

## Ćwiczenie 1. Charakterystyka rejonu komunikacyjnego

### Wstęp

Rejon komunikacyjny to wydzielony obszar miasta o możliwie jednorodnych: zagospodarowaniu przestrzennym (np. zespoły mieszkaniowe, tereny przemysłowe), dostępie do sieci transportowej i oddziaływaniu czynników ruchotwórczych. Granicami rejonów są istotne bariery komunikacyjne (np. rzeki, linie kolejowe lub drogi wysokich klas) lub szwy w zagospodarowaniu. W Krakowie wydzielone są 363 rejonu komunikacyjne.

### Zadanie

Dla wskazanego rejonu komunikacyjnego należy:

- opisać lokalizację (rejon miasta, strefa płatnego parkowania itp.) z pokazaniem na mapie (np. Google, OpenStreetMap) wraz z granicami rejonu,
- opisać zagospodarowanie przestrzenne, tj. występująca zabudowa (np. mieszkaniowa, usługowa, biurowa, handlowa, przemysłowa) lub inne funkcje (np. rekreacja, zieleń),
- zestawić zmienne objaśniające zgodnie z tabelą poniżej,
- zweryfikować poprawność zmiennych objaśniających, tj. zgodność z faktycznym zagospodarowaniem rejonu komunikacyjnego; ewentualne rozbieżności skomentować w tabeli,
- opisać sieć transportową (drogi, przystanki i linie komunikacji zbiorowej, drogi rowerowe, parkingi, główne ciągi piesze).

### Wynik

Tab. 1. Wielkości zmiennych objaśniających

Rejon nr :			
Zmienna	Wartość (x)	Jednostka	Uwagi
liczba mieszkańców ogółem (L_MIESZK)		[osób]	
powierzchnia biurowa (POW_BIUR)		[m <sup>2</sup> ]	
powierzchnia handlowa (POW_HANDL)		[m <sup>2</sup> ]	
powierzchnia mieszkalna (POW_MIESZK)		[m <sup>2</sup> ]	
powierzchnia produkcyjna (POW_PROD)		[m <sup>2</sup> ]	
powierzchnia przemysłowa (POW_PRZEM)		[m <sup>2</sup> ]	
powierzchnia oświatowe (POW_OSWIAT)		[m <sup>2</sup> ]	

### NOTATKI:

## Ćwiczenie 2. Obliczenie dobowego potencjału ruchotwórczego.

### Wstęp

W ramach Kompleksowych Badań Ruchu (KBR) w Krakowie w 2013 zebrano informacje o sposobie podróżowania kilkunastu tysięcy mieszkańców. Posłużyło to do sformułowania matematycznego modelu generacji podróży używanego do celów planistycznych. Model generacji podróży pozwala określić liczbę podróży rozpoczynanych i kończonych w rejonie komunikacyjnym. Dla Krakowa określono wzory na liczbę podróży rozpoczynanych (potencjał wytwarzający, produkcja) i kończonych (potencjał absorbujący, atrakcja) w rejonie komunikacyjnym, w okresie dobie, w siedmiu motywacjach. Ogółem uzyskano 14 wzorów, gdzie liczba podróży wyrażona jest jako funkcja liniowa zmiennych objaśniających rejonu ( $x_k$ ) pomnożonych przez odpowiednie współczynniki  $a$  (wzór 1.).

$$\begin{aligned} P_i &= \sum_m P_i^m & P_i^m &= a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 + \dots + a_n x_n \\ A_j &= \sum_m A_j^m & A_j^m &= a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 + \dots + a_n x_n \end{aligned} \quad (1)$$

gdzie:

- $P, A$  potencjał ruchotwórczy (produkcja, atrakcja) rejonu komunikacyjnego,
- $i, j$  numer rejonu komunikacyjnego,
- $m$  motywacja podróży (tab. 2),
- $x_k$  wartość zmiennej objaśniającej  $k$  w danym rejonie komunikacyjnym,
- $a_k$  wartość współczynnika zmiennej objaśniającej  $k$  (tab.3, tab.4)

Motywacje podróży to podstawowe przyczyny ich wykonywania, np. z domu do pracy, ze szkoły do domu, itp. (tab. 2). Zmienne objaśniające opisują jak zagospodarowany jest rejon komunikacyjny (powierzchnia handlowa, liczba mieszkańców, itp.). Zmienne objaśniające są określane dla każdego rejonu na podstawie jego zagospodarowania, a współczynniki są stałe dla całego miasta. Na przykład liczba podróży rozpoczynanych w motywacji dom-praca zależy od liczby mieszkańców, a liczba podróży kończonych w tej motywacji zależy m.in. od powierzchni przemysłowej i biurowej.

