



Универзитет „Св. Климент Охридски“ – Битола

Технички факултет - Битола



**50** 1961-2011  
години  
ТЕХНИЧКИ ФАКУЛТЕТ  
Битола

# Зборник на трудови - 2012

## Proceedings - 2012

Битола, октомври 2012

**ПЕДЕСЕТ**

50 години Технички факултет - Битола [Електронски извор] :  
1961-2011 : зборник на трудови = proceedings / [уредувачки одбор  
Весна Ангелевска, Владимир Мијаковски, Цвете Димитриеска]. - Битола :  
Универзитет "Св. Климент Огридски", Технички факултет, 2014. - 1  
оптички диск ЦД РОМ ; 12 см

Фусноти кон текстот. - Библиографија кон трудовите

ISBN 978-9989-786-86-0

a) Технички факултет (Битола) - 1961-2011 - Зборници - CD-а  
COBISS.MK-ID 95556106

## МИКРОСКОПСКИ СИМУЛАЦИОНЕН МОДЕЛ НА ДВИЖЕЊЕ НА ПЕШАЦИ

Доцент Д-р Јасмина Буневска-Талевска, Ред.проф.д-р Марија Маленковска Тодорова

*Технички факултет – Битола  
Универзитет „Св.Климент Охридски“ – Битола  
Ул.Иво Лола Рибар бб., Битола Р.Македонија  
+389 47 207 758  
[jasmina.bunevska@tfb.uklo.edu.mk](mailto:jasmina.bunevska@tfb.uklo.edu.mk)  
[marija.malenkovska@tfb.uklo.edu.mk](mailto:marija.malenkovska@tfb.uklo.edu.mk)*

### АПСТРАКТ

Наша основна цел е да со овој труд дадеме придонес кон подобрување на методологиите за анализа на нивото на услуга за пешаците кои како рамноправни учесници во сообраќајот, но ранливи корисници на улицата, го чувствуваат движејќи се по должина на сообраќајниците за пешаци – тротоарите. Подобрувањето кое го предлагаме е во насока на определување на ниво на услуга, врз основа на показатели добиени со микроскопско моделирање и симулација на нивното движење. Имено, развиен е микроскопски симулационен модел SFSSpeedSIModel, version 1.0 кој симулира движење и на возила и на пешаци на отсек од градска улица. Покрај останатите параметри, моделот симулира и петнаесет минутен интензитет на пешаци по насоки, како показател за квалитетот на услугата која пешаците ја чувствуваат поради постоењето и влијанието на „страничното триење“ предизвикано од низа пречки и на коловозот и на тротоарот. Во трудот ќе биде претставен модулот кој се однесува на моделирање на состојбата на пешаците, нивните атрибути и симулација.

*Клучни зборови:* пешаци, моделирање, микроскопски симулационен модел, ниво на услуга, бавни градски улици

### 1. ВОВЕД

Концептот за одржлив урбан развој е посебно интересен за анализа во земјите во развој, земји со ниско развиена економија, демографски и економски пораст и инфраструктура со низок капацитет и дизајн. Имено, тука настанатите проблеми, предизвикуваат намалена пропусна способност на функционалните елементи на улиците, опаѓање на квалитетот на превозната услуга, зголемен број на сообраќајни незгоди, како и загадување на воздухот, што пак резултира со задушување на улиците, загадување на околината, намалена безбедност и конфор во текот на патувањето, пораст на стресот кај сите корисници на сообраќајниот систем, а посебно намалена безбедност за т.н. Vulnerable Road Users – VRU, односно, пешаците и велосипедистите.

Во градовите на ЕУ ранливоста на пешаците се објаснува преку бројот на сообраќајни незгоди во кои е инволвиран овој вид и изнесува 15 - 30% од вкупниот

број на незгоди. Според извештајот на European Transport Safety Council-ETSC од 2008.та година, се смета дека пешаците ќе преживеат сообраќајна незгода со моторно возило-МВ доколку брзината на МВ изнесува до 30km/h, што пак покажува дека пешаците треба да се одделат од брзиот сообраќај. Флексибилноста на пешаците е предност за самите нив, но воедно и проблем кога се наоѓаат во хетероген сообраќаен тек. Пешаците се и недоволно стабилни и недоволно видливи во споредба со возилата, недостаток којшто се зголемува во ноќни услови. И конечно, пешаците имаат различни способности: деца со недостаток на искуство, стари лица со ограничени можности и лица со ограничена мобилност.

