|  |
| --- |
| REPUBLIKA SLOVENIJA**MINISTRSTVO ZA INFRASTRUKTURO****TEHNIČNA SPECIFIKACIJA TSG-211-XXX:2022** |
|  t**TSPI PGV.01.XXX:2022**(osnutek, november 2022)**PROMETNE ŠTUDIJE****PRILOGA** |

**Vsebina**

[1 Koraki prometnega modeliranja 3](#_Toc118362943)

[2 Določanje obsega modela 3](#_Toc118362944)

[2.1 Območje obdelave 3](#_Toc118362945)

[2.2 Coning 3](#_Toc118362946)

[2.3 Prometno omrežje 4](#_Toc118362947)

[2.4 Razredi vozil 4](#_Toc118362948)

[2.5 Načini potovanj 4](#_Toc118362949)

[2.6 Nameni potovanj 4](#_Toc118362950)

[2.7 Modeliranje tovornega prometa 5](#_Toc118362951)

[2.8 Demografske skupine 5](#_Toc118362952)

[2.9 Časovna obdobja v dnevu 5](#_Toc118362953)

[2.10 Izbira modeliranih let 6](#_Toc118362954)

[3 Zbiranje podatkov 6](#_Toc118362955)

[3.1 Tehnike zbiranja podatkov 6](#_Toc118362956)

[3.1.1 Ankete 6](#_Toc118362957)

[3.1.1.1 Anketa po gospodinjstvih 6](#_Toc118362958)

[3.1.1.2 Anketa v javnem prometu 7](#_Toc118362959)

[3.1.1.3 Ankete izražene preference 7](#_Toc118362960)

[3.1.2 Štetje prometa 7](#_Toc118362961)

[3.1.2.2 Štetje potnikov v javnem prometu 8](#_Toc118362962)

[3.1.2.3 Merjenje dolžin kolon 9](#_Toc118362963)

[3.1.2.4 Meritve hitrosti 9](#_Toc118362964)

[3.1.2.5 Ugotavljanje izvorov in ciljev potovanj 9](#_Toc118362965)

[3.1.2.6 Meritve potovalnih časov 10](#_Toc118362966)

[3.2 Podatki o sedanji prometni ponudbi 10](#_Toc118362967)

[3.2.1 Prometna infrastruktura 10](#_Toc118362968)

[3.2.1.1 Ceste 10](#_Toc118362969)

[3.2.1.2 Podatki o parkiriščih 11](#_Toc118362970)

[3.2.2 Storitve 11](#_Toc118362971)

[3.3 Podatki o sedanjem povpraševanju 11](#_Toc118362972)

[3.3.1 Raziskave generacije potovanj 11](#_Toc118362973)

[3.3.2 Raziskave distribucije potovanj 12](#_Toc118362974)

[3.3.3 Raziskave izbire načina potovanj 12](#_Toc118362975)

[3.3.4 Raziskave parametrov modela izbire poti 12](#_Toc118362976)

[3.4 Socio – ekonomski podatki 12](#_Toc118362977)

[3.4.1 Podatki o prebivalstvu in zaposlenosti 12](#_Toc118362978)

[3.4.2 Dohodek 13](#_Toc118362979)

[3.4.3 Delovna mesta 13](#_Toc118362980)

[3.4.4 Obseg prodaje 13](#_Toc118362981)

[3.4.5 Šole in druge izobraževalne ustanove 13](#_Toc118362982)

[4 Štiristopenjski prometni model 13](#_Toc118362983)

[4.1 Generacija potovanj 13](#_Toc118362984)

[4.2 Distribucija potovanj 13](#_Toc118362985)

[4.2.1 Metode faktorjev rasti 14](#_Toc118362986)

[4.2.2 Sintetične metode 15](#_Toc118362987)

[4.3 Izbira načina potovanj 15](#_Toc118362988)

[4.3.1 Faktorji izbire načina potovanj 16](#_Toc118362989)

[4.3.2 Logit model 16](#_Toc118362990)

[4.3.3 Multimodalni logit model 17](#_Toc118362991)

[4.3.4 Hierarhični logit model 17](#_Toc118362992)

[4.4 Obremenjevanje mreže 17](#_Toc118362993)

[4.4.1 Statično obremenjevanje 17](#_Toc118362994)

[4.4.1.1 Deterministične metode 17](#_Toc118362995)

[4.4.1.2 Stohastične metode 18](#_Toc118362996)

[4.4.2 Dinamično obremenjevanje 18](#_Toc118362997)

[4.5 Način modeliranja gibanja vozil 19](#_Toc118362998)

[4.5.1 Makroskopski model 19](#_Toc118362999)

[4.5.2 Mikroskopski simulacijski prometni model 19](#_Toc118363000)

[4.5.2.1 Cestni promet 19](#_Toc118363001)

[4.5.2.2 Železniški promet 19](#_Toc118363002)

[4.5.3 Mezoskopski prometni model 20](#_Toc118363003)

[4.5.4 Hibridni model 20](#_Toc118363004)

[5 Napoved 20](#_Toc118363005)

[6 Literatura 20](#_Toc118363006)

# Koraki prometnega modeliranja

Koraki prometnega modeliranja so:

* določanje obsega modela,
* zbiranje podatkov,
* izdelava modela baznega leta,
* kalibracija in validacija modela,
* izdelava modelov za napoved in
* analiza rezultatov.

Posamezni koraki so podrobneje opisani v naslednjih poglavjih.

# Določanje obsega modela

## Območje obdelave

Območje obdelave mora obsegati najmanj območje, v katerem lahko pričakujemo viden učinek spremembe namenske rabe prostora, nove infrastrukture ali ukrepa prometne politike.

Meja območja obdelave naj se prekriva z mejami registra prostorskih enot GURS.

