

KRZEMIŃSKI Michał, KOZŁOWSKI Piotr

ORGANIZACJA ROBÓT WYKOŃCZENIOWYCH W GALERII HANDLOWEJ

Streszczenie

W artykule zaprezentowano możliwość wykorzystania programu komputerowego KASS v.1.0 dla potrzeb szeregowania zadań w robotach wykończeniowych obiektu galerii handlowej. Zadanie szeregowania zadań ma na celu ustalenie optymalnej kolejności przechodzenia brygad pomiędzy poszczególnymi działkami roboczymi. Program KASS pozwala na wykonanie optymalizacji w oparciu o przegląd zupełny rozpatrywanych wariantów.

WSTĘP

Celem artykułu jest przedstawienie koncepcji optymalizacji harmonogramu prac wykończeniowych w obiekcie galerii handlowej, jest to jeden z elementów mogących znaleźć swoje zastosowanie w metodzie BIM [2]. Założono, że na każdej działce roboczej tj. pawilonie handlowym, w jednym czasie może pracować tylko jedna brygada. Kolejność prac poszczególnych brygad na działce roboczej jest z góry określona, co jest spowodowane potrzebą zachowania ciągłości technologicznej.

Ponieważ czas trwania poszczególnych robót na każdej działce roboczej jest inny, przy złej organizacji robót okres trwania wszystkich prac będzie wydłużony o czas przestojów brygad, które nie mogą wykonywać swoich zadań czekając na możliwość uwolnienia frontu robót. Mając na celu obniżenie wszystkich kosztów podjęto próbę organizacji procesu przebiegu prac wykończeniowych w wyniku której łączny czas trwania wszystkich robót wraz z przestojami brygad będzie najkrótszy[15]. Do wykonania organizacji robót wykończeniowych galerii handlowej zastosowano model przeglądu zupełnego szeregowania zadań.

1. CHARAKTERYSTYKA OBIEKTU

Obiekt na którym organizowane są prace wykończeniowe ma przeznaczenie usługowe. Usytuowany jest w dużej aglomeracji miejskiej. Jest to galeria handlowa o powierzchni zabudowy 12245,6 m². Budynek posiada dwie kondygnacje naziemne o wysokości 3,5 m, oraz dwie kondygnacje podziemne o wysokości 3 m. W kondygnacjach podziemnych usytuowany jest parking, zaś w kondygnacjach naziemnych znajdują się wydzielone pawilony handlowe, pomieszczenia socjalne, toalety, pomieszczenia techniczne oraz korytarze. Całkowita wysokość budynku wynosi 9 m.

Prace wykończeniowe wykonywane są na dwóch kondygnacjach naziemnych w pawilonach handlowych o łącznej powierzchni użytkowej 11421,2 m². Wysokość ścian pawilonów handlowych wynosi 3 m. W każdym pawilonie należy wykonać następujące prace

wykończeniowe: wymurowanie ścianek działowych, ułożenie posadzki, montaż witryn sklepowych, montaż drzwi w ściankach działowych oraz malowanie.

2. WPROWADZENIE DO ZAGADNIENIA SZEREGOWANIA ZADAŃ

Szeregowanie zadań ma na celu określenie kolejności wykonywania rozważanych procesów budowlanych. W zależności od ich rodzajów w odmienny sposób podchodzi się do rozwiązywania problemu szeregowania zadań.

Procesy jednorodne charakteryzują się wykonywaniem prac o takiej samej technologii na określonej liczbie działek, przy założeniu, że powierzchnia wszystkich działek jest jednakowa. Przykładem takich procesów będzie malowanie powtarzalnego pomieszczenia na wszystkich kondygnacjach tego samego budynku. Czas trwania każdego procesu powinien być identyczny.

Procesy jednego typu charakteryzują się wykonywaniem prac o takiej samej technologii ale na działkach o różnej powierzchni. Jednostkowy czas trwania każdego procesu powinien być jednakowy, niemniej jednak łączny czas trwania procesu na każdej z działek będzie inny.

