

WPLYW INTENSYWNOŚCI ZABUDOWY NA UDZIAŁ KOMUNIKACJI ZBIOROWEJ W PODRÓŻACH – ANALIZA MODELOWA

Aleksandra Faron

mgr inż., Katedra Systemów Komunikacyjnych, Politechnika Krakowska, 31-155 Kraków, ul. Warszawska 24, tel. +48 12 628 2028, afaron@pk.edu.pl

Streszczenie. *Planowanie struktury przestrzennej miasta powinno wpływać na przeciwdziałanie zatłoczeniu motoryzacyjnemu, co przejawia się zwiększaniem udziału komunikacji zbiorowej w podróży. Proces ten powinien brać pod uwagę zrównoważoną formę zagospodarowania przestrzennego, ale także konieczność dostosowania układu transportu zbiorowego w obszarze do zabudowy mieszkaniowej. Zarówno forma urbanistyczna jak i transportowa muszą ze sobą współgrać i być planowane równocześnie. Obecność atrakcyjnej formy transportu zbiorowego w obszarze przy dużej gęstości zaludnienia, może wpływać na zmianę zachowań komunikacyjnych mieszkańców, w kierunku wzrostu wykorzystania transportu zbiorowego w codziennych podróży.*

Słowa kluczowe: *modelowanie ruchu, planowanie zagospodarowania przestrzennego, wskaźnik intensywności zabudowy, dostępność do transportu zbiorowego*

1. Wstęp

Rozwijające się w sposób dynamiczny miasta polskie i obszary podmiejskie, wpływają na wzrost liczby podróży, które coraz częściej realizowane są za pomocą transportu indywidualnego. O ile w miastach zaobserwować można politykę przestrzenną, polegającą na zwiększaniu intensywności zabudowy w obszarze, o tyle na obszarach podmiejskich, bardzo często leżących przy granicy dużych miast, polityka przestrzenna właściwie nie istnieje. Porozumienia gmin ościennych z dużymi miastami, na temat kształtu zagospodarowania przestrzeni na obszarach sąsiadujących, właściwie nie są realizowane. Zagospodarowanie terenu na obszarach podmiejskich najczęściej charakteryzuje się zabudową niską, jednorodziną, co powoduje zwiększanie powierzchni zabudowanej obszaru o charakterze rozproszonym. Takie działania wpływać mogą na tworzenie się stanów kongestii motoryzacyjnej, głównie na wlotach drogowych do miast, a następnie przenoszą się na układ wewnętrzny ulic miejskich. Polityka przestrzenna gmin i miasta powinna dążyć do realizacji takich założeń, które prowadzą do wspólnego kształtowania przestrzeni mieszkaniowej o wysokiej intensywności - przy węzłach komunikacyjnych, przystankach kolejowych czy parkingach P&R. Wpływ wysokiej intensywności zabudowy oraz dostępności do transportu zbiorowego na udział komunikacji zbiorowej

w podróży jest przedmiotem tego artykułu. Wykorzystując z odpowiedni sposób czynniki struktury przestrzennej obszaru, możemy kontrolować liczbę podróży odbywanych transportem indywidualnym.

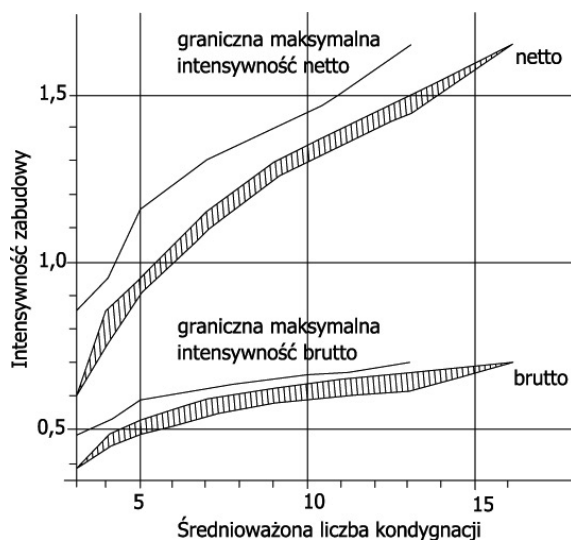
2. Czynniki struktury przestrzennej wpływające na liczbę podróży odbywanej transportem zbiorowym

Istnieje kilka czynników, które charakteryzują strukturę przestrzenną. Należą do nich m.in.: wielkość obszaru pod względem populacji, lokalizacja tego obszaru i odległość od centrum miasta, gęstość lub intensywność w odniesieniu do zabudowy, populacji i osób zatrudnionych, wielofunkcyjność funkcji obszaru i jego zabudowy, dostępność do infrastruktury, a także czynniki związane z transportem, jak obsługa parkingowa oraz parametry sieci ulicznej [1, 2, 3]. W artykule zostaną poddane analizie tylko dwa czynniki związane z zagospodarowaniem przestrzennym – wskaźnik intensywności zabudowy oraz dostępność do transportu zbiorowego.