Помеѓу најпознатите европски студии во кои предмет на истражување се ранливите учесници во сообраќајот се MASTER-MAnaging Speeds of Traffic on European Roads [11], DUMAS-Developing Urban Management And Safety [5], PROMISING-Promotion of mobility and safety of vulnerable road users [13] и WALCYNG-How to enhance WALking and CYcliNG instead of shorter car trips and to make these modes safer [19]. Основните безбедносни принципи и мерки извлечени со анализа на овие студии се претставени во Таб.1.1.

*Таб.1.1. Приказ на основните безбедносни мерки и принципи добиени со анализа на најпознатите студии за ранливите учесници во сообраќајот*

Студија	Безбедносни принципи, мерки и стратегии
MASTER	<ol style="list-style-type: none"> <li>Конфор кој подразбира висок квалитет на површините за пешачење и возење на велосипед;</li> <li>Ограничување на брзината на движење за моторните возила посебно на станбените, индустриски и историски улици;</li> <li>Кохерентност, континуитет на пешачките патеки.</li> </ol>
DUMAS	<ol style="list-style-type: none"> <li>Отстранување на сите пречки за кои се претпоставува дека би им го попречувале движењето или би им ја намалиле безбедноста;</li> <li>Атрактивност или соодветно означување, уредување и осветлување на пешачките патеки и велосипедски ленти.</li> </ol>
PROMISING	<ol style="list-style-type: none"> <li>Доволно ниво на услуга за пешаците;</li> <li>Доволно ниво на услуга за велосипедистите;</li> <li>Управување со пешачките и велосипедски текови;</li> <li>Адекватна прегледност;</li> <li>Планирање на намената на земјиштето во насока на намалување на ризикот за пешаците и велосипедистите;</li> <li>Информирање на пешаците и велосипедистите.</li> </ol>
WALCYNG	<ol style="list-style-type: none"> <li>Висока безбедност за пешаците;</li> <li>Висока безбедност за велосипедистите;</li> <li>Управување со пешачките и велосипедски текови;</li> <li>Промена на ставовите и однесувањето на возачите преку информирање, обука и спроведување на закони.</li> </ol>

## 2. КАРАКТЕРИСТИКИ И ПАРАМЕТРИ НА ПЕШАЧКИТЕ ТЕКОВИ

Основните карактеристики на пешачкиот сообраќаен тек по природа се слични на карактеристиките на текот моторни возила. Но, постојат и нивни специфичности, како: можност за пресекување на текот на пешаците, движење во спротивен правец и маневрирање без конфликти и промена на брзина.

Карактеристиките и параметрите потребни за определување на нивото на услуга за пешаците на тротоарите, се претставени во следната Таб.2.1.

Таб.2.1. Карактеристики и параметри од значење за утврдување на нивото на услуга за пешаците на тротоарите

Карактеристики	Параметри
<b>Конфор</b> – соодветна заштита од временски услови, заштитни огради;	<b>Брзина на пешачење [m/min]</b> – просечна средна брзина на пешачење;
<b>Сигурност</b> – опасности поврзани со возилата, пречки и вкупна состојба во која се наоѓа тротоарот;	<b>Проток на пешаци [p/min]</b> – број на пешаци кои во единица време, движејќи се во една насока поминуваат на пресек од тротоарот;
<b>Безбедност</b> – осветлување, прегледност и степен на активности на сообраќајницата за пешаците;	<b>Густина на пешаци [p/m<sup>2</sup>]</b> - број на пешаци кои во одреден момент се наоѓаат на одреден дел од тротоарот;
<b>Економичност</b> – трошоци за пешаците, првенствено поврзани со временските загуби во текот на патувањето;	<b>Единечен пешачки простор [m<sup>2</sup>/p]</b> - просечна површина по пешак или реципрочна вредност на густината;

