

Въведение в транспортното моделиране

инж. Асен Анто
Изпълнителен директор на НКСИП

Лекция УНСС, 24.01.2015 г.

Цел на лекцията

- Създаване на базово разбиране за:
 - *възможностите* на транспортните модели
 - *принципи* на транспортното моделиране
 - възлагане и приемане на работата

Съдържание

- ❑ Цел и употреба на транспортните модели
- ❑ Характеристики на подвижността
- ❑ Четиристъпков транспортен модел
- ❑ Документиране на моделите

Цел на транспортните модели

- Прогнозиране на движението по *съществуваща* транспортна инфраструктура
- Прогнозиране на движението по *планирана* транспортна инфраструктура

Употреба на транспортните модели



Характеристики на подвижността

- Цели на пътуване
- Подвижност (брой пътувания за време)
- Времена за пътуване
- Разделение по видове превози
- Неравномерност на броя пътувания
- ...

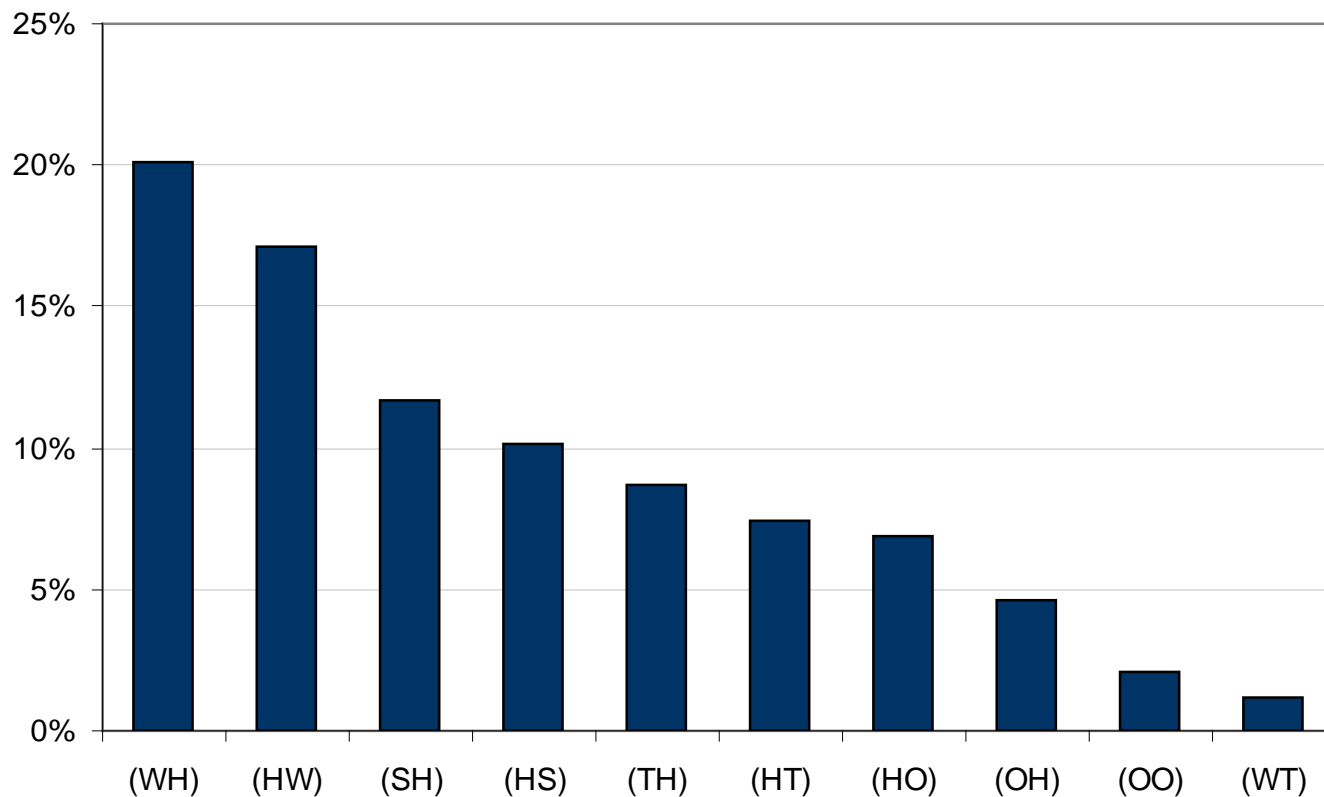
Характеристики на подвижността

Цели на пътуване

- Основните цели на пътуване, които се отчитат в транспортните модели са:
 - трудови (commuting)
 - учебни (понякога се приравняват към трудовите)
 - служебни/бизнес
 - пазар
 - свободно време (leisure)

Характеристики на подвижността

Цели на пътуване



W = работа, T = пазар, H = дом, S = училище, O = друго

Характеристики на подвижността

Цели на пътуване

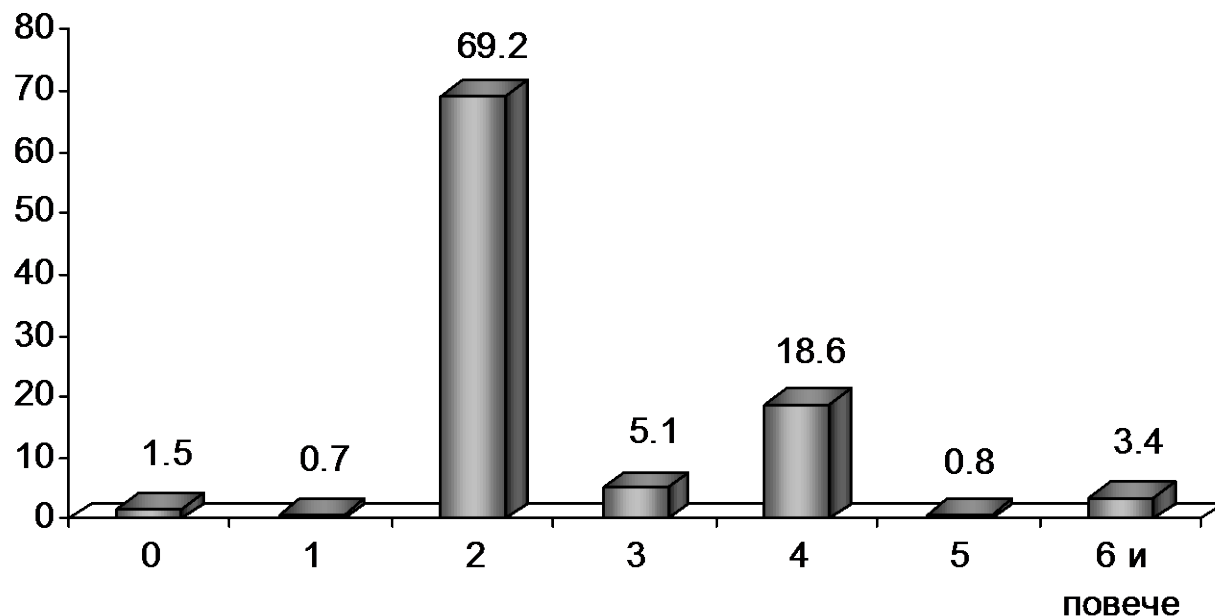
Типично разпределение на целите на пътуване (по анкета от Плевен, 2011)

- В рамките на деня преобладават следните видове пътувания:
 - от и към работа – 37,2 %;
 - от и към училище – 21,9 %;
 - от и към пазар – 16,1 %.
- Трите основни вида пътувания заедно възлизат на 75,2% от общия брой.

Характеристики на подвижността

Подвижност

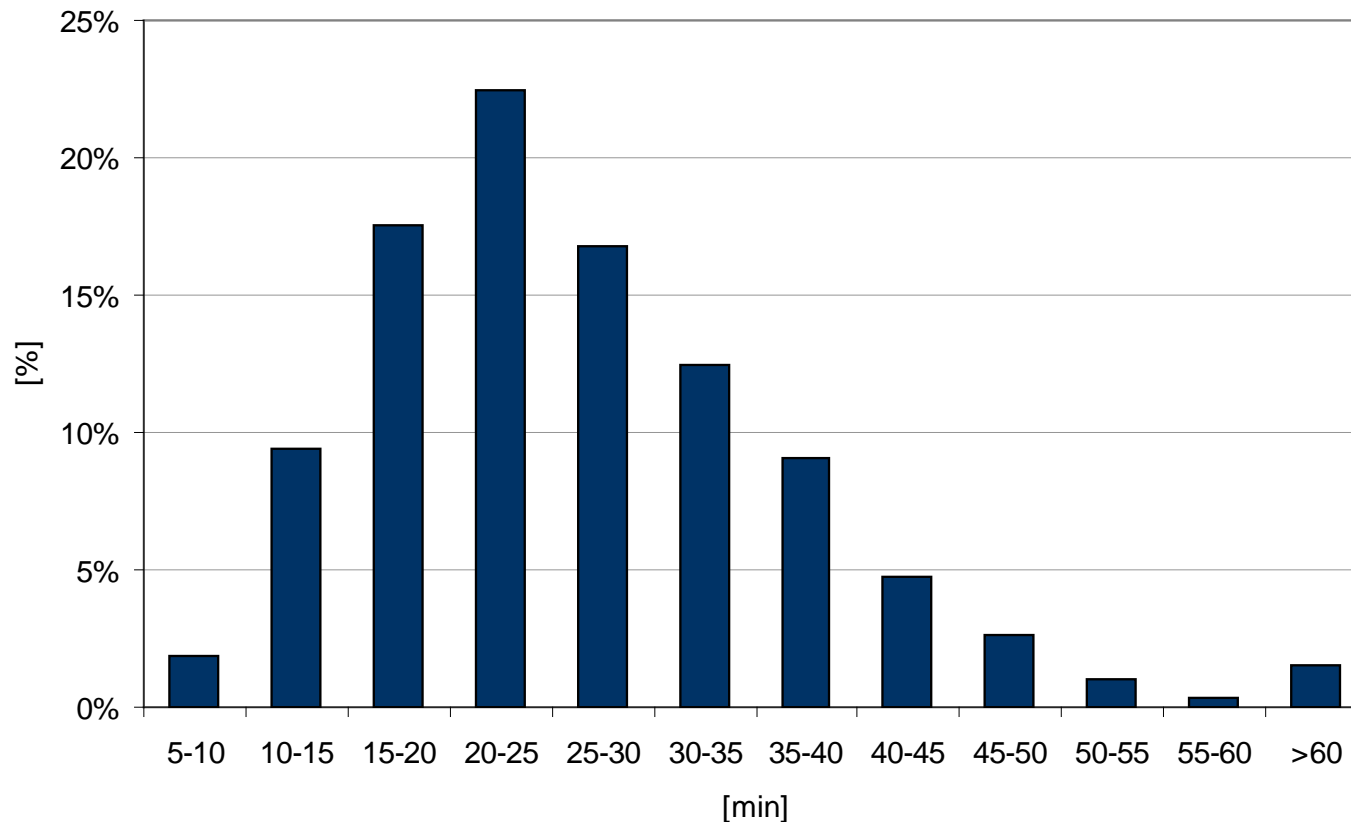
- Измерва се в брой пътувания за ден/година
- В градски условия обикновено е около 2,4-2,6 пътувания/ден