2.1. Intensywność zabudowy

Intensywność zabudowy obrazuje stosunek powierzchni ogólnej zabudowy (powierzchnia zabudowy razy liczba kondygnacji) do powierzchni terenu (w określonych granicach). Różnicowanie intensywności zabudowy w obszarze może wpływać na generowaną wielkość potencjałów, skutkować zmianą podziału zadań przewozowych, a także przestrzennego rozkładu ruchu w modelowaniu podróży. Określenie wpływu czynnika intensywności na wymienione etapy prognozowania ruchu mogą wskazać na konieczność takiego przyjmowania wartości wskaźnika intensywności przy planowaniu struktur przestrzennych, który minimalizować będzie zatłoczenie motoryzacyjne w obszarze wynikające z generowania przez ten obszar ruchu.

W Polsce, do określenia ekonomicznego stopnia wykorzystania terenów miejskich stosuje się wskaźniki intensywności zabudowy. Wskaźniki te są przydatnym miernikiem przy projektowaniu zarówno zabudowy mieszkaniowej, jak i przekształcania obszarów miasta w zabudowę wielofunkcyjną. Najczęściej intensywność zabudowy zwiększa się w miarę wzrostu liczby kondygnacji. W 1974 roku, dla terenów zabudowy mieszkaniowej w Polsce, opracowany został normatyw, uzależniający obowiązujące wówczas minimalne i maksymalne wskaźniki intensywności zabudowy od średniej ważonej liczby kondygnacji (średnia ważona liczby kondygnacji to stosunek powierzchni ogólnej zabudowy do powierzchni zabudowanej, czyli terenu zajętego przez budynki). Poniższy rysunek 1 przedstawia zależność średniej ważonej liczby kondygnacji od intensywności zabudowy [4].



Rys.1. Relacja wskaźnika intensywności zabudowy mieszkaniowej netto do brutto w zależności od średnioważonej liczby kondygnacji budynków mieszkalnych

Jak widać z rysunku, przy średniej ważonej ponad 5 kondygnacji, wysokość zabudowy ma minimalny wpływ na intensywność zagospodarowania terenów mieszkaniowych. Badania przeprowadzone w Niemczech wskazują, że miasta zagospodarowane w przewadze zabudową jednorodziną wolno stojącą są najbardziej rozległe obszarowo, zaś miasta zabudowane domami do pięciu kondygnacji najmniejsze obszarowo. Miasta zabudowane budynkami wysokimi oraz miasta o zwartej niskiej zabudowie jedno i dwukondygnacyjnej, są w zasadzie równe obszarowo.

Polityka przestrzenna miast powinna zatem dążyć do takiego kształtowania obszarów mieszkalnych, które będą charakteryzowały się dosyć wysoką gęstością zaludnienia, skoncentrowanych przy węzłach komunikacyjnych (pętlach autobusowych, tramwajowych, węzłach przesiadkowych, przystankach kolejowych) lub wzdłuż korytarzy transportowych. Tylko taka lokalizacja zabudowy uskuteczni działania związane z redukowaniem udziału komunikacji indywidualnej w podróży. Natomiast polityka przestrzenna polegająca na braku kontroli zabudowy mieszkaniowej, może wpłynąć na decentralizację osadnictwa. O ile rozproszona zabudowa, tak charakterystyczna dla obszarów podmiejskich, odznacza się niskimi kosztami zasiedlenia (np. koszt zakupu działki), to koszty związane z zapewnieniem odpowiednich standardów komunikacji zbiorowej dla takiego obszaru są bardzo duże. Jednocześnie dla osób zamieszkujących takie obszary, istnieje najczęściej tylko jedyny środek transportu w podróży do centrum miasta, jakim jest samochód osobowy. A to związane jest z wysokimi kosztami użytkowania tego środka transportu.