Tab. 2. Podstawowe motywacje podróży uwzględnione w modelu generacji

lp.	motywacja
1	dom – praca (D-P)
2	praca – dom (P-D)
3	dom – nauka (D-N)
4	nauka – dom (N-D)
5	dom – inne (D-I)
6	inne – dom (I-D)
7	nie związane z domem (NZD)

Tab. 3. Formuły do wyznaczenia potencjałów wytwarzających (produkcji) dla rejonów komunikacyjnych na obszarze Krakowa

Motywacja ( $m$ )	Formuła
D-P	$0.300 * [L\_MIESZK]$
P-D	$0.015 * [POW\_PROD] + 0.002 * [POW\_MIESZK] + 0.014 * [POW\_PRZEM] + 0.013 * [POW\_BIUR] + 0.024 * [POW\_HANDL]$
D-N	$0.100 * [L\_MIESZK]$
N-D	$0.080 * [POW\_OSWIAT]$
D-I	$0.200 * [L\_MIESZK]$
I-D	$0.002 * [POW\_MIESZK] + 0.050 * [POW\_HANDL]$
NZD	$0.015 * [POW\_BIUR] + 0.015 * [POW\_HANDL]$

Tab. 4. Formuły do wyznaczenia potencjałów absorbującego (atrakcji) dla rejonów komunikacyjnych na obszarze Krakowa

Motywacja ( $m$ )	Formuła
D-P	$0.019 * [POW\_PROD] + 0.002 * [POW\_MIESZK] + 0.019 * [POW\_PRZEM] + 0.018 * [POW\_BIUR] + 0.022 * [POW\_HANDL]$
P-D	$0.270 * [L\_MIESZK]$
D-N	$0.080 * [POW\_OSWIAT]$
N-D	$0.100 * [L\_MIESZK]$
D-I	$0.002 * [POW\_MIESZK] + 0.034 * [POW\_HANDL]$
I-D	$0.230 * [L\_MIESZK]$
NZD	$0.009 * [POW\_BIUR] + 0.040 * [POW\_HANDL]$

### **Zadanie**

Należy obliczyć przewidywaną liczbę podróży rozpoczynanych (produkcję)  $P_i$  i kończonych (atrakcję)  $A_j$  w każdej z siedmiu motywacji w ciągu typowego dnia roboczego w analizowanym rejonie.

Dodatkowo należy określić:

- w jakich motywacjach generowanych jest najwięcej podróży,
- w jakich motywacjach nie generowane są podróże,
- czy uzyskane wyniki są zgodne z zagospodarowaniem przestrzennym,
- która zmienna przestrzenna w największym stopniu wpłynęła na uzyskane potencjały,
- czy liczby podróży rozpoczynanych i kończonych w dobie w rejonie są sobie równe.

Powyższe obserwacje należy opisać w formie krótkiego sprawozdania (1-2 akapitów).

### **Wynik**

Tab. 5. Dobowe potencjały ruchotwórcze

Motywacja (m)	Produkcja [podr./dobę]	Udział [%]	Atrakcja [podr./dobę]	Udział [%]
D-P				
P-D				
D-N				
N-D				
D-I				
I-D				
NZD				
OGÓŁEM				

### **NOTATKI:**

### Ćwiczenie 3A. Wpływ zmian w zagospodarowaniu na zmiany potencjału.

Dla obliczonego potencjału dobowego z **ćwiczenia 2** pokazać jak zmieni się liczba podróży w wyniku zmian w strukturze funkcjonalnej rejonu komunikacyjnego, realnych dla zadanego rejonu komunikacyjnego (należy wybrać dwa scenariusze z poniższej listy):

