek może obsługiwać kilka samojezdnych karetek. Wózek widłowy i „transporter” nie są ze sobą złączone na stałe. Transporter posiada własny akumulator, co czyni go niezależnym od wózka widłowego, który jest tylko jego nośnikiem.

¹Politechnika Wroclawska, Wydział Mechaniczny, 50-371 Wrocław, ul. I. Łukasiewicza 7/9,
pawel.zajac@pwr.wroc.pl



Rys.1 – System DIS-2.

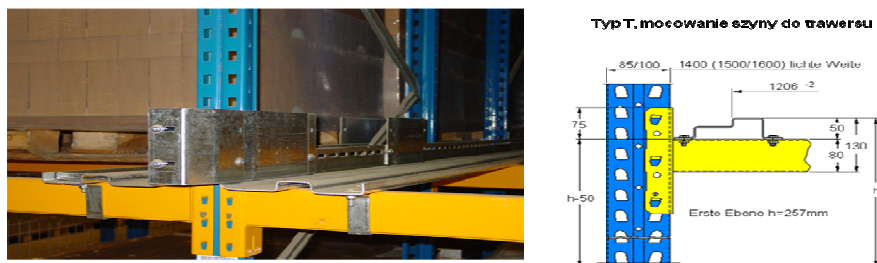
2. OPRACOWANIE METODOLOGII DOBORU WÓZKÓW Z KARETKAMI SAMOJEZDNYMI

System DIS-2 jest opatentowanym rozwiązaniem oferowanym na rynku przez koncern Jungheinrich. Stosuje się, gdy w magazynie występuje co najmniej 10 palet z jednym artykułem, składowanie odbywa się z wykorzystaniem szarż oraz gdy nie jest wymagany dostęp do pojedynczej palety. Podstawą systemu są regały umożliwiające głębokie składowanie. Regały te obsługiwane są przez wózki widłowe (np. wózki widłowe wysokiego składowania z wysuwnym masztem, wózki systemowe) wyposażone w karetkę FEM oraz karetki samojezdne. Zazwyczaj jeden wózek pracuje z 3÷4 karetkami.

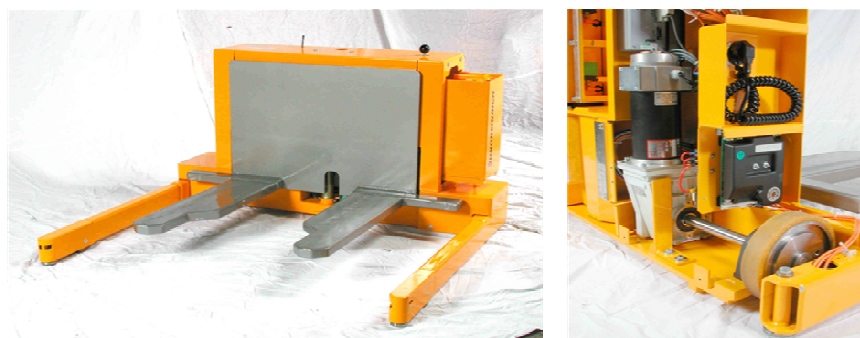
Karetki samojezdne są montowane na specjalnym bolcu umieszczonym na karetkce FEM. Praca karetki samojezdnej w korytarzu jest sterowana za pomocą terminali radiowych.

Wózek widłowy z zamontowaną karetką samojezdną pobiera paletę. Odstawia ją do stosownego korytarza regałowego. Następnie za pomocą terminala, uruchamia mechanizm karetki samojezdnej, która odwozi paletę do końca regału lub do ostatniej palety umieszczonej już w regale. Następnie karetkka wraca i jest odbierana przez wózek widłowy i może wykonywać kolejne operacje. W międzyczasie wózek widłowy może obsługiwać inne karetki samojezdne w innych korytarzach.

Podobnie wygląda mechanizm pobierania palet z korytarza. Pusta karetkka odstawiana przez wózek na końcu korytarza i uruchamiana za pomocą terminala przez operatora wózka widłowego. Karetkka dojeżdża do ostatniej umieszczonej w korytarzu palety, pobiera ją i wraca na początek korytarza. Karetkę samojezdną wraz z paletą pobiera wózek widłowy i transportuje w miejsce przeznaczenia.



Rys. 2 – Sposób mocowania szyn dla wózek DIS-2 do trawersów regału (zdjęcie i schemat).



Rys. 3. Karetka samojezdna DIS-2 (widok z przodu i przekrój).