2.2. *Dostępność do transportu zbiorowego*

Dostępność jest tą cechą obszaru, która świadczy o jego atrakcyjności. Dostępność możemy rozważać w dwóch kwestiach: jako dostępność urbanistyczną i dostępność transportową. Dostępność urbanistyczna jest rozumiana najczęściej jako zapewnienie wielu celów podróży, które są położone blisko jego źródła w taki sposób, aby istniała możliwość zrealizowania tego celu poprzez transport przyjazny środowisku. Dostępność transportowa rozumiana jest z jednej strony jako możliwość łatwego dostępu do różnych środków transportu (rozumiana pod względem krótkiego czasu dojścia do danego środka transportu), komfortu jego użytkowania oraz jego bezpieczeństwa. Należy jednak pamiętać, aby zapewnienie dostępności do infrastruktury drogowej, skupionej jedynie na wykorzystaniu samochodu, było kontrolowane. W artykule zostanie poddana analizie dostępność do transportu zbiorowego z analizowanego obszaru, jako odległość dojścia pieszego do przystanku komunikacji zbiorowej (linii kolejowej), liczona w linii prostej. Takie podejście jest stosowane najczęściej, gdy rozpatruje się obszary dostępności pieszej do przystanku. Istnieje jednak metoda określania ekwiwalentnej odległości dojścia do przystanku, która bierze pod uwagę rzeczywistą uciążliwość podróży pieszej do przystanku [5]. Model umożliwia określenie prawdopodobieństwa wyboru opcji pieszej przy dotarciu do przystanku komunikacji zbiorowej. Został on skalibrowany (przez P. Olszewskiego) na podstawie badań dostępności pieszej do kilku stacji metra w Singapurze [5]. Metoda ta bierze pod uwagę długość trasy dojścia, liczbę przejść przez ulice w jednym poziomie, liczbę stopni do pokonania w trakcie drogi do przystanku, liczbę kolizji z ruchem kołowym. Dla tak zdefiniowanych warunków, definiuje się ekwiwalentną odległość dojścia pieszego, w skutek czego powstają izolinie ekwiwalentne odległości dojścia. Podejście to jest dużo dokładniejszą metodą wyznaczania obszarów dojścia do przystanków komunikacji zbiorowej. W referacie zostanie poddana analizie tylko metoda określenia odległości dojścia pieszego w linii prostej. Dla warunków rzeczywistych, możliwe jest zdefiniowanie odległości dojścia na podstawie modelu Olszewskiego.

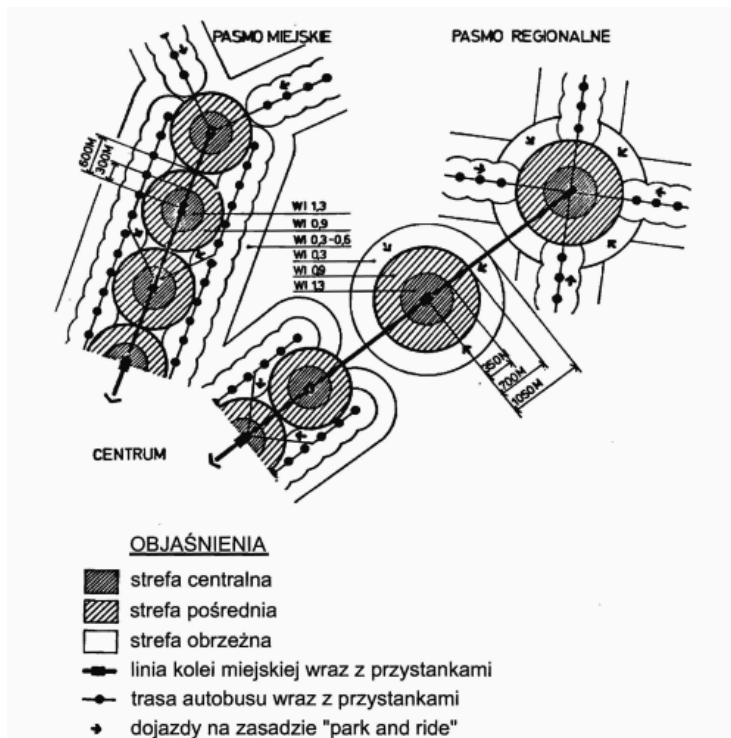
Jeżeli rozpatrujemy dostępność transportową w obszarze, powinniśmy kształtować rejony miasta w taki sposób, aby wzajemnie dostosowywać strukturę i funkcję zabudowy jednostek urbanistycznych oraz korytarzy transportowych, realizując zasadę: „średnicowy przebieg komunikacji zbiorowej, obrzeżny przebieg ponadlokalnego ruchu samochodowego”[8]. Dzięki takiemu kształtowaniu struktury przestrzennej mamy możliwość wpływania na wielkość generowanego ruchu indywidualnego przez jednostkę urbanistyczną. W trakcie tworzenia planów zagospodarowania przestrzennego należy badać strefy dojścia do przystanków komunikacji zbiorowej i kształtować zabudowę w taki sposób, aby każdy użytkownik przestrzeni miejskiej miał możliwość dogodnego dostępu przystanku komunikacji zbiorowej. Zatem już na etapie tworzenia, np. planów miejscowych, planiści mają możliwość kształtowania zachowań komunikacyjnych mieszkańców i wpływu na obniżanie kongestii motoryzacyjnej. Działania takie są dużo bardziej efektywne ekonomicznie i realizacyjnie, niż działania polegające na ingerencji w układ drogowy, już w trakcie zaistniałego problemu zatłoczenia motoryzacyjnego.

