

Univerza  
v Ljubljani

Fakulteta  
za gradbeništvo  
in geodezijo



Jamova cesta 2  
1000 Ljubljana, Slovenija  
<http://www3.fgg.uni-lj.si/>

**DRUGG** – Digitalni repozitorij UL FGG  
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

To je izvirna različica zaključnega dela.

Prosimo, da se pri navajanju sklicujete na bibliografske podatke, kot je navedeno:

Bahor, K., 2014. Integrirano modeliranje rabe tal in prometa. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Žura, M.): 91 str.

Datum arhiviranja: 06-01-2015

University  
of Ljubljana

Faculty of  
Civil and Geodetic  
Engineering



Jamova cesta 2  
SI – 1000 Ljubljana, Slovenia  
<http://www3.fgg.uni-lj.si/en/>

**DRUGG** – The Digital Repository  
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

This is original version of final thesis.

When citing, please refer to the publisher's bibliographic information as follows:

Bahor, K., 2014. Integrirano modeliranje rabe tal in prometa. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljani, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Žura, M.): 91 pp.

Archiving Date: 06-01-2015

Univerza  
v Ljubljani

Fakulteta za  
*gradbeništvo in  
geodezijo*



Jamova 2  
1000 Ljubljana, Slovenija  
telefon (01) 47 68 500  
faks (01) 42 50 681  
fgg@fgg.uni-lj.si

UNIVERZITETNI ŠTUDIJSKI  
PROGRAM GRADBENIŠTVO  
KOMUNALNA SMER

Kandidatka:

**KAJA BAHOR**

**INTEGRIRANO MODELIRANJE RABE TAL IN  
PROMETA**

Diplomska naloga št.: 3413/KMS

**INTEGRATED LAND USE AND TRANSPORT  
MODELLING**

Graduation thesis No.: 3413/KMS

**Mentor:**

izr. prof. dr. Marijan Žura

**Predsednik komisije:**

izr. prof. dr. Janko Logar

**Član komisije:**

doc. dr. Peter Lipar

Ljubljana, 18. 12. 2014

## **STRAN ZA POPRAVKE, ERRATA**

<b>Stran z napako</b>	<b>Vrstica z napako</b>	<b>Namesto</b>	<b>Naj bo</b>
-----------------------	-------------------------	----------------	---------------

**IZJAVE**

Podpisana Kaja Bahor izjavljam, da sem avtorica diplomske naloge z naslovom »Integrirano modeliranje rabe tal in prometa«.

Izjavljam, da je elektronska različica v vsem enaka tiskani različici.

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v digitalnem repozitoriju.

Ljubljana, 12. 12. 2014

Kaja Bahor

## **BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK**

**UDK:** 656.02:711.4(497.4)(043.2)  
**Avtor:** Kaja Bahor  
**Mentor:** izr. prof. dr. Marijan Žura  
**Naslov:** Integrirano modeliranje rabe tal in prometa  
**Tip dokumenta:** diplomska naloga – univerzitetni študij  
**Obseg in oprema:** 91 str., 39 sl., 12 pregl.  
**Ključne besede:** Raba tal, promet, integrirano načrtovanje, LUTI modeli, UrbanSim, trajnostni razvoj, simuliranje bodoče rabe tal in prometa, aktivnosti prebivalstva, potovanja

### **IZVLEČEK**

V diplomski nalogi je obravnavano modeliranje rabe tal in prometa z upoštevanjem njune medsebojne interakcije. Najprej je predstavljen razvoj modeliranja urbanih sistemov ter ločeno načrtovanje rabe tal in prometa. Razloženi so vidiki trajnostnega razvoja, na katerem temeljijo sodobne razvojne težnje. V nadaljevanju je podrobneje opisano integrirano modeliranje rabe tal in prometa; od vzrokov za razvoj ter teoretičnih in empiričnih osnov, do LUTI modelov, ki se uporabljajo za načrtovanje ter preverjanje strategij za razvoj rabe tal in prometa. Opisana je evolucija LUTI modelov, ki pelje vse do implementacije v računalniških programih. V nadaljevanju je tako opisano računalniško modeliranje rabe tal in prometa s pregledom najbolj uporabljenih programov.

Izmed slednjih je bil za nadaljnje delo izbran UrbanSim, ki je odprtokoden simulacijski sistem za podporo načrtovanju in analiziranju urbanega razvoja. Podane so podlage za njegov razvoj ter glavne značilnosti. Opisano je modeliranje in izvajanje simulacij s tem pripomočkom, kjer je opravljen pregled vhodnih podatkov, modelov, scenarijev in rezultatov.

Na koncu je predstavljen konkreten primer simulacije s sistemom UrbanSim, na primeru San Antonia, kjer so tudi podrobneje opisani vhodni podatki, potek simulacije in rezultati.

**BIBLIOGRPAHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND SUMMARY**

**UDK:** 656.02:711.4(497.4)(043.2)  
**Author:** Kaja Bahor  
**Supervisor:** Assoc. Prof. Marijan Žura, Ph. D.  
**Title:** Integrated Land Use and Transport Modelling  
**Document type:** Graduation thesis – University studies  
**Scope and tools:** 91 p., 39 fig., 12 tab.  
**Key words:** Land Use, transport, integrated modelling, LUTI models, UrbanSim, sustainable development, future land use and transport simulation, population activities, travel

**ABSTRACT**

The thesis is about modeling of land use and transport with the observance on their interaction. First, it presents the development of urban systems modeling and a separate planning of land use and transport. The aspects of sustainable development are explained, which are the base of modern development trends. The thesis further describes integrated land use and transport modelling in more detail; from the causes for its development, theory and empirical studies of land use transport interaction to LUTI models used to design and valuation of policies for the development of land use and transport. The thesis describes the LUTI models evolution, which leads to the implementation in computer programs. Further I described computer modeling of land use and transport, with review of the mostly used programs. Among them I selected UrbanSim, which is an open source simulation system for support of the design and analysis of urban development. In the following, the basis for its development and main features are represented. Modelling and running simulation are described, where the input data, models, scenarios and results are reviewed.

Thesis concludes with a simulation example on San Antonio project, where the input data, simulation run and results are described in more detail.

## **ZAHVALA**

Zahvaljujem se izr. prof. Marijanu Žuri, ki je sprejel mentorstvo in mi dal priložnost za raziskovanje nove in zanimive teme ter za vso pomoč pri pisanju diplomske naloge.

Hvala moji družini, ki me vedno razumevajoče podpira ter mi je tudi omogočila šolanje. Še posebej hvala najboljši sestri, zaupnici, lektorici in pomočnici, Evi. Hvala tudi Mateju, ki kljub vsemu v zadnjih mesecih ni obupal nad mano in za vso podporo, mirne živce ter razumevanje.

Hvala tistim najboljšim sošolkam, sošolcem, prijateljicam in prijateljem, ki so mi bili vedno pripravljeni priskočiti na pomoč ali me samo poslušati.

Hvala vsem, ki so me kdaj zlomili, za pomembne poduke, in vsem, ki so se mi potem spet pomagali postaviti na noge.

## KAZALO VSEBINE

1	UVOD.....	1
1.1	Namen in cilj diplomske naloge.....	1
2	NAČRTOVANJE RABE TAL IN NAČRTOVANJE PROMETNIC.....	2
2.1	Trajnostni razvoj.....	3
2.2	Razvoj modeliranja urbanih sistemov.....	4
2.2.1	Procesi urbanih sprememb.....	5
2.2.2	Modeli rabe tal in upoštevanje transporta.....	6
2.2.3	Modeli z upoštevanjem večjega števila faktorjev.....	7
3	INTEGRIRANO MODELIRANJE.....	9
3.1	Vzroki za razvoj integriranega načrtovanja rabe tal in prostora.....	10
3.2	Teoretične osnove integriranega modeliranja (povzeto po [14]).....	10
3.2.1	Tehnične teorije: urbani sistemi mobilnosti.....	11
3.2.2	Ekonomске teorije: mesta kot trgi.....	13
3.2.3	Socialne teorije: družba in urbani prostor.....	14
3.2.4	Ugotovitve teoretičnih študij rabe tal in transporta.....	14
3.2.5	Idealni sistemi rabe tal in transporta.....	17
3.3	Empirične osnove integriranega modeliranja (povzeto po [14]).....	18
3.3.1	Vplivi rabe tal na transport.....	18
3.3.2	Vplivi prometa na rabo tal.....	21
3.3.3	Ugotovitve empiričnih študij rabe tal in transporta.....	22
3.4	Raziskovanje strategij rabe tal in načrtovanja transporta v integriranih modelih.....	25
3.5	LUTI modeli.....	28
3.5.1	Predstavitev urbanega sistema oziroma mesta v LUTI modelih.....	30
3.6	Evolucija LUTI modelov.....	32
3.6.1	Kategorije modeliranja rabe tal.....	34
3.6.2	Pristopi k integriranemu modeliranju.....	35
3.6.3	Idealni LUTI modeli (prirejeno po [9]).....	39
3.7	Računalniško modeliranje rabe tal in prometa.....	40
3.7.1	Razvoj programov.....	40
3.7.2	Pregled najbolj uporabljenih programov.....	42
4	URBANSIM.....	44
4.1	Namen in naloge.....	44



4.2	Glavne značilnosti sistema UrbanSim .....	45
4.2.1	Oblika programa.....	47
4.2.2	Geografske enote za analizo v modelih .....	48
4.3	Teoretična podlaga za UrbanSim.....	48
4.4	Programsko ozadje sistema UrbanSim .....	49
4.5	Struktura in delovanje sistema UrbanSim .....	50
4.5.1	Struktura procesov in obravnava modelov.....	51
4.6	Modeliranje in izvajanje simulacij v UrbanSim .....	53
4.6.1	Predpostavke scenarija .....	53
4.6.2	Vhodni podatki.....	54
4.6.3	Modeli za simulacijo.....	57
4.6.4	Rezultati .....	59
4.7	Obravnava transporta s sistemom UrbanSim.....	60
4.7.1	MATSim .....	60
4.7.2	MATSim4UrbanSim .....	64
4.8	Dosedanja praktična uporaba sistema UrbanSim .....	65
4.8.1	SustainCity.....	65
5	SIMULACIJA S SISTEMOM URBANSIM NA PRIMERU SAN ANTONIO ZONE .....	67
5.1	Zagon programa in odpiranje projekta.....	68
5.2	Vhodni podatki .....	70
5.3	Zagon in potek simulacije.....	76
5.4	Rezultati.....	77
5.4.1	Celotna populacija cone.....	79
5.4.2	Skupno število lastništev avtomobilov.....	81
5.4.3	Skupni prihodek .....	83
5.4.4	Čas potovanja iz cone do središča centralnih dejavnosti.....	84
5.4.5	Povzetek rezultatov.....	85
6	ZAKLJUČEK .....	86

## KAZALO SLIK

Slika 2: Podsystemi urbanih sistemov v medsebojni povezavi in glede na hitrost, s katero se spreminjajo (vir: [8]) .....	6
Slika 3: Različni pristopi k opazovanju interakcije med rabo tal in transportom – levo tradicionalni pristop in desno trenutne smernice (prirejeno po: [9]) .....	7
Slika 4: Povezava med urbani trgi (prirejeno po: [10]) .....	8
Slika 5: Land-use transport feedback cycle (vir: [7]) .....	12
Slika 6: Grafična ponazoritev teorije ponujene rente (vir:Wikipedija, <a href="http://en.wikipedia.org/wiki/Bid_rent_theory">http://en.wikipedia.org/wiki/Bid_rent_theory</a> 2.11.2014) .....	14
Slika 7: Osnovna interakcija rabe tal in transporta, ki je v jedru LUTI modelov (vir: [11]) .....	29
Slika 8: Sredstva, izbire in interakcije, ki sestavljajo urbani sistem (vir: [10]) .....	32
Slika 9: Evolucija modelov rabe tal in transporta (vir: [9]) .....	33
Slika 10: Detajli pri dvo-dimenzionalnem pristopu modeliranja (prirejeno po [16]) .....	36
Slika 11: Detajli pri tri-dimenzionalnem pristopu modeliranja (prirejeno po [16]) .....	36
Slika 12: Razvoj modelov za načrtovanje rabe prostora z ustrežajočimi programi (vir: [9]) .....	41
Slika 13: Povezovanje različnih virov načrtovanja v UrbanSim (vir: <a href="http://www.synthicity.com/urbansim/">http://www.synthicity.com/urbansim/</a> 19.8.2014) .....	46
Slika 14: Obravnava podatkov za različne geografske enote v UrbanSim (prirejeno po [19]) .....	48
Slika 15: OPUS logotip (vir: <a href="http://www.urbansim.org">http://www.urbansim.org</a> 5.11.2014) .....	50
Slika 16: Struktura in zaporedje procesov v UrbanSim (vir:[13]) .....	52
Slika 17: Zaporedje glavnih modelov v UrbanSim (vir:[8]) .....	53
Slika 18: Povezava med podatki primarne baze na ravni parcel in con (prirejeno po [8]) .....	56
Slika 19: Proces integracije podatkov v UrbanSim (vir: [10]) .....	57
Slika 20: Pregled sistema modelov v UrbanSim (vir: [19]) .....	59
Slika 21: Stopnje simulacije v MATSim: (vir [22]) .....	62
Slika 22: Povečevanje povprečne ocene potovalnih načrtov med iteracijami (vir: [22]) .....	63
Slika 23: Koraki interakcije med UrbanSim in MATSim (vir [23]) .....	65
Slika 24: Proces modeliranja z UrbanSimE (vir:[24]) .....	67
Slika 25: Prikaz območja Bexar v okviru zvezne države Teksas in glede na mesto San Antonio (vir: <a href="http://therivardreport.com/clean-air-clean-technology-take-hold-in-south-texas/">http://therivardreport.com/clean-air-clean-technology-take-hold-in-south-texas/</a> (Pridobljeno 15. 11. 2014)) .....	68
Slika 26: Osnovno okno Opus GUI (vir: lasten vir) .....	69
Slika 27: Izbira projekta za simulacijo (vir: lasten vir) .....	69
Slika 28: Vsebina zavirkov General, Data, Models, Scenarios, Results za projekt san_antonio_zone (vir: lasten vir) .....	70
Slika 29: Baza podatkov za začetno leto (vir: lasten vir) .....	71
Slika 30: Baza podatkov za začetno leto (vir: lasten vir) .....	72
Slika 31: Prikaz poteka simulacije s spremljanjem napredka v deležu (vir: lasten vir) .....	77
Slika 32: Brskalnik rezultatov v UrbanSim (vir: lasten vir) .....	78
Slika 33: Število prebivalcev po conah za leto 2005 (vir: lasten vir) .....	80
Slika 34: Število prebivalcev po conah za leto 2019 (vir: lasten vir) .....	80
Slika 35: Število avtomobilov po conah za leto 2005 (vir: lasten vir) .....	82
Slika 36: Število avtomobilov po conah za leto 2019 (vir: lasten vir) .....	82
Slika 37: Skupni prihodek po conah za leto 2005 (vir: lasten vir) .....	83
Slika 38: Skupni prihodek po conah za leto 2019 (vir: lasten vir) .....	84
Slika 39: Čas potovanja iz con do CBD za leto 2005 (vir: lasten vir) .....	85

## KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Razvoj tehnologije v transportu od hoje do avtomobila (prirejeno po: [2]).....	2
Preglednica 2: Štiri tipi urbanih prostorsko interakcijskih lokacijskih modelov po Wilsonu (prirejeno po [14]).....	13
Preglednica 3: Teoretično pričakovani vplivi rabe tal (prirejeno po [14]).....	15
Preglednica 4: Teoretično pričakovani vplivi transporta (prirejeno po [14]).....	16
Preglednica 5: Empirično pričakovani vplivi rabe tal (prirejeno po [14]) .....	23
Preglednica 6: Empirično pričakovani vplivi transporta (prirejeno po [14]) .....	24
Preglednica 7: Vplivi strategij rabe tal v modelnih študijah (prirejeno po [14]).....	26
Preglednica 8: Vplivi transportnih strategij v modelnih študijah (prirejeno po [14]) .....	27
Preglednica 9: Primarna baza podatkov za mikrosimulacijo v UrbanSim (prirejeno po [16]) .....	55
Preglednica 10: UrbanSim modeli, ki uporabljajo rezultate potovalnega modela (prirejeno po: [23])	64
Preglednica 11: Opisi tabel z vhodnimi podatki (vir: lasten vir).....	73
Preglednica 12: Izbrane spremenljivke za prikaz rezultatov (vir: lasten vir).....	79

## SLOVAR OKRAJŠAV IN MANJ ZNANIH BESED TER TUJK

CBD	Central Business District: poslovno središče mesta, kjer se nahajajo tudi pomembne dejavnosti in objekti (banke, hoteli...).
Control Totals	Končne ali mejne ali kontrolne vsote, ki jih predpostavimo v UrbanSim (npr. število prebivalcev, število objektov...).
CORDIS	Comunity Research and Development Information Service: primarni javni repozitorij in portal Evropske komisije za širjenje informacij o vseh evropsko podprtih raziskovalnih projektih in njihovih rezultatih v najširšem smislu.
GUI	Graphical User Interface: grafični uporabniški vmesnik.
HOT	High Occupancy Toll: je cestna shema cen, ki daje voznikom, ki potujejo v vozilih sami, dostop do pasov namenjenih za HOV.
HOV	High Occupancy Veichle (lane): vozni pas za vozilo z najmanj dvema potnikoma.
LUTI	Land Use Transport Interaction: interakcija med rabo tal in prometom.
OPUS	Open Platform for Urban Simulation: odprta platforma za simulacije v urbanem prostoru.
SIA	Spatial Interaction model: model prostorske interakcije.
XML	Extensible Markup Language: razširljiv računalniški jezik; preprost računalniški jezik.

## 1 UVOD

Območja, kjer si je človek ustvaril bivališča so bila že od nekdaj izbrana premišljeno in glede na attribute, ki jih je določena lokacija ponujala. Katere naselbine pa so se obdržale in kasneje tudi razvile v mesta in nadalje nekatere še v metropole, pa je bilo odvisno predvsem od njihove »aktualnosti«, ki je bila največkrat povezana z bližino transportnih poti. Tako so se večja mesta začela razvijati glede na prometnice, kar je mnogokrat pogojevalo tudi njihovo obliko in strukturo rabe tal. Središče trgovskega življenja ter obrti in kasneje industrije se je oblikovalo blizu pomembnih prometnih žil, medtem ko so bila območja za kmetijstvo in obdelovalna zemljišča umaknjena na obrobje.

V zadnjem stoletju je bil razvoj transportnih tehnologij skupaj s transportnimi omrežji eden najbolj pomembnih dejavnikov, ki so vplivali na obliko in velikost mesta. Avtomobili so, skupaj z njihovo fleksibilnostjo ter udobjem, razširili velikost urbanih področij, saj je postalo opravljanje dolgih poti lažje kot kadarkoli, to pa se odraža tudi v decentralizaciji zaposlitve in razraščanju mesta. V odziv na to so prebivalci mest, javne interesne skupine ter državne in lokalne oblasti pričeli z razvijanjem rešitev »pametne rasti«. To pomeni, da naj bi se rast nadaljevala v obstoječih območjih z mešano rabo ter možnostjo javnega prevoza, hkrati pa je pomembno ohranjanje kmetijskih zemljišč in odprtega prostora. Za doseganje rešitev pametne rasti je pomembno povezovanje načrtovanja transporta in rabe tal (prirejeno po: [1]).

Prostorski razvoj ali razvoj rabe tal pogojuje potrebo za prostorsko interakcijo ali transport, vendar tudi transport, glede na dostopnost, ki jo omogoča, pogojuje prostorski razvoj. Težko pa je empirično izolirati vplive rabe tal na transport in obratno, zaradi vpliva sprememb mnogih drugih faktorjev. Tako transportni projekti, kot nove strategije v rabi tal zahtevajo dolgoročno planiranje in ocene vplivov na zastoje, potovanja, rabo tal, okolje... Vse skupaj pa je naravnano k doseganju trajnostnih urbanih sistemov.

Mesta se torej v praksi skozi čas razvijajo v kompleksnih in pogosto nepričakovanih smereh, ki včasih presenetijo celo izkušene planerje. Če zgradimo nakupovalni center na eni strani, se lahko prometni zamašek pojavi kje popolnoma na drugem koncu mesta. Simulatorji za razvoj mest so zato postali osnovno orodje za planiranje, ker predstavljajo najbolj učinkovit način za predvidevanje verjetnih učinkov drugačnih strategij in novih investicij.

### 1.1 Namen in cilj diplomske naloge

Namen diplomske naloge je predstaviti pomembnost integriranega modeliranja rabe tal in transporta, zgodovino integriranega planiranja, teoretične osnove za razvoj modelov in prikazati široko uporabo takega pristopa. Kot primer bo opisan sistem UrbanSim, s katerim bo izvedena tudi konkretna simulacija. Ta simulacijski pripomoček sem izbrala, ker je dostopen na spletu, odprtokoden in obsega obravnavo rabe tal ter prometa in upošteva veliko število dejavnikov, ki vplivajo na to interakcijo.

Cilj naloge je prikazati modernejše pristope k načrtovanju transportnih poti za večje urbane sisteme z ozirom na interakcijo z rabo tal ter z upoštevanjem velikega števila ostalih dejavnikov, ki jih s tradicionalnimi pristopi ni moč zajeti.

## 2 NAČRTOVANJE RABE TAL IN NAČRTOVANJE PROMETNIC

Razporeditev rabe tal ni bila naključna ne v preteklosti, kot tudi ni dandanes. Včasih so razporeditev oblikovale predvsem naravne danosti in geografski pogoji, v novejših časih, ko ima človek že vrsto sredstev, da lahko prevlada nad pogoji narave, pa je raba tal pogojena tudi z nekaterimi regulativami, zakoni ter drugimi predpisi. Kot sama raba tal pa v njenem okviru niso naključne niti oblike urbanih območij, ki zavisijo od vrste dejavnikov. Ravno tako ni naključna vrsta in pozicija transportnih poti. Več prometa se vsekakor odvija v bližini in v sami notranjosti večjih mest, kot pa na podeželju, zato je potreba po načrtovanju prometa večja urbanih območjih.

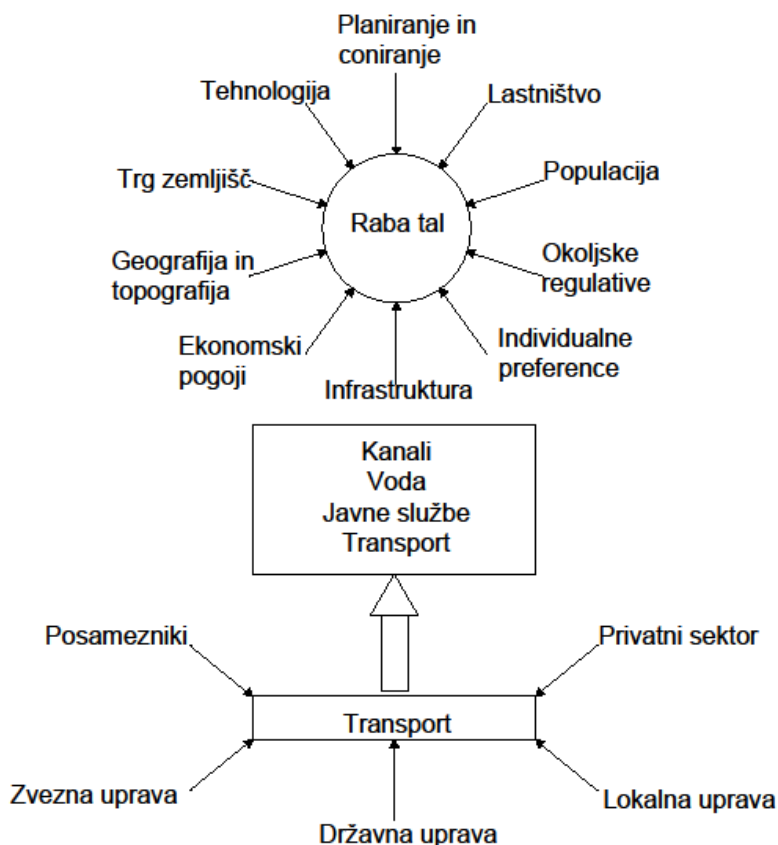
Skoz čas so se tako spreminjale intenzitete vplivov različnih dejavnikov tako na načrtovanje rabe tal, kot na načrtovanje prometnic in transporta. Medtem, ko pri rabi tal lahko opazimo predvsem spremembe glede predpisov, so v transportu večinoma vidne spremembe v tehnologiji. V spodnji preglednici je okvirno prikazano, kako se je z razvojem spreminjal potovalni čas.

Preglednica 1: Razvoj tehnologije v transportu od hoje do avtomobila (prirejeno po: [2])

Tehnologija	Leto predstavitve	Čas porabljen za en kilometer (v minutah)
Hoja	p.n.š?	10-12
Konjska vprega	1835	8
Tramvaj	1875	5
Električni tramvaj	1890	4
Hitra železnica	1910	3
Motorni avtobusi	1915	2
Avtomobil	1920	1 in manj

Dandanes poleg razvoja na transportne sisteme vpliva še veliko javnih in zasebnih faktorjev. Državni transportni projekti so na primer običajno planirani z namenom izboljšanja varnosti, krajšanja potovalnih časov z znižanjem zasedenosti ter doseganja drugih ciljev, ki so povezani z mobilnostjo. To pa lahko vodi do velikih sprememb v vzorcih rabe tal. Najbolj viden vpliv transporta na rabo tal se pokaže, ko je do določene lokacije omogočen dostop. Izboljšana dostopnost do določenih zemljišč poveča njihov potencial za razvoj in večji razvoj generira tudi dodatna potovanja. Ko je enkrat omogočen dostop, se vzorci rabe tal začnejo spreminjati skozi časovna obdobja. Rezultati teh sprememb so v večini primerov nereverzibilni (prirejeno po: [3]).

Vendar pa na rabo tal vpliva tudi mnogo drugih faktorjev. Ti vključujejo celotno populacijo in ekonomsko rast, individualne preference in izbire glede na življenjski stil, drugo infrastrukturo, spreminjajočo se tehnologijo, lokalno planiranje ter geografske in topografske pogoje ter razmere. Vsekakor pa je transport eden izmed vplivnejših faktorjev, ki pa je tudi sam reguliran z določenimi drugimi faktorji.



Slika 1: Shema prikaza faktorjev v procesu razvoja rabe tal (prirejeno po: [3])

V modernih družbah sta raba tal in transport organizirana in oblikovana glede na potrebe družbe. Družba namreč lahko odloči, kje locirati katere aktivnosti, kako organizirati potovanja in transport, katero infrastrukturo graditi ter kateri plani bodo sprejeti. V zadnjem času nastaja vse več vprašanj glede rabe tal z vidika razraščanja mest in s tem širjenja urbane strukture na račun proste zemlje, ki ima pomemben pomen v celotni sliki strukture rabe tal. Veliko različnih skupin ima pomisleke glede vloge transporta pri boju s problemi, povezanimi z razraščanjem mest, primestne zasičenosti in neuskkljenosti služb ter bivališč. Kot vzrok za razraščanje lahko najdemo več faktorjev, vključno s selitvijo delovnih mest na obrobja, nižjimi stroški transporta v primerjavi z nižjimi stroški stanovanj, željo mnogih ljudi, da bi živeli v odmaknjenih območjih, stran od problemov mesta ter željo po več prostora ipd.

Z novejšimi prioriteta, ki torej ciljajo predvsem na popraviljanje napak iz preteklosti in vračanjem k naravi ter iskanjem udobnejšega in hkrati tudi bolj zdravega načina življenja, se spreminja tudi načrtovanje mest in infrastrukture. Mesta se tako srečujejo z izzivom, kako doseči trajnostni razvoj, kar pomeni, da ohranjajo ekonomsko rast, medtem ko upoštevajo tudi okoljske in socialne vidike globaliziranega sveta z namenom izboljšanja kvalitete življenja v urbanih skupnostih.

## 2.1 Trajnostni razvoj

V sodobnih principih urbanističnega načrtovanja prihaja v ospredje trajnostni razvoj naselij. Pojem je rezultat različnih publikacij z mednarodnih konferenc. Vse se ukvarjajo s civilizacijskimi paradigmi razvoja, ki poudarjajo na eni strani interese kapitala in politike h gospodarskemu razvoju in na drugi strani ekološko ravnovesje planeta. Razlage trajnostnega razvoja so številne in opredeljujejo pojem kot

razvoj človeške družbe, ki popolnoma upošteva okoljske posledice gospodarskih ukrepov in dolgoročno ohranja naravne vire [4].

Vrednotenje trajnostnega razvoja na lokalni in regionalni ravni je mogoče s pomočjo t.i. kazalcev oziroma indikatorjev trajnostnega razvoja. Pri tem gre za merjenje stanja v katerem je okolje - razmere in odzive okolja na obremenitve. Z indikatorji lahko poizkusimo oceniti ali usmeriti razvoj k trajnosti. Upoštevati je treba celovit pristop do ohranjanja in varovanja okolja [4].

Obstajajo principi trajnostnega urbanizma, s pomočjo katerih gradimo trajnostna mesta. Ti so med drugim: oblikovanje prehodnih stanovanjskih sosesk (pešpoti), vzpodbujanje sodelovanja skupnosti, ohranjanje značilnih, privlačnih krajev, ustvarjanje predvidljivih razvojnih odločitev, ki so jasne in finančno učinkovite, mešana raba površin, ohranjanje odprtih prostorov, kmetijskih zemljišč, naravnih lepot in kritičnih okoljskih površin, zagotavljanje raznolikih možnosti transporta, omogočanje prednosti kompaktne gradnje, omogočanje dostopa do narave...

Ukrepi, ki pripomorejo k trajnostnemu razvoju so: celostno načrtovanje upravljanja z okoljem, preprečevanje obremenjevanja okolja, ustvarjanje pogojev za kakovostno in zdravo življenje, spodbujanje mešane rabe urbanega prostora, boljša organizacija prevoza... Za doseganje trajnostnega razvoja mest sta torej nujna dobra analiza rabe tal in transporta ter predvsem povezovanje teh dveh atributov.

## 2.2 Razvoj modeliranja urbanih sistemov

Urbano območje je po definiciji območje mesta ali mestnega naselja z bližnjo urbanizirano okolico, ki se od bolj oddaljenega zaledja razlikuje predvsem po večji gostoti prebivalcev, sklenjeni pozidavi in majhnem deležu kmečkenga prebivalstva [5]. Model pa naj bi bil poenostavljena slika realnosti. Pri modeliranju urbanih sistemov torej poskušamo vključiti vse značilnosti in dejavnike urbanega območja in določiti njihove povezave, medsebojne vplive in narediti s tem uporabno orodje za razlago določenih pojavov in napovedovanje prihodnjih stanj.

Pred pojavom modelov so se uporabljale neformalne metode napovedovanja rabe tal. Uporabljale so se neformalne sodbe in vhodni podatki lokalnih planerjev. Pri tem so se pojavljali predvsem naslednji problemi: proces je ročen (zelo malo avtomatizacije ali sploh nič, procesi niso ponovljivi), procesi zahtevajo veliko časa, niso dobro dokumentirani, zelo težko je vključiti teoretične ali empirične raziskave, metode so občutljive na politične pritiske lokalnih oblasti in interesnih skupin, ne morejo podpirati analize alternativ. Poleg vseh teh razlogov je bila glavna motivacija za uporabo modelnega načrtovanja tudi to, da transportni projekti zahtevajo dolgoročno planiranje, prav tako pa so se pojavljale zahteve po ocenah vplivov izboljšav v transportu na zastoje, potovanja in rabo tal ter povezovanju rabe tal, transportnega planiranja in načrtovanja kakovosti zraka. Vse več pa se je vršilo tudi političnih lokalnih in državnih pritiskov za trajnostno in »pametno« rast ter rast gospodarstva.

Modeliranje urbanih sistemov in razvoja je zahtevno zaradi števila dejavnikov, ki so v interakciji v urbanem kontekstu in zaradi množice različnih pojavov, ki jih je treba obravnavati. To vključuje rast prebivalstva, obliko gospodinjstev, selitve gospodinjstev, izbire lokacij gospodinjstev, razvoj nepremičnin, lokacije podjetij, regulacije rabe tal, subvencije rabe tal, kot tudi potnike in tovorni promet (prirejeno po [6]).

V modelu lahko mesto poenostavljeno prikažemo kot množico agentov, ki so v medsebojni interakciji na določenem območju. Nekateri agenti, kot so gospodinjstva ter podjetja, potrebujejo svojo lokacijo in zato ustvarjajo potrebo po zemlji ali stavbah. Drugi agenti, kot so lastniki zemlje ali načrtovalci, pa



proizvajajo stavbe in stanovanja, ki so potem ponujena gospodinjstvom in podjetjem. Tretji tip agentov pa je vlada, ki regulira trg nepremičnin (prirejeno po [6]).

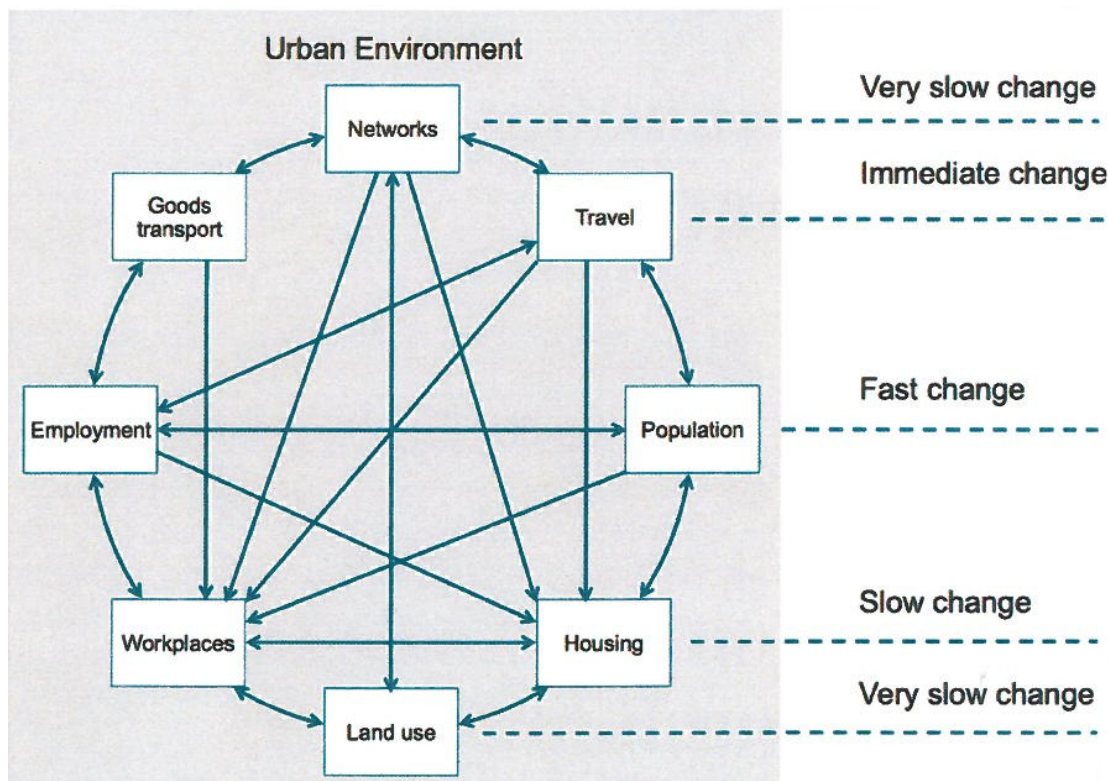
Z vidika transportnega sistema je lokacija gospodinjstev in podjetij tista, ki ustvarja potovanja in njihove posledice (zastoji, onesnaženje zraka, hrup...). Seveda je izbira lokacije podjetij in gospodinjstev odvisna tudi od stanja transportnega sistema in pripadajočih vplivov (prirejeno po [6]).

### 2.2.1 Procesi urbanih sprememb

Za razvoj operativnih urbanih modelov moramo identificirati procese sprememb, ki so modelirani. Poznanih je osem glavnih tipov urbanih podsistemov: omrežja, raba tal, delovna mesta, bivališča, zaposlitve, prebivalstvo, transport dobrin in potovanja. Razvrščeni so glede na hitrost, s katero se spreminjajo – od počasnih do hitrih procesov (prirejeno po [7]):

- Zelo počasne spremembe: omrežja, raba tal.  
Transportna, komunikacijska in javna omrežja so najbolj stalni elementi fizične strukture mesta. Veliki infrastrukturni objekti se gradijo dolgo časa in so potem redko opuščeni. Razporeditev rabe tal je prav tako večinoma stabilna ter se spreminja samo postopno.
- Počasne spremembe: delovna mesta, bivališča.  
Življenjska doba stavb je do sto let in od načrtovanja do dokončanja stavbe običajno mine precej let. Ne-stanovanjske stavbe, kot so tovarne, pisarne, gledališča, univerze ipd., obstajajo mnogo dlje časa, kot podjetja ali institucije, ki so nastanjene v njih. Prav tako bivališča (stanovanja, hiše) obstajajo več časa, kot je v njih nastanjeno določeno gospodinjstvo.
- Hitre spremembe: zaposlitve, prebivalstvo.  
Podjetja se ustanovljajo, propadajo, zapirajo, razširjajo ali selijo. Vse to ustvarja nova delovna mesta ali višek delavcev, kar vpliva na zaposlitveno strukturo prebivalstva. Prav tako se ustvarjajo gospodinjstva, rastejo, se zmanjšujejo, razpadajo in v vsaki stopnji svojega življenjskega cikla prilagajajo svojo lokacijo in motorizacijo svojim trenutnim potrebam. V določenem obdobju je pomembna bližina šole, spet v drugem bližina delovnega mesta, skozi življenjski cikel se pojavlja potreba po več avtomobilih, spreminja se uporaba prevoznih sredstev itd. Vse to torej vpliva na distribucijo populacije ter lastništvo avtomobilov.
- Takojšnje spremembe: transport dobrin, potovanja.  
Lokacije človekovih aktivnosti v prostoru dajejo povečano potrebo za prostorsko interakcijo v obliki transporta dobrin in potovanj. Te interakcije so najbolj fleksibilen fenomen prostorskega urbanega razvoja, saj se lahko prilagodijo v nekaj minutah ali urah, kot odziv na spremembe v zastojih ali na nihanje v povpraševanju, čeprav v resničnem življenju te prilagoditve lahko zavirajo navade, obveznosti itd.

Obstaja tudi deveti podsistem, urbano okolje. Njegovo časovno obnašanje je bolj kompleksno. Direktni vplivi človeških aktivnosti, kot so hrup zaradi transporta ter onesnaženje zraka so takojšnji. Drugi vplivi, kot so onesnaženje vode ali tal oziroma prsti in se nalagajo postopoma v daljšem časovnem obdobju in še drugi kot so dolgoročne klimatske spremembe, pa so tako počasni, da jih je težko opazovati. Vseh ostalih osem podsistemov vpliva na okolje s porabo energije in prostora, onesnaženjem zraka ter emisijami hrupa, medtem ko je kakovost okolja vpliva le na lokacijske odločitve investitorjev, gospodinjstev, podjetij ter delavcev. Vseh devet podsistemov deloma regulira trg, deloma pa so regulative določene z različnimi strategijami.



Slika 1: Podsystemi urbanih sistemov v medsebojni povezavi in glede na hitrost, s katero se spreminjajo (vir: [8])

### 2.2.2 Modeli rabe tal in upoštevanje transporta

Izhodišče za modeliranje urbanih sistemov so modeli rabe tal, ki uporabljajo ekonomske teorije in poenostavljene statistične metode za razlago in napovedovanje razporeditve urbane rabe tal. Model rabe tal je kvantitativna metoda za predvidevanje prihodnjih sprememb v rabi tal, ki temelji na ekonomskih teorijah in teoriji obnašanja ljudi. Namen modeliranja rabe tal je olajšanje modeliranja transporta; modeli rabe tal predvidevajo bodoče spremembe v rabi tal ter vključujejo te spremembe v modele za napovedovanje transportnih potreb. Hkrati ti modeli vključujejo analizo strategij, saj pomagajo določiti gospodarske in okoljske vplive na strategije rabe tal in transporta. Skušajo torej zajeti interaktivno razmerje med rabo tal in transportom, iz tega pa že nastanejo integrirani modeli rabe tal in transporta, ki lahko pomagajo zajeti povratne informacije tradicionalnih, štiri-stopenjskih modelov.