Характеристики на подвижността

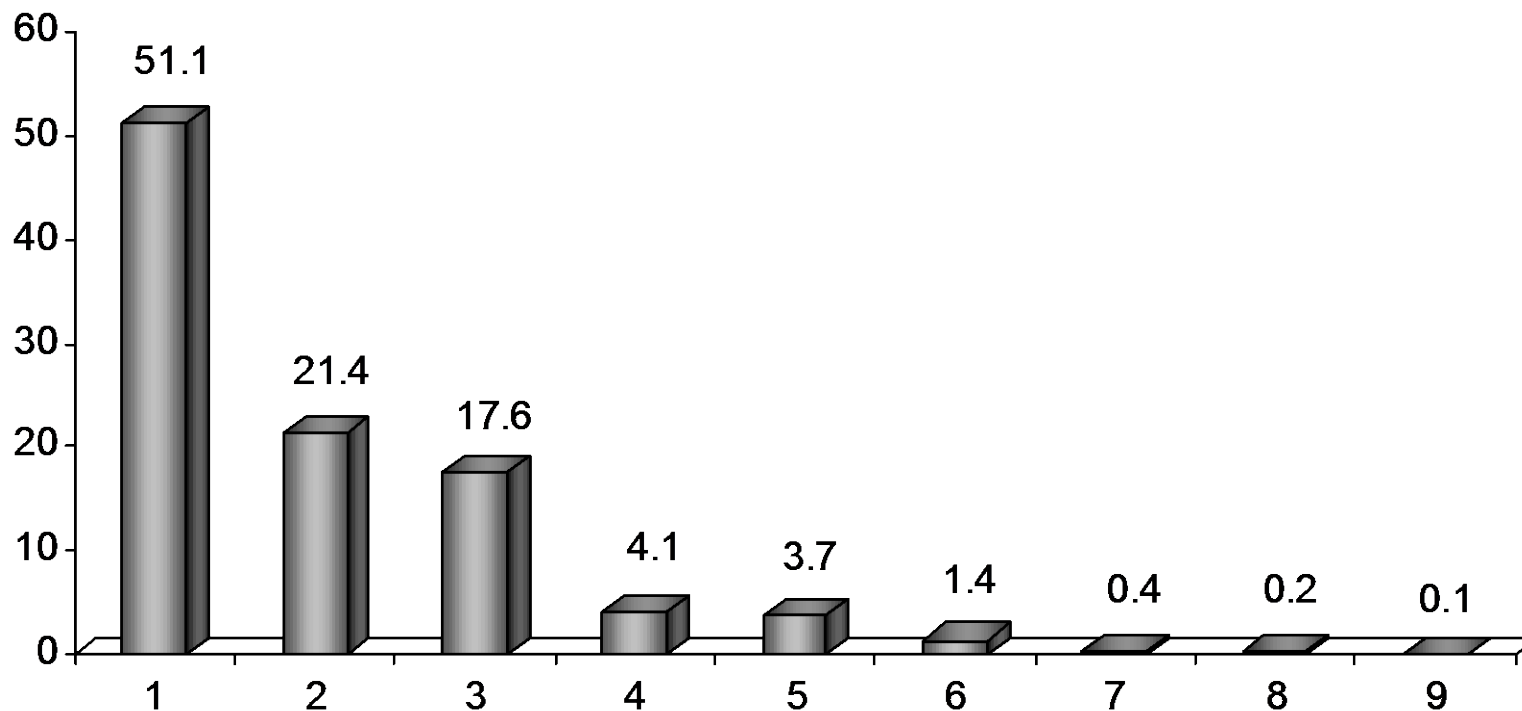
Времена за пътуване

Времена за пътуване по анкета в общественя транспорт



Характеристики на подвижността

Разделение по видове превози

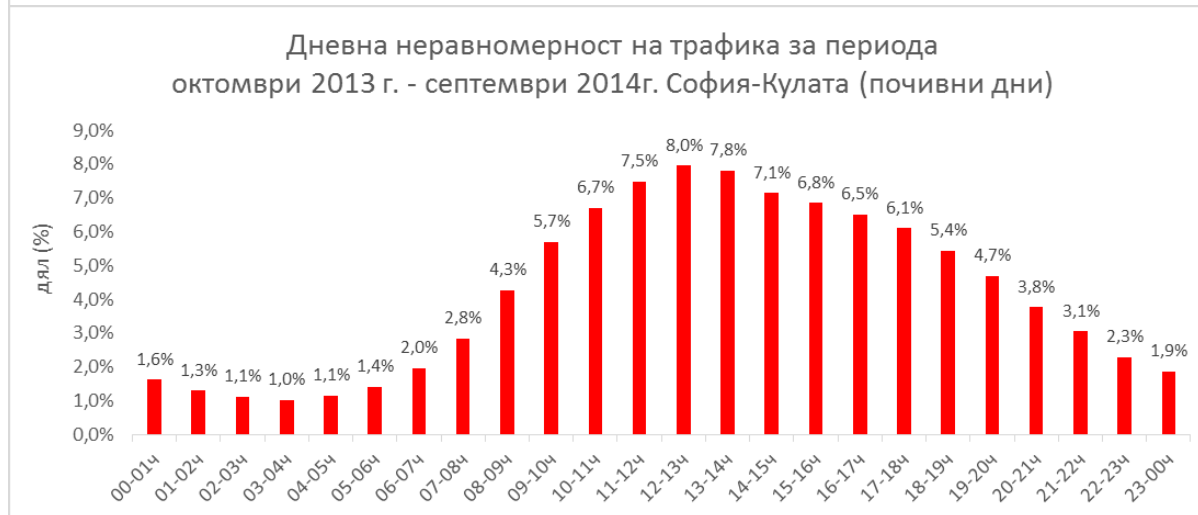


1. пеша
2. масов градски транспорт
3. автомобил - шофьор
4. служебен транспорт
5. автомобил - пътник

6. такси
7. велосипед
8. влак
9. маршрутка

Характеристики на подвижността

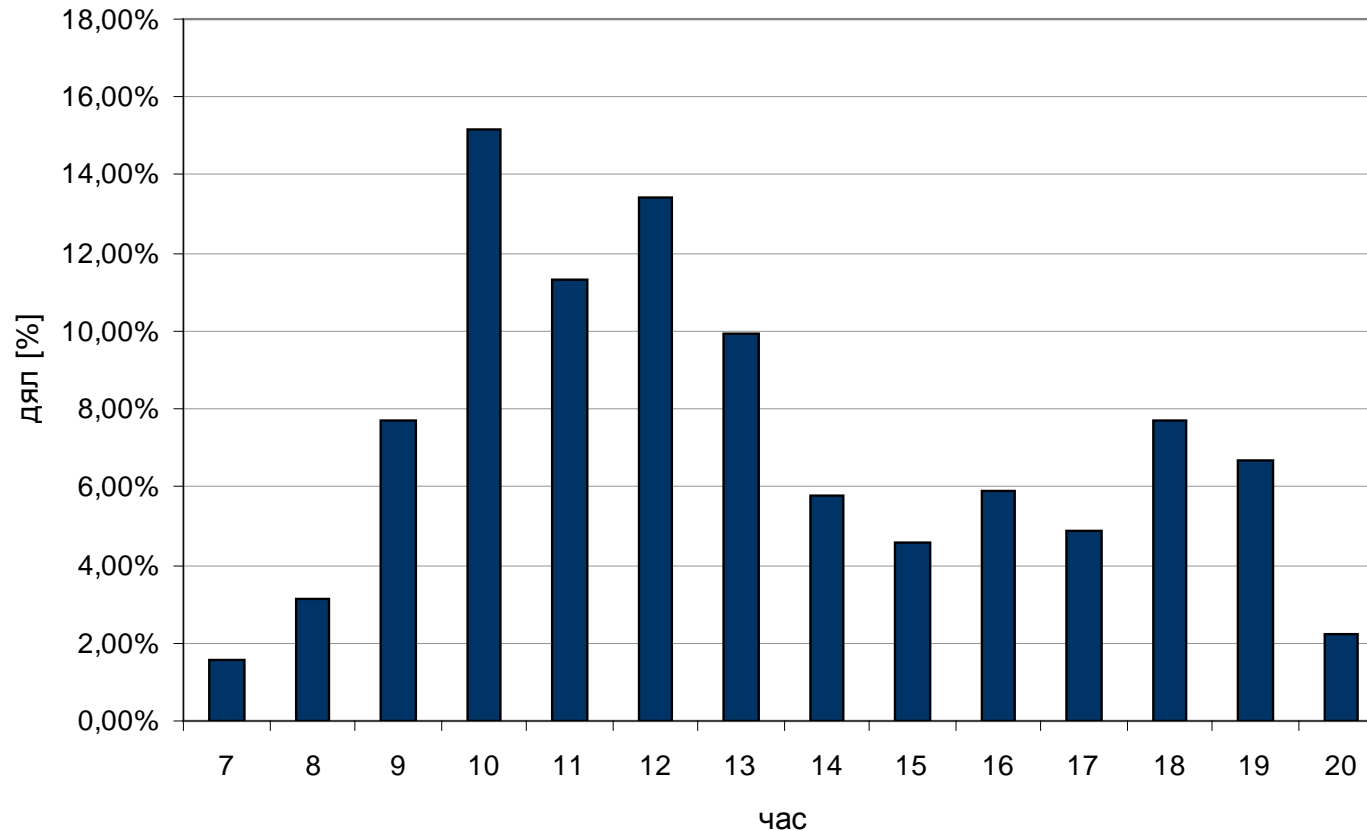
Дневна неравномерност



Характеристики на подвижността

Дневна неравномерност

Дневна неравномерност на пътникопотоците



Съдържание

- Цел и употреба на транспортните модели
- Характеристики на подвижността
- Четиристъпков транспортен модел
- Документиране на моделите

Четиристъпков транспортен модел

- Генериране на пътуванията (trip generation)
- Разпределяне на пътуванията (trip distribution)
- Избор на вид превоз (mode choice)
- Полагане на движението (route assignment)

1 Генериране на пътуванията

Принцип

- Търсене на зависимост между броя пътувания и:
 - население
 - работни места
 - учебни заведения
 - болнични легла
 - хотелски легла
 - БВП
 - моторизация
 - ...