## Coning

Velikost in število con sta pomembna faktorja, ki vplivata na natančnost rezultatov in čas izračuna modela. Če so cone prevelike, model ne bo mogel pravilno prikazati sprememb v potovanjih, če pa so premajhne, se precej poveča čas izračuna modela.

Zavedati se je treba, da znotraj conska potovanja niso predmet obremenjevanja mreže, zato v primeru prevelikih con z modelom napovemo premajhno število potovanj na odsekih in križiščih.

Velikost con mora biti usklajena s podrobnostjo cestne mreže.

Previdnost je potrebna tudi v primeru, da modeliramo tudi omrežje javnega potniškega prometa in se znotraj ene cone nahaja več postaj javnega potniškega prometa. V tem primeru je treba bodisi razdeliti tako cono v več manjših ali pa z načinom modeliranja konektorjev zagotoviti, da bodo potniki ustrezno porazdeljeni po postajah.

Cone v bližini ukrepa naj bodo manjše, bolj oddaljene cone pa so lahko večje.

Pri določanju meja notranjih je treba upoštevati naravne ovire in umetne ovire, kot so reke, kanali, pomembnejše ceste, železnice, parki itd. Po možnosti naj bi znotraj cone prevladovala ena vrsta rabe površin; npr. stanovanja, industrija, trgovina itd.

Meje con naj se prekrivajo z mejami registra prostorskih enot GURS, saj je na ta način olajšano pridobivanje podatkov o prebivalcih od SURS.

## Prometno omrežje

Stopnja podrobnosti prometnega omrežja naj ustreza namenu študije. Za bolj strateške študije je prometno omrežje lahko bolj grobo, za bolj operativne pa bolj podrobno. V vsakem primeru mora biti usklajeno s coningom. Omrežje naj bo najbolj podrobno modelirano v bližini ukrepa. Omrežje naj vključuje vse smiselne alternativne poti pri katerih lahko pričakujemo večje spremembe v prometnih obremenitvah.

V območjih z zastoji v križiščih je treba križišča modelirati z vsemi podrobnostmi, najmanj pa z načinom vodenja prometa (križišče s prednostno cesto, krožišče, semafor), s številom pasov po posameznih smereh in v primeru semaforiziranih križišč s krmilnimi programi.

## Razredi vozil

V modelu je treba ločeno modelirati najmanj:

* osebna vozila,
* tovorna vozila (ločeno na vozila do 3.5 tone in nad 3.5 tone) in
* avtobuse

## Načini potovanj

Za modele, ki omogočajo izračun spremembe deleža načina potovanj (modal split) je treba izračunati povpraševanje za vsak način potovanj.

Možni načini potovanja so naslednji:

za potniški promet:

* osebni avto (voznik in sopotnik),
* železnica,
* avtobus,
* zračni promet (če je potrebno),
* vodni promet (če je potrebno),
* kolesari,
* pešec in

za prevoz blaga:

* cesta,
* železnica,
* zrak in
* plovne poti.

V model mora biti vključen vsak način, za katerega se pričakuje, da se mu bo zaradi ukrepa spremenil delež.

## Nameni potovanj

Pri modeliranju potniškega prometa naj se ločeno modelirajo segmenti povpraševanja tako, da en segment predstavlja določeno homogeno skupino z enakim namenom potovanja. Ena skupina potovanj predstavlja oz. ponazarja specifične karakteristike potovalnih navad. (npr. potovanje v službo, potovanje v šolo,…). Pri tem velja da ena skupina lahko predstavlja tudi sklop zaporednih potovanj (npr. potovanje v službo in nazaj domov).

Pri modeliranju potniškega prometa naj se ločeno modelirajo najmanj naslednji segmenti povpraševanja:

* potovanja na delo (v službo),
* potovanja v šolo,
* poslovna potovanja (potovanja med delovnim časom na / s sestankov itd.) in
* prostočasne dejavnosti (vključno z nakupovanjem, obiskom prijateljev itd.).

## Modeliranje tovornega prometa

V primeru, da so zaradi ukrepa predvidene večje spremembe pri povpraševanju po tovornem prometu, je treba modelirati posebej tudi tovorni promet z najmanj štirimi fazami. Tipičen primer je sprememba namenske rabe prostora ali intenzivni ukrepi za preusmerjanje tovornega prometa s cest na železnice.

Kadar pa večje spremembe v povpraševanju tovornega prometa niso predvidene, se lahko tovorni promet modelira samo v fazi obremenjevanja omrežja.

## Demografske skupine

V primeru, da se modelira tudi izbiro načina potovanj (modal split) je priporočljivo ločiti potovanja na potovanja oseb, ki imajo dostop do osebnega vozila in tiste, ki ga nimajo.

V primeru, da se modelira tudi vplive cestnin, parkirnin je priporočljivo deliti potnike tudi glede na dohodkovne segmente.

## Časovna obdobja v dnevu

Modelirati je treba najmanj:

* jutranjo konico in
* popoldansko konico.

V primeru, da je potrebno:

* dimenzioniranje števila pasov na odsekih,
* dimenzioniranje voziščne konstrukcije in/ali
* izračun obremenjenosti s hrupom,

je potreben tudi izračun povprečnega letnega dnevnega prometa (PLDP).

V modelu za PLDP je treba kot dnevno kapaciteto upoštevati 10 kratnik urne kapacitete, izračunane po metodologiji HCM

V območjih z izrazitim sezonskim prometom je treba modelirati tudi turistično konico. Konico se določi na osnovi štetja prometa ob petkih popoldne, soboto dopoldne in nedeljo zvečer v turistični sezoni.

V območjih z izrazitim generatorjem (trgovski centri, športni centri) je treba modelirati tudi konico generatorja, kadar ta časovno ne sovpada z jutranjo/popoldansko konico glavne prometne smeri.

## Izbira modeliranih let

Vsako modeliranje se začne z definiranjem izhodiščnega (baznega) leta, za katero so poznana izhodišča za poustvarjanje o prometnih razmer.