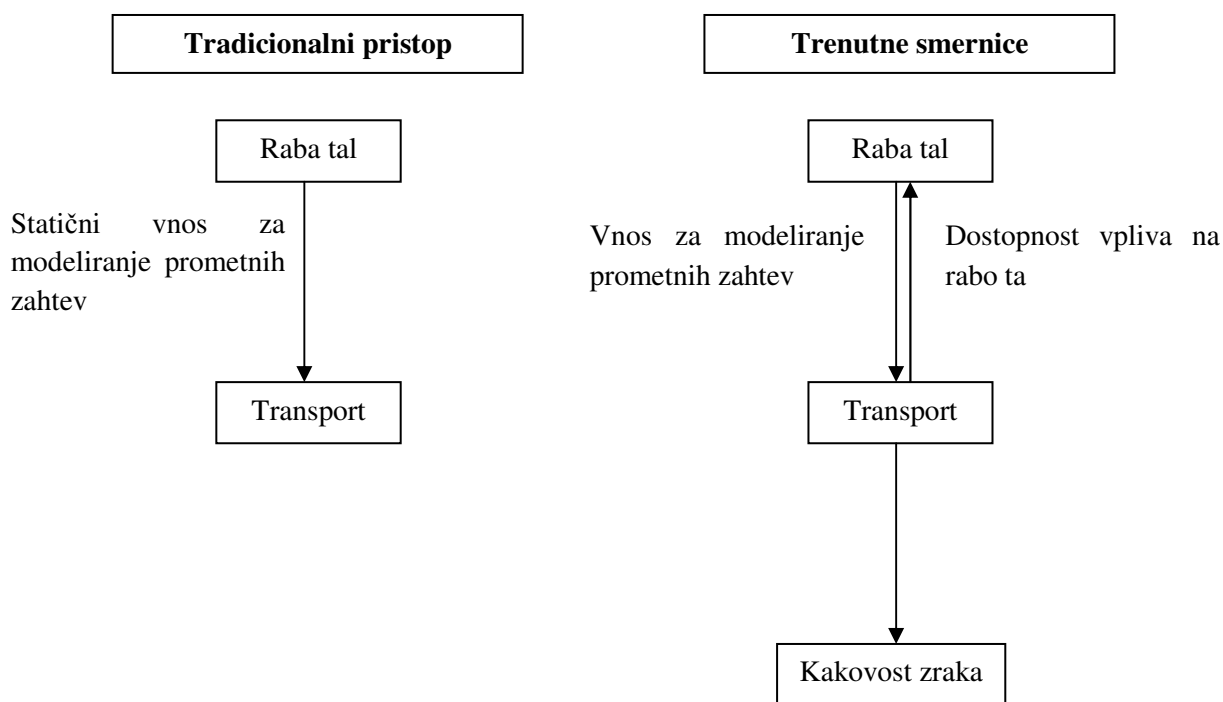
V preteklosti je torej načrtovanje prometnic temeljilo predvsem na mobilnosti – kako zasičene so ceste, kako hitro lahko teče promet... Dandanes pa je vse večji poudarek tudi na dostopnosti – kako lahko je priti do mesta določene aktivnosti, katero potrebujemo ali se je želimo udeleževati (šola, služba, nakupovanje, šport...), kakšna je dostopnost za dejavnosti, ki dajejo zaposlitve na domu, kakšna je dostopnost do sredstev prevoza ter meritve ne-motorizirane dostopnosti. Ta dva koncepta dajeta različne pristope k načrtovanju, saj pri dostopnosti ne gledamo hitrosti potovanja, temveč predvsem bližino aktivnosti in tako imajo lahko počasni modeli, to je hoja, prednost pred ostalimi. S tem je jasno, da je povezava med transportom in rabo tal ključnega pomena v transportu, saj sta namreč nerazdružljivo povezana. Vse kar se zgodi glede rabe tal, ima vplive na transport in vse transportne aktivnosti vplivajo na rabo tal. Državne službe za transport pomagajo oblikovati rabo tal z zagotavljanjem infrastrukture za izboljšanje dostopnosti in mobilnosti. Dostopnost se lahko meri s

številom potovalnih priložnosti ali destinacij v okviru določenega potovalnega radija, ki se meri v merilu časa potovanja ali razdalje. Po drugi strani pa je mobilnost merilo za zmožnost za učinkovito premikanje med izvori in temi destinacijami. Mobilnost je tako odvisna od prometnega omrežja in nivoja storitve, ki jo nudi. Sprememba rabe tal običajno generira nova potovanja in potovanja generirajo potrebo po novih objektih, kar potem poveča dostopnost in prinese s seboj nadaljnji razvoj.

Pristopi k integriranemu modeliranju pa se še vedno spreminjajo skozi čas. Novi pristopi k razvoju, ki poudarjajo javni promet in oblike ureditve, ki se usmerjajo na kolesarje ter pešce, postajajo vse bolj zanimivi za različne skupnosti. Uporaba avtomobila podpira nizko gostoto, disperzno urbano obliko, ki uporabo avtomobila še bolj krepi. Delež potovanj s sredstvi javnega prevoza pa narašča z veliko gostoto, mešano rabo površin in visoko stopnjo dostopnosti na ravni hoje. Peš dostop do nakupovanja povečuje aktivnost pešcev, kar povečuje orientiranost trgovin na pešce.

### 2.2.3 Modeli z upoštevanjem večjega števila faktorjev

Poleg vpliva transporta na rabo tal in obratno, pa obstaja še vrsta drugih faktorjev, ki vplivajo na načrtovanje urbanih sistemov; prav tako pa se v obratni smeri na njih pozna vpliv sprememb v transportu ali rabi tal. S pojavljanjem okoljskih problemov ter tudi večjim zavedanjem prebivalstva so v ospredje stopile predvsem zahteve, da je v načrtovanje potrebno vključiti tudi okoljske faktorje.



Slika 2: Različni pristopi k opazovanju interakcije med rabo tal in transportom – levo tradicionalni pristop in desno trenutne smernice (prirejeno po: [9])

Po letu 1990 je narasla tudi pomembnost okoljskih vprašanj glede emisij in izgube odprtega prostora. Tako se je spremenil tudi pristop, saj je poleg napovedovanja učinkov transportnih potreb na rabo tal začelo naraščati tudi zanimanje za podporo analizi alternativ - vrednotenje vplivov rabe tal na transportne projekte, vrednotenje strategij potovalnih potreb, vrednotenje regulacij rabe tal, podpora okoljskemu planiranju...

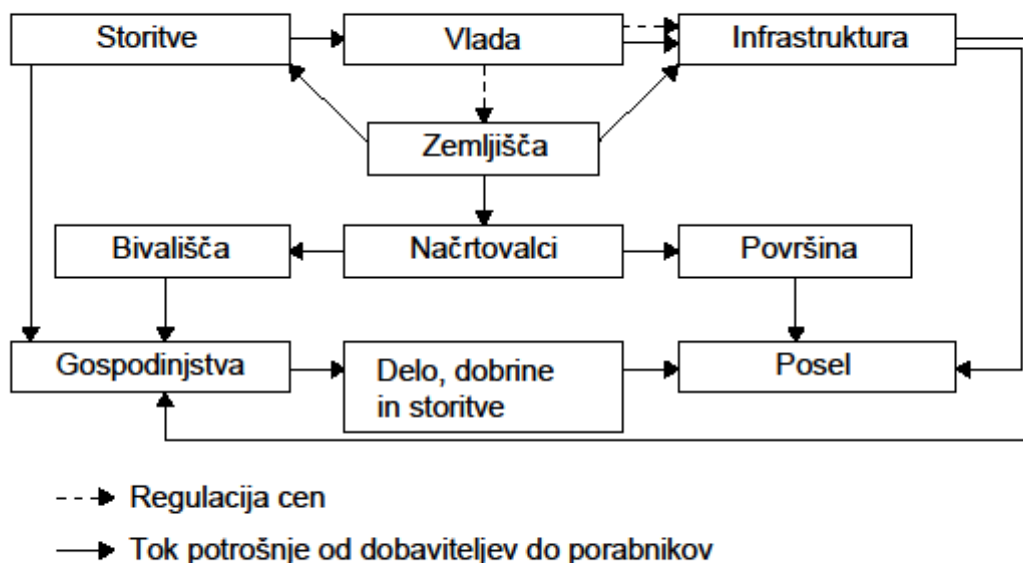
Medtem, ko so okoljske strategije vodile k bolj multi-modalnemu pristopu k transportu, kar je vključevalo ne-motorizirane načine potovanja in uporabo javnega prevoza, so na drugi strani določene

strategije začele iskati alternativne poti za iskanje zadostnih zmogljivosti za nastajajoče potrebe glede transporta in zemljišč (prirejeno po [10]).

Z vključevanjem različnih interesov, strategij in vidikov torej narašča število dejavnikov in akterjev, ki so v medsebojni interakciji, s tem pa postaja proces modeliranja urbanih sistemov vse bolj zapleten. Dandanašnji procesi vključujejo vse nivoje vplivov – od posameznika, do sistemov kot so prostor in infrastruktura.

Spodnja slika predstavlja širok obseg interakcij med gospodinjstvi, podjetji, načrtovalci in vlado v okviru trgov nepremičnin, dela ter blaga in storitev. Načrtovalci uporabljajo zemljo za gradnjo stanovanjskih in nestanovanjskih prostorov, ki jih zahtevajo gospodinjstva ter posel, katera pa prav tako sodelujeta na trgu dela ter blaga in storitev. Vlada zagotavlja infrastrukturo ter storitve in regulira ter spreminja cene za rabo tal in infrastrukture. Ta glavni okvir predstavlja izhodišče za upoštevanje učinkov alternativnih vladnih politik in investicij.

Glavna sredstva oz. akterji, ki ustvarjajo odzive na podane strategije so gospodinjstva, posamezniki, zaposlovalci, načrtovalci in vlada. Gospodinjstva sprejemajo skupek soodvisnih, dolgoročnih odločitev, ki izražajo tudi način življenja, kar vključuje čas selitev, izbiro soseske, tip prebivališča, ki si ga izberejo za nakup ali najem ter število vozil, ki jih posedujejo. Posamezniki znotraj gospodinjstva izbirajo delovno usmeritev ter stopnjo izobrazbe, izbiro in menjavo službe, urnik dnevnih aktivnosti, izbiro prevoznega sredstva ter poti. Zaposlovalci izbirajo kdaj začeti in zapreti posel, lokacijo dejavnosti, število delovnih mest ter tip in količino nepremičnin za nakup ali najem, ki jo potrebujejo. Načrtovalci izberejo katere razvojne projekte bodo izvajali ter obseg in lokacijo teh projektov. Vlade določajo strategije in politike ter izvajajo investicije, ki vplivajo na izbire drugih akterjev ter sprejemajo razvojne odločitve glede javnih objektov, vključno s tipom, lokacijo ter obsegom razvoja (prirejeno po [10]).



Slika 3: Povezava med urbaniimi trgi (prirejeno po: [10])

Dandanes obstaja mnogo projektov urbanega modeliranja po celem svetu. V Ameriki različne organizacije spodbujajo razvoj ter uporabo takih modelov pri prostorskem načrtovanju. Prav tako je v Evropi Evropska komisija že sofinancirala mnogo študij, ki vključujejo modele rabe tal in transporta.

Kljub dosežkom v razvoju teh modelov, ostajajo nekateri izzivi. Transportni podmodeli, ki so uporabljeni v najbolj sodobnih modelih rabe tal in transporta, ne uporabljajo tehnik modeliranja, ki temeljijo na aktivnostih, temveč uporabljajo tradicionalni, štiri-stopenjski potovalni model zaporedja povpraševanja, kar je pomanjkljivo za modeliranje vedenjskih odzivov na mnoge trenutno uporabljene strategije. Najbolj obetavna tehnika za modeliranje rabe tal in transporta, ki temelji na aktivnostih, je mikrosimulacija, ki omogoča reprodukcijo kompleksnega prostorskega vedenja posameznika, v merilu ena na ena.

Prostorska ločljivost trenutnih modelov je še vedno pregraba, da bi modelirali strategije in efekte na ravni soseske. V prihodnosti bo pomembno vlogo igrala integracija okoljskih podmodelov za kvaliteto zraka, hrupa, ki ga povzroča promet, zavzemanja tal in biotopov. Prav tako podobno pomembno vlogo pri modeliranju stavb pa bodo imela vprašanja prostorskega kapitala in socialno-ekonomske razporeditve.

### 3 INTEGRIRANO MODELIRANJE

Kot že napisano, je potreba po modeliranju transporta večja v urbanih območjih in tam imata tudi promet in ter razporeditev rabe tal večji vpliv en na drugega. Integrirano modeliranje je tako bolj smiselno v urbanih območjih in mestih, zato bodo nadalje kot območja rabe tal uporabljeni predvsem ti pojmi.

Mesta so sistemi. Po definiciji je sistem niz med seboj odvisnih elementov oz. komponent, ki so v medsebojni interakciji, ki je podrejena določenim načelom in pravilom, ter tako tvorijo integrirano celoto. Grobo je sistem opredeljen z: naravo svojih komponent, interakcijo med temi komponentami ter mejami med sistemom in okoljem (ali določena entiteta pripada sistemu, ali je, nasprotno, del njegovega okolja). Te definicije kažejo, da so interakcije v samem jedru opredelitve mesta. Zato je pomembno, da pri analiziranju mesta stvari zaobjamemo skupaj, na sistematičen način in ne na osnovi sektorjev (izoliranje bivališč, zaposlitve, transporta, onesnaženja...) ter upoštevamo njihove probleme in potencialne rešitve (prirejeno po [11])

Vsako mesto v regiji ima svoj prostorski načrt ter svoj plan prihodnje rabe tal, ki je lahko kombiniran s tem, kako bo izgledala rast v regiji. Vendar ni nujno, da bo regija izgledala tako, kot je bilo planirano z rastjo mest. Veliko različnih faktorjev vpliva na rast in kot rezultat lahko dobimo veliko število razvojnih rezultatov. Teoretično ima vsak scenarij rabe tal svoj najbolj učinkovit transportni sistem, ki ni nujno, da enako učinkovito ustreza vsaki rabi tal. Vzorec rabe tal in pripadajoč transportni sistem igrata kritično vlogo pri odločanju, kako primerno za bivanje ter trajnostno je urbano območje. Pomembno je, da sta raba tal in transport modelirana na integriran način, saj se tako pokaže močna povezanost med njima (prirejeno po [12]).

Glede na nekatere uspešne izkušnje je bilo ugotovljeno, da je integrirano modeliranje zelo uspešen proces za testiranje transportnih strategij v relaciji do rabe prostora ter projekcije rasti, kar je dobrodošlo pri izdelavi scenarijev.

### 3.1 Vzroki za razvoj integriranega načrtovanja rabe tal in prostora

Urbani sistemi postajajo vse večji in vse bolj kompleksni, medtem pa so tudi zahteve prebivalcev in uporabnikov elementov sistema ter omejitve pristojnih organov, združenj in organizacij vse bolj obsežne in ostre. Že pri sami obravnavi in analizi mest je tako nemogoče in neprimerno, da obravnavamo posamezna področja in sestavine ter elemente mest individualno.

V petdesetih letih prejšnjega stoletja so se začele prve sistematične študije medsebojnih odnosov med transportom in prostorskim razvojem mest. Hansen (1959) je za Washington, DC, demonstriral, da imajo lokacije z dobro dostopnostjo večje možnosti, da se bodo dobro razvile, kot oddaljene lokacije (»Kako dostopnost oblikuje rabo tal«) (prirejeno po [7]).

To spoznanje, da potovanja in izbire lokacij določajo ena drugo in da morata biti zato transport in načrtovanje rabe tal so-koordinirana, je sprožilo nov val raziskav, ki so se osredotočale na vključitev vedno novih dejavnikov. Z zavedanjem pomembnosti ohranjanja okolja in zagotavljanja boljše kvalitete življenja, med drugim tudi v povečani skrbi za zdravje, pa je načrtovanje dobilo še povsem nove razsežnosti. Vseeno pa na drugi strani še vedno obstajajo dovolj močni gospodarski in ekonomski pritiski, ki z razvojem novih tehnologij zahtevajo vse hitrejši transport tako oseb, kot tudi blaga. Trg pa vse to še spodbuja, saj hitrost in učinkovitost igrata veliko vlogo pri konkurenčnosti.

Metropolitanska območja so tako pod čedalje večjim pritiskom, da se odzovejo na zahteve oblasti v zvezi s povezovanjem načrtovanja rabe tal in transporta ter skrbi za kvalitetno okolje. Na drugi strani pa se pojavljajo vprašanja in dvomi prebivalcev glede stranskih učinkov razvoja, kot so razraščanje in širjenje mestnega območja, zastoji, dostopnost bivališč glede na ceno ter izguba odprtega prostora. Razmerje med rabo tal, transportom in okoljem je bistvo uravnavanja rasti. Zavest, da nove obmestne avtoceste pomenijo dodaten promet, emisije, drugačen razvoj tal in prostora ter da je tako nemogoče, da se izognemo zastojem, je spremenilo kontekst metropolitanskega načrtovanja transporta in prometnic. Prav tako je na začetek integriranega planiranja vplivalo prepoznavanje vplivov transporta na rabo tal, okolje, zrak itd. Cilj je postal bolj koordinirano metropolitansko načrtovanje rabe tal, transporta ter upoštevanje okolja. To je spodbudilo tudi rast programov za bližje povezovanje načrtovanja rabe tal in transporta (prirejeno po [13]).

### 3.2 Teoretične osnove integriranega modeliranja (povzeto po [14])

Teorije dvosmerne interakcije med urbano rabo tal in transportom obravnavajo lokacijske in mobilnostne odzive »privatnih« dejavnikov (gospodinjstva, podjetja, potniki itd.) na spremembe v urbani rabi tal in transportnem sistemu na urbano-regionalni ravni.

Prostorska oddaljenost človeških aktivnosti ustvarja potrebo po potovanju in transportu dobrin. Zato je potrebna analiza transporta in predvidevanje oziroma napovedovanje prometa v prihodnosti. Sledeč temu principu je razumljivo, da je suburbanizacija mest povezana s povečanjem prostorske delitve dela in posledično vse večjo mobilnostjo prebivalstva. Suburbanizacija je namreč po definiciji proces razseljevanja prebivalcev, delovnih mest in urbanih dejavnosti iz osrednjih delov mest v predmestja in širša območja mestne regije [5].

Manj je znan obraten vpliv – torej vpliv transporta oz. prometa na rabo tal. Pojavlja se nejasno razumevanje, da razvoj mest od strukture gostega mestnega tkiva srednjeveških mest, kjer se je skoraj ves promet odvijal peš, do obsežnih površin modernih metropolitanskih območij z velikimi volumni in medregijskim prometom, ne bi bil mogoč, če ne bi bilo takšnega razvoja železnice in kasneje osebnega

avtomobila, kar je naredilo skoraj vsak kotiček velemestnega območja enako primeren kot kraj bivanja ali dela.

Glavni teoretični pristopi za razlago te dvosmerne interakcije med rabo tal in transportom v velemestnih območjih vključujejo tehnične teorije (urban mobility systems/urbani mobilni sistemi), ekonomske teorije (cities as markets/mesta kot trg) in socialne teorije (society and urban space/družba in urbano okolje). Rezultati teh teorij so zajeti v smislu pričakovanih vplivov bistvenih dejavnikov, kot so gostota poselitve, gostota zaposlenosti, oblikovanje sosesk, lokacije, velikost mest, dostopnost in cena ter čas potovanja.

### **3.2.1 Tehnične teorije: urbani sistemi mobilnosti**

Prve razlage lociranja ter rasti in upada mest so tehnične: mesta so bila ustanovljena na tržnih poteh, pristaniščih in križanjih rek. Klasična primera sta Benetke in Genova ter mnoga druga evropska mesta, katerih imena se končujejo s »-ford« ali »-furt« (Hereford, Frankfurt...). Ta mesta so nato začela upadati, ko se je izgubila njihova prednost lokacije, saj so se odkrile nove, hitrejše poti, ki so se teh mest ognile.

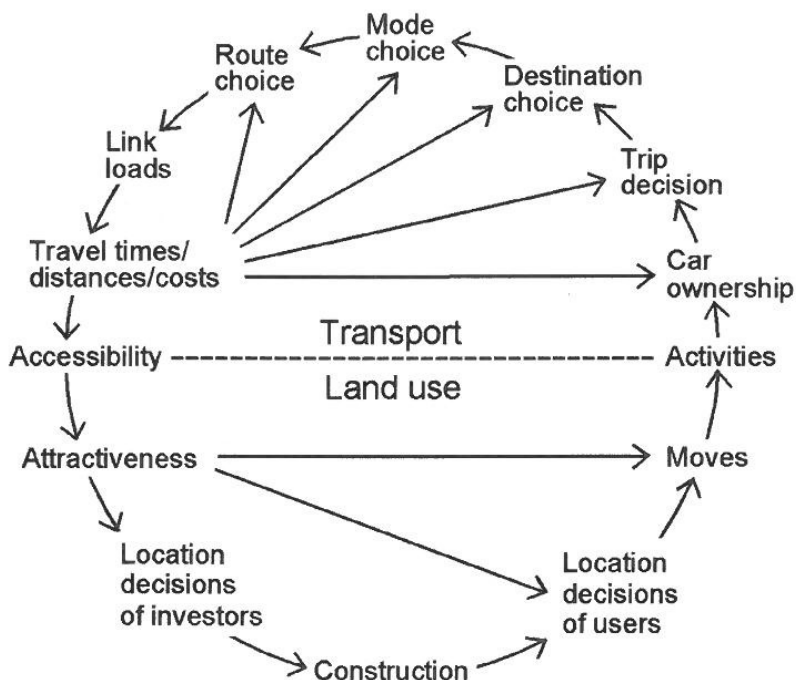
Andersson govori o »štirih logističnih revolucijah«, ki so izoblikovale evropski urbani sistem:

- V srednjem veku so »varne avtoceste« omogočile trgovanje na velikih razdaljah, kar je vodilo k ogromni blaginji mest na severu Italije in v Nemčiji.
- Varna menjava denarja je omogočila mednarodno trgovanje in vzpon Londona ter Pariza kot bančnih prestolnic v 17. in 18. stoletju.
- Industrijska revolucija je prinesla železnice in eksplozivno rast industrijskih mest v 19. stoletju.
- Danes integracija transporta in telekomunikacij ustvarja t.i. globalno mesto in v Evropi zopet favorizira London in Pariz.

Hipotez in teorij o prostorskih vplivih novih tehnologij je mnogo in včasih je težko razbrati, kaj so miti in kakšen je odziv v realnosti. Glede na dokaze iz preteklosti lahko ugotovimo, da so nekatere tehnične novosti vplivale tako na notranjo organizacijo mest, kot tudi na zunanjo obliko, saj so se npr. širila ob železnici in kasneje s prihodom avtomobila ob cestah itd.

V 50-ih letih prejšnjega stoletja so bile v ZDA narejene prve študije za sistematično raziskovanje medsebojnih odnosov med transportom in prostorskim razvojem mest. Hansen je na primeru Washington, DC, demonstriral, da imajo lokacije z dobro dostopnostjo večje možnosti za razvoj kot bolj oddaljene lokacije.

Spoznanje, da so potovanja in izbira lokacij soodvisni in da morata biti zato načrtovanje prometa in izrabe prostora vodena usklajeno, je vodilo do odkritja pojma »land-use transport feedback cycle«.



Slika 4: Land-use transport feedback cycle (vir: [7])

Niz razmerij opisan s tem pojmom se lahko na kratko povzame:

- Razporeditev rabe tal, kot je stanovanjska, industrijska ali trgovska, v urbanih območjih določa lokacije človekovih aktivnosti kot so prebivališče, delo, nakupovanje, izobraževanje in počitek ter zabava.
- Razporeditev človekovih aktivnosti v prostoru zahteva prostorske interakcije oziroma potovanja v transportnem sistemu za premagovanje razdalj med lokacijami različnih aktivnosti (šola, služba, nakupovanje, šport...).
- Razporeditev infrastrukture v transportnem sistemu ustvarja priložnosti za prostorske interakcije in se lahko meri kot dostopnost.
- Razporeditev dostopnosti v prostoru so-pogojuje odločitve izbire lokacije in se tako tudi kaže v spremembah sistema rabe tal.

Gravitacijski model je bil prvi model prostorske interakcije (SIA), ki je skušal implementirati ta cikel. Od modela SIA je le majhen korak do njegove uporabe kot lokacijskega modela.

Wilson (1970) je razlikoval med štirimi tipi urbanih prostorsko interakcijskih lokacijskih modelov.



Preglednica 2: Štiri tipi urbanih prostorsko interakcijskih lokacijskih modelov po Wilsonu (prirejeno po [14])

Tip	Omejitve	Bivališče	Delovno mesto
1	neomejen	predvidevano	predvidevano
2	izvorno-omejen	znano	predvidevano
3	privlačno-omejen	predvidevano	znano
4	dvojno omejen	znano	znano

Model tipa 1 se ukvarja z gospodinjstvi, ki nimajo določene ne lokacije bivališča, ne delovnega mesta. Modela tipa 2 in 3 sta omejena vsak v eno smer: model tipa 2 se ukvarja z gospodinjstvi, ki iščejo delovna mesta in model tipa 3 z gospodinjstvi, ki iščejo bivališče. Model tipa 4 je obojestransko omejen in po svojem bistvu ni lokacijski model, temveč transportni, saj se ukvarja z gospodinjstvi, ki imajo že določeno lokacijo bivališča in delovnih mest.

SIA model je, kljub več desetletjem izpopolnjevanj in posploševanj, v osnovi še vedno ravnotežni model, kot je vedno bil. Z vsakim napredkom pa še bolj zahaja v matematično strogost ter s tem postaja vse bolj oddaljen od realnosti. V teh paradigmah ni ljudi, ni gospodinjstev, lastnikov zemlje, načrtovalcev; ni nepopolnih informacij, izkrivljenega dojemanja, netočnosti, odstopanj, prilagoditev... Ni realnih procesov sprememb, nadgradenj, izgradenj, rušitev, cen zemlje, interakcije med ponudbo in povpraševanjem, ni trgov...

Nekatere od teh težav so povzeli novejši pristopi. Ena od vej raziskav se je usmerila v novo zanimanje za dinamiko. Prvi dinamični urbani model je sicer predstavil že Forrester (1969), a model je bil ne-prostorski in ni vseboval nobenega transporta ter zemljo le kot omejitev kapacitet.

Kljub pomanjkljivostim je paradigma prostorske interakcije pripeljala do boljšega razumevanja pomembnih dimenzij individualne mobilnosti in lokacijskega obnašanja ter njunih medsebojnih odnosov. Razjasnila je, da je dnevna mobilnost odvisna od predhodnih, dolgoročnih lokacijskih odločitev in da so te, obratno, so-pogojene z dnevnimi potrebami po potovanju.

### 3.2.2 Ekonomske teorije: mesta kot trgi

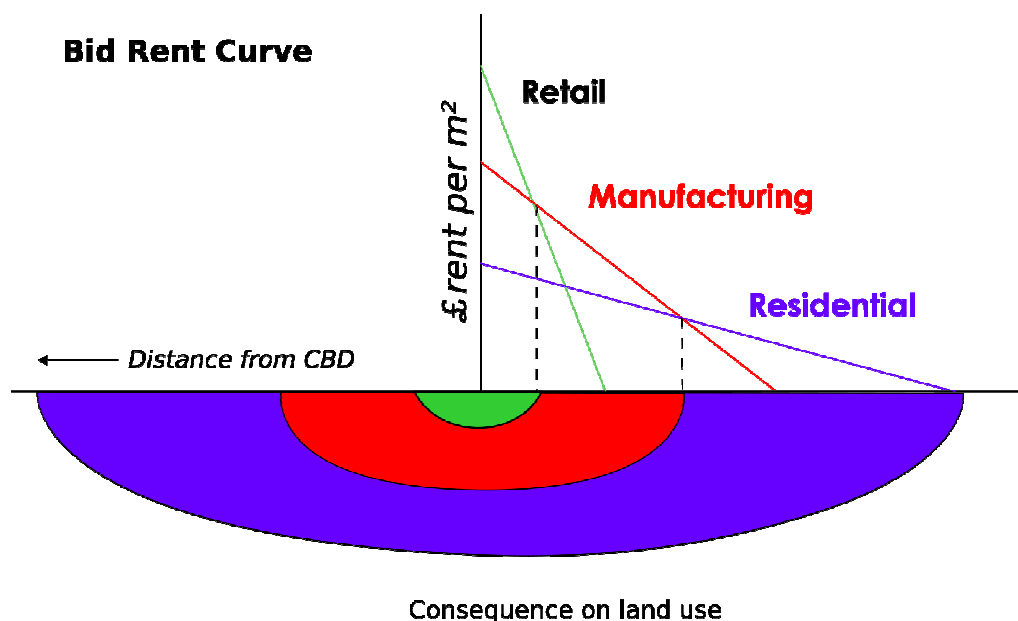
Temeljna predpostavka vseh prostorskih ekonomskih teorij je, da je lokacija z dobro dostopnostjo bolj privlačna in ima večjo vrednost na trgu, kot periferne lokacije. Verjetno najbolj vpliven primer je model urbanega trga tal, ki ga je opisal Alonso (1964). Osnovna predpostavka tega modela je Teorija ponudbe in povpraševanja po zemljiščih.

#### 3.2.2.1 Teorija ponujene rente

Teorija ponudbe in povpraševanja po zemljiščih (Bid rent theory) je geografsko-ekonomska teorija, ki se navezuje na to, kako se cena in povpraševanje za nepremičnine spreminjata z razdaljo od središča poslovnih dejavnosti (CBD-Central Business District). Pravi, da bodo različni uporabniki tal med seboj tekmovali za zemljo blizu centra mesta. To izhaja iz ideje, da želijo maloprodajne ustanove čim bolj povečati svojo dobičkonosnost, tako da so pripravljene plačati mnogo več za zemljišče v bližini središča dejavnosti in manj za zemljišča dlje od tega področja. Ta teorija temelji na sklepanju, da bolj kot je območje dostopno (kar pomeni tudi večjo koncentracijo kupcev oz. uporabnikov), bolj je dobičkonosno (prirejeno po [2])

Uporabniki površine oz. tal tekmujejo za najbolj dostopna območja v okviru središča dejavnosti. Rezultat rabe tal se odraža v vzorcu koncentričnih krogov, kar ustvarja koncentrični sistem rabe tal. Glede na to teorijo bi lahko predvidevali, da najbolj revni prebivalci živijo na obrobjih mest. Vendar pa je temu redko tako, saj je tu potrebno upoštevati dostopnost do lokacije zaposlitve, ki hkrati pomeni tudi stroške vožnje na delo. Prav tako pa dandanes veliko pomeni luksuz v obliki širokega bivalnega prostora, s pripadajočimi sestavinami in pritiklinami bivališč (bazeni, vrtovi...). Slednje je, zaradi prenasičenosti prostora, težko zagotoviti v jedru mesta, kar pomika tudi premožnejša gospodinjstva na obrobje. Prav tako pa je v zadnjem času, v iskanju boljše kvalitete življenja, pomemben dejavnik odmaknjenost od mestnega vrveža.

Teorija na nek način razlaga rezultate rabe prostora - gostoto, najemnine, kot produkt procesa draženja in ponujanja nepremičnin, ki temelji na pripravljenosti kupcev, da plačajo za določene prednosti neke lokacije; izbira lokacije pomeni kompromis med trajanjem potovanja in stroškov stanovanja.



Slika 5: Grafična ponazoritev teorije ponujene rente (vir:Wikipedija, [http://en.wikipedia.org/wiki/Bid\\_rent\\_theory](http://en.wikipedia.org/wiki/Bid_rent_theory) 2.11.2014)

### 3.2.3 Socialne teorije: družba in urbani prostor

V socialnih znanstvenih teorijah je prostorski razvoj mest rezultat individualne ali kolektivne prisvojitve prostora. Obstaja več teorij, ki pomagajo razlagati pojave kot so na primer invazija srednjega razreda v središča mest ali nastanek primestnih delavskih četrti...

Teorije upoštevajo značilnosti ljudi, kot so invazivnost, uspešnost, dominanca, kot tudi starost, spol, družbeni razred. Prav tako pa je pomemben časovni faktor, saj se na podlagi tega posamezniki odločajo za način potovanja, oddaljenost in izbiro aktivnosti... Vsekakor pa je vse skupaj povezano tudi s stroški posameznika in njegovimi finančnimi zmožnostmi.


### 3.2.4 Ugotovitve teoretičnih študij rabe tal in transporta

Ugotovitve teoretičnih študij za medsebojne vplive dejavnikov so podane v dveh preglednicah.



Preglednica 3 opisuje odnose v smeri, kako raba tal vpliva na transport. Faktorji rabe tal so: gostota poselitve, gostota zaposlitve, oblika sosek, lokacija, velikost mesta. Opisani so vplivi prej naštetih faktorjev na: dolžino potovanja, pogostost potovanja, izbiro načina potovanja (javni promet, peš, kolo, osebni avtomobil).

Preglednica 4 pa opisuje odnose v smeri, kako transport vpliva na rabo prostora ter v smeri transport na transport. V prvem delu preglednice 4 je faktor transporta dostopnost, opisan pa je njegov vpliv na: lokacijo bivališč, lokacijo industrije, lokacijo pisarn in lokacijo trgovin na drobno. Za drugi del, kjer se opazuje smer transport-transport, pa so vplivni faktorji dostopnost, stroški ter čas potovanja. Opisani so vplivi teh faktorjev na dolžino potovanja, pogostost potovanja in izbiro načina potovanja (javni prevoz, peš, kolo, osebni avtomobil).

Preglednica 3: Teoretično pričakovani vplivi rabe tal (prirejeno po [14])

Smer	Faktor	Vpliv na	Pričakovani vplivi
<b>Raba tal</b>    <b>Transport</b>	Gostota poselitve	Dolžina potovanja	Večja gostota poselitve kot sama ne bo vodila do nastanka krajših potovanj. Mešanica delovnih mest in bivališč lahko vodi do krajših potovanj, če se povečajo stroški potovanja.
		Pogostost potovanja	Pričakovan je le majhen vpliv. Če so potovanja krajša, se jih lahko vrši več.
		Izbira sredstva	Minimalna gostota poselitve je predpogoj za učinkovit javni prevoz. Več potovanj bo opravljenih peš ali s kolesom, samo če bodo potovanja postala krajša (glej zgoraj).
	Gostota zaposlitve	Dolžina potovanja	Koncentracija delovnih mest v nekaj zaposlitvenih centrih spodbuja povečanje povprečne dolžine potovanj. Ravnovesje delovnih mest in stanovanj v območju bi se izražalo v krajših delovnih potovanjih samo, če bi potovanje postalo dražje.
		Pogostost potovanja	Pričakovan je le majhen vpliv. Če so potovanja krajša, se jih lahko vrši več.
		Izbira sredstva	Koncentracija delovnih mest v nekaj zaposlitvenih centrih lahko zmanjša uporabo avtomobila, če je zagotovljen učinkovit javni prevoz. Več potovanj bo opravljenih peš ali s kolesom, samo če bodo potovanja postala krajša (glej zgoraj).
	Oblika sosek	Dolžina potovanja	Atraktivne javne površine in raznolikost trgovin ter storitev lahko spodbudi več lokalnih potovanj.
		Pogostost potovanja	Če so potovanja krajša, se jih lahko vrši več.
		Izbira sredstva	Ureditev ulic, površine za pešce in kolesarski promet lahko vodijo do porasta hoje in kolesarjenja.
	Lokacija	Dolžina potovanja	Več perifernih lokacij nakazuje daljša potovanja.
		Pogostost potovanja	Ni pričakovanega vpliva.
		Izbira sredstva	Lokacije blizu postaj javnega prevoza bi morale imeti več potovanj s tem sredstvom.
	Velikost mesta	Dolžina potovanja	Dolžina potovanj naj bi bila v negativni korelaciji z velikostjo mesta.
		Pogostost potovanja	Ni pričakovanega vpliva.
		Izbira sredstva	Večja mesta lahko vzdržujejo bolj učinkovit javni prevoz, tako da bi morale biti več potovanj z javnim prevozom v večjih mestih.

Preglednica 4: Teoretično pričakovani vplivi transporta (prirejeno po [14])

Smer	Faktor	Vpliv na	Pričakovani vplivi
<b>Transport</b>    <b>Raba tal</b>	Dostopnost	Lokacija bivališč	Lokacije z boljšo dostopnostjo do delovnih mest, trgovin, izobraževalnih ter prostočasnih objektov bodo bolj privlačne za stanovanjski razvoj, imele bodo višje cene zemljišč in se bodo razvijale hitreje. Izboljšanje dostopnosti lokalno bo spremenilo smer novega stanovanjskega razvoja, izboljšanje dostopnosti v celotnem urbanem območju pa se bo kazalo v bolj razpršenem stanovanjskem razvoju.
		Lokacija industrije	Lokacije z boljšo dostopnostjo do avtocest in železniških tovornih terminalov bodo bolj atraktivne za industrijski razvoj in se bodo razvijale hitreje. Izboljšanje dostopnosti lokalno bo spremenilo smer novega industrijskega razvoja.
		Lokacija pisarn	Lokacije z boljšo dostopnostjo do letališč, postaj hitre železnice in avtocest bodo bolj privlačne za razvoj pisarn ter bodo imele višje cene zemljišč. Izboljšanje dostopnosti lokalno bo spremenilo smer novega razvoja pisarn.
		Lokacija maloprodaje	Lokacije z boljšo dostopnostjo do strank in konkurenčnih maloprodajnih podjetij, bodo bolj atraktivne za razvoj maloprodaje, imele bodo višje cene zemljišč in se bodo razvijale hitreje. Izboljšanje dostopnosti lokalno bo spremenilo smer novega razvoja maloprodajnih trgovin.
<b>Transport</b>    <b>Transport</b>	Dostopnost	Dolžina potovanja	Lokacije z dobro dostopnostjo do veliko destinacij bodo proizvajale več potovanj.
		Pogostost potovanja	Lokacije z dobro dostopnostjo do veliko destinacij bodo proizvajale več potovanj.
		Izbira sredstva	Lokacije z dobro dostopnostjo z avtomobilom bodo proizvajale več potovanj z avtomobilom; lokacije z dobro dostopnostjo z javnim prevozom bodo proizvajale več potovanj z javnim prevozom.
	Stroški potovanja	Dolžina potovanja	Obstaja močno obratno sorazmerje med stroški in dolžino potovanja.
		Pogostost potovanja	Obstaja močno obratno sorazmerje med stroški in pogostostjo potovanja.
		Izbira sredstva	Obstaja močno razmerje med stroški potovanja in izbiro sredstva potovanja.
	Čas potovanja	Dolžina potovanja	Obstaja močno obratno sorazmerje med časom in dolžino potovanja.
		Pogostost potovanja	Obstaja močno obratno sorazmerje med časom in pogostostjo potovanja.
		Izbira sredstva	Obstaja močno razmerje med časom potovanja in izbiro sredstva potovanja.

Preglednica 3 ilustrira vplive strategij rabe tal na transportne vzorce s teoretičnega stališča. Vpliv večje gostote poselitve na zmanjšanje povprečne dolžine potovanja je po vsej verjetnosti minimalen v odsotnosti povečanja stroškov potovanja, medtem ko je visoka gostota zaposlenosti v pozitivni korelaciji s povprečno dolžino potovanja. V zvezi s pogostostjo potovanj je moč pričakovati malo ali

nič vpliva s strani strategij izrabe prostora, glede na Zahavijevo (Yacov Zahavi) teorijo stalnih potovalnih proračunov (fix travel budget). Gostota stanovanj in delovnih mest, tako kot velik obseg aglomeracij in dobra dostopnost z javnim transportom neke lokacije, se zdijo v pozitivni korelaciji z deležem uporabe javnega prometa, medtem ko je bolj verjetno, da bodo imeli oblika sosesk in mešanica delovnih mest ter stanovanj s krajšimi potovanji, pozitiven vpliv na delež kolesarjev in pešcev.

Preglednica 4 opisuje vpliv transportnih strategij na izrabo prostora in vpliv transportnih strategij na vzorce v transportu. Vpliv transporta na rabo tal je spremenljiv glede na dostopnost neke lokacije. Večja dostopnost poveča atraktivnost lokacije za vse tipe rabe prostora, kar vpliva tudi na smeri novega urbanega razvoja. Če pa se poveča dostopnost celega mesta, je rezultat bolj razpršena struktura naselja. Vplivi transportnih strategij na transportne vzorce so jasnejši in močnejši v primerjavi z rabo prostora in transportom. Medtem ko imata čas in cena potovanja negativen vpliv na dolžino in pogostost potovanj, ima dostopnost pozitiven vpliv na dolžino in pogostost potovanj. Izbira prevoznega sredstva je odvisna od relativne privlačnosti sredstva v primerjavi z ostalimi. Najhitrejše ter najcenejše sredstvo bo najverjetneje imelo največji delež.

V splošnem teoretične domneve podajajo zaključek, da vpliv »pull« (privlačnih) ukrepov t.j. ukrepov rabe zemljišč mnogo šibkejši kot vpliv »push« ukrepov t.j. na primer povečanje časa in stroškov potovanja.

### **3.2.5 Idealni sistemi rabe tal in transporta**

Skozi čas do danes se je zgodilo mnogo sprememb, tako v industriji, kot tudi na področju gospodarstva in v socialnem smislu. Nepojmljivi procesi industrializacije in urbanizacije so prinesli resne probleme, kot so velike stanovanjske gostote, nezadovoljivi sanitarni pogoji ter visoka stopnja onesnaženja zraka zaradi industrije. Vizije idealnega mesta so tako postali poskusi, da bi premagali te pereče probleme.

Skozi zgodovino je bilo podanih več rešitev; ena prvih je bila ideja linearnega mesta, nadalje vrtnega mesta, kjer bi se kombinirala ruralna in urbana območja, s procesom industrializacije pa je prišla ideja o prostorski ločitvi med industrijskimi in bivalnimi območji. V 50-ih letih se je že pojavila težnja po ustvarjanju individualnega življenjskega stila, ki bi ga omogočali majhni »žepki« z nizko gostoto poselitve, kar je prineslo mrežno obliko zemljišč. Do danes pa je v nekaterih mestih ostal tudi t.i. osni sistem.