1. Funkcja usługowa - budowa centrum handlowego o powierzchni handlowej 15 000m<sup>2</sup>,
2. Funkcja usługowa - budowa biurowca o powierzchni biurowej 30 000 m<sup>2</sup>,
3. Funkcja mieszkaniowa - budowa osiedla mieszkaniowego o powierzchni mieszkaniowej 20 000 m<sup>2</sup>, przewidziana liczba mieszkańców 1 000 osób,
4. Funkcja przemysłowa - budowa fabryki o powierzchni produkcyjnej 50 000 m<sup>2</sup>,
5. Funkcja oświaty - budowa nowego kampusu uczelni o powierzchni oświatowej 20 000 m<sup>2</sup>,
6. Przekształcenie funkcji - z przemysłowej (np. były magazyny, tereny kolejowe, fabryki) na funkcję biurową,
7. Przekształcenie funkcji – z przemysłowej (np. były magazyny, tereny kolejowe, fabryki) na funkcję mieszkaniową.

Scenariusze zmian w funkcji zagospodarowania przestrzennego powinny dążyć o zapewnienia wielofunkcyjności obszaru (rejonu komunikacyjnego), aby zapewnić wysoki udział podróży pieszych do miejsc pracy i zamieszkania.

### Ćwiczenie 3B. Rozkład podróży w ciągu doby, godziny szczytu.

W **ćwiczeniu 2** określono dobowe potencjały ruchotwórcze w każdej z motywacji. Do celów planistycznych najbardziej istotny jest okres największej liczby podróży, tzw. godzina szczytu. Funkcjonowanie miejskiego systemu transportowego analizuje się w godzinie szczytu porannego i popołudniowego. Udział poszczególnych godzin w podróżach dobowych, dla każdej z motywacji, określa się na podstawie wyników kompleksowych badań ruchu (KBR). W tab. 6. pokazano przykładowy udział kolejnych godzin w dobie opracowany na podstawie KBR 2013 w Krakowie.

Tab. 6 Rozkład dobowych motywacji w dobie.

godzina		motywacja						
od	do	D-P	P-D	D-N	N-D	D-I	I-D	NZD
0	1	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
1	2	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
2	3	0.2%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
3	4	0.3%	0.0%	0.0%	0.0%	0.2%	0.0%	0.0%
4	5	3.5%	0.0%	0.1%	0.0%	0.3%	0.1%	0.1%
5	6	16.0%	0.2%	0.5%	0.0%	1.0%	0.1%	0.3%
6	7	28.7%	0.3%	12.3%	0.0%	3.9%	0.3%	1.3%
7	8	28.2%	0.2%	26.0%	0.2%	8.6%	1.2%	5.8%
8	9	9.5%	0.2%	22.6%	0.6%	10.1%	2.6%	5.3%
9	10	4.3%	0.3%	22.1%	0.3%	14.0%	3.6%	6.3%
10	11	1.9%	0.4%	8.0%	1.2%	10.9%	6.7%	9.3%
11	12	1.3%	1.2%	2.4%	4.7%	7.6%	8.7%	10.4%
12	13	1.4%	1.9%	1.8%	11.0%	4.9%	9.1%	8.3%
13	14	1.4%	5.8%	1.0%	22.4%	4.9%	7.8%	9.9%
14	15	0.9%	17.6%	0.6%	27.5%	4.6%	7.6%	10.6%
15	16	0.5%	26.8%	0.4%	14.3%	5.8%	7.8%	11.7%
16	17	0.5%	18.8%	1.2%	8.3%	7.5%	9.1%	7.6%
17	18	0.7%	10.7%	0.8%	4.0%	7.1%	8.4%	5.1%
18	19	0.3%	5.7%	0.3%	2.8%	4.3%	8.0%	3.6%
19	20	0.1%	3.8%	0.1%	2.0%	2.6%	8.2%	2.3%
20	21	0.2%	2.4%	0.0%	0.3%	1.1%	5.5%	1.2%
21	22	0.2%	2.3%	0.0%	0.3%	0.4%	3.3%	0.5%
22	23	0.0%	1.2%	0.0%	0.1%	0.1%	1.4%	0.2%
23	24	0.0%	0.2%	0.0%	0.0%	0.0%	0.6%	0.1%