Procesy niejednorodne charakteryzują się niezmienną technologią wykonywania robót, jednakże pomiędzy wielkością działki a pracochłonnością nie występuje żadna stała zależność [6].

Rozróżnia się przepływowe oraz gniazdowe systemy szeregowania zadań. W obu modelach w tym samym czasie na danej działce może pracować tylko jedna brygada.

W przepływowych modelach praca poszczególnych brygad roboczych na każdej działce powinna zostać wykonana według określonej z góry kolejności.

W przypadku budownictwa można to tłumaczyć kolejnością technologii wykonania robót (plac budowy). Model ten zakłada również, że każda brygada wykonuje na jednej działce pracę tylko raz.

Z kolei w modelach gniazdowych kolejność prac może być dowolna. Ta sama brygada może pracować na jednej działce więcej niż jeden raz. Model gniazdowy może mieć zastosowanie do szeregowania zadań w wytwórni materiałów budowlanych [1].

Zadania można szeregować w różny sposób w zależności od tego jaki jest pożądaný efekt. Jako przykładowe kryteria optymalizacyjne można wymienić: najkrótszy czas realizacji, ciągłość pracy brygad, nieprzekraczalność terminów oraz koszt przenoszenia frontu robót.

Najkrótszy czas realizacji zadania (minimalna długość uszeregowania zbioru zadań), zakłada szeregowanie robót w taki sposób, aby projekt został zakończony jak najwcześniej. W ten sposób zmniejsza się ryzyko niedotrzymania terminu zakończenia prac, a w konsekwencji kar umownych.

Kryterium ciągłości pracy brygad optymalizuje zadania dążąc do zminimalizowania czasu przestoju wszystkich brygad, zmniejszając w ten sposób koszty związane z utrzymaniem pracowników [8,9,10].

Z kolei kryterium nieprzekraczalności terminów zakłada, że poszczególne etapy robót, mające wyszczególnione i nieprzekraczalne terminy zakończenia, zostały dotrzymane.

Ostatnie z wymienionych kryteriów, koszt przenoszenia frontu robót szereguje zadania w taki sposób aby przenoszenie brygad pomiędzy działkami nie powodowało dodatkowych utrudnień. Utrzymanie kolejności przestrzennej pozwala na częściowe oddawanie poszczególnych działek tworzących większe obszary np. piętra budynków. Daje to możliwość częściowej realizacji zysku, za wykonaną pracę [8,9,10].

W celu uzyskania wyżej opisanych efektów można skorzystać z różnych algorytmów. Są to sposoby postępowania, które zapewniają otrzymanie wyników założonych przez ich twórcę. W zależności od skomplikowania zadania i oczekiwanych efektów należy zastosować odpowiedni algorytm. Jednym z najprostszych jest algorytm Johnsona, który ma zastosowanie dla dwóch brygad wykonujących kolejno pracę na tych samych działkach. Przy zastosowaniu

tego algorytmu otrzymuje się najkrótszy czas trwania robót, ciągłość pracy pierwszej brygady oraz minimalną ilość czasu przestojów drugiej brygady [6].

Może istnieć kilka rozwiązań spełniających dane kryterium, dlatego spośród zbioru wszystkich rozwiązań warto wybrać takie rozwiązanie, które będzie spełniało drugie, dodatkowo założone kryterium. W ten sposób wybiera się najodpowiedniejszy sposób optymalizacji zadań. Przykładem takiego postępowania może być algorytm Johnsona z metodą kosztową[12]. W metodzie tej spośród wszystkich rozwiązań algorytmu wybiera się to, które ma najniższy koszt przenoszenia brygad między działkami.

Przy większej ilości brygad należy skorzystać z bardziej rozbudowanych algorytmów. Im są one bardziej skomplikowane tym trudniejsze staje się ich zastosowanie. Przykładami algorytmów stosowanych dla większej ilości brygad są: algorytm CDS (będący uogólnieniem algorytmu Johnsona), algorytm NEH [4], algorytm Łomnickiego oraz algorytm Browna-Łomnickiego.