Rys. 4. Sposób mocowania karetki samojezdnej DIS-2 na karetkę wózka widłowego.

Systemy DIS-2 buduje się w dwóch opcjach: FIFO (regaly są z obu stron otwarte, z żadnej nie zamyka ich np. ściana) i FILO (dostęp do korytarzy jest tylko z jednej strony; końcówki korytarzy zazwyczaj „zamyka” ściana).

Karetki samojezdne, podobnie jak wózki widłowe, mogą być wyposażone w systemy bocznej wymiany baterii oraz szybkie prostowniki (nawet z czasem ładowania poniżej 6h). Umożliwia to szybką wymianę baterii wyczerpanej i zamontowanie pełnej. Jest to szczególnie ważne w przypadku, gdy wózki muszą pracować na 2, a nawet 3 zmiany. Koszt uzbrojenia wózka i karetek w system bocznej wymiany oraz szybkie prostowniki i dodatkowe baterie jest dużo niższy od zakupu dodatkowych urządzeń (wózków i karetek samojezdnych) bez ww. systemu.

W razie potrzeby możliwe jest też zamontowanie na karetkę wózka widłowego „normalnych” widel.



Rys. 5. Wózek przystosowany do obsługi systemu DIS-2, wyposażony w „normalne” widły.

Podstawowe zalety systemu DIS-2: stopień wypełnienia regałów do 90% - obniżenie kosztów w przeliczeniu na wykorzystywane miejsce paletowe; prosta i bezpieczna obsługa; wydajność do 40 palet na godzinę na pojazd; możliwość składowania różnych typów palet; retraki, wózki systemowe i wózki z przeciwwagą mogą stanowić „bazę” dla samojezdnej karetki widel. Wadą systemu jest to, że opłaca się go zastosować dopiero w przypadku magazynu mieszczącego powyżej 500 miejsc paletowych. Projektuje się te magazyny najczęściej w dwóch przypadkach: mają magazyn, którego nie chcą rozbudowywać, ale pojemność regałów jest niewystarczająca. System DIS-2 ze względu na swoją specyficzną budowę może zwiększyć wykorzystanie powierzchni, w zależności od wcześniej zastosowanego systemu, o 20% i więcej; budują magazyn, w których na niewielkiej powierzchni ma się zmieścić jak najwięcej palet, ale palety te są jednorodne i nie ma potrzeby dostępu do pojedynczej palety (sytuacja taka występuje zwłaszcza w mroźniach, ponieważ koszty mrożenia są bardzo wysokie).

Ze względu na swoją specyfikę, system DIS-2 najczęściej wykorzystywany jest w mroźniach. Właścicielom mroźni najczęściej zależy na tym, aby na jak najmniejszej powierzchni zmagazynować jak najwięcej palet. Ważny jest również wysoki współczynnik możliwości wypełnienia regałów.

Zazwyczaj w takich warunkach stosuje się regały wjazdne lub przejezdne. Mają one o ok. 20% niższy współczynnik możliwości wypełnienia regałów paletami. Innym, alternatywnym rozwiązaniem, są regały przepływowe lub regały przesuwne. Mają one ciekawe współczynniki możliwości wypełnienia regałów (nawet 98%). Niestety, jest to bardzo drogie rozwiązanie.

Dodatkową przewagą systemy DIS-2 nad tradycyjnymi regałami wjazdnymi jest fakt, iż w regałach DIS-owych można składować także palety w przewieszaniach. Nie ma zaś możliwości umieszczenia takiej palety w regale wjazdnym lub przejezdnym.

Co więcej, regały stosowane w systemie DIS-2 są dużo sztywniejsze od regałów wjazdnych i przejezdnych. Skutkuje to tym, że są one bezpieczniejsze dla użytkownika.

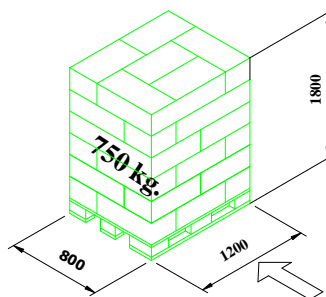
Ważną cechą system DIS-2 jest fakt, iż dany asortyment może zajmować np. tylko jeden poziom, natomiast w przypadku regałów wjazdnych wszystkie korytarze w danym pionie muszą być wypełnione tym samym asortymentem. DIS-y można stosować w przypadku, gdy mamy większą różnorodność towarów do składowania.