1 Генериране на пътуванията

Транспортно райониране

- Разделяне на моделираната територия на райони със сходна площ и еднородни характеристики
- Ключови въпроси:
 - Обхват на моделираната територия (зона на влияние на проекта, за който се прави модел)
 - Размер на транспортните райони, така че да се минимизира броят на вътрешнорайонните пътувания

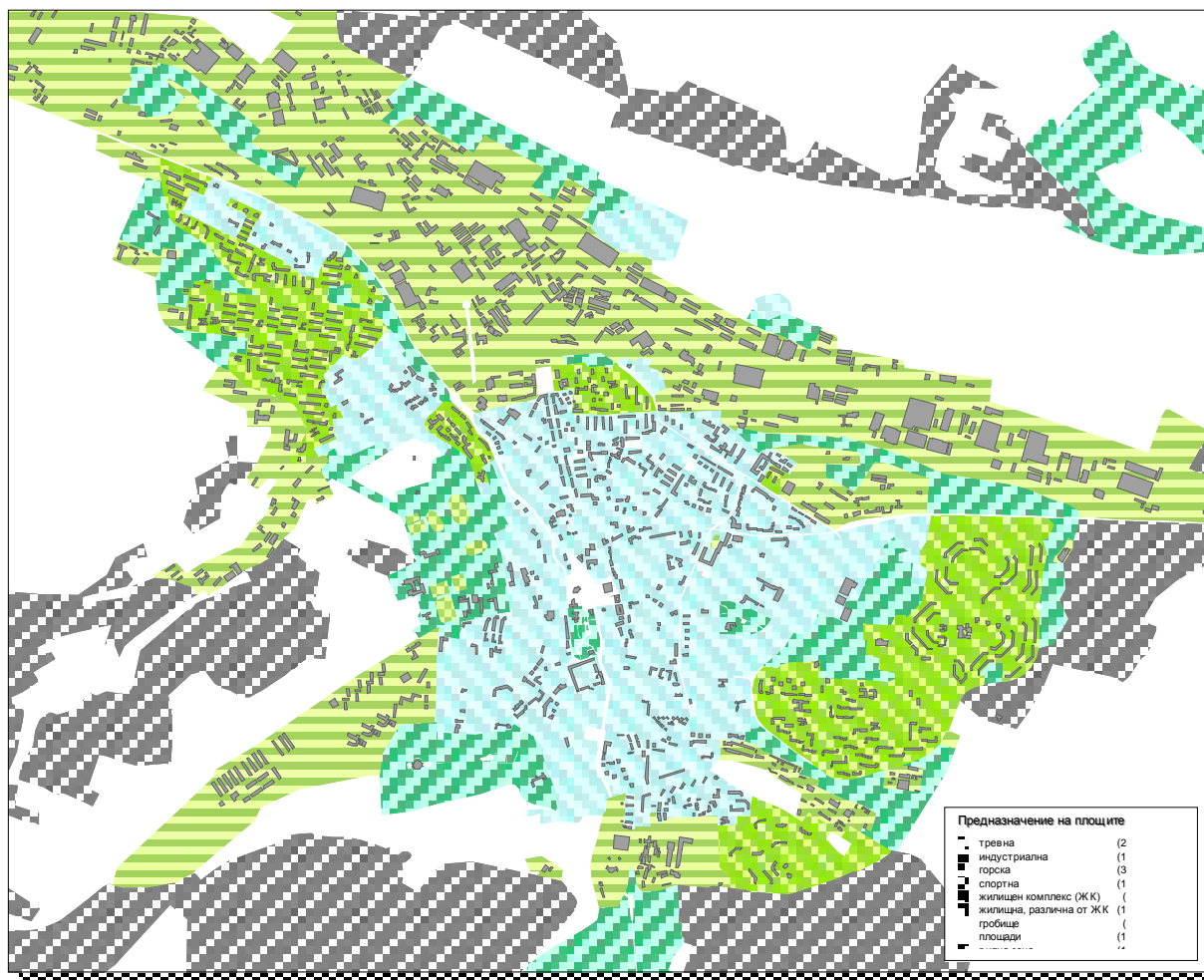
1 Генериране на пътуванията

Транспортно райониране



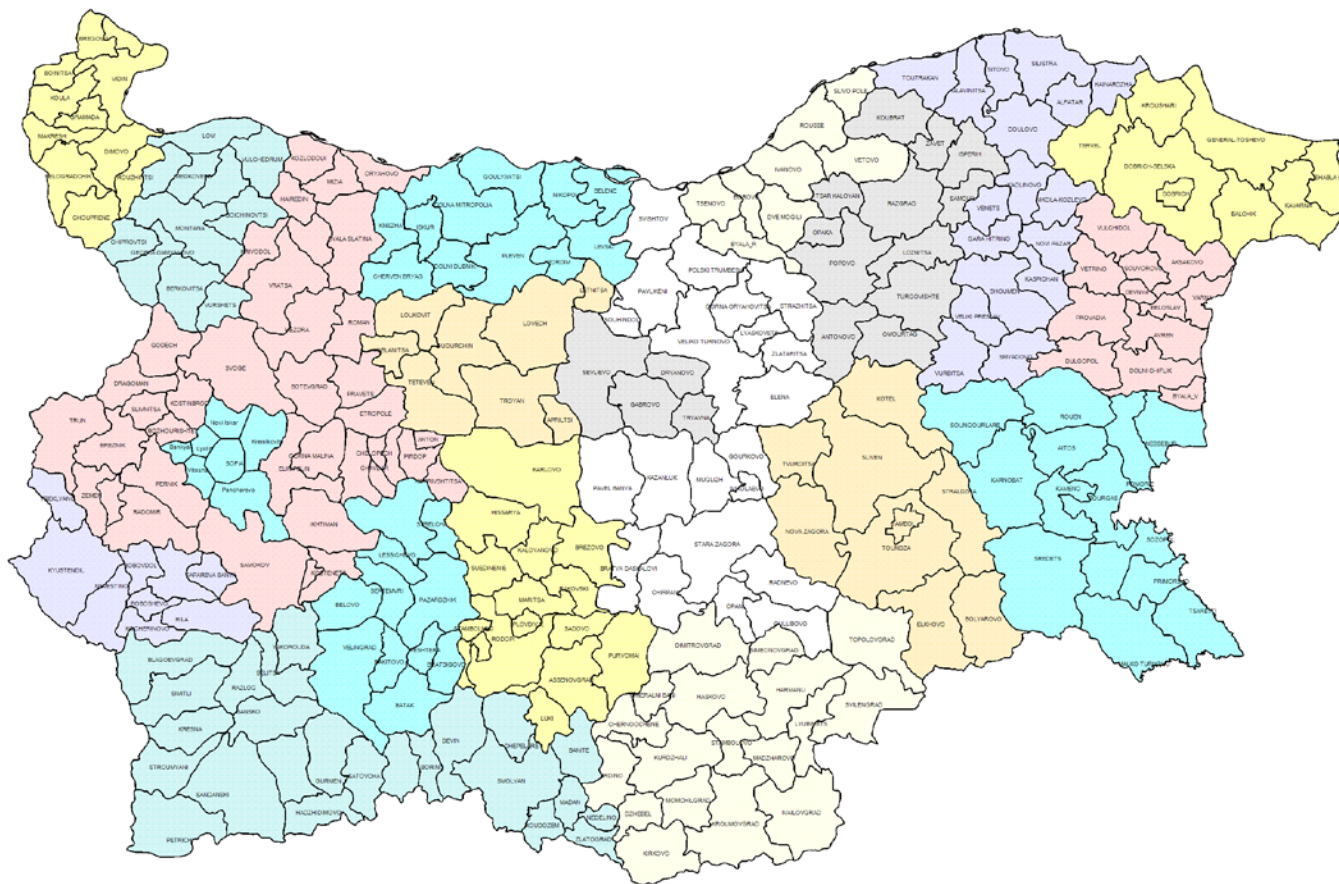
1 Генериране на пътуванията

Транспортно райониране



1 Генериране на пътуванията

Транспортно райониране



1 Генериране на пътуванията

Транспортно райониране



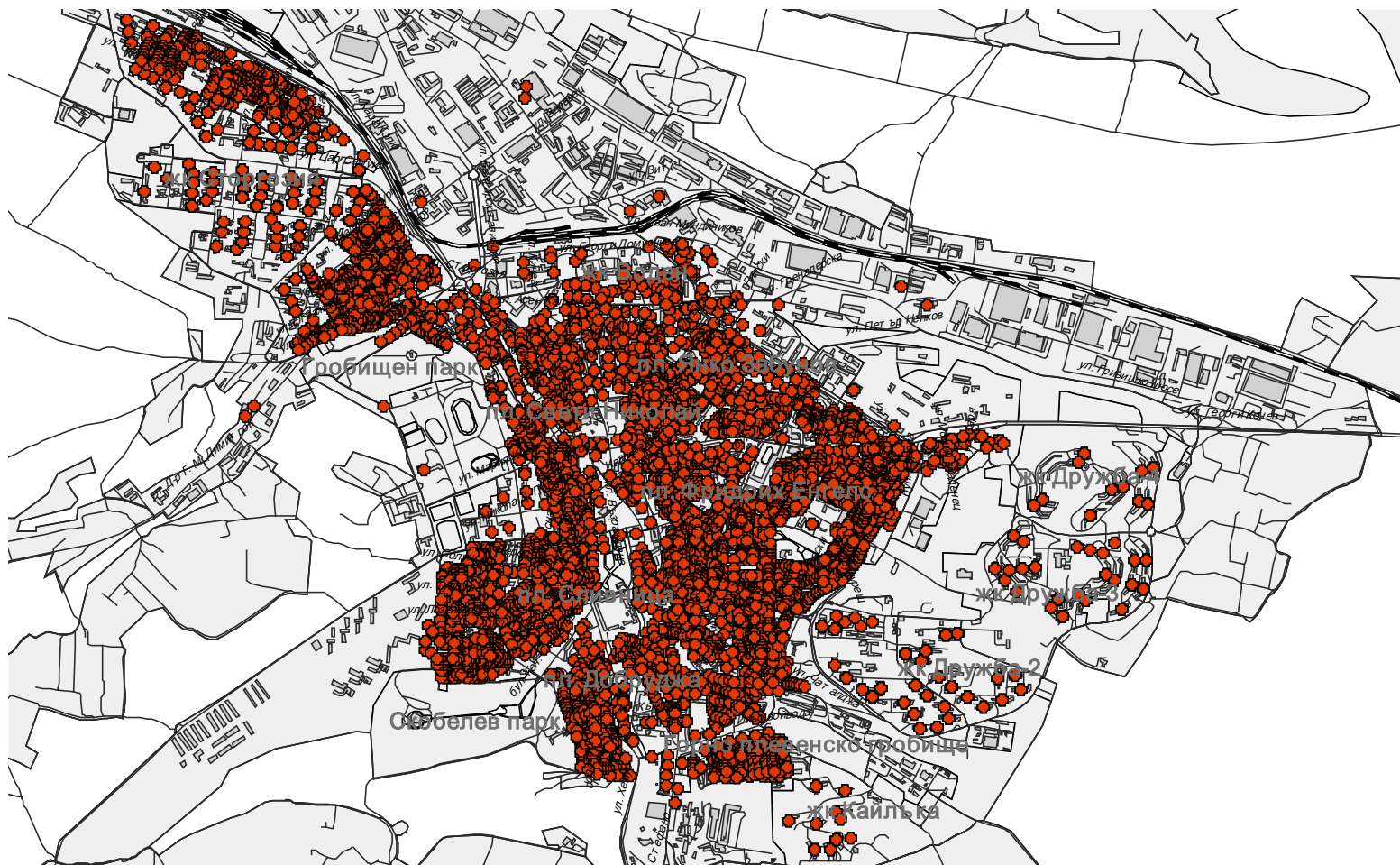
1 Генериране на пътуванията

Динамика на населението

- Определяне на населението в транспортните райони за *базовата година*
- Прогнозиране на населението за *прогнозните години*
- Определяне и прогнозиране на възрастовата структура