Dandanes govorimo o treh osnovnih konceptih urbanega razvoja, ki imajo korenine v sistemih rabe tal in transporta iz zgodovine:

- Kompaktno mesto

Strategija kompaktnega mesta temelji na prizadevanjih za zmanjšanje širitve urbaniziranih območij, z namenom zaščite bližnjega okolja ter ustvarjanja razvidnega kontrasta med urbani in ruralnimi območji.

- Policentrični razvoj (decentralizirana koncentracija)

Strategija policentričnega razvoja vključuje relativno visoko gostoto okoli primestnih zaposlitvenih in poslovnih središč. Razvoj je omejen na cone, ki so blizu primestnim centrom, s čimer je zagotovljena dobra dostopnost za centralne panoge tudi z drugimi potovalnimi sredstvi, ne samo z avtomobilom, hkrati pa zagotavlja odprt prostor znotraj velemestnih območij. Decentralizirana koncentracija temelji

na predpostavki, da je kompaktno mesto preko določene velikosti metropolitanske regije neefektivno zaradi velike porabe energije, visoke stopnje zastojev in kritične akumulacije okoljske onesnaženosti v nekaterih delih mesta.

- Disperzni razvoj

Namen tega razvoja je zadovoljiti potrebam in preferencam ljudi, katerih večina najraje živi v enodružinski hiši ter ne mara omejitev mobilnosti.

Od poznega 19. stoletja je bilo formulirano več različic »idealnih« sistemov rabe tal in transporta, kot optimalna rešitev za urbano rabo tal in transportne probleme. Med seboj se razlikujejo v odvisnosti od prostorske strukture, gostote poseljenosti, porazdelitve določene rabe tal ter prevladujočega prevoznega sredstva. Nekateri izmed teh sistemov izhajajo iz predhodnih konceptov, ki bazirajo na podobnih predvidevanjih, zato je uporabno opisati medsebojna razmerja med strukturnimi tipi. Vsak od pristopov k idealnemu sistemu je lahko pripisan trem osnovnim tipom urbane prostorske strukture:

- Točkasta struktura in monocentrični koncept: to so tipi mest orientirani proti središčni točki urbanega sistema, najpogosteje notranjemu mestu, kot je prikazano z modelom kompaktnih mest.
- Linearna struktura in koridorski koncept: ti tipi mest so zgrajeni vzdolž dolge linije, najpogosteje vzdolž velike transportne infrastrukturne žile ali prometnice, kot npr. Soria y Mata-ov linearen model mest.
- Prostorska struktura: to so tipi mest z nizko gostoto razvoja, kar povzroča pomanjkanje čiste prostorske hierarhije in centralizirane, oziroma osrednje strukture, kot npr. Wright's Broadacre City.

Izhajajoč iz teh treh tipov je moč identificirati različne hibridne oblike sistemov rabe tal in transporta.

Poskusi, da bi ustvarili idealen sistem rabe tal ter prometnega sistema v sodobnih mestih, so dali različne rezultate. Čeprav je postalo že skoraj obče znano, da so sistemi, ki vključujejo razpršen razvoj manj ugodni z vidika povprečne dolžine potovanja, porabe energije, emisije toplogrednih plinov in izrabe prostora, ni nedvoumnih dokazov za prednosti tako kompaktnega mesta, kot tudi ne za prednosti strategij decentralizirane koncentracije. Konec koncev je primernost določenega sistema odvisna od različnih specifičnih dejavnikov za določen primer, kot so velikost aglomeracije in že obstoječa prostorska struktura.

### **3.3 Empirične osnove integriranega modeliranja (povzeto po [14])**

Empirične študije raziskujejo vplive rabe tal (stanovanjska gostota, zaposlitvena gostota, dostopnost, oblika soseske, velikost mesta) na potovanja ter transport dobrin in obratno, vplive transporta (struktura omrežja, ponudba javnega prevoza, stroški transporta in regulacije itd.) na razvoj rabe tal.

#### **3.3.1 Vplivi rabe tal na transport**

Zavedanje, da so trenutni trendi mobilnosti v mestih nevzdržni, je spodbudilo veliko in še vedno naraščajoče število empiričnih raziskav razmerij med urbanimi oblikami in vzorci potovanj.

Študije običajno raziskujejo eno ali več hipotez o pričakovanih vplivih specifične značilnosti rabe tal na generacijo potovanj, dolžino potovanj ter način potovanja, ali o vplivih sprememb v teh

karakteristikah, bodisi skozi čas ali skozi planerske strategije. Najbolj pogosto raziskovane hipoteze so:

- Stanovanjska gostota in pogostost ter dolžina potovanja

Velika večina študij pri testiranju te hipoteze cilja na rezultat, da je obseg mestnega prevoza neposredno odvisen od gostote poselitve in da bi se zato vrnitev h kompaktnim vzorcem rabe tal odražala v manjšem številu potovanj in v krajših potovanjih. Najbolj znana je študija Newmana in Kenworthy-ja (1989), ki sta analizirala 32 mest na štirih kontinentih in odkrila negativno statistično korelacijo med stanovanjsko gostoto in porabo energije, povezano s transportom, na prebivalca. Problem te in podobnih študij pa je, da do sedaj ni bilo podanega še nobenega dokaza, da bi pod današnjimi pogoji, to je z neomejenim transportnim trgom in trenutnimi nizkimi stroški potovanja, vrnitev k visoki gostoti poselitve vodila k zmanjšanju porabe energije mestnega prometa. Bile so celo narejene številne študije, ki tej hipotezi nasprotujejo. Pravijo, da bi bil prihranek energije zanemarljiv, da na to vpliva mnogo drugih faktorjev, kot je socialni status, lokacija delovnih mest ipd., da je bolj pomembna prostorska oddaljenost med središčem mesta in obrobni centri... Celotni podatki, ki sta jih predstavila Newman in Kenworthy so lahko interpretirani na drugačen način, na primer če primerjamo različne cene goriv v različnih mestih oz. državah, kar seje dvom, če sploh obstaja preprosto razmerje med gostoto in rabo energije.

Če povzamemo, lahko postavimo hipotezo, da je urbana gostota samo vmesna spremenljivka in da je pravi razlog za visoko stopnjo mobilnosti, dolžino potovanj in porabo energije iz naslova transporta, dostopnost poceni transportne energije.

- Stanovanjska gostota in uporaba javnega prevoza

Učinkovit in reden javni prevoz zahteva minimalno število potnikov, da vsaj deloma pokrije stroške. Idealno bi bila uporaba javnega prevoza enakomerno razpršena skozi cel dan, brez ekstremnih vrhov v konicah dneva. Jasno je torej, da je težko, če ne skoraj nemogoče, vzdrževati sprejemljivo raven storitve javnega prevoza v območjih z zelo nizko gostoto poselitve. Priljubljena hipoteza je torej, da je urbana gostota pozitivno povezana z uporabo javnega prevoza in negativno povezana z lastništvom in uporabo avtomobila. Obstajajo pa tudi študije, ki niso našle značilnega vpliva gostote na uporabo javnega prevoza, če upoštevamo še druge spremenljivke, kot so socialno-ekonomski faktorji ali raven ponudbe javnega prevoza. Te študije navajajo, da bi bil lahko najpomembnejši dejavnik za uporabo javnega prevoza ravno nivo oskrbe – pogostost, hitrost, udobje in dostopnost avtobusov ali vlakov, ki oskrbujejo določeno območje in lokacije, ki jih lahko dosežemo z njimi.

- Zaposlitvena gostota

Faktor, kateremu se posveča vse več pozornosti, je prostorska koordinacija med lokacijami prebivališč in delovnih mest. Očitno je, da če več ljudi dela blizu svojih domov, je potreba po dolgih prevozih na delo zmanjšana. Vendar pa se tudi ljudje, ki živijo v mešanih predelih (stanovanjski in delavski), ki sicer ponujajo veliko delovnih mest, zaradi specializiranih poklicev vozijo na delo daleč stran.

Čeprav je študij, ki raziskujejo razmerje med vzorci potovanj in gostoto zaposlitve, malo, obstajata vsaj dve, ki poudarjata, da ima razmerje gospodinjstvo-zaposlitev le malo vpliva na razdalje potovanj (Ewing, 1995; Miller and Ibrahim, 1998). Obstaja pa tudi nekaj drugih študij, ki dokazujejo nasprotno.

Zaposlitvena gostota pa lahko vpliva tudi na delež uporabe različnih prevoznih sredstev. Številne študije ameriških mest so zabeležile večjo uporabo javnega prevoza do zaposlitvenih centrov v notranjosti mesta, kot tudi v notranjih in zunanjih predmestjih ter blizu postaj javnega prevoza.

- Oblika sosesk

Obstajajo živahne razprave, kako oblika soseske, ki spodbuja peš in kolesarski promet, lahko pripomore k zmanjšanju potreb po potovanju.

V ameriški literaturi je veliko študij, ki potrjujejo, da imajo predvojne, tradicionalne skupnosti ali nove, z mešano rabo, večji delež uporabe javnega transporta ter peš prometa in manjši delež uporabe avtomobila, kot povojna ameriška predmestja. Vendar pa druge študije beležijo le malo vpliva oblikovnega faktorja, ali pa poudarjajo, da je pomemben razpon izbranih ciljev v soseskah, ne pa sama oblika. Če je obstoj zelenih ciljev (trgovina, šola, služba...) blizu stanovanjskih območij, naj bi se zmanjšala povprečna dolžina potovanj. Prav tako pa je težko razložiti razmerje med tipi sosesk in prometnim obnašanjem, če upoštevamo še socialno-ekonomske faktorje. Podobni rezultati so bili opaženi tudi v evropskih študijah.

Če povzamemo, mešana raba tal in oblika sosesk ostajata relativno negotova dejavnika pri doseganju bolj trajnostnih potovalnih vzorcev. Obstoječe študije se razlikujejo glede na ovrednotenje mešanosti rabe tal in še posebej glede na vlogo urbanističnega načrtovanja, kot sredstva za zmanjšanje potreb po potovanju ter povprečne dolžine potovanja.

- Lokacija

Obstajajo razlogi za predvidevanje, da za mobilno obnašanje prebivalcev sosesk ni pomembna le njihova notranja struktura, ampak tudi lokacija znotraj urbane regije in glede na regionalna transportna omrežja. Pričakovano je, da sta centralna lokacija in dobre povezave do regionalnih cestnih omrežij v pozitivni korelaciji z lastništvom avtomobilov ter številom in dolžino potovanj opravljenih s tem prevoznim sredstvom ter v negativni korelaciji z deležem peš prometa, kolesarskega prometa ter uporabe javnega prevoza. Obratno lahko pričakujemo, da centralna lokacija in bližina postaj javnega prevoza vodita do večjega deleža in daljših potovanj z javnim prevozom.

Številne študije potrjujejo, da je lokacija pomemben dejavnik za izbiro prevoznega sredstva in dolžino opravljenih poti. Izbira prevoznega sredstva ter delež uporabe javnega prevoza sta odvisna tudi od oddaljenosti najbližje postaje od doma – bližje kot je, večji je delež potovanj z avtobusom ali vlakom in manjši je delež potovanj z avtomobilom.

- Velikost mesta

Med velikostjo mesta in potovalnimi navadami zaradi konkurenčnih dejavnikov ni preprostega razmerja. Po eni strani število lokalnih služb, objektov in storitev narašča z velikostjo naselja, kar omogoča prebivalcem dostop do teh stvari skozi dokaj kratke razdalje. Po drugi strani pa lahko zelo velika mesta povzročijo daljše potovalne razdalje, še posebej, če obstaja velika prostorska delitev domov od centrov zaposlitve ter drugih centralnih dejavnosti.

Dokazi iz evropskih mest kažejo, da je raba transportne energije in povprečne potovalne razdalje najnižja v velikih metropolitanskih regijah. Prav tako je bila dokazana močna povezanost med velikostjo mesta in uporabo javnega transporta, kar lahko razložimo s tem, da si lahko samo velika mesta privoščijo učinkovit in privlačen sistem javnega prevoza. Medtem pa rezultati raziskav iz



Združenih držav Amerike ne kažejo posebne povezanosti med velikostjo mest in izbiro prevoznega sredstva.

Iz dognanj evropskih študij lahko tako povzamemo, da delež potovanj opravljenih z avtomobilom upada z velikostjo mesta ter narašča z oddaljenostjo doma od centra. Nobena od študij pa ni pokazala jasnega vpliva na pogostost potovanj.

### **3.3.2 Vplivi prometa na rabo tal**

Če obstaja veliko število empiričnih raziskav, ki preučujejo vplive urbane oblike na potovalne in transportne navade, je obratna smer vplivov, torej vplivi prometa na urbano obliko, mnogo manj raziskana. Eden od razlogov je lahko, da so spremembe v rabi tal mnogo počasnejše, kot tiste v transportu ter da so tudi pod vplivom mnogih drugih dejavnikov, kot je rast prebivalstva, ekonomske spremembe v življenjskem slogu, oblika gospodinjstev, vzorci porabe in tehnologija produkcije ter jih je zato težko izolirati.

Vseeno pa je bilo opravljenih nekaj raziskav, ki so analizirale vplive transporta na urbano rabo tal. Najzgodnejša je ključna študija, ki jo je opravil Hansen (1956), v kateri za Washington, DC, pokaže, da imajo lokacije z dobro dostopnostjo večje možnosti, da se razvijejo z večjo gostoto. Podjetja težijo k temu, da bi čim bolj zmanjšala stroške prevoza na delo, stroške dobaviteljev in tudi potrošnikov. Prav tako gospodinjstva preračunavajo stroške prevoza na delo in trgovino oz. po opravkih in jih prištevajo k stroškom stanovanja ter drugih dobrin. Dostopnost močno vpliva na ceno zemlje in gostoto (Bid rent theory). Obstajajo pa seveda tudi nekateri nasprotni dokazi.

Raziskave so bile narejene tudi za razvoj mest po izgradnji določene infrastrukture, predvsem železnice, kjer je bilo za nekatera mesta ugotovljeno, da se je povečevalo število stanovanjskih objektov vzdolž proge, spet za druga mesta pa tega ne moremo trditi in se je koncentracija povečala v središčih mesta in ob nekaterih obmestnih postajah.

Pharoah and Apel (1995) sta v svojih primerjavah transportnih konceptov evropskih mest opazila, da imajo strategije, ki spodbujajo uporabo javnega transporta, močne pozitivne vplive na ekonomski razvoj mestnih središč, medtem ko negativni vplivi strategije omejevanje rabe avtomobila, predvsem za lokalne podjetnike, niso bili potrjeni z empiričnimi dokazi.

Obstaja nekaj sistematičnih študij, ki kot skupni rezultat dokazujejo pomembnost dostopnosti lokacije za podjetja v urbanih območjih. Znano je torej, da je obcestni razvoj proizvodnih, veleprodajnih in storitvenih obratov predvsem ob glavnih prometnicah in obmestnih avtocestnih krakih.

Poleg tega, da je študij, ki preučujejo vpliv transporta na rabo tal malo, ima velika večina tudi metodološke težave. Skoraj nemogoče je dovolj kontrolirati raziskavo tako, da bi pravilno izolirali vplive transportnih investicij od drugih razvojnih faktorjev. To je torej pripeljalo do ugotovitve, da je relevantne rezultate raziskav moč doseči le z integriranimi modeli rabe tal in transporta.

Dandanes se pojavljajo vprašanja glede vplivov naraščajočih telekomunikacij, kot enega od načinov transporta, pomena obrobja mest glede na obstoječe transportne kapacitete, predvsem pa ali transport izgublja pomen pri izbiri lokacije. V gospodinjstvu je običajno več zaposlenih članov, ki se vozijo na različne lokacije, stroški selitve so veliki, čedalje bolj narašča delež in pomen potovanj, ki niso povezana z delom, narašča pa tudi pomen udobja, ki ga nudi določena lokacija (prirejeno po [2]).


### 3.3.3 Ugotovitve empiričnih študij rabe tal in transporta

Ugotovitve empiričnih študij za medsebojne vplive dejavnikov so podane v dveh preglednicah.



Preglednica 5 opisuje odnose v smeri, kako raba tal vpliva na transport. Faktorji rabe tal so: gostota poselitve, gostota zaposlenosti, oblikovanje sosesk, lokacije, velikost mest. Opisani so vplivi prej naštetih faktorjev na: dolžino potovanja, pogostost potovanja, izbiro načina potovanja (javni promet, peš, kolo, osebni avtomobil).

Preglednica 6 pa opisuje odnose v smeri, kako transport vpliva na rabo prostora ter v smeri transport na transport. V prvem delu preglednice 6 je faktor transporta dostopnost, opisan pa je njegov vpliv na: lokacijo bivališč, lokacijo industrije, lokacijo pisarn in lokacijo trgovin na drobno. Za drugi del, kjer se opazuje smer transport-transport, pa so vplivni faktorji dostopnost, cena ter čas potovanja. Opisani so vplivi teh faktorjev na dolžino potovanja, pogostost potovanja in izbiro načina potovanja (javni prevoz, peš, kolo, osebni avtomobil).

Preglednica 5: Empirično pričakovani vplivi rabe tal (prirejeno po [14])

Smer	Faktor	Vpliv na	Opazovani vplivi
<p><b>Raba tal</b></p>  <p><b>Transport</b></p>	Gostota poselitve	Dolžina potovanja	Veliko študij podpira hipotezo, da večja gostota v kombinaciji z mešano rabo tal vodi do krajših potovanj. Kakorkoli, vpliv je mnogo šibkejši, če upoštevamo še stroške potovanja.
		Pogostost potovanja	Opaženo le malo ali celo nič vpliva.
		Izbira sredstva	Hipoteza, da je poselitvena gostota v pozitivni korelaciji z uporabo javnega transporta in v negativni z uporabo avtomobila, je večkrat potrjena.
	Gostota zaposlitve	Dolžina potovanja	V večih študijah je bila potrjena hipoteza, da se ravnovesje med delavci in službami kaže v krajših delovnih potovanjih, vendar pa v drugih študijah tega ni bilo moč potrditi. Kakorkoli pa, mono-funkcionalni zaposlitveni centri in spalna obrobja imajo vidno daljša potovanja.
		Pogostost potovanja	Opažen ni bil noben vpliv.
		Izbira sredstva	Večja gostota zaposlitve bo verjetno spodbudila več uporabe javnega prevoza.
	Oblika sosesk	Dolžina potovanja	Ameriške študije potrjujejo, da imajo tradicionalne soseske krajša potovanja kot avtomobilsko orientirana obrobja. Podobni rezultati so bili opaženi tudi v Evropi.
		Pogostost potovanja	Opažen ni bil noben vpliv.
		Izbira sredstva	Tradicionalne soseske imajo značilno višji delež javnega prevoza, peš in kolesarskih potovanj. Kakorkoli pa, faktorji oblike izgubijo na pomembnosti, ko upoštevamo socialno-ekonomske karakteristike prebivalstva.
	Lokacija	Dolžina potovanja	Oddaljenost do glavnih centrov zaposlovanja je pomembna determinanta za prepotovane razdalje.
		Pogostost potovanja	Opažen ni bil noben vpliv.
		Izbira sredstva	Oddaljenost od postaj javnega prevoza močno vpliva na uporabo tega sredstva.
	Velikost mesta	Dolžina potovanja	Povprečne potovalne razdalje so najmanjše v velikih urbanih območjih in največje v ruralnih naseljih.
		Pogostost potovanja	Opažen ni bil noben vpliv.
		Izbira sredstva	Uporaba javnega prevoza je največja v velikih mestih in najmanjša v ruralnih naseljih.

Preglednica 6: Empirično pričakovani vplivi transporta (prirejeno po [14])

Smer	Faktor	Vpliv na	Opazovani vplivi
<b>Transport</b>  <b>Raba tal</b>	Dostopnost	Lokacija bivališč	Bolj dostopne lokacije se razvijajo hitreje. Če se dostopnost poveča v celi regiji, bo stanovanjski razvoj bolj razpršen.
		Lokacija industrije	Obstaja le malo dokazov o vplivih dostopnosti na lokacijo manufaktur, vendar pa so zadostni dokazi za pomembnost dostopnosti za visoko-tehnološka in storitvena podjetja.
		Lokacija pisarn	Razvoj pisarn se pojavlja predvsem na zelo dobro dostopnih lokacijah v središču mesta ali v »pisarniških parkih« in na robovih mesta na urbani periferiji z dobrim dostopom do avtoceste.
		Lokacija maloprodaje	Razvoj maloprodaje se pojavlja na zelo dobro dostopnih lokacijah v središču mesta ali na perifernih območjih z zadostnimi parkirnimi površinami ter dobro cestno dostopnostjo.
<b>Transport</b>  <b>Transport</b>	Dostopnost	Dolžina potovanja	Suburbana razpršenost podkrepljena z dobro dostopnostjo do centra mesta generira daljša delovna in nakupovalna potovanja.
		Pogostost potovanja	Sistematične študije vplivov na pogostost potovanja niso znane.
		Izbira sredstva	Razlike v dostopnosti generirajo premike v izbiri sredstev prek časov in stroškov potovanja (glej spodaj).
	Stroški potovanja	Dolžina potovanja	Opazena je bila elastičnost cene glede na dolžino potovanja v obsegu do -0,3.
		Pogostost potovanja	Sistematične študije pogostosti potovanja kot funkcije stroškov potovanja niso znane.
		Izbira sredstva	Razlike v stroških potovanja vplivajo na izbiro sredstva; brezplačen javni prevoz ne bo zmanjšal deleža voznikov avtomobilov, temveč predvsem kolesarjev in pešcev.
	Čas potovanja	Dolžina potovanja	Prihranki časa iz naslova izboljšav v transportnem sistemu so deloma porabljeni za daljša potovanja.
		Pogostost potovanja	Prihranki časa iz naslova izboljšav v transportnem sistemu so deloma porabljeni za več potovanj.
		Izbira sredstva	Izboljšanja potovalnih časov enega sredstva močno vplivajo na izbiro sredstev potovanja.

Poselitvena gostota in gostota zaposlitve, kakor tudi velika dimenzija aglomeracij ter hiter dostop do javnega prevoza, so v pozitivni korelaciji z modalnim deležem javnega prevoza. Tradicionalne soseske so pokazale izbiro večjega dela katerega od drugih prevoznih sredstev kot avtomobila.

Preglednica 6: Opisuje vpliv prometnih strategij na rabo tal in vzorce v transportu. Slednji vplivi so vključeni, ker so običajno precej močnejši, kot vplivi rabe zemljišč na transport ali transporta na rabo zemljišč.

Pomembnost dostopnosti je odvisna od različnih tipov izrabe površin. Pomembna je za trgovino na drobno, pisarne in stanovanjsko uporabo. Lokacije z večjo dostopnostjo se razvijajo hitreje kot druga

območja. Na splošno vseprisotne izboljšave v dostopnosti izzovejo bolj razpršeno prostorsko organiziranost rabe tal.

Transportne strategije nesporno vplivajo na transportne vzorce. Stroški potovanja in čas potovanja imajo negativen vpliv na dolžino potovanja, medtem ko visoka dostopnost lokacije generira daljša delovna ter prostočasna potovanja. Spremembe v pogostosti potovanja so odvisne samo od izboljšanja časov potovanja, kjer prihranki časa kot rezultat dajo večje število opravljenih potovanj. Izbira prevoznega sredstva, oziroma načina potovanja, je odvisna od relativne privlačnosti sredstva v primerjavi z ostalimi; najhitrejše in najcenejše sredstvo bo imelo največji delež. Vendar pa se ponudba brezplačnega javnega prevoza ne bi bistveno odražala v večji uporabi le-tega s strani voznikov avtomobilov, temveč bolj s strani pešcev ter kolesarjev.

Vplivi transportnih strategij na transportne vzorce so jasnejši in močnejši v primerjavi z vplivi rabe tal na transport ali transporta na rabo tal. Medtem ko imata čas in cena potovanja negativen vpliv na dolžino in pogostost potovanj, ima dostopnost pozitiven vpliv na dolžino in pogostost potovanj. Raziskave glede sprememb v pogostosti potovanj so znane samo za izboljšave časov potovanj, kjer so se časovni prihranki kazali v večjem številu opravljenih potovanj.

### **3.4 Raziskovanje strategij rabe tal in načrtovanja transporta v integriranih modelih**

Uporaba integriranih modelov dovoljuje raziskovanje vplivov strateških ukrepov in boljše ocenjevanje kompromisov med cilji. Določene strategije imajo na določene probleme močne vplive, medtem ko na druge šibke. Prav tako so vplivi lahko pozitivni ali negativni.

Tako prometnih strategij, kot strategij rabe tal, ki se uporabljajo za doseganje bolj trajnostnega urbanega razvoja, je zelo veliko. Najbolj učinkovite vplive za doseganje urbane trajnosti imajo regulacija cen, načrtovanje rabe tal, zagotavljanje in upravljanje infrastrukture, tehnologija vozil in tudi integrirane strategije, saj imajo najmočnejše vplive na probleme. V glavnem se je izkazalo, da so transportne strategije najbolj učinkovite na kratki in srednje dolgi rok, strategije rabe tal, ki delujejo na dolgi rok pa so bistvene za doseganje poselitvene strukture, ki ni preveč razpršena, kot predpogoj za mesta, ki so manj odvisna od avtomobila (prirejeno po [11]).

Preglednici 7 in 8 predstavljata, kako so tipične strategije rabe tal in transporta predstavljene v modelnih študijah (prirejeno po [14]).

Preglednica 7: Vplivi strategij rabe tal v modelnih študijah (prirejeno po [14])

Področje strategije	Tip strategije	Strategija	Primeri	Vplivi na modele
Raba tal	Investicije in storitve	Delovna mesta	Periferni industrijski objekti	Decentralizacija ne-storitvenih zaposlitvenih dejavnosti, negativni ekonomski vplivi na center mesta, majhen vpliv na prebivalstvo. Potovalne razdalje se lahko povečajo, vendar tudi zmanjšajo, če so lokacije bližje že decentralizirani populaciji.
			Zunajmestni nakupovalni centri	Močna decentralizacija vpliva na zaposlitev v maloprodaji in populacijo, negativni pa so ekonomski vplivi na center mesta. Razdalje naraščajo ali upadajo, odvisno od lokacije. Narašča uporaba avtomobila.
			Zaposlitev razporejena tako kot poseljenost	Zmanjševanje potovalnih razdalj in časov potovanja. Mešani so vplivi na izbiro potovalnega sredstva: delež avtomobilov narašča v nekaterih mestih, kjer so delovna mesta bolj razpršena. Delež potovanj peš ali s kolesom narašča, ko se dolžine potovanj krajšajo.
		Bivališča	Nov stanovanjski razvoj koncentriran v subcentrih	Majhen vpliv na potovalne razdalje, izbiro načina potovanja in porabo energije.
	Centralizacija prebivalstva tako kot zaposlitve		Samo malo zmanjšane razdalje potovanj, delež potovanj z avtomobilom in raba energije.	
	Planiranje	Generalni plani rabe tal	Omejitve razvoja (zeleni pas)	Precejšnje upočasnjevanje suburbanizacije prebivalstva in trgovin, kar pomeni pozitiven ekonomski vpliv na center mesta. Razdalje in potovalni časi se zmanjšujejo, narašča delež uporabe javnega prevoza.
Periferna zemljišča postanejo na voljo za razvoj			Pospeševanje suburbanizacije, povečevanje prepotovanih razdalj in deleža uporabe avtomobila.	

Opisani so vplivi strategij rabe tal iz področja delovnih mest, bivališč ter splošnih načrtov rabe tal. Podani so primeri in njihovi vplivi na modele.

Raziskovani so bili različni tipi strategij, ki vplivajo na lokacijo delovnih mest, vključno s konstruiranjem perifernih industrijskih ozemelj in zunajmestnih nakupovalnih centrov, kot tudi

enakomerna porazdelitev zaposlenosti in poselitve. Ugotovljeno je bilo, da decentralizacija objektov negativno vpliva na ekonomijo notranjega mesta, medtem ko sta dolžina potovanja in izbira sredstva odvisna od specifične lokacije in prostorske konfiguracije populacije in objektov v decentraliziranih območjih. Glede na nastanitvene strategije nimata ne centralizacija populacije, ne stanovanjski razvoj v obmestjih značilnega vpliva na ključne indikatorje transporta.

Strategije planiranja izrabe tal imajo velik vpliv ne samo na prostorski razvoj, temveč tudi na vzorce potovanj. Omejitve razvoja, kot so zeleni pas okoli mesta, lahko zavirajo suburbanizacijo prebivalstva in delovnih mest, kar krepi ekonomijo središča mesta.

Preglednica 8: Vplivi transportnih strategij v modelnih študijah (prirejeno po [14])

Področje strategije	Tip strategije	Strategija	Primeri	Vplivi na modele
Transport	Investicije in storitve	Izgradnja cest	Zunanji cestni obroč	Nadaljnja decentralizacija populacije, nejasen vpliv na lokacijo nestoritvenih zaposlitev. Manj zastojev v centru mesta, pozitiven vpliv na trgovine v središču mesta. Potovalne razdalje naraščajo, največ z avtomobilom.
		Linije javnega prevoza	Nove linije javnega prometa	Majhen vpliv na lokacijo prebivališč, razen ko nove radialne linije znatno izboljšajo dostopnost primestnih lokacij, majhen centralizacijski efekt na zaposlitve.
	Predpisi	Prometni predpisi	Omejitve hitrosti za potovanja z avtomobilom	Značilno zmanjšanje dolžine potovanj z avtomobilom in povečanje deleža potovanj z javnim prevozom. Majhen vpliv na lokacijo prebivališč; nekoliko hitrejša decentralizacija zaposlitve.
	Določanje cen in subvencije	Davek na gorivo	Višji davki na gorivo	Močno zmanjšanje števila in dolžine potovanj z avtomobilom in povečanje deleža uporabe javnega prevoza. Upočasnitev decentralizacije zaposlitve in prebivalstva.
		Parkirnine	Višje parkirnine v območju središč	Negativni ekonomski vplivi na notranje mesto in daljša nakupovalna potovanja (z avtomobilom) do zunajmestnih nakupovalnih centrov.
		Cene javnega prevoza	Brezplačen javni prevoz	Manj decentralizacije zaposlitve in več decentralizacije prebivalstva. Koristi za trgovine v središču mesta. Močno povečanje potovalnih razdalj, vendar pa le majhen upad potovanj z avtomobilom.

Opisani so vplivi transportnih strategij s področja konstruiranja cest, linij javnega transporta, regulacij prometa, davkov na gorivo, parkirnin ter cen javnega prevoza. Podani so primeri in njihovi vplivi na modele.

Eden od njih zadeva konstruiranje zunanjega obroča cest, kar se kaže v nadaljnji decentralizaciji, zmanjšanju prometnih zastojev in povečanju razdalj potovanj. Nove linije javnega prevoza imajo le malo vpliva na izbiro lokacij, razen ko nove radialne linije bistveno izboljšajo dostopnost predmestnih lokacij, vendar se nagibajo k krepitvi gospodarstva notranjega mesta. Vpeljevanje omejitev hitrosti se kaže v krajših potovanjih in povečani rabi javnega prevoza. Vpliv zvišanja davka na gorivo na število in dolžino avtomobilskih potovanj je precej močan. Višje parkirnine v središču mesta imajo negativen vpliv na gospodarstvo središča in s tem postajajo bolj privlačni nakupovalni centri izven središča mesta. Brezplačna uporaba javnega prevoza krepi vzorec centraliziranega zaposlovanja in decentralizacije stanovanjskih lokacij. Ta ukrep nima večjega vpliva na količino in dolžino potovanj z avtom (prirejeno po [14]).

Glede na teorije, empirične in modelne študije, ki so podlaga uspešnim strategijam rabe tal in transporta, lahko povzamemo naslednje ugotovitve (prirejeno po [14]):

- Strategije rabe prostora in transporta so z vidika kriterijev, bistvenih za trajnosten razvoj mestnega prometa (redukcija potovalnih razdalj in trajanja potovanj ter redukcija deleža potovanj z avtomobilom), uspešne samo, če zmanjšajo atraktivnost potovanja z avtomobilom (dražje ali počasnejše).
- Strategije rabe prostora za povečanje urbane gostote ali mešane rabe tal brez tega, da bi se hkrati potovanja z avtom podražila ali upočasnila, imajo le majhen efekt, saj bodo ljudje še naprej ustvarjali dolga potovanja, da čim bolj izkoristijo možnosti v okviru proračuna potnih stroškov in časa potovanja. Kakorkoli, pa so te strategije pomembne na dolgi rok, saj zagotavljajo predpogoje za urbani način življenja, ki je manj odvisen od avtomobila.
- Transportne strategije, ki povzročajo avtomobil kot prevozno sredstvo manj atraktiven (dražji ali počasnejši), so zelo učinkovite v doseganju ciljev reduciranja potovalnih razdalj in deleža potovanj z avtomobilom. Odvisne pa so od prostorske organizacije, ki ni preveč razpršena. Dodatno pa omejitve optimalni koordinaciji delovnih mest in stanovanj postavljajo zelo raznoliki trgi dela in različna delovna mesta članov enega gospodinjstva.
- Prostorsko oddaljeni objekti trgovin na drobno ter priložnostnih aktivnosti povečujejo razdalje prepotovane z avtomobilom in delež potovanj opravljenih s tem sredstvom. Strategije rabe tal, ki preprečujejo tak razvoj so bolj učinkovite kot strategije, ki promovirajo razvoj mešane rabe in velike gostote.
- Pomisleki, da so strategije rabe tal in transporta oblikovane tako, da omejujejo uporabo avtomobila v mestnih središčih, kar je škodljivo za sposobnost ekonomskega preživetja mestnih jeder, niso bili v nobenem realnem primeru potrjeni.
- Transportne strategije, ki si prizadevajo izboljšati privlačnost javnega prevoza, v glavnem niso vodile h kakemu večjemu zmanjšanju deleža potovanj z avtomobilom, temveč so prispevale k nadaljnji suburbanizaciji prebivalstva.
- Povzeto, če primerjamo strategije rabe tal in transporta, so slednje mnogo bolj direktne in učinkovite pri doseganju cilja trajnostnega urbanega transporta. Kakorkoli, pa je za dolgoročno ustvarjanje mesta, ki je manj odvisno od avtomobila, ključnega pomena upoštevanje in vključevanje strategij rabe tal.

### 3.5 LUTI modeli

Na podlagi različnih teorij in empiričnih raziskav so se začeli razvijati različni uporabni modeli interakcije rabe tal in transporta za integrirano načrtovanje ali Land Use Transport Interaction modeli – LUTI modeli. Ti so se oblikovali glede na potrebe, omejitve, cilje, attribute in karakteristike obravnavanega območja, običajno torej mesta.

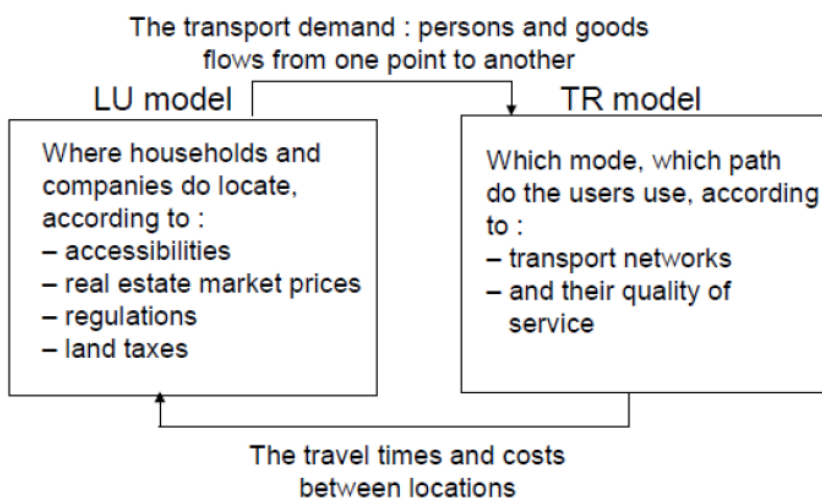


Kot že ugotovljeno, so mesta kompleksni sistemi, ki se soočajo z izzivi v urbani rasti, v zadnjih letih pa se je pojavilo zlasti zanimanje za trajnostni razvoj. Slednje zahteva dobro razumevanje interakcij med komponentami sistema, zlasti med rabo tal, bivališči, udobjem, ekonomskimi aktivnostmi, lokalnim stanjem okolja in stanjem transporta. Šele ko so razumljene in izmerjene te različne interakcije, lahko ocenimo vplive opazovanih strategij in jih razvrstimo po vrsti ali glede na učinkovitost v povezavi s pred-določenimi cilji. Ker upoštevajo in simulirajo te zapletene interakcije ter omogočajo celovito analizo vplivov in njihovo vrednotenje, so LUTI modeli primerno orodje za ocenjevanje strategij, vplivov infrastrukturnih ukrepov (alternativnih kombinacij transporta, ekonomskih in okoljskih strategij) in za izboljševanje investicijskih odločitev z namenom doseganja socialnih, ekonomskih in okoljskih ciljev na ravni mesta.

LUTI modele lahko vidimo kot poenostavitve urbanih sistemov. Poskušajo predstaviti urbane sisteme, z vsemi procesi in interakcijami, kot tudi razvojem skozi čas. Raba tal in transport vplivata eden na drugega na dinamičen in kompleksen način. Dostopnost, ki jo omogoča transport, vpliva na izbire lokacij načrtovalcev, podjetij in gospodinjstev. Obratno pa raba tal pogojuje potrebe po prostorski interakciji. Glavni namen LUTI modelov je razumevanje interakcije med rabo tal in transportom ter posledično zmožnost razlage vpliva sprememb na urbane sisteme, kot so struktura transportnih sistemov, vzorci rabe tal in okolje (prirejeno po [8]).

Glavno merilo je dostopnost, ki je na splošno merilo privlačnosti. Pomemben vidik modelov je, da dostopnost meri kako so možnosti ciljev, kot so delovna mesta, lokacije nakupovanja in sprostitev itd., povezane med sabo s transportnim omrežjem in kako lahko te lokacije dosežemo. Opredelimo lahko različne komponente dostopnosti (prirejeno po [8]).

V LUTI modelih obstajata dve glavni komponenti: raba tal in transport. Interakcija med tema dvema komponentama je jedro modelov (prirejeno po [11]). LUTI modeli poskušajo zajeti odzive med shemami rabe tal in transporta z namenom izboljšanja urbanističnega planiranja. Raba tal in transport vplivata eden na drugega na dinamičen in kompleksen način. Dostopnost, ki jo omogoča transport, vpliva na izbire lokacij načrtovalcev, podjetij in gospodinjstev. Obratno pa raba tal pogojuje potrebe po prostorski interakciji. Zato morajo procesi modeliranja urbanih sistemov vključevati integriran pogled na interakcijo med rabo tal in transportom, kar je zagotovljeno z LUTI modeli (prirejeno po [8]). Na sliki 7 je prikazana ta interakcija.



Slika 6: Osnovna interakcija rabe tal in transporta, ki je v jedru LUTI modelov (vir: [11])

Glavne prednosti LUTI modelov so:

- Dovoljujejo simuliranje kompleksnega socialno-ekonomskega sistema mesta.
- Dovoljujejo upoštevanje velikega števila interakcij in povratnih zank, ki jih ne moremo zajeti s preprostejšimi modeli.
- Ker upoštevajo spremembe lokacije, so kazalci, ki jih zagotavljajo, elastični; ocenjeni vplivi so dolgoročni.
- Zagotavljajo kazalce, ki so povezani z vsemi tremi dimenzijami trajnosti (socialna, ekonomska in okoljska) in s tem omogočajo celovito oceno strategij.
- Kot simulacijsko orodje dovoljujejo oceno ne le posamezne strategije, temveč tudi oceno in primerjavo paketa strategij.
- Gre do en korak dlje kot preproste kalkulacije niza kazalcev: LUTI modele je mogoče povezati s socialno-ekonomskimi ocenjevalnimi metodami, kot je analiza po več merilih, analiza stroškov in koristi ali funkcija socialnega varstva.

### 3.5.1 Predstavitev urbanega sistema oziroma mesta v LUTI modelih

Predmet modeliranja z LUTI modeli je urbani sistem. Model naj bi bil poenostavljena slika realnosti, torej v tem primeru poenostavljena slika urbanega sistema ali mesta. V poenostavljenih pojmih je mesto lahko razumljeno kot skupina sredstev ali akterjev, ki so v medsebojni interakciji na določenem območju. Nekatera od teh sredstev, kot so gospodinjstva ter podjetja, potrebujejo svojo lokacijo in zato ustvarjajo potrebo po zemlji ali stavbah. Druga sredstva, kot so lastniki zemlje ali načrtovalci, pa proizvajajo stavbe in stanovanja, ki so potem ponujena gospodinjstvom in podjetjem. Tretji tip sredstva pa je oblast, oziroma vlada, ki regulira trg nepremičnin (prirejeno po [6]).