W ćwiczeniu tym należy określić i krótko opisać:

- a) dla każdej motywacji godzinę w której liczba podróży jest największa,
- b) dla zadanego rejonu sumaryczną liczbę podróży rozpoczynanych (produkcja) i kończonych (atrakcja) w każdej godzinie w każdej motywacji,
- c) liczbę podróży rozpoczynanych i kończonych w godzinie szczytu porannego i popołudniowego,

d) charakter rejonu:

- czy występuje jedna wyraźna godzina szczytu, jeśli tak, to jaka (poranna, popołudniowa),
- o ile mniejszy jest potencjał w godzinie międzyszczytu niż w godzinie szczytowej,
- jak zmieni się liczba podróży w godzinie szczytu w okresie przerwy w zajęciach szkolnych (gdy zanikną podróże związane z nauką).

**NOTATKI:**

#### Ćwiczenie 4. Rozkład przestrzenny podróży, podział zadań przewozowych

Obliczony potencjał ruchotwórczy oznacza ile podróży rozpoczyna i kończy się w danym rejonie. Aby uzyskać przestrzenny opis przemieszczeń osób oblicza się więźbę ruchu (macierz podróży).

Macierz podróży obliczana jest za pomocą modelu proporcjonalnego lub grawitacyjnego. W modelu proporcjonalnym (1) zakłada się, że liczba podróży między dwoma rejonami jest wprost proporcjonalna do produkcji i atrakcji tych rejonów. W modelu grawitacyjnych (2) dodatkowo uwzględniany jest wpływ odległości, tj. wraz ze wzrostem odległości między rejonami maleje liczba realizowanych podróży.

$$T_{ij} = \frac{P_i A_j}{\Sigma P} \quad (1)$$

$$T_{ij} = \frac{P_i A_j}{\Sigma P} \cdot F(l_{ij}) \quad (2)$$

##### Zadanie

Korzystając z modelu proporcjonalnego i grawitacyjnego obliczyć liczbę podróży między rejonami komunikacyjnymi realizowanymi w ciągu godziny szczytu popołudniowego, zakładając że:

- a) suma podróży ( $\Sigma P$ ) wewnętrznych w Krakowie w ciągu godziny szczytu popołudniowego wynosi:

- a. D-P: 100
- b. P-D: 3 700
- c. D-N: 50
- d. N-D: 800
- e. D-I: 900
- f. I-D: 1 000
- g. NZD: 500

- b) funkcja oporu przestrzeni obrazująca rozkład długości podróży w zależności od odległości ma postać:

$$F(l_{ij}) = 2,0 \cdot e^{-0,2 \cdot l_{ij}} \quad (3)$$

- c) odległość między rejonami  $i$  a  $j$  mierzona po sieci drogowej  $l_{ij}$  wynosi: \_\_\_\_\_ km

Motywacja	$P_i$	$A_j$	$T_{ij}$ model proporcjonalny (1)	$T_{ij}$ model grawitacyjny (2)	Uwagi
D-P					
P-D					
D-N					
N-D					
D-I					
I-D					
NZD					

Pytania:

1. Według którego modelu obliczona liczba podróży jest większa? Dlaczego?
2. Jak wpłynęłoby dwukrotne zwiększenie odległości między rejonami na liczbę podróży w motywacji o największej liczbie podróży:
  - a) w modelu proporcjonalnych,
  - b) w modelu grawitacyjnym?

**NOTATKI:**

## Ćwiczenie 5: Podział zadań przewozowych – Udział podróży pieszych

### Wstęp

Obliczone w poprzednim ćwiczeniu elementy więźby ruchu (macierzy podróży) mówią o liczbie wszystkich podróży odbywanych pomiędzy poszczególnymi rejonami komunikacyjnymi. Są to podróże realizowane pieszo, rowerem, transportem zbiorowym oraz samochodem (jako pasażer lub kierowca). Pozostałe środki transportu (TAXI, motocykl, motorower) mają śladowy udział i zwykle nie są analizowane.

Podział zadań przewozowych (podział modalny) określa:

- udział poszczególnych środków transportu w podróżach,
- prawdopodobieństwo wyboru danego środka transportu w podróżach.