3. Model gęstości Hamburga – szacowanie potencjału ruchotwórczego pasma intensywniej zabudowy ciężącego do przystanku kolejowego

Lokalizacja przystanków komunikacji zbiorowej powinna być związana z intensywnością zabudowy. Kształtowanie intensywności zabudowy powinno opierać się o następującą zasadę: w promieniu szczególnie dobrej dostępności pieszej do przystanku (do 300 – 400 m) należy zapewnić wysoką intensywność zabudowy, a w strefie dalej położonej od przystanku, do 1000 m, należy przewidzieć dość wysoką intensywność zabudowy. W modelach polskich i zagranicznych można znaleźć kilka wartości promieni dojścia do przystanku komunikacji zbiorowej, głównie autobusowej (parametry zebrane w [6]), z uwzględnieniem stopnia intensywności zabudowy. Średnia wartość promieni dojścia wyniosła: dla centrum miasta – 300 m, dla zabudowy wielorodzinnej (intensywna zabudowa) – 450 m, zabudowa jednorodzinna (ekstensywna) – 750 m.

W latach 60-tych, XX wieku, w Niemczech stworzono koncepcję urbanistyczną, której istotę stanowiło wzajemne przyporządkowanie funkcji strukturalno – przestrzennej i komunikacji zbiorowej. Szczególny przykład rozwoju uporządkowanej i intensywnie zagospodarowanej strefy osadniczej można odnaleźć w Hamburgu [7]. Wg modelu stworzonego dla miast niemieckich, rozwój obszarów miał odbywać się wzdłuż miejskiej i regionalnej osi komunikacji miejskiej. Za najważniejsze cele modelu uznano zapewnienie prawdziwej, zrównoważonej mobilności mieszkańców, lepszą jakość życia i warunki środowiskowa naturalnego przyjazne dla mieszkańców. Związane z tym były także regulacje prawne i przedsięwzięcia finansowe, których celem było popieranie komunikacji publicznej, przede wszystkim na terenach miast. Wg tych założeń i regulacji, komunikacja publiczna miała otrzymać pełen priorytet. Dotychczasowa wolnorynkowa polityka przestrzenna, skupiona głównie na komunikacji indywidualnej, miała być zastąpiona kontrolowaną i zorientowaną na komunikację publiczną politykę inwestycyjną państwa. Bardzo widocznym dowodem takiego podejścia jest miasto Hamburg, w którym szkielet struktury osadniczej stanowi sieć komunikacji szynowej, ze współpracującym z nią systemem komunikacji publicznej, jak linie autobusowe i system P&R. Celem tego przedsięwzięcia było także wspomaganie komunikacji publicznej poprzez zagospodarowanie terenu i sterowanie gęstością użytkowania wokół przystanków. Według stworzonego tzw. modelu gęstości, w Hamburgu zrealizowano kilka wielkich osiedli mieszkaniowych, dzięki czemu Hamburg posiada sprawny system komunikacji zbiorowej, zapewniający wysoki komfort dla użytkowników. Poniżej przedstawiono schemat osi rozwojowych przewidzianych w tzw. modelu gęstości dla pasma miejskiego i regionalnego.

Na rys. 2. przedstawiony został układ pasma miejskiego wg modelu gęstości Hamburga, gdzie rdzeniem jest kolej miejska, z odstępem pomiędzy przystankami ok. 1200 m.