Kot že opisano v točki 2.2.1, lahko mesto predstavimo kot skupek osmih, oziroma devetih podsistemov: infrastrukturna omrežja, transport dobrin, zaposlitve, delovna mesta, raba tal, bivališča, prebivalstvo, potovanja in urbano okolje. Grobo so lahko razvrščeni v širše kategorije podsistema, odvisno od hitrosti, s katero se spreminjajo (slika 2). Mestno tkivo, sestavljeno iz infrastrukturnih omrežij in vzorcev načinov rabe zemljišč je predmet zelo počasnih sprememb skozi čas. Delovna mesta in bivališča se spreminjajo relativno počasi, medtem ko zaposlitvena in stanovanjska populacija hitro prilagodi svoje prostorsko obnašanje glede na spremembe. Transport dobrin in destinacije potovanj so najbolj fleksibilni pojavi urbanega prostorskega razvoja. Lahko se spremenijo skoraj hipno, glede na spremembe v prometnih zastojih ali nihanju povpraševanje. Deveti podsistem, urbano okolje, je bolj kompleksno glede na njegovo časovno vedenje, saj vsebuje antropološke elemente, ki so povezani z biološkimi in fizikalnimi procesi.

Hitrost spreminjanja podsistema pa je odvisna od tega, kakšne aktivnosti izvajajo akterji, oziroma sredstva na njih. Okolje, pravni predpisi in infrastruktura so scena, na kateri ekonomski akterji (osebe) ali skupine akterjev (gospodinjstva, podjetja) izvajajo svoje aktivnosti. Aktivnosti sestavljajo sistem rabe tal v smislu, da le-ta izhaja iz odločitev socialno-ekonomskih akterjev, kje bodo opravljali dejavnosti. Ostali sistemi so oblikovani z drugimi aktivnostmi; družba gradi stavbe in ceste, spreminja režime rabe tal in vpliva na ekosisteme.

Aktivnosti lahko vidimo kot verigo odločitev. Niso vse sprejete enako pogosto – tiste, povezane s potovanjem sprejemamo dnevno in povsem spontano, medtem ko so odločitve, da bi npr. gradili hišo mnogo manj pogoste. Zato se torej podsistemi spreminjajo z različno hitrostjo (prirejeno po [8]).

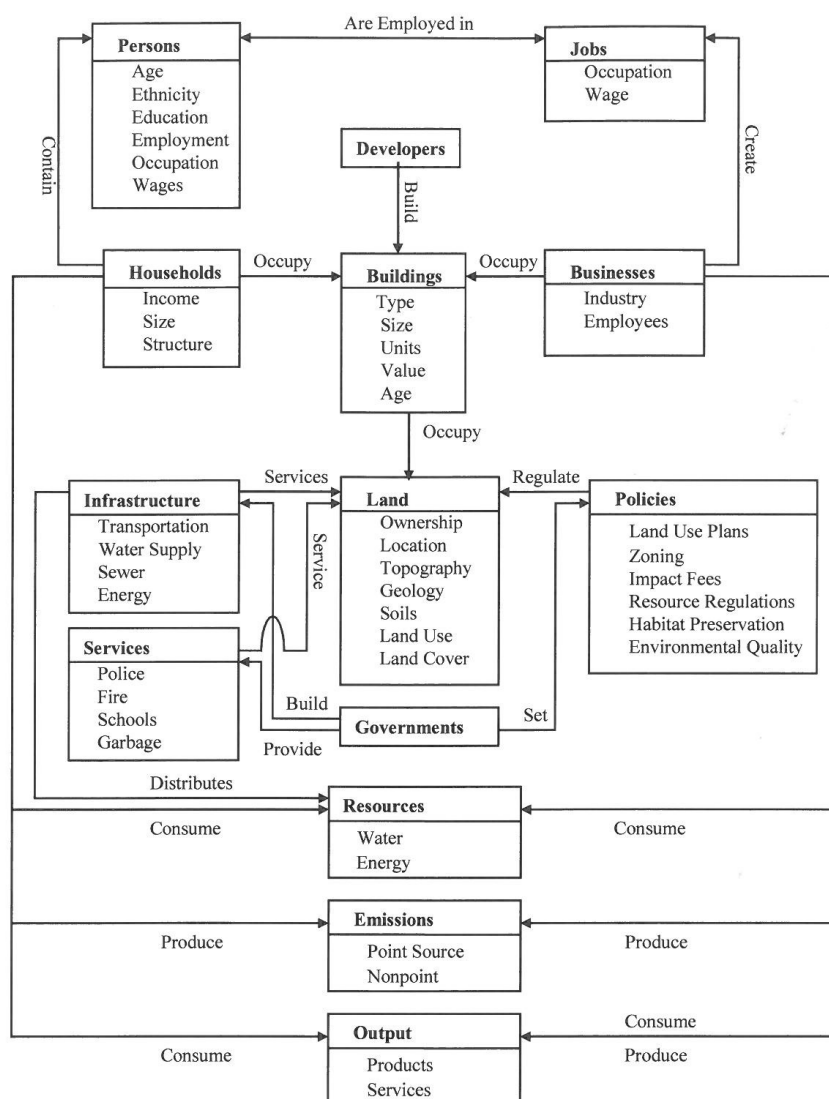
Prostorska porazdelitev lokacij aktivnosti sestavlja sistem rabe tal. Sistem sestoji iz specializiranih krajev, ki omogočajo določene dejavnosti, kot so bivanje, delo ali potovanje. Ker specializacija

pogosto vodi do ločevanja, se kot vmesna aktivnost pojavi potovanje. Potovanja oseb in transport dobrin v transportnih omrežjih, sestavljajo transportni sistem.

Atraktivnost lokacije je odvisna od tega, kako lahko jo je doseči. Ker pa je delovanje transportne infrastrukture odvisno od zmožljivosti in uporabe, je atraktivnost lokacije večja, če je bolj pogosto obiskana. Glavno merilo v tem kontekstu je dostopnost, ki je na splošno merilo privlačnosti. Definira, kako lahko dosežemo določeno lokacijo ali kako lahko je moč iz te lokacije priti do drugih. Pomemben vidik modelov je, da dostopnost meri kako so možnosti, kot so delovna mesta, lokacije nakupovanja in sprostitev itd., povezane med sabo s transportnim omrežjem. Merjenje dostopnosti bi torej moralo biti občutljivo na spremembe v generaliziranih potnih stroških in prostorski razporeditvi dejavnosti (prirejeno po [8]).

Urbani LUTI modeli vključujejo najbolj osnovne procese prostorskega razvoja, vključno z vsemi tipi rabe tal. Mesto je modelirano tako, da je površinsko razdeljeno na enote v smislu parcel ali con, ki vključujejo tudi celotno infrastrukturo na tem območju, stavbe, gospodinjstva, službe, osebe ipd., pa so identificirani kot posamezni agenti. Promet v teh sistemih je lahko modeliran z endogenimi ali eksogenimi transportnimi modeli.

Na spodnji sliki je predstavljena povezava med vsemi elementi, ki si predstavljene v urbanem sistemu in interakcije med njimi.



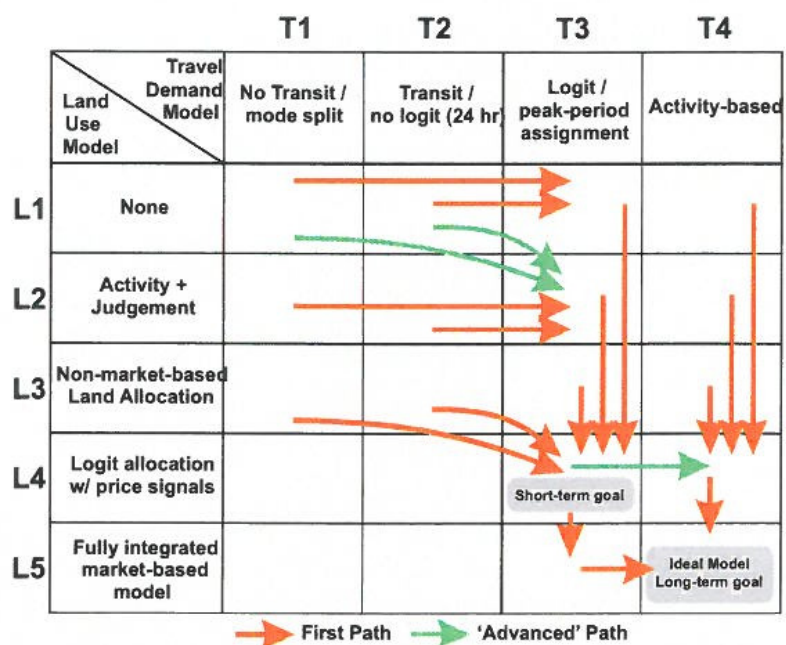
Slika 7: Sredstva, izbire in interakcije, ki sestavljajo urbani sistem (vir: [10])

### 3.6 Evolucija LUTI modelov

Dandanes je v uporabi veliko integriranih LUTI sistemov. Med njimi je več razlik in variacij, glede na različne lastnosti (celotna struktura, teoretične osnove, tehnike modeliranja, celovitost modeliranja, dinamika, zahteve po podatkih...). Kljub vsem dosežkom v razvoju modelov, pa je še vedno veliko izzivov.

Prvi poskus implementacije prej omenjenega cikla »land-use transport feedback cycle« na operativnem modelu je izvedel Lowry (1964) na svojem »Modelu metropolisa« (Model of Metropolis). Ta model je stimuliral veliko število naraščajoče kompleksnih pristopov modeliranja. Iz teh pionirskih začetkov se je razvil širok spekter različnih pristopov za modeliranje urbane rabe tal in transporta.

Na sledeči sliki je predstavljena povzeta matrika, v kateri je predstavljena evolucija modelov rabe tal in transporta. Vrstice ustrezajo različnim stopnjam zmogljivosti modeliranja rabe tal, stolpci pa predstavljajo različne stopnje zmogljivosti modeliranja potovalnih potreb.



Slika 8: Evolucija modelov rabe tal in transporta (vir: [9])

Vrstice si torej lahko razlagamo sledeče (prirejeno po [14]):

- L1 Ni modela rabe tal
- L2 Aktivnosti so dodeljene conam glede na profesionalno presojo
- L3 Model lociranja rabe tal, ki ne temelji na trgu
- L4 Lociranje rabe tal z usmeritvami cen
- L5 Popolno integriran model, ki temelji na trgu
- L6 Model rabe tal, ki temelji na aktivnostih in uporablja mikrosimulacijo

Podobno stolpci pomenijo:

- T1 Modelirane so samo ceste in potovanja z avtomobilom
- T2 Javni prevoz s poenostavljeno izbiro sredstev
- T3 Logaritmično osnovana izbira sredstva, upoštevanje ur prometnih konic
- T4 Potovalni model, ki temelji na aktivnostih in uporablja mikrosimulacijo

Vsaka celica v matriki tako predstavlja kombinacijo modeliranja rabe tal in transporta. Puščice pa ponazarjajo pot za razvoj zmogljivosti LUTI modeliranja.

Prepoznamo lahko štiri različne izvore glavnih tehnik modeliranja kot osnovo obstoječih LUTI sistemov, ter tri valove razvoja (prirejeno po [8]):

1. Prostorska interakcija in gravitacijski modeli
2. Ekonometrični modeli
3. Mikrosimulacijski modeli

Vsakega od teh valov je sprožil teoretični ali tehnični razvoj. Prvi, Lowry-jev model je temeljil na gravitacijski teoriji. Te prve modele so nato povzeli ekonometrični modeli v 70-ih. Naslednji korak je sledil z razvojem modela diskretne izbire in razvojem informacijskih tehnologij, kar je naredilo mikrosimulacijo zelo privlačno. Tretji val je torej sprožila kombinacija teoretičnega razvoja modela diskretne izbire, tehnične izvedljivosti mikrosimulacije in družbenega prizadevanja zaradi onesnaženja in podnebnih razprav.

Iz tega so se razvile različne kategorije LUTI modelov.

### 3.6.1 Kategorije modeliranja rabe tal

Obstajajo različne kategorije modeliranja rabe tal (prirejeno po [15]):

- Modeli tipa Lowry (Spatial Interaction Model)
- Spatial Input-Output Models (prostorski vhodno-izhodni modeli)
- CGE modeli (mikro-simulacijski modeli)
- Simulacijski modeli (Cellular Automation Model – modeli celičnih avtomatov)
- Modeli, ki temeljijo na pravilih (Rule Based Models)

#### Modeli tipa Lowry (Spatial Interaction Model)

Lowry-jev model metropolisa (Lowry's Model of Metropolis) (1964) je bil prvi poskus uporabe povratnega cikla rabe tal in transporta na operativnem modelu. Model temelji na Newtonovem zakonu gravitacije. Porazdelitev demografskih podatkov je funkcija privlačnosti in potnih stroškov, povezanih z lokacijami.

#### Spatial Input-Output Models

Modeli obravnavajo prostorske vzorce lokacij gospodarskih dejavnosti, pretoka blaga in ljudi med območji oziroma conami. Podaja statične ravnovesne rešitve za spremembe enega ali večih vhodnih podatkov.

#### CGE modeli (mikro-simulacijski modeli)

CGE (Computable general equilibrium – izračunljivo splošno ravnotežje) modeli so razred ekonomskih modelov, ki uporabljajo dejanske ekonomske podatke za ocenjevanje, kako bi lahko gospodarstvo reagiralo na spremembe v strategijah, tehnologijah ali v drugih zunanjih faktorjih. Pojasnjevalne spremenljivke odražajo značilnosti posameznikov ter procese sprejemanja njihovih odločitev. Ti modeli so lahko razumljivi in lahki za izvajanje, saj so procesi sprejemanja odločitev lahko modelirani na individualni ravni.

Eden od modelov v tej kategoriji je tudi UrbanSim, ki bo opisan kasneje.

#### Simulacijski modeli (Cellular Automation Model – modeli celičnih avtomatov)

V CA urbanih modelih celice simulirajo različne tipe sprememb v rabi tal skozi čas. Modeli so sestavljeni iz štirih elementov: prostora celice, stanja celice, časovnih korakov in pravil sprememb. Ne morejo pa predstavljati subjektivnih odločanj za spremembe v rabi tal, kot so obnašanje gospodinjstev, zaposlenih ter ekonomskih sprememb in sprememb v strategijah.

### **Modeli, ki temeljijo na pravilih (Rule Based Models)**

Uporabno orodje za marsikatero načrtovalsko organizacijo za testiranje dolgoročnih scenarijev, saj so enostavni za uporabo. Razvili so se na ekonomskih teorijah in pravilih trga, vendar niso dovolj celoviti, da bi modelirali kompleksne ekonomske in tržne procese.

Vsak model ima svoje prednosti in slabosti ter omejitve in noben od njih ni najboljši za vse situacije. Izbira modela temelji na: namenu modeliranja, občutljivosti na strategije rabe tal in transporta, potrebi po podatkih in dostopnosti podatkov ter zmožnostih modeliranja (čas, strokovnost in proračun).

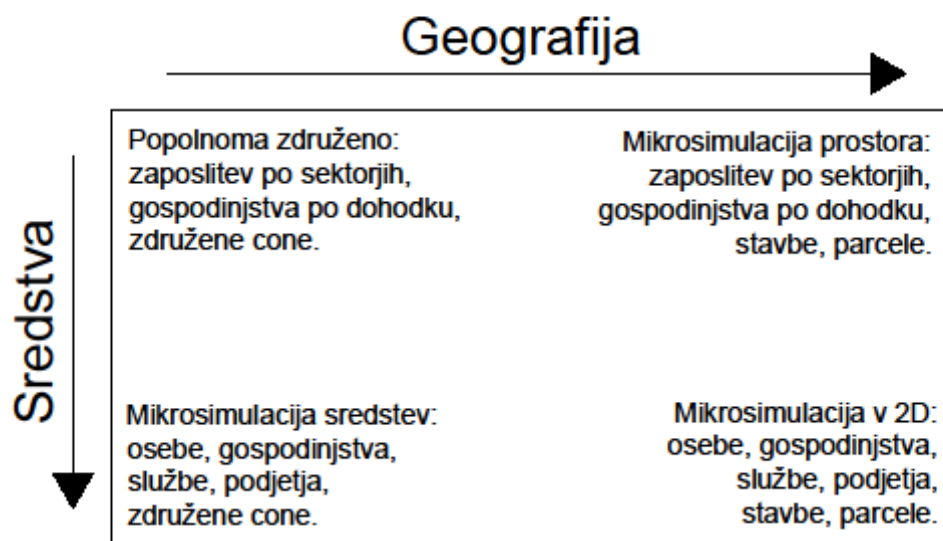
Veliko sedanjih modelov je še vedno pregrobih za oblikovanje strategij obsega in učinkov sosesk. V bodoče je zelo verjetno, da bo pomembno vlogo igrala integracija okoljskih podmodelov za kakovost zraka, hrupa iz izvora prometa, zavzemanja prostora in biotopov. Pričakuje se, da bodo podobno pomembnost pri izgradnji modelov zahtevali problemi prostorske enakosti in socialno-ekonomske porazdelitve (prirejeno po [14]).

### **3.6.2 Pristopi k integriranemu modeliranju**

Razlike med oblikami modelov so tudi posledica različnih pristopov k integriranemu modeliranju. Pri ustvarjanju modelov se pojavljajo vprašanja kot so:

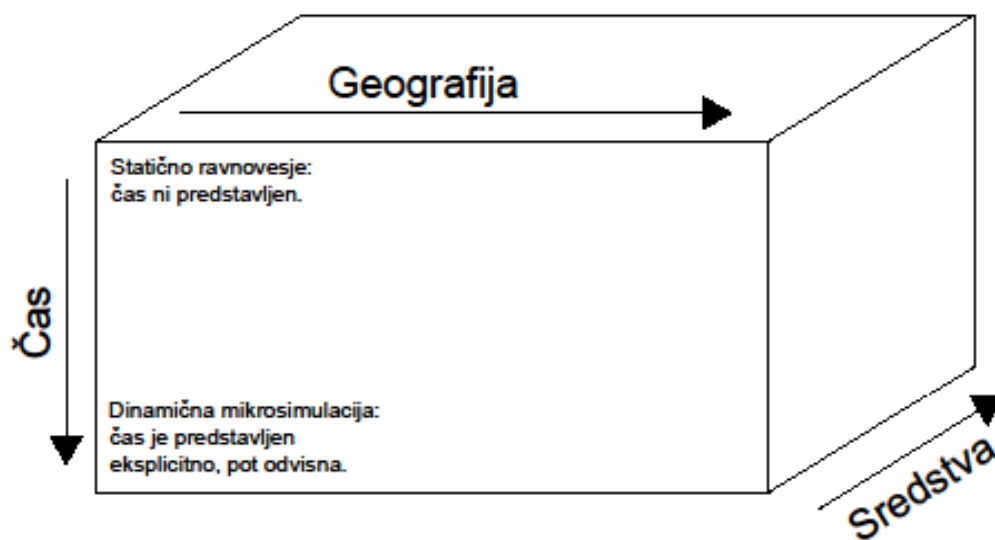
- Koliko detajlov potrebujemo v integriranem modeliranju, da bodo predstavitve strategij in posledično rezultati relevantni?
- Kako majhne prostorske enote, oziroma cone naj uporabljamo?
- Ali sploh uporabljamo cone, ali raje parcele oziroma manjše mrežne celice?
- Koliko detajlov potrebujemo v smislu prebivalstva in zaposlitve?
- Ali uporabljamo združevanje gospodinjstev in služb ali delamo na principu mikrosimulacije?
- Kateri detajli sploh so pomembni?
- Katere pristranske predpostavke imajo naši modeli, če izpustimo detajle?
- S kakšnimi napakami se soočamo, če uporabljamo preveč detajlov?

Pri vprašanju glede količine detajlov si lahko pomagamo s ponazoritvijo različne dimenzionalnosti pristopov. Obstajata namreč tako-imenovana dvo-dimenzionalni in tri-dimenzionalni pristop.



Slika 9: Detajli pri dvo-dimenzionalnem pristopu modeliranja (prirejeno po [16])

Dvo-dimenzionalni pristop: v medsebojni korelaciji so sredstva (od popolnoma združenih po določenih kriterijih, do mikrosimuliranih sredstev, kot so posamezna oseba, gospodinjstvo...) in geografija.



Slika 10: Detajli pri tri-dimenzionalnem pristopu modeliranja (prirejeno po [16])

Tri-dimenzionalni pristop: v medsebojni korelaciji sredstva, geografija in čas.

Naslednje pomembno vprašanje pa je, ali delati na modelih združevanja ali z mikrosimulacijo.

Tradicionalni modeli, od začetka pojava modelov, pa do 90-ih let prejšnjega stoletja, so vsi delovali na principu združevanja sredstev v enote in podskupine glede na določene kriterije. To pomeni, da so se



za analizo uporabljale velike cone ter združevanje služb in gospodinjstev v majhno število tipov. Modeli so delovali na principu iskanja ravnovesja, z iterativnimi rešitvami za doseg statičnega ravnovesja, brez predstavnosti kronološkega časa ali odvisnosti od poti. Kalibracija v teh modelih je bila ročna. Primeri takih modelov so prostorsko-interakcijski (gravitacijski) modeli in prostorski »Input-Output« modeli. Ekonomski modeli uporabljajo reprezentativno sredstvo kot motivacijo modela, urbana ekonomija pa je zasnovana na monocentričnem modelu, ki je razdeljen predvsem glede na vrsto industrije ter deli gospodinjstva po visokem oz. nizkem prihodku.

Glavni razlogi v prid obravnavi sredstev na ravni združevanja so (prirejeno po [16]):

- podatki so bolj kompaktni ter lažji za uporabo (kadar uporabljamo manjše število tipov),
- to privede do preprostejših modelov (odvisno od logike in kompleksnosti modela),
- modeli tečejo hitreje (odvisno od kompleksnosti),
- manj napak v predpostavkah na račun združevanja.

Vendar pa ima uporaba teh modelov tudi veliko proti argumentov. Glavne negativne lastnosti, zaradi katerih so te modele izpodrinili mikrosimulacijski modeli, so (prirejeno po [9]):

- hiperobsežnost (poskušajo odražati preveliko stopnjo kompleksnosti realnega sveta in reševati preveč problemov hkrati),
- površnost (stopnja detajlov je bila pregraba, da bi bila dovolj uporabna za načrtovalce strategij),
- velike zahteve po podatkih,
- napačne interpretacije (pripisovanje individualnega obnašanja in skupnih podatkov, omejitve, ki niso dobro dokumentirane),
- zapletenost (interakcije med zelo kompleksno sestavljenimi sestavinami),
- mehničnost (odvisnost zaporedja in ponavljajoča se konvergenca sta nerealistični),
- zelo dragi modeli

Kot glavne usmeritve za izboljšave je bilo predlagano, da bi bilo modele potrebno narediti bolj transparentne, tako za načrtovalce strategij, kot za ostale uporabnike. Potrebno je kombinirati teoretične osnove, objektivne informacij in modrost presoje in izhajati iz realnih problemov ter oblikovati modele tako, da so naslovljeni na te probleme. Ena od pomembnih usmeritev je tudi, da je potrebno zgraditi najbolj preprost model kar se da, a da vseeno zajema vse potrebne komponente ter je relevanten in uporaben (ne preprostejši).

Leta 1995 je v Dallasu potekala TMIP (Travel Model Improvement Program) konferenca modeliranja rabe tal, kjer so se zbrali pravniki, akademiki in svetovalci za oceno stanja v praksi. Glede na dotedanje modele so bile podane kritike, da je preveč omejitve podatkov, pretirana poraba virov, truda in časa, modeli so preveč zapleteni in nedostopni, vsebujejo nezadostne teorije in vedenjske vsebine, preizkusi in potrjevanja ter validacije pa so neustrezne. Za razvoj novih modelov so bili kot primerni navedeni modeli diskretne izbire, dezagregacija ter prednost dinamičnih pristopov pred statičnimi in sistemi modularnih modelov.

Kasneje je zato vse več modelov prevzelo princip razdruževanja. Mikrosimulacijski modeli so drugačni v osnovi, saj predstavljajo posamezna sredstva, torej osebe, gospodinjstva, službe ipd.

Transportni podmodeli, uporabljeni v trenutnih modelih, uporabljajo tradicionalni štiristopenjski model, ki je neustrezen za modeliranje vedenjskih odzivov na mnoge trenutno veljavne strategije upravljanja transporta. Najbolj obetavna tehnika za modeliranje transporta na podlagi aktivnosti je

mikrosimulacija, ki omogoča reprodukcijo kompleksnega prostorskega obnašanja posameznikov v merilu ena-na-ena (prirejeno po [14]). Z usmerjanjem modeliranja transporta proti potovanjem, ki temeljijo na dejavnostih, se je povečala tudi potreba po prostorski in individualni stopnji mikrosimulacije rabe tal. Za uporabo mikrosimulacije tako v modelih rabe tal, kot transportnih modelih, obstajajo podobni motivi. S tem je namreč omogočena boljša predstava dejanskega obnašanja, s tem pa so modeli tudi bolj razumljivi. Prav tako se z njimi lažje predstavi dinamika in odvisnost od poti. Vendar pa so hkrati težji za kalibriranje in validacijo.

Glavni razlogi v prid mikrosimulacijski obravnavi sredstev so (prirejeno po [16]):

- podatki so lažje razumljivi, bolj naravni ter lažji za delo, saj predstavljajo realna sredstva,
- modeli so lahko bolj transparentni v njihovi logiki (sredstva se odločajo),
- izognemo se ekološkimi zmotam,
- parametri modelov so manj pristranski.

Vzrok za različne modele je tudi različen pristop glede časovne komponente, katera pa je osnova vsem modelom. Časovno je namreč odvisna tudi interakcija med povpraševanjem in ponudbo nepremičnin, saj je povpraševanje elastično na kratek rok, ponudba pa v istem časovnem intervalu neelastična. Spremembe v povpraševanju zahtevajo odgovor ponudbe, vendar časovni zamiki in omejitve lahko ustvarijo določena neravnovesja.

Prvi urbani modeli so v glavnem zanemarili čas - statično ravnovesje izhaja iz ekonomskega področja, to je atraktivno za teoretične analize, saj vseskozi sledi začetnim predpostavkam in zagotavlja konsistentne odgovore ves čas. Novejši modeli pa so začeli predstavljati čas bolj eksplicitno. Empirična opazovanja namreč kažejo, da so trgi pogosto v trajnem neravnovesju: hipotekarna kriza in posledična globalna recesija. Vse bolj pogosto se predstavlja letne časovne korake, ki kažejo različne odzivne čase v oskrbi z nepremičninami, spremembah lokacije gospodinjstva med letom, poslovnimi lokacijami in cenami. Spremembe danes imajo vplive na kasnejše odločitve, napačno in nepopolno predvidevanje pa lahko povzroči propad načrtovalcev. Uporabno načrtovanje rabe tal se premika v smeri eksplicitnega prikazovanja časa z odvisnostjo od poti in dinamičnim prilagajanjem, namesto statičnega ravnotežja (prirejeno po [16]).

Kot že omenjeno, LUTI modeli za obravnavo uporabljajo različne enote prostora, ki določajo lokacijo. Prvi modeli združevanja so uporabljali velika območja in cone, kasneje pa so se analize začele izvajati na manjših enotah, kot so parcele ali pa se območje razdeli na mrežne celice. Razlogi, ki govorijo v prid analizi na ravni con namesto parcel so predvsem, da za analizo na ravni con potrebujemo manj podatkov, modeli so lažji za razvijanje, prav tako pa je lažje diagnosticiranje in ugotavljanje ter validacija rezultatov. Vseeno pa ima tovrstna analiza kar nekaj omejitev in pomanjkljivosti, saj so rezultati modelov tako močno odvisno od konfiguracije con, prav tako parametri. Pojavljajo se tudi ekološke zmote, v smislu napake sklepanja o ravnanju posameznika glede na skupne podatke. Prav tako pa so slabo upoštevana potovanja na ravni hoje. Vse to skuša popravljati analiza na ravni parcel, ki ima poleg tega še prednost, da so podatki za tako analizo vedno bolj dostopni iz davčnih in gospodarskih virov. Prav tako so parcele realne in predstavljajo del zemlje, ki je lastniški, omejen in razvit v določeni smeri. Pri taki analizi je lažje združevati lokalne plane in območja z regionalnimi načrti. Obstajajo pa tudi razlogi proti analizi na ravni parcel, kot so velika količina predvsem neurejenih podatkov, katerih procesiranje je dolgotrajno, težko je standardizirati podatke preko različnih oblasti, predvsem pa lahko traja več let, da se uspe vzpostaviti baza podatkov parcel tako, da je uporabna za splošne tehnike obravnave podatkov. Trenutno uporabno načrtovanje se vseeno nagiba

k analizam na ravni parcel, vendar z naraščajočim interesom v oblikovanje prostorske hierarhije: najprej soseske, nato parcele.

### **3.6.3 Idealni LUTI modeli (prirejeno po [9])**

Miller, Kriger in Hunt so leta 1998 združili vse glavne zaželenne značilnosti dinamičnih mikrosimulacijskih modelov in s tem opredelili t.i. idealni model.

Fizični sistem tega modela naj bi v časovnem smislu izgledal tako, da poteka dinamični razvoj stanja sistema v enoletnih časovnih korakih, stanje sistema pa v splošnem ni v ravnovesju. Potrebno je tudi pravilno predstaviti interakcije med dolgoročnimi procesi. Kar se tiče tal, bi moral tak sistem kot osnovno enoto uporabljati individualno zemljišče. Prav tako morajo biti eksplicitno predstavljeni stavbni kompleksi; vsako zemljišče ima določeno površino, količino prostora, označeno po tipu, ceni... Transportno omrežje mora biti celovito, predstavljeno multimodalno, s sistemi za prevažanje tako ljudi, kot dobrin. V zadostni meri pa morajo biti predstavljene tudi ostale storitve za namen modeliranja odločitev razvoja tal.

V popolnem modelu so vršilci odločitev trije: osebe, združene v gospodinjstva, podjetja in javni organi. Tako osebe kot gospodinjstva morajo biti nazorno vsebovana v določenih detajlih, da lahko modeliramo različne procese interesov. Prav tako nazorno morajo biti predstavljena podjetja. Javni organi pa so zastopani v modelu, v kolikor generirajo notranje vplive (zaposlovalci na delavce, povpraševalci na storitve itd.). Še vedno pa so predstavljeni predvsem v obliki zunanjih vhodnih podatkov v model.

Procesi, ki se odvijajo v modelu izhajajo iz različnih vidikov. Kar zadeva trg, morajo razvoj tal, stanovanjski objekti, poslovne površine in delo vsi funkcionirati v okviru ekonomskih trgov, ki vsebujejo komponente ponudbe in povpraševanja ter kazalnike za cene, ki posredujejo med ponudbo in povpraševanjem. Ti ekonomski trgi morajo biti natančno modelirani, če želimo pravilno zajeti njihovo obnašanje skozi čas. Načrtovalci razvoja tal so v modelu predstavljeni posebej, kot agenti, ki razvijajo individualno lastnino, ali implicitno, kot kolektivna entiteta, ki proizvaja novo ponudbo nastanitev in poslovnih površin ter jih locira na parcele. Demografski procesi morajo biti modelirani endogeno, da je v vsakem trenutku zagotovljena reprezentativna porazdelitev populacijskih atributov (osebe in gospodinjstva) in da so ti atributi dovolj podrobni, da podpirajo vedenjske odločitvene modele, ki se uporabljajo. Osebe in gospodinjstva morajo biti torej dovolj dobro opisani, v smislu značilnosti, navad, strukture, statusa, družbenega razreda itd. (število oseb v gospodinjstvu, starost, izobrazba, delovna mesta, število avtomobilov...). V okviru pojma regionalne ekonomije bi morale biti bistvene sestavine procesov urbane proizvodnje oz. porabe, modelirane endogeno. Vseeno pa mora model upoštevati makro zunanje faktorje, kot so obrestne mere, nacionalne migracijske strategije ipd. Komponenta potovalnih potreb in povpraševanja mora temeljiti na dejavnostih in biti dovolj razčlenjena, a ustrezno zajame odzive tistih, ki potujejo, na celoten nabor transportnih strategij. V okviru procesov je pomembno tudi lastništvo vozil, ki bi moralo biti za gospodinjstva v modelu določeno endogeno (število, tip vozil...).

Zaradi različnih variacij pa težko najdemo univerzalen idealen model. Za različne velikosti metropolitanskih območij, ekonomska stanja, topografske in okoljske omejitve, stopnje rabe tal in različne politike upravljanja rasti, za različne mreže transportne infrastrukture in transportnih strategij, sestave vlade in predvsem za naravo strateških vprašanj, zaradi katerih modeliramo, obstajajo različni idealni modeli.

### 3.7 Računalniško modeliranje rabe tal in prometa

Edina smiselna oblika izvajanja matematičnih modelov je v obliki računalniškega modeliranja, oziroma z ustvarjanjem računalniških aplikacij in pripomočkov za simulacijo. Računalniki lahko obdelajo obilico podatkov hkrati, jih razvrstijo, združijo, analizirajo ter podajo rezultate glede na zahtevane kriterije, ki izhajajo iz potreb simuliranja. Tako lahko torej upoštevamo mnogo več dejavnikov ter zajamemo več podatkov glede aktivnosti in značilnosti delujočih sredstev. Vsakemu individualnemu akterju (oseba, gospodinjstvo, služba...) lahko pripišemo določene attribute, na podlagi katerih programi lahko sami predvidijo njihovo obnašanje. Olajšano je tudi vrednotenje rezultatov, saj jih po potrebi združimo, razvrstimo in prikazemo. S tem dobimo bolj jasno sliko vplivov strategij, ki je tudi lažje predstavljiva širšemu občinstvu. V mnogo krajšem času lahko preverimo učinkovitost in smotrnost različnih teorij in strategij ter variant in se tako odločimo za najboljšo glede na podane kriterije.

S programskim modeliranjem lahko pridobimo rezultate, ki jih je včasih težko predvideti, kot na primer sprememba v prometu na popolnoma drugem koncu mesta, kot smo zgradili določeno infrastrukturo ali objekte. Tako lahko včasih ugotovimo, da mogoče ni potrebna nova investicija, temveč le spremembe in izboljšave v starem sistemu.

Čedalje večjo vlogo pri načrtovanju urbanih sistemov pa ima okolje, katerega lahko prav tako vključimo v programske modele. Z geografskimi omejitvami glede na cone varovanja in zaščite tal ter rastlinskih in živalskih vrst, ohranjamo zaščitena območja in jih lahko smiselno vključimo v sistem rabe tal. To pa obratno pomaga k pravilni umestitvi novih investicij izven nevarnih (poplavnih, plazovitih...) območij. Programska oprema lahko upošteva tudi vplive novih strategij na onesnaženost tal, vode in zraka.

Prednost programske implementacije LUTI modelov je predvsem v velikem prihranku časa, večjem obsegu obdelanih podatkov, ponovljivosti simulacij s spreminjanjem določenih vhodnih podatkov ter hitri in lahki primerjavi različnih scenarijev, bolj relevantnih rezultatih, saj je možnost za napake manjša, večji predstavnosti rezultatov v obliki grafov, tabel in tudi z grafičnimi prikazi na kartah ali zemljevidih ter posledično večji uporabnosti rezultatov. S programskimi modeli lahko upoštevamo interese različnih skupin ter na podlagi rezultatov rešujemo spore med njimi in iščemo ekonomsko, gospodarsko ali pa okoljsko najbolj primerno rešitev. Velika prednost takih modelov je namreč tudi to, da lahko vključimo značilnosti okolja ter omejitve in regulative iz naslova varovanja le-tega.

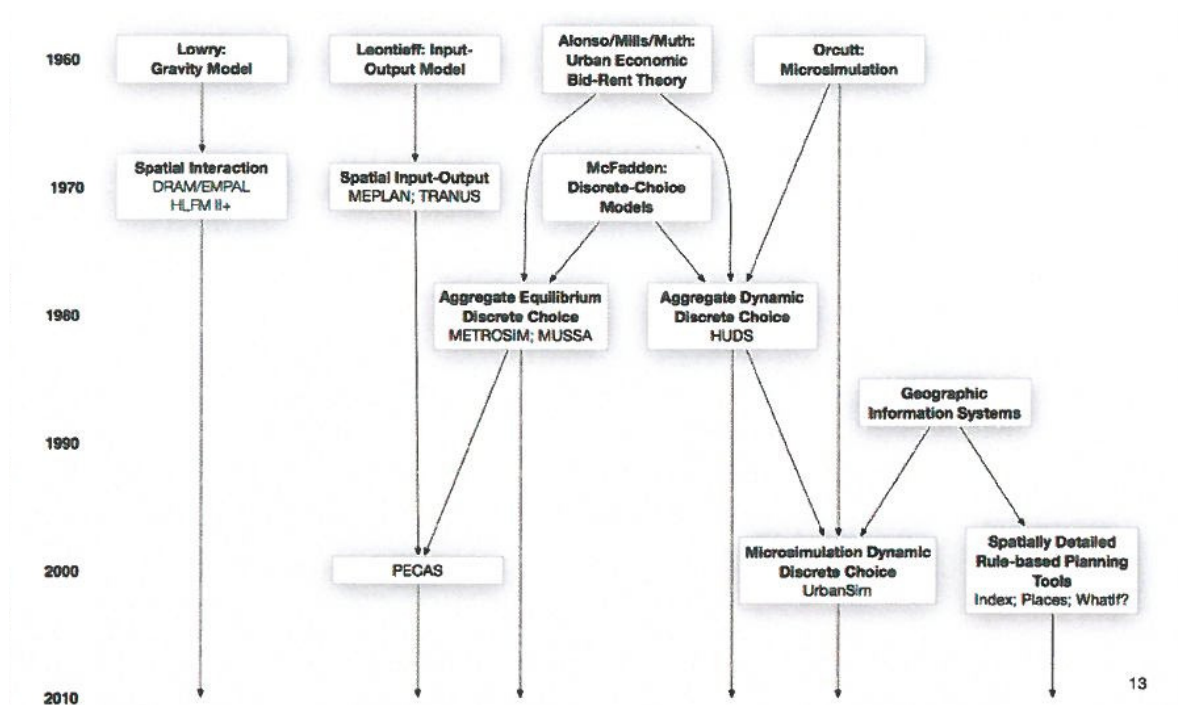
Danes je v uporabi veliko število računalniških simulacijskih modelov. Med njimi so pomembne razlike glede na razsežnosti, strukturo modela, teoretično ozadje, tehnike modeliranja, dinamiko, zahtevane podatke ter določila in vrednotenje. Pomembno je, da so upoštevane povezave med rabo tal in transportom; sam transport je lahko modeliran ali endogeno ali z eksogenim transportnim modelom. Modeli so operativni v smislu, da so bili izvedeni, kalibrirani in uporabljeni za analizo strategij za najmanj eno metropolitansko regijo. Število aplikacij, ki delujejo na principu realnih situacij modelov, ki spadajo v zgornjo definicijo, je v zadnjih leti močno naraslo (prirejeno po [7]).

#### 3.7.1 Razvoj programov

Programi za simulacijo temeljijo na teoretičnih in empiričnih osnovah LUTI modelov. Tako tudi za razvoj programov velja podobna pot, kot je opisano v poglavju 3.6.

Prvi računalniški programi so se začeli pojavljati že v 70-ih letih prejšnjega stoletja, razvoj pa traja še naprej in je čedalje bolj hiter. Najprej so se pojavili modeli prostorske interakcije in prostorski »input-

output« modeli. Na podlagi modelov diskretnih izbir so se nato razvili modeli, ki temeljijo na principu združevanja, pojavili pa sta se dve veji in sicer ravnotežni in dinamični pristop. Pred pojavom prakse dinamičnega simuliranja so programi delovali na principu planiranja scenarijev z mnogimi statičnimi in togimi predpostavkami ter kasnejšega vizualiziranja, oziroma v okvirih prostorskih vhodnih in izhodnih podatkov, brez analize verjetnosti odstopanj v določenem časovnem obdobju. Ideja ravnotežnega pristopa je, da so sredstva v interakciji med seboj ves čas v ravnovesju ter da je ponudba enaka povpraševanju. Druga, bolj realna veja, ki upošteva tudi časovni zamik in posledične primanjkljaje ter viške, pa ustreza torej dinamičnemu pristopu. Povsem nov mejnik pa pomeni upoštevanje mikrosimulacije v programih ter vključevanje GIS sistemov. S temi programi lahko predvidimo obnašanje posameznih sredstev oziroma akterjev na manjši prostorski enoti ter tako predstavimo bolj realno sliko simulacije. Pred tem rast regij za prostorski razvoj ni bila eksplicitno povezana z načrtovanjem izboljšav v prometni infrastrukturi. Prejšnje procedure za predvidevanje rabe prostora so namreč temeljile na modelu, ki je podatke povzemal iz preteklih trendov za lociranje novih gospodinjstev ter služb in zato je ta proces napovedovanja temeljil na znatnih ocenah in prilagoditvah planerjev v regiji. Programi, ki temeljijo na mikrosimulaciji so sicer zahtevnejši, časi simulacije daljši, zahtevna in dolgotrajna pa je že sama priprava vhodnih podatkov. Vendar pa so rezultati teh modelov relevantni in poljubno ter lahko predstavljivi ter primerni za nadaljnjo uporabo. V prihodnosti pa se kaže predvsem trend razvijanja programov, kjer bo imel veliko in aktivno vlogo odziv uporabnikov sistemov, ki ocenjujejo določene strategije, vpisujejo svoje navade in način izvajanja aktivnosti, to pa se sproti beleži ter sestavlja in daje dober vpogled v realne potrebe in stanje sistema (npr. MetroQuest).