Podział zadań przewozowych jest dwustopniowy. W pierwszym kroku wydzielane są podróże piesze, jako silnie zależne od ich długości.

### Zadanie

Korzystając z następującego wzoru oblicz udział podróży pieszych pomiędzy rejonami „i” (analizowany rejon) i „j”.

$$u_p = \begin{cases} 1 & \text{dla } l_{ij} \leq 0.3 \\ e^{-(l_{ij}/1.8)^2} & \text{dla } 0.3 < l_{ij} \leq 3.4 \\ 0 & \text{dla } l_{ij} > 3.4 \end{cases}$$

gdzie:

$u_p$  – udział podróży pieszych [-],

$l_{ij}$  – odległość między rejonami „i” i „j” mierzona po sieci [km],

Rejon „j”	odległość do rejonu „j” [km]	udział podróży pieszych [%]	Uwagi
Wybrany sąsiedni rejon (punkt reprezentatywny)			
Najbliższa szkoła ponadgimnazjalna			
Najbliższe centrum handlowe			

Pytania:

3. O ile wzrośnie udział podróży pieszych w przypadku zmniejszenia odległości do centrum handlowego o 50 %?
4. O ile zmaleje udział podróży pieszych w przypadku dwukrotnego zwiększenia odległości do szkoły?

Odpowiedzi wpisz w kolumnie uwagi.

### NOTATKI:



## Ćwiczenie 6. Koszt uogólniony komunikacji zbiorowej i indywidualnej.

### Zadanie

Należy określić koszty uogólnione przejazdu pomiędzy rejonem  $i$  (mój rejon) a rejonem  $j$  (rejon drugiej, wybranej osoby) w godzinie szczytu popołudniowego dla komunikacji zbiorowej KZ i indywidualnej KI. Dla rejonu źródłowego i docelowego wybieramy umowny, reprezentatywny punkt źródłowy i docelowy oraz określamy parametry połączenia pomiędzy punktami.

Do znalezienia optymalnego połączenia w KZ można skorzystać z planera podróży (np. [www.jakdojade.pl](http://www.jakdojade.pl)), a w KI z serwisu mapowego uwzględniającego zatłoczenie w godzinach szczytu ([targeo.pl](http://targeo.pl), [mapy.google.pl](http://mapy.google.pl)).

a) podróż komunikacją zbiorową (KZ) składa się z następujących etapów:

etap	symbol	mnożnik uciążliwości $[a_i]$	wartość	koszty [zł] w szczycie popołudniowym	koszty [zł] wieczorem
dojście do przystanku [min]	$t_d$	2			
oczekiwanie na pojazd [min]	$t_{cz}$	2			
czas przejazdu [min]	$t_j$	1			
odejście z przystanku do celu podróży [min]	$t_o$	2			
liczba przesiadek [-]	$n_p$	5			

b) podróż komunikacją indywidualną (KI) składa się z następujących etapów:

etap	symbol	mnożnik uciążliwości $[a_i]$	wartość	koszty [zł] w szczycie popołudniowym	koszty [zł] wieczorem
dojście do pojazdu [min]	$t_d$	2			
czas przejazdu (szczyt popołudniowy) [min]	$t_j$	1			
poszukiwanie miejsca parkingowego [min]	$t_p$	2			
odejście od pojazdu do celu podróży [min]	$t_o$	5			

c) koszty uogólnione podróży to odczuwalny czas podróży pomnożony przez wartość czasu plus dodatkowe koszty (biletu, parkowania, eksploatacyjne). Dane jest to następującymi wzorami:

$$K_{ij}^{KZ} = (a_{t_d} t_d + a_{t_{cz}} t_{cz} + a_{t_j} t_j + a_{n_p} n_p + a_{t_o} t_o) \cdot C_t + C_b$$

$$K_{ij}^{KI} = (a_{t_d} t_d + a_{t_j} t_j + a_{t_p} t_p + a_{t_o} t_o) \cdot C_t + C_p + l \cdot C_e$$

gdzie:

$a_i$  mnożnik uciążliwości danego etapu podróży

$t_i$  czas danego etapu podróży [min]

$t_{cz} = \frac{1}{2} \cdot \frac{60}{k}$  czas oczekiwania na pojazd

$k$  liczba kursów w kierunku celu z przystanku początkowego w godzinie

$l$  długość podróży [km]

$C_t$  wartość czasu [0,25 zł/min]

$C_e$  koszt eksploatacyjne [1,00 zł/km]

$C_b$  koszt biletu (bilet jednorazowy, brak zniżek)

$C_p$  koszt parkowania (2 godzinny postój)

Koszty podróży należy określić dla godziny szczytu popołudniowego i wieczornego (godzina 20:00).