Przy bardzo dużej liczbie brygad można zastosować algorytmy symulacyjne. Dają one rozwiązanie przybliżone do rozwiązania optymalnego. Wynik uzyskiwany jest poprzez losowanie kolejności realizacji działek na podstawie generatora liczb losowych. Dla każdego wariantu obliczany jest łączny czas trwania robót i na końcu wybierany jest najbardziej odpowiedni wariant. By wynik był miarodajny należy wykonać odpowiednio dużą liczbę prób [16]. Przy zastosowaniu algorytmów symulacyjnych wykorzystuje się obliczeniowe programy komputerowe.

Innym podejściem rozwiązywania problemu szeregowania zadań, zastosowanym w niniejszym artykule jest przegląd zupełny. Rozwiązanie to polega na zrealizowaniu wszystkich kombinacji uszeregowania zadań i wyboru rozwiązania najbardziej korzystnego. Metoda ta wymaga bardzo dużej ilości obliczeń i przy jej zastosowaniu, podobnie jak w przypadku algorytmów symulacyjnych niezbędne jest użycie programów komputerowych [11]. W pracy zastosowano program KASS v 1.0.

3. OPIS PROGRAMU KASS V. 1.0

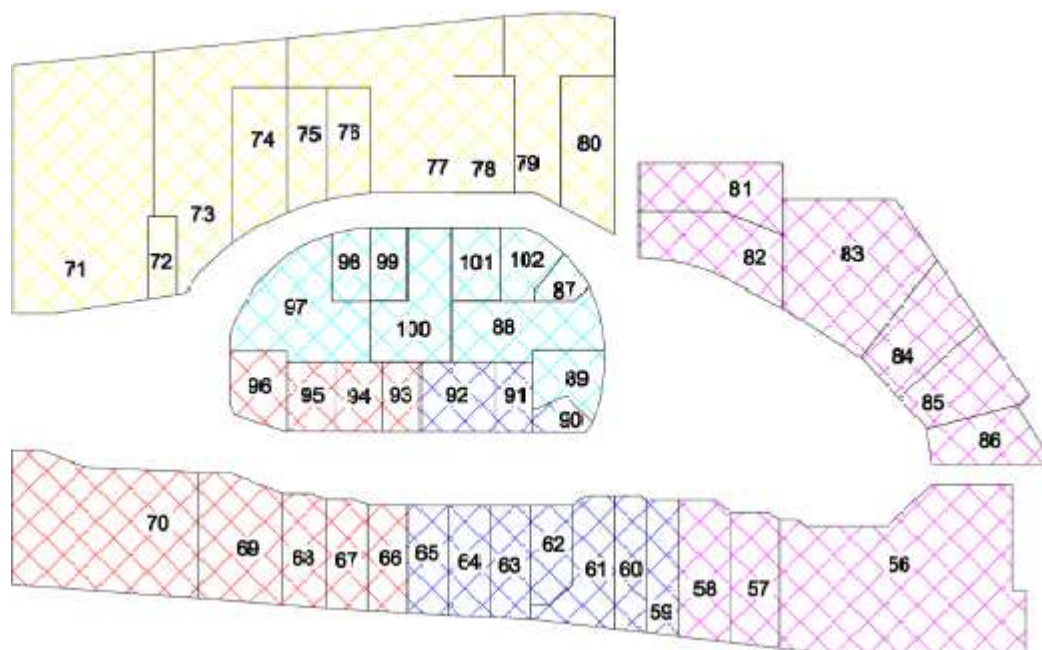
KASS v 1.0(Krzeminski Algorith Scheduling System v. 1.0) jest to program służący do szeregowania zadań, który wykorzystuje model przeglądu zupełnego. Program umożliwia rozwiązywanie problemu szeregowania zadań na maksymalnie czternastu działkach roboczych przy założeniu, że na każdej z tych działek będzie pracować maksymalnie dziesięć brygad, wykonujących poszczególne etapy robót. Program zakłada że kolejność wykonywania prac przez każdą ekipę na wszystkich działkach będzie taka sama. W programie możliwe jest zastosowanie trzech kryteriów szeregowania zadań: minimalny czas realizacji, minimalny czas przestoju brygad oraz jako warunek dodatkowy minimalny koszt przejścia brygad między działkami. Ponadto w programie możliwe jest zastosowanie nie wybranego kryterium jako kryterium dodatkowe. Oznacza to, że spośród wygenerowanego zbioru rozwiązań wybierane jest to, które spełnia również drugie kryterium [8,9,10]. Dane do programu wprowadza się w formie tabelarycznej. Użytkownik wpisuje do odpowiedniej kolumny odpowiadającej za daną działkę i odpowiedniego wiersza odpowiadającego za daną brygadę czas jaki każda brygada będzie wykonywać pracę na każdej działce. Czas podawany jest w liczbach całkowitych i w zależności od użytkownika może oznaczać pełne godziny lub dni. Przy uruchomieniu programu użytkownik określa ile działek i ile brygad będzie branych do obliczeń. Użytkownik określa też ile kryteriów i w jakiej hierarchii będzie brane pod uwagę. W przypadku uwzględniania kryterium kosztu przejść między działkami należy dodatkowo określić wartości kosztu przejścia między poszczególnymi działkami. Macierz kosztu może, ale nie musi być symetryczna. Oznacza to, że przejście pomiędzy tymi samymi działkami w odwrotnym kierunku może powodować różny koszt.