Slika 11: Razvoj modelov za načrtovanje rabe prostora z ustrežajočimi programi (vir: [9])

### 3.7.2 Pregled najbolj uporabljenih programov

Po Wegenerju (2004) lahko sodobno stanje na področju urbanega modeliranja predstavimo s pregledom nekaterih aktualnih modelov, čeprav je zaradi številčnosti teh modelov tak pregled zelo težko ozko usmerjen, pa tudi hiter razvoj na tem področju prinaša izboljšave v obstoječih modelih, kot tudi povsem nove modele.

Wegener je za primerjalni pregled izbral naslednjih dvajset modelov (prirejeno po [7]):

- BOYCE (kombinirani modeli izbire lokacij in potovanj)
- CUFM (the California Urban Futures Model)
- DELTA (paket za modeliranje, ki vsebuje transportni, ekonomski, migracijski model in model rabe tal)
- ILUTE (the Integrated Land Use, Transportation, Environment modelling system, pod razvojem večih kanadskih univerz)
- IMREL (the Integrated Model of Residential and Employment Location, razvit na inštitutu za tehnologijo v Stockholmu)
- IRPUD (model regije Dortmund, razvit na univerzi v Dortmundu)
- ITLUP (the Integrated Transportation and Land Use Package by Putman, ki vsebuje stanovanjski lokacijski model DRAM zaposlitveni model EMPAL)
- KIM (nelinearen urbani ravnovesni model razvit na univerzi v Illinoisu)
- LILT (the Leeds Integrated Land-Use/Transport model, razvit na University of Leeds)
- MEPLAN (integriran paket za modeliranje, ki so ga razvili Marcial Echenique & Partners)
- METROSIM (mikroekonomski model rabe tal in transporta, razvit za metropolitansko območje New Yorka)
- MUSSA (5-stopenjski model rabe tal in transporta, razvit za Santiago de Chile)
- PECAS (the Production, Exchange and Consumption Allocation System, razvit na univerzi v Calgary-ju)
- POLIS (the Projective Optimization Land Use Information System developed)
- RURBAN (the Random-Utility URBAN model)
- STASA (transportni in urbano/regionalen model, razvit za metropolitansko regijo Stuttgarta)
- TLUMIP (model transporta in rabe tal ameriške zvezne države Oregon)
- TRANUS (model rabe tal in transporta, ki ga je razvil de la Barra)
- TRESIS (the Transportation and Environment Strategy Impact Simulator, razvit na univerzi v Sydney-ju)
- URBANSIM (mikroekonomski model izbire lokacij ter načrtovanja rabe tal in prostora)

Teh dvajset modelov je primerjal glede na različne kriterije: celovitost, strukturo modela, teoretične osnove, tehnike modeliranja, dinamiko, zahteve po podatkih, kalibracijo in potrditev, operativnost in uporabnost.

Celovitost je primerjal glede na osem prej omenjenih podsistemov: omrežja, raba tal, delovna mesta, bivališča, zaposlitve, prebivalstvo, transport dobrin, potovanja. ILUTE, MEPLAN, STASA, PECAS, TLUMIP in TRANUS obravnavajo vseh osem podsistemov, večina modelov pa obravnava vsaj polovico teh podsistemov, največkrat pa je izključen transport dobrin. To je tudi edini podsistem, ki ga ne obravnava UrbanSim.

Pri strukturi modela lahko ločimo dve skupini. Prva išče povezovalno oziroma enotno načelo za modeliranje in povezovanje vseh sistemov, druga pa vidi mesto kot hierarhičen sistem medsebojno

povezanih, vendar strukturno avtonomnih podsistemov. Prvi so modeli, ki so imenovani kot t.i. poenoteni modeli ali modeli z združevanjem, kasnejši pa so kompozitni modeli. BOYCE, MUSSA, KIM, MEPLAN, METROSIM, PECAS, RURBAN, TRANUS in STASA spadajo med prve, vsi ostali, med drugim tudi UrbanSim pa spadajo med kompozitne modele. Razlika med enotnimi in kompozitnimi modeli se kaže tudi kot dinamično obnašanje modelov.

V zadnjih desetletjih je opazen precejšen napredek glede teorij, ki razlagajo obnašanje glede prostorskih izbir ter tehnik za kalibriranje modelov izbire. Vsi modeli, razen enega (CUFM), temeljijo na naključnih spremenljivkah oz. koristih ali na teoriji diskretne izbire, za razlago napovedi vedenja dejavnikov, kot so investitorji, gospodinjstva, podjetja in potniki. Modeli naključnih koristi predvidevajo in napovedujejo izbire med alternativami kot funkcijo atributov alternativ, ob upoštevanju naključnih disperzijskih omejitev, ki vključujejo neopazovane attribute, razlike v okusu med vršilci odločitev in netočnosti ali pomanjkanje informacij.

Glede tehnike modeliranja je vseh dvajset modelov narejeno na podoben način. V vseh je urbana regija predstavljena kot niz diskretnih pod-območij ali con. Čas je tipično razdeljen na diskretne periode od enega do petih let. To klasificira vse modele, razen modela IMREL (ki je statičen), med rekurzivne simulacijske modele.

Dinamika modelov je povezana z vprašanjem ravnovesja. Ravnovesni modeli namreč temeljijo na predpostavki, da so soodvisne spremenljivke modelov, kot so cene, ponudba in povpraševanje, v ravnotežju, brez zamud oziroma odlogov, če pa prilagoditev ima zamudo, je sčasoma ravnotežje doseženo. Dinamični modeli pa, na drugi strani, temeljijo na predpostavki, da so nekatere spremembe hitrejše kot druge, oziroma, da so kdaj potrebe večje, kot je zmožnost dobave in da so te razlike v hitrosti ter prilagoditvah tako velike, da so urbani sistemi normalno v neravnovesju. Vsi razen treh modelov (BOYCE, IMREL, KIM) so kvazi-dinamični, saj kljub temu, da izvajajo simulacijo na daljšem časovnem obdobju, vzamejo določeno časovno točko, za oceno modela. Popoln dinamičen pristop pa analizira spremembe skozi več časovnih obdobj.

Glede zahtevanih podatkov, sploh za velika območja, potrebujemo veliko truda in časa. Dandanes zelo pomagajo baze rutinsko beleženih podatkov s strani lokalnih organov, kot so populacija, bivalne enote itd. Prav tako odvisnost od podatkov zmanjšuje znaten napredek v urbanih teorijah v zadnjih desetletjih. Današnji modeli lahko delujejo z manj podatki kot prejšnji.

Vseh dvajset modelov lahko kalibriramo z uporabo opazovanih podatkov, s pomočjo računalniških programov in uveljavljenih metod ter standardov. Vseeno pa, zaradi postavljanja omejitev, ostaja to težka naloga in še vedno se postavlja vprašanje kredibilnosti modelov za vpogled v daljno prihodnost. Namesto tega lahko tako govorimo o potrjevanju modelov, kar je možno le s primerjanjem dobljenih rezultatov ter opazovanih podatkov skozi daljše časovno obdobje.

Vsi modeli so načeloma operativni v smislu, da so bili aplicirani na realna mesta. Vseeno pa med njimi obstajajo razlike. Nekateri so ostali izključno raziskovalni modeli, ki se nanašajo samo na določeno območje obravnave. Drugi se zopet nanašajo samo na določena mesta, nekateri pa so v resnici družine modelov, od katerih je vsaka oblikovana specifično za potrebe določenega urbanega območja ali klienta. Le nekaj je takih, ki lahko postanejo standardna programska oprema za širši trg.

Uporabnost modelov pa je zelo subjektivna. Gledano z vidika, s kakšnimi načrtovalskimi problemi vse se ukvarjajo metropolitanska območja, so modeli zastavljeni zelo ozko. Večina aplikacij namreč odgovarja na tradicionalna vprašanja, kot so: kako bodo programi rabe tal in poselitve vplivali na

razvoj prostora in transport in kako bodo izboljšave v transportu ali spremembe v cenah potovanj oblikovale in premaknile razporeditev aktivnosti v urbanih območjih.

## 4 URBANSIM

Eden od široko uporabljanih pripomočkov za programsko modeliranje rabe tal in prometa je UrbanSim. To je programsko podprt, odprtokoden simulacijski sistem za podporo načrtovanju in analiziranju urbanega razvoja. Pri svojem izvajanju vključuje interakcije med rabo zemljišč, prevozom, gospodarstvom in okoljem. Vključuje dinamično neravnovesje in temelji na ekonomskih teorijah. Pri razvoju UrbanSima so sodelovali raziskovalci z različnih področij, kot so računalničarji, arhitekti in psihologi, da bi lahko kar najbolj približali simulacije dejanskemu stanju ter odločitvam dejanskih subjektov. UrbanSim kombinira podatke rabe tal in transporta da simulira urbano rast. Vendar pa se lahko uporablja ne samo za vrednotenje urbane rasti, temveč tudi za ocenjevanje vplivov razvojnih planov na področju onesnaženja vode in zraka, izgube odprtega prostora in celo ogroženosti divjih živali. Program lahko pomaga reševati konflikte, kadar so razvojni programi zaustavljeni zaradi različnih interesov in nestrinjanj različnih skupin (prirejeno po [17]).

Oblikoval ga je Paul Waddell, z Univerze v Kaliforniji, Berkley, ter ga s številnimi sodelavci razvil tako, da podpira metropolitansko rabo prostora, transport in okoljsko načrtovanje. UrbanSim je od leta 1998 dostopen na spletu, skupaj z rednimi popravki in posodobitvami. Razvoj UrbanSim-a usmerja podjetje Synthicity, Inc, ki tudi nudi strokovno pomoč v podporo njegovim aplikacijam. Obstoječe delovanje ter nadgradnje UrbanSim-a omogočajo številna nepovratna sredstva v ZDA, predvsem s strani National Science Foundation, Agencije za varstvo okolja ZDA, Federal Highway Administration, velika pa je tudi podpora držav, metropolitanskih načrtovalnih agencij in raziskovalnih svetov v Evropi in Južni Afriki (prirejeno po [18]).

Uporaba UrbanSim-a je precej široka, namenjen pa je predvsem metropolitanskim načrtovalskim organizacijam, mestom, okrajem, nevladnim organizacijam, raziskovalcem in študentom, ki jih zanima raziskovanje učinkov infrastrukture in strateških odločitev na rezultate v skupnosti, kot so motorizirana in ne-motorizirana dostopnost, emisije toplogrednih plinov, dostopnost do stanovanj in zaščita odprtega prostora ter okoljsko občutljivih habitatov. UrbanSim velja za eno najbolj naprednih, obče dostopnih platform za simulacijo metropolitanskih nepremičninskih trgov in vplivov rabe prostora ter prometnih načrtovanj, od nivoja parcele, do nivoja metropole kot velikega urbanega območja ki je pomembno gospodarsko, politično in kulturno središče države ali regije, hkrati pa tudi pomembno vozlišče prometnih povezav. Uspešen je tudi zaradi odprtokodne preglednosti, ki jo zahtevajo javne agencije glede vprašanj prostorskih strategij in naložb ter profesionalne podpore, ki jo nudi svojim uporabnikom.

### 4.1 Namen in naloge

Namen UrbanSim-a je simulacija interakcije med rabo tal, transportom, ekonomijo in okoljem v velikem merilu metropolitanskih območij in skozi dolgo časovno obdobje. Cilj je pomagati integriranemu načrtovanju rabe tal in transporta na regionalni ravni v okvirih strategij upravljanja rasti na državni in lokalni ravni (prirejeno po [8]).

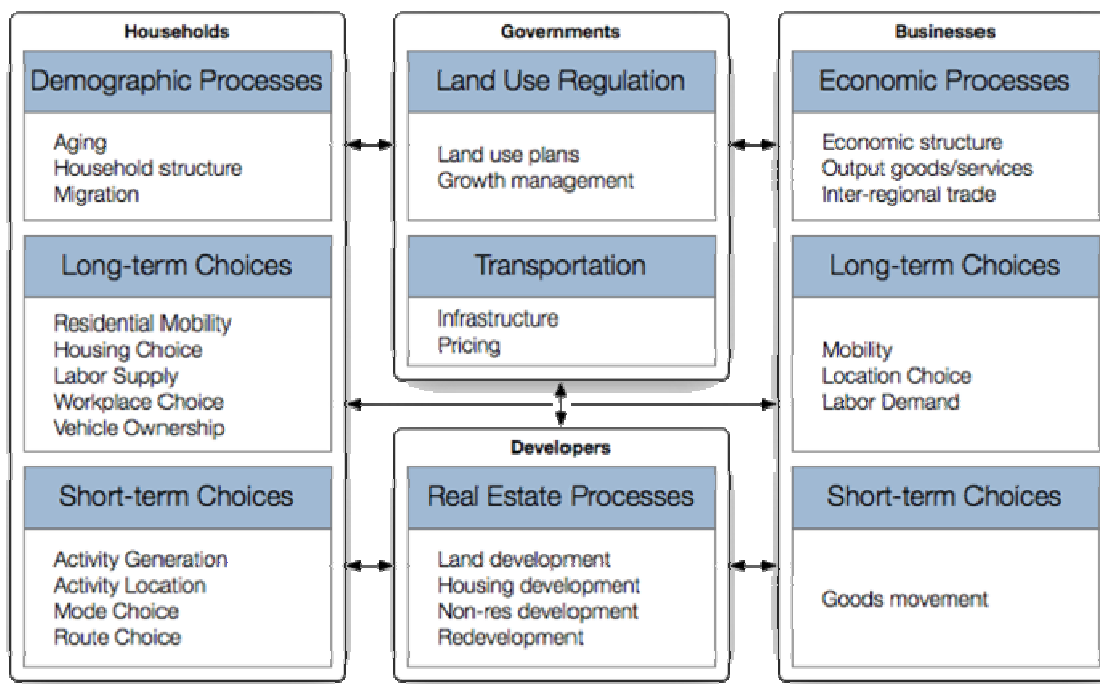


Ena od nalog UrbanSim-a je analiziranje vpliva velikih infrastrukturnih projektov na vzorce razvoja v širši regiji, razvijanje in analiziranje trajnostnih planov prostorskega načrtovanja ter analiziranje vplivov prometa in strategij rabe tal. Motiv projekta UrbanSim je ne samo pridobivanje robustnih predpostavk potencialnih rezultatov drugačnih investiranja v transportni sistem in drugačnih strategij rabe prostora, temveč tudi olajšati in spodbuditi bolj angažirano udejstvovanje prebivalcev v pogosto spornih razpravah o transportni infrastrukturi ali prostorski strategiji z neenakomerno razporeditvijo koristi in stroškov (prirejeno po [18]).

S podatki, ki jih dobimo kot rezultat simulacij, je moč predpostaviti in načrtovati celostne podobe urbanih območij. Izhodne podatke lahko prikažemo na različne načine, odvisno od potreb uporabnika. Izberemo lahko zelene spremenljivke in rezultate dobimo v obliki tabel, grafikonov ali na kartah za poljubno leto oziroma za poljubno obdobje v celotnem časovnem obsegu simulacije.

#### **4.2 Glavne značilnosti sistema UrbanSim**

UrbanSim zajema podatke iz širokega nabora virov. Kot že rečeno, upošteva tako rabo tal in transport, kot tudi ekonomske procese in okoljske omejitve. Akterji ali sredstva, ki delujejo na teh področjih pa so uporabniki urbanega sistema, oziroma njegovi prebivalci in so-gradniki. V mestu v programu UrbanSim so v interakciji štiri glavna sredstva: gospodinjstva, poslovni subjekti, razvijalci oz. načrtovalci in vlada ter vladne službe. V digitalni obliki mesta so sredstva posamezne osebe z lastnim razmišljanjem: gospodinjstva se odločajo, kje bodo živela ter delala, v poslovnem svetu se podjetja in drugi poslovni subjekti odločajo, kje bodo locirani ter kje bodo vzpostavili delovna mesta, načrtovalci se odločajo, kje se bodo gradile hiše, stavbe s pisarnami, proizvodni objekti, vlada se odloča, katere razvojne strategije ter investicije bodo aplicirane na določenem delu mesta... Ti subjekti niso v direktni interakciji med seboj, njihova interakcija se dogaja skozi prostor oz. tla. Tla in njihova raba ter spreminjanje določajo, kako se bo razvijala urbana pokrajina (prirejeno po [17]). UrbanSim je popoln mikrosimulacijski modelni sistem, saj simulira izbire velikega števila sredstev, kot so gospodinjstva, poslovni subjekti, razvijalci in načrtovalci ter vlada in jih ne združuje v skupine, temveč jih obravnava posamezno.



Slika 12: Povezovanje različnih virov načrtovanja v UrbanSim (vir: <http://www.synthicity.com/urbansim/> 19.8.2014)

UrbanSim je torej tako-imenovan »agent-based« mikrosimulacijski model, oblikovan za modeliranje trga nepremičnin na zelo robusten način. UrbanSim modelira odločitve načrtovalcev, gospodinjstev in poslovnih subjektov kot odgovor na vhodne podatke, ki jih določi uporabnik, kar običajno predstavlja delovanje vladnih služb na področju prostora in infrastrukture. Načrtovalci uporabljajo prostor oz. tla za oblikovanje stanovanjskih in nestanovanjskih predelov, ki so zahtevani s strani gospodinjstev ter poslovnih subjektov, ti pa prav tako sodelujejo na trgu dela ter trgu dobrin in storitev. Vlada priskrbi infrastrukturo in storitve z reguliranjem in spreminjanjem cen za rabo tal ter infrastrukture (prirejeno po [12]).

Glavne pozitivne lastnosti, ki govorijo v prid uporabe orodja UrbanSim so (prirejeno po [16]):

- Posnemanje realnega obnašanja in transparentnost,
- močna in notranje konsistentna teoretična osnova, ki temelji na urbani ekonomiki in naključnih izbirah,
- konsistentno ter enotno mikrosimulacijsko delovno okolje,
- lahko ga konfiguriramo, da odseva različna obnašanja v različnem merilu,
- fleksibilnost in modularnost, ki omogočata uporabniku, da prilagodi in razširi sistem,
- hitro naraščajoča baza izkušenj v operativnem planiranju,
- obsežna dokumentacija in spletna stran,
- pot selitev narejena z modeli; od zelo preprostih do kompleksnejših,
- razširjena in trajajoča podpora različnih organizacij.

#### 4.2.1 Oblika programa

UrbanSim je kompleksno prognostično orodje, zato se pri uporabi srečamo z več izzivi, kot so potrebni podatki, razvoj izbirnih modelov, povratne informacije transportne dostopnosti in potrditev modela. Oblika oziroma konstrukcija programa je značilno drugačna od večine obstoječih modelirnih pristopov. Zgodnejši sistemi urbanih modelov so v splošnem temeljili na algoritmih determinističnih rešitev, kot so prostorska interakcija ali prostorski input-output (vhodni in izhodni podatki), ki poudarjajo ponovljivost in edinstvenost konvergence do ravnovesja, vendar pa temeljijo na močnih predpostavkah o vedenju sredstev, kot so, da imajo le-ta popolne informacije o vseh alternativnih lokacijah v metropolitanskem območju, transakcije so zastoj in da na trgu velja popolna konkurenca. Stanovanjski vzponi in padci ter finančna kriza so relativno jasni primeri tržnih nepopolnosti, ki spodbujajo uporabo manj restriktivnih predpostavk, kar se upošteva v UrbanSim-u. Namesto kalibriranja modela do presečnega ravnotežja, ali postavljanja vrste pogojev v izhodiščnem letu, so bile razvite statistične metode za uravnavanje spremenljivk v UrbanSim-u, ki izhajajo iz njegove uporabe Monte Carlo metod in iz spremenljivosti podatkov ter modelov, proti opazovanim podatkom skozi longitudinalno obdobje, z uporabo metode znane kot Bayesova statistika (prirejeno po [18]).

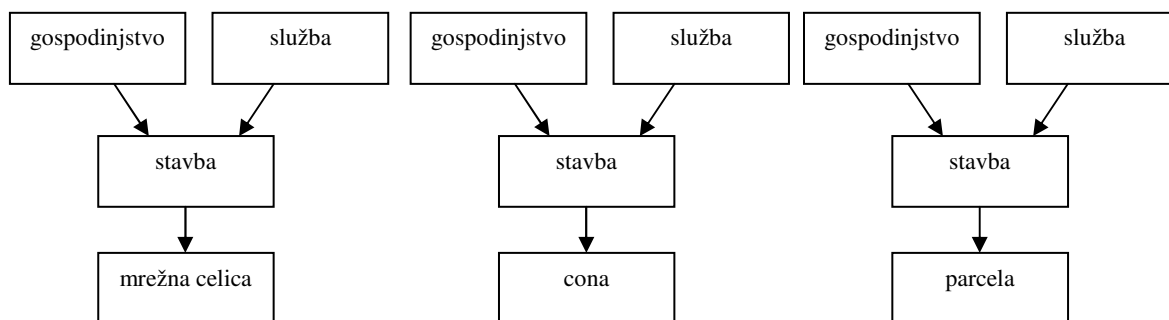
Poleg manj strogih predpostavk o trgih, se UrbanSim razlikuje od zgodnejših modelov v dizajnu, saj so le-ti uporabljali visoke nivoje združevanja geografskih enot v cone ter sredstev oziroma agentov, kot so gospodinjstva in službe, v velike skupine, za katere se je predpostavljalo, da so homogene. Namesto tega UrbanSim uporablja mikrosimulacijski pristop, kar pomeni, da predstavlja posamezna sredstva znotraj simulacije. To je model sistema na ravni sredstva, vendar se za razliko od ostalih modelov, ki temeljijo na sredstvih, ne fokusira izključno na interakcije med sosednjimi sredstvi. Gospodinjstva, podjetja ali delovna mesta, stavbe in območja tal, ki so alternativno predstavljena s parcelami, mrežnimi celicami (gridcells) ali conami, se uporabljajo za zastopanje sredstev in lokacij znotraj metropolitanskega območja. Aplikacije za modeliranje na ravni parcel tako dovoljujejo prikaz dostopnosti na ravni hoje, kar ne more biti uspešno opravljeno na visokih ravneh prostorskega združevanja (prirejeno po [18]).

Iz primerjav z različnimi drugimi programi lahko povzamemo, da UrbanSim odstopa od združenih ekonomskih in prostorsko – interakcijskih modelov, ki temeljijo na teoriji presečnega ravnotežja ter uporabljajo velika geografska območja in sledijo pristopu, ki je ne-celosten ter bazira na predvidevanju sprememb skozi kratke časovne intervale. Zaradi slednjega ga torej štejemo med dinamične modele, ki deluje na pristopu obravnave posameznega dejavnika (dohodek, oseba, otrok, delavec...) Oblika UrbanSima predstavlja povpraševanje po nepremičninah na vsaki lokaciji ter akterje in procese izbir, ki vplivajo na vzorce urbanega razvoja ter cene nepremičnin. Pristop, s katerim je zasnovan UrbanSim, združuje in še dodatno razširja ter pogloblja nekatere najboljše lastnosti prejšnjih dosežkov modeliranja. Prav tako uporablja odprtokoden pristop, da omogoča prost dostop do osnovne izvirne kode in bolj odprt pogled v model, tudi za nadaljnje razširjanje ter prilagoditve nastajajočim zahtevam za modeliranje (prirejeno po [13]).

Glavne prednosti so torej (prirejeno po [15]): dinamično obnašanje, ki dela model bolj transparenten ter prijazen uporabniku, možnost, da poda demografske napovedi, občutljivost na strategije in predpostavke načrtovanja na regionalni ravni, odražanje realnih procesov in to, da je odprtokoden sistem. Vseeno pa ima kar nekaj omejitev, kot so: kompleksnost priprave, ocenjevanja in kalibriranja modela, slaba kompatibilnost z modeli, ki temeljijo na aktivnostih in zmožnost predvidevanja potovanja dobrin, veliko potrebnih podatkov ter ne-upoštevanje prostorskih sprememb.

#### 4.2.2 Geografske enote za analizo v modelih

Kot že rečeno, UrbanSim za analizo ne uporablja velikih območij, temveč obravnavana področja deli na smiselne podenote. UrbanSim se je razvijal več let, prav tako pa struktura podatkov v njem. Do 2005 je večina aplikacij uporabljala geografsko delovno okolje, ki je temeljilo na mreži, položeni čez območje analize – tako so posamezne enote predstavljale mrežne celice. Različne omejitve takega pristopa, predvsem nenaravna delitev lastniških parcel in drugih, tudi naravnih geografskih enot, so vodile do novejših prilagoditev podatkov in prostorskih struktur na nivo parcel. Zaradi lažje obdelave podatkov pa so včasih parcele združene v cone. Tako danes v programu UrbanSim poznamo tri različne pristope za geografsko razdelitev obravnavanega območja. To so: mrežne celice, parcele in cone. Vse tri pa pri obdelavi podatkov delujejo na isti princip: posamezna gospodinjstva (ki sestojijo iz posameznih oseb) in delovna mesta so pripisana določeni stavbi, ta pa je nadalje zapisana v določeni mrežni celici, parceli ali coni. Medtem, ko je uporaba mrežnih celic skorajda že zamrla, so razlogi za uporabo parcel in con deljeni. Verzija, ki deluje na nivoju parcel ima namreč velike zahteve po podatkih, verzija, ki deluje na nivoju con pa ima zmanjšane kapacitete za predstavljanje detajlov.



Slika 13: Obravnava podatkov za različne geografske enote v UrbanSim (prirejeno po [19])

#### 4.3 Teoretična podlaga za UrbanSim

UrbanSim se je razvil tekom evolucije modelov za načrtovanje rabe prostora ter tako povzema nekatere teorije preteklih modelov oz. različnih ustvarjalcev in raziskovalcev. Teoretične osnove UrbanSim-a tako med drugim gradijo (prirejeno po [16]):

- Teorija naključnih koristi (McFadden)
  - Teoretične osnove za modele diskretne izbire (kot so izbira načina): sredstva izbirajo med alternativami, ki temeljijo na relativni koristnosti razpoložljivih možnosti.
- Urbana ekonomija/Bid Rent teorija (Alonso, Mills, Muth)
  - Razlaga rezultate rabe prostora: gostoto, najemnine, kot produkt procesa draženja in ponujanja nepremičnin, ki temelji na pripravljenosti kupcev, da plačajo za določene prednosti neke lokacije (kompromis med trajanjem potovanj in stroškov stanovanja).
- Hedonistična teorija cen (Rosen)
  - Opazovane cene sestavljenih dobrin, kot je prebivališče, so lahko razstavljene na implicitne cene njihovih atributov ali komponent; široko uporabljeno za merjenje vrednosti lokalnih prednosti oziroma slabosti na trgu.
- Dinamično ravnovesje trga, prilagoditev cen, neravnovesje

- Trgi so redko v ravnovesju, predvsem nepremičnine zaradi zaostankov oskrbe in visokih stroškov transakcije. Špekulacije lahko privedejo do trenj.
- Primer neravnovesja trga je kriza na stanovanjskem trgu.
- Mikrosimulacija (Orcutt)
  - Sprva kot računalniško delovno ogrodje za raziskovanje posameznih vplivov strategij; kasneje se je izkazal ta način za bolj učinkovitega kot kompleksni celotni modeli.
  - Močna empirična podpora za mikrosimulacije, v namen izogibanju pristranskosti celotnih modelov ter ekološkim zmotam (pripisovanje obnašanja posameznikov oz. vzorcev celote).
- Geografski informacijski sistemi in prostorske analize (Tobler, Anselin)
  - Radikalen napredek v zmožnostih prostorskih analiz.
  - Predstavitev dostopnosti z lestvico na ravni pešačenja oz. hoje.

#### 4.4 Programsko ozadje sistema UrbanSim

Začetna izvajanja UrbanSim-a so bila narejena v Javi, kasneje, leta 2005, pa je bila arhitektura programske opreme prilagojena in na novo izpeljana v Python-u, s široko uporabo numerične knjižnice Numpy.

Python je za splošne namene široko uporaben tolmačeni programski jezik visoke ravni, ki ga je ustvaril Guido van Rossum leta 1990. Python ima popolnoma dinamične podatkovne tipe, samodejno upravlja s pomnilnikom in podpira funkcionalno, imperativno, oziroma proceduralno, strukturirano in objektno orientirano računalniško programsko paradigmo. Numpy pa je razširitev programskega jezika Python, ki dodaja podporo za velike, multi-dimenzionalne nize oz. polja in matrike, skupaj z veliko knjižnico matematičnih funkcij na visoki ravni, za delovanje na teh poljih.

Programska oprema Urban Sim-a je bila tako generalizirana in odvzeta iz modela sistema UrbanSim ter se zdaj imenuje OPUS – Open Platform for Urban Simulation («odprta platforma za urbano simulacijo»), da bi olajšala strukturo vtičnikov za modele, kot so potovanja, ki temeljijo na dejavnostih, dodelitev dinamičnega prometa, analiza emisij in spremembe v pokritosti tal oz. prostora ipd. (prirejeno po [18]).



Slika 14: OPUS logotip (vir: <http://www.urbansim.org> 5.11.2014)

#### 4.5 Struktura in delovanje sistema UrbanSim

UrbanSim deluje v programski platformi imenovani OPUS. OPUS ima nekatera svoja pravila in značilnosti, po katerih potekajo tudi procesi tekom simulacije, ki jo izvaja UrbanSim. Ima precej členjeno in slojevito strukturo, ki ustvarja sloje, kateri so med seboj v različnih, podrejenih oz. nadrejenih položajih. To torej omogoča tudi urejanje projekta na različnih nivojih oziroma oblikovanje projekta in načina simulacije do te mere, da kar najbolje zadosti namenu ter zadanim ciljem.

OPUS ima sledečo strukturo po slojih (za primer obravnave na ravni con za območje San Antonio) (prirejeno po [20]):

- urbansim (glavni, generalni sloj)
- urbansim\_zone (sloj cone)
- san-antonio\_zone (sloj projekta)

Z drugimi besedami, `san-antonio_zone` je »otrok« `urbansim_zone`, kateri je sam »otrok« sloja `urbansim`. Določila in specifikacije na ravni »otroka« prevladujejo nad »starševsko« ravni.

Vsak od zgornjih slojev pa je sestavljen iz Python datotek in pokrit z dodatnim `.xml` slojem, k je sestavljen iz sledečih datotek:

- `urbansim.xml`: glavna določila modela, povezave med bazo podatkov, orodja za podatke...
- `urbansim_zone.xml`: parametri za modele, argumenti modelov...

`san_antonio_zone.xml`: projicira natančna določila modela (privzeto, da je ocenjen za vsak model ali submodel sklop spremenljivk), definicije skupin pod-modelov, definicije spremenljivk, ki sestavljajo knjižnico spremenljivk, parametre ocen, informacije scenarija, definicije indikatorjev, informacije o prejšnjih izvršenih zagonih simulacije (daje dostop do datotek z rezultati iz prejšnjih simulacij), ipd. (prirejeno po [20]).

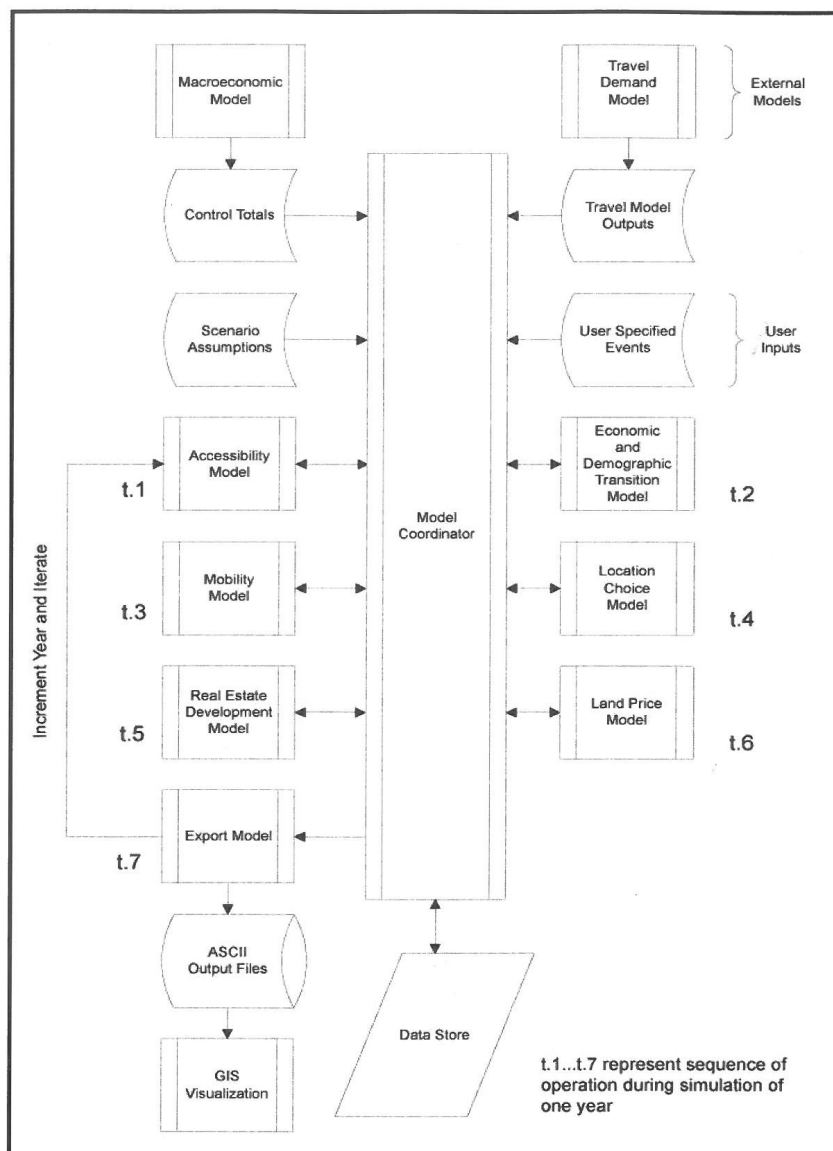
#### **4.5.1 Struktura procesov in obravnava modelov**

UrbanSim vključuje komponente modelov, ki odsevajo ključne izbire gospodinjstev, poslovnega sveta, načrtovalcev in organov oblasti ter njihove interakcije s trgom nepremičnin.

UrbanSim ni enoten model. Bolje ga lahko opišemo kot simulacijski sistem, ki omogoča izdelavo različnih prostorskih modelov iz posameznih komponent. Modeli, ki se izvajajo, obsegajo in vsebujejo vrsto tehnik in pristopov.

Struktura in zaporedje procesov v UrbanSimu so prikazani na sliki 16. Vhodni podatki modela vključujejo bazo podatkov za osnovno leto, končne oziroma mejne vsote (control totals), ki izhajajo iz zunanjih regionalnih ekonomskih napovedi, indikatorje potovalne dostopnosti, ki izhajajo iz zunanjih transportnih modelov in napovedi strateških scenarijev, ki upoštevajo omejitve razvoja, izhajajoče iz načrtov rabe tal (prostorskih planov) in okoljskih omejitev.

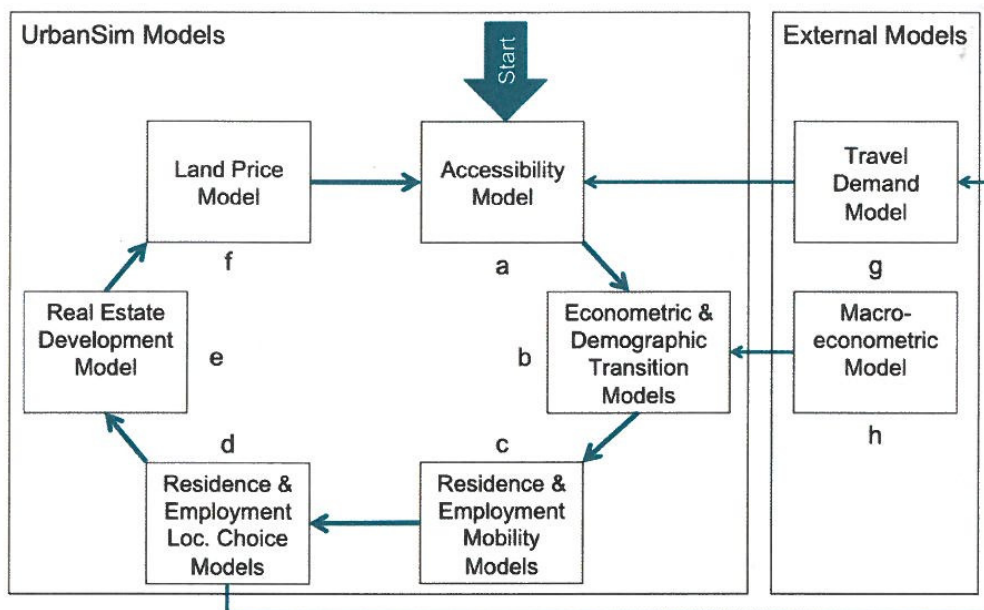
Komponente posameznega modela napovejo vzorec dostopnosti z avtomobilom (model dostopnosti), izgubo ali nastanek gospodinjstev in delovnih mest po tipih (demografska in ekonomska tranzicija), selitev gospodinjstev ali delovnih mest znotraj regije (model mobilnosti gospodinjstev in zaposlitve), izbiro lokacije gospodinjstev in delovnih mest izmed razpoložljivih prostih nepremičnin (model lokacije gospodinjstev in zaposlitve), lokacijo, tip in število novih stavb ter objektov in ponoven razvoj oziroma spremembe s strani načrtovalcev (razvojni model), ceno zemlje na določeni lokaciji (model cene zemlje) (prirejeno po [13]).



Slika 15: Struktura in zaporedje procesov v UrbanSim (vir:[13])

UrbanSim bi lahko poimenovali kot orodje za integracijo številnih modelov, namenjenih simulaciji razvoja mest. V glavnem sestoji iz šestih modelov, ki odražajo odločitve gospodinjstev, podjetij, načrtovalcev in vlade, kot tudi njihovo interakcijo na trgu nepremičnin. Spodnja slika prikazuje povezavo med temi modeli in vrstni red obravnave v simulaciji.





Slika 16: Zaporedje glavnih modelov v UrbanSim (vir:[8])

Kot tudi drugi LUTI modeli, UrbanSim ne modelira transporta sam. Za posodabljanje prometnih razmer uporablja zunanji transportni model.

#### 4.6 Modeliranje in izvajanje simulacij v UrbanSim

Ustvarjanje modelov za simulacijo v UrbanSim-u je zahtevna in dolgotrajna naloga, saj je zahtevana velika količina podatkov, ki so v medsebojni interakciji na precej kompleksen način. Parametri temeljijo na statističnih analizah ali zgodovinskih podatkih. Program združuje razmere na trgu, prostorske strategije ter infrastrukturne odločitve in na podlagi tega vodi interakcijo med parametri. Simulira odločitve na področju gospodinjstev, zaposlovanja in razvoja nepremičnin (»agent-based« za gospodinjstva in zaposlitve, »grid-based« za razvoj nepremičnin).

Obnašanje vsakega od sredstev urbanega sistema simulira skozi serijo podmodelov. V vsakem simulacijskem obdobju (običajno leto), gospodinjstva ter delovna mesta iščejo nove lokacije v okviru prostih stanovanjskih enot ali stavb. Hkrati so prilagojene cene zemljišč, na različnih lokacijah pa se gradijo novi razvojni projekti.

V vzporednem procesu transportni model povzame izhodne podatke UrbanSim-a (locirana gospodinjstva in podjetja) ter simulira razmere v prometu. Rezultati transportnega modela (potovalni časi, stopnje zastojev...), znova vstopijo v UrbanSim kot spremenljivke, ki vplivajo na izbiro lokacije. Interakcija med UrbanSim in transportnim modelom je opravljena na iterativen način - običajno teče simulacija vsakega modela za vsako simulacijsko obdobje (prirejeno po [6]).

##### 4.6.1 Predpostavke scenarija

UrbanSim dovoljuje uporabniku določanje vhodnih podatkov in predpostavk strategije, generiranje in primerjavo scenarijev, izračun ocen ukrepov in poizvedbo v bazi podatkov. Uporabniški vmesnik modela je osredotočen na interakcijo uporabnika z vhodnimi podatki za vsak scenarij. Scenarij sestoji iz kombinacije razvojnih strategij, ki so predstavljene s primernimi vhodnimi podatki, kot so celoviti načrti, infrastrukturni plani, meje urbane rasti in razvojne omejitve na okoljsko občutljivih tleh. Te strategije so vezane na lokacije na stopnji mrežnih celic, con, občin, okrajev ali metropole.

Scenarij v programu UrbanSim je zbirka strateških predpostavk, ki so lahko vhodni podatek za model, z namenom raziskovanja njihovih potencialnih posledic na rezultate, kot so urbana oblika, struktura rabe tal, gostota in vzorci potovanja. Z drugimi besedami, sistem dovoljuje interaktivno testiranje, kako različne strategije pripomorejo k doseganju določene vizije. Program ne predvideva, da je lahko določena vizija realizirana, ampak olajšuje raziskovanje kompromisov, ki lahko sodelujejo pri prizadevanjih za doseg tega cilja, s tem da daje obseg strategij, njihove stroške in posledice. Model ni namenjen optimiziranju strateških vhodnih podatkov, ampak olajšuje interaktivno uporabo v podporo iterativnemu, participativnemu procesu načrtovanja (prirejeno po [13]).