Rys.2. Schemat osi rozwojowych przewidzianych w tzw. modelu gęstości Hamburga

WI - wskaźnik intensywności zabudowy: stosunek sumy powierzchni poszczególnych kondygnacji budynków do powierzchni obszaru, na którym zabudowa ta jest zlokalizowana

Przystanki komunikacji miejskiej są dostępne pieszo z bezpośredniej strefy ciążenia. Koła o promieniu 300 m i 600 m pokazują obszar o bardzo dobrej i dobrej dostępności pieszej, gdzie wskaźniki intensywności zabudowy wynoszą 1,3 i 0,9. Teren położony dalej niż 600 m od kolei jest obsługiwany liniami autobusowymi, które biegają obrzeżem wzdłuż pasma zabudowy z gęsto zlokalizowanymi przystankami (z odstępem 300 m) i z taką wartością zasięgu strefy dojścia. W tym obszarze wskaźnik intensywności zabudowy powinien wynosić od 0,3 do 0,6. Linie autobusowe w module co drugi przystanek kolejowy są naprzemiennie doprowadzone do kolei ciągiem zgodnym z kierunkiem ciążenia ruchu (do śródmieścia), gdzie następuje przesiadka na kolej miejską. Dodatkowo z przystanków kolejowych korzystają także użytkownicy samochodów osobowych podróżujący w systemie Park & Ride.

Kontynuacją pasma miejskiego jest pasmo regionalne obsługiwane przez kolej aglomeracyjną z większym odstępem przystanków (2,5 km i więcej). Tu także obowiązuje zasada strefowania intensywności zabudowy.

Na podstawie schematu przedstawionego powyżej, możliwe jest oszacowanie potencjału pasażerskiego dla jednego przystanku kolejowego lub komunikacji szy-

nowej, a w konsekwencji także dla całego pasma zabudowy wzdłuż linii komunikacji zbiorowej (na podstawie szacunków przedstawionych w [8]).

4. Przykład obliczeniowy

W oparciu o przedstawiony powyżej model gęstości Hamburga, dokonano szacunku wielkości potencjału pasażerskiego, uwzględniając przypadek modelowy. Analiza zakłada, że oś komunikacyjna obszaru jest obsługiwana linią kolejową (lub miejskiego transportu szynowego), z odległością między przystankami ok. 1200 m. Obszar analizy podzielony jest na trzy strefy. Strefa I zdefiniowana jest poprzez następujące parametry: obszar bardzo dobrej dostępności do przystanku o promieniu 300 m, wskaźniku intensywności 1,3 oraz udziale komunikacji zbiorowej 70%. Strefę II stanowi obszar ograniczony okręgami o promieniu 300 i 600 m, wskaźnikiem intensywności 0,9 oraz udziałem komunikacji zbiorowej 50%. Strefa III leży poza obszarem ograniczonym okręgiem o promieniu 600 m, gdzie wskaźnik intensywności wynosi 0,3 – 0,6 i udział komunikacji zbiorowej 30%. Dla tak zadanych parametrów możliwe jest oszacowanie potencjału generującego ruch pasażerów komunikacji zbiorowej w odniesieniu do przystanku. Strefa I ma powierzchnię 283 tys. m², zalecana powierzchnia kondygnacji budynków zlokalizowanych w tej strefie wynosi zatem $1,3 \times 283 \text{ tys.} = 367 \text{ tys. m}^2$. Założmy, że będzie to tylko zabudowa mieszkaniowa, a na jednego mieszkańca przypada 50 m². Otrzymuje się zatem ogólnie zaludnienie strefy I równe $367:50 = 7,3 \text{ tys. osób}$. Ze względu na korzystną ofertę komunikacji zbiorowej tej strefy, możemy założyć, udział w ruchliwości niepieszej mieszkańca, szacowanej na 1,8 podróży na dobę, wyniesie 70%. Czyli $7300 \times 1,8 \times 0,7 = 9\,200$ podróży w dobie, których źródłem lub celem jest strefa 1. W następnej strefie – w formie pierścienia – ze względu na mniejszą dogodność w dostępie do przystanku tramwajowego, udział komunikacji zbiorowej wyniesie 50% - postępując w obliczeniach jak wyżej, uzyskuje się wynik 13 700 podróży w dobie. W strefie III znajduje się obsługa autobusem z odległością między przystankami 300 m. System obsługi autobusowej zakłada autobusy dowożące tylko ze strefy III oraz dowóz do przystanków tramwajowych w systemie co drugi naprzemiennie, raz z jednej strony obszaru raz z drugiej. Zakładając, że w strefie tej udział komunikacji zbiorowej w podróżach wynosi już tylko 30%, to otrzymuje się 2 600 podróży na dobę. Modułowy fragment pasma ciągnący do poszczególnych przystanków tramwajowych generuje ok. $9\,200 + 13\,700 + 2\,600 = 25\,500$ podróży na dobę. Zatem całe pasmo zabudowy, składające się z czterech modułów, generuje w ciągu doby ponad 100 tys. podróży.