Dodatkowo należy określić jak zmieniają się koszty podróży, gdy:

1. pasażer ma darmowy bilet,
2. kierowca ma darmowe miejsce parkingowe,
3. kierowca ma dostęp do garażu podziemnego u źródła podróży,

4. „sponsorzy” kierowcy pokrywają koszty eksploatacyjne.  
Dodatkowe obliczenia należy wykonać dla dwóch wybranych scenariuszy.

### Ćwiczenie 7. Model wyboru środka transportu.

#### Wstęp

Podróżny podejmuje decyzje jakim środkiem transportu wykona podróż pomiędzy rejonem  $i$  a rejonem  $j$ . Rozważa dwie opcje: komunikacja zbiorowa (KZ) i komunikacja indywidualna (KI).

Decyzje podejmuje na podstawie odczuwalnych (subiektywnych) kosztów z jakimi wiąże się dla niego wybór danej opcji – wybierze opcje o najmniejszym odczuwalnym koszcie.

Każdy z użytkowników może inaczej odczuwać koszty związane z podróżą KZ i KI, związane jest to z osobistymi preferencjami, przyzwyczajeniami, itp. W takich sytuacjach stosuje się model wyboru dyskretnego (np. model logitowy), który określa prawdopodobieństwo wyboru danej opcji w danej sytuacji.

Prawdopodobieństwo wyboru komunikacji zbiorowej jest wówczas obliczane przy użyciu modelu logitowego:

$$p_{KI}^{ij} = \frac{e^{\mu(K_{KI}^{ij})}}{e^{\mu(K_{KZ}^{ij}+5)} + e^{\mu K_{KI}^{ij}}}$$
$$p_{KI}^{ij} + p_{KZ}^{ij} = 1$$

#### Zadanie

Dla obliczonych kosztów uogólnionych przejazdu pomiędzy dwoma rejonami z poprzedniego ćwiczenia oblicz prawdopodobieństwo wyboru KZ i KI przy użyciu modelu logitowego podanego wyżej. Załóż, że współczynnik wrażliwości na koszty  $\mu = -0,1$ .

Dodatkowo opisz jak zmieni się to prawdopodobieństwo gdy (dwa wybrane scenariusze):

1. cena biletu wzrośnie dwukrotnie,
2. czas KZ skróci się o 20%,
3. czas KI zwiększy się o 50%,
4. współczynnik wrażliwości modelu logitowego zmieni się do -0.5.

#### NOTATKI:

## Ćwiczenie 8. Rozkład ruchu na sieć, wybór trasy i opór sieci drogowej.

W poprzednich etapach ćwiczeń obliczano kolejne elementy popytu na podróże w mieście. Efektem jest więźba ruchu w podziale na środki transportu  $T^{mij}$ , czyli macierz podróży pomiędzy rejonami źródłowym  $i$  a docelowym  $j$  wykonywanych środkiem transportu  $m$  (pieszo, komunikacją zbiorową, komunikacją indywidualną) w godzinie szczytu popołudniowego.

W kolejnym etapie popyt ten zostaje zaspokojony poprzez znalezienie optymalnej trasy w sieci transportowej. Dla każdej pary źródło-cel określone są optymalne trasy pieszych, połączenia komunikacją zbiorową, tras w sieci drogowej. Kryterium wyszukania takiej trasy jest uogólniony koszt podróży (obliczany w Ćwiczeniu 6).