#### 4.6.2 Vhodni podatki

Za simulacijo v UrbanSim-u potrebujemo veliko količino vhodnih podatkov. Potrebni podatki namreč vključujejo detaljne opise trenutne rabe tal, karakteristike gospodinjstev in poslovnih subjektov, bodoče strategije rabe tal ter okoljske omejitve. Podatki se pridobivajo iz različnih baz, kot so davčne baze in politični ter okoljski sloji podatkov. S tem opišemo obstoječe nepremičnine, ki jim moramo tudi pripisati stanovalce oz. uporabnike (gospodinjstva, poslovni subjekti...).

Vhodni podatki izhajajo iz različnih področij, zato jih lahko v grobem razdelimo na (prirejeno po [21]):

- Ekonomske (vrednost zemlje, zaposlitev)
- Strukturne (bivalno, nebivalno, velikost, leto izgradnje)
- Biofizikalne (topografija, prst/zemlja, močvirja, pridelovalna polja, voda)
- Infrastrukturne (ceste, tranzit, potovalni čas do CBD, oddaljenost od drugih držav...)
- Podatke planiranja in coniranja (raba tal, omejitve pri razvoju)
- Podatke o gospodinjstvu (starost »glave« gospodinjstva, prihodek, rasa, število avtomobilov, otrok)
- Zaposlitvene (sektor zaposlitve, število zaposlenih)
- »Control Totals«, oziroma končne vrednosti (ljudje: celotna populacija, št. gospodinjstev; službe: št. zaposlenih po sektorjih)

Posebno mesto imajo strateški vhodni podatki. Ti spadajo med podatke planiranja in coniranja in so odvisni od odločitev organov oblasti. Z njihovim spreminjanjem vplivamo na rezultate in zato običajno predstavljajo vhodne podatke, zaradi katerih se sploh izvaja simulacija – z namenom preverjanja učinkov strategij. Ostajata dve skupini strateških podatkov:

- Na področju transporta:
  - naložbe v javni promet (železnica, avtobusni prevozi),
  - cestne izboljšave (HOV, HOT, steze za kolesarje, pešce),
  - cene (cestnine, zastoji),
  - pametna potovanja, souporaba koles.
- Regulative v rabi tal:
  - mestni prostorski načrti,
  - pravila coniranja in smernice za gradnjo stavb,
  - razpoložljivost parkirišč in cena,
  - razvoj orientiran v javni promet, urbane vasi in centri,
  - razvoj obrobij, pristojbine za vplive, financiranje,
  - meje urbane rasti,

- zaščita okoljsko občutljivih območij.

Vhodni podatki tvorijo bazo podatkov. Vhodne podatke lahko pridobimo iz različnih baz (davčni uradi, zavarovalniške baze, baze zavodov za delo, komercialne baze...). Če pogledamo organizacijo podatkov v bazi, lahko ugotovimo, da obstaja določena hierarhija. Podatki o parcelah, podjetjih ter poslovnih subjektih, zaposlenosti oziroma delovnih mestih ipd. predstavljajo primarno bazo podatkov. Čez to so dane GIS plasti, ki predstavljajo okoljske, politične in načrtovalske meje ter opredeljujejo lokacije. Nabor programskih orodij, ki jim lahko s skupnim imenom rečemo orodja za integracijo podatkov, bere te vhodne datoteke, diagnosticira probleme, pomanjkljivost ali nepravilnosti v njih in uporablja pravila odločanja, da sintetizira manjkajoče ali napačne podatke ter zgradi podatkovno shrambo modela.

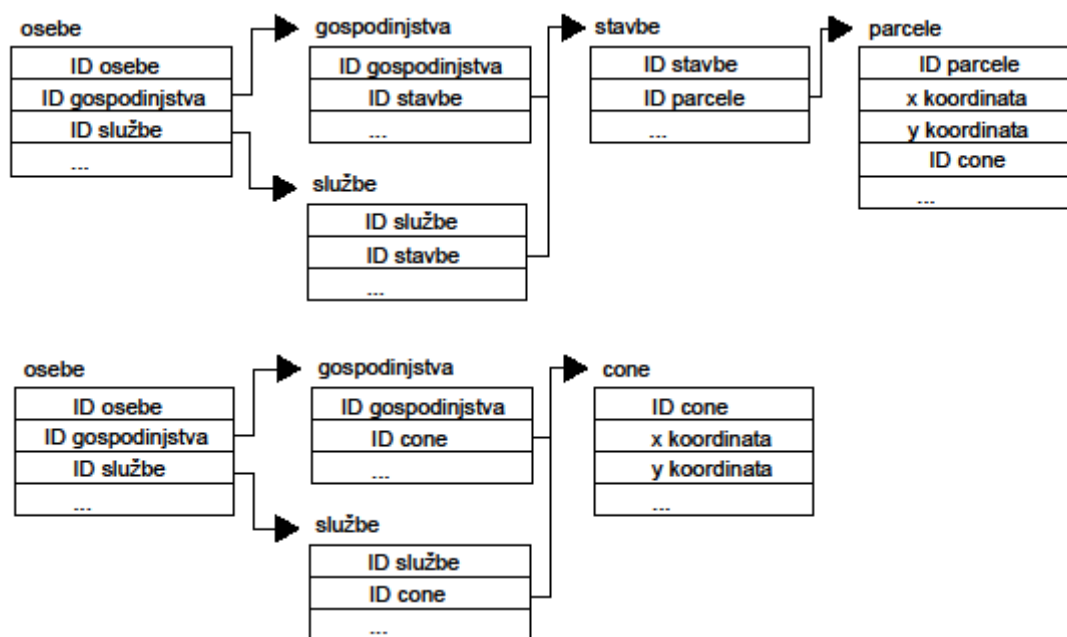
V podatkovni bazi je zajeto vsako gospodinjstvo v metropolitanskem območju kot individualna enota s primarnimi karakteristikami primernimi za modeliranje obnašanja: dohodek gospodinjstva, velikost, starost, število otrok in število delavcev. Gospodinjstvo pa je pripisano določeni stavbi in parceli. Primarna baza podatkov tako sestoji iz (prirejeno po [16]):

- Parcel
- stavb
- gospodinjstev
- oseb
- služb

Preglednica 9: Primarna baza podatkov za mikrosimulacijo v UrbanSim (prirejeno po [16])

Parcele	Stavbe	Gospodinjstva	Osebe	Službe
Id parcele	Id stavbe	Id gospodinjstva	Id osebe	Id službe
Coni, mesta, poštne številke itd.	Id parcele	Id stavbe	Id gospodinjstva/id službe (če je oseba zaposlena)	Id stavbe

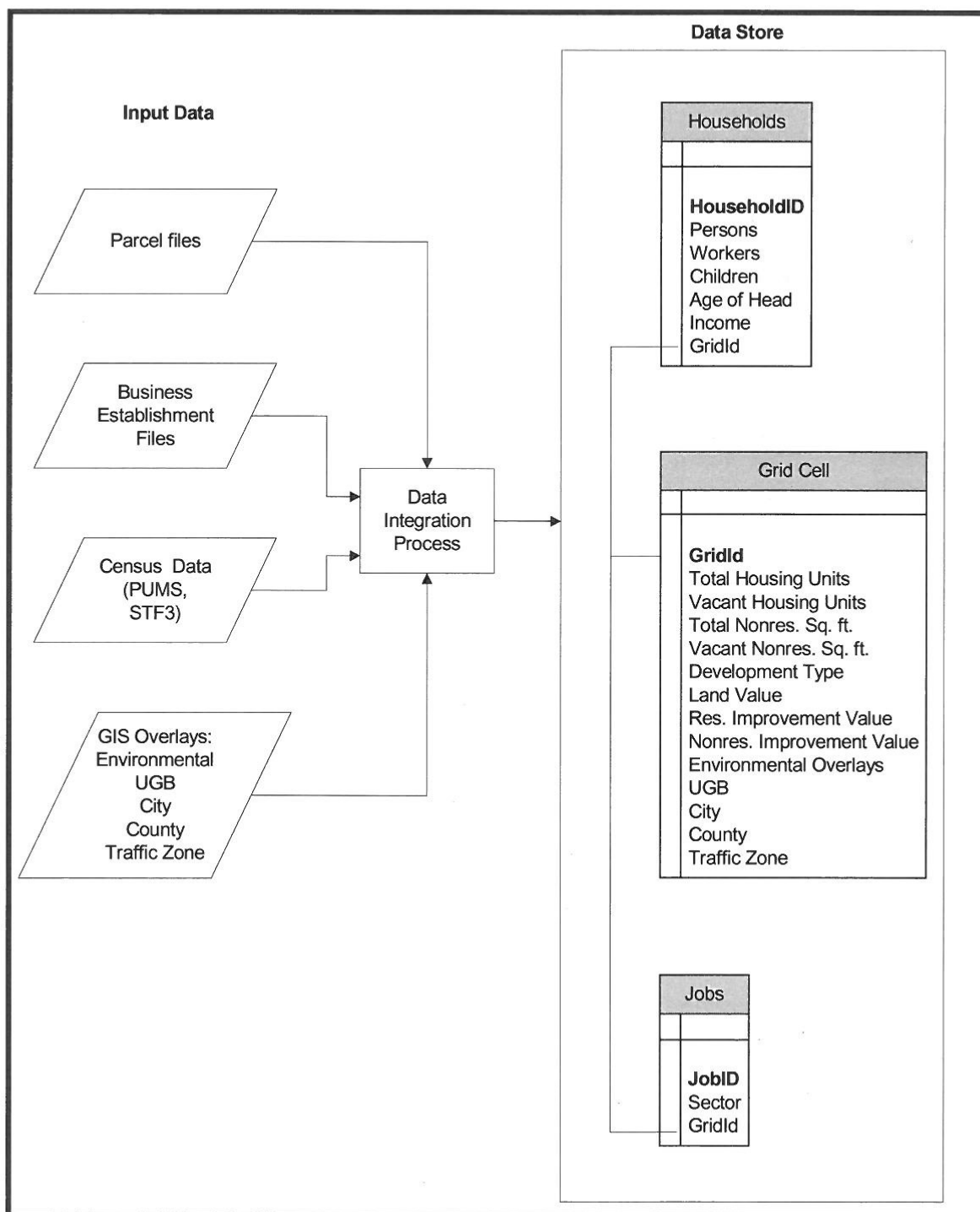
Vsak od naštetih subjektov ima t.i. identifikacijsko številko (id) (parcel id, building id...) – to je osnovna stopnja. Naprej so parcele definirane v kateri coni, mestu so, stavbe so povezane z id parcel, gospodinjstva z id stavb, osebe z id gospodinjstva in id služb (če so zaposlene), službe pa z id stavb. Krovno pa gledamo skupno število vsake skupine subjektov (prirejeno po [16]).



Slika 17: Povezava med podatki primarne baze na ravni parcel in cone (prirejeno po [8]).

Podatki za izhodiščno leto vsebujejo začetno stanje scenarija. Predstavljajo izbrane attribute oseb, služb, nepremičnin in lokacij. Baza podatkov značilno vsebuje začetne geografske podatke o gospodinjstvih ter podatke o službah za dano bazno leto. Geografski sloj predstavlja okoljske, politične in planerske meje, gospodinjstva pa so predstavljena kot individualni objekti (agenti), vključno s potrebnimi atributi za določitev izbire lokacije ali potovalnih navad. Baza podatkov vključuje tudi podatke o delovnih mest po sektorjih (prirejeno po [8]). Kadar se predvideva, da se bo določeno delovno mesto ali gospodinjstvo preselilo, je prostor, ki ga ta zaseda, označen kot da bo postal prost. In ko se odločijo za določeno stanovanjsko enoto ali delovni prostor, se ta označi kot zaseden. Komponente modelov čez čas torej osvežujejo podatkovno bazo gospodinjstev, delovnih mest, zemlje in nepremičnin. Čeprav je ta baza podatkov izpeljana iz podatkov realnih gospodinjstev, delovnih mest in parcel, je to vseeno sintetična podatkovna baza, ki predstavlja samo določene izbrane karakteristike ljudi, služb, nepremičnin in lokacij (prirejeno po [13]).

Povezava podatkovne baze, uporabljene v aplikaciji UrbanSim je prikazana na spodnji shemi:



Slika 18: Proces integracije podatkov v UrbanSim (vir: [10])

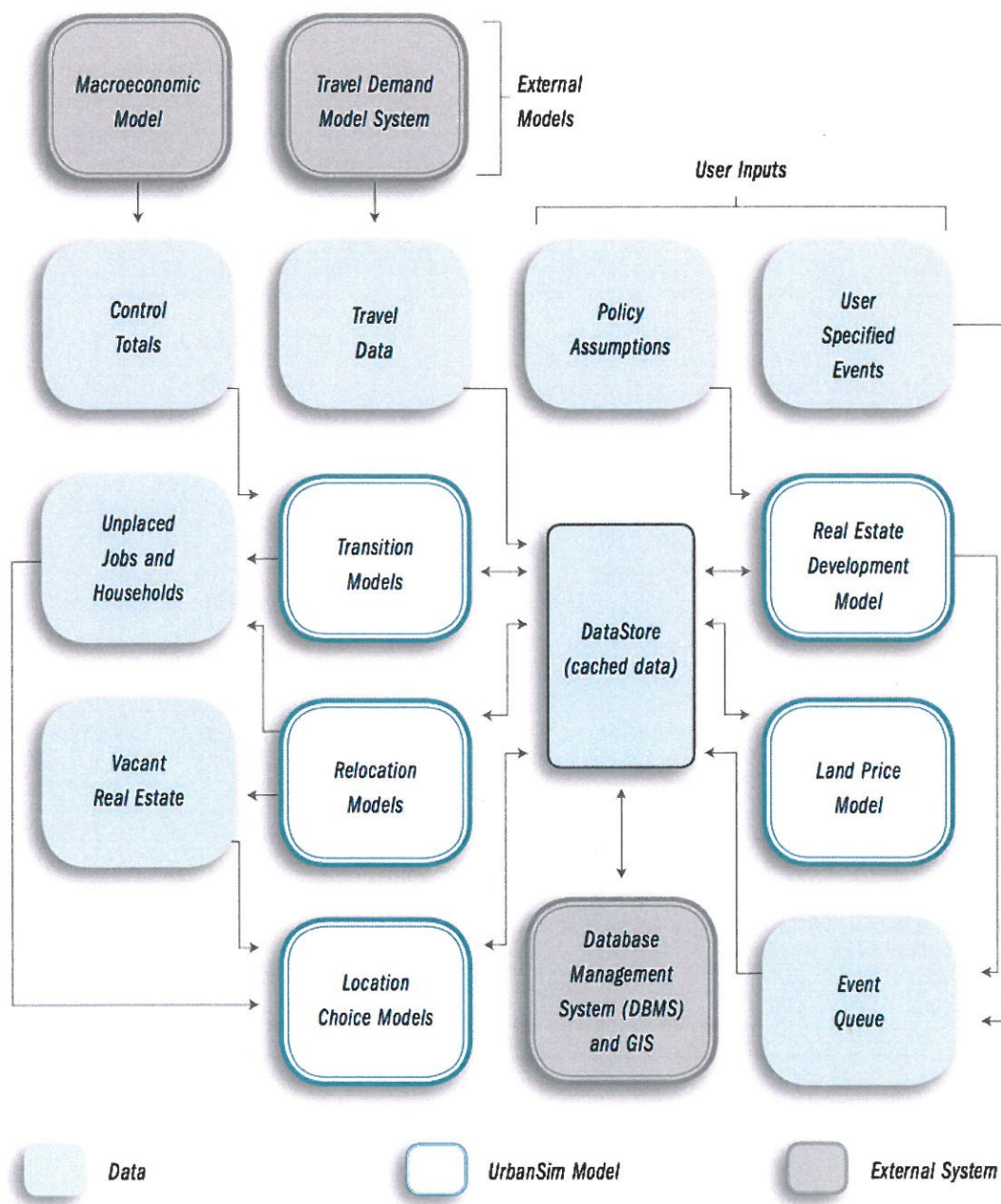
#### 4.6.3 Modeli za simulacijo

Pristop, ki je uporabljen v UrbanSim-u, skuša predstaviti sistem modelov kot niz sodelujočih modelov za demografske spremembe, ekonomske spremembe, spremembo lokacije gospodinjstev, zaposlitve, izbiro lokacije gospodinjstev in zaposlitve, razvoj nepremičnin in ceno zemlje. Množica modelov predvideva uporabo tal ter odločitve več vrst načrtovalcev, gospodinjstev ter poslovnih subjektov. Modeli in njihovi ocenjeni parametri skušajo odsevati vzorce opazovanega obnašanja realnih akterjev, vendar pa so to vseeno le poenostavitve in povzetki realnega obnašanja.

Modeli v UrbanSimu predstavljajo tako efekte razvoja tal na transport, kot tudi vplive izboljšanja transportnih sistemov za razvoj tal. Občutljivost lahko opazujemo skozi dva tipa s transportom povezanih spremenljivk: dostopnost do aktivnosti ter bližina do transportnih sredstev. Prva je funkcija modela izbire sredstva, ki meri, kako lahko je potovati z različnimi sredstvi. Povezana je tudi s prostorsko razpršenostjo služb ter stanovanj, kar da skupne izračune dostopnosti do različnih aktivnosti. Drugi tip spremenljivke pa meri razdaljo do najbližje prometne arterije ter avtocestnega segmenta. Ko se razvija transportno omrežje, je razumljivo pričakovati, da se bo razvoj širil vzdolž cestnega omrežja. Transportni sistem tako pomaga oblikovati urbana območja, vendar je potrebno upoštevati tudi spremembe, ki jih raba tal povzroča v transportnem sistemu, kar pa je zahtevnejše za ocenjevanje in izmero (prirejeno po [12]).

Posamezne modele lahko za potrebe posameznega projekta kalibriramo ali spreminjamo. Lahko dodajamo, modificiramo ali odstranjujemo spremenljivke in enačbe, uporabljene v modelu. Ko smo uredili in nastavili modele, lahko konfiguriramo scenarij, ki bo izvedel simulacijo skozi določen nabor let.

Zaradi velikega števila modelov, kateri se med sabo razlikujejo tudi glede na pristop simuliranja (na ravni mrežnih celic, parcel ali con), je težko konkretno opisati modele in njihove algoritme. Pregled sistema osnovnih modelov, ki se pojavljajo v programu UrbanSim, pa je podan na spodnji sliki.



Slika 19: Pregled sistema modelov v UrbanSim (vir: [19])

#### 4.6.4 Rezultati

Uporabniški vmesnik omogoča specifikacijo želenih izhodnih rezultatov in imenovanje določenih simulacijskih let, za katere naj se generirajo podatki. Izhodna baza podatkov je lahko opredeljena kot stanje v mrežni celici, lahko je predstavljena z indikatorji oziroma kazalniki, lahko pa jo prikažemo grafično, na kartah, z grafikoni in tabelami.

Kot uporabne kazalnike za določene skupne podatkov lahko direktno, ali z nadaljnjo interpretacijo dobimo naslednje rezultate (prirejeno po [16]):

- Površina tal oz. zemljišča in razvoj:
  - bivalne enote glede na tip, gostoto, ceno (dostopnosti),
  - ne-stanovanjske enote glede na tip, gostoto, ceno,
  - površina kmetijskih zemljišč, obdelovalne zemlje, gozda, prostih območij,
  - površine drugih vrednosti tal (stanovanjske, komercialne, industrijske).
- Demografija:
  - skupno število prebivalcev in število po območjih,
  - gostota,
  - gospodinjstva glede na prihodek, velikost, življenjski cikel.
- Ekonomija:
  - zaposlitev po sektorjih in tipih stavb,
  - število služb in poslovnih stavb.
- Transport:
  - dostopnost,
  - deleži v načinu potovanja,
  - prepotovane razdalje vozil – število prevoženih kilometrov,
  - zamude zaradi zastojev.
- Okolje:
  - toplogredni plini,
  - onesnaženje,
  - raba energije,
  - raba vode.

## 4.7 Obravnava transporta s sistemom UrbanSim

Kot tudi drugi LUTI modeli, UrbanSim ne modelira transporta sam. Za simuliranje prometnih razmer uporablja zunanji transportni model. Za to se najpogosteje uporablja MATSim, možno pa je uporabiti tudi druge kot so VISUM, EMM2 itd.

### 4.7.1 MATSim

MATSim je ogrodje za izvajanje obsežnih simulacij prometa.

Sestavljen iz več modulov, ki se lahko uporabljajo v kombinaciji ali samostojno. Module lahko spreminjamo, dograjujemo ali popolnoma nadomestimo. Ogrodje je zasnovano na agentih in omogoča mikroskopsko modeliranje povpraševanja in obremenjevanja mreže.

#### 4.7.1.1 Lastnosti

Značilnosti MATSim so (prirejeno po [22]):

- **Multimodalna mikroskopska simulacija**

MATSim omogoča podrobno simulacijo prometa osebnih vozil in javnega prometa, pešcev in kolesarjev. Simulacija tipično obsega simulacijo gibanja velikega števila oseb (agentov) preko celega dneva. To omogoča spremljanje vsakega gibanja vsakega posameznika od doma v službo, trgovino, rekreacijo in nazaj domov.



- **Hitrost**

MATSim je sposoben simulirati scenarije z več milijoni agentov na omrežjih z več sto tisoč cestnimi odseki. Vse kar potrebujete je sodoben, hiter namizni računalnik z dovolj pomnilnika. Tudi v takih primerih pogosto zahteva simulacija celega dneva le nekaj minut.

- **Različne analize in prikazi rezultatov**

Med simulacijo MATSim računa in prikazuje več indikatorjev. Med drugim lahko prikazuje primerjavo med simuliranim prometom in podatki iz števecv prometa. Rezultate lahko interaktivno prikazuje v programu Google Earth. Omogoča tudi izvoz rezultatov in s tem njihovo nadaljnjo analizo in prikaz v drugih programih.

- **Modularni pristop**

Omogoča enostavno nadomeščanje ali dodajanje funkcionalnosti. Uporabniku omogoča dodajanje lastnih algoritmov obnašanja agentov.

- **Odprikodni program**

MATSim se distribuira pod GNU (GPL) licenco, kar pomeni, da se program lahko namesti in uporablja brezplačno. Poleg tega ima vsak na voljo celotno izvorno kodo, ki jo lahko spreminja, seveda ob upoštevanju določenih omejitev, ki so zapisane v licenci. Napisan je v Javi in teče na vseh glavnih operacijskih sistemih, vključno Linux, Windows in Mac OS X.

- **Aktivni razvoj in vsestranska uporaba ogrodja MATSim**

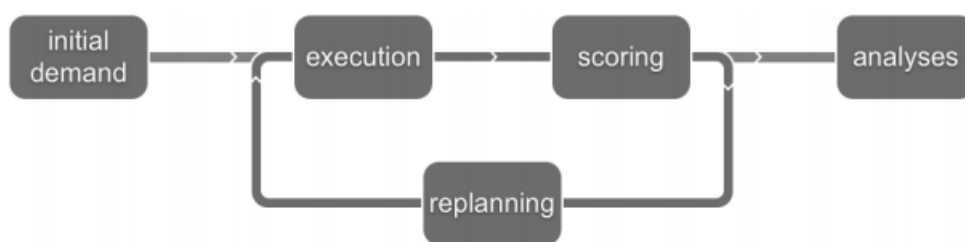
MATSim uporabljajo in razvijajo raziskovalci s praktično vseh koncev sveta, razvoj pa koordinira Berlin Institute of Technology (TU Berlin), Swiss Federal Institute of Technology (ETH) v Zurichu in Senozon, privatno podjetje, ki sta ga ustanovila bivša doktorska študenta.

#### **4.7.1.2 Glavne faze simulacije z ogrodjem MATSim**

Matsim omogoča simulacijo in optimizacijo potovanj. Optimizacija je ena ključnih značilnosti, ki omogoča analizo različnih scenarijev prometne politike. Proces simulacije in optimizacije poteka v naslednjih petih fazah (prirejeno po [22]):

- Začetno povpraševanje
- Simulacija
- Ocenjevanje
- Preplaniranje
- Analiza

Faze se izvajajo v zaporedju, ki je prikazano na spodnji sliki:



Slika 20 Stopnje simulacije v MATSim: (vir [22])

V nadaljevanju je podan kratek opis posameznih faz (prirejeno po [22]).

- **Začetno povpraševanje**

Začetno povpraševanje opisuje potovalne navade, ki jih je potrebno simulirati. Vsebuje celoten seznam agentov (oseb) in za vsakega agenta vsaj en dnevni potovalni načrt. Potovalni načrt vsebuje seznam aktivnosti (npr. biti doma, biti v službi) in potovanj (npr. iti z avtom po nakupih) skupaj s podatki o času (npr. iti od doma ob 7:30 in delati do 16:00) in dodatne informacije (npr. podrobna pot od doma v službo). Načrti opisujejo namene posameznikov, ne njihove dejanske izvedbe, kajti lahko se zgodi, da posameznik obtiči v prometnem zastoju ali zamudi avtobus in se potovanje izvede drugače.

- **Simulacija**

V fazi izvedbe simulacije se simulira potovanja vseh posameznikov hkrati. Agenti in njihova vozila se premikajo po simuliranem omrežju. Med simulacijo agenti vplivajo drug na drugega. Če hoče v določenem času preveč agentov potovati po isti cesti, pride do zastojev.

- **Ocenjevanje**

Po končani simulaciji sledi ocena potovalnih načrtov agentov. Način ocene je seveda možno spreminjati, v splošnem pa je ocena višja, če agent za potovanje porabi manj časa.

- **Preplaniranje**

V fazi preplaniranja agenti spreminjajo svoje potovalne načrte, da bi se izognili situacijam (zastojem), ki so privedle do slabe ocene. Tipične spremembe so spremembe konca časa aktivnosti, spremembe začetka potovanj, prometnega sredstva ali poti.

- **Analiza**

Na koncu celotne simulacije se izračunajo indikatorji, kot so delež izbire prometnega sredstva, skupni prevoženi kilometri in skupen porabljen čas, povprečna dolžina in čas potovanj za posamezno vrsto prometnega sredstva in posamezno uro.

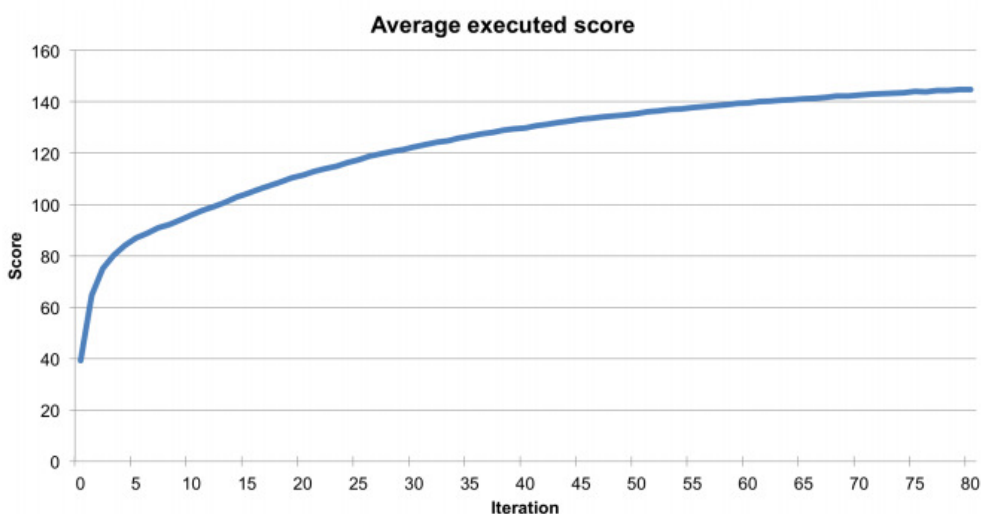
Faze simulacije, ocene in preplaniranja se izvedejo iterativno in s tem je agentom dana možnost prilagajanja njihovih potovalnih načrtov potovalnim načrtom ostalih agentov.

#### 4.7.1.3 Proces optimizacije

Glavni koncept procesa optimizacije sledi principu evolucijskih algoritmov. Po tem principu algoritem generira kandidate (potovalne načrte) in jih oceni. Če dobijo slabo oceno jih algoritem zavrže, če pa kandidat dobi dobro oceno, ga algoritem obdrži in zavrže kandidata z slabšo oceno. Postopek se konča, ko po nekaj poskusih ni možno dobiti novega dobrega kandidata (prirejeno po [22]).

V MATSimu poteka optimizacija za vsakega agenta s svojim evolucijskim algoritmom, vendar hkrati za vse agente. Zato se ta algoritem imenuje ko-evolucijski algoritem.

V vsaki iteraciji je cilj, da se povprečna ocena potovalnih načrtov vseh agentov poveča. Naslednja slika prikazuje povečevanje povprečne ocene med iteracijami:



Slika 21: Povečevanje povprečne ocene potovalnih načrtov med iteracijami (vir: [22])

Kot je razvidno iz slike, se povprečna ocena v začetnih iteracijah hitro povečuje, potem pa vedno počasneje. Možno je tudi, da se vmes ocena občasno poslabša.

#### 4.7.1.4 Dogodki v simulaciji

V simulaciji se agenti premikajo v skladu s potovalnimi načrti. V simulaciji so njihovi premiki zabeleženi v obliki dogodkov. Primeri takih dogodkov so (prirejeno po [22]):

- Agent konča aktivnost.
- Agent začne potovanje.
- Vozilo zapelje na cestni odsek.
- Vozilo zapusti cestni odsek.
- Agent vstopi na avtobus.
- Agent prispe na lokacijo.
- Agent začne aktivnost.

Za vsak dogodek se zabeleži čas dogodka, tip in dodatni atributi, ki so potrebni za opis (npr. šifra agenta, odseka, tip aktivnosti itd). Dogodki v bistvu opisuje dejansko izvedbo potovanj posameznega agenta. Vsak agent običajno generira stotine dogodkov v času ene simulacije. Skupno lahko torej število generiranih dogodkov preseže milijon, v primeru velikih študijskih območij pa celo milijardo.

Iz podatkov o dogodkih je možno izračunati celo vrsto agregiranih indikatorjev, kot so povprečno trajanje aktivnosti, povprečno trajanje ali dolžina potovanja, deleži vrste prometnih sredstev v določenem obdobju, število potnikov na posameznih progah itd.

Podatki o dogodkih se uporabljajo tudi za izračun ocene potovalnega načrta, saj iz njih lahko izračunamo čas, ki ga agent porabi na poti in na posamezni aktivnosti. Uporabni so tudi za preplaniranje potovalnih načrtov, saj iz njih npr. lahko ugotovimo, na katerih odsekih so bili v času potovanja zastoji in se jim izognemo (prirejeno po [22]).

#### 4.7.1.5 Prilagodljivost

Modularna zasnova MATSima omogoča spreminjanje, nadgradnjo ali zamenjavo skoraj vseh sestavnih delov programa. Spreminjanje nekaterih modulov je zahtevnejše (npr. spreminjanje obnašanja), medtem ko so nekatere spremembe enostavnejše (npr. preplaniranje).

#### 4.7.2 MATSim4UrbanSim

Združitev MatSim-a z UrbanSim se imenuje MATSim4UrbanSim. MATSim povzame sintetično populacijo iz UrbanSim-a direktno na ravni posameznih agentov, simulira njihove skupne potovalne navade in posodablja prometne razmere v UrbanSim-u. UrbanSim modeli, ki uporabljajo rezultate iz potovalnega modela so: Real Estate Price Model, Expected Sales Price Model, Household Location Choice Model in Employment Location Choice Model (prirejeno po [23]).

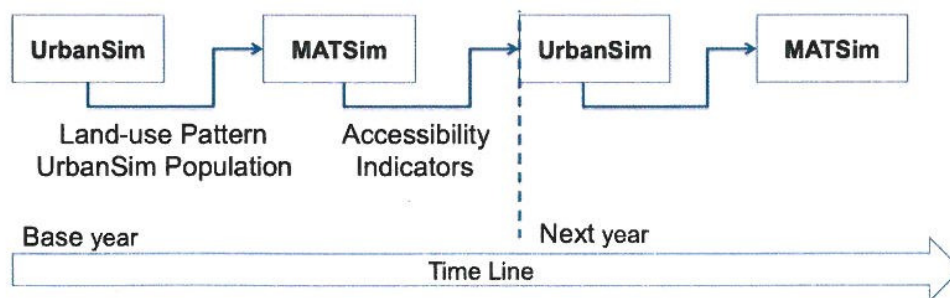
Preglednica 10: UrbanSim modeli, ki uporabljajo rezultate potovalnega modela (prirejeno po: [23])

Modeli v UrbanSim	Kratek opis
Real Estate Price Model (REMP)	Simulira ceno vsake stavbe.
Expected Sales Price Model (ESPM)	Predvideva pričakovano ceno na enoto za vsak razvojni projekt, ki temelji na istih določilih in ocenjenih parametrih, kot so uporabljeni v REPM.
Household Location Choice Model (HLCM)	Izbira lokacijo za gospodinjstva, ki nimajo trenutne lokacije bivališča.
Employment Location Choice Model (ELCM)	Izbira lokacijo za službe, ki trenutno nimajo lokacije.

Standardna povratna informacija od zunanjega potovalnega modela za UrbanSim je impedančna matrika, v merilu cona na cono, ki vključuje generalizirane stroške potovanja med katerimkoli danim parom con. To je matrika velikosti  $n \times n$ , kjer je  $n$  število con. UrbanSim uporablja to matriko kot vhodne podatke za odločitve izbire lokacije stanovalcev, podjetij in načrtovalcev razvoja.

Interakcija med MATSim in UrbanSim je dvosmerna in sestoji iz treh korakov (prirejeno po [23]):

1. UrbanSim vsako leto napove podatke o rabi površin in socialno-ekonomske podatke in jih prenese kot vhodne podatke v MATSim.
2. Na podlagi teh podatkov MATSim izvede simulacijo prometa in vrne rezultirajoče kazalnike dostopnosti.
3. UrbanSim nato uporabi indikatorje kot vhodne podatke za modele izbire lokacije v naslednji iteraciji.



Slika 22: Koraki interakcije med UrbanSim in MATSim (vir [23])

#### 4.8 Dosedanja praktična uporaba sistema UrbanSim

UrbanSim je predvsem zaradi svoje dostopnosti na spletu ter odprte kode široko uporabljan model. Poleg tega pa vključuje vse pomembne elemente urbanega sistema ter jih analizira s sodobnimi pristopi, ki odražajo realno sliko delovanja sistema. Uporabljajo ga načrtovalske službe in agencije, pa tudi vladne službe, ki želijo preveriti učinke strategij. Znani so tudi primeri reševanja sporov med različnimi interesnimi skupinami s pomočjo UrbanSim-a, saj je pokazal, katera od možnosti umestitve prometnice je bolj smiselna ter tudi ekonomsko upravičena.

Poleg zoznane rabe tega pripomočka, v smislu reševanja določenih prostorskih vprašanj, pa je še mnogo drugih uporabnikov, kot so študenti, profesorji, raziskovalci... Prenosi programa iz spleta so bili zabeleženi iz več kot 80-ih držav po vsem svetu.

V našem okolju še ni bilo zaznane uporabe takih programov za načrtovanje nasploh, medtem, ko so v tujini že stalnica pri planiranju urbanega okolja. UrbanSim se uporablja predvsem v ZDA, kjer je bil sicer razvit, vztrajno pa narašča njegova uporaba tudi drugod po svetu, med drugim v Evropi. Za nekaj evropskih mest so bili celo narejeni posebni modeli.

Podanih je nekaj primerov dosedanje praktične uporabe UrbanSima-a po svetu:

- ZDA: Seattle, Houston, Honolulu, Eugene-Springfield, Salt Lake City, Phoenix, Detroit, Durham, San Antonio, San Francisco, Tuscon, projekt Decision Theatre na Arizona State University.
- Evropa: Amsterdam, Pariz, Zürich, Rim, Torino.
- Afrika: Accra (Gana), Durban (Južna Afrika).
- Azija: Beijing, Seoul, Taipei, Tel Aviv.

Kot že napisano, je bil UrbanSim uporabljen tudi v Evropi. Ne samo, da je del načrtovanja nekaterih posameznih mest, temveč je bil uporabljen je bil tudi v projektu Evropske Komisije, imenovanem SustainCity, kjer se je razvila celo evropska različica, imenovana UrbanSimE.

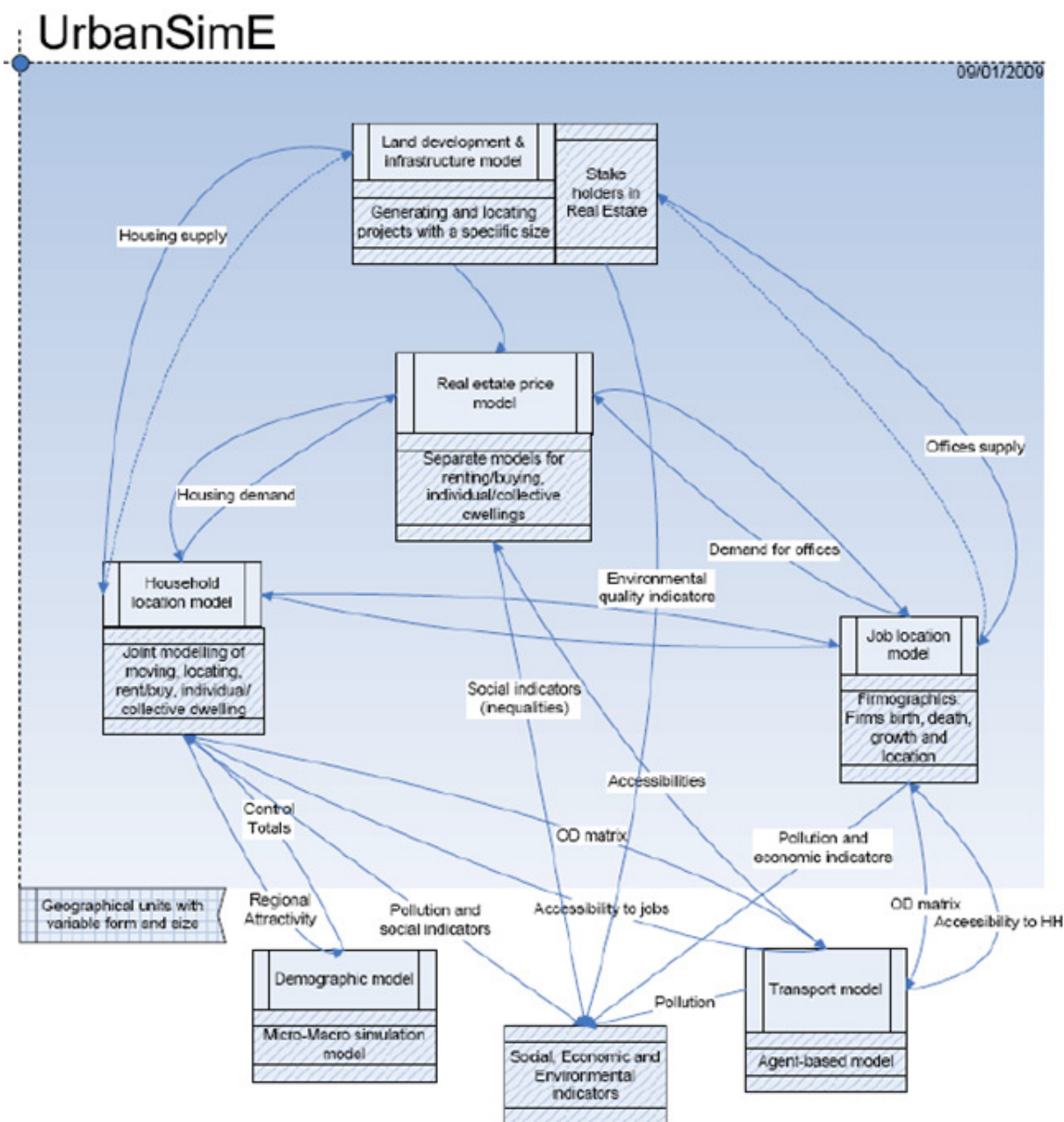
##### 4.8.1 SustainCity

Evropska komisija, natančneje CORDIS, je kot enega od svojih projektov zastavila in izvedla projekt imenovan SustainCity - mikrosimulacija za bodočnost trajnostnih mest v Evropi. Naraščajoče zanimanje za trajnostni razvoj in rast urbanih območij je v preteklih letih rodilo prenovljen entuziazem in potrebo po uporabi kvantitativnih modelov na področju načrtovanja transporta in prostorskega načrtovanja. Projekt naj bi izboljšal urbane simulacijske modele in njihovo interakcijo s transportnimi

modeli. Enotni operativni modeli, ki preferirajo mikroskopski pristop, kot sta ILUTE in UrbanSim, so v iskanju tega cilja poželi veliko interesa.

SustainCity projekt je bil del Sedmega okvirnega programa za raziskave Evropske Komisije. Cilj tega projekta je bil reševanje vprašanja modeliranja in računalniških simulacij za integracijo sodobne mobilnosti z najnovejšimi mikrosimulacijskimi modeli rabe tal. Projekt naj bi pospešil uveljavitev najnovejših pristopov na področju mikrosimulacije predvidenih integriranih modelov rabe tal in transporta. Prav tako je bil namen, da se ti modeli čim bolj razširijo med planerji in vršilci odločitev. Gledano s stališča modeliranja, so bili glavni izzivi integriranje razvojnega geografskega modula, dodajanje okoljskega modula, izboljševanje splošne konsistentnosti in usklajevanje različnih stališč do problema. Eden do ciljev je bil tudi razvoj prilagojene verzije simulacijskega orodja UrbanSim, da bo uporaben v evropskem prostoru. Zato je SustainCity projekt vključeval tudi tri študije primerov, v Parizu, Bruslju in Zürichu, za izvedbo empirične analize na treh evropskih strnjjenih naseljih (prirejeno po [24]).