3. METODOLOGIA DOBORU WÓZKÓW Z UWZGLĘDNIENIEM ENERGII KINETYCZNEJ

Powyżej przedstawiono klasyczny sposób dobierania wózków widłowych. Jednak w dobie oszczędności energii przedstawiono metodę doboru uwzględniającą kryterium energochłonności systemu magazynowego.

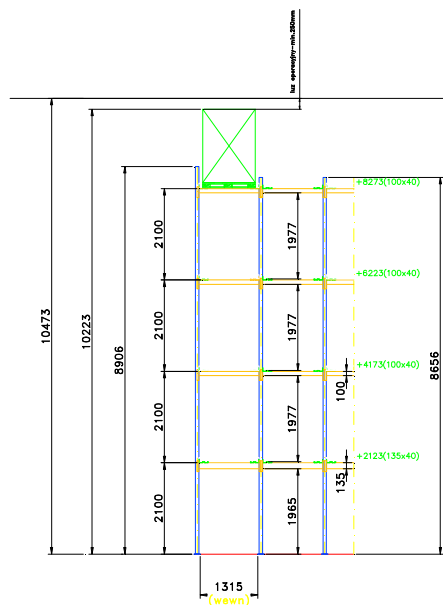
Rozpatrzmy to na przykładzie poniższego magazynu. Jest to chłodnia w magazynie centralnym jednej z polskich sieci handlowych. Regały zaprojektowano na 10870 miejsc paletowych, jednak, zgodnie ze specyfiką systemu DIS-2, wykorzystywane są tylko 9783 miejsca paletowe.

Jednostka ładunkowa ma wymiary 800 x 1200 x 1800 [mm]. Masa własna wraz z paletą to 750kg. Składowanie odbywa się na 5 poziomach (0 + 4). Całkowita wysokość składowania (ostatnia belka półki regału) to 8400 mm.



Rys. 6. Jednostka ładunkowa wykorzystywana w prezentowanym rozwiązaniu.

Gdybyśmy chcieli zastosować tutaj klasyczne rozwiązanie (wózki wysokiego składowania i regały wjazdne), potrzebowalibyśmy 8 szt. wózków i musielibyśmy zwiększyć powierzchnię lub wysokość składowania (ponieważ regały wjazdne pozwalają na wykorzystanie jedynie 70% powierzchni, potrzebowalibyśmy magazyn zaprojektowany na 13976 miejsc paletowych).



Rys. 7. Schemat wykorzystanego regału z zastosowaniem systemu DIS-2.

W projekcie uwzględniono wózki ETV 214 i to ich parametry będą wykorzystywane w wyliczeniach. Biorąc pod uwagę samą energię kinetyczną wózków widłowych mamy: Korzystamy z klasycznego równania ruchu (1) (pomijamy tylko opory ruchu, gdyż nie mają one znaczącego wpływu na wyniki).

$$E_k = \left(0,15 \cdot \frac{V}{10}\right) \cdot G_w + 150 \cdot \chi + 3,5 \cdot \frac{V^2}{10}, \text{ gdzie:} \quad (1)$$

E_k - energia kinetyczna;

G_w - masa wózka;

V - prędkość;

χ - ilość osi wózka.

Dane dla wózka ETV 214:

$G_w = 3150$ kg (bez ładunku) lub 3900 kg (z ładunkiem);

$$V = 14 \frac{km}{h} = 3,89 \frac{m}{s} ;$$

$$\mathcal{X} = 2.$$

Dla wózka bez ładunku mamy:

$$E_{k_{ab}} = \left(0,15 \cdot \frac{3,89}{10} \right) \cdot 3150 + 150 \cdot 2 + 3,5 \cdot \frac{3,89^2}{10} = 489,10J$$

Dla wózka jadącego z paletą:

$$E_{k_{bz}} = \left(0,15 \cdot \frac{3,89}{10} \right) \cdot 3900 + 150 \cdot 2 + 3,5 \cdot \frac{3,89^2}{10} = 532,86J$$

Gdy zsumuje się energię dla wszystkich 8 wózków otrzymamy: dla wózków bez ładunku:

$$E_{k_{c1ab}} = 8 \cdot 489,10J = 3912,80J$$

dla wózków jadących z paletą: $E_{k_{c1bz}} = 8 \cdot 532,86J = 4262,88J$

W tym samym magazynie można stosować wózki ETV 214 z karetkami samojezdnymi w systemie DIS-2. Wówczas wystarczą 3. wózki ETV 214 i 8 karetek samojezdnymi do nich. Parametry wózków ETV 214 nie ulegną zmianie, zatem i energia kinetyczna nie ulegnie zmianie. Ze względu na mniejszą ilość zastosowanych wózków zmniejszy się tylko suma ilości wózków.