W komunikacji indywidualnej kryterium jest głównie czas przejazdu – kierowcy chcą jak najszybciej dotrzeć do celu. Występuje jednak zależność pomiędzy wyborami kierowców, a ich czasem przejazdu, im więcej kierowców wybierze dany odcinek uliczny ( $a$ ), tym większe będzie na nim natężenie ruchu ( $q_a$ ) i tym dłuższy czas przejazdu ( $t_a$ ). Zależność opisana jest funkcją oporu, np. BPR:

$$t_a(q) = t_a^0 \cdot \left( 1 + b \left( \frac{q_a}{q_a^{\max}} \right)^c \right) \quad (1)$$

gdzie:

$t_a^0$	czas przejazdu odcinka $a$ w ruchu swobodnym
$q_a$	natężenie ruchu (potok pojazdów) w godzinie na odcinku $a$
$q_a^{\max}$	przepustowość odcinka $a$
$b, c$	parametry modelu oporu.

Może się więc okazać, że na trasie o najkrótszym czasie przejazdu  $t_0$  pojawia się potok pojazdów  $q_a$  wydłużający czas przejazdu tak, że trasa już nie jest najkrótsza. Np. przejazd przez centrum przy założeniu braku innych pojazdów trwa krótko, natomiast w godzinie szczytu jest on tak zatłoczony, że szybciej można dotrzeć do celu inną trasą. Wówczas kierowcy szukają innej trasy, aktualnie najkrótszej. Ostateczny rozkład potoków w sieci to efekt takich kolejnych poszukiwań trasy która aktualnie jest najkrótsza.

Pokażemy to na przykładzie następującego zadania.

### Zadanie

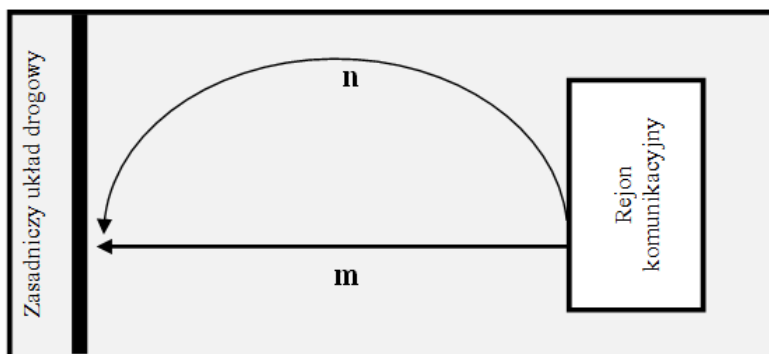
Założmy (upraszczając), że dany rejon komunikacyjny ma dwa połączenia z zasadniczym układem komunikacyjnym miasta:  $m$  bezpośrednie i  $n$  alternatywne (np.: centrum handlowe/osiedle które ma dwa wyjazdy) o zadanych parametrach (długość  $l$ , przepustowość  $q^{\max}$ , prędkość w ruchu swobodnym  $v^0$ ). W godzinie szczytu popołudniowego z rejonu wyjeżdża  $q$  pojazdów.

Całkowity potok  $q$  to liczba podróży rozpoczynanych w rejonie w godzinie szczytu popołudniowego (Ćwiczenie 3) pomnożona przez udział komunikacji indywidualnej w podróżach (Ćwiczenie 7) podzielona przez średnie napęśnienie samochodu osobowego  $n_{so}$  (założmy zgodnie z wynikami badań  $n_{so}=1,2$ )).

$$q = P_i \cdot U_{szczyt} \cdot p_{KI}^{ij} / n_{so} \quad (2)$$

Ćwiczenie składa się z dwóch etapów:

- w pierwszym etapie (metoda jednościeżkowa) założmy, że cały potok wybierze połączenie bezpośrednie  $m$ . Określmy jaki będzie czas przejazdu tym połączeniem  $t_a$ . Skorzystaj z funkcji (1) zakładając parametry  $b=1$   $c=2$ . Określ całkowity czas wyjazdu wszystkich pojazdów.
- w drugim etapie (metoda równoważnościowa) spróbujmy określić dla jakiego podziału całkowitego potoku  $q$  pomiędzy połączenia  $m$  i  $n$  całkowity czas wyjazdu będzie najmniejszy.



parametry	m	n	
$l$			
$v_0$			
$q_{max}$			
$t_0$			
<b>a) metoda jednościeżkowa</b>			
$q$			
$t_a(q)$			
$v_a(q)$			
$T_a = q_a \cdot t_a(q_a)$			
<b>b) metoda równoważnościowa</b>			<b>suma</b>
$q$			
$t_a(q)$			
$v_a(q)$			
$T_a = q_a \cdot t_a(q_a)$			

**NOTATKI:**

### Ćwiczenie 9. Czterostadiowy model podróży.

Dla fikcyjnego miasta „N” o 3 rejonach komunikacyjnych i sieci ulicznej złożonej z 6 węzłów (skrzyżowań) i 9 odcinków (ulic) należy:

1. Obliczyć elementy macierzy podróży według modelu proporcjonalnego.
2. Wykonać podział modalny na podróże realizowane komunikacją zbiorową i indywidualną.
3. Wykonać rozkład macierzy podróży wykonywanych komunikacją zbiorową i indywidualną w sieci.

#### Dane:

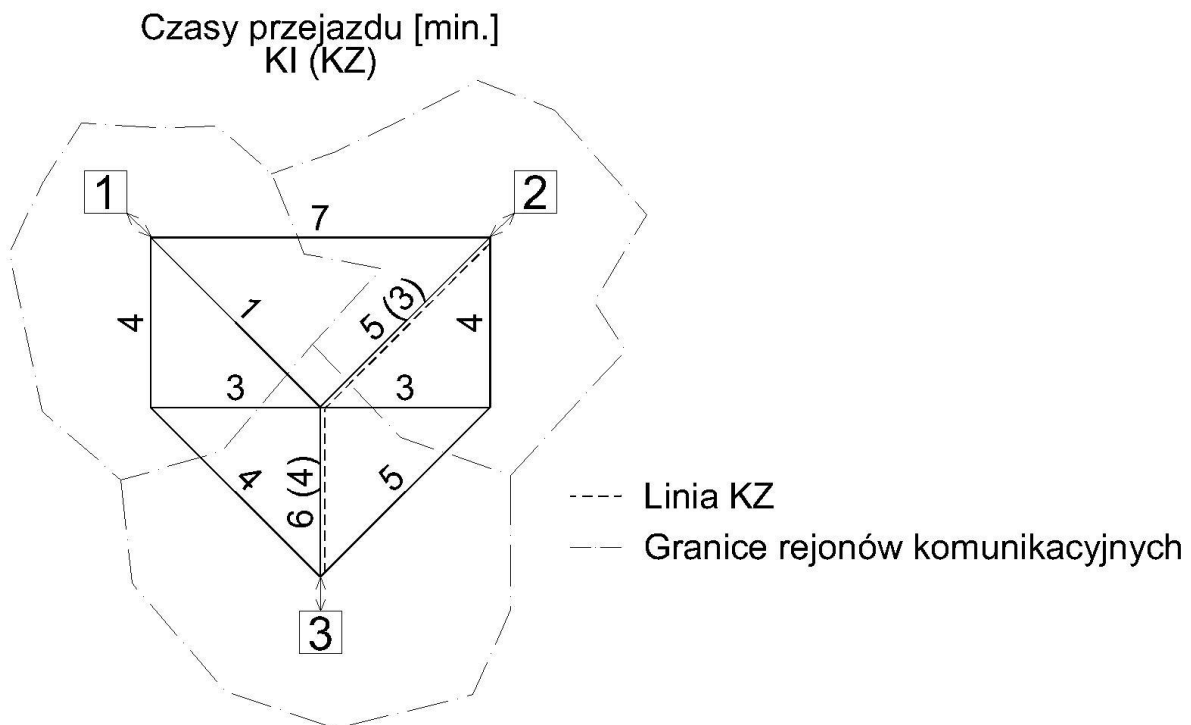
1. Potencjały ruchotwórcze (podróże zmotoryzowane w godzinie szczytu, [podróży/h]):

Nr rejonu	Produkcja	Atrakcja
1	250	150
2	150	100
3	100	250
Suma	500	500

2. Funkcja podziału zadań przewozowych:

$$u_{KI} = 0,6 \cdot e^{-0,3 \cdot \frac{t_{KI}}{t_{KZ}}}$$

3. Napętnienie samochodu osobowego: 1,5 [osób/samochód]



**NOTATKI:**