Polega baznega leta je treba izdelati model še za:

* prvo leto delovanja ukrepa in
* deset let po začetku delovanja ukrepa

V primeru novogradenj je treba izdelati model tudi za konec planskega obdobja. Za novogradnje je to dvajset let po začetku obratovanja, za rekonstrukcije pa 10 let.

# Zbiranje podatkov

Za razvoj in validacijo prometnih modelov je treba zbrati obsežno količino podatkov. Zbiranje podatkov je specializirano področje in je tukaj zajeto na razmeroma splošni ravni.

Zbrati je treba podatke o:

* sedanji prometni ponudbi (prometna infrastruktura in storitve),
* sedanjem povpraševanju (številu potovanj po namenih, izvorih in ciljih ter načinih potovanj) in
* sedanji namenski rabi prostora in socialno-ekonomskih značilnostih prebivalcev.

## Tehnike zbiranja podatkov

### Ankete

#### Anketa po gospodinjstvih

##### Velikost vzorca

Velikost vzorca zbranega je odvisna od velikosti območja obdelave, željene stopnje točnosti in občasno tudi od gostote poseljenosti. Priporočene vrednosti za velikost vzorca so podane v naslednji tabeli:

Tabela 3‑1 Minimalne in priporočene velikosti anketnih vzorcev

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| število prebivalcev | priporočeno | minimalno |
| pod 50,000 | 20% | 5% |
| 50-150,000 | 12.5% | 2.5% |
| 150-300,000 | 10% | 1.5% |
|  |  |  |

Velikost vzorca je lahko manjša zgolj v primeru, da izvajalec z izračunom dokaže njeno ustreznost.

##### Izbor vzorca

Vzorec se izbere naključno iz seznamov kot so volilni imeniki, telefonski imeniki, spletnih panelov, itd.

##### Postopek

Anketo po gospodinjstvih se lahko izvede z obiskom na domu, po telefonu, posredovanjem vprašalnikov učencem v šolah ali v obliki spletne ankete.

Z anketo se zbere podatke o osnovnih značilnostih gospodinjstva ter vseh potovanjih vseh članov gospodinjstva starejših od 7 leta v predhodnih 24 urah.

Osnovni podatki o gospodinjstvu so: naslov, velikost gospodinjstva, starostna struktura, zaposlitev, lastništvo vozil in dohodek. Pogosto se naleti na odpor pri odgovarjanju na vprašanje o dohodku, zato se to vprašanje rajši nadomesti z vprašanji iz katerih se lahko posredno sklepa na dohodek gospodinjstva. To so npr. tip stanovanja, lastništvo ali najem, poklic itd.

Podatki o potovanjih zajemajo naslov začetka in konca potovanja, čas začetka in konca, namen potovanja in način oz. sredstvo. Pri namenih potovanja se običajno loči potovanja od doma v službo, od doma po opravkih ter potovanja, ki se ne začnejo doma. Lahko pa se namene razdeli še bolj podrobno (npr. šola, šport, itd.). Pri načinih potovanja se običajno loči med voznikom vozila, potnikom v osebnem vozilu, voznik tovornjaka, motorist, potnik v avtobusu, vlaku, kolesar in pešec.

Za uspeh ankete je zelo pomembna medijska priprava prebivalstva. Z obvestili v časopisju, po radiju in televiziji se obvesti prebivalce o namenu ankete ter se jih poskusi čim bolj motivirati za aktivno sodelovanje.

#### Anketa v javnem prometu

Podatke o potovanjih z javnim prometom, ki se začnejo znotraj območja obdelave, se pridobi z anketo po gospodinjstvih. Potovanja, ki se začnejo izven, pa z anketo na vozilih javnega prometa ali pa na postajališčih pri vstopi ali izstopu. Običajno zaradi gneče ni možno izvesti neposredne ankete, ampak se anketa izvede tako, da se deli dopisnice z anketnimi vprašanji. Hkrati z anketo se izvaja štetje potnikov.

#### Ankete izražene preference

Te vrste anket običajno se uporablja za izračun vrednosti časa in ostalih parametrov izbire načina potovanj, modeliranje cestninskih sistemov, itd. Pri anketah izražene preference se anketirance sprašuje, kaj bi storili v določeni hipotetični situaciji.

### Štetje prometa

##### Na prerezih

Štetje prometa na cestnih odsekih se lahko izvaja ročno, z video snemanjem ali s pomočjo avtomatskih števcev prometa.

Avtomatski števci so lahko stalni ali pa občasni. Večinoma se za stalna štetja uporabljajo indukcijski števci, poleg njih pa še mikrovalovni, piezzo in video detekcijski. Za občasna štetja pa se uporabljajo tudi pnevmatski števci.

Zaradi večje natančnosti se za stalna štetja priporoča uporaba indukcijskih števcev, za občasna pa video snemanje.

Ročna štetja se izvajajo najmanj 3 ure v jutranji in popoldanski konici v tipičnem dnevu (torek, sreda, četrtek) in mesecu (marec, april, maj, oktober, oktober, november).

Snemanje s kamero in občasna avtomatska štetja je treba za potrebe modeliranja konic izvajati najmanj 3 ure, za potrebe modeliranja PLDP pa najmanj 16 ur,

V primeru video snemanja je treba pridobiti soglasje upravljalca ceste in upoštevati določila zakona, ki ureja varstvo osebnih podatkov.

Viri podatkov o štetju prometa so državne inštitucije in agencije oz. upravljavci prometnega sistema.

##### V križiščih

Pomemben podatek pri razvoju in validaciji modelov so tudi tokovi zavijalcev v križiščih.

Pri enostavnih križiščih se lahko šteje ročno ali pa se tokove snema in te video posnetke analizira kasneje.

