

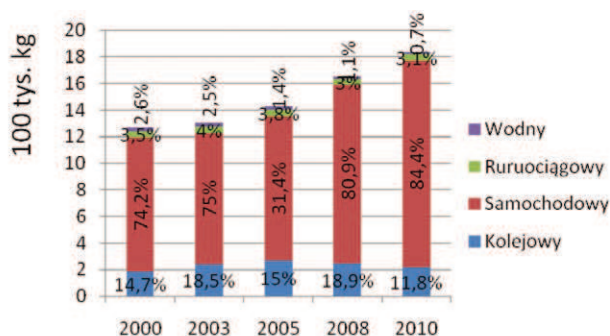
Modele decyzyjne w logistyce zaopatrzenia budowy drogi w kruszywo

Prof. dr hab. inż. Anna Sobotka, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków,
inż. Daniel Leńczowski, absolwent Wydziału Górnictwa i Geoinżynierii AGH
w Krakowie, Aldesa Polska Kraków

1. Wprowadzenie

W Polsce istnieją ogromne potrzeby w zakresie infrastruktury drogowej. Przewóz ładunków odbywa się głównie za pomocą transportu samochodowego, którego udział, według danych GUS, w ogólnym wykorzystaniu rodzajów transportu wciąż rośnie i wynosi już ponad 80% (rys. 1). Jedną z przyczyn tego przeważającego udziału jest fakt, że drogi szynowe i wodne są w Polsce zaniedbane.

Drogi transportu samochodowego są także zaniedbane i niedostateczne, a ich stan pod względem ilości na tle Europy przedstawia tabela 1. Są to ogromne dysproporcje, zwłaszcza w liczbie kilometrów autostrad. Tendencje europejskie w sposobach rozwoju infrastruktury transportu z przestrzeganiem zasad zrównoważonego rozwoju nie ułatwiają realizacji inwestycji drogowych. W Polsce musimy budować nowe autostrady, a w krajach rozwiniętych UE głównie prowadzona jest modernizacja istniejących, ale też większy jest przyrost zbudowanych nowych autostrad niż w Polsce w przeliczeniu km na powierzchnię. Doskonale radzą sobie Hiszpania i Portugalia umiejętnie wy-



Rys. 1. Przewozy ładunków w Polsce wg rodzajów transportu (oprac. własne na podstawie roczników statystycznych GUS)

korzystając otrzymywane z UE środki finansowe na budowę autostrad.

Tabela 2 przedstawia dane charakteryzujące sieć komunikacyjną w Polsce i jej rozwój w podziale na rodzaje transportu.

Od roku 2006 do 2012 oddano do eksploatacji prawie 400 km autostrad. Jednakże jest to za mało i za wolno. Aktualnie w Polsce prowadzone są intensywne prace

Tabela 1. Zmiany gęstości autostrad (km/1000 km²) w wybranych krajach UE (Wojewódzka-Król [7])

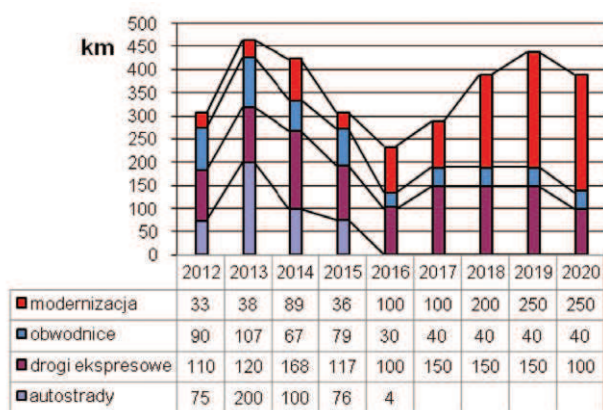
Rok	Belgia	Niemcy	Portugalia	Hiszpania	Francja	Czechy	Szwecja	Polska
	[km autostrady/1000km ²]							
1990	54,67	30,04	3,46	9,87	12,5	4,52	2,09	0,82
2006	57,80	35,10	27,69	23,86	19,93	8,02	3,87	1,86

Tabela 2. Sieć komunikacyjna w Polsce (tys. km) (oprac. własne, wg roczników GUS)

Rok	Kolejowa	Samochodowa, w tym:			Rurociągi	Wodna	Lotnicza
		drogi ogółem	drogi ekspresowe	autostrady			
2000	22,560	250	208	0,338	2,278	3,813	90
2004	20,250	252	227	0,552	2,278	3,678	92
2005	20,253	254	227	0,552	2,278	3,638	147
2006	20,176	256	229	0,663	2,278	3,66	210
2007	20,107	261	236	0,765	2,278	3,66	236
2008	20,196	261	236	0,765	2,278	3,66	221
2009	20,260	268	245	0,849	2,360	3,66	258
2010	20,228	274	250	0,857	2,362	3,66	341

Tabela 3. Prognoza produkcji kruszyw w latach 2012–2020 (Kabziński [1])

Lata	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	SUMA 2012–20
(1) Kruszywa naturalne łamane	60	55	50	50	55	55	55	50	50	480
(2) Kruszywa naturalne żwirowe	150	140	140	145	145	150	150	150	150	1320
Kruszywa naturalne (1+2)	210	195	190	195	200	205	205	200	200	1800
(3) Kruszywa sztuczne	6	6	5	5	5	5	4	4	4	44
(4) Kruszywa z recyklingu	10	15	15	15	20	20	25	25	25	170
Kruszywa wtórne	16	21	20	20	25	25	29	29	29	214
Kruszywa (1÷4)	226	216	210	215	225	230	234	229	229	2014
Mg / mieszkańca (gdy 38 mln)	5,9	5,7	5,5	5,6	5,9	6,1	6,2	6,0	6,0	5,9
Zapotrzebowanie dla drogownictwa (mln ton) (z koleją)	30	24	20	17	16	16	18	18	18	176
Zapotrzebowanie dla drogownictwa (%) (z koleją)	13,9	11,1	9,5	7,9	7,1	7,0	7,7	7,9	7,9	80

**Rys. 2.** Prognoza budowy i modernizacji dróg w latach 2012–2020 (wg Kabziński [1])

przy budowie autostrad A1, A2 i A4. Budowane są także drogi ekspresowe, obwodnice i inne drogi oraz wykonywane są remonty i modernizacje dróg. Oprócz robót liniowych, wykonuje się obiekty mostowe, wiadukty itd. W tabeli 3 przedstawiono prognozę budowy i modernizacji dróg.

Do budowy dróg potrzebne są ogromne ilości materiałów budowlanych, w tym kruszywa. Kruszywo znajduje zastosowanie w budowaniu nawierzchni dróg do każdej jej warstwy, tj. warstwy dolnej i górnej podbudowy jako materiał podstawowy oraz warstw: wiążącej, wyrównawczej, wzmacniającej, ścieralnej jako kruszywo w mieszankach betonowych i asfaltowych. O wielkości zapotrzebowania na kruszywo w budownictwie i jego rodzaju informują dane zawarte w tabeli 3.

Produkcja kruszyw w poszczególnych regionach Polski według danych GDDKiA przedstawia się następująco: Polska północna 10%, Polska centralna 40%, Polska południowa 60%. Źłoza i produkcja kruszywa w Polsce jest rozłożona nierównomiernie. Z uwagi na konieczność transportu kruszyw, zwłaszcza np. kruszyw łamanych z południa Polski na tereny północne i wschodnie jest

ono także importowane z krajów ościennych, zwłaszcza z Ukrainy, Białorusi, Słowacji, Niemiec, ze Skandynawii, a nawet ze Szkocji. Polskie kruszywo jest także produkowane na eksport, który równoważy import. Producenci kruszyw oferują dostarczenie kruszywa zwykle swoim transportem; i tak na przykład cena kruszywa ze Strzegomia do Wrocławia wynosi 60–76 zł/tonę, a do Bydgoszczy 123–143 zł/tonę. Odbiorcy kruszyw, tj. wykonawcy robót muszą dbać o optymalizację kosztów, uwzględniając jakość kruszywa, ale i cenę. W związku z tym źródło zaopatrzenia kruszywa i jego transport odgrywa dużą rolę w łańcuchach dostaw. Uwaga ta dotyczy zarówno tzw. transportu dalekiego od producenta na budowę, jak również ze składów budowy do miejsc wbudowania w warstwy nawierzchni drogi i ewentualne nasypy drogowe.

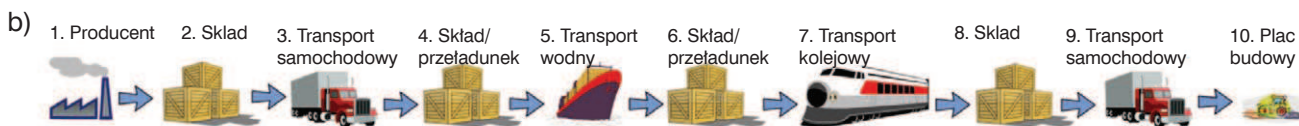
Artykuł przedstawia problematykę poszukiwania rozwiązań organizacyjnych w oparciu o metody matematyczne, pozwalające na wspomaganie zarządzania logistyką zaopatrzenia. Przedstawiono dwa problemy decyzyjne. Jeden, typowy – wybór dostawców i rozdział towarów (kruszywa) na składowiska pomocnicze, w sposób minimalizujący koszty zaopatrzenia, drugi – zmierzający do racjonalizacji (oszczędności) wykorzystania środków transportowych (*lean production*) będących w dyspozycji wykonawców, a używanych do przewozu kruszywa ze składowisk pomocniczych do miejsc wbudowania kruszywa w drogę, przy wykonywaniu warstwy podbudowy nawierzchni drogi. Problem ten wiąże się z odpowiednim doбором zestawów współpracujących z maszynami drogowymi (spycharkami, walcami, równiarkami, frezarkami itd.) i samochodami wywrotkami.

2. Transport kruszywa na budowę autostrady

Największy zakres robót związany z realizacją budowy autostrady stanowi najczęściej wykonanie warstwy podbudowy i nawierzchni pasów jezdnych. Wykonanie warstwy podbudowy wymagające dostarczenia znacz-



Rys. 3. Łańcuchy dostaw kruszywa przy budowie dróg/autostrad



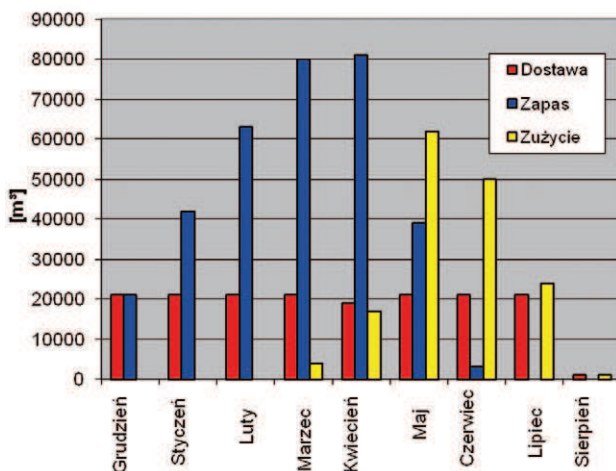
nych ilości kruszywa jest niewątpliwie dużym wyzwaniem logistycznym dla wykonawcy robót. Łańcuchy dostaw kruszywa na plac budowy mogą mieć różną konfigurację i liczbę ogniw, w zależności od warunków realizacji i lokalizacji robót drogowych oraz skąd kruszywo jest dostarczane: mogą być dostawy bezpośrednie od producenta na miejsce wbudowania (rys. 3a) aż do wielu ogniw, w tym transport różnymi rodzajami transportu, dodatkowe przeładunki tak jak na rysunku 3b (np. ze Szkocji).

Rachunek optymalizacyjny zaopatrzenia w kruszywo musi uwzględniać wiele czynników, oprócz właściwej jakości kruszywa. Dużym utrudnieniem w swobodnym wyborze dostawców, lokalizacji składowisk, terminów dostaw itd., aby spełniona była logistyczna zasada „7W” (właściwy produkt, właściwa jakość, termin, wielkość dostawy, jej cena, miejsce, odbiorca) są specyficzne warunki budowy dróg, m.in. ograniczoność korzystania z istniejących lokalnych dróg, narzucająca nie zawsze korzystną z punktu widzenia organizacji pracy i kosztów lokalizację składowisk pomocniczych oraz utrudniająca wykorzystanie w pełni potencjału produkcyjnego wykonawcy robót. Ogromne zapotrzebowanie i zużycie kruszywa uniemożliwia stosowanie ekonomicznej zasady dostaw Just-in-Time, ponieważ wykonawcy muszą gromadzić kruszywo z dużym wyprzedzeniem (rys. 4). Długie składowanie prowadzi często do dodatkowych strat materiału i kosztów.

Badania budów drogowych wykazują, że logistyki zaopatrzenia w wyroby budowlane, w tym w kruszywo stanowi podstawowe zagadnienie i wykonawcy obsługę logistyczną zakresie zaopatrzenia realizują samodzielnie [5]. Wynika to z przekonania, że takie podejście zapewnia:

- zakup towarów o lepszej jakości, spełniającej rygorystyczne wymagania;
- koordynację harmonogramów robót budowlanych i zadań logistycznych;
- wpływ na jakość robót podwykonawców;
- korzystanie z efektu skali.

W większości łańcuchy logistyczne są krótkie: producent, transport, plac budowy. Obsługa logistyczna budowy i zarządzanie logistyką traktowane jest przez wykonawców, jako „core competency” – czyli umiejętności i funkcje – źródła przewagi konkurencyjnej, zapewniające podstawę dla osiągnięcia wartości dodanej. Lecz z badań wynika, że przedsiębiorstwa nie analizują kosztów



Rys. 4. Harmonogram dostaw, zapasu i zużycia kruszywa przy budowie przykładowego odcinka drogi

tów obsługi logistycznej w formie wyceny kosztów, wykorzystując w tym celu rachunek optymalizacyjny. Podstawowym kryterium wyborów jest zapewnienie ciągłości robót i jakości dostarczanych np. kruszywa. Dlatego też wykonawcy powinni poszukiwać źródeł oszczędności przede wszystkim w organizacji robót, w innowacyjnych rozwiązaniach projektowych/produktowych (jeżeli mają na to wpływ) i procesowych, w stosowaniu oszczędnych metod organizacji pracy, posiłkowaniu się prostymi znanymi metodami matematycznymi zapewniającymi rozwiązania optymalne.

I tak na przykład zadanie logistyczne w sferze zaopatrzenia, np. wyboru dostawców, wielkości dostaw itd. można rozwiązać wykorzystując programowanie matematyczne, np. algorytmy transportowe i inne metody badań operacyjnych. Natomiast zadania ze sfery produkcji, takie jak dobór zestawów maszyn realizujących procesy technologiczne np. wykonywanie warstw nawierzchni drogi, począwszy od usprzętowania wytwórni, poprzez środki transportowe, spycharki, walce, zagęszczarki, frezarki (w remontach) i układarki można rozwiązywać wykorzystując teorię kolejek, ponieważ realizacja robót budowlanych w sposób zmechanizowany stanowi zjawisko masowej obsługi.

W następnym rozdziale zaprezentowane są wyniki z zastosowania do zaplanowania obsługi logistycznej jednej z realizowanych budów nawierzchni autostrady A1

Tabela 4. Zapotrzebowanie na kruszywo w pierwszym roku wykonywania robót (warstwy podbudowy)

Składowisko	Zapotrzebowanie miesięczne [t]											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	4365	8 731	13 098	11 935	1 814	0	0	0	0	0
3	0	0	6599	21 769	19 798	0	0	0	0		0	0
4	0	0	2863	5 728	8 592	4 450	4 831	0	1 214	12 129	0	0
5	0	0	12 390	24 781	37 171	6 335	13 992	0	1 214	12 129	0	0
6	0	0	5725	11 451	17 178	19 635	10 648	0	2 428	24 258	0	0
7	0	0	1746	3 493	5 240	26 099	36 994	26 676	26 676	9 015	0	0
8	0	0	7297	14 596	21 894	5 801	4 389	0	0	0	0	0
Razem	0	0	40 985	90 549	122 971	52 843	61 773	36 994	31 533	57 531	0	0

dwóch modeli matematycznych: jeden do optymalizacji wyboru dostawców, drugi do optymalizacji liczby środków transportowych przy dowozie kruszywa do równiarki.

Są to modele obsługi logistycznej przy wykonywaniu tylko jednej warstwy nawierzchni, a mianowicie podbudowa z kruszywa łamanego stabilizowanego niesortowanego o uziarnieniu 0÷31,5 mm. Jest to 650 tys. ton kruszywa, które należy zakupić u dostawców, przewieźć je na place składowe – 8, a następnie dostarczyć z placów składowych za pomocą samochodów do równiarek na pasy drogowe. Dane do obliczeń pochodzą z budowy 62 km odcinka autostrady A1, który został zrealizowany w systemie partnerstwa publiczno-prywatnego przez koncesjonariusza – spółkę Gdańsk Transport Company SA (GTC). Generalny Wykonawca, który realizował tę inwestycję, w swojej strukturze organizacyjnej posiada zarówno dział logistyki, jak i oddzielny dział zamówień, co świadczy o przykładaniu dużej wagi do zarządzania logistyką budowy. W celu uzmysłowienia ogromu prac przy budowie autostrady warto dodać, że łączna, szacowana objętość robót ziemnych na tej budowie to około 10 mln m³, a 650 tys. ton to tylko jedna warstwa nawierzchni. Na budowie w okresie największego nasilenia robót pracowało około 4500 osób. Podczas trwania inwestycji wykorzystano około 1000 maszyn (w tym 500 środków transportowych). Część z nich była wyposażona w system naprowadzania 3D oparty na technice GPS [2].

3. Zaplanowanie dostaw kruszywa od dostawców i jego składowanie w aspekcie minimalizacji kosztów zaopatrzenia

Celem analizy jest porównanie poniesionych kosztów obsługi logistycznej wybudowanego już fragmentu autostrady (jednej z jego warstw) z hipotetycznym modelem obsługi i planu organizacji zaopatrzenia opracowanego z wykorzystaniem modeli rachunku optymalizacyjnego.

Problem: Na podstawie badań laboratoryjnych zostało wybranych pięć kopalni, o określonych zdolnościach produkcyjnych i mających różne ceny jednostkowe do do-

starczenia kruszywa (mieszanek 0÷31,5 mm) na warstwę podbudowy pasów jezdnych autostrady (odcinka o długości 62 km). Kruszywo dostarczane jest na osiem składowisk, z których każde ma określone zapotrzebowanie miesięczne. Prace przy wykonywaniu analizowanej warstwy autostrady zaplanowano na trzy lata. Zapotrzebowanie składowisk, z których wozi się kruszywo do miejsc wbudowania, wynikające z harmonogramu i postępu robót, jest różne w poszczególnych miesiącach i latach (np. tabela 4).

Złoża surowca wykorzystywanego do produkcji znajdują się w znacznej odległości od terenu budowy. Stąd też ekonomicznie uzasadnionym był wybór środków transportu szynowego. Wiązało się z tym jednak ograniczenie polegające na tym, iż żaden z dostawców nie mógł zaoferować możliwości dostarczenia kruszywa na wszystkie składowiska, a dostawca E – nawet tylko na jedno składowisko (tabela 5).

Tabela 5. Tabela możliwości dostarczenia kruszywa przez poszczególne kopalnie

Kopalnie	Składowiska							
	1	2	3	4	5	6	7	8
A		x	x	x	x	x	x	x
B	x			x		x	x	
C				x	x			
D			x	x				
E		x						

Także zdolności produkcyjne kopalni kruszyw były ograniczone i były następujące: Kopalnia: A – 58215, B – 48564, C – 31686, D – 15476, E – 17236 t/miesiąc (w sumie 171178 zł/mc).

Ceny jednostkowe kruszywa ustalone w wyniku negocjacji, z każdym z dostawców, były zmienne w czasie tj. różne w poszczególnych latach i miesiącach od poszczególnych dostawców na poszczególne składowiska. Na przykład w roku 2009 dostawca A zmieniał ceny dostawy kruszywa na składowisko w następujący sposób: marzec, kwiecień maj – 65,00 zł/tonę, a od czerwca do grudnia 61,90 zł/tonę. W roku 2011 ceny te kształtowały się: od stycznia do marca – 67,89 zł/tonę, a od kwietnia do grudnia – 70,30 zł/tonę.

Tabela 6. Model decyzyjny dla kwietnia 2009 roku

Kopalnie	Ceny jednostkowe kruszywa (z transportem) [zł/t]								Możliwości produkcyjne kopalni [t/m-c]
	Składowiska								
	1	2	3	4	5	6	7	8	
A	–	74,96	67,51	69,05	68,98	64,94	65,86	65,60	58215
B	77,68	–	–	67,12	–	65,60	66,53	–	48563
C	–	–	–	67,12	68,54	–	–	–	31686
D	–	–	62,49	64,03	–	–	–	–	15476
E	–	71,94	–	–	–	–	–	–	17235
Zapotrzebowanie składowisk [m ³]	0	8731	21769	5728	24781	11451	3493	14596	

Jest to typowe tzw. zagadnienie transportowe rozwiązywane za pomocą szeroko opisanych w literaturze algorytmów [4, 6]. Zadanie obliczeniowe sprowadzało się do zbudowania 26 modeli decyzyjnych, w których zmiennymi decyzyjnymi są dostawy kruszywa z *i*-tej kopalni na *j*-te składowisko, przy danych zapotrzebowaniach składowisk b_j oraz ograniczonych zdolnościach produkcyjnych kopalni a_i . Obliczenia przeprowadzono dla okresów miesięcznych, z uwagi na zmiany cen kruszywa przez kopalnie. Dane z tabeli 6 są parametrami, zmiennymi i warunkami ograniczającymi funkcji kryterium minimalizującej koszty zaopatrzenia (zakupu kruszywa i transportu od producentów na składowiska) dla kwietnia 2009 r. – jednego z 26 modeli decyzyjnych.

Obliczenia przeprowadzono za pomocą programu Solver wchodzącego w skład pakietu Microsoft Office Excel 2007. Dodatek Microsoft Office Excel Solver używa w zagadnieniach programowania liniowego i całkowitego metody simpleks z ograniczeniami na zmienne oraz metody „branch-and-bound”, którą zaimplementowali John Watson i Daniel Fylstra z firmy Frontline Systems, Inc.

Na podstawie dokumentów z budowy ustalono, że różnica pomiędzy poniesionymi kosztami zaopatrzenia w kruszywo a uzyskana z obliczeń za pomocą przyjętego modelu matematycznego wynosi 759 351 zł (około 1% wartości zakupów). Oszczędności ponad 750 tys. zł poczynione tylko dla górnej warstwy podbudowy (tj. warstwy zasadniczej wykonanej z kruszywa łamanego 0÷31,5 mm) wydają się wystarczającym uzasadnieniem dla zasadności korzystania z algorytmu transportowego przy planowaniu i optymalizacji zadań związanych z zakupem kruszywa. Ponadto analizując dokumenty budowy – faktury zauważono również, że w uzyskanym rozwiązaniu wydatki na kruszywo były bardziej równomierne niż w rzeczywistości. Podczas, gdy w rzeczywistości wahały się od 124 325 zł do 20 525 993 zł to w modelu – od 1 734 997 do 8 865 750 zł.

Należy jednak zauważyć, że przyjęty model, i obliczenia, mimo swojej szczegółowości stanowił uproszczenie rzeczywistości, ponieważ nie uwzględniono takich czynników, jak: wykorzystanie ładowności środka transportowego, kosztu „zamrożenia” kapitału, ryzyka strat mogących powstać przy składowaniu materiału, niewywiązywania się ze zobowiązań dostawców itp. Stąd

też jak każdy model teoretyczny powinien być weryfikowany wielokrotnie w trakcie trwania inwestycji. Także praktyczne zastosowanie powyższego modelu wymaga prognozowania cen kruszywa w kolejnych miesiącach i latach.

4. Metoda planowania liczby środków transportowych w robotach ziemnych

Budowy w drogownictwie charakteryzują się zużyciem ogromnych mas gruntu, kruszyw, mas asfaltowych lub mieszanek betonowych. Zwykle zasoby te są dowożone z wytwórni lub składowisk usytuowanych w dalszych lub bliższych odległościach od frontu robót do współpracujących maszyn rozprawdzających, zagęszczających lub frezujących (w przypadku remontów) (rys. 5).

Środki transportowe i współpracujące inne maszyny realizujące dany proces technologiczny tworzą systemy, które można opisać za pomocą teorii masowej obsługi. Tym bardziej, że procesy budowlane odbywają się w warunkach losowych. W modelach masowej obsługi występują stanowiska obsługi i strumienie zgłoszeń, a losowy charakter procesów powoduje powstawanie kolejek. Czas oczekiwania w kolejce jest czasem straconym zarówno dla jednostek, jak i całego przedsiębiorstwa. Nie można go całkowicie wyeliminować, ale można i należy dążyć do takiej organizacji pracy, która zapewni minimalizację czasu straconego na oczekiwaniu, przy uwzględnieniu kosztów pracy systemu (zestawu maszyn).

W niniejszym rozdziale, wykorzystując prosty model masowej obsługi zaproponowano metodę/model do wspomaganego doboru liczby środków transportowych współpracujących z równiarką, wykonującą warstwę podbudowy zasadniczej z kruszywa łamanego o grubości warstwy 20–25 cm, złożonego na 8 składowiskach w różnej odległości od frontu robót. Model posłużył do wyznaczenia map izarytmicznych (izochrom), z których można odczytać optymalne liczby środków transportowych dowożących do określonych miejsc – na określoną odległość kruszywo. Liczba ta zapewnia minimalizację kosztów pracy zestawu maszyn. Jest to narzędzie do zarządzania operatywnego.



Rys. 5. Współpraca samochodów z równiarkami przy układaniu warstwy nawierzchni (fot. Kacper Kowalski/Forum)

Problem: Określenie optymalnej liczby środków transportowych dowożących kruszywo z 8 składowisk na wykonywane poszczególne (najbliższe) odcinki warstwy podbudowy nawierzchni drogowej takiej, aby uzyskać minimalizację kosztów jednostkowych produkcji, a także w drugim przypadku – maksymalną wydajność pracy zestawu maszyn, o której decyduje wydajność maszyny głównej, w tym przypadku równiarki.

Wykonywanie warstwy podbudowy zasadniczej drogi za pomocą współpracujących maszyn opisano w uproszczeniu modelem z jednym stanowiskiem obsługi (równiarką), zamkniętym z ograniczonym strumieniem zgłoszeń (liczbą dowożących samochodów). Czas obsługi, tj. współpracy samochodu z równiarką (wyładunku kruszywa pod równiarkę) przyjęto jako zmienną losową o rozkładzie wykładniczym, a intensywność strumienia zgłoszeń (opisanego procesem Poissona), jaki tworzą środki transportowe dowożąc kruszywa z określonej odległości (obejmuje także załadunek samochodu kruszywem na placu składowym) (rys. 6).

Elementy i założenia modelu odwzorowującego system rzeczywisty to:

- równiarka – samobieżna firmy Caterpillar, model 160M,
- środki transportowe – ciągniki siodłowe z naczepami o średniej ładowności 30 Mg, poruszające się ze średnią prędkością 20 km/h.

Przyjęto także, że:

- maszyny w systemie nie ulegają uszkodzeniom,
- nie tworzy się kolejka podczas załadunku środków transportowych, przyjmując średni czas załadunku jako wartość stałą.

Obliczenia wykonano przyjmując odległości w poszczególnych przypadkach od najbliższego placu składowego od 0,5 do 15,0 km.

Na podstawie wymienionych założeń przyjęto dla rozwiązywanego zagadnienia model wg symboliki Kendalla model M/M/1 z ograniczonym strumieniem wejścia

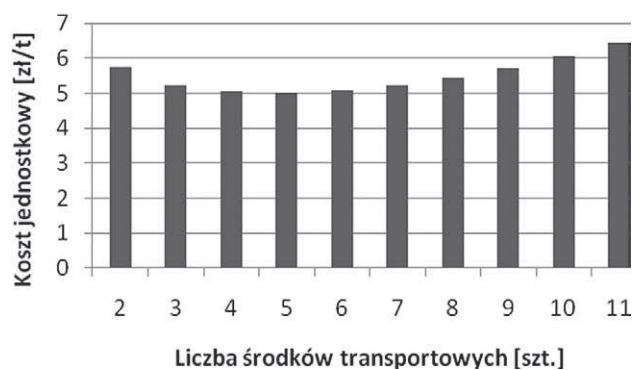
i sprzężeniem zwrotnym i do obliczeń przyjęto odpowiednie dla tego modelu zależności analityczne⁴. Koszty jednostkowe produkcji k_{jm} oraz wydajność systemu W_m określa się według zależności:

$$k_{jm} = \frac{k_{jm} + mk_s}{W_m} \quad [\text{zł/Mg}],$$

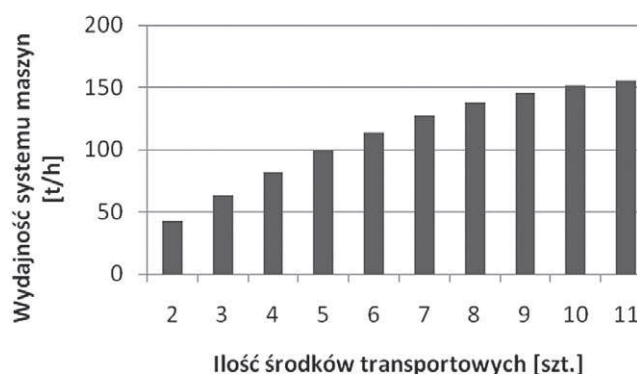
$$W_m = (1 - P_0) \mu qT \quad [\text{Mg/T}], \quad (1)$$

gdzie: k_{jm} – koszt jednostki produkcji przy zatrudnieniu m jednostek transportowych (samochodów) w systemie, W_m – wydajność systemu przy zatrudnieniu m samochodów; k_r i k_s – koszt jednej maszynogodziny pracy równiarki i samochodu; $m = 1, 2, \dots, N$.

Wykonano wiele obliczeń, przykład wyników kosztów jednostkowych produkcji i wydajności systemu dla odległości 22 km (ze składowiska do frontu robót i powrotem) przedstawiają rysunki 6 i 7.



Rys. 6. Koszt jednostkowy w zależności od liczby środków transportowych dla $s = 22$ km



Rys. 7. Wydajność systemu maszyn w zależności od liczby środków transportowych dla $s = 22$ km

Wykonane obliczenia dla zmiennej drogi s , jaką pokonać musi środek transportowy w cyklu roboczym można ująć w dwóch tabelach zbiorczych – tabele 7 i 8. Obliczenia wykonano dla odległości z dokładnością 100 m.

Wyniki z tabeli 7 naniesiono na schemat odcinka autostrady z zaznaczoną lokalizacją składowisk kruszywa (rys. 8) uzyskując mapę izarytmiczną chorochroma-

Tabela 7. Wyniki optymalizacji kosztów jednostkowych wykonania warstwy podbudowy drogi

Odcinek	Liczba środków transportowych, przy której jednostkowe koszty produkcji dla danej odległości przewozu kruszywa będą najniższe			
	2	3	4	5
1,0–6,7				
6,7–13,1				
13,1–19,6				
19,6–30,0				

wane warunki realizacji robót liniowych i obiektów drogowych wymagają wsparcia dobrze przygotowaną logistyką. Struktura systemów logistycznych, stosowane strategie zarządzania logistyką budowy oraz modele obsługi logistycznej wpływają na koszty logistyczne i w efekcie efektywność realizacji przedsięwzięć. Różnorodność i zmienność warunków, w jakich jest wykonywana, wymaga zastosowania starannie dobranej strategii zarządzania logistyką budowy i odpowiednich modeli i metod obsługi logistycznej. Zmienne warunki

Tabela 8. Wyniki optymalizacji wydajności systemu

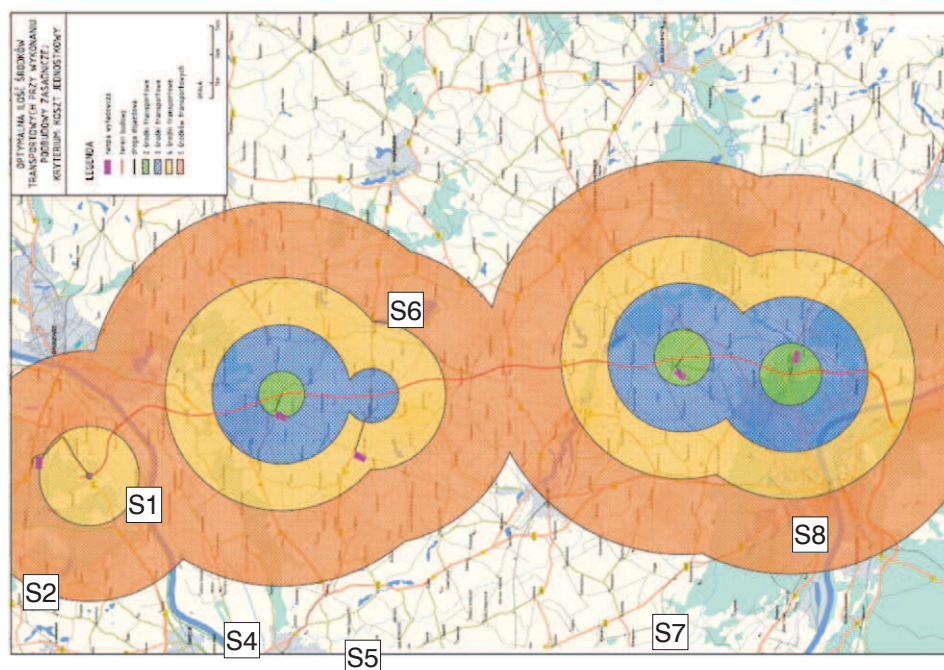
Odcinek	Liczba środków transportowych, przy której wydajność systemu dla danej odległości przewozu kruszywa będzie największa									
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
1,0–2,1										
2,2–4,6										
4,7–7,3										
7,4–10,3										
10,4–13,3										
13,4–16,5										
16,6–19,7										
19,8–23,0										
23,1–26,4										

tyczną. Izolinie oddzielają od siebie obszary, o określonej liczbie środków transportowych zaangażowanych do wykonania podbudowy, przy której koszty jednostkowe produkcji są najniższe. Podczas konstruowania mapy uwzględniono najkrótsze drogi dojazdowe ustalone z zarządcami dróg.

5. Podsumowanie

Realizacja przedsięwzięć drogowych stanowi duże wyzwanie pod względem technicznym, ekonomicznym, organizacyjnym. Wielkość przedsięwzięć i skompliko-

w w długim czasie wykonywania robót budowlanych wymagają stosowania operatywnego zarządzania wspieranego metodami naukowymi i techniką komputerową oraz nowoczesnymi technologiami informacyjnymi. Koszt budowy dróg, a w szczególności autostrad jest tak duży, że uczestnicy przedsięwzięć drogowych powinni szukać takich rozwiązań zarówno w projektowaniu, rozwiązaniach materiałowych i konstrukcyjnych, a wykonawcy robót budowlanych organizacyjnych, które zapobiegają marnotrawstwu, przynoszą oszczędności bez obniżania jakości funkcji jaką spełniają obiekty drogowe. W artykule przedstawiono, a właściwie przy-



Rys. 8. Ilustracja wyników – izolinie do doboru liczby samochodów do równiarki wykonującej warstwę podbudowy drogi z przykłądem obliczeniowego

- S – składowisko kruszywa
- 2 samochody
- 3 samochody
- 4 samochody
- 5 samochodów

pomina się proste metody matematyczne, pozwalające na otrzymanie ekonomicznych rozwiązań organizacyjnych, które mogą z korzyścią być wdrażane w zarządzaniu logistycznym w praktyce budowlanej.

Zarządzanie przedsięwzięciami budowlanymi we wszystkich ich fazach, a w szczególności w fazie realizacji robót budowlanych jest bardzo złożone, zależy od wielu czynników, często niezależnych od wykonawcy. Jednakże doświadczenia krajowe i zagraniczne wskazują na możliwość praktycznego zastosowania racjonalnych rozwiązań w oparciu o metody naukowe, a nie tylko doświadczenie i intuicję.

Ankietowane przedsiębiorstwa budowlane przyznają, że nie analizują kosztów obsługi logistycznej w formie wyceny kosztów. Trudno ocenić, jakim kosztem realizują stojące przed nimi wyzwania logistyki. Nie padła pozytywna odpowiedź, czy stosują metody matematyczne, tj. rachunek optymalizacyjny w podejmowaniu decyzji w zarządzaniu łańcuchem dostaw [5]. Koszty budowy dróg są wysokie, np. koszt budowy niektórych odcinków autostrady A1 to 50 mln zł za 1 km (dane od wykonawcy). Może także i optymalizacja logistyki zaopatrzenia z punktu minimalizacji kosztów przyniosłaby obniżenie kosztów budowy?

Artykuł opracowano w ramach projektu badawczego nr 2124/B/T02/2011/40 finansowanego przez NCN.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Kabziński A., Prognoza zapotrzebowania i produkcji kruszyw w Polsce w latach 2012–2020. Nowoczesne budownictwo inżynierskie, 11–12/2012, s. 84–89
- [2] Leńczowski D., Analiza wpływu rozwiązań organizacyjnych logistyki zaopatrzenia budowy w kruszywo na czas i koszty robót drogowych. Praca inżynierska, AGH w Krakowie, 2012, wykonana pod kierunkiem A. Sobotka
- [3] Sobotka A., Logistyka przedsiębiorstw i przedsięwzięć budowlanych, Wydawnictwa Uczelniane AGH, Kraków 2010
- [4] Sobotka A., 1989: Organizacja i zarządzanie w budownictwie. Badania operacyjne w zarządzaniu. Część II. Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Lubelskiej, Lublin
- [5] Sobotka A., Pawluś D., Wałach D., Czarnigowska A., Badanie procesów logistycznych przedsięwzięć drogowych. Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej, Budownictwo i Inżynieria Środowiska, z. 59, 3/2012/III
- [6] Trzaskalik T., Wprowadzenie do badań operacyjnych z komputerem. PWE, Warszawa 2008
- [7] Wojewódzka-Król K., Problemy rozwoju infrastruktury transportu w Polsce w świetle tendencji unijnych. Logistyka 3/2010, s. 18–21

NOWOŚCI WYDAWNICZE

Tytuł: Obciążenia budynków i konstrukcji budowlanych według Eurokodów

Autor: Anna Rawska-Skotniczy

Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2013

Książka jest niezbędnym wstępem i podstawą do projektowania wszelkich konstrukcji budowlanych i inżynierskich. Dotyczy zagadnień określonych w Eurokocie 1 – czyli obciążeń. Omówione zostały:

- Podstawowe definicje związane z obciążeniami,
- Metodologia definiowania obciążeń w programach komputerowych,
- Wprowadzenie do Eurokodów obciążeniowych oraz charakterystyka norm,
- Oddziaływania stałe oraz zmienne, oddziaływania śniegiem, wiatrem, termiczne, obciążenia oblodzeniem, oddziaływania wyjątkowe,
- Oddziaływania w czasie wykonywania konstrukcji, które po raz pierwszy zostały zdefiniowane w odrębnej normie.

Książka zawiera przykłady obliczeniowe wynikające z wieloletniej praktyki projektowej i eksperckiej autorki. W wielu rozdziałach są podane przykłady katastrof budowlanych, których jedną z przyczyn było nie-

uwzględnienie danego obciążenia. Do książki dołączona jest płyta CD, która zawiera nakładkę programu Kalkulator Oddziaływań

Normowych KON EN firmy SPECBUD, który umożliwia wyznaczenie oddziaływań na budowie i ich elementy wg norm obciążeniowych, w tym także normy wiatrowej, śniegowej oraz pliki obliczeń oparte na wybranych przykładach z książki. Publikacja przeznaczona jest dla studentów budownictwa i architektury oraz ich wykładowców. Przyda się także projektantom oraz inżynierom, którzy chcą rozszerzyć swoją wiedzę. Pewne elementy mogą być wykorzystywane przez projektantów maszyn i urządzeń (np. żurawi wieżowych, urządzeń energetycznych) i inżynierów kierunków pokrewnych dla budownictwa, jak np. inżynieria środowiska, instalacje sanitarne.