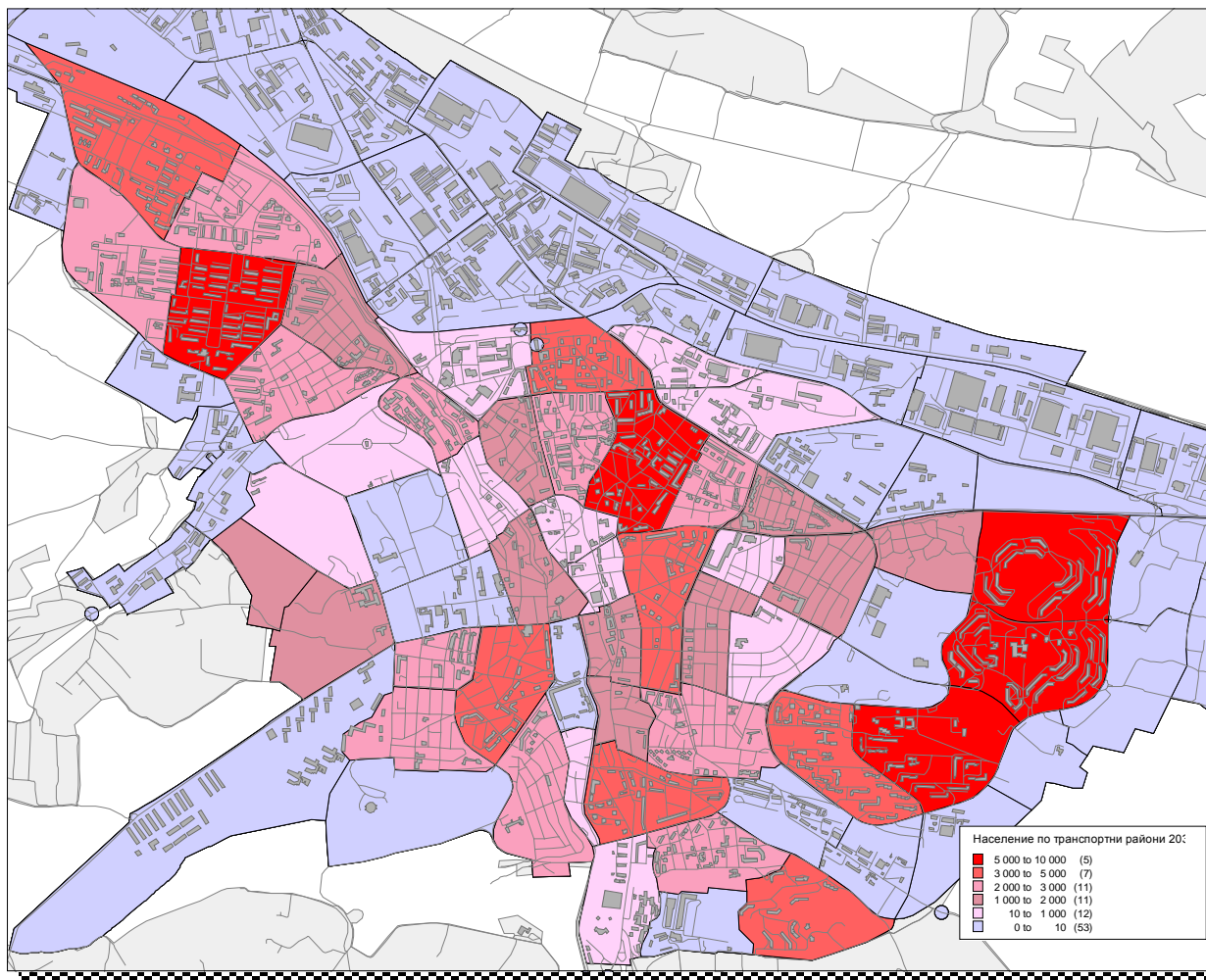
1 Генериране на пътуванията

Динамика на населението



1 Генериране на пътуванията

Динамика на населението



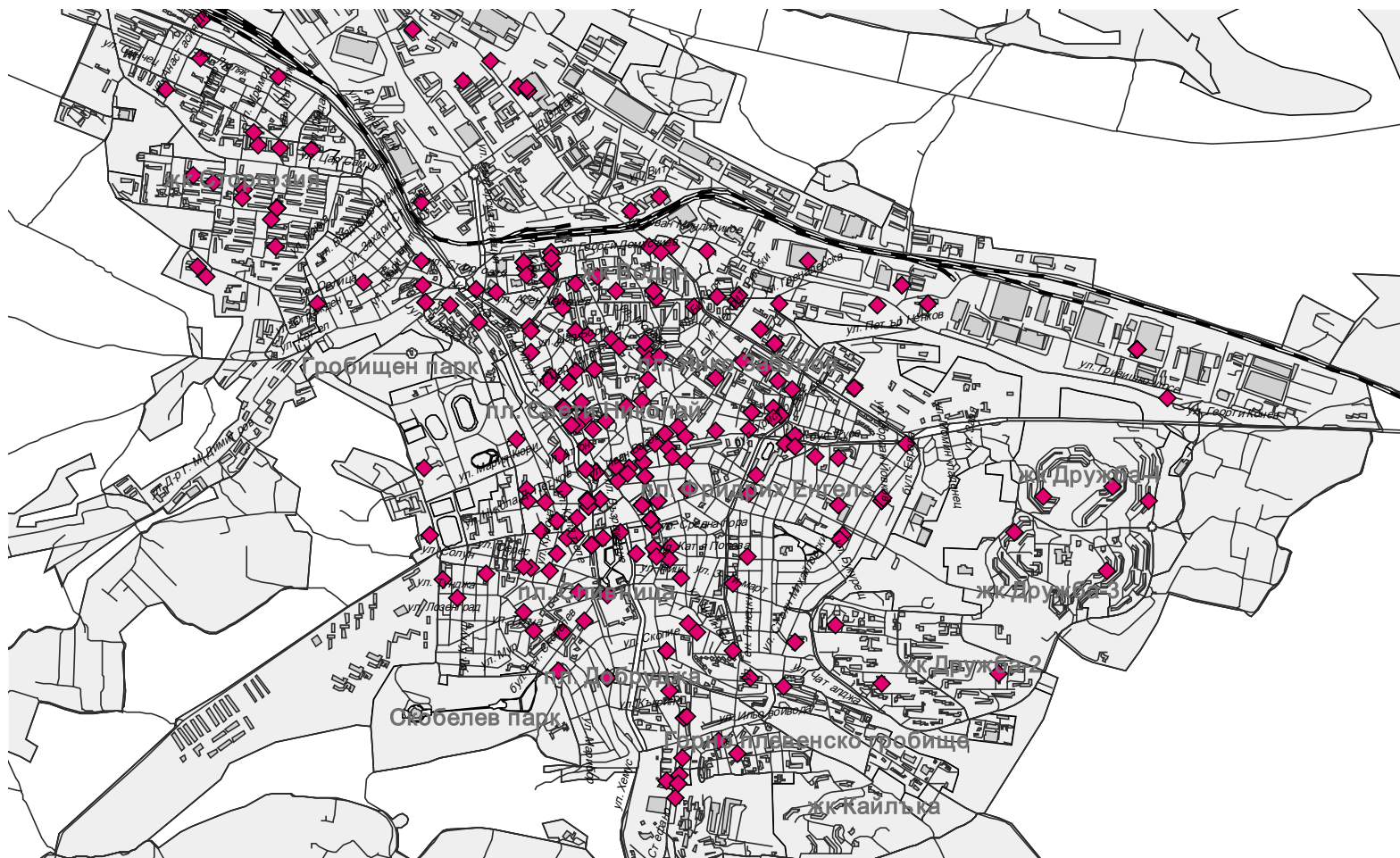
1 Генериране на пътуванията

Работни места

- Определяне на броя на работните места в транспортните райони за *базовата година*
- Прогнозиране на броя на работните места за *прогнозните години*