Ročna štetja se izvajajo najmanj 3 ure v jutranji in popoldanski konici v tipičnem dnevu (torek, sreda, četrtek) in mesecu (marec, april, maj, oktober, oktober, november).E

Snemanje s kamero in občasna avtomatska štetja je treba za potrebe modeliranja konic izvajati najmanj 3 ure, za potrebe modeliranja PLDP pa najmanj 16 ur,

V primeru video snemanja je treba pridobiti soglasje upravljalca ceste in upoštevati določila zakona, ki ureja varstvo osebnih podatkov.

Obstaja nekaj komercialnih ponudnikov za izvajanje video snemanja in/ali kasnejše obdelave, zato se klasično ročno štetje uporablja vedno redkeje.

V kompleksnejših križiščih (diamanti, večja krožišča) je treba šteti vse krake istočasno, včasih pa je klasično štetje neizvedljivo, zato se je treba poslužiti tehnike sledenja vozil (npr. sledenje registrskih tablic, sledenje mobilnim telefonom itd.).

V tem primeru je treba pridobiti je treba pridobiti soglasje upravljalca ceste in upoštevati določila zakona, ki ureja varstvo osebnih podatkov.

V mestnih središčih je treba šteti tudi kolesarje in pešce.

#### Štetje potnikov v javnem prometu

Za validacijo modela javnega prometa rabimo tudi podatke o številu potnikov na vozilih javnega prometa po progah in med postajami.

Te podatke lahko pridobimo:

* iz poročil prevoznikov o številu potnikov v JPP,
* iz prodaje vozovnic,
* iz validacije vozovnic
* s štetjem potnikov na vozilih
* štetjem potnikov pri vstopu in izstopu na postajah,

V primeru validacije vozovnic običajno dobimo podatke o vstopih, ne pa tudi izstopih, zato so ti podatki zgolj omejeno uporabni.

#### Merjenje dolžin kolon

V primeru zgostitev prometa štetje prometa ne zadošča, saj se tem samo izmeri prepustnost posamezne smeri, ne pa tudi povpraševanja. Zato je treba izmeriti tudi kolone.

Štetje vozil v koloni je potrebno kadar:

* se pred nesemaforiziranim križiščem in krožiščem redno pojavlja kolona več kot 5 vozil ali
* je pred semaforiziranim križiščem na koncu zelene luči redno še vedno več kot 5 vozil

V teh primerih povečamo prešteti promet tako, da so izračunane dolžine kolon enake preštetemu prometu.

#### Meritve hitrosti

Sodobnejši avtomatski števci prometa omogočajo tudi meritve hitrosti vozil na števnih mestih. Ti podatki nam zelo koristijo pri izdelavi modela (hitrosti prostega prometnega toka po kategorijah vozil) in pri validaciji modela (hitrosti v konicah).

Podatke o hitrostih vozil na odsekih, kjer ni nameščenega števca prometa, pa lahko pridobimo tudi z radarskimi meritvami ali pa od ponudnikov navigacijskih storitev (npr. TomTom, Google Maps).

#### Ugotavljanje izvorov in ciljev potovanj

Za pridobitev podatkov o izvorih in ciljih potovanj in za oceno potovalnih časov se lahko uporabi tudi tehniko sledenja vozil z beleženjem registrskih tablic ali sledenjem mobilnih telefonov.

V tem primeru je treba pridobiti soglasje upravljalca ceste in upoštevati določila zakona, ki ureja varstvo osebnih podatkov.

##### Beleženje registrskih tablic

Vozilom se lahko sledi s pomočjo beleženja registrskih tablic na izbranih cestnih prerezih. Običajno se to izvaja na meji območja obdelave ali pa na vmesnih kontrolnih črtah.

Registrske tablice se lahko beleži ročno ali pa z avtomatsko obdelavo video posnetkov.

Pri ročnem beleženju registrskih tablic zadošča beleženje zadnjih treh znakov.

##### Sledenje mobilnim napravam

Vozilom se lahko sledi tudi s pomočjo sledenja mobilnih naprav.

Za ugotavljanje izvorov in ciljev potovanj se lahko uporabi tudi posebne aplikacije, ki si jih vzorec voznikov prostovoljno namesti na mobilne telefone.

Delne podatke o izvorih in ciljih potovanj se lahko pridobi tudi od ponudnikov navigacijskih storitev (npr. TomTom).

#### Meritve potovalnih časov

Za izdelavo in validacijo modelov je treba izmeriti tudi podatke o potovalnih časih na izbranih relacijah.

Zbrati je treba potovalne čase v primeru prostega prometnega toka (izven konice) in v konicah.

Podatke se lahko pridobi na naslednje načine:

* s pomočjo spletnih storitev za načrtovanje poti (maps.google.com, viamichelin, TomTom itd.) ali
* s sledenjem vozilom (opisano v predhodnem poglavju)

## Podatki o sedanji prometni ponudbi

### Prometna infrastruktura

#### Ceste

Najprej se določi, katere kategorije cest bomo vključili v prometni model. Odvisno od obsega in namena študije se lahko v model vključi samo npr. avtoceste, glavne in regionalne ceste, ali pa tudi mestne ulice.

Za ceste, ki bodo vključene v model, se zbere naslednje podatke:

Cestni odseki:

* dolžina,
* število pasov,
* omejitve vožnje (po vrstah prometnih sredstev in smereh),
* hitrost prostega prometnega toka (administrativna omejitev hitrosti ali pa v85)
* kapaciteta izračunana po HCM,
* tip ceste,
* cestnina (če je).

Križišča:

* vodenje prometa (nesemaforizirano, semaforizirano, krožišče),
* število pasov po smereh, dolžina zavijalnih pasov in
* krmilni programi (za semaforizirana križišča).