W ramach prac badawczych, przeprowadzono analizę dotyczącą wpływu zmiany wartości wskaźnika intensywności zabudowy na możliwy wzrost udziału komunikacji zbiorowej w poszczególnych strefach. Analiza zakłada, że w skutek zwiększenia się popytu (potencjału pasażerskiego) w strefach, podaż (rozumiana jako częstotliwość kursowania środka transportu) zostaje do niego dostosowana.

W analizie założono także, że komunikacja zbiorowa przejmuje część podróży odbywanych dotychczas samochodem osobowym, w skutek poprawy oferty przewozowej (wzrost częstotliwości kursowania).

W ramach prac badawczych dokonano następujących założeń:

- analizowany przypadek dotyczy układu pasma, składającego się z czterech modułów, a te składają się z trzech stref (rys.2);
- wstępnie, dla każdej strefy, założono wyjściowe wskaźniki intensywności zabudowy oraz udziały komunikacji zbiorowej w podróżach;
- obliczenia uwzględniają jedynie motywacje: dom – praca, praca – dom, dom – nauka, nauka – dom;
- przyjęto udział godziny szczytu porannego w podróżach dla zadanych motywacji na poziomie 15% [9];
- wielkość podróży podana w (tab.1) bierze pod uwagę zsumowaną wartość potencjału z poszczególnych modułów;
- założono, że wszystkie podróże odbywają się kierunku centrum, bez dojazdów bocznych. Wzrost potoku pasażerskiego wynikającego z dojazdów liniami autobusowymi jest nieistotny, z uwagi na małą ich liczebność;
- przyjęto rodzaj środka transportu, który będzie obsługiwał pasmo - środkiem transportu jest skład kolejowy złożony z dwóch wagonów, każdy o pojemności 220 miejsc siedzących oraz 180 miejsc stojących;
- poziom komfortu podróży dla pasażerów stojących w analizowanym środku transportu jest na poziomie 4 os/m² [8]. W obliczeniach można stosować różne poziomy komfortu podróżowania w celu sprawdzenia różnicy w kosztach obsługi linii.

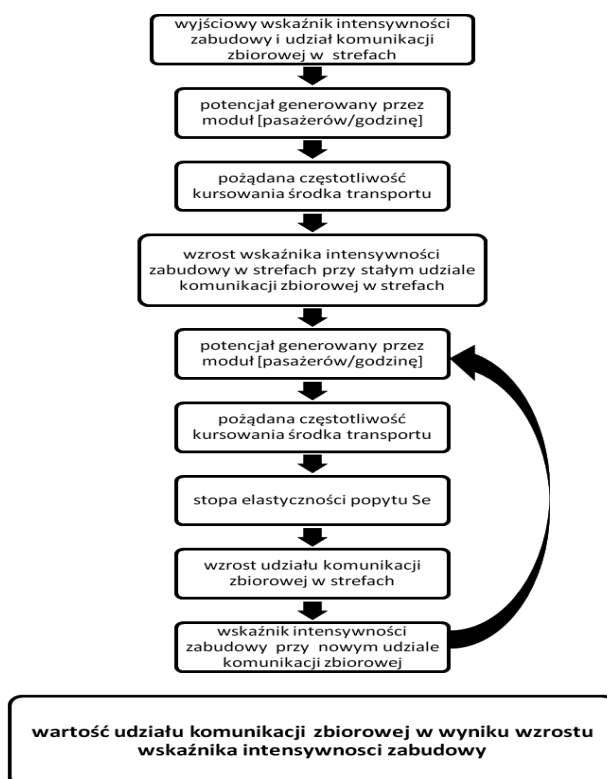
Przyjmując powyższe założenia oraz korzystając z obliczeń zawartych w [8], można wyznaczyć pożądaną częstotliwość kursowania środka transportu. W następnym kroku należy powtórzyć obliczenia, dla zwiększonych wskaźników intensywności zabudowy w poszczególnych strefach, jednak przy takim samym udziale komunikacji zbiorowej. W wyniku zwiększenia intensywności zabudowy, zwiększa się wartość potencjału generowanego przez obszar. Jednocześnie ulega zwiększeniu częstotliwości kursowania środka transportu, w wyniku założenia, że podaż dostosowuje się do popytu. Korzystając ze stopy elastyczności popytu S_e , przyjętego na poziomie 0,3 [6], wyznaczono wartość wzrostu potoku generowanego przez obszar. W konsekwencji wyznaczono nowe wartości udziału komunikacji zbiorowej w poszczególnych strefach. Dokonując kilkakrotnej iteracji obliczeń, przy założeniu nowej wartości udziału komunikacji zbiorowej na wstępie, wyznaczono ostateczne wartości udziału analizowanego środka transportu w podróżach. Takie obliczenia dokonano dla różnych wartości wskaźników intensywności zabudowy.