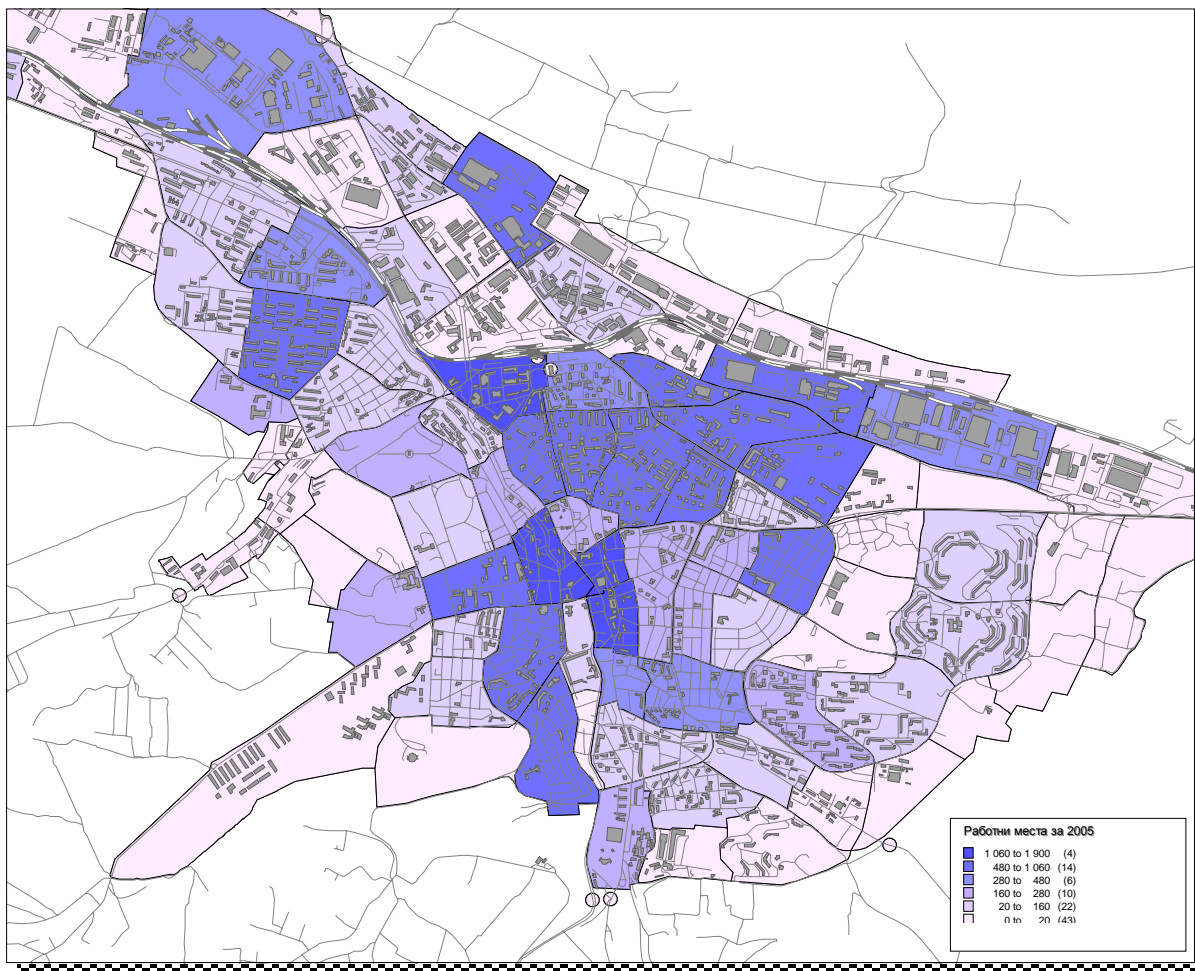
1 Генериране на пътуванията

Работни места



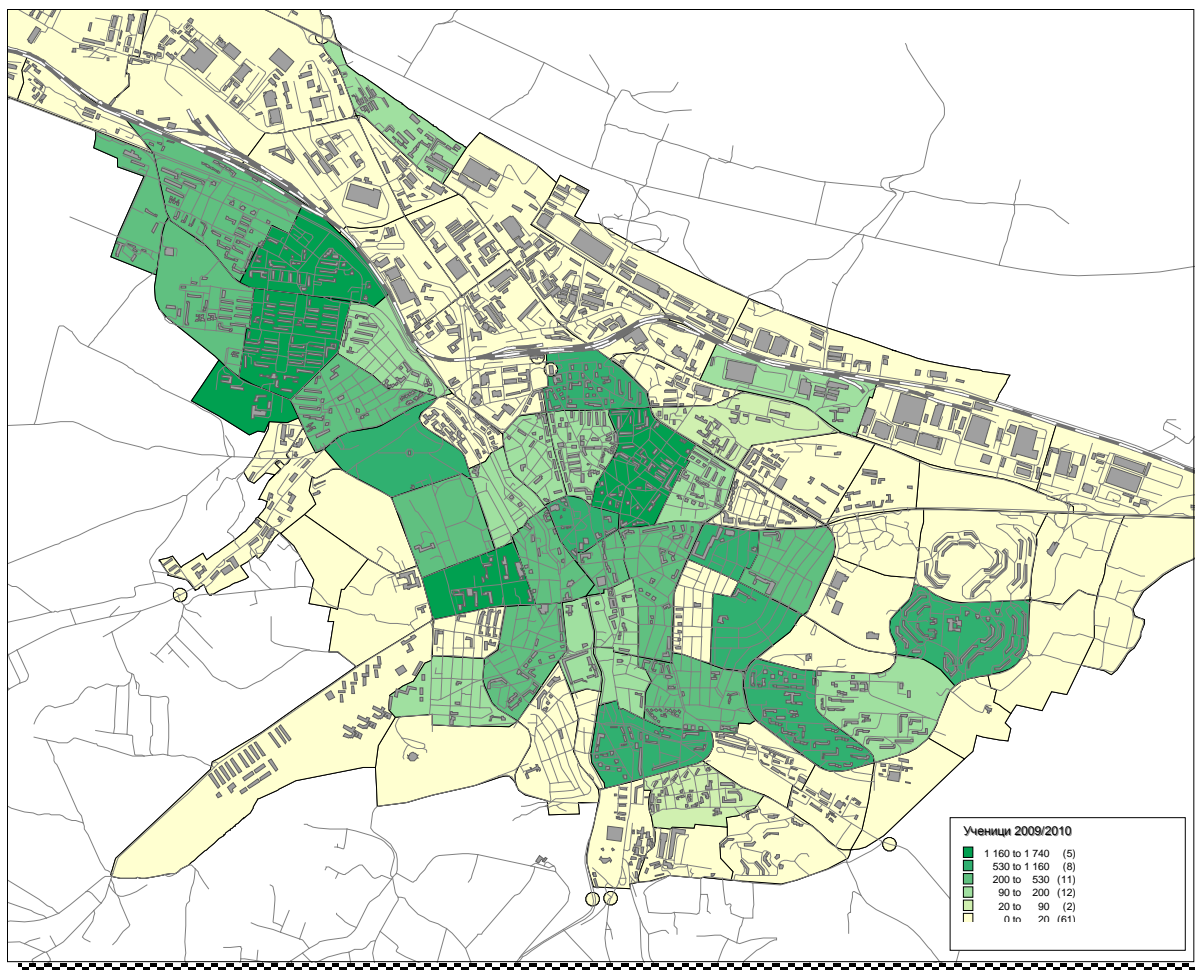
1 Генериране на пътуванията

Работни места



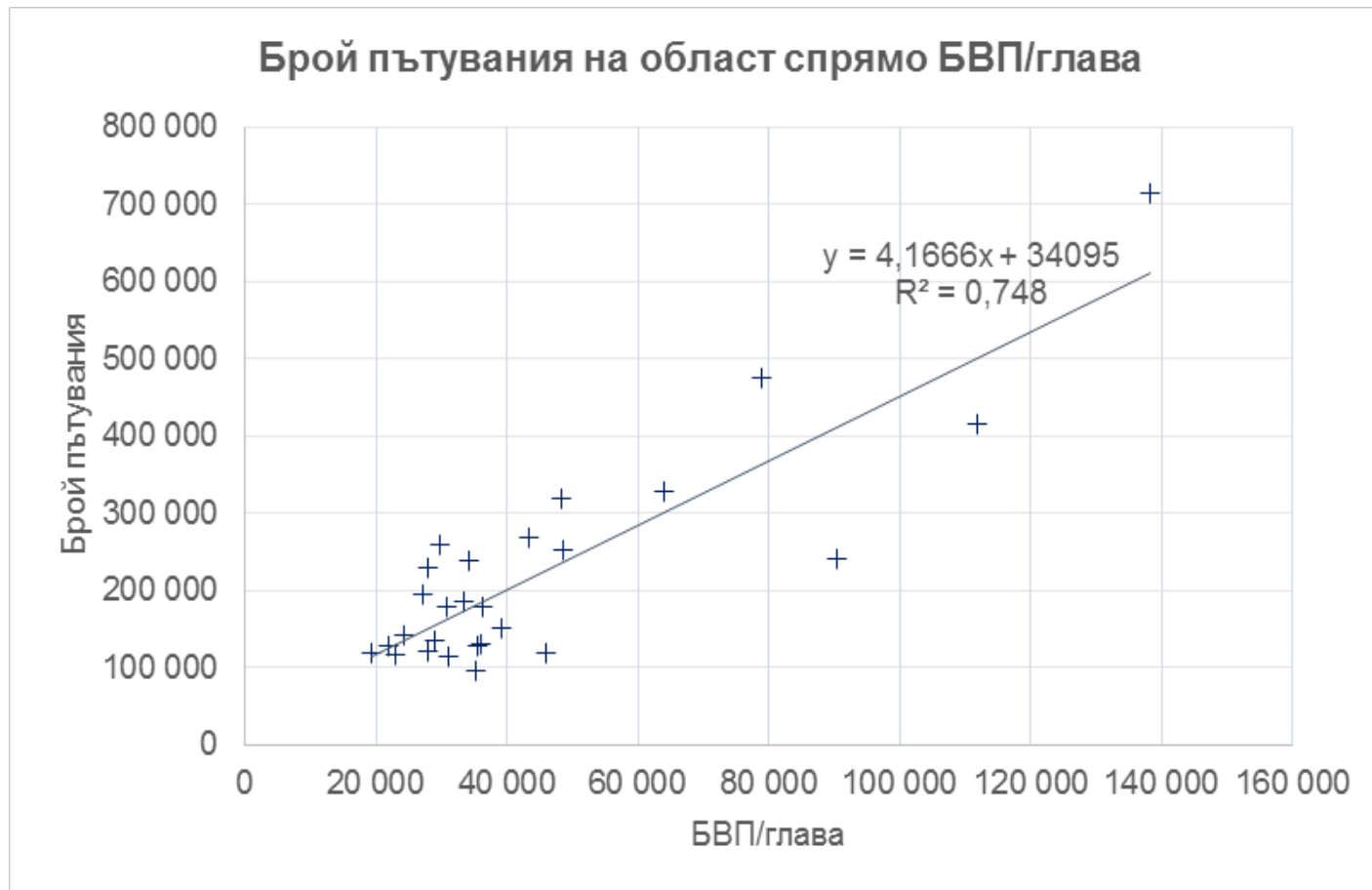
1 Генериране на пътуванията

Брой учащи



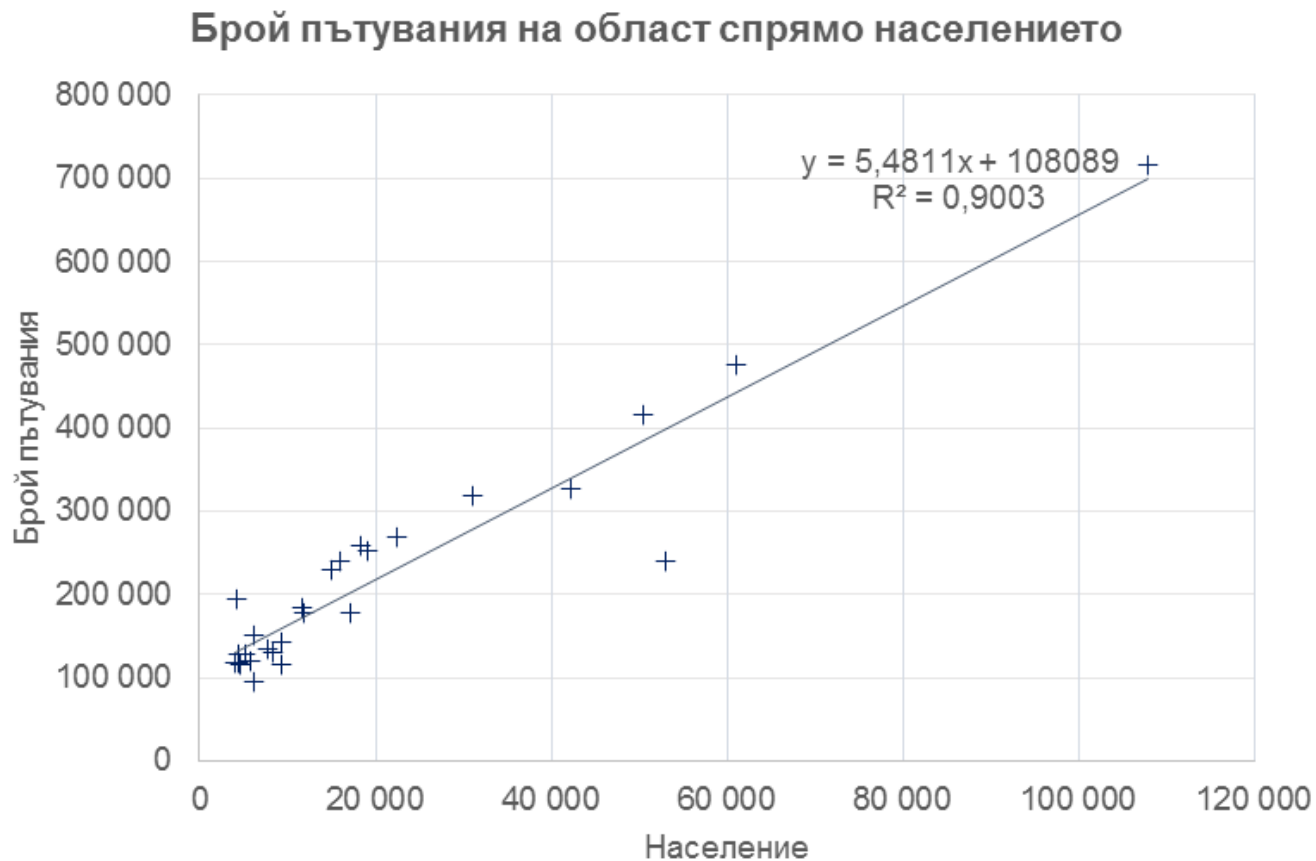
1 Генериране на пътуванията

Примери



1 Генериране на пътуванията

Примери



1 Генериране на пътуванията

Примери

Shopping Center - Christmas Season (820)

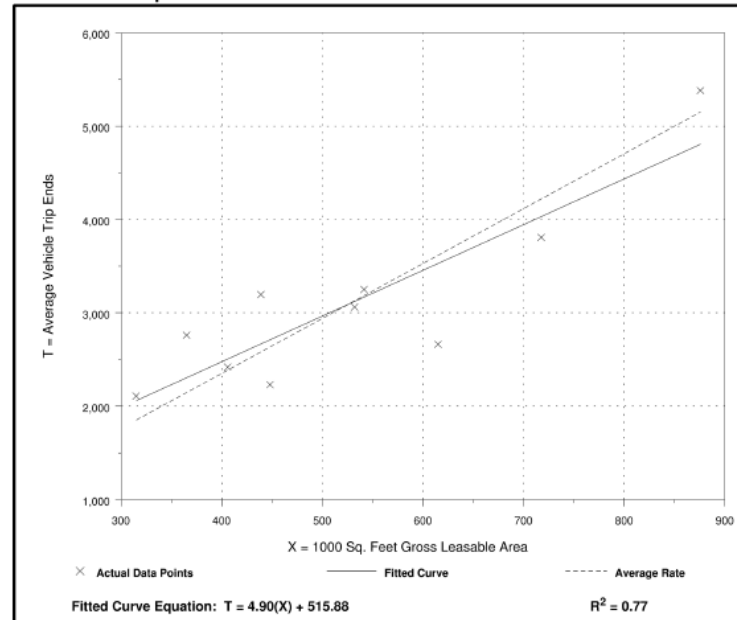
Average Vehicle Trip Ends vs: 1000 Sq. Feet Gross Leasable Area
On a: Saturday,
Peak Hour of Generator

Number of Studies: 10
Average 1000 Sq. Feet GLA: 526
Directional Distribution: 51% entering, 49% exiting

Trip Generation per 1000 Sq. Feet Gross Leasable Area

Average Rate	Range of Rates	Standard Deviation
5.88	4.33 - 7.57	2.58

Data Plot and Equation



2 Разпределяне на пътуванията

Принцип

- Определяне на броя пътувания между всяка двойка транспортни райони
- Пътуванията между транспортните райони зависят от параметри като:
 - общ брой *излъчени пътувания* от единия район
 - общ брой *привлечени пътувания* от другия район
 - *съпротивление* между районите (време или цена)

2 Разпределяне на пътуванията

Принцип

Типична форма на модел за определяне на брой пътувания между двойка транспортни райони:

$$F_{ij} = k \cdot Q_i \cdot Z_j \cdot w_{ij}^{-\alpha}$$

- F_{ij} е броя пътувания от район i към j район
- Q_i е общия брой кореспонденции, зараждащи се в район i
- Z_j е общия брой кореспонденции, завършващи в район j
- w_{ij} е съпротивлението (в случая времето за пътуване) между район i до район j
- α е степенен показател, определящ готовността за пътуване
- k е коефициент

2 Разпределяне на пътуванията

Принцип

- Резултат от разпределянето е матрица „произход-презназначение“ (origin/destination или O/D matrix)
- За различните цели на пътуване / групи пътувания се определят различни матрици
- Итеративен процес, доколкото коефициентите трябва да бъдат получени чрез *калибриране*
- *Принципен проблем представлява правилното определяне на съпротивленията между транспортните райони*

2 Разпределяне на пътуванията

Анкета за подвижността

- Обичайно основните параметри на подвижността се определят чрез *анкети и преброявания*
- Най-важните параметри, които се установяват, са:
 - общ брой пътувания
 - матрица „произход-предназначение“

2 Разпределяне на пътуванията

Видове анкети и преброявания (1/2)

- В градски условия:
 - анкета по домовете (домакинства)
 - анкети в обществения транспорт
 - преброявания в обществения транспорт
 - преброявания на профили от уличната мрежа
 - кръстовищни преброявания (трябва да са съчетани с преброяване на опашките)
 - кордонни преброявания (например с регистриране на номерата на МПС, Bluetooth, и пр.)

2 Разпределяне на пътуванията

Видове анкети и преброявания (2/2)

- В извънградски условия:
 - крайпътни интервюта (roadside interview)
 - профилни преброявания
 - кордонни преброявания (например с регистриране на номерата на МПС, Bluetooth, и пр.)

2 Разпределяне на пътуванията

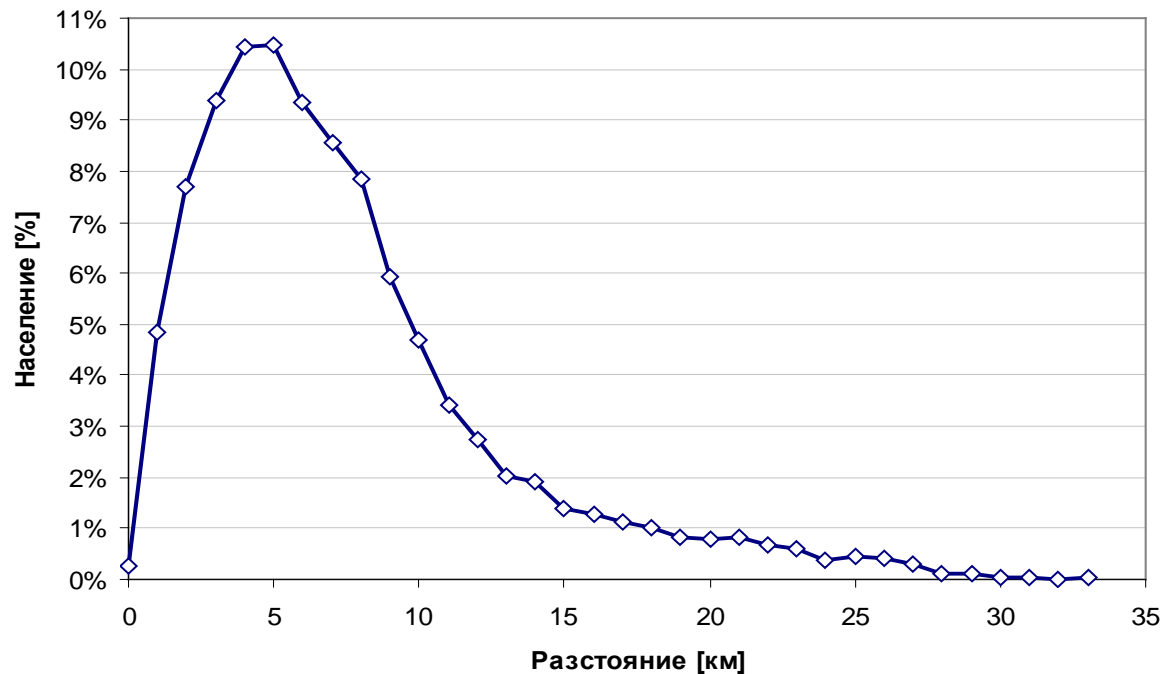
Калибриране на разпределянето на пътувания

- Чрез използване на данните от анкети или преброявания се калибрират *параметрите на модела* за разпределяне на пътуванията – общ брой пътувания и коефициенти
- Критерият за грешка може да бъде приложен на *O/D матрица, получена по анкети*, или след пълно пускане на модела на *движение от преброявания*
- Може да бъде калибрирана *самата матрица*

2 Разпределяне на пътуванията

Криви на разселване

Дължина на трудовите пътувания



София, 2009

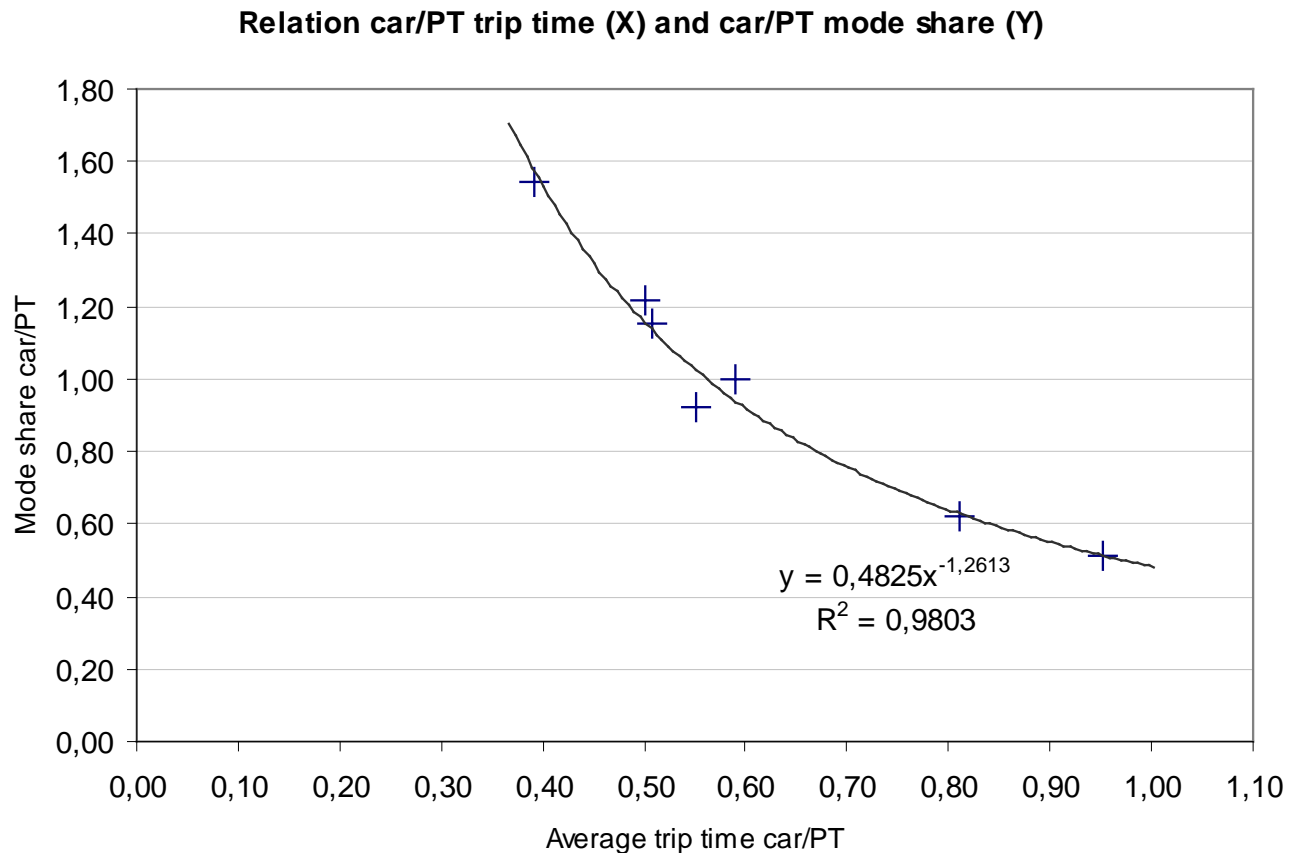
3 Избор на вид превоз

Принцип

- Изборът на вид превоз се влияе основно от съотношението между *времето/цената на пътуване* с различните видове превози
- Изборът може да бъде ограничен от:
 - капацитет на вида превоз
 - наличност/достъпност
 - физически ограничения

3 Избор на вид превоз

Пример за модел на избор



По данни за Бургас (2009), Варна (2009), Плевен (2011), Пловдив (2005), Сливен (2006), София (2009 и 2011).