Viri podatkov o prometni infrastrukturi so lahko:

* že obstoječi prometni modeli,
* podatki upravljalcev prometne infrastrukture (DARS, DRSI, občine),
* zbirni kataster gospodarske infrastrukture (GJI),
* podatki nekomercialnih ponudnikov (OpenStreet map),
* podatki komercialnih ponudnikov navigacijskih storitev in/ali
* upravljavci in vzdrževalci semaforjev.

#### Podatki o parkiriščih

Za podrobnejše modele in analize je treba zbrati tudi podatke o lokacijah, kapacitetah, zasedenosti in obratu parkirišč in tarifnem sistemu, ki ga uporabljajo.

### Storitve

Zbrati je treba podatke o poteku linij javnega prometa, postajališčih, prestopnih točkah, voznih redih, tarifah itd.

Viri podatkov o storitvah javnega prometa so lahko:

* že obstoječi prometni modeli,
* odprti podatki Slovenije (IJPP),
* ministrstvo za področje prometa (IJPP),
* občine, z organizirano lokalno gospodarsko javno službo mestnega potniškega prometa
* prevozniki,
* komercialni ponudniki,
* nekomercialni ponudniki (OpenStreet map) in/ali
* NCUP.

Te podatke je običajno možno pridobiti v GTFS formatu.

## Podatki o sedanjem povpraševanju

Podatke o številu potovanj po namenih, izvorih in ciljih ter načinih potovanj prebivalcev, ki živijo znotraj območja obdelave zberemo z anketami po gospodinjstvih.

### Raziskave generacije potovanj

Z raziskavami generacije potovanj se določi obseg potovanj, ki ga generira določeno območje. Te raziskave lahko se lahko izvede samo za določeno že obstoječo namensko rabo prostora v nekem območju (prometno cono) ali pa za izračun parametrov generacije potovanj, ki se jih potem lahko uporabi za napovedi.

Te raziskave se lahko izvajajo s štetjem prometa, ločeno po načinih potovanj.

Parametre generacije potovanj, ki so vezana na prebivalstvo, se lahko pridobi z anketami po gospodinjstvih. Z anketami po gospodinjstvih se pridobi podatke o številu potovanj, namenih, in časovni distribuciji potovanj po posameznih kategorijah prebivalcev.

V primeru, da se raziskav generacije potovanj ne izvede, se lahko uporabi podatke iz drugih študij. V Sloveniji se pogosto uporabljajo podatki ITE Trip Generation Manual, katerih uporabnost pa je potrebno preveriti v fazi validacije modela.

### Raziskave distribucije potovanj

Za razvoj modelov preusmerjanja prometa (Assignement models) in za validacijo ostalih dveh kompleksnejših modelov so potrebni tudi podatki o izvorih in ciljih potovanj.

Podatke o izvorih in ciljih potovanj se lahko pridobi na več načinov:

* z anketo po gospodinjstvih,
* z anketami na terenu
	+ cesta,
	+ javni promet,
* s sledenjem vozilom (registrske tablice, sledenje mobilnim telefonom).

### Raziskave izbire načina potovanj

Parametre modelov izbire načina potovanj se običajno pridobi z anketami izražene preference.

Za validacijo modela izbire načina potovanj pa se podatke o deležih potovanj opravljenih s posamezno vrsto prometnega sredstva, pridobi:

* z anketo po gospodinjstvih,
* z anketami na terenu
	+ cesta,
	+ javni promet,
* s sledenjem vozilom (registrske tablice, sledenje mobilnim napravam …),
* s štetjem vozil in potnikov.

### Raziskave parametrov modela izbire poti

Parametre modelov izbire poti se lahko pridobi z anketami izražene preference. Te se zlasti uporabljajo v primeru modeliranja cestninskih cest.

Za validacijo modela izbire poti pa se podatke pridobi s štetjem vozil in potnikov.

## Socio – ekonomski podatki

### Podatki o prebivalstvu in zaposlenosti

Tip socialno-ekonomskih podatkov, ki jih je treba zbrati se spreminja v odvisnosti od velikosti in namena študije. Vendar so nekateri podatki bistveni za vse študije. To so podatki o število prebivalcev, strukturi po spolu in starosti ter struktura gospodinjstev po velikosti, starosti in vrsti zaposlitve.

Natančnost zbranih podatkov mora biti usklajena z natančnostjo izvedene ankete (število in homogenost obravnavanih skupin).

### Dohodek

Nivo dohodka gospodinjstva vpliva na število in način potovanj članov gospodinjstva. Podatke o dohodku se lahko pridobi z anketo po gospodinjstvih.

### Delovna mesta

Pri številu zaposlenih je treba biti previden, saj so lahko na enem naslovu uradno zaposleni ljudje, ki delajo na dislociranih enotah.

### Obseg prodaje

Število potovanj se odraža tudi v količini prodanega blaga v trgovinah. Zato je treba pridobiti podatke o trgovinah, kot so površina, število delovnih mest, količina prodanega blaga itd.

### Šole in druge izobraževalne ustanove

Pridobiti je treba podatke o lokaciji in številu zaposlenih, učencev, dijakov in študentov.

# Štiristopenjski prometni model

## Generacija potovanj

V fazi generacije potovanj se izračuna nivo potovanj za posamezne cone. Izračuna se t.i. produkcije in atrakcije vsake posamezne cone.

Tehnike za napoved generacije potovanj so zasnovane na predpostavki, da so potovanja odvisna od:

* namenske rabe prostora,
* socialno-ekonomskih značilnosti potnikov,
* značilnosti transportnega sistema.

Na generacijo potovanj vpliva vrsta in obseg namenske rabe prostora. Mera za obseg aktivnosti je običajno število prebivalcev, stanovanj, gostota, število delovnih mest, površina trgovin, število študentov itd. Faktorje generacije potovanj se lahko določi z regresijsko analizo podatkov zbranih z raziskavami generacije potovanj (glej razdelek 8.3.1), lahko pa se uporabi tudi podatke iz drugih študij. V Sloveniji se pogosto uporabljajo podatki ITE Trip Generation Manual.

## Distribucija potovanj

V fazi distribucije potovanj se porazdelim potovanja med posamezne pare prometnih con. Porazdelitev (distribucijo) potovanj med prometne cone se predstavi s t.i. izvorno-ciljno matriko. V tej dvodimenzionalni matriki predstavljajo vrstice in stolpci posamezne prometne cone. Celice v vrstici i vsebujejo potovanja, ki se začnejo v coni i in končajo v conah, ki so predstavljene s posameznimi stolpci. Celice v glavni diagonali vsebujejo število t.i. znotraj conskih potovanj (intrazonal trips).

Obstajata dve glavni skupini metod za napoved distribucije potovanj:

* analogne metode ali metode faktorjev rasti – pri teh se pomnoži sedanja potovanja s faktorji rasti;
* sintetične metode – pri teh se poskuša razumeti vzroke distribucije potovanj, običajno se išče analogije med potovanji in fizičnimi zakoni. Vsem metodam je skupen osnovni princip: število potovanj med dvema conama narašča z naraščanjem atrakcije in pada z naraščanjem oddaljenosti.

### Metode faktorjev rasti

Na osnovi podatkov o rasti celotnega števila potovanj v študijskem območju ali pa na osnovi podatkov o rasti števila produkcij in/ali atrakcij posameznih con se oceni, kakšno bo število potovanj med posameznima paroma con v prihodnosti, v ciljnem letu. To oceno se lahko izvede na različne načine.

To skupino metod se lahko predstavi s skupno formulo:

$T\_{ij}=t\_{ij}E$,

kjer je:

$T\_{ij}$število potovanj iz cone i v cono j v prihodnosti,

$t\_{ij}$ sedanje število potovanj iz cone i v cono j,

$E$ faktor rasti.

Metode se med seboj razlikujejo po načinu izračuna faktorjev rasti. Faktor rasti je lahko enoten za celotno območje obdelave, ali pa se od cone do cone razlikuje.

Uporabi se lahko naslednje metode:

* metodo enotnega faktorja rasti,
* enojno omejene metode,
* dvojno omejene metode
	+ metodo povprečnega faktorja rasti,
	+ Fratarjevo metodo,
	+ Detroid metodo,
	+ Furness metodo.

V primeru, da se bodo vse cone študijskega območja enakomerno razvijale, se lahko uporabi metodo enotnega faktorja rasti.

V primeru izrazitih rasti zgolj produkcij ali atrakcij se uporabi enojno omejene metode, sicer pa dvojno omejene metode, med katerimi se priporoča uporabo Furness metode.

Faktorje rasti se izračuna iz rezultatov faze generacije potovanj kot razmerje med številom bodočih in številom sedanjih potovanj.

$$E=\frac{T}{t}$$

### Sintetične metode

Metode faktorjev rasti niso primerne za modeliranje distribucije potovanj v primerih, ko nastopajo velike spremembe v transportnem omrežju. Za reševanje takih problemov je bilo razvito več drugačnih modelov, ki poskušajo poiskati razloge za različno distribucijo potovanj. Ti modeli napovedujejo število potovanj med posameznimi pari con brez uporabe matrik, pridobljenih s terenskimi raziskavami. Zato jih imenujemo sintetični.

Med temi modeli je najbolj znan gravitacijski model. V najosnovnejši obliki gravitacijskega modela je število potovanj med dvema conama premo sorazmerno produkciji izvorne cone, atrakciji ciljne cone in obratno sorazmerna njuni medsebojni oddaljenosti.

To pomeni, da bo število potovanj med dvema conama z veliko produkcijo in atrakcijo večje, po drugi strani pa, da bo število potovanj med dvema oddaljenima conama manjše.

$$T\_{ij}=αO\_{i}D\_{j}f(c\_{ij})$$

kjer je:

$T\_{ij}$število potovanj iz cone i v cono j,

$O\_{i}$ število produkcij cone i,

$D\_{j}$ število atrakcij cone j,

$f(c\_{ij})$ funkcija generaliziranih stroškov.

Pogoste oblike te funkcije so:

$f(c\_{ij})=exp(-βc\_{ij})$ eksponentna funkcija

$f(c\_{ij})=c\_{ij}^{-n}$ potenčna funkcija

$f(c\_{ij})=c\_{ij}^{n}exp(-βc\_{ij})$ kombinirana funkcija

Pri sintetičnem modelu distribucije potovanj običajno medsebojno oddaljenost con podrobneje definiramo kot upor oziroma generalizirane stroške med parom con, ki vključuje oddaljenost, potovalni čas, strošek potovanj. Parametra $β$ in $n$ se določi v fazi kalibracije modela.

## Izbira načina potovanj

Izbira prometnega sredstva (mode choice, mode split) je proces, v katerem se za vsak par con določi število potovanj, ki bodo opravljena z vsako vrsto prometnega sredstva, ki je na voljo v območju obdelave (osebno vozilo, mestni avtobus, tramvaj itd.)

Vhodni podatek za to fazo so izvorno-ciljne matrike (običajno ločeno za vsak namen potovanj posebej), ki so rezultat distribucije potovanj.

Rezultat te faze pa so izvorno-ciljne matrike za vsako vrsto prometnega sredstva.

### Faktorji izbire načina potovanj

Faktorji, ki vplivajo na izbiro prometnega sredstva so:

* značilnosti potnika (dohodek, število vozil,…),
* značilnosti potovanja (namen),
* značilnosti transportnega sistema (potovalni čas, stroški).