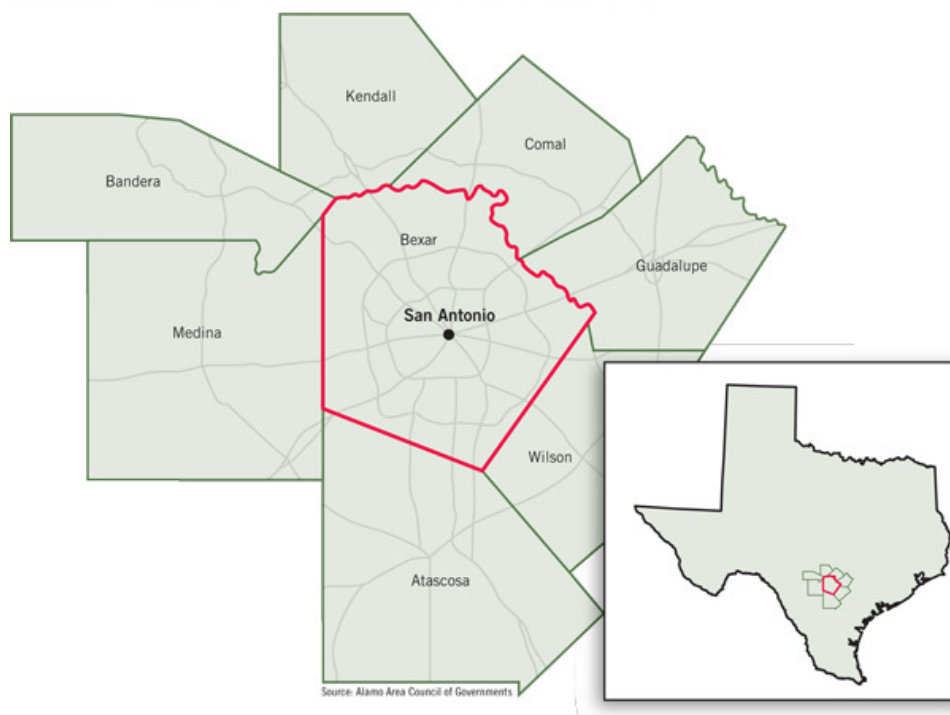
V projektu SustainCity se je uporabljal model UrbanSim. Skozi čas projekta je bil izpopolnjen in prilagojen za tri evropska mesta in tako je ta oblika dobila ime UrbanSimE, ki ustreza zgodovinskim, političnim in socialnim karakteristikam evropskih mest in določenemu slogu življenja in preferencam.



Slika 23: Proces modeliranja z UrbanSimE (vir:[24])

## 5 SIMULACIJA S SISTEMOM URBANSIM NA PRIMERU SAN ANTONIO ZONE

Eden od modelov, ki so kot primeri že v osnovi vključeni v program UrbanSim, je primer obravnave območja mesta San Antonio v Teksasu, ZDA, na ravni con. Obravnavano je območje Bexar, ki zajema tudi središče mesta San Antonio, kot je razvidno na sliki 29. Omenjeni model v programu najdemo v datotekah, pod mapo projekti, kjer je poimenovan `san_antonio_zone`. Za simulacijo je bil izbran scenarij `san_antonio_baseline`.



Slika 24: Prikaz območja Bexar v okviru zvezne države Teksas in glede na mesto San Antonio (vir: <http://therivardreport.com/clean-air-clean-technology-take-hold-in-south-texas/> (Pridobljeno 15. 11. 2014))

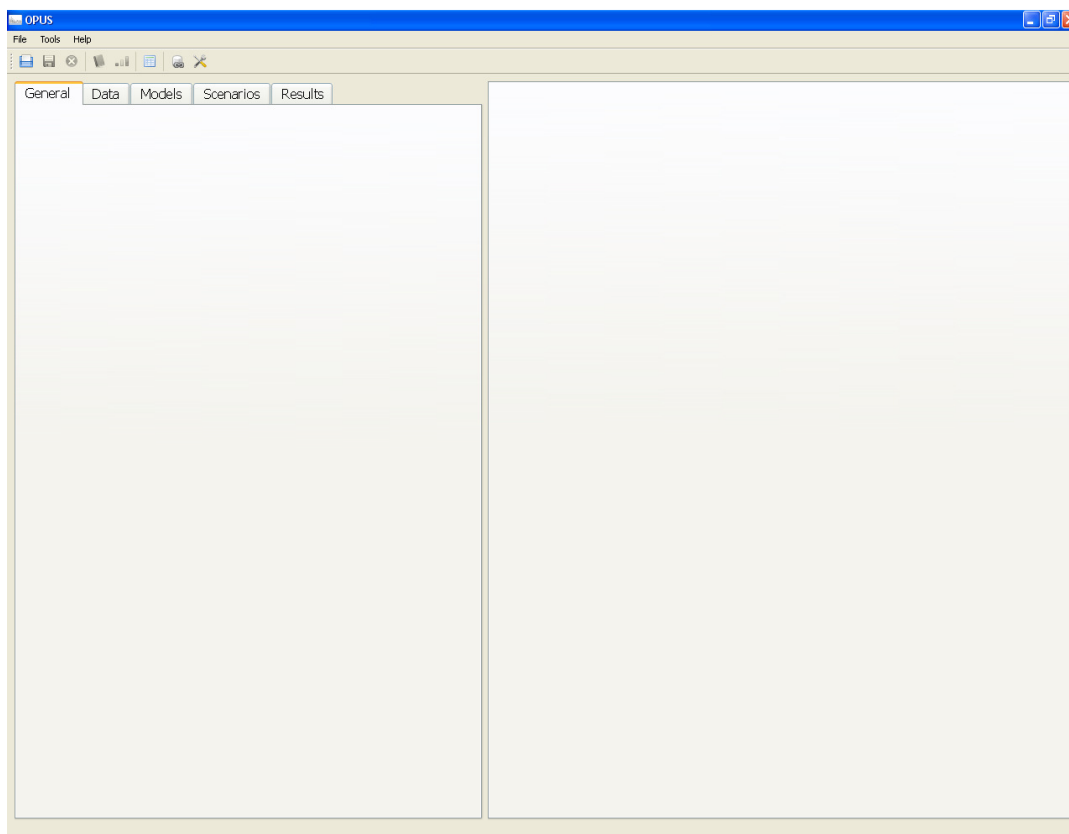
Sistemu OPUS je bil v zadnjih verzijah dodan nov grafični vmesnik, z namenom, da bi program postal bolj prijazen uporabniku ter dostopen ustvarjalcem in uporabnikom modelov. Opus GUI deluje v različnih platformah (Windows, Linux, Mac). Vse slike vzete iz poteka simulacije predstavljajo prikaz Opus GUI v Windows.

V primeru simulacije na modelu mesta San Antonio bodo opisane osnove vsakega koraka simulacije posebej, predvsem pa bo poudarek na prometu ter njegovem načrtovanju. Zato bo tudi pri pregledu rezultatov izbranih le nekaj spremenljivk, ki so v povezavi s prometom, za katere bodo podani konkretni prikazi izhodnih podatkov simulacije.

## 5.1 Zagon programa in odpiranje projekta

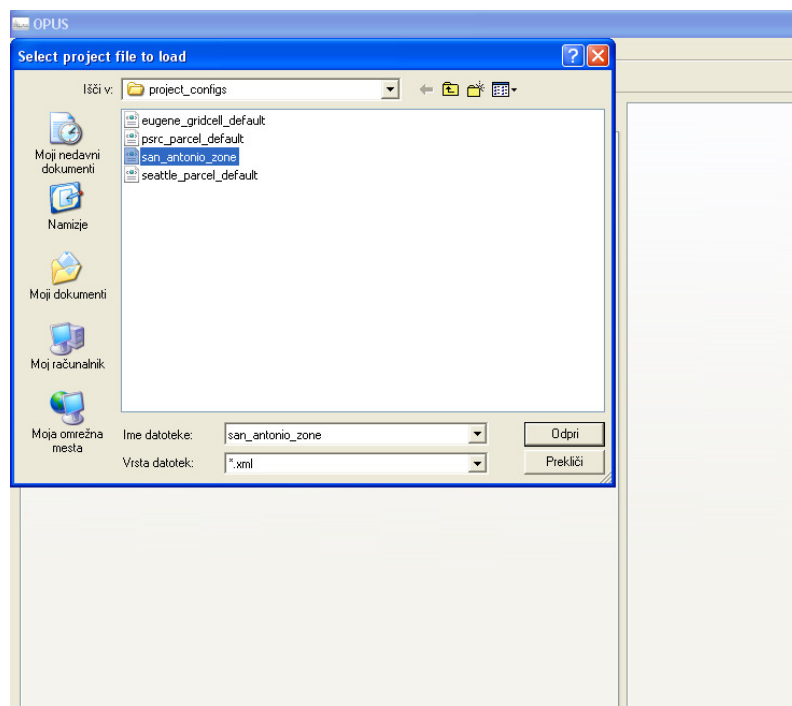
Opus je vizualno zelo preprost sistem. Ko ga zaženemo, se nam odpreta dve okni – delovno okno in t.i. command window ali nadzorno okno. Slednje mora biti odprto v ozadju ves čas dela s programom. Delovno okno pa je navidezno razdeljeno na dva dela. V levem so vidni osnovni podatki in njihova struktura, v desnem pa se izpisuje vsebina, rezultati...





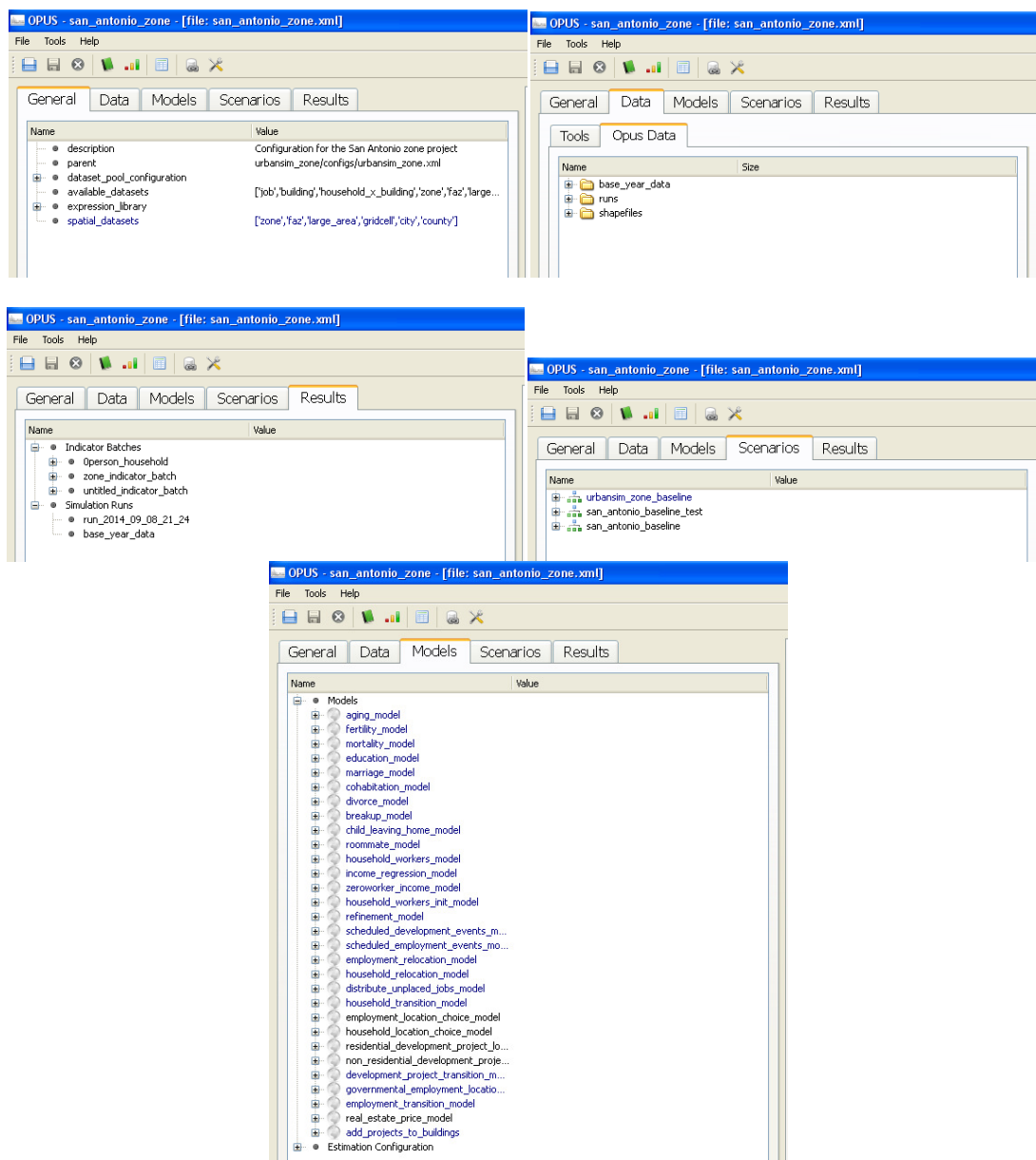
Slika 25: Osnovno okno Opus GUI (vir: lasten vir)

Izmed projektov, ki jih najdemo med datotekami v programu, je bil za nadaljnje delo izbran projekt san\_antonio\_zone.



Slika 26: Izbira projekta za simulacijo (vir: lasten vir)

Ko se naloži projekt, se pojavi vsebina zavihkov: General, Data, Models, Scenarios, Results.

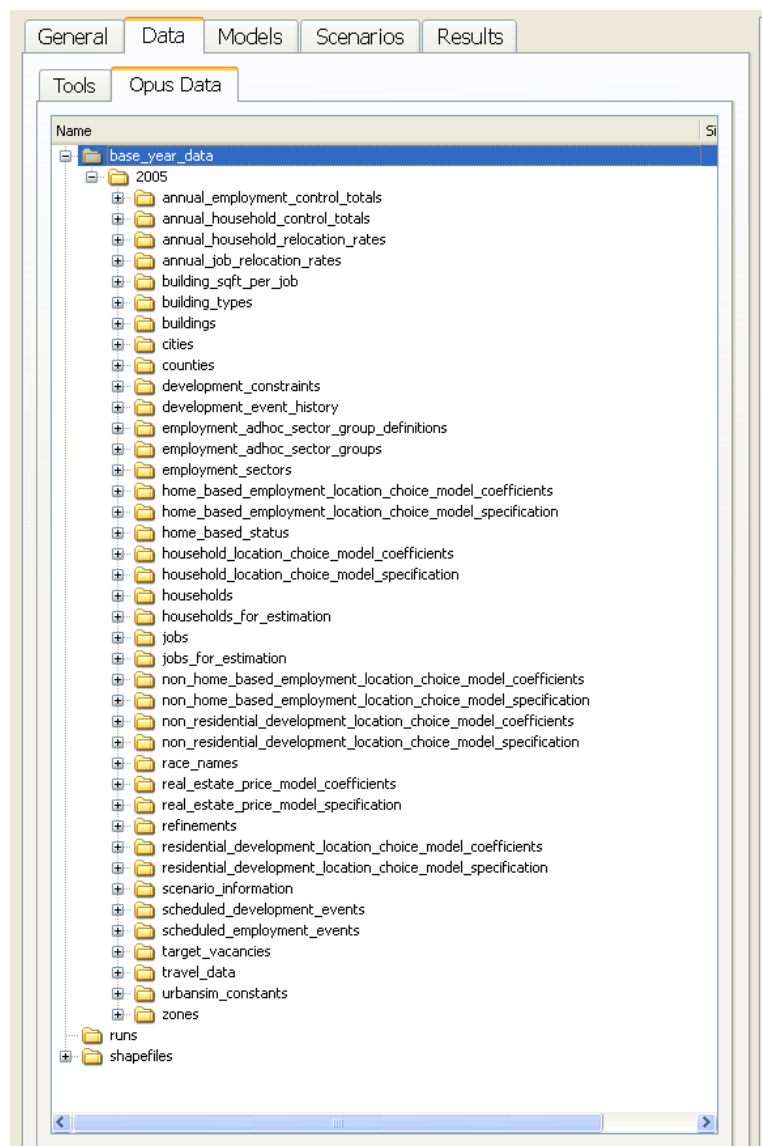


Slika 27: Vsebina zavihkov General, Data, Models, Scenarios, Results za projekt san\_antonio\_zone (vir: lasten vir)

Kot je razvidno s slik, imajo podatki drevesno strukturo. V teh zavihkih lahko pregledujemo osnovno stanje projekta, določila, vhodne podatke, modele ipd. Nekateri, za namene diplomske naloge, pomembnejši podatki, bodo predstavljeni v naslednjih poglavjih.

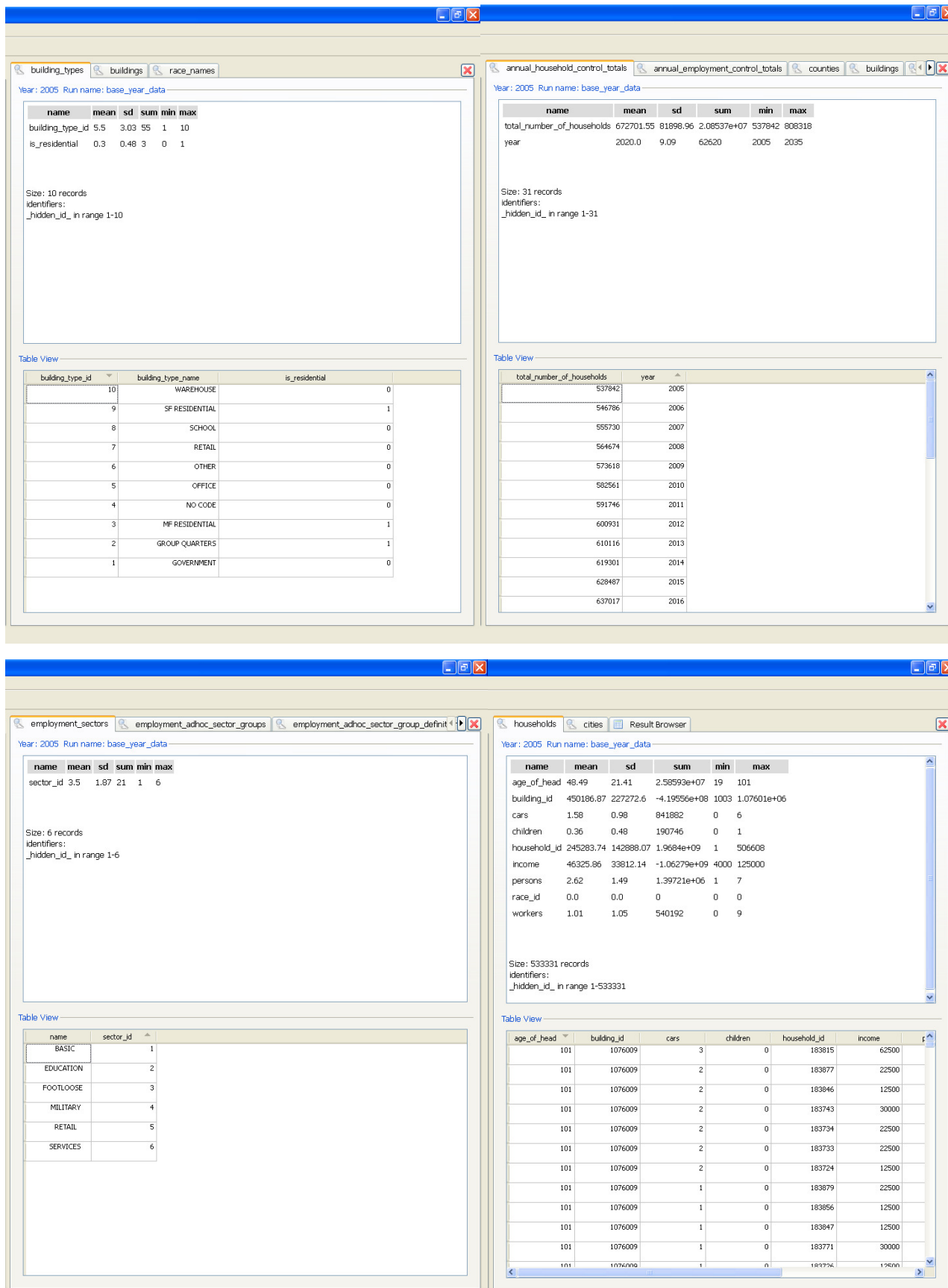
## 5.2 Vhodni podatki

V zavihku Data in podzavihku Opus Data dobimo seznam vseh podatkov na disku, ki so povezani s tem projektom, organizirano v tri kategorije: `base_year_data`, `runs`, `shapefiles`. Podatki zbrani v `base_year_data` so tisti, ki so tudi določeni z vhodnimi podatki in sestavljajo bazo podatkov.



Slika 28: Baza podatkov za začetno leto (vir: lasten vir)

Za vsak niz podatkov lahko pogledamo njegovo strukturo. Ugotovimo, da so vhodni podatki zapisani v tabelah. Tabele imajo različno število stolpcev in vrstic, odvisno od tega, kako je določen vhodni podatek »sestavljen«. Na spodnji sliki je nekaj primerov vhodnih podatkov.



Slika 29: Baza podatkov za začetno leto (vir: lasten vir)

V spodnji preglednici so zbrana imena tabel, v katerih so podatki za izhodiščno leto simulacije.

Preglednica 11: Opisi tabel z vhodnimi podatki (vir: lasten vir)

<b>Opus Data – imena tabel</b>	<b>Razlaga imen in opis vsebine tabel</b>
<b>Annual employment control totals</b>	Letno skupno število zaposlitev, z delitvijo po zaposlitvenih sektorjih.
<b>Annual household control totals</b>	Letno skupno število gospodinjstev.
<b>Annual household relocation rates</b>	Letna stopnja selitev gospodinjstev, ki je ovrednotena z verjetnostjo selitve (0 ali 1) ter vključuje tudi starost članov in prihodke.
<b>Annual job relocation rates</b>	Letna stopnja selitev delovnih mest, ovrednotena z verjetnostjo selitve (0 ali 1) za vsak zaposlitveni sektor.
<b>Building sqft per job</b>	Kvadratni meter stavbe na službo, vključno s podatkom, v kateri vrsti stavbe se nahaja ter v kateri coni je stavba.
<b>Building types</b>	Tip stavbe, z dodatno informacijo, ali je stanovanjska ali ne.
<b>Buildings</b>	Stavbe, pri katerih je definirana tudi povprečna vrednost na enoto, tip, površina zemlje, površina stanovanjskih in nestanovanjskih delov, bivalne enote, kapaciteta bivalnih enot, površina na enoto.
<b>Cities</b>	Mesta.
<b>Counties</b>	Okraji.
<b>Development constraints</b>	Omejitve razvoja, s podatki omejitvev po conah, ki vključujejo okoljske omejitve, kot so mokrišča, strma pobočja, obrežni deli in omejitve razvoja urbane rasti ter dvostranske omejitve za površine dejavnosti (šola, pisarne, trgovine...).
<b>Development event history</b>	Pretekli dogodki v razvoju v obliki sprememb površin iz stanovanjskih v poslovne ali obratno - če so in kakšen delež površine stavbe zajemajo.

se nadaljuje...

...nadaljevanje Preglednice 11

<b>Employment adhoc sector group definitions</b>	Definicije skupin sektorjev za zaposlitev v smislu pripisovanja skupine določenemu sektorju zaposlitve.
<b>Employment adhoc sector groups</b>	Zaposlitvene skupine sektorjev, kjer je skupini pripisana identifikacijska številka.
<b>Employment sectors</b>	Zaposlitveni sektorji.
<b>Home based employment location choice model coefficients</b>	Koeficienti modela izbire lokacije zaposlitve na domu.
<b>Home based employment location choice model specification</b>	Določila modela izbire lokacije zaposlitve na domu.
<b>Home based status</b>	Status zaposlitve na domu – je ali ni (1 ali 0).
<b>Household location choice model coefficients</b>	Koeficienti modela izbire lokacije za gospodinjstvo, kot so prihodki, šolski okoliš, gostota ipd., z vrednostmi vpliva.
<b>Household location choice model specification</b>	Določila modela izbire lokacije za gospodinjstvo, ki pomenijo povezavo koeficientov z ustreznimi spremenljivkami.
<b>Households</b>	Gospodinjstva z vsemi lastnostmi, kot so: starost, v kateri stavbi živijo, število avtomobilov, ki jih imajo, število otrok, oseb, delavcev, višina prihodka...
<b>Households for estimation</b>	Nabor gospodinjstev za oceno.
<b>Jobs</b>	Delovna mesta, definirana s sektorjem, kateremu pripadajo, stavbo in cono v kateri se nahajajo ter ali imajo status zaposlitve na domu.
<b>Jobs for estimation</b>	Nabor delovnih mesta za oceno.
<b>Non home based employment location choice model coefficients</b>	Koeficienti modela izbire lokacije zaposlitve ne na domu, kot so skladišča, cena na enoto ipd.
<b>Non home based employment location choice model specification</b>	Določila modela izbire lokacije zaposlitve ne na domu.

se nadaljuje...

...nadaljevanje Preglednice 11

<b>Non residential development location choice model coefficients</b>	Koeficienti modela izbire lokacije za nestanovanjski razvoj, povezani z gostoto populacije, številom služb, površino za določen namen ipd.
<b>Non residential development location choice model specification</b>	Specifikacije modela izbire lokacije za nestanovanjski razvoj.
<b>Race names</b>	Imena narodov/ras/skupin.
<b>Real estate price models coefficients</b>	Koeficienti modelov cen nepremičnin.
<b>Real estate price models specification</b>	Specifikacije modelov cen nepremičnin.
<b>Refinements</b>	Izboljšave z določilom v katerem letu, na katerem področju...
<b>Residential development location choice model coefficients</b>	Koeficienti modela izbire lokacije za stanovanjski razvoj.
<b>Residential development location choice model specification</b>	Določila modela izbire lokacije za stanovanjski razvoj.
<b>Scenario information</b>	Informacije o scenariju, kot so opis, končno leto...
<b>Scheduled development events</b>	Načrtovani razvojni dogodki po letih, v kateri coni, kater dogodek, količina (npr. dodajanje stanovanjskih enot).
<b>Scheduled employment events</b>	Načrtovani zaposlitveni dogodki po letih, sektorjih, v kateri coni ipd.
<b>Target vacancies</b>	Ustrezne ciljne proste površine po letih in delitvi na stanovanjske in nestanovanjske.
<b>Travel data</b>	Podatki o potovanju za jutranji čas potovanja osebnega vozila ali tranzita do službe, s povezavo s podatkom iz katere do katere cone ter kakšen je strošek potovanja.
<b>Urbansim constants</b>	Konstante Urbansim-a, v smislu opredelitve, kaj pomeni » v zadnjih letih«, mlada leta oseb...
<b>Zones</b>	Cone s površino, gostoto, potovalnimi časi do letališč, CBD...

Bazo torej sestavlja množica podatkov. Iz opisanih tabel lahko razberemo, da bo simulacija v našem primeru zaobjemala:

- 8950 stavb
- 537.842 gospodinjstev v začetnem letu
- 6 sektorjev zaposlitev (basic-osnovni zaposlitveni sektor (industrija, ki sloni na ne-lokalnih, zunanjih faktorjih in izvozu), izobraževanje, prosto-zaposleni, vojska, trgovina, dejavnosti uslug)
- 10 tipov stavb (skladišče, enodružinske stanovanjske stavbe, šole, trgovine, drugo, pisarne, brez kode, več-družinske stanovanjske stavbe, skupna stanovanja, vladne stavbe)
- 28 mest v okviru velemestnega območja San Antonio
- 895 con
- 1.397.210 oseb v začetnem letu.

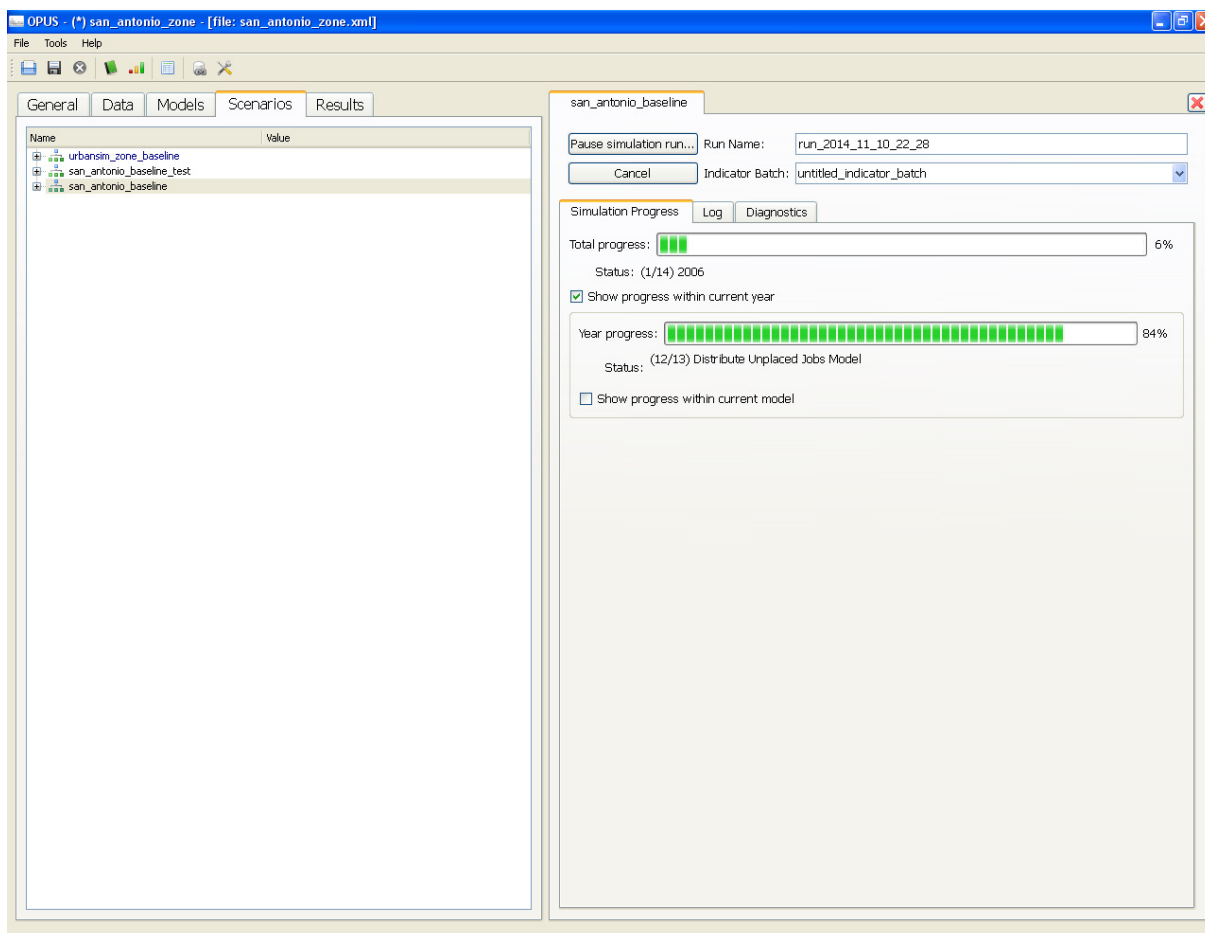
Kot osnovno leto (base year), za katerega so definirani tudi vsi podatki, je vzeto leto 2005, leta za simulacijo pa so od 2006 do 2019. Opisana simulacija bo torej obsegala 13 let.

### 5.3 Zagon in potek simulacije

Ko določimo vse vhodne podatke, modele, spremenljivke, po možnosti skupino spremenljivk, lahko zaženemo simulacijo. Izbiramo lahko med različnimi scenariji za zagon simulacije. Za potrebe te naloge je bil izbran scenarij `san_antonio_baseline`. S scenarijem je določeno, kateri modeli se bodo izvajali, osnovno leto, obseg let za simulacijo, konfiguracija potovalnega modela in ostala določila. Simulacija traja kar nekaj časa, saj poteka za vsako leto posebej, za vse izbrane modele.

Med potekom izvajanja simulacije lahko spremljamo napredek simulacije na tri različne načine: napredek simulacije v deležu (skupni napredek, po letih in po modelih), z beleženjem poteka simulacije v opisnem smislu in skozi diagnostiko spreminjanja določenega indikatorja.





Slika 30: Prikaz poteka simulacije s spremljanjem napredka v deležu (vir: lasten vir)

## 5.4 Rezultati

Za pregled rezultatov moramo odpreti »Result Browser« ali brskalnik rezultatov. Brskalnik rezultatov v Opus GUI dovoljuje interaktivno raziskovanje rezultatov. Izberemo lahko katerokoli leto, v okviru katerih je potekala simulacija, torej od 2005 do 2019 ter razpoložljive indikatorje. Rezultate lahko vidimo v obliki tabel ali kart.

The screenshot shows the UrbanSim software interface. The main window is titled 'OPUS - (\*) san\_antonio\_zone - [file: san\_antonio\_zone.xml]'. The interface is divided into several sections:

- Simulation Runs:** A list of simulation runs, including 'run\_2014\_11\_15\_21\_25' and 'base\_year\_data'.
- Years:** A list of years from 2005 to 2019.
- Indicators:** A table listing various indicators with their names, datasets, and definitions.
 

Name	Dataset	Definition
ln_inc_avg_inc	household_x_building	ln(household.income*building.aggregate(household.income, function=mean))
persons_land_per_unit	household_x_building	household.persons*building.land_area/building.residential_units
ln_income_sqft_per_unit	household_x_building	ln(household.income*building.sqft_per_unit)
persons_sqft_per_unit	household_x_building	household.persons*building.sqft_per_unit
income_sqft_per_unit	household_x_building	household.income/10000*building.sqft_per_unit
price_income_ratio	household_x_building	safe_array_divide(building.average_value_per_unit,household.income)
income_single_family	household_x_building	household.income/10000*building.building_type_id==9
persons_x_single_family	household_x_building	household.persons*building.building_type_id==9
ln_res_units_x_emp_30_min	development_project_x_zone	development_project.residential_units*ln(urbansim_parcel.zone.employment_withi
ln_res_units_x_zone_dev_acre	development_project_x_building	development_project.residential_units*ln(building.disaggregate(zone.dev_acre))
zone_ln_sf_unit_price	zone	ln(zone.aggregate(where(building.building_type_id==9,building.average_value_per
zone_ln_mf_unit_price	zone	ln(zone.aggregate(where(building.building_type_id==3,building.average_value_per
- Table:** A table showing the results for 'zone\_tot\_income\_2008' for various zone IDs.
 

zone_id	zone_tot_income_2008
29	3816500.0
30	4641000.0
31	11023000.0
32	25568000.0
33	19603500.0
34	15215500.0
35	7321500.0
36	6292000.0
37	1316000.0
38	7825000.0

Slika 31: Brskalnik rezultatov v UrbanSim (vir: lasten vir)

Tabele so zelo podrobne, saj podajajo rezultate za posamezno cono, stavbo ali celo gospodinjstvo posebej. Zaradi tega so tudi zelo obsežne in za praktično uporabo ter hiter pregled rezultatov preveč komplicirane. Nadalje bo zato poudarek na prikazu rezultatov v obliki kart.

Izbrane so bile štiri spremenljivke, ki so bile kot indikatorji obravnavane v brskalniku rezultatov.

Izbrane spremenljivke so podane v spodnji preglednici.

Preglednica 12: Izbrane spremenljivke za prikaz rezultatov (vir: lasten vir)

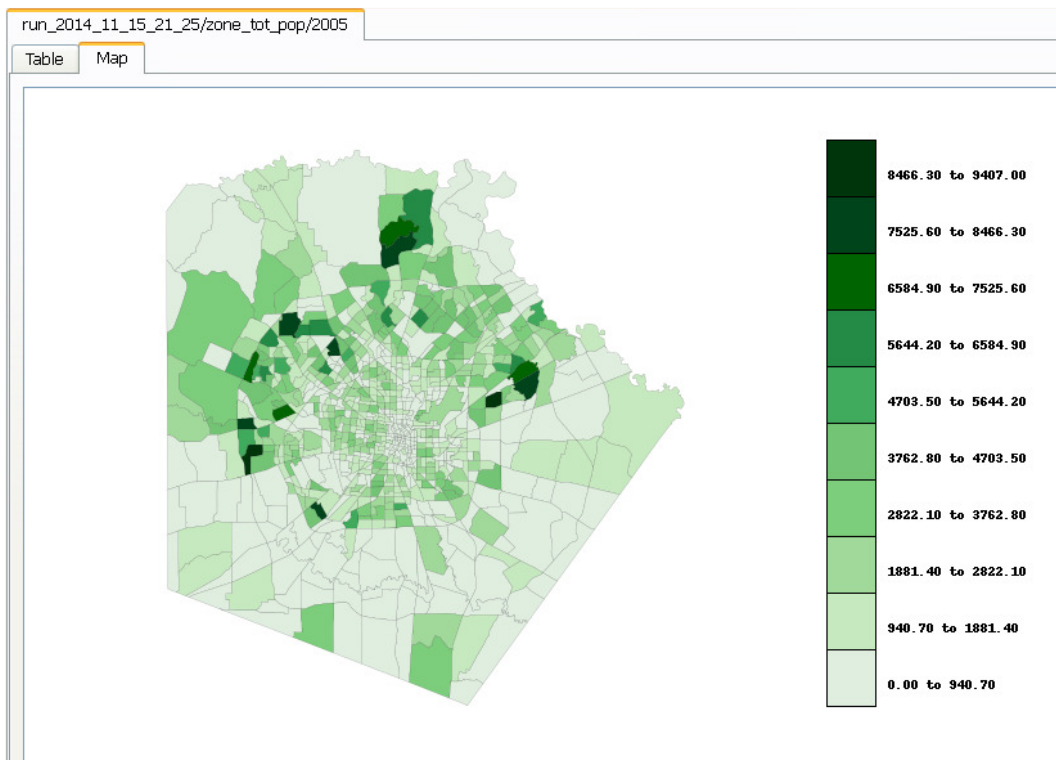
Ime spremenljivke	Definicija v UrbanSim	Razlaga
<b>zone_tot_pop</b>	zone.aggregate(household.persons)	Celotna populacija cone kot seštevek števila oseb posameznih gospodinjstev v coni.
<b>zone_tot_cars</b>	zone.aggregate(household.cars)	Skupno število avtomobilov za vsa gospodinjstva v coni.
<b>zone_tot_income</b>	zone.aggregate(household.income)	Skupni prihodek vseh gospodinjstev v coni.
<b>zone_time_cbd</b>	zone.travel_time_to_cbd	Čas potovanja iz cone do središča centralnih dejavnosti.

Vsaka spremenljivka je bila obravnavana ločeno. Generirani so bili rezultati za izhodiščno leto in za vsako leto simulacije posebej - skupaj za obseg let od 2005 do 2019. Zaradi množice slik bodo v tem delu diplomske naloge prikazani rezultati le za izhodiščno leto 2005 ter končno leto 2019.

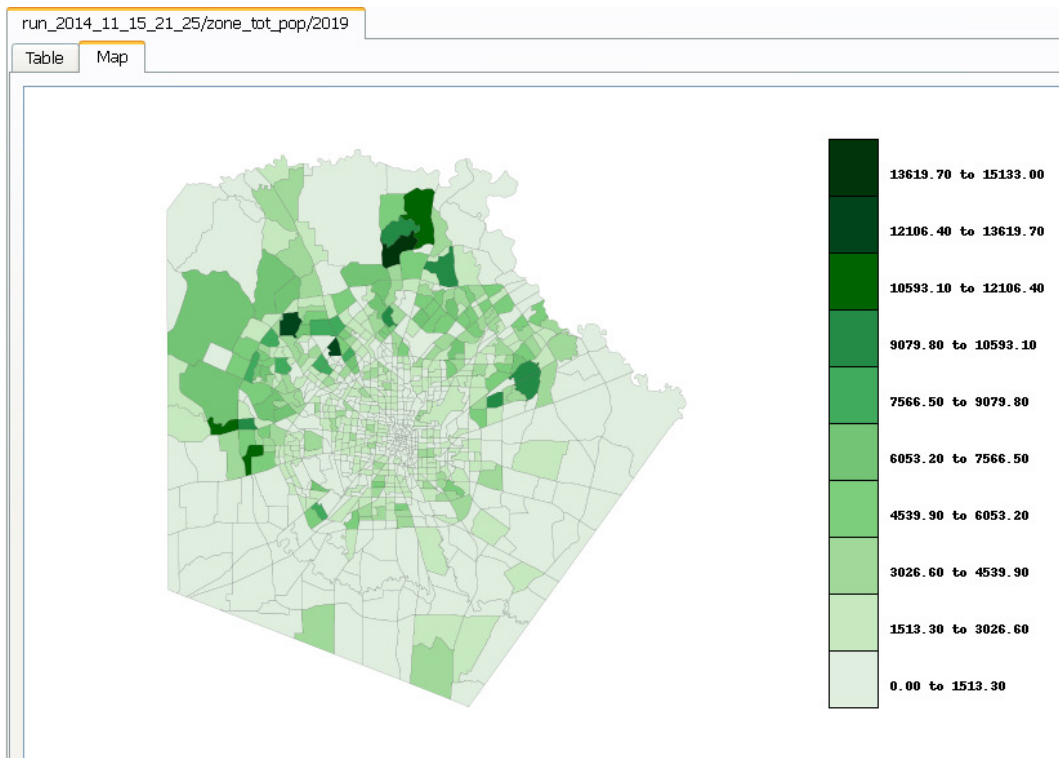
#### 5.4.1 Celotna populacija cone

Nihanje števila prebivalcev pomembno vpliva na razvoj prometa in rabe tal. Povečanje števila prebivalcev v posamezni coni prikazuje, da je le-ta cona bolj atraktivna za stanovanjsko rabo. Temu primerno mora biti v tej coni prilagojena prometna infrastruktura; z razvejano mrežo dostopnih poti do bivalnih objektov, ki jo sestavljajo prometnice primerne bivalnemu okolju, zadostno odmaknjenostjo od velikih prometnih žil, ki z svojimi vplivi in emisijami zmanjšujejo kakovost življenja, po drugi strani pa je za atraktivnost lokacij pomembna tudi dostopnost, oziroma lahek dostop do središč pomembnih dejavnost, če opazovana lokacija predstavlja izvor potovanja.