4 Полагане на движението

Принцип

- Пътуванията от матрицата „произход-предназначение“ се „пускат“ по моделната мрежа

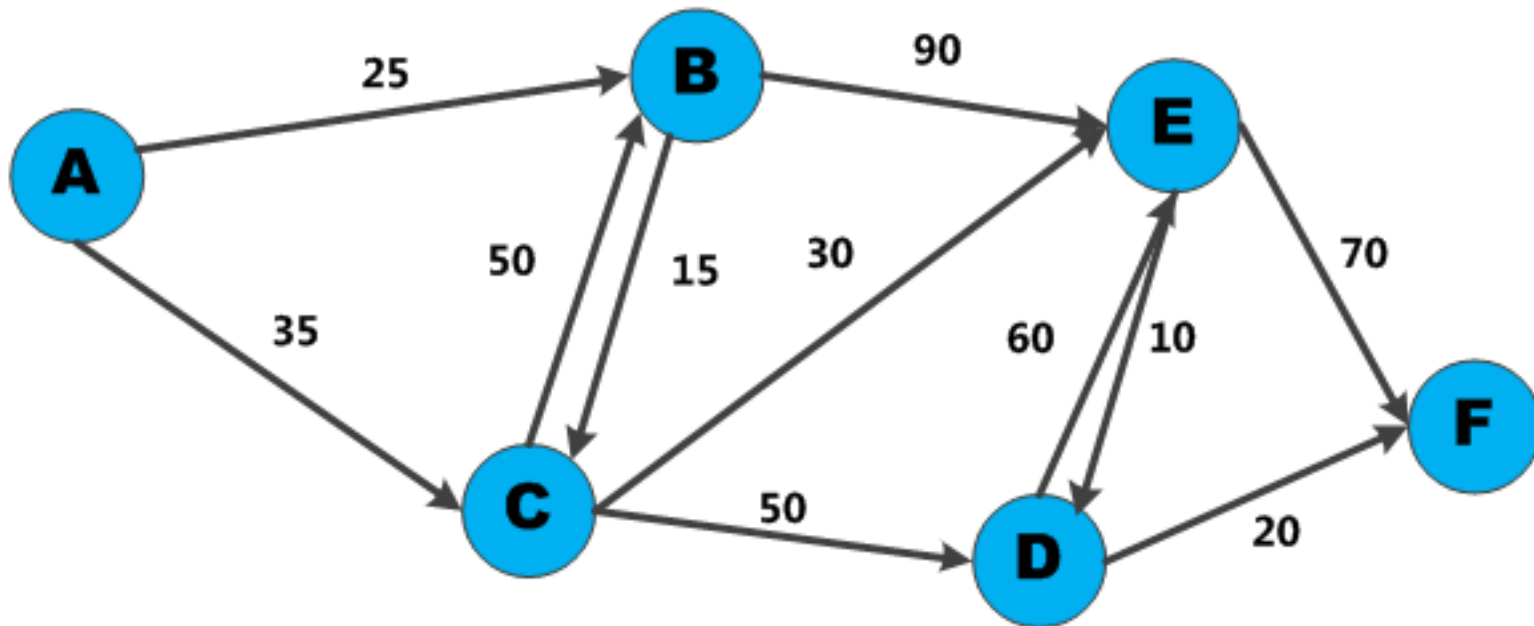
4 Полагане на движението

Моделна мрежа

- Моделната мрежа е *насочен граф*
- Насоченият граф съдържа върхове (*възли; nodes*) и дъги (*връзки; links*)
- Дъгите имат присвоени тежести (*съпротивления*)
- Обикновено възлите също трябва да имат съпротивления