### Logit model

V primeru, da sta na izbiro samo dve vrsti prometnih sredstev (recimo osebni avto in javni promet)se lahko z logit modelom izračuna delež potnikov, ki bo uporabil osebni avto na naslednji način:

$P\_{oa}=\frac{e^{u\_{oa}}}{e^{u\_{oa}}+e^{u\_{jp}}}$

kjer je

$P\_{oa}$ verjetnost uporabe osebnega vozila,

$e^{u\_{oa}}$uporabnost osebnega vozila,

$u\_{jp}$ uporabnost javnega prometa.

Uporabnosti posamezne vrste prometnega sredstva so običajno linearne funkcije parametrov potovanja (trajanja, cene itd.), npr.:

$u\_{oa}=k\_{oa}+α\_{}c\_{oa}+β\_{}t\_{oa}$,

$u\_{jp}=k\_{jp}+α\_{}c\_{jp}+β\_{}t\_{jp}$ ,

kjer so

$k\_{oa}$,$ k\_{jp}$ konstanti specifični za prometno sredstvo

$α$ koeficient cene

$β$ koeficient časa

$c\_{oa}$,$t\_{oa}$ cena in trajanje potovanja z osebnim avtom

$c\_{jp},t\_{jp}$ cena in trajanje potovanja z javnim prometom

Koeficiente uporabnostnih funkcij se določi z analizo podatkov zbranih z anketami izražene preference.

### Multimodalni logit model

V primeru, da je na izbiro več vrst prometnih sredstev, lahko izračunamo verjetnost uporabe posamezne vrste na naslednji način:

$P\_{i}=\frac{e^{u\_{i}}}{\sum\_{j=1}^{n}e^{u\_{j}}}$.

### Hierarhični logit model

V primeru, da je na izbiro več vrst sredstev, med katerimi so si nekatere vrste zelo podobne (npr. avtobus in tramvaj) lahko pride do napačnih izračunov. V takih primerih je bolje uporabiti hierarhične ali gnezdene modele.

Z uporabo hierarhičnih modelov se najprej izračuna delež potnikov, ki bo uporabil vrste sredstev, ki so si podobne (npr. javni promet), nato pa koliko izmed njih bo uporabilo posamezno vrsto v tej skupini (npr. avtobus ali tramvaj).

Obstajajo tudi metode, kjer se v fazi izbire načina potovanja določi delež javnega prometa, delež med avtobusom in vlakom pa se določi v fazi obremenjevanja.

V primeru, da je frekvenca odhodov avtobusov na najbolj obremenjeni liniji javnega potniškega prometa v konični uri manjša od tri, lahko fazo izračuna načina potovanj v celoti izpustimo.

##  Obremenjevanje mreže

V fazi obremenjevanja mreže se potovanja med posameznimi pari con iz izvorno-ciljnih matrik porazdeli po različnih alternativnih poteh med tem parom con. Matrike potovanj osebnih in tovornih vozil se porazdelimo po cestni mreži, matrike potovanj z javnim prometom pa po mreži javnega prometa.

Obstaja vrsta metod, ki se jih v grobem deli na:

* metode statičnega obremenjevanja in
* metode dinamičnega obremenjevanja.

### Statično obremenjevanje

Pri metodah statičnega obremenjevanja se predpostavi, da se ponudba in povpraševanje znotraj modeliranega obdobja (običajno ene ure) ne spreminja.

#### Deterministične metode

Pri determinističnih metodah se predpostavlja, da potniki točno poznajo potovalni čas po vseh poteh, ki jih imajo na izbiro.

##### Metoda »vse ali nič«

Metoda »vse ali nič« je najenostavnejša. Osnovno načelo je, da se vsa potovanja opravijo po najhitrejših poteh, pri čemer pa se ne upošteva, da se potovalni čas zaradi prometnih obremenitev poveča. Niti se ne upošteva tega, da je prekoračena prepustnost. Tako izračunane prometne obremenitve so torej v večini primerov nerealne; metoda izračuna previsoke obremenitve na cestnih odsekih, ki ležijo na poteh, ki so v primeru neoviranega prometnega toka najhitrejše, na ostalih odsekih pa prenizke.

Ta metoda se uporablja zgolj v primeru, da so prometne obremenitve zelo nizke v primerjavi s prepustnostjo omrežja.

Pomembna pa je zato, ker je na nek način vgrajena v ostale metode.

##### Inkrementalna metoda

Pri inkrementalni metodi se poskuša upoštevati podaljšanje potovalnega časa tako, da se povpraševanje razdeli na več delov, zaporedoma se obremenjuje mrežo s posameznimi deli povpraševanja in po vsakem obremenjevanju se izračunajo novi potovalni časi.

Ta metoda že bolje upošteva kapacitetne omejitve in prerazporeja vozila tudi na ostalo omrežje. Še vedno pa ima slabosti, saj so rezultati zelo odvisni od tega, na koliko deležev se razdeli povpraševanje. Običajno se s to metodo ne doseže ravnovesja med ponudbo in povpraševanjem.

##### Ravnovesna metoda

Ravnovesna metoda obremeni mrežo v skladu s t.i. prvim Wardropovim principom, ki pravi: »Če bi katerikoli posamezni uporabnik izbral drugo pot, bi bil na slabšem.«

Z uporabo te metode se doseže t.i. uporabniški optimum.

Za modeliranje PLDP se priporoča uporaba ravnovesnega obremenjevanja.

#### Stohastične metode

##### Stohastično obremenjevanje

Pri determinističnem obremenjevanju se predpostavlja, da vsi vozniki

* točno poznajo impedanco vseh poti
* enako vrednotijo vse sestavine impedance

Pri stohastičnem obremenjevanju se predpostavi, da dojemanje impedance variira v skladu z neko statistično distribucijo.

##### Stohastično ravnovesno obremenjevanje

Je najbolj napredno in najbolj realistično statično obremenjevanje.

Promet se razporedi tako, da vsak potnik **misli**, da si ne more več izboljšati generaliziranega stroška potovanja, (neodvisno od ostalih potnikov).