### 3. НИВО НА УСЛУГА И КВАЛИТЕТ НА ПРОСТОРОТ ЗА ПЕШАЦИТЕ: поглед

Квалитетниот простор за пешачење е безбеден, конфорен и атрактивен. Анализата на нивото на услуга или квалитетот на уличната околина за овие корисници е комплексна подеднакво како и анализата на нивото на услуга за моторните возила. Имено, и моторните возила и пешаците се изложени на голем број на фактори кои припаѓаат на средината за возење и целокупната околина.

Се верува дека методологијата на Transportation Research Board - TRB за анализа на ниво на услуга е генерално и технички најсупериорна. Според HCM (2000)[16], мерка за нивото на услуга за пешаците е единечниот простор изразен во m<sup>2</sup>/пешак. Покрај оваа дефинирана се и останати мерки како: брзина, интензитет и однос проток/капацитет [10],[16].

Постојат истражувања, како што е на пример истражувањето на SCI од 1998.та година [14], кое покажува дека пешаците го вреднуваат нивото на услуга според нивното странично растојание од моторните возила, протокот и брзината на моторните возила, типот моторни возила (посебно, тешки товарни возила) и физичката бариера која го одделува моторизираниот од немоторизиран сообраќај (на пример: улично паркирање).

Моделот развиен во 2000.та година, повторно од страна на SCI [15], а спонзориран од Florida Department of Transport - FDOT, е подобрен па според него нивото на услуга за пешаците рангирано на скала од A-најбезбедно и најконфорно чувство до F-крајно небезбедно и неконфорно чувство, кое зависи од следните четири (4) променливи, подредени респективно на нивното значење: странично одделување на пешаците од моторниот сообраќај, проток на моторни возила, брзина на мотоните возила и проток на товарни возила. Моделот е резултат на повеќекратна регресиона анализа на теренски прибрани податоци од страна на 75 учесници по должина на 24 делници од дволентни двонасочни градски сообраќајници. Брзината на делниците се движела од 25 до 125 km/h, со 0-3% учество на товарни возила. Анализираните делници имале различни геометриски и конструктивни карактеристики, различни биле

и карактеристиките на околната, намената на земјиштето, уличното зеленило, како и уличното паркирање.

Во новото издание на HCM (2010)[17], покрај останатите измени како мултимодален пристап кон анализата на нивото на услуга, подобрен е и моделот за анализа на нивото на услуга за пешаците. Имено, земени се во предвид поголем број на фактори кои влијаат на квалитетот на просторот за пешачење: ширина на сообраќајна лента, ширина на банкина или велосипедска лента, земено е во предвид уличното паркирање и влијанието на уличните дрвореди, ширината на пешачката патека, протокот и брзината на моторните возила [18].

Во Таб.3.1 е претставена споредбата помеѓу моделите за вреднување на нивоата на услуга за пешаците и нивните вредности според SCI-FDOT и HCM-TRB.

Таб.3.1. Споредба на моделите и вредностите за нивото на услуга за пешаците помеѓу SCI-FDOT и HCM-TRB

LOS	A	B	C	D	E	F
SCI-FDOT модел (2000)			$PLOS = -1.2021 \ln(Wo_l W_t + fp \cdot \%OSP + f_b \cdot W_b + f_{sw} \cdot W_s) + 0.253 \ln(Vol_{15}/L) + 0.0005 SPD^2 + 5.3876$			
	$\leq 2$	$> 2 - 2.75$	$> 2.75 - 3.5$	$> 3.5 - 4.25$	$> 4.25 - 5$	$> 5$
HCM-TRB модел (2010)			$Ped Segment LOS = -1.2276 \ln(Wo_l + W_t + f_p \cdot \%OSP + f_b \cdot W_b + f_{sw} \cdot W_s) + 0.0091(Vol_{15}/L) + 0.0004 SPD^2 + 6.0468$			
	$\leq 1.5$	$> 1.5 - 2.5$	$> 2.5 - 3.5$	$> 3.5 - 4.5$	$> 4.5 - 5.5$	$> 5.5$