Obliczenia rozpoczęto od przyjęcia wskaźników intensywności zabudowy na poziomie: 1,0 w strefie I, 0,6 w strefie II i 0,1 w strefie III. Wyjściowa wartość udziału komunikacji zbiorowej wynosiła (w kolejności jak wyżej) – 60%, 40% i 20%. W następnych krokach założono wzrost wskaźnika intensywności zabudowy o wartość 0,1 w każdej strefie. W tab. 1 przedstawiono wyniki analizy.

Tab.1. Zmiana udziału komunikacji zbiorowej w strefach w wyniku zmian w zagospodarowaniu przestrzennym

Nr	strefa	Wskaźnik intensywności zabudowy	udział komunikacji zbiorowej	potencjał pasma [pas/h]	liczba [pociągów/h]	pożądana częstotliwość kursowania [min]
1	strefa I	1	60%	8 300	10	6
	strefa II	0,6	40%			
	strefa III	0,1	20%			
2	strefa I	1,1	64,9%	10 260	13	4,5
	strefa II	0,7	43,2%			
	strefa III	0,2	21,6%			
3	strefa I	1,2	69,1%	12 700	16	3,5
	strefa II	0,8	46,0%			
	strefa III	0,3	23,0%			
4	strefa I	1,3	73,3%	15 100	19	3
	strefa II	0,9	48,7%			
	strefa III	0,4	24,4%			

Na rys. 3 przedstawiono schemat wyznaczenia większej wartości udziału komunikacji zbiorowej w podróżach, w skutek wzrostu wskaźnika intensywności zabudowy w obszarze.



Rys. 3. Schemat blokowy wyznaczenia zmiany udziału komunikacji zbiorowej w skutek wzrostu wskaźnika intensywności zabudowy w module

Na potrzeby analizy, dokonano oszacowania kosztów związanych ze zwiększeniem pożądanej częstotliwości kursowania pociągów na analizowanej linii, w przedstawionym powyżej paśmie obsługi. W tym celu założono, że linia ta ma długość 4,8 km. Założono, że linia funkcjonuje w następujący sposób – kurs zaczyna się w na pierwszym przystanku, w pierwszym, północnym module pasma (patrz rys. 2), a kończy się na piątym, południowym przystanku kolejowym, na którym wszyscy pasażerowie wysiadają. Założono, że na kolejnych przystankach pasażerowie nie wysiadają z pojazdu, a jedynie się dosiadają, zwiększając liczbę pasażerów w pojeździe. Koszty związane ze wzrostem częstotliwości kursowania wyznaczono na podstawie [6]. Przyjęto zatem następujące dane wejściowe:

L – długość pełnego obiegu linii – 4,8 [km],

v_e – prędkość eksploatacyjna – 35 [km/h],

h – interwał międzypojazdowy [min],

f – częstotliwość kursowania [poj/h] zmienna w zależności od przypadku (patrz tab. 1),

n – liczba pojazdów na linii zmienna w zależności od przypadku (patrz tab. 1),

k_o – jednostkowy koszt eksploatacji pojazdu [zł/km] – przyjęto 10 [zł/km]

gdzie:

$$\text{- czas obiegu linii } T_e = \frac{60 * L}{v_e} \text{ [min]}$$

$$\text{- średni interwał międzypojazdowy } h = \frac{T_e}{n} \text{ [min]}$$

$$\text{- koszt eksploatacji linii w ciągu godziny } K_L = n * v_e * k_o \text{ [zł/h]}$$

$$\text{- koszt eksploatacji 1 km linii w ciągu godziny } K_{L0} = \frac{K_L}{L} \text{ [zł/km/h].}$$

$$\text{- procentowy wzrost kosztu eksploatacji linii } -\Delta K = \frac{f_2 - f_1}{f_1} * 100, \text{ gdzie } f_1 < f_2$$