Dla wózków bez ładunku:

$$E_{k_{c2ab}} = 3 \cdot 489,10J = 1467,30J$$

Dla wózków jadących z paletą:

$$E_{k_{c2bz}} = 3 \cdot 532,86J = 1598,58J$$

Dane dla wózków DIS-2:

$$G_w = 440 \text{ kg (bez ładunku) lub } 1190 \text{ kg (z ładunkiem);}$$

$$V = 0,14 \frac{km}{h} = 0,4 \frac{m}{s} ;$$

$$\mathcal{X} = 1.$$

Dla wózka DIS-2 bez ładunku mamy:

$$E_{k_{ab}} = \left(0,15 \cdot \frac{0,04}{10} \right) \cdot 440 + 150 \cdot 1 + 3,5 \cdot \frac{0,04^2}{10} = 150,26J$$

oraz suma dla wszystkich 8 szt.

$$E_{k_{c2ab}} = 8 \cdot 150,26J = 1202,08J$$

Dla wózka DIS-2 jadącego z paletą:

$$E_{K_{bz}} = \left(0,15 \cdot \frac{0,04}{10} \right) \cdot 1190 + 150 \cdot 1 + 3,5 \cdot \frac{0,04^2}{10} = 150,71J$$

oraz suma dla wszystkich 8 szt.

$$E_{K_{z,bz}} = 8 \cdot 150,71J = 1205,68J$$

Sumując energię potrzebną do przejazdów wózków wykorzystanych w projekcie (3 wózki ETV 214 i 8 karetek DIS-2) otrzymuje się:

Wózki bez ładunku:

$$E_{K_{z,bz}} = 1202,08J + 1467,30J = 2669,38J$$

Wózki z ładunkiem:

$$E_{K_{z,bz}} = 1205,68J + 1598,58J = 2804,26J$$

Bez problemu możemy teraz policzyć różnice energii pomiędzy wykorzystaniem samych wózków wysokiego składowania a systemem DIS-2.

$$\Delta E_{K_b} = 3912,80J - 2669,38J = 1243,42J \text{ (wózki bez ładunku)}$$

$$\Delta E_{K_z} = 4262,88J - 2804,26J = 1458,62J \text{ (wózki z ładunkiem)}$$

Widać wyraźnie, że stosując system DIS-2 oszczędność wynosi niemal 1,5 kJ.

3. ALTERNATYWNE ROZWIĄZANIA

Na rynku jest dostępnych kilka podobnych do omawianego systemu DIS-2 rozwiązań. Najpopularniejszy i najstarszy na rynku jest produkt firmy BT: BT Radioshuttle. Na nim wzorowane są pozostałe rozwiązania. Podstawowe różnice: w systemie BT Radioshuttle nie występują karetki samojezdne; zostały one zastąpione wózekkami, na których w korytarzu regałowym umieszczana jest paleta; nie ma możliwości jednoczesnego transportowania wózekka BT Radioshuttle wraz z paletą; umieszczenie zatem palety w korytarzu regałowym wymaga dwóch kursów wózka widłowego; regały przystosowane do BT Radioshuttle są droższe od regałów mogących obsłużyć DIS-2, z punktu widzenia kryterium energochłonności jest wysoce niekorzystne.

Oprócz BT, podobne systemy oferuje np. ISL – Pallet Mole czy Nedcon – Pallet Shuttle.

Analiza ekonomiczna:

Systemami, których używa się „zamiennie” z omawianym systemem DIS-2 są:

- konkurencyjny BT RadioShuttle;
- regały wjezdne;
- regały przepływowe;
- regały przesuwne.

Poniżej (Tab. 1) porównanie kosztów dla ww. systemów regałowych i obsługujących je wózków widłowych. Poza BT, do pozostałych systemów użyto regałów i wózków marki Jungheinrich.