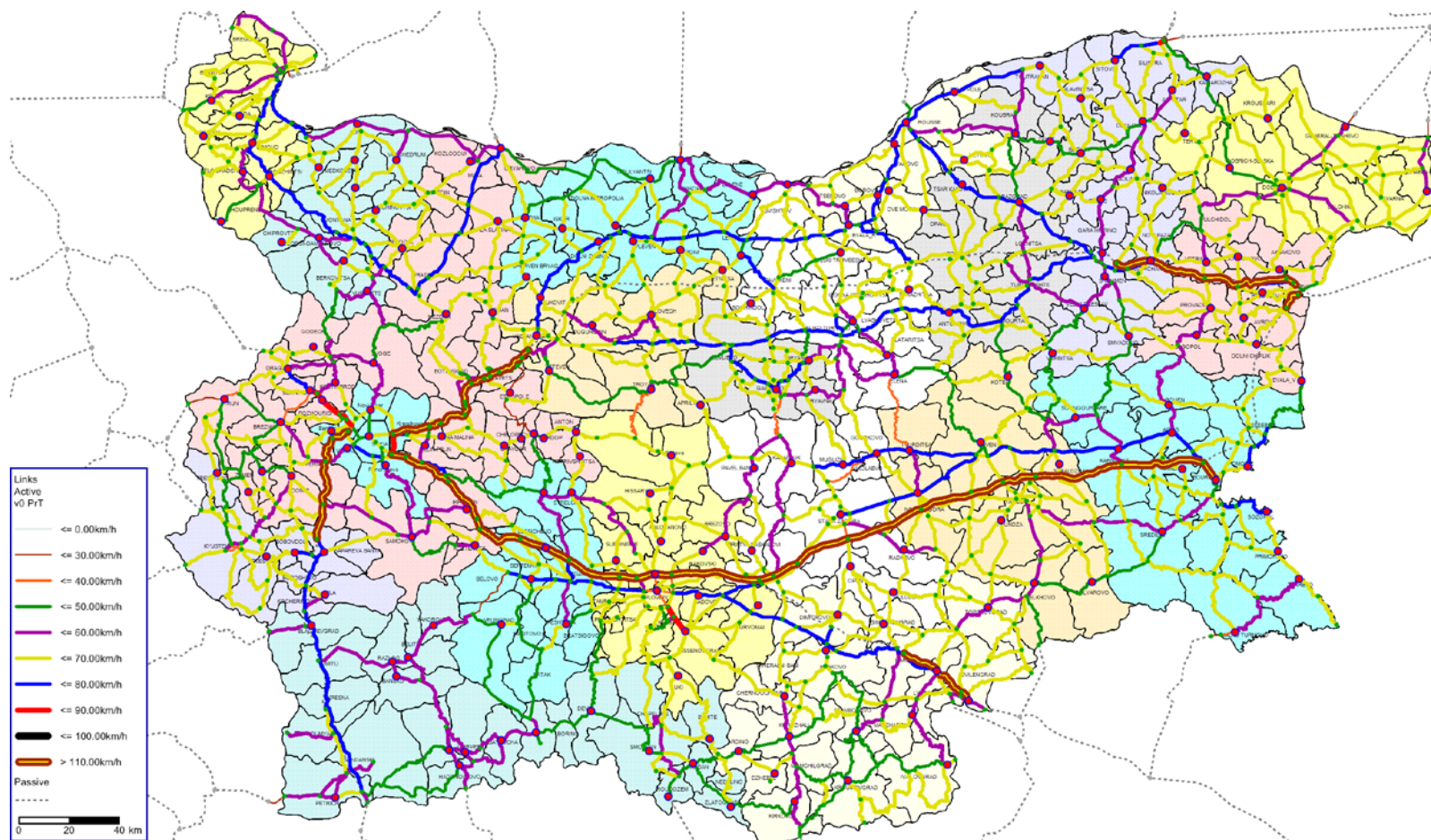
4 Полагане на движението

Моделна мрежа



4 Полагане на движението

Моделна мрежа



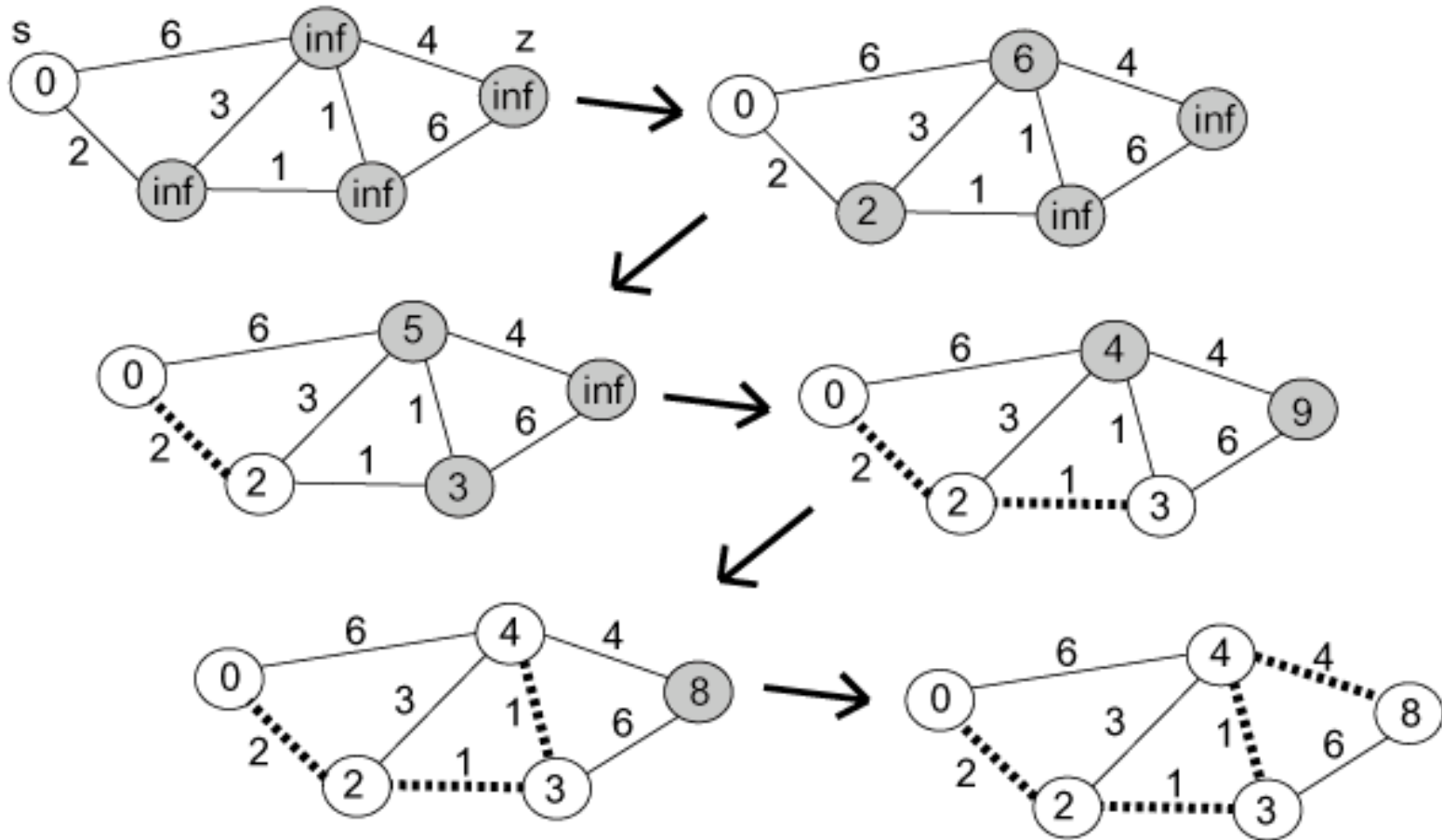
4 Полагане на движението

Намиране на най-кратък път

- Намиране на *един* най-кратък път в граф:
 - алгоритъм на *Dijkstra* (Dijkstra, E. W. (1959). “A note on two problems in connection with graphs”)
 - алгоритъм A^* (подобрен с евристички алгоритъм на Dijkstra, 1968)
- Намиране на *няколко* най-кратки пътя в граф

4 Полагане на движението

Алгоритъм на Dijkstra



4 Полагане на движението

Зависимости между натоварване и забавяне (1/3)

- При по-високо натоварване движението се забавя, т.е. увеличава се съпротивлението на връзката или възела
- Моделира се чрез *volume/delay* (*speed-flow*) функции
- Общ вид във връзка от мрежата $S(V) = S_0 * f\left(\frac{V}{C}\right)$,
където:
 - V е натоварването на връзката
 - $S(V)$ е скоростта при дадено натоварване
 - S_0 е скоростта на свободно движение
 - C е капацитета на връзката

4 Полагане на движението

Зависимости между натоварване и забавяне (2/3)

- Примери за такива функции са:
 - BPR (Bureau of Public Roads/USA)
 - MTC (Metropolitan Transportation Commission/CA)
 - HCM (Highway Capacity Manual)
 - Davidson (1966)
 - Akcelik (Rahmi Akcelik)
 - ...

4 Полагане на движението

Зависимости между натоварване и забавяне (3/3)

- Моделиране на забавянето в несигнализирани кръстовища – gap acceptance theory, ...
- Моделиране на забавянето в сигнализирани кръстовища – модел на Webster, ...

4 Полагане на движението

Принципи на Wardrop

- John Glen Wardrop (1920-1989) през 1952 дефинира два принципа за равновесие на транспортните системи:
 - Първи принцип – времето за пътуване по всички използвани маршрути е по-малко или равно от времето за пътуване на един потребител по всеки друг маршрут (*user equilibrium*)
 - Втори принцип – средното време за системата е минимално (*system equilibrium*)

4 Полагане на движението

Методи за полагане на движението (1/2)

- По *най-кратки пътища* (all or nothing assignment) – цялото движение между два района се полага по най-краткия път между тях; исторически първият метод, но нереалистичен
- *Инкрементално полагане* – полагането се извършва на стъпки, като при всяка от тях *част* от пътуванията между всяка двойка райони се пуска по най-краткия път между тях, а при всяка следваща итерация се изчисляват нови най-кратки пътища между всяка двойка райони; точността зависи от броя итерации

4 Полагане на движението

Методи за полагане на движението (2/2)

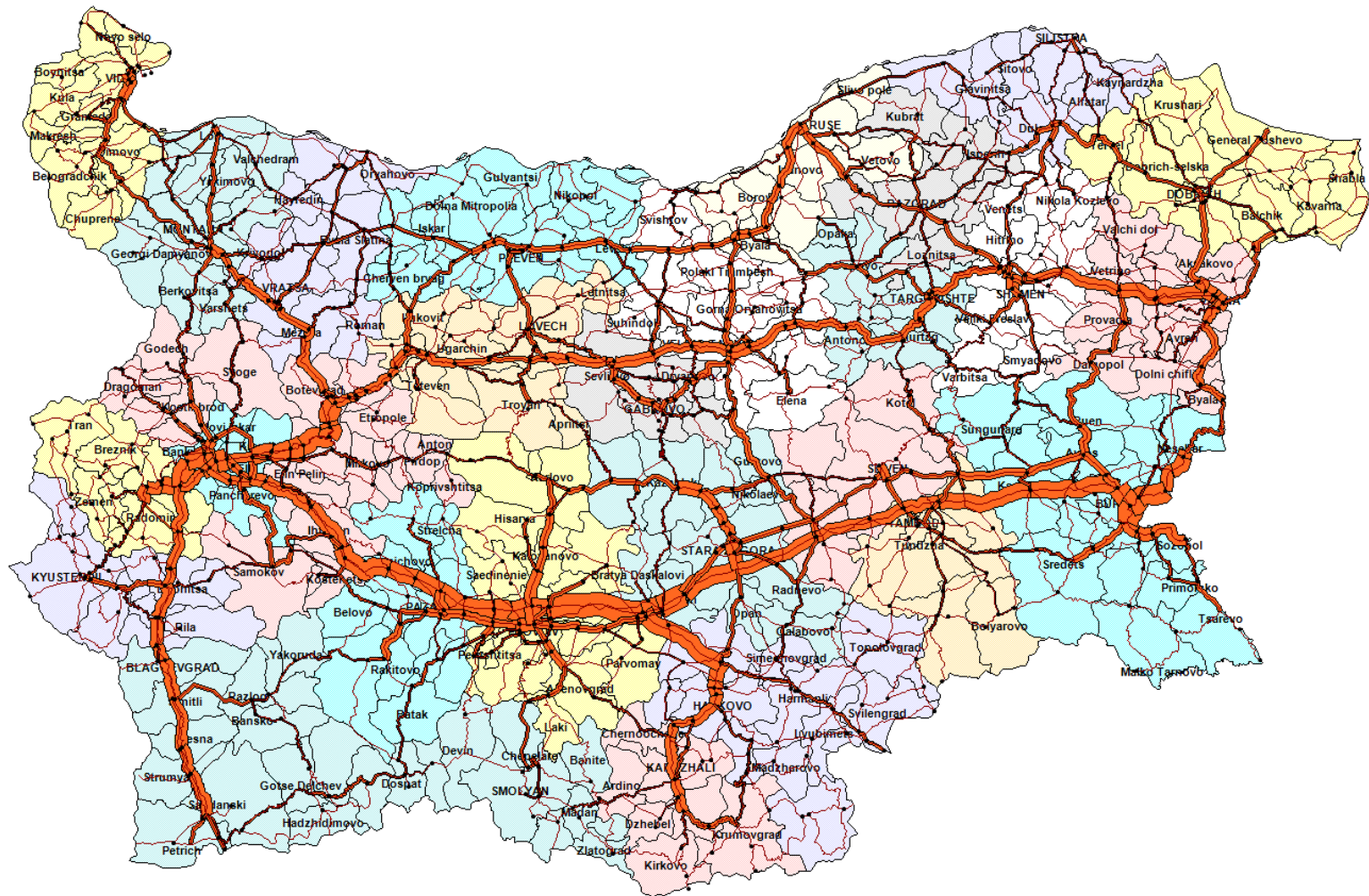
- *Равновесно полагане (equilibrium assignment)* – търсене на вариант на натоварване, при който транспортната система е в *потребителско равновесие*; понякога може да се търси и *системно равновесие*
- *Стохастични методи* – група от методи, при които се приема, че не всички потребители възприемат най-ниската цена за пътуване (съпротивление, време и пр.) по един и същ начин и пътуванията се полагат по *няколко най-кратки пътища*; могат да бъдат както итеративни, така и равновесни

4 Полагане на движението

Валидиране на модела

- Принцип: валидирането се извършва по параметри, които *не са използвани* за получаването му
- Обичаен индикатор е GEH (формулата е приложена за първи път от лондонския инженер по транспортно планиране Geoffrey E. Havers през 1970 г.)

Резултат



Съдържание

- Цел и употреба на транспортните модели
- Характеристики на подвижността
- Четиристъпков транспортен модел
- Документиране на моделите

Документиране на транспортния модел (1/4)

- **Базова година** – избира се най-скорошната година, за която е достъпна достатъчна информация
- **Видове превози** – един или повече
- **Моделирани часове** – върхов час или целодневно
- **Видове превозни средства** – например леки автомобили, товарни автомобили и автобуси; обосновка на избора
- **Зона на влияние на модела** – условно около 1 000 - 1 500 км за модел на стратегическо ниво
- **Транспортно райониране** – брой на транспортните райони и обосновка за избора

Документиране на транспортния модел (2/4)

- **Данни по транспортни райони** – описание на наличните за базовата година данни за всеки транспортен район
- **Прогнозни данни по транспортни райони** – прогноза с описание на източниците и допусканията
- **Анкетни** – описание на проведените анкети, обосновка на извадката, обработка на резултатите
- **Преброявания** – описание на проведените преброявания на автомобилното движение, в обществения транспорт и пр.

Документиране на транспортния модел (3/4)

- **Моделирани видове пътувания** – информация за това кои групи пътувания (т.е. видове/цели на пътуване) се моделират и обосновка
- **Генериране на пътувания** – подробно описание на модела за генериране на пътувания
- **Разпределение на пътуванията** – подробно описание на модела за разпределение на пътуванията; матрици произход-предназначение (O/D)
- **Калибриране** – описание на подхода; резултати преди и след калибриране

Документиране на транспортния модел (4/4)

- **Избор на вид превоз** – подробно описание на метода на избор и на емпиричните данни, върху които е основан
- **Полагане** – описание на метода; описание на използваните volume/delay функции; подробно описание на подхода за моделиране на забавянията в кръстовища (ако е модел в градска среда); калибриране на speed/flow функцията (ако е в извънградска среда)
- **Валидиране** – описание на данните, чрез които се валидира модела; сравнение на моделирани и наблюдавани данни; постигане на критериите за точност

Заклучение

Дори лош транспортен модел води до по-добро качество на транспортното планиране от това да не се използва модел

Въведение в транспортното моделиране

инж. Асен Анто
Изпълнителен директор на НКСИП

Лекция УНСС, 24.01.2015 г.