Dla przypadku 1 w tab. 1. koszt eksploatacji linii wynosi 3500 [zł/h] lub 730 [zł/km]. Dla przypadku 2 koszt eksploatacji linii wynosi 4550 [zł/h] lub 950 [zł/km], dla przypadku 3 – 5600 [zł/h] lub 1170 [zł/km] oraz dla przypadku 4 – 6650 [zł/h] lub 1390 [zł/km]. Procentowe koszty wzrostu eksploatacji linii (w kolejności między przypadkiem 1 i 2, 2 i 3 oraz 3 i 4) wynoszą: 33,3%, 28,5% oraz 16,7%.

Analizując tab. 1. można stwierdzić, że im wskaźnik intensywności zabudowy jest większy, to różnice pomiędzy pożądanymi częstotliwościami kursowania linii kolejowej są coraz mniejsze. Potwierdza tę regułę analiza kosztów eksploatacji linii kolejowej. Im gęstość zabudowy w obszarze jest bardziej intensywna, to przy dodatkowych zmianach w zagospodarowaniu przestrzennym, koszty inwestycyjne ponoszone na rzecz poprawy standardów komunikacji zbiorowej (częstotliwości kursowania) nie rosną już tak szybko, jak w przypadku zabudowy bardziej intensywnej.

5. Wnioski

Na podstawie analiz zmian czynników struktury przestrzennej, głównie wskaźnika intensywności zabudowy, można stwierdzić, że zmiany w strukturze przestrzennej mogą wpływać na zwiększenie udziału komunikacji zbiorowej w codziennych podróżach, łagodząc skutki kongestii. Możliwe zwiększenie udziału komunikacji zbiorowej wynika ze wzrostu liczby ludności w obszarze oraz poprawy standardów komunikacji zbiorowej. Jednocześnie analizy kosztowe pokazały, że wraz ze wzrostem intensywności zabudowy, koszty eksploatacji linii komunikacji zbiorowej wzrastają dużo wolniej, niż w przypadku mniejszego wskaźnika intensywności. Wyniki te wskazują, że dogęszczanie zabudowy w obszarze pozytywnie wpływa na łagodzenie skutków kongestii motoryzacyjnej oraz pozwala efektywnie inwestować w infrastrukturę transportu publicznego.

Literatura

- [1] Banister D., *Unsustainable transport – City transport in new century*. Transport, Development and Sustainable Series, Routledge, Maj, 2005.
- [2] Song Y., *Impacts of Urban Growth Management on Urban Form: A comparative study of Portland*. National Center for Smart Growth Research and Education University of Maryland, 2003
- [3] Bramley G., Power S., *Urban form and social sustainability: the role of density and housing type*. Paper presented in Environment and Planning Website – Planning and Design, www.envplan.com, October 2008.
- [4] Chmielewski J.M., *Teoria urbanistyki w projektowaniu i planowaniu miast*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2001.
- [5] Olszewski P., *Dostępność piesza jako element jakości miejskiego transportu zbiorowego*. Transport Miejski i Regionalny 01/2008.
- [6] Rudnicki A., *Jakość komunikacji miejskiej*. Monografia, Kraków, 1999.
- [7] Bieda K., *Wpływ czynnika komunikacji na kształtowanie struktur osiedleńczych*. Zeszyt Naukowy Politechniki Krakowskiej Nr 6, Kraków, 1980.
- [8] Rudnicki A., *Materiały konferencyjne XIV Konferencji Naukowo – Technicznej – Skuteczne zmniejszenie zatłoczenia miasta – „Polityka rozwoju przestrzennego a zatłoczenie komunikacyjne”*, Poznań – Rosnówko, Czerwiec 2009.
- [9] Jamroz K. z zespołem, *Transportowy model symulacyjny miasta Gdańska, etap I*. Biuro Rozwoju Gdańska, Fundacja Rozwoju Inżynierii Lądowej, materiały niepublikowane, Gdańsk 2012.