Tabela 1 – Zestawienie kosztów uwzględniające różne rozwiązania dostępne na rynku.

| | DIS-2 | BT Radio Shuttle | Regały wjazdne | Regały przepływowe | Regały przesuwne |
|--|--------|------------------|----------------|--------------------|------------------|
| Pojemność MP | 2 520 | 2 520 | 2 100 | 2 040 | 2 160 |
| Stopień wypełnienia % | 90 | 90 | 70 | 98 | 98 |
| Wykorzystane MP | 2 268 | 2 268 | 1 470 | 1 999 | 2 117 |
| € / MP | 56 | 64 | 46 | 127 | 117 |
| € Pojazdy | 56 240 | 56 240 | 33 240 | 33 240 | 33 240 |
| Inwestycja./wykorz.M.P. | 87 | 96 | 88 | 146 | 135 |
| Koszty magazynu 1m ² = € 610 | 247 | 247 | 381 | 280 | 265 |
| Koszt inwest./MP | 334 | 343 | 469 | 426 | 400 |

Z powyższego zestawienia widać, że, ze względu na konstrukcję, na tej samej powierzchni, najwięcej palet może pomieścić system DIS-2 i jego odpowiednik, np. BT Radioshuttle. Pozostałe systemy, czyli regały wjazdne, regały przepływowe i regały przesuwne, mogą pomieścić o ok. 400 palet mniej.

Kolejnym czynnikiem, który musimy wziąć pod uwagę jest współczynnik procentowy mówiący w jakim stopniu dany system może być wypełniony. Jak widać najkorzystniej wypadają tu regały przepływowe oraz regały przesuwne. Najgorzej zaś wypada najpopularniej stosowany system – regały wjazdne.

Kolejnym ważnym czynnikiem jest koszt inwestycji w pojedyncze miejsce paletowe. Najtaniej kosztuje zbudowanie jednego miejsca paletowego w regałach wjazdnych. Niewiele droższe są systemy regałowe pod DIS-2 oraz BT Radioshuttle. Nieporównywalnie droższe są zaś regały przepływowe i regały przesuwne. Wynika to z ich bardziej skomplikowanej konstrukcji.

Dla celów powyższego porównania zakładamy iż koszty wózków widłowych zastosowanych w systemie DIS-2 i w systemie BT Radioshuttle są takie same. Taki sam poziom kosztów wózków widłowych zakładamy również dla rozwiązań klasycznych: regałów wjazdnych, przepływowych i przesuwnych. Koszt zakupu wózków pracujących w regałach wjazdnych, przepływowych i przesuwnych jest niższy od wózków stosowanych w systemach DIS-2 oraz BT Radioshuttle – DIS-2 oraz BT Radioshuttle wymaga wyposażenia wózków widłowych w karetki samojezdne (DIS-2) lub wózczyki, na których umieszczana jest paleta w korytarzu regałowym (BT Radioshuttle).

Aby porównanie było miarodajne, musimy jeszcze wziąć pod uwagę koszty zbudowania hali, w której wybrany system zostanie zamontowany.

Podsumowując wszystkie koszty potrzebne do zbudowania magazynu wraz systemem regałowym oraz wózkami widłowymi niezbędnymi do obsługi ww. regałów, najtaniej wychodzi zamontowanie systemu DIS-2.

4. WNIOSKI

Omówiony system, DIS-2, ma swoje zastosowanie w większych magazynach (powyżej 500 miejsc paletowych). Idealnie sprawdza się w mroźniach, gdzie, ze względu na wysokie koszty mrożenia, ważne, aby na jak najmniejszej powierzchni umieścić maksymalnie dużo palet. System ten ma korzystny (90%) współczynnik wypełnienia miejsc w regale., co wpływa na zmniejszenie powierzchni składowania oraz koszty związane z utrzymaniem magazynu.

Również analiza energetyczna wykazała, iż użycie systemu głębokiego składowania jest korzystniejsze i pozwala zmniejszyć energochłonność przejścia przez magazyn jednej jednostki paletowej.

System ten wypada również korzystnie w porównaniach cenowych (najczęściej porównuje się go do składowania w regałach wjezdnych).

Aby zwiększyć efektywność wykorzystania DISów, często stosuje się także różne systemy zarządzania magazynem, które podają operatorowi dokładną informację gdzie ma zostać odłożona dana paleta, którą ma pobrać w następnej kolejności. Systemy te służą optymalizacji pracy i wpływają na znaczne skrócenie przejazdów wózków widłowych.

5. LITERATURA

Referat powstał na podstawie nie publikowanej pracy: Sadowska J.: „Możliwości wykorzystania wózków widłowych z karetkami samojezdnymi w magazynie wysokiego składowania, na przykładzie firmy Jungheinrich” Politechnika Wrocławska, Wrocław, 2011.