### Dinamično obremenjevanje

Pri dinamičnih metodah pa se bodisi povpraševanje bodisi ponudba ali oba spreminjata. Primer spreminjanja povpraševanja je praznjenje štadiona na koncu tekme. Povečane obremenitve se ne pojavijo takoj na celotnem omrežju, ampak se postopoma širijo v vedno večjo oddaljenost od štadiona, po drugi strani pa se zaradi razprševanja zmanjšujejo. Primeri spreminjanja ponudbe pa so spreminjanje parametrov krmiljenja svetlobno signalnih naprav (dolžine faz, število faz,…), spreminjanje števila voznih pasov itd.

Za modeliranje konic se priporoča uporaba stohastičnega ravnovesnega obremenjevanja, primeru, da se znotraj konice ponudba ali povpraševanje bistveno spreminja pa dinamično obremenjevanje.

## Način modeliranja gibanja vozil

### Makroskopski model

Ti modeli izračunavajo potovalne čase po cestnem omrežju na osnovi makroskopske odvisnosti hitrosti prometnega toka od gostote. Zamude v križiščih pa se izračunavajo analitično v odvisnosti od pretokov, geometrije in vodenja v križiščih. Pri teh modelih se torej ne obravnava posameznih vozil, ampak se modelira prometni tok.

### Mikroskopski simulacijski prometni model

#### Cestni promet

Pri mikroskopskih simulacijskih modelih cestnega prometa se podrobno modelira gibanje vsakega posameznega vozila. Običajno mikroskopski model vključuje naslednje modele:

* Model sprejema vrzeli (gap acceptance model)
* Model menjavanja pasov (lane changing model)
* Model sledenja vozil (car following model)

Z mikroskopskimi modeli se lahko podrobno analizira vplive različnega vodenja prometa (semaforji in ostala spremenljiva signalizacija, navigacijski sistemi itd.).

Ti modeli se največkrat uporabljajo za oceno cestnih omrežij v urbanem območju, ali kjer je veliko konfliktov, ki jih je z makroskopskimi modeli težko analizirati (območja priključkov, prepletanj, kompleksna križanja). Uporabljajo se tudi za modeliranje učinkov raznih ukrepov upravljanja prometa (ITS), kompleksne analize prometne varnosti itd.

#### Železniški promet

Z mikroskopskimi simulacijskimi modeli železniškega prometa se podrobno modelira gibanje vsakega posameznega vlaka. Za mikroskopske simulacije je treba pridobiti podrobne podatke o infrastrukturi ( tiri, kretnice, postaje, signali), voznih redih (prihod in odhod vsakega vlaka s postaje, minimalni čas postanka in povezava z ostalimi vlaki) in vozilih (tehnične karakteristike lokomotiv, vagonov in vlakovnih kompozicij). Med simulacijo vlaki vozijo po pred definiranih voznih redih, program pa preračunava njihovo gibanje z upoštevanjem omejitev infrastrukture in vozil.

Ti modeli se največkrat uporabljajo za oceno ustreznosti postajne infrastrukture in voznih redov.

Slabost mikroskopskih simulacijskih modelov je daljši čas potreben za izdelavo modela in simulacijo.

### Mezoskopski prometni model

Pri mezoskopskih simulacijah se še vedno modelira gibanje vsakega posameznega vozila, a bolj poenostavljeno. Primer take poenostavitve je bolj poenostavljen model sledenja vozil ali pa celo pristop, da se vsa vozila na nekem odseku gibljejo z enako hitrostjo, ki ustreza makroskopski odvisnosti med hitrostjo in pretokom.

Pogosto se pri takih simulacijah podatki o vozilih ne spreminjajo v fiksnih časovnih intervalih, ampak samo ob posebnih dogodkih.

S tem se doseže bistveno krajše čase potrebne za simulacijo.

### Hibridni model

Mikroskopske in mezoskopske simulacije se lahko kombinirajo v t.i. hibridno simulacijo. Območja, ki jih je treba modelirati podrobno, se označijo posebej. Ta posebej označena območja so simulirana mikroskopsko, ostala pa mezoskopsko.

Na ta način se lahko obdrži željena natančnost na območjih, ki so posebej zanimiva, istočasno pa se precej skrajša čas simulacije.

# Napoved

Napoved prometa se običajno izvede za več scenarijev bodočega povpraševanja in bodoče ponudbe.

Preverjanje več scenarijev bodočega povpraševanja je seveda posebej pomembno pri uporabi modelov spremenljivega povpraševanja. V tem primeru se kot vhodni podatek za izračun povečane generacije potovanj uporabi napovedi bodoče namenske rabe prostora (ki jo dobimo od urbanistov oz. prostorskih načrtovalcev), poleg tega pa se običajno preverja več scenarijev napovedi socialno-ekonomskih karakteristik populacije (rast dohodka, lastništva vozil, zaposlenosti).

V scenarijih različne prometne ponudbe pa se lahko poleg različnih infrastrukturnih ukrepov kombinira tudi različne ponudbe storitev javnega potniškega prometa in variante ukrepov prometne politike.

Za potrebe analize ekonomske učinkovitosti mora biti obvezno en scenarij, ki ne predvideva nobenih ukrepov (t.i. primerjalno omrežje).

Pri poenostavljenih metodah se običajno izvede napoved zgolj za en scenarij prometnega povpraševanja.

# Literatura

* European Commission. (2019). Handbook on External Costs of Transport.
* M, T. A. G. U. (2018). Tag unit m5.3. May.
* SMERNICA ZA IZDELAVO OCENE UČINKA NA VARNOST V PROMETU ( RSIA ). (2012).
* VISUM Manual
* VISSIM Manual
* OPCOST metodologija
* Transport modelling
* TSC 06.511 : 2009 PROMETNE OBREMENITVE DOLOČITEV IN RAZVRSTITEV
* Pravilnik o projektiranju cest