Во софтверскиот пакет ARTPLAN, комплексниот Pedestrian LOS модел е упростен со тоа што во пресметките се вклучени само четири влезни променливи:

- странично одделување на пешаците од моторниот сообраќај или растојание помеѓу сообраќајната лента и пешачката патека, описано како недоволно, типично или посакувано, со однапред зададени вредности);
- постоење на пречки кои го одделуваат пешачкиот од моторниот сообраќај, (дрва, улично паркирање, и др.);
- вкупна ширина на сообраќајна лента (однапред зададени вредности);
- ширина на банкина или велосипедска лента (однапред зададени вредности);

Craig et al., (2002) [3], описале осумнаесет (18) елементи кои би можеле да влијаат врз квалитетот на околната за пешачење од кои: тип и дизајн на згради и објекти, брзина на движење на моторните возила, одделување на пешаците од моторниот сообраќај, уредување на зоната за пешачење, и др.

Owen et al., (2004) [12], развиле листа од дури шеесет (60) микро елементи кои влијаат врз пешачењето, како на пример: постоење на континуирани пешачки патеки, пешачки премини, уредена пешачка зона (клупи, корпи за отпадоци, осветлување, информативни табли), намена на земјиште, тип и брзина на моторните возила, и др.

Според истражувањата на Devin (2008) [4], една високо квалитетна и безбедна околина за пешачење е во силна врска со нејзините естетски квалитети и дизајн, додека Bloomberg, Burden (2006) [5], во постапката за пресметка на нивото на услуга за пешаците ја вклучуваат и урбаната опрема (клупи, корпи за отпадоци, жардињери, знаци и др.).

Бо 2006.та година, Federal Highway Administration го развиле моделот Shared-Use Path LOS - SUPLOS, кој претставува математичка формула за утврдување на ниво

на услуга кое различни корисници (различни категории пешаци, различни категории велосипедисти, рекреативци, останати), го чувствуваат при движење и патување по должина на иста патека. Моделот се базира на детално истражување, преку серии на видео записи.

#### 4. МОДЕЛИРАЊЕ НА ДВИЖЕЊЕТО НА ПЕШАЦИТЕ: преглед

Моделирањето на движењето на пешаците е предмет на истражување повеќе од четири децении. Методите кои се користеле во текот на анализите се сведувале на директни набљудувања, фотографирање и снимање, додека основните цели заради кои се вршеле истражувањата биле во насока на развивање на концепти за ниво на услуга за пешаците, определување на проектни елементи на објектите за пешачење или во насока за планирање на пешачките текови. Во последните дваесет години се развиваат и положени микроскопски и стохастички модели на движење на пешаци.

Во постапките за моделирање на движењето на пешаците, најчесто се препорачуваат два основни принципи:

- Да не се дозволи конфликт помеѓу пешаците, опремата на улицата и останатите учесници во сообраќајниот тек;
- Да се обезбеди соодветна површина за безбедно и конфорно движење на пешаците (патека или премин);

Со изучување на спроведените истражувања, извлечени се следните 10 (десет) основни заклучоци:

- Пешаците покажуваат силна аверзија кон промената на насоката на пешачење. Последователно, пешаците ја избираат најкратката рута на движење.
- Пешаците избираат да се движат со некоја индивидуална посакувана брзина. Во услови на средни и големи густини пешачките текови имаат многу сличности и се споредуваат со тековите на гасовите и флуидите. Во услови на исклучително големи густини пешаците спонтано се организираат во редови едни позади други.
- Според Henderson (1974) [7], брзината на просечен пешак со висина  $h_p=1.75$  m, тежина  $m_p=75\text{kg}$  и максимален дијаметар на телото од  $d_p=0.45$  m е нормално распределена со средна вредност од  $v_p=1.34$  m/s или  $v_p=4.83$  km/h и стандардно отстапување од  $\sigma v_p = 0.26$  m/s (19.3%), што соодветствува на максимална густина од  $6.6$  пешаци/ $\text{m}^2$ . Просечното време на следење помеѓу пешаците е 2 (s). Истиот извор утврдил дека при густина од  $3.0$  пешаци/ $\text{m}^2$  физичкиот контакт помеѓу нив е неизбежен.
- Според Helbing (2001) [8], кога се анализира група на пешаци кои се движат на тротоар или пешачка патека, тие се генерираат според Нормалната распределба, со временски интервал на следење помеѓу нив распределен според Пуасоновата распределба.
- Пешаците, одржуваат одредено растојание во однос на останатите пешаци и објектите во околината. Имено, овие растојанија ги истражувал и Kuzović (2000)[11] и тие се нешто помали доколку пешакот се движи забрзано, но генерално изнесуваат:
  - $0.30$  m кога се разминуваат;
  - $0.45$  m во однос на зидовите од објектите;
  - $0.35$  m од оградите и улично паркираните возила;
  - $0.35$  m од коловозот и

- 0.30 m од елементите на урбаната опрема како: столбови од улично осветлување, сообраќајни знаци и реклами паноа, дрва, корпи за отпадоци, клупи и др.
6. Просечен пешак, во нормални временски услови и при дневно светло може да се забележи на растојание од 100 – 200 (m).
  7. Според извештајот на Manual on Uniform Traffic Control Devices - MUTCD од 2009. година, за минимална ширина на пешачки премин се препорачува 1.8m, додека според извештајот на Meanwhile the Japanese Manual on Road Marking - MJMRM од 2004.та година, таа вредност е нешто поголема и се движи од 3.0 до 4.0 m за големи пешачки протоци. Методологиите за утврдување на потребната ширина на пешачкиот премин, генерално се сведуваат на пресметка на времето потребно за завршување на процесот на преминување на објектот, а помеѓу нив нашироко применувана е методологијата на HCM [16],[17].
  8. Kwon, Y., Morichi, S. Yai, T., во 1998. година, предложиле индекс на временска и просторна окупирањост на улица со мала ширина на коловозот од страна на пешациите, велосипедистите и возилата.
  9. Според (Helbing, D., 1991; - 2001), динамичката равенка на движење на пешациите, зависи од моментна брзина на пешачење (позната како behavioral force или social force) и позицијата на пешакот во временски момент  $t$ .
  10. Најкористена и препорачувана шема за моделирање и симулација на движењето на пешациите е:
    - дефинирање на почетна точка за генерирање на пешаци и пресметка на состојбата на пешакот (позиција, брзина и забрзување);
    - доделување на посакувана брзина за секој пешак (н.пр.:максималната брзина);
    - доделување на целна точка (крајна точка на траекторијата на пешакот);
    - симулација на траекторијата на пешакот (растојанието кое го минува во временски момент  $t + \Delta t$ ).

## 5. МОДЕЛИРАЊЕ И СИМУЛАЦИЈА НА ДВИЖЕЊЕ НА ПЕШАЦИ ВО SFStreetSIM, version 1.0

Пешаците се учесници во сообраќајот кои се генерираат во моделот согласно одредени случајни процеси со зададени распределби и после нивното поминување низ моделираната делница исчезнуваат. При тоа, после секое генерирање и исчезнување на објект од моделот се менува неговиот ред и се врши реиндексирање на елементите на векторот на состојбите на системот кои остануваат на разгледуваната делница, [1].

Векторот на состојби на пешациите на тротоарот лево во правец ( $k_p$ ), во момент ( $t$ ), има облик:

$$\mathbf{P}_{L,kp,rLkp} = [ P_{L,kp,rLkp}.X, P_{L,kp,rLkp}.V, P_{L,kp,rLkp}.opr ]^T \quad [5.1]$$

каде што:

$k_p = 1,2, \dots, J_{Lkp}$  ..... ознака на правец на движење на пешациите

$r_{Lkp} = 1,2, \dots, J_{Lkp}$  ..... индекс на пешак на тротоар лево во правец ