

OBSZARY EFEKTYWNEGO ZASIĘGU BETONOWNI

Edwin KOŹNIEWSKI*, Marcin ORŁOWSKI

Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Politechnika Białostocka, ul. Wiejska 45 A, 15-351 Białystok

Streszczenie: Z geometrycznego punktu widzenia obszarami optymalnego zasięgu obiektów oddziałujących na otoczenie w różny sposób (jednostki świadczące usługi produkcyjne, handlowe, socjalne, kulturalne, pedagogiczne, ratunkowe, bezpieczeństwa) są obszary określone według diagramów Voronoja, w określonej metryce przestrzeni (w praktyce najczęściej miejskiej indukowanej przez sieć dróg). W odniesieniu do jednostek takich jak pogotowie ratunkowe, pogotowia awaryjne (różnego rodzaju), straż pożarna, policja i, interesująca nas szczególnie tym artykule, dostawa betonu towarowego, ważną sprawą jest nie tyle odległość, co czas (a dokładniej odległość czasowa). Przy tworzeniu diagramów Voronoja należałoby posługiwać się właśnie odległością czasową, czyli korzystać z odległości z wagami. W artykule zaproponowano sposób wyznaczania odległości czasowych (w efekcie obszarów zasięgu betonowni) z wykorzystaniem sformułowanego (w tej pracy) współczynnika czasu przejazdu pojazdu w danej porze dnia. By dokonać optymalizacji lokalizacji betonowni wprowadzono wskaźniki transportochłonności czasowej.

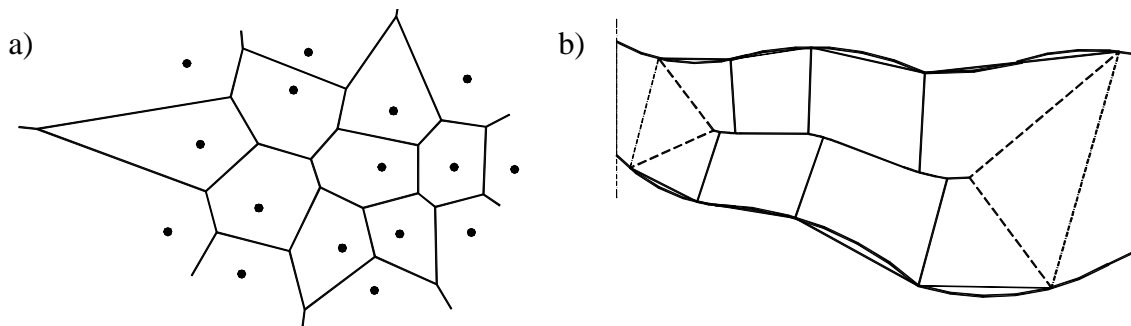
Słowa kluczowe: wagowe diagramy Voronoja, odległość czasowa, współczynnik czasu przejazdu pojazdu w danej porze dnia, wskaźnik transportochłonności czasowej, transport mieszanki betonowej, zasięg czasowy.

1. Wprowadzenie

Transport betonu towarowego wymaga wyjątkowej dyscypliny czasowej. Zatem, przy planowaniu transportu mieszanki do miejsca wbudowania powinno się brać pod uwagę nie tyle odległość, co czas. Interesuje nas więc „odległość w czasie” między miejscem produkcji i miejscem wbudowania, przy uwzględnieniu sposobu transportu (środek transportu, trasa, pora dnia, nośność dróg, ...) (Kozniewski i Orłowski, 2001). Stąd pojawia się pojęcie odległości czasowej jako geometrycznej odległości z przypisaną wagą, określoną przez czas pokonania tej odległości w danych warunkach. W odniesieniu do wytwórni mieszanki betonowej jej

lokalizacja względem odbiorców ma wpływ na możliwość zaopatrzenia. Celem artykułu jest opis sposobu wyznaczania wag czasowych odległości odbiorców betonu towarowego od wytwórni w aspekcie oceny efektywności transportu.

W każdej przestrzeni metrycznej dla każdego elementu należącego do danego zbioru punktów (lub ogólnie zbiorów) S , określony jest jednoznacznie obszar Voronoja zawierający punkty, dla których dany punkt jest najbliższy spośród punktów ze zbioru S . Na rysunku 1 zilustrowano taki zbiór obszarów, zwanym diagramem Voronoja na płaszczyźnie euklidesowej (Preparata i Samos, 2003) (rys. 1a) oraz diagram Voronoja dla wielokąta wpisanego w krzywą wyrażający optymalny

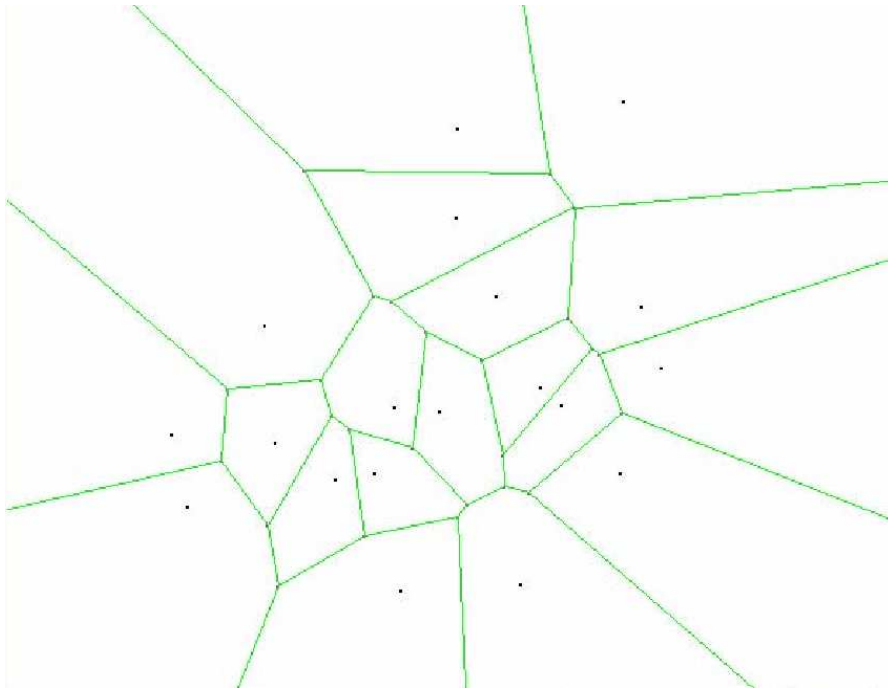


Rys. 1. Przykładowe diagramy Voronoja (Kozniewski, 2007): a) klasyczny na płaszczyźnie euklidesowej; b) dla odcinków brzegu wielokąta wyrażający optymalny podział rzeki na obszary pozyskiwania kruszywa płukanego

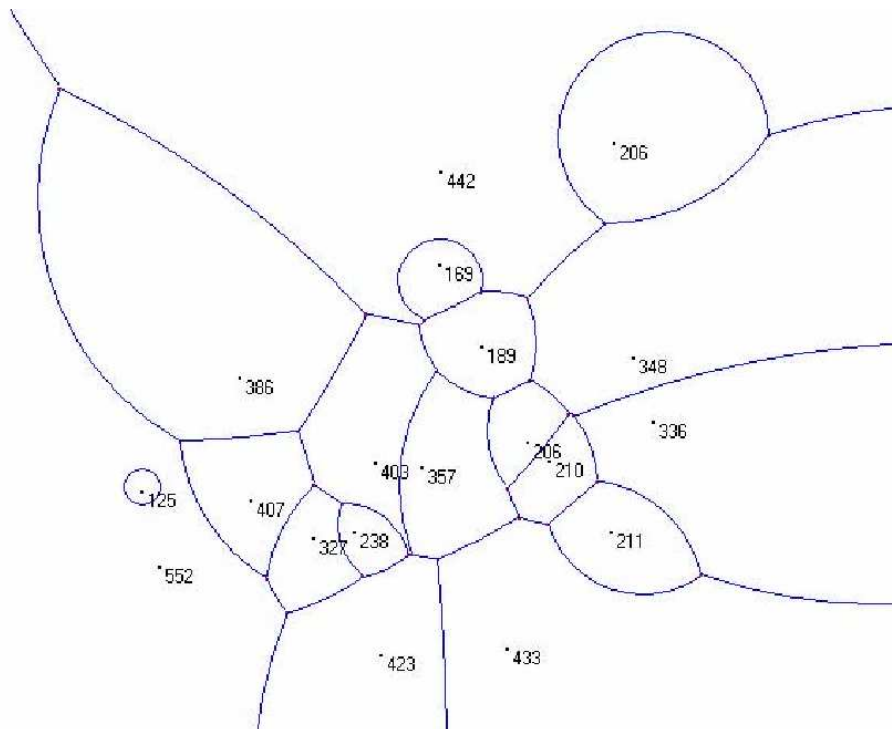
* Autor odpowiedzialny za korespondencję. E-mail: e.kozniewski@pb.edu.pl

podział rzeki na obszary, których punkty pozyskiwania kruszywa płukanego są położone najbliżej prostoliniowych odcinków brzegu, które aproksymują linię brzegową (Koźniewski, 2006; Koźniewski, 2007) (rys. 1b). Jeśli punkty zbioru S oznaczają jedną z jednostek świadczących usługi produkcyjne, handlowe, socjalne, kulturalne, pedagogiczne, ratunkowe, bezpieczeństwa, to wyznaczone obszary są *obszarami optymalnego zasięgu* tej jednostki. W literaturze znane są

algorytmy tworzenia diagramów Voronoja dla różnych metryk, w tym dla metryki euklidesowej (Preparata i Samos, 2003) i miejskiej oraz metryk z wagami (Tiefelsdorf i Boots, 1997; Okabe i in., 2000; Novaes, 2010; Ahmadi, 2010) (rys. 2 i 3). W dalszych rozważaniach zaproponowana zostanie metoda tworzenia tak zwanych *odległości czasowych*, będących pewną interpretacją wag w uogólnionej metryce miejskiej (Koźniewski, 2010).



Rys. 2. Diagram Voronoja skonstruowany według odległości euklidesowej dla zbioru szkół w wybranym regionie (Ahmadi, 2010)



Rys. 3. Multyplikacyjny wagowy diagram Voronoja skonstruowany z uwzględnieniem liczby uczniów dla tego samego, co na rysunku 2, zbioru szkół (Ahmadi, 2010)

2. Czas transportu mieszanki betonowej

Czas transportu mieszanki betonowej wyraża się sumą

$$t_{\text{tran}} = t_{\text{zal}} + t_{\text{trd}} + t_{\text{roz}}, \quad (1)$$

gdzie: t_{zal} jest czasem załadunku, t_{trd} jest czasem transportu dalekiego, t_{roz} jest czasem rozładunku. Wielkości t_{zal} i t_{roz} są zdeterminowane ilością mieszanki, sposobem ładowania i technologią rozładunku, są zależne od użytych urządzeń załadunkowo-rozładunkowych i technologii układania mieszanki. Są więc stałe dla danego procesu budowlanego i przyjętej technologii i organizacji układania mieszanki. Zwłaszcza pierwszy parametr t_{zal} jest stały – zależy jedynie od parametrów, zainstalowanych w betonowni, urządzeń do komponowania i załadunku transportowanej mieszanki i od jej objętości. Trzeci parametr t_{roz} zależy od sposobu układania i, znów, od objętości transportowanej mieszanki. Natomiast wielkość t_{trd} wyraźnie zależy od odległości punktu odbioru od miejsca usytuowania betonowni, jakości dróg, natężenia ruchu. Na wielkość parametru możemy mieć wpływ przez dobór pory dnia (zmniejszenie czasu transportu poprzez wybór mniejszego natężenia ruchu) lub zmniejszenie odległości poprzez przyjęcie innej lokalizacji betonowni.

W niżej omówionym modelu zajmujemy się optymalizacją lokalizacji betonowni z uwagi na czas t_{tran} , dokładniej w aspekcie efektywnego zasięgu czasowego betonowni. Przez *efektywny zasięg czasowy* betonowni, rozumiemy będnący obszar w którym betonownia jest w stanie dostarczać beton towarowy. Bowiemy czas t_{tran} transportu musimy dobrać tak, by zapewnić poprawność procesu technologicznego (zdążyć przed czasem rozpoczęcia wiązania betonu). Tzn. $t_{\text{tran}} \leq t_{\text{dop}}$, gdzie t_{dop} oznacza największy czas poprawności procesu technologicznego, tj. czas, w którym nie zachodzi proces wiązania betonu. Maksymalny czas transportu mieszanki betonowej t_{dop} związany jest z temperaturą i rodzajem środka transportu. Szczególnie krótki jest czas w okresie letnim przy wyższych temperaturach. Ilustruje to tabela 1 (Orłowski, 2010).

Tab. 1. Maksymalny czas transportu betonu towarowego w różnych warunkach klimatycznych (Orłowski, 2010)

Temperatura mieszanki betonowej [°C]	Dopuszczalny czas transportu t_{dop} [min]	
	rodzaj środka transportowego	
	bez mieszadła	z mieszadłem
5 – 10	70	120
10 – 20	50	90
20 – 25	30	60
25 – 30	20	30

Zmiana lokalizacji betonowni mobilnej jest stosunkowo łatwa. Jednakże wybór nowego miejsca (optymalnego spośród dopuszczalnych) może być dokonany pod warunkiem posiadania informacji

o prognozowanym zapotrzebowaniu na mieszankę betonową (Koźniewski i Orłowski, 2001 i 2007). Mając miejsca i wielkości zapotrzebowania betonu towarowego możemy przeprowadzić symulację transportu dla dopuszczalnych miejsc usytuowania węzłów produkcji betonu towarowego. Z ekonomicznego punktu widzenia właściciela betonowni, przy wyborze miejsca lokalizacji należy wziąć pod uwagę koszty dzierżawy terenu i inne koszty (Koźniewski i Orłowski, 2001), które w naszych rozważaniach pominiemy.

3. Czasy przejazdu samochodów specjalnych w różnych okresach dnia

Czasy t_i^{GPS} ($i = 1, 2, \dots, n$, gdzie n jest liczbą rozważanych tras) przejazdu samochodów możemy otrzymać na przykład za pomocą programowania GPS, dostępnego na stronach internetowych (<http://mapa.targeo.pl>). Wymagają one jednak korekt. Samochody specjalne (tu mamy na myśli betonowozy) poruszają się z określoną prędkością niezależnie od ograniczeń prędkości wynikających z organizacji ruchu. Stąd trzeba doświadczalnie wyznaczyć odpowiednie współczynniki (mnożniki i składniki). Wzorcowy czas t_i^{wz} dla trasy i wyznaczamy doświadczalnie lub korzystając z odległości d_i^{GPS} wyznaczonej za pomocą przelicznika (odległość d_i^{GPS} dzielimy przez średnią prędkość środka transportu v)

$$t_i^{\text{wz}} := \frac{d_i^{\text{GPS}}}{v}, \quad (2)$$

gdzie t_i^{wz} jest czasem wzorcowy transportu dalekiego, d_i^{GPS} jest odległością otrzymaną za pomocą programu GPS, v jest dopuszczalną prędkością środka transportu w danym terenie. Otrzymaną wielkość przyjmujemy to jako $t_i^{22.00-6.00}$ w okresie czasu w godzinach 22.00-6.00:

$$t_i^{22.00-6.00} := t_i^{\text{wz}}. \quad (3)$$

Aby wyznaczyć czas dla okresu 6.00-7.30 należy przejechać (najlepiej kilkakrotnie) dowolnym samochodem (ale z prędkością dopuszczalną dla betonowozu, odliczając ewentualne przestoje wymuszone sygnalizacją świetlną) przez wybraną reprezentatywną trasę i zmierzyć czas $t_i^{6.00-7.30\text{dosw}}$ w porze 6.00-7.30 a potem określić, wspólny dla wszystkich tras, współczynnik czasu przejazdu pojazdu w danej porze dnia $c_{6.00-7.30}$ (iloraz otrzymanego czasu [min] do czasu $t_i^{22.00-6.00}$ w godz. 22.00-6.00, bez postojów przed sygnalizacją świetlną)

$$c_{6.00-7.30} := \frac{t_i^{6.00-7.30\text{dosw}}}{t_i^{\text{wz}}}, \quad (4)$$

gdzie $c_{\text{od-do}}$ jest współczynnikiem czasu przejazdu pojazdu w porze dnia od-do, t_i^{wz} jest czasem wzorcowym transportu dalekiego i -tej trasy, $t_i^{6.00-7.30\text{dosw}}$ jest czasem zmierzonym doświadczalnie lub obliczony na podstawie

odległości wyznaczonej za pomocą odpowiedniego programu GPS.

W niniejszej pracy zakładamy, że otrzymany współczynnik czasu przejazdu w danej porze dnia jest ogólny i dotyczy wszystkich tras (nie zależy od i). Dlatego w opisie współczynnika $c_{6.00-7.30}$ pomijamy indeks i oznaczający numer trasy. Wyznaczenie wartości t_i^{wz} odbywać się powinno na podstawie wielokrotnie powtórzonego badania, w następstwie opracowania statystycznego. Ponadto, przyjęty, wspólny dla wszystkich tras, współczynnik $c_{6.00-7.30}$ jest znaczącym uproszczeniem, gdyż każda trasa ma swoją specyfikę (przykładowo jest bardziej lub mniej uczęszczana, znajduje się, w całości, w mieście lub wychodzi poza miasto).

Procedurę powtarzamy dla przedziałów czasowych: 7.30-9.00, 9.00-14.30, 14.30-16.30, 16.30-22.00 i wyznaczamy współczynniki $c_{6.00-7.30}$, $c_{7.30-9.00}$, $c_{9.00-14.30}$, $c_{14.30-16.30}$, $c_{16.30-22.00}$.

Przez przejazd z pominięciem postoju z powodu „czerwonych świateł” rozumiemy taką sytuację kiedy mamy na każdym skrzyżowaniu zielone światło („zieloną falę”).

Aby wyznaczyć czasy przejazdu t_i^{od-do} otrzymany poprzednio czas t_i^{wz} (czas wzorcowy transportu dalekiego) należy pomnożyć przez obliczone współczynniki c_{od-do} doliczając (dodając) czas zmiany świateł (plus długość trwania czerwonego światła na skrzyżowaniu pomnożona przez liczbę skrzyżowań z sygnalizacją świetlną). Trzeba więc obliczyć liczbę lss_i skrzyżowań z funkcjonującą sygnalizacją świetlną nadając każdemu skrzyżowaniu wartość równą długości czs_i czasu zmiany świateł (suma czasów trwania świateł czerwonych i żółtych na danym skrzyżowaniu, z uwzględnieniem przybliżonego średniego czasu potrzebnego do ruszenia samochodu stojącego w kolejce). Mamy więc

$$t_i^{od-do} = c_{od-do} t_i^{wz} + lss_i \cdot czs_i \quad (5)$$

gdzie t_i^{od-do} jest czasem przejazdu na trasie i w przedziale czasowym od-do, c_{od-do} jest współczynnikiem przedziału czasowego, t_i^{wz} jest czasem wzorcowym transportu dalekiego, lss_i jest liczbą skrzyżowań z funkcjonującą sygnalizacją świetlną, czs_i jest czasem zmiany świateł.

Trzeba dodać, że ważne znaczenie mają skrzyżowania bez sygnalizacji świetlnej, które spowalniają ruch samochodu, często bardzo istotnie, jak na przykład skrzyżowanie z drogą podporządkowaną. Istotne znaczenie mają także sygnalizacje akomodacyjne, których powyższy schemat nie obejmuje. Jednakże na tym etapie rozważań w niniejszym artykule, w celu uproszczenia, przypadki te pominięto w obliczeniach.

4. Model lokalizacji jednej betonowni

Załóżmy, że mamy dane n punktów O_i odbioru mieszanki betonowej o zapotrzebowaniach V_i ($i = 1, 2, \dots, n$). Mogą to być odbiorcy, których zaopatrywała betonownia B w ciągu pewnego czasu, np. jednego roku ($i = 1, 2, \dots, n$). Oznaczmy przez t_i czasy transportu mieszanki o objętości V_i z betonowni B do punktu odbioru O_i . Wówczas

możemy określić wskaźnik transportochłonności czasowej L lokalizacji betonowni względem odbiorców jako sumę

$$L = \sum_{i=1}^n t_i V_i \text{ [min} \cdot \text{m}^3\text{]}. \quad (6)$$

Można powiedzieć, że wielkości t_i stanowią wagi poszczególnych transportowanych mas V_i mieszanki betonowej. Przy z góry zadanych zapotrzebowaniach V_i ($i = 1, 2, \dots, n$) usytuowanie jest tym lepsze im mniejsza jest wartość wskaźnika (6).

Określmy teraz zbiór dopuszczalny $\{1, 2, \dots, m\}$ lokalizacji betonowni B. O dopuszczalności zbioru decyduje tak rzeczywista możliwość instalacji w danym miejscu jak i istnienie intratnego odbiorcy O_{i^*} o dużym zapotrzebowaniu V_{i^*} . Lokalizację j ($j \in \{1, 2, \dots, m\}$) betonowni B oznaczmy przez B^j . Jeżeli zapotrzebowania V_i potraktujemy jako wielkości stałe (wielkości zdeterminowane potrzebami technologicznymi odbiorców) a wielkości t_i^j ($i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m$) jako zmienne indukowane przez różne położenie betonowni B^j (przyjęte jako możliwe potencjalne lokalizacje j) względem punktów odbioru O_i , to można porównywać sumy $L(j) = \sum_{i=1}^n t_i^j V_i$ i znaleźć wartość j_0 , dla której funkcja $L(j)$ przyjmuje minimum, tj.

$$L(j_0) = \min_{j \in \{1, 2, \dots, m\}} \sum_{i=1}^n t_i^j V_i \text{ [min} \cdot \text{m}^3\text{]}, \quad (7)$$

gdzie ($j = 1, 2, \dots, m$). Lokalizacja w miejscu j_0 -tym jest optymalna.

Dla każdego usytuowanego węzła B^j ($j \in \{1, 2, \dots, m\}$) produkcji mieszanki betonowej należy wyznaczyć czasy t_i^j ($i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m$) wykonać mapę zasięgu czasowego.

W przypadku, gdy nie znamy rzeczywistych wielkości sprzedanego betonu a znamy jedynie udział procentowy odbiorców w sprzedanej masie materiału, funkcja-wskaźnik L (7) może być określona następująco. Niech

$$V = \sum_{i=1}^n V_i, \text{ przyjmujemy } u_i = \frac{V_i}{\sum_{i=1}^n V_i} = \frac{V_i}{V}. \text{ Oczywiście}$$

wtedy $\sum_{i=1}^n u_i = 1$. Zaś funkcja $L^*(j)$ jest określona:

$$L^*(j) = \sum_{i=1}^n t_i^j u_i. \text{ Otrzymujemy wtedy unormowany}$$

wskaźnik transportochłonności czasowej L^* lokalizacji betonowni

$$L^*(j_0) = \min_{j \in \{1, 2, \dots, m\}} \sum_{i=1}^n t_i^j u_i \text{ [min]}. \quad (8)$$

Nietrudno zauważyć, że obie funkcje $L(j)$ i $L^*(j)$ dają to samo rozwiązanie j_0 . Stosowanie postępowania (8) jest wygodniejsze, jeżeli przy ustalaniu optymalnej lokalizacji węzła nie posiadamy lub nie chcemy publikować wielkości sprzedaży betonu.

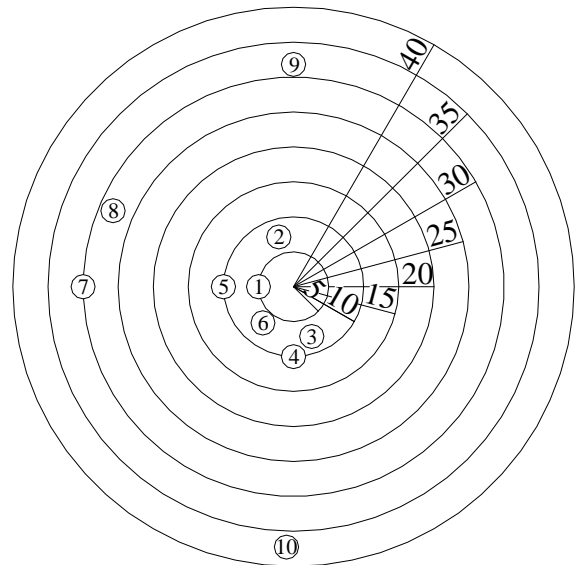
Wskaźnik L^* może być obliczany także w wyniku sumowania po porach dnia $p = 1, 2, \dots, k$. Otrzymujemy wówczas

$$L^{pd*}(j) = \sum_{p=1}^k \sum_{i=1}^n t_{pi}^j u_i \quad [\text{min}]. \quad (9)$$

Taki właśnie wskaźnik $L^{pd*}(j)$ został w niniejszej pracy obliczony dla poszczególnych lokalizacji.

5. Ilustracja odległości czasowych na „tarczy czasowej”

Odległości czasowe odbiorców od betonowni można zilustrować na tzw. „tarczy czasowej” – układzie okręgów współśrodkowych o promieniach, których długości oznaczają czasy wyrażone w minutach (rys. 4). Odbiorcy przedstawieni są za pomocą liczb (w „kółeczkach”) oznaczających przypisane im numery. Dla przyjętego czasu t_{dop} efektywnym obszarem zasięgu danej betonowni będzie zbiór tych odbiorców, którzy zmieścili się w okręgu o promieniu t_{dop} .



Rys. 4. „Tarcza czasowa” odległości czasowych [min] odbiorców dla lokalizacji betonowni

6. Przykład liczbowy dla betonowni na terenie Suwałk

Do analizy przyjęto mobilny zakład produkcji betonu towarowego RAK-BUD (www.rakbud.com.pl), który aktualnie znajduje się na terenie miasta Suwałki przy ulicy Sejneńskiej 63. Ponadto przyjęto następujące trzy hipotetyczne lokalizacje węzła mobilnego przy: ul. Mariana Buczka 132, ul. Ignacego Krasickiego 48, ul. Knuta Olofa Falka 78 (Krzymiński, 2010).

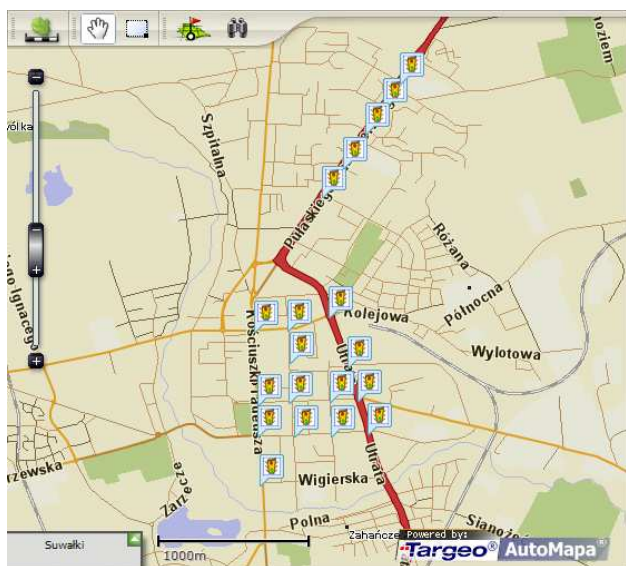
Odległości, odległości czasowe i wizualizacje trasy zostały uzyskane ze strony internetowej mapa.targeo.pl. Odległości czasowe [min] podane w tabeli 2 są to czasy przejazdu t_i^{wz} środka transportu od węzła betoniarńskiego do losowo wybranych lokalizacji, które będą traktowane jako hipotetyczni odbiorcy.

Tab. 2. Odległości [km] i nocne (wzorcowe) czasy przejazdu betonowozu [min] z istniejącego węzła przy ul. Sejneńskiej 63

Lp.	punkt docelowy	pora dnia	odległość [km]	czas przejazdu t_i^{wz} [min]
SUWAŁKI				
1	ul. Reja 90	22.00-6.00	4,49	8
2	ul. Mała 5	22.00-6.00	2,85	4
3	ul. Ogrodowa 28	22.00-6.00	4,31	9
4	ul. Bydgoska 46	22.00-6.00	4,28	8
5	ul. Władysława Jagiełły 76	22.00-6.00	5,68	12
6	ul. Różana 7	22.00-6.00	3,57	8
POZA SUWAŁKAMI				
7	Augustów, ul. Kardynała Wyszyńskiego 2	22.00-6.00	31,00	25
8	Sejny, ul. Piłsudskiego 20	22.00-6.00	28,00	21
9	Wizajny, ul. Suwalska 15	22.00-6.00	38,00	33
10	Olecko, ul. Produkcyjna 19	22.00-6.00	40,00	38

Tab. 6. Zestawienie czasów transportu dalekiego (t_{trd}) betonu towarowego z ul. Sejneńskiej 63

Lp.	Punkt docelowy	Odległość [km]	Czas przejazdu w różnych porach dnia [min]					
			22.00-6.00	6.00-7.30	7.30-9.00	9.00-14.30	14.30-17.30	17.30-22.00
SUWAŁKI								
1	ul. Reja 84a	4,49	8,00	11,50	12,50	12,50	13,50	11,50
2	ul. Mała 5	2,85	4,00	7,00	7,50	7,50	8,00	7,00
3	ul. Ogrodowa 28	4,31	9,00	13,46	14,58	14,58	15,71	13,46
4	ul. Bydgoska 46	4,28	8,00	11,50	12,50	12,50	13,50	11,50
5	ul. Władysława Jagiełły 76	5,68	12,00	16,83	18,33	18,33	19,83	16,83
6	ul. Różana 7	3,57	8,00	10,67	11,67	11,67	12,67	10,67
POZA SUWAŁKAMI								
7	Augustów, ul. Kardynała Wyszyńskiego 2	31,00	25,00	30,63	33,75	33,75	36,88	30,63
8	Sejny, ul. Piłsudskiego 20	28,00	21,00	23,63	26,25	26,25	28,88	23,63
9	Wizajny, ul. Suwańska 15	38,00	33,00	38,79	42,92	42,92	47,04	38,79
10	Olecko, ul. Produkcyjna 19	40,00	38,00	46,08	50,83	50,83	55,58	46,08



Rys. 6. Wizualizacja rozmieszczenia sygnalizacji świetlnych w wybranym fragmencie miasta Suwałki

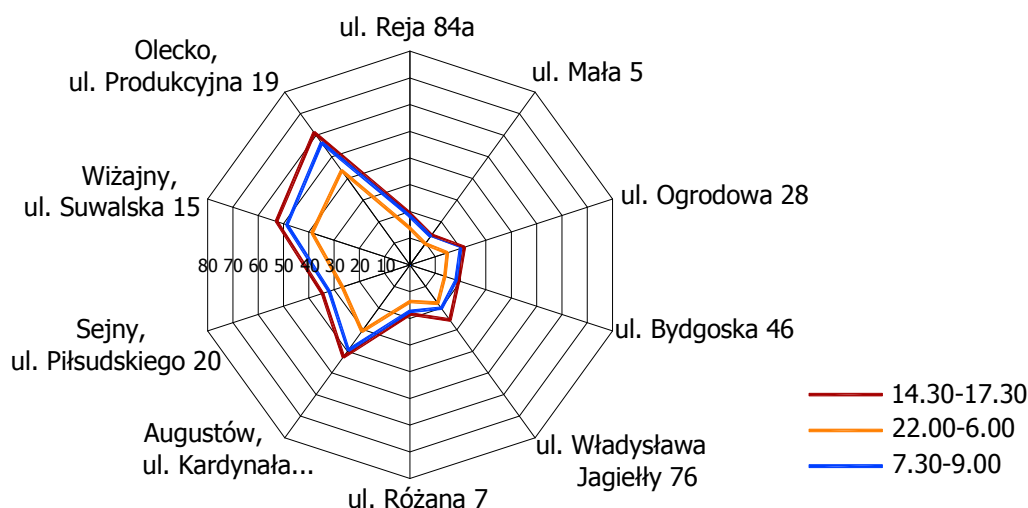
Jak już zaznaczono, szczególnym wymogiem technologicznym jest całkowity czas transportu mieszanki betonowej. Czas jaki upływa od momentu przygotowania mieszanki do chwili jej wbudowania, powinien być krótszy od czasu wiązania betonu w danych warunkach (t_{dop}). Czas załadunku betonowozu o pojemności 6 m^3 wyznaczono zgodnie z regułą podaną w monografii (Orłowski, 2010) w odniesieniu do węzła betoniarskiego wyposażonego w mieszalnik dwuwałowy MARC-MDE3000, w którym jednorazowo można wykonać zarób o objętości 2 m^3 w ciągu 50 s przy czasie załadunku i rozładunku mieszalnika wynoszącym po 25 s. Czas załadunku betonowozu o pojemności 6 m^3 wynosi więc 5min. Do wyznaczenia czasów rozładunku przyjęto

proces układania mieszanki betonowej przy budowie płyty basenu sportowego w realizowanym Aquaparku w Suwałkach z użyciem pompy do betonu PUTZMEISTER M42-4 BSF 42-4.14H o teoretycznej wydajności $140 \text{ m}^3/\text{h}$ (<http://www.swiatbetonu.pl>, Krzywiński, 2010). Po przyjęciu parametrów geometrycznych płyty i odpowiedniego podziału na działki robocze betonowanego obszaru po wykorzystaniu (Ormowski, 2010) otrzymano czas rozładunku betonowozu o pojemności 6 m^3 równy 9,32 min. Po uwzględnieniu zależności (1) dla obliczonych wartości $t_{zal} = 5 \text{ min}$, $t_{roz} = 9,32$ otrzymujemy całkowite czasy transportu (t_{tran}). W tabeli 7 zamieszczono wartości czasów przejazdu dla lokalizacji przy ulicy Sejneńskiej 63.

Tabelę 7 zinterpretowano na "tarczy" odległości czasowej (rys. 7).

Tab. 7. Zestawienie czasów transportu betonu towarowego (t_{tran}) z ul. Sejneńskiej 63

Lp	punkt docelowy	odległość [km]	czas przejazdu t_{tran} w różnych porach dnia [min]					
			22.00-6.00	6.00-7.30	7.30-9.00	9.00-14.30	14.30-17.30	17.30-22.00
SUWAŁKI								
1	ul. Reja 84a	4,49	13,71	17,21	18,21	18,21	19,21	17,21
2	ul. Mała 5	2,85	9,71	12,71	13,21	13,21	13,71	12,71
3	ul. Ogrodowa 28	4,31	14,71	19,17	20,29	20,29	21,42	19,17
4	ul. Bydgoska 46	4,28	13,71	17,21	18,21	18,21	19,21	17,21
5	ul. Władysława Jagiełły 76	5,68	17,71	22,54	24,04	24,04	25,54	22,54
6	ul. Różana 7	3,57	13,71	16,38	17,38	17,38	18,38	16,38
POZA SUWAŁKAMI								
7	Augustów, ul. Kardynała Wyszyńskiego 2	31,00	30,71	36,34	39,46	39,46	42,59	36,34
8	Sejny, ul. Piłsudskiego 20	28,00	26,71	29,34	31,96	31,96	34,59	29,34
9	Wizajny, ul. Suwalska 15	38,00	38,71	44,5	48,63	48,63	52,75	44,5
10	Olecko, ul. Produkcyjna 19	40,00	43,71	51,79	56,54	56,54	61,29	51,79

Rys. 7. "Tarcza czasowa" czasów transportu t_{tran} dla betonowozu 6 m^3 z ul. Sejneńskiej 63 (wartości minimalne przedziale 22.00-6.00, pośrednie 7.30-9.00 i maksymalne w przedziale 14.30-17.30)

7. Wybór najlepszej lokalizacji

Z powodu braku możliwości uzyskania danych o wielkości sprzedaży betonu towarowego dla poszczególnych odbiorców przyjęto ich udziały w sprzedaży zgodnie z tabelą 8. Posługując się unormowanym wskaźnikiem lokalizacji wykonano obliczenia. Przykładowe tabele (8, 9, 10, 11) zamieszczono poniżej.

Dla omawianych lokalizacji otrzymaliśmy wskaźnik lokalizacji $L^{pd*}(j_0) = \min_{j \in \{1, 2, \dots, m\}} \sum_{i=1}^n t_i^j u_i$ dla numerów liczby porządkowej według tabeli 11: $L^{pd*}(1) = 242,75$; $L^{pd*}(2) = 230,53$; $L^{pd*}(3) = 227,49$; $L^{pd*}(4) = 252,04$ i minimalną wartość dla $j_0 = 3$.

Najlepszym miejscem na lokalizację węzła betoniarskiego na terenie miasta Suwałki jest więc lokalizacja przy ul. Ignacego Krasickiego 48 ($j_0 = 3$), która uzyskała najmniejszą wartość $L^{pd*}(3) = 227,49$. Jednakże przy ostatecznej decyzji dotyczącej lokalizacji warto wyznaczyć wartości względne wskaźników lokalizacji, przykładowo w odniesieniu do wartości wskaźnika istniejącej betonowni. Wartości te są zamieszczono w ostatniej kolumnie tabeli 11.

Tab. 8. Udział [%] poszczególnych odbiorców w sprzedaży betonu towarowego

Odbiorcy	ul. Reja 84a	ul. Mała 5	ul. Ogrodowa 28	ul. Bydgoska 46	ul. Władysława Jagiełły 76	ul. Różana 7	Augustów, ul. Kardynała Wyszyńskiego 2	Sejny, ul. Piłsudskiego 20	Wizajny, ul. Suwalska 15	Olecko, ul. Produkcyjna 19
Udział [%]	12	9	22	4	7	14	11	3	8	10
Wartość u_i	0,12	0,9	0,22	0,4	0,7	0,14	0,11	0,3	0,8	0,10

Tab. 9. Wskaźniki L_i^* w odniesieniu do różnych pór dnia dla lokalizacji przy ul. Sejneńskiej 63

Lp	Punkt docelowy	Odległość [km]	L_i^* w odniesieniu do różnych pór dnia						
			22.00-6.00	6.00-7.30	7.30-9.00	9.00-14.30	14.30-17.30	17.30-22.00	
SUWAŁKI									
1	ul. Reja 84a	4,49	3,36	3,78	3,90	3,90	4,02	3,78	
2	ul. Mała 5	2,85	2,16	2,43	2,48	2,48	2,52	2,43	
3	ul. Ogrodowa 28	4,31	6,39	7,37	7,62	7,62	7,86	7,37	
4	ul. Bydgoska 46	4,28	1,12	1,26	1,30	1,30	1,34	1,26	
5	ul. Władysława Jagiełły 76	5,68	2,24	2,58	2,69	2,69	2,79	2,58	
6	ul. Różana 7	3,57	3,92	4,30	4,44	4,44	4,58	4,30	
POZA SUWAŁKAMI									
7	Augustów, ul. Kardynała Wyszyńskiego 2	31,00	4,95	5,57	5,92	5,92	6,26	5,57	
8	Sejny, ul. Piłsudskiego 20	28,00	1,23	1,31	1,39	1,39	1,47	1,31	
9	Wizajny, ul. Suwalska 15	38,00	4,24	4,71	5,04	5,04	5,37	4,71	
10	Olecko, ul. Produkcyjna 19	40,00	5,80	6,61	7,09	7,09	7,56	6,61	

Tab. 10. Wskaźnik L^* w odniesieniu do różnych pór dnia dla lokalizacji przy ul. Sejneńskiej 63

Punkt startowy	ΣL odległość [km]	L^* w różnych porach dnia					
		22.00-6.00	6.00-7.30	7.30-9.00	9.00-14.30	14.30-17.30	17.30-22.00
Sejneńska 63	162,18	35,43	39,92	41,85	41,85	43,77	39,92

Tab. 11. Zestawienie wskaźnika L^* w odniesieniu do różnych pór dnia oraz wartość sumarycznego $L^{pd^*}(j)$

Lp.	Punkt startowy	L^* w odniesieniu do różnych pór dnia						$L^{pd^*}(j)$	$\frac{L^{pd^*}(j)}{L^{pd^*}(1)}$
		22.00-6.00	6.00-7.30	7.30-9.00	9.00-14.30	14.30-17.30	17.30-22.00		
1	Sejneńska 63	35,43	39,92	41,85	41,85	43,77	39,92	242,75	1,00
2	Mariana Buczka 132	34,40	37,79	39,59	39,59	41,38	37,79	230,53	0,95
3	Ignacego Krasickiego 48	34,33	37,20	38,99	38,99	40,78	37,20	227,49	0,94
4	Knuta Olafa Falka 78	35,46	41,77	43,70	43,70	45,63	41,77	252,04	1,04

8. Podsumowanie i wnioski

Podana propozycja wyznaczania odległości czasowych, czyli określania wag w metryce miejskiej (i nie tylko) w aspekcie zastosowań diagramów Voronoja, jest istotnym wstępem do tworzenia algorytmów wyznaczania sieci połączeń drogowych z uwzględnieniem czasu przejazdu pojazdów o szczególnym znaczeniu w organizacji życia zbiorowego ludności w zatłoczonych komunikacyjnie obszarach bytowania człowieka. Jest to teoretyczna koncepcja tworzenia modeli logistycznych do formułowania algorytmów symulacji procesu przemieszczania się pojazdów w komunikacji w obszarach zurbanizowanych. Wyjątkowy charakter transportu betonu towarowego stanowi znakomity wzorzec w zagadnieniu modelowania odległości czasowych.

1. Dyskusyjną sprawą jest arbitralny wybór (i podział na okresy czasowe) pór dnia przy określaniu współczynnika czasu przejazdu pojazdu w danej porze dnia. Wybór ten, z zachowaniem ogólnej obserwacji zagadnienia inżynierii ruchu, podyktowany został głównie względami metodologicznymi i wymaga szczegółowych analiz w odniesieniu do praktyki. Pory dnia zwiększonego natężenia ruchu i wartość owego współczynnika zależą bowiem od miejscowości, godzin pracy ludności, rozkładu lokalnej gęstości zaludnienia, obecności większych sklepów w danym obszarze, atrakcyjności danej trasy, itp., i powinny być określone w następstwie przeprowadzonych badań natężenia ruchu na danym obszarze.
2. Porównując czasy t_{tran} (załadunek, transport daleki, rozładunek) z czasami z tabeli 1 można zaobserwować, iż przy temperaturze 25-30°C zakres działań betonowni we wszystkich lokalizacjach byłby bardzo ograniczony, jedynie do niektórych części miasta Suwałki.
3. W procedurze optymalizacji lokalizacji betonowni raczej powinniśmy posługiwać się wartością względną wskaźników L , L^* , L^{pd*} , gdyż dopiero ona wskazuje na istotne różnice transportochłonności czasowych, pozwalających dokonać właściwego wyboru.
4. W omawianym modelu i przykładzie rozpatrywano jedną betonownię, w dalszych badaniach i opracowaniach uwzględniony zostanie zbiór wielu betonowni i ich wzajemne powiązanie.

Literatura

- Ahmadi Nejad Masouleh F. (2010) Constructing Weighted Voronoi Diagrams Using Computer Programs. <http://www.docstoc.com/search/voronoi-tessellations>.
- Koźniewski E. (2006). Zastosowanie geometrii dachów do wyznaczania linii rozdziału mas ziemnych. *Zeszyty Naukowe Politechniki Gdańskiej. Budownictwo Lądowe*. Tom III (LIX), Nr 602, 215-222.

- Koźniewski E. (2007). Geometria dachów. Teoria i zastosowanie. *Wydawnictwo Politechniki Białostockiej*, Białystok.
- Koźniewski E. (2010). Obszary efektywnego zasięgu betonowni. *Manuscript*, Białystok.
- Koźniewski E., Orłowski Z. (2001). Czynniki determinujące lokalizację węzłów produkcji mieszanki betonowej. *Inżynieria i Budownictwo*, 8/2001, 462-464.
- Koźniewski E., Orłowski Z. (2007). Prognozowanie zapotrzebowania na beton towarowy za pomocą regresji wielorakiej. W: *Problemy naukowo-badawcze budownictwa, Tom III: Materiały, technologie i organizacja w budownictwie*, Polska Akademia Nauk, Komitet Inżynierii Lądowej i Wodnej. Wydawnictwo Politechniki Białostockiej, Białystok, 265-273.
- Krzymiński M. (2010). Analiza lokalizacji betonowni w rejonie Suwałk w aspekcie topologii sieci drogowej. Praca magisterska, *Politechnika Białostocka*, Białystok.
- Novaes A., G., N. (2010). Solving Continuous Urban Districting Problems with Voronoi Diagrams.
- Okabe A., Boots B., Sugihara K., Chiu S. N. (2000) Spatial tessellations: Concepts and applications of Voronoi diagrams. *Probability and Statistics*. Wiley and Sons, Chichester, New York, Brisbane, Toronto and Singapore.
- Orłowski Z. (2010). Podstawy technologii betonowego budownictwa monolitycznego. *Wydawnictwo Naukowe PWN*, Warszawa.
- Preparata F. P., Samos M. I. (2003). Geometria obliczeniowa. Wprowadzenie. *Helion*, Gliwice.
- Tiefelsdorf M., Boots B. N. (1997). GAMBINI, A GIS utility program to calculate multiplicatively weighted Voronoi diagrams (v1.01). Available at: <http://www.wlu.ca/~wwwgeog/special/download/gambini.htm>.

OPTIMUM RANGE AREAS OF READY-MIXED CONCRETE PLANTS

Abstract: From a geometrical point of view, areas of optimum range of objects that affect the environment in different ways (providers of production, commercial, social, cultural, educational, rescue, security services) are defined by the Voronoi diagrams in a given metric space (in practice, it is mostly urban space induced by the network of roads). With regard to entities such as ambulance, emergency services (all types), fire brigade, police, and the supply of ready-mixed concrete were discussed in the article, not so much the distance as time is the most essential (and more specifically the time gap). During creating the Voronoi diagrams weighted distance should be used. This paper proposes a method of determining the distance of time (and as a result coverage areas of a concrete plant time range), formulated using the vehicle travel time index in the given time of day. In order to optimize the location of concrete plant special indicators, that measure the time needed to cover the distance time transport intensity, were introduced.

Pracę wykonano w Politechnice Białostockiej w ramach Pracy Statutowej nr S/WBiŚ/3/10