Na spodnjih slikah je predstavljeno število prebivalstva v posameznih conah za izhodiščno leto in štiri leta simulacije. Iz tega bo moč ugotoviti, katera območja so bolj primerna za bivanje in katera se bodo po vsej verjetnosti razvijala v drugih smereh.



Slika 32: Število prebivalcev po conah za leto 2005 (vir: lasten vir)



Slika 33: Število prebivalcev po conah za leto 2019 (vir: lasten vir)

Opazimo lahko, da se število prebivalcev v splošnem veča. Leta 2005 je maksimalna vrednost 9.407, leta 2019 pa že 15.133. Temu primerno se večajo tudi vrednosti ostalih intervalov na celotni skali.

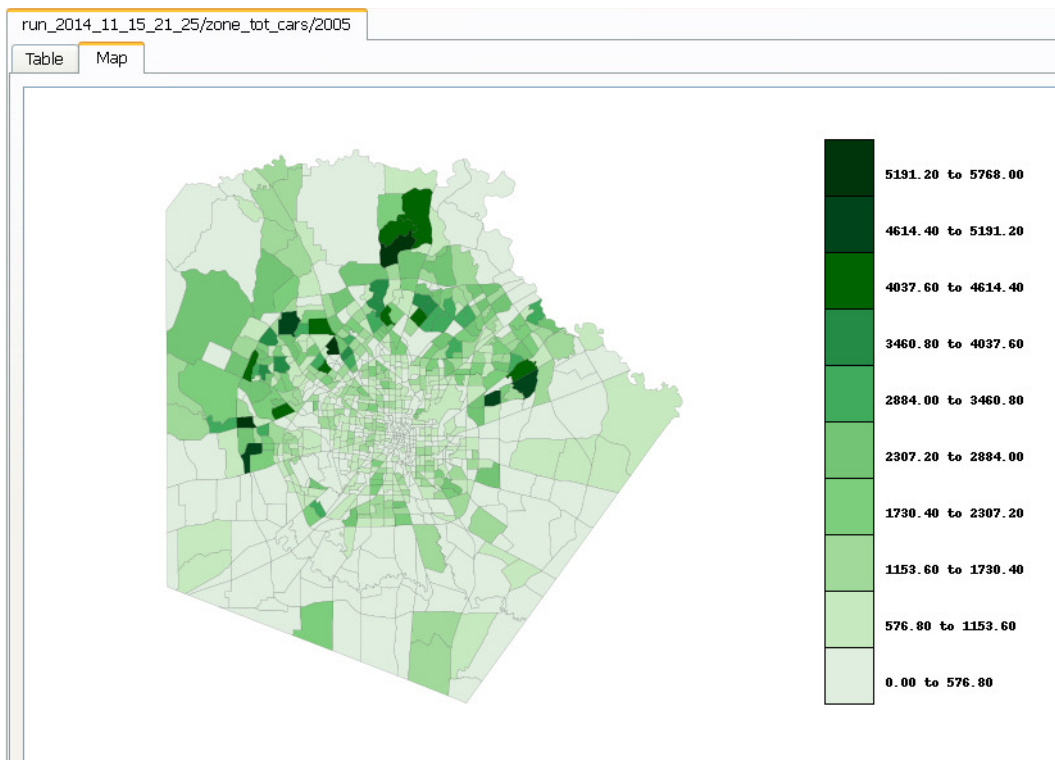
Najbolj priljubljena območja za bivanje so cone na severnem obrobju mesta, vendar še dovolj blizu središča, da je dostop do centralnih dejavnosti razmeroma hiter in lahek. Skozi leta se poselitev vse bolj usmerja v nekaj določenih con, ostale pa ohranjajo število prebivalcev, ali pa se le-to celo zmanjšuje, kot je to izrazito vidno na vzhodnem delu obravnavanega območja. Na južnem delu območja pa je poselitev na splošno bolj redka, zato so tam verjetno razvite druge vrste rabe tal. Kar se tiče con v samem središču mesta, so v izhodiščnem letu, glede na ostale cone, poseljene povprečno; nekatere minimalno, spet druge malo več, z vrednostmi do sredine merilne skale. Skozi leta pa se stanovanjska območja v središču ne razvijajo, zato opazamo čedalje več con, ki so, glede na ostale cone opazovanega območja, poseljene podpovprečno.

#### **5.4.2 Skupno število lastništev avtomobilov**

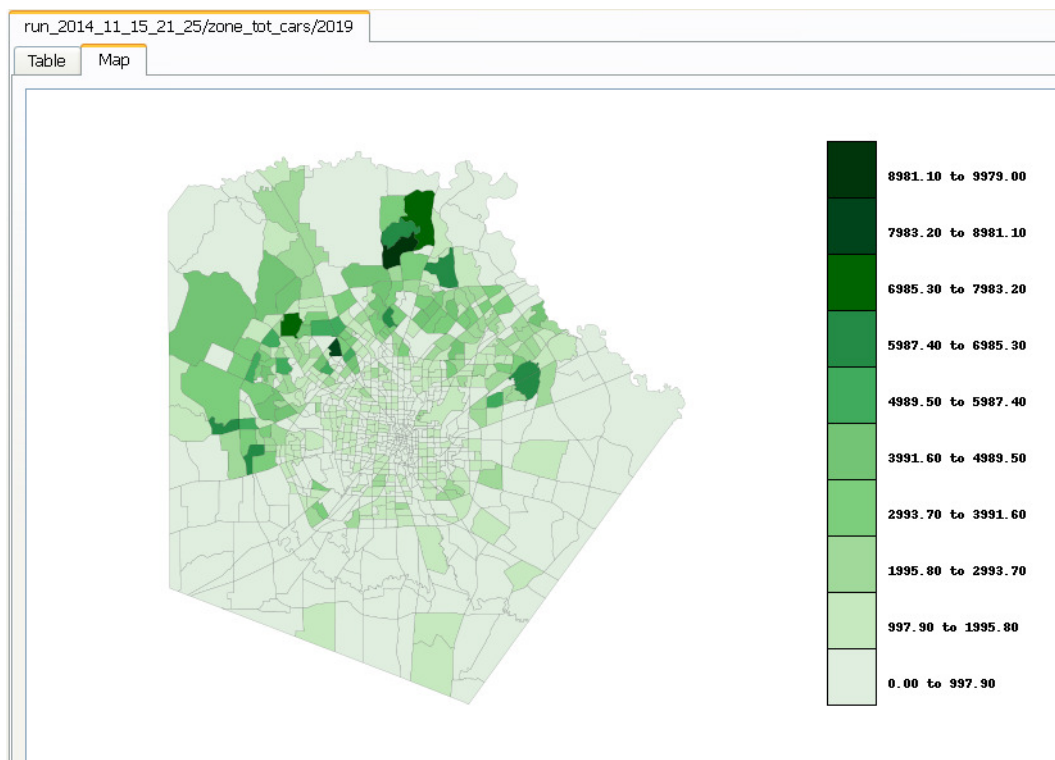
Spreminjanje števila lastništev avtomobilov v gospodinjstvih je pomemben pokazatelj smeri trenda izbire prevoznih sredstev. Individualni prevoz je še vedno med najbolj priljubljenimi, vendar pa si strategije, ki težijo k doseganju trajnostnih urbanih okolij, prizadevajo za omejitev avtomobilskega prevoza. Število avtomobilov je sicer tudi zelo odvisno od prihodka gospodinjstev, zato bodo nadalje pregledani tudi podatki o stanju prihodkov skozi leta.

Če je na določenem območju povečano število lastništva avtomobilov, lahko predvidevamo, da bo iz tiste lokacije več izvornih potovanj z avtomobilom. To pomeni tudi večjo obremenitev cest in hkrati večje potrebe po površinah za mirujoči promet. Iz teh lokacij so torej potrebne dobre povezovalne ceste do glavnih arterij za avtomobilski promet, kot so hitre ceste in avtoceste.

Na spodnjih slikah je predstavljeno število avtomobilov za vsa gospodinjstva v posameznih conah, za izhodiščno in končno leto simulacije.



Slika 34: Število avtomobilov po conah za leto 2005 (vir: lasten vir)



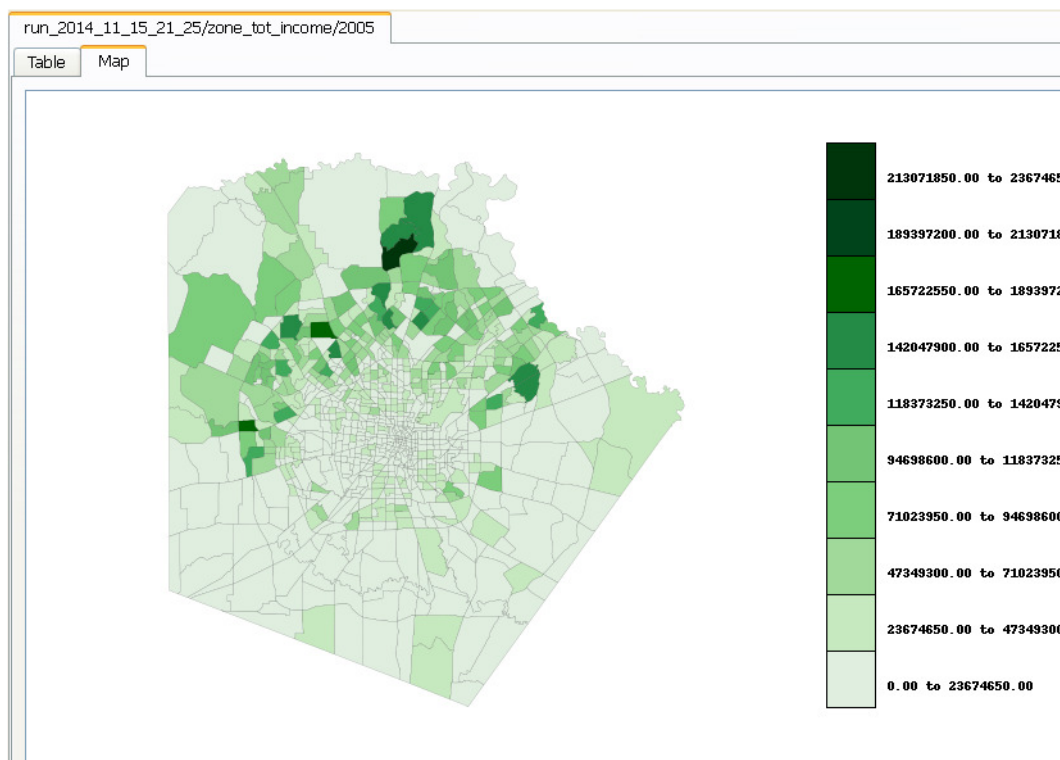
Slika 35: Število avtomobilov po conah za leto 2019 (vir: lasten vir)

Če primerjamo slike za rezultate o podatkih števila prebivalcev ter števila lastništev avtomobilov, lahko ugotovimo, da so si med seboj zelo podobne. To je logično, saj večje število prebivalcev v določeni coni pomeni tudi večje število lastništev avtomobilov. Vseeno pa opazimo nekaj odstopanj, predvsem na vzhodnem obravnavanega območja, ter v poseljenih conah južnega dela; tu se namreč število avtomobilov hitreje zmanjšuje kot število prebivalcev. Odstopanje pa se opazi tudi v conah v okolici središča mesta, kjer se ponekod, kljub povprečni poselitvi, število avtomobilov zmanjšuje na podpovprečno raven. Na splošno je v središču mesta število avtomobilov glede na število prebivalcev manjše kot drugod.

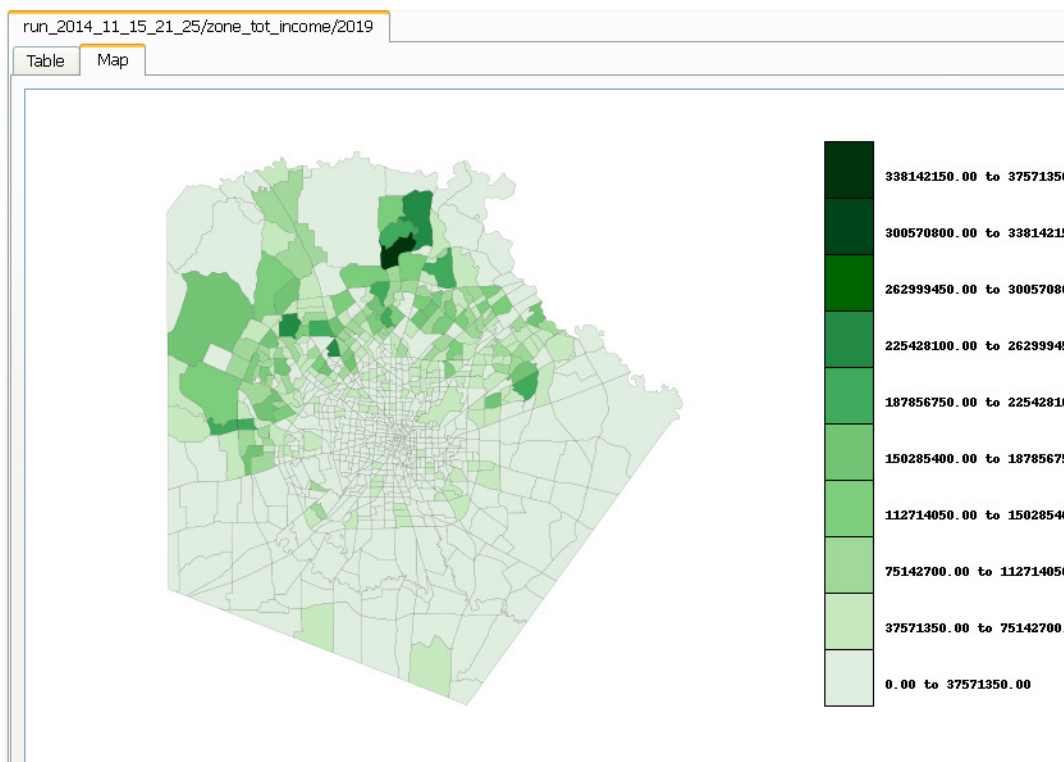
V splošnem pa merilni skali, pri prebivalstvu in pri številu avtomobilov, medsebojno enakomerno rasteta. Če pogledamo samo maksimalne vrednosti, je skozi vsa leta razmerje med prebivalci in številom avtomobilov v coni približno 0,6 avtomobila na prebivalca.

### 5.4.3 Skupni prihodek

Kot že rečeno, sta število avtomobilov ter izbira načina potovanja zelo odvisna od socialnega stanja gospodinjstev, torej od prihodkov. To je v splošnem dober pokazatelj za razvoj prometa, saj lahko z večjimi prihodki generiramo več potovanj, prav tako pa obstaja razlika v izbiri prevoznega sredstva, saj avtomobil predstavlja določen luksuz.



Slika 36: Skupni prihodek po conah za leto 2005 (vir: lasten vir)



Slika 37: Skupni prihodek po conah za leto 2019 (vir: lasten vir)

Prihodki v splošnem naraščajo, saj se tudi vrednosti na skali iz leta v leto večajo. Pojavljajo pa se vse večje razlike med conami – ene imajo izrazito visok prihodek, druge pa stagnirajo ali pa se prihodek celo manjša. Po prihodkih izrazito izstopa samo ena cona. Ta ima sicer tudi veliko število prebivalstva, a vendar je edina, ki dosega najvišje vrednosti opredeljene v merilni skali.

Pri pregledu teh rezultatov je najbolj zanimivo odstopanje med slikami, ki prikazujejo število prebivalcev in slikami, ki prikazujejo prihodke, kaže v conah v središču mesta in bližnji okolici. Tu so prihodki namreč med najnižjimi, kljub temu, da te cone imajo določeno število prebivalcev. Iz tega lahko sklepamo, da so luksuzne lokacije na obrobjih tiste, ki privabljajo prebivalstvo, saj se čedalje bolj poudarja kvaliteta življenja.

Če primerjamo slike, ki prikazujejo prihodke in slike, ki prikazujejo lastništvo avtomobilov lahko opazimo, da kljub temu, da se prihodki v nekaterih conah zmanjšujejo, oziroma ne rastejo sorazmerno glede na ostale cone, število avtomobilov ne upada. Za cone v središču mesta pa lahko opazimo podobno kot navedeno v zgornjem odstavku, vendar razlika ni tako izrazita. V splošni obliki pa so si slike, ki prikazujejo prihodke in slike, ki prikazujejo lastništvo avtomobilov, podobne.

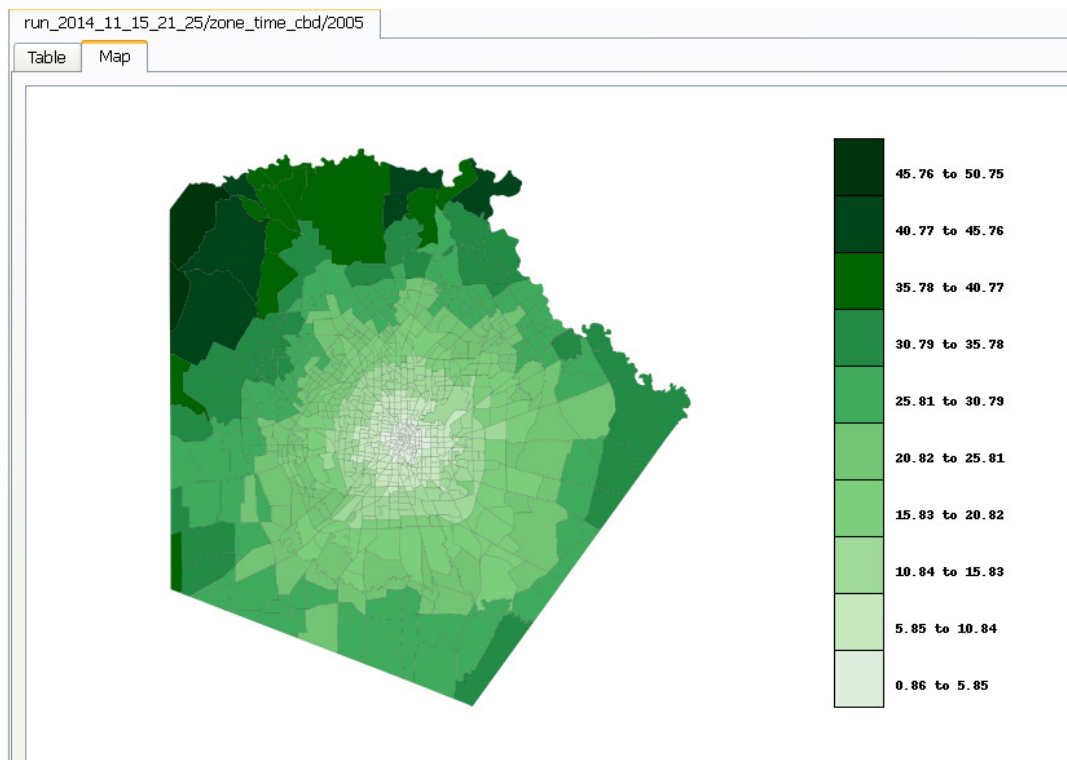
Pričakujemo lahko torej, da bo iz con na severu območja generiranih več potovanj, predvsem z osebnim avtomobilom, ta pa bodo tudi daljša.

#### 5.4.4 Čas potovanja iz cone do središča centralnih dejavnosti

Kot že ugotovljeno, veliko vlogo pri atraktivnosti določene lokacije igra dostopnost, tudi v smislu, kako lahko je dostopati do pomembnih središč, ko ta lokacija predstavlja izvor potovanja. Dostop do središča poslovnih in centralnih dejavnosti ali CBD je dober pokazatelj, kakšni so transportni atributi



določene lokacije. Čas potovanja do CBD pa tudi pokaže stanje prometne infrastrukture na določenih območjih ter njeno kapaciteto in sposobnost sprejemanja povečanih obremenitev.



Slika 38: Čas potovanja iz con do CBD za leto 2005 (vir: lasten vir)

#### 5.4.5 Povzetek rezultatov

Medtem, ko se časi potovanja do CBD skozi leta simulacije ne spreminjajo, vse tri ostale spremenljivke kažejo porast, tako prebivalstva, števila avtomobilov kot prihodkov. Iz tega lahko sklepamo, da so prometnice na obravnavanem območju dobro načrtovane in dimenzionirane za pričakovane obremenitve in povečano število potovanj.

Glede na to, da se celotno število prebivalcev veča in koncentrira v določene cone na severu obravnavanega območja, je tam tudi pričakovano vsako leto večje število avtomobilov, glede na to, da se tudi prihodek gospodinjstev ne zmanjšuje. Avtomobil tako še vedno ostaja zelo priljubljeno prevozno sredstvo, kar dokazuje tudi to, da se v conah, kjer je bila zmanjšana vrednost skupnega prihodka, ne pa tudi skupnega števila prebivalcev, število avtomobilov ne zmanjšuje. Od poseljenih območij je v splošnem najmanjše število avtomobilov v okolici središča mesta, saj najverjetneje prebivalci tu ne uporabljajo avtomobila na dnevni bazi, ker so jim dejavnosti, kot so šola, služba ter druge, dostopne na kakšen drugačen način. Je bil pa tu tudi zaznan izrazito najmanjši prihodek med poseljenimi conami.

Posebno pozornost načrtovanju prometne infrastrukture v prihodnosti bi veljalo nameniti severnemu delu območja, kjer se zgoščuje prebivalstvo, saj se od tam pričakuje največje število dnevnih migracij do CBD. Potrebne so dobre povezave do centra mesta. V doseganju ciljev trajnostnega razvoja mest pa bi bilo pomembno tudi spodbujati drugačne načine izbire prevoznih sredstev, saj se v teh conah tudi najbolj povečuje število avtomobilov.

## 6 ZAKLJUČEK

Integrirano modeliranje rabe tal in prometa se kaže kot vse bolj smiseln način načrtovanja urbanega prostora. Težnje k trajnostnemu razvoju so še bolj spodbudile usmerjanje razvoja urbanih sprememb v integrirano načrtovanje. Za razvoj operativnih urbanih modelov moramo upoštevati vseh osem urbanih podsistemov: omrežja, rabo tal, delovna mesta, prebivališča, zaposlitve, prebivalstvo, transport dobrin in potovanja. Teh osem podsistemov se spreminja z različno dinamiko, saj so spremembe na nekaterih področjih počasnejše kot na drugih.

Za razvoj integriranega modeliranja obstajajo tako teoretične kot empirične osnove. Teoretične osnove vključujejo tehnične, ekonomske in socialne teorije, ki zajemajo tako razvoj skozi čas, kot tudi obnašanje posameznikov glede na svoje zmožnosti. Empirične osnove opazujejo vplive rabe tal na promet in obratno. Tudi tu so zajete odločitve posameznikov, saj le-ti s svojimi aktivnostmi vplivajo na to interakcijo.

Navkljub vsem smernicam urbani razvoj torej najbolj določajo njegovi uporabniki, ki hkrati tudi potrjujejo uspešnost planerskih strategij. Vsak od prebivalcev in uporabnikov določenega urbanega območja (nezavedno) oblikuje njegovo podobo. Z izbiro lokacije svojih aktivnosti, mesta zaposlitve ter mesta bivanja določa razvoj posamezne rabe tal na izbranih območjih ter tudi atraktivnost določene lokacije. Med vsemi njegovimi dejavnostmi morajo obstajati prometne povezave, ki naj bi bile čim hitrejše, udobne in varne. Če ima na izbiro več poti in načinov za premagovanje razdalj, se bo odločil glede na svoje socialno-ekonomske zmožnosti, predvsem pa glede na udobnost in čas potovanja.

Pri načrtovanju rabe tal in prometa je torej zelo pomembno predvidevanje odločitev, ki jih bodo sprejeli določeni akterji, ki sestavljajo urbani sistem. To so posamezniki, gospodinjstva, poslovni subjekti, načrtovalci ter nosilci oblasti, ki preko zakonov in predpisov regulirajo stanje v urbanih sistemih. Ker pa se v ospredje vse bolj postavlja kvaliteten in zdrav način življenja ter trajnostni razvoj je nujno, da se upošteva tudi okoljske faktorje.

Uspešnost strategij, ki so bile sicer narejene z upoštevanjem vseh faktorjev, pa je vseeno potrebno preveriti, saj se včasih lahko urbani sistem obnaša povsem drugače kot predvideno. Zato služijo LUTI modeli, saj predstavljajo neke vrste poenostavitve urbanih sistemov.

Zaradi oblike podatkov, ki jih je potrebno upoštevati ter vključiti v same modele ter zaradi lažjega preverjanja različnih strategij, so se pojavili računalniški programi za modeliranje rabe tal in prometa. To je bil velik korak pri načrtovanju urbanih sistemov, saj je možno preveriti različna stanja tako v prometu, kot tudi rabi tal, predvsem pa je omogočeno lažje vrednotenje določenih strategij ter variant. Prav tako je lažje dobiti podatke, ki so primerni za širše občinstvo. Velika prednost računalniškega modeliranja je tudi v prihranku časa, mogoče pa je tudi preveriti ekonomske upravičenosti določenih variant. Od začetkov pojavljanja programske opreme za integrirano modeliranje rabe tal in prostora v 70-ih letih, pa vse do danes, se je razvila vrsta programov, ki se med seboj razlikuje glede na obsežnost, strukturo, teoretično ozadje, tehnike modeliranja, dinamiko, zahtevane podatke, vrednotenje, prikaz rezultatov... Vse to je odraz potreb, za katere so bili narejeni ti programi, saj so večinoma zelo specifični, vseeno pa so nekateri izmed njih primerni za širšo uporabo, saj dovoljujejo določanje večjega števila parametrov in vnašanje lastnih vhodnih podatkov.

Eden od širše uporabljenih pripomočkov za računalniško modeliranje rabe tal in prometa je UrbanSim, kateremu k uporabnosti pripomore predvsem odprtost. Pri svojem izvajanju vključuje interakcije med rabo zemljišč, prevozom, gospodarstvom in okoljem. Kombinira podatke rabe tal in transporta, da

simulira urbano rast, uporablja pa se tudi za ocenjevanje vplivov razvojnih planov na področju onesnaženja vode in zraka, izgube odprtega prostora in celo ogroženosti divjih živali.

V modelu mesta v programu UrbanSim so v interakciji štiri glavna sredstva oziroma akterji. To so gospodinjstva, poslovni subjekti, načrtovalci ter vlada in vladne službe. V digitalni obliki mesta so ta sredstva predstavljena kot posamezne osebe oziroma agenti z lastnim razmišljanjem. Interakcija med njimi se dogaja skozi prostor oziroma tla ter promet, ki predstavlja povezave med njimi ter lokacijami njihovih aktivnosti. Ker je v programu zajeta izbira velikega števila teh akterjev in ker le-ti niso združeni v skupine, ampak obravnavani posamezno, je UrbanSim označen kot popoln mikrosimulacijski modelni sistem.

Za simuliranje razmer v prometu pa UrbanSim uporablja zunanji transportni model, najpogosteje MATSim. Z njim lahko spremljamo gibanje v opazovanem območju na ravni osebe, kar omogoča natančen vpogled v navade prebivalcev. Omogočen je tudi izvoz rezultatov in njihov uvoz v druge programe. Z MATSim lahko simuliramo in optimiziramo potovanja; predvsem slednje je zelo pomembno pri načrtovanju prometa. Združitev UrbanSima in MATSima (MATSim4UrbanSim) torej daje uporabne podatke glede obnašanja in aktivnosti agentov ter dogodkov v prometnem omrežju obravnavanega območja.

UrbanSim je v splošnem precej kompleksno prognostično orodje, zato se pri uporabi srečujemo z več izzivi. Predvsem je potrebna velika količina vhodnih podatkov ter zapleteno definiranje modelov. Priprava podatkov za simulacijo je lahko dolgotrajen, več-leten proces, vendar pa je potem možno preverjati vrsto različnih strategij ter vplivov na tem območju. Priprava lastnega modela bi torej presegala okvire te diplomske naloge, zato sem uporabila za simulacijo enega od že vključenih projektov. V tem projektu žal ni bilo moč vključiti vmesnika za MATSim, kar je onemogočilo konkretne rezultate glede stanja prometa na obravnavanem območju.

Izvedena je bila simulacija na primeru san\_antonio\_zone, kar pomeni, da je bilo obravnavano območje mesta San Antonio na ravni delitve na cone. Iz pridobljenih rezultatov je bilo moč razbrati nekatere spremembe v poselitvi območja, lastništva avtomobilov ter višine prihodkov. Na podlagi tega so bili podani sklepi, v katerih območjih se pričakuje povečano število potovanj, kateri deli se bodo razvijali in v kateri stagnirali ali se celo degradirali.

UrbanSim je dobro izhodišče za razvoj novih sistemov, ki bi jih lahko prilagodili razmeram našega prostora. Večina programov za integrirano modeliranje je sicer narejena za velika, metropolitanska območja, vseeno pa menim, da bi se dalo modificirati že obstoječe programe ali jih vzeti kot osnovo za slovenska mesta, ki so v svetovnem merilu majhna. Mogoče bi bilo celo bolj smiselno načrtovati na širših območjih mest ali na območjih mest s predmestji, primestji in satelitskimi naselji. S tem bi lahko izboljšali omrežje javnega transporta ter spodbudili njegovo uporabo ali izboljšali izrabo prostora na določenih območjih in s tem pridobili kvalitetnejše proste površine.

**VIRI**

## UPORABLJENI VIRI

- [1] Zhao, F., Soon, C., Shaw, S., Xin, X. 2003. Modeling Interactions between Land Use and Transportation Investments Using Spatiotemporal Analysis Tools. Supplemental Report for BC851. Tallahassee, Florida, Research Center: 300 str.  
Žura, M., 2013. Elektronsko sporočilo za Bahor, K. 27. 5. 2013. Osebna komunikacija.
- [2] Wadell, P. Theory and Data for Land Use Forecastng. Webinar 2 of an 8-part TMIP Webinar series on land use forecasting methods: 34 str.  
[http://urbansim.org/pub/Documentation/Classroom/WebHome/Theory\\_and\\_Data.pdf](http://urbansim.org/pub/Documentation/Classroom/WebHome/Theory_and_Data.pdf)  
(Pridobljeno 16. 7. 2014.)
- [3] Land Use – Transportation Interaction. V: Center for Urban Transportation Studies, Universtity of Wisconsin-Milwaukee in cooperation with Wisconsin Department of Transportation. 1999. An Overview: Land Use and Economic Development in Statewide Transportation Planning. Report for the Federal Highway Administration. U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration: str. 10-24.  
<https://www4.uwm.edu/cuts/lu/lu-2.pdf> (Pridobljeno 17. 6. 2014.)
- [4] Mrđa Kovačič, K. 2011. Parametri trajnostne sošeske. Diplomsko delo. Maribor, Univerza v Mariboru, Fakulteta za gradbeništvo (samozaložba K. Mrđa Kovačič): 76 f.
- [5] Inštitut za politike prostora. 2014. Izrazje.  
<http://ipop.si/urejanje-prostora/izrazje> (Pridobljeno 27. 8. 2014.)
- [6] Axhausen, K. W. (ur.). 2012. SustainCity: Microsimulation, land use and transportation models for more sustainable cities in Europe: WP2 – State of the art. V: SustainCity Policy Briefs, Work packages of SustainCity project. Januar 2010 – December 2012. FP7 Cooperation Work Programme: Theme, 8 Socio-Economic Sciences and Humanities. Collaborative Project – Small or medium-scale focused research project (STREP). European Commission, European Research Area, Seventh Framework Programme: 15 str.  
[http://ec.europa.eu/research/social-sciences/pdf/policy-briefs-sustaincity-june-2012\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/research/social-sciences/pdf/policy-briefs-sustaincity-june-2012_en.pdf)  
(Pridobljeno 16 .9. 2014.)
- [7] Wegener, M. 2004. Overview of land-use transport models. V: Hensher, D. A. (ur.), Button, K. J., (ur.): Transport Geography and Spatial Systems. Handbook 5 of Handbook in Transport. Kidlington, UK, Pergamon/Elsevier Science: p. 127-146.  
Žura, M., 2013. Elektronsko sporočilo za Bahor, K. 27. 5. 2013. Osebna komunikacija.
- [8] Nicolai, T. W. 2013. Matsim for UrbanSim, Integrating an urban simulation model with a travel model. Doktorska disertacija. Berlin, Fakultät V – Verkehrs- und Maschinensysteme der Technischen Universität Berlin (samozaložba T. W. Nicolai): 116 f.  
<http://opus4.kobv.de/opus4-tuberlin/frontdoor/index/index/docId/4455>  
(Pridobljeno 17. 9. 2014.)

- [9] Wadell, P. 2011. The Evolving State of the Practice. Webinar 1 of an 8-part TMP Webinar series on land use forecastng methods. Berkeley, University of California: 26 str.  
<http://www.urbansim.org/Documentation/Classroom/WebHome> (Pridobljeno 16. 7. 2014.)
- [10] Wadell, P., Freyr Ulfarsson, G. 2004. Intorduction to urban simulation: Design and development of operational models. Washington, University of Washington. V: Stopher (ur.), Button (ur.), Kingsley (ur.), Hensher (ur.). Handbook in Transport, Volume 5: Transport Geography and Spatial Systems. 2004. Pergamon Press: p. 203-236.  
<http://www.urbansim.org/pub/Research/ResearchPapers/waddell-ulfarsson-ht-IntroUrbanSimul.pdf> (Pridobljeno 3. 7. 2014.)
- [11] Axhausen, K. W. (ur.). 2012. SustainCity: Using land-use/transport models for sustainable policy making. V: SustainCity Policy Briefs, Work packages of SustainCity project, WP 6. Januar 2010 – Junij 2013. FP7 Cooperation Work Programme: Theme, 8 Socio-Economic Sciences and Humanities. Collaborative Project – Small or medium-scale focused research project (STREP). European Commision, European Research Area, Seventh Framework Programme: 34 str.  
[http://www.sustaincity.org/D6.1\\_Policy\\_Brief\\_SustainCity\\_Using\\_Land\\_Use\\_Models\\_v2.pdf](http://www.sustaincity.org/D6.1_Policy_Brief_SustainCity_Using_Land_Use_Models_v2.pdf) (Pridobljeno 14. 10. 2014.)
- [12] Cohn, L. F. (ur.). 2008. Transportation and Development Innovative Best Practices 2008: Proceedings of the First International Symposium, April 24-26, 2008. Beijing, Transportation and Development Institute (T&DI) of the American Society of Civil Engineers, China Academy of Transportation Sciences: 546 str.  
[http://books.google.si/books?id=X8CHnwCEeSwC&num=100&hl=sl&redir\\_esc=y](http://books.google.si/books?id=X8CHnwCEeSwC&num=100&hl=sl&redir_esc=y) (Pridobljeno 18. 9. 2014.)
- [13] Wadell, P. 2002. UrbanSim: Modeling Urban Development for Land Use, Transportation and Environmental Planning. Seattle. University of Washington, Department of Urban Design and Planning and Daniel J. Evans School of Public Affairs. Journal of the American Planning Association, Vol. 68 No. 3: 297-314.  
<http://www.urbansim.org/pub/Research/ResearchPapers/UrbanSim-JAPA.pdf> (Pridobljeno 18. 9. 2014.)
- [14] Wegener, M., Fürst, F. 1999. Land-Use Transport Interaction: State of the Art. Berichte aus dem Institut für Raumplanung. Deliverable 2a of the project TRANSLAND (Integration of Transport and Land Use Planning) of the 4th RTD Framework Programme of the European Commission. Dortmund, Universität Dortmund - Fakultät Raumplanung, Institut für Raumplanung: 85 str.  
Žura, M., 2013. Elektronsko sporočilo za Bahor, K. 27. 5. 2013. Osebna komunikacija. Elektronska kopija dostopna na: <http://ssrn.com/abstract=1434678>
- [15] Peng, Z. 2010. Overview of Land Use Modeling. Part of a LUM Webinar Series, Part 1: Land Use Modelling Frameworks, Practice and Experience. FLMTF, Land Use Subcommittee Working Repository: 51 str.  
[http://www.wgianalytics.com/landuse/docs/webinars/1/Overview\\_of\\_land\\_use\\_modeling\\_revi ew.pdf](http://www.wgianalytics.com/landuse/docs/webinars/1/Overview_of_land_use_modeling_revi ew.pdf) (Pridobljeno 17. 6. 2014.)

- [16] Wadell, P. 2011. Dynamic Microsimulation: UrbanSim. Webinar 5 of an 8-part TMP Webinar series on land use forecastnig methods. Berkeley, University of California: 91 str.  
<http://www.urbansim.org/Documentation/Classroom/WebHome> (Pridobljeno 16. 7. 2014.)
- [17] Guizzo, E. 2003. Software and the City.  
Članek na spletni strani IEEE Spectrum (1. dec. 2003).  
<http://spectrum.ieee.org/computing/software/software-and-the-city> (Pridobljeno 16. 9. 2014.)
- [18] Wiki članek o programu UrbanSim. 2014.  
<http://en.wikipedia.org/wiki/UrbanSim> (Pridobljeno 18. 8. 2014.)
- [19] Wadell, P. (ur.), Borning, A., Foti, F., Ševčíková, H., Wang, L., Wauthier, F. 2011. Users Guide and Reference Manual for The Open Platform for Urban Simulation and UrbanSim Version 4.3. University of California Berkeley, and University of Washington: 313 str.  
<http://www.urbansim.org/downloads/manual/dev-version/opus-userguide.pdf>  
(Pridobljeno 16. 9. 2014.)
- [20] Gallay, O. 2010. Starting with UrbanSim: On the Creation of an Introductory Project. Lausanne, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL), Transport and Mobility Laboratory (Transp-OR): 42 str.  
[http://infoscience.epfl.ch/record/152471/files/Gallay\\_UrbanSim\\_2010.pdf](http://infoscience.epfl.ch/record/152471/files/Gallay_UrbanSim_2010.pdf)  
(Pridobljeno 20. 6. 2014.)
- [21] Troy, A., Voigt, B. 2008. Modeling Land Use Change in Chittenden County, VT. Land Use Modeling Stakeholders Workshop. Burlington, The University of Vermont: 46 prosojnic.  
[www.uvm.edu/rsenr/countymodel/Workshop08bv3.ppt](http://www.uvm.edu/rsenr/countymodel/Workshop08bv3.ppt) (Pridobljeno 25. 6. 2014.)
- [22] Rieser, M., Dobler, C., Dubernet, T., Grether, D., Horni, A., Lämmel, G., Waraich, R., Zilske, M., Axhausen, K. W., Nagel, K. 2014. MASTim User Guide. MATSim: 56 str.  
<http://ci.matsim.org:8080/view/All/job/UserGuide/ws/trunk/docs/user-guide/user-guide.pdf>  
(Pridobljeno 9. 12. 2014.)
- [23] Nicolai, T. W., Nagel, K. 2012. Coupling Transport and Land-Use: Investigating accessibility indicators for feedback from a travel to a land use model. Berlin, TU Berlin: 25 str.  
[http://www.sustaincity.org/publications/SCCI\\_Coupling\\_Transport\\_and\\_Landuse.pdf](http://www.sustaincity.org/publications/SCCI_Coupling_Transport_and_Landuse.pdf)  
(Pridobljeno 16. 9. 2014.)
- [24] Spletna stran projekta SustainCity. 2014.  
<http://www.sustaincity.org/research> (Pridobljeno 16. 9. 2014.)

## OSTALI VIRI

Žura, M., 2011. Povzetek predavanj za predmet Prometno planiranje. Elektronsko sporočilo za Bahor, K. 25. 3. 2014. Osebna komunikacija.

Spletna stran podjetja Synthicity. 2014.

<http://www.synthicity.com/urbansim/> (Pridobljeno 19. 8. 2014.)

Wadell, P. 1998. Simulacijski sistem UrbanSim: računalniški pripomoček za integrirano modeliranje rabe tal in prometa. Berkeley, University of California.