4. OBLICZENIA OPTYMALIZACYJNE W PROGRAMIE KASS V.1.0

4.1. Podział obiektu na fronty robocze

W celu dokonania obliczeń optymalizacyjnych przy użyciu programu KASS v 1.0 należy określić prace niezbędne do wykonania na każdej z działek, jak również przyjąć odpowiednią liczbę brygad i uwzględnić czy na każdej z działek będą niezbędne do wykonania te same prace wykończeniowe. Niezbędne jest także określenie pracochłonności poszczególnych czynności na każdej z działek. Poniżej opisano sposób, w jaki przygotowano wszystkie niezbędne dane.

Dokonano podziału każdego piętra centrum handlowego na pięć frontów. Przyjęto, że na każdym z frontów będzie pracować jeden zespół brygad. Jako zespół przyjęto pięć brygad, czyli tyle ile rodzajów poszczególnych robót wykończeniowych należy wykonać na każdej z działek. Podział na działki robocze przedstawiają rys. 1. Na parterze front roboczy składa się z jedenastu działek roboczych. Na pierwszym piętrze wydzielono dwa fronty złożone z dziesięciu działek oraz trzy fronty złożone z dziewięciu działek roboczych.



Rys. 1. Podział I-ego piętra galerii handlowej na działki robocze

Źródło: praca magisterska Rafała Kozłowskiego, WIL, PW [13]

4.2. Określenie pracochłonności poszczególnych robót na poszczególnych działkach roboczych

Aby określić pracochłonność poszczególnych robót na poszczególnych działkach należało dokonać obmiaru każdej z działek. Wyliczono ile metrów bieżących ścian działowych należy wymurować, obliczono ile metrów kwadratowych posadzki powinno się ułożyć, obliczono ile metrów kwadratowych witryn trzeba zrealizować, obliczono ile sztuk drzwi wraz z ościeżnicami należy wykonać oraz obliczono ile metrów kwadratowych ścian trzeba pomalować. Mając te wszystkie dane na podstawie Katalogów Nakładów Roboczych obliczono ile roboczogodzin potrzeba na wykonanie tych wszystkich prac.

Mając obliczone pracochłonności poszczególnych robót dobrano odpowiednią ilość pracowników dla każdej brygady. Liczbę pracowników poszczególnych brygad przedstawia tabela 1.

Tab. 4. Liczba pracowników poszczególnych brygad

Brygada 1 (montaż ścianek działowych)	Brygada 2 (układanie posadzki)	Brygada 3 (montaż witryn)	Brygada 4 (montaż drzwi i ościeżnic)	Brygada 5 (malowanie)
3 osoby	4 osoby	4 osoby	2 osoby	5 osób

Źródło: praca magisterska Rafała Kozłowskiego, WIL, PW [13]

4.3. Wyznaczenie kosztów przenoszenia brygad

Jako koszty przenoszenia brygad wzięto pod uwagę odległość między poszczególnymi działkami i uciążliwość związaną z przenoszeniem sprzętu między nimi. Ustalono, że przechodzenie poszczególnych brygad pomiędzy najbardziej oddalonymi od siebie działkami będzie generowało koszt równy 2. Przejście między działkami oddalonymi od siebie w znaczący sposób, ale zdecydowanie mniejszy niż w pierwszym przypadku będzie generowało koszt równy 1. Dla każdego frontu macierz kosztów ustalano indywidualnie.

4.4. Wprowadzone dane i otrzymane wyniki

Pracę z programem rozpoczęto poprzez określenie liczby brygad i liczby działek dla każdego frontu. Oznaczono, że podstawowym kryterium optymalizacji jest minimalny czas wykonania zadań. Zaznaczono, że kryterium ciągłości pracy brygad jest kryterium drugorzędym oraz to, że trzecim kryterium szeregowania zadań będzie macierz kosztów przejścia brygad między działkami[5]. Czynność tę wykonano dla każdego wydzielonego frontu robót. Przykładowy ekran konfiguracji przedstawiono na rys. 2

Wybierz ilość działek roboczych: 11

Wybierz ilość brygad roboczych: 5

Wybierz pierwsze kryterium: min. czas ciągłość pracy

Użyć niewybranego jako drugiego kryterium? tak

Użyć kryterium kosztów przejścia brygad? tak

Rys. 2. Ekran konfiguracji programu KASS v.1.0

Źródło: program KASS v.1.0 [17]

Dla frontu nr 9 (działki nr: 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80) wprowadzono następujące czasy pracy brygad na działkach przedstawione na rys. 3.

Brygady \ Działki	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
Brygada 1	23	0	7	9	9	7	9	0	12	9
Brygada 2	223	15	123	45	30	31	137	45	80	51
Brygada 3	15	4	9	7	5	5	9	7	12	13
Brygada 4	8	0	4	4	4	4	4	4	4	4
Brygada 5	24	7	23	12	10	10	23	11	16	13

Rys. 3. Wprowadzenie czasów pracy brygad na froncie nr 9

Źródło: program KASS v.1.0 [17]

Następnie dla frontu nr 9 (działki nr: 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80) wprowadzono poniższą macierz kosztów zaprezentowaną na rys. 4. Macierz wprowadzono zgodnie z

wytycznymi z punktu 4.3., otrzymana macierz ma postać symetryczną. Nie jest to jednak reguła, macierz niesymetryczna może wystąpić na przykład wtedy kiedy mamy doczynienie z przemieszczanie brygad w pionie. W takim przypadku koszt prac transportowych może być znacznie większy przy przenoszeniu sprzętu w górę niż w dół.

Wprowadzenie kosztów przejścia brygad między działkami

Z \ Do	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
71	0	0	0	0	0	0	1	1	2	2
72	0	0	0	0	0	0	1	1	2	2
73	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
74	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
75	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
76	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
77	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
78	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
79	2	2	1	1	0	0	0	0	0	0
80	2	2	1	1	0	0	0	0	0	0

Rys. 4. Wprowadzenie macierzy kosztów dla frontu nr 9

Źródło: program KASS v.1.0 [17]

Dla powyższych danych program wygenerował następujące rozwiązanie zaprezentowane na rys. 5 poniżej. Na przykładzie pokazanego przypadku, będącego jedynie częścią wykonanych obliczeń możemy odczytać, że całkowity czas robót na froncie 9-tym wyniósł 798 r-g, łączny czas przestojów brygad to 1941 r-g, natomiast koszt przejścia brygad to 0.

Wynik analizy

Optymalna względem kryteriów kolejność:

1 -> 78	Całkowity czas robót:	798
2 -> 73	Całkowity czas przestojów:	1941
3 -> 71		
4 -> 74		
5 -> 75		
6 -> 77		
7 -> 79	Całkowity koszt przejść:	0
8 -> 80		
9 -> 76		
10 -> 72		

Rys. 5. Wyniki optymalizacji dla frontu nr 9

Źródło: program KASS v.1.0 [17]

Przy pomocy programu KASS v 1.0 zoptymalizowano kolejność prac wykończeniowych galerii handlowej w taki sposób, aby osiągnąć najkrótszy czas wykonania na wszystkich frontach. Ustalono kolejność wykonania robót, w której całkowity koszt przejść w każdym

wypadku wyniósł „0”. W celu pokazania różnicy podstawowego kryterium optymalizacyjnego dla frontu pierwszego przedstawiono również wynik, w którym kryterium nadrzędnym była ciągłość pracy brygad. W tym konkretnym przypadku czas wykonania robót wydłużyłby się z 798 do 823 godzin, co stanowi wydłużenie czasu robót o 3%. Czas przestoju brygad zmniejszyłby się jednak z 1941 na 1468 godzin, co stanowi zmniejszenie czasu przestoju o 24%. W związku z tym należy rozważyć opłacalność wyboru określonego kryterium, tak aby przyniosło ono jak najwyższe korzyści przy minimalnej wartości strat.

PODSUMOWANIE

Przy zastosowaniu modelu przeglądu zupełnego i programu KASS v 1.0 dokonano optymalizacji prac wykończeniowych dla dziesięciu frontów robót galerii handlowej. Przedstawiono podział obiektu na poszczególne fronty robót oraz opisano w jaki sposób ustalono pracochłonności poszczególnych procesów budowlanych. Opisano jakie brygady zostały przyjęte oraz ile osób liczy każda z nich. Kolejność prac wykończeniowych została zoptymalizowana w taki sposób, aby osiągnąć najkrótszy czas wykonania na każdym z frontów. Całkowity koszt przejść w każdym wypadku wyniósł „0”.

W celu pokazania różnicy wyboru podstawowego kryterium optymalizacyjnego dla frontu dziewiątego przedstawiono również wynik, w którym kryterium nadrzędnym była ciągłość pracy brygad. Dla tego przypadku czas wykonania robót wydłużyłby się o 3%, zaś czas przestoju brygad zmniejszyłby się o 24%. Należy zatem rozważyć opłacalność wyboru kryterium nadrzędnego, tak aby przyniosło ono jak najwyższe korzyści przy minimalnej wartości strat.

Na podstawie otrzymanych wyników można sporządzić harmonogramy robót dla każdego frontu robót.

Na podstawie harmonogramów dla poszczególnych frontów robót można sporządzić harmonogram prac dla całego obiektu. Możliwe jest opracowanie wielu wariantów wykonania prac na całym obiekcie. Daje to duże możliwości w procesie organizacji robót, zaletą jest możliwość dopasowania się do potrzeb podwykonawców[7].

Artykuł prezentuje jedynie wycinek analiz w ramach całego badania wyznaczono rozwiązanie przyjęte do realizacji w którym wszystkie prace zostaną zakończone w przeciągu ośmiu miesięcy, a maksymalna liczba zatrudnionych osób na całym obiekcie nie przekroczy czterdziestu ośmiu pracowników.

Jak zaprezentowano w pracy program KASS v 1.0 daje wiele możliwości optymalizacji zadań w zależności od hierarchii kryteriów szeregowania oraz w pełni umożliwia zastosowanie modelu przeglądu zupełnego szeregowania zadań. Planuję się rozbudowę programu, możliwe będzie rozmyte modelowanie czasów trwania[3,14] a dla większej ilości działek zostanie wprowadzona możliwość wykorzystania wybranych heurystyk priorytetowych

BIBLIOGRAFIA

1. Butterworth R., *Scheduling theory*. Department of Combinatorics and Optimization, University of Waterloo 1979,
2. Foremny A., Nicał A., *Building Information Modeling – Stan obecny i kierunki rozwoju*. Autobusy. 2013, nr 3
3. Ibadov N., *Modelowanie czasów wykonania robót budowlanych z wykorzystaniem wnioskowania rozmytego*. Logistyka 2010, nr 6
4. Ibadov N., Krzeźniński M., *Harmonogramowanie przedsięwzięć wieloobektowych z wykorzystaniem algorytmów stosowanych w produkcji przemysłowej*. Archiwum Inżynierii Lądowej 13/2012, Wyd. politechniki Poznańskiej

5. Ibadov N., Kulejewski J., Hrishev L., *Porządkowanie i wartościowanie kryteriów oceny rozwiązań budowlanych*. *Logistyka* 2011, nr 6
6. Jaworski K. M., *Metodologia projektowania realizacji budowy*. Wydawnictwo naukowe PWN, Warszawa 2009,
7. Kaczorek K., Książek M., *Rozwiązywanie konfliktów w budownictwie*. *Autobusy* 2013, nr 3.
8. Krzemiński M., *Kryteria i modele szeregowania zadań w budownictwie*. *Technika Transportu Szynowego* 2012, nr.9
9. Krzemiński M., *Program do szeregowania zadań w budownictwie KASS v.1.0*. *Autobusy* 2013, nr 3.
10. Krzemiński M., *Szeregowanie zadań przy zastosowaniu programu KASS v.1.0*. *Autobusy* 2013, nr 3.
11. Książek M., *Wykorzystanie systemu informatycznego w procesie decyzyjnym*. *Logistyka* 2010, nr 6.
12. Krzemiński M., Nowak P., *Propozycja modyfikacji kosztowej algorytmu Johnsona do szeregowania zadań budowlanych*. *Budownictwo i Inżynieria Środowiska* 2011, vol.2 nr.3
13. Kozłowski P., *Projekt organizacji wykonania robót wykończeniowych w obiekcie galerii handlowej przy zastosowaniu modelu przeglądu zupełnego szeregowania zadań*. Praca dyplomowa magisterska WIL, PW, 2013
14. Kulejewski J., Ibadov N., Zieliński B., *Zastosowanie teorii zbiorów rozmytych w harmonogramowaniu robót budowlanych metodą łańcucha krytycznego*. *Budownictwo i Inżynieria Środowiska* 2011, vol.2 nr.3
15. Ustinovichius L., Zavadskas E., Migilinskas D., et al., *Verbal analysis of risk elements in construction contracts*. *Cooperative Design, Visualization, and Engineering, Proceedings v: 4101 pages: 295-302 published: 2006*
16. Połośki M., *Harmonogramy sieciowe w robotach inżynieryjnych*. Wydawnictwo SGGW 2001,
17. www.ipb.edu.pl → Programy → KASS v.1.0

ORGANIZATION OF FINISHING WORKS IN THE SHOPPING GALLERY

Abstract

Paper discussed the possibility of using a computer program KASS v.1.0 for scheduling purposes in finishing works facility shopping center. Task scheduling is to determine the optimal order transition between the brigades working parcels. KASS program allows you to perform optimization based on a complete review of the options under consideration.

Autorzy:

dr inż. **Michał Krzemiński** – Politechnika Warszawska, Instytut Inżynierii Budowlanej, Zespół Inżynierii Produkcji i Zarządzania w Budownictwie, e-mail: m.krzeminski@il.pw.edu.pl

mgr inż. **Piotr Kozłowski** – Politechnika Warszawska, Instytut Inżynierii Budowlanej, Zespół Inżynierii Produkcji i Zarządzania w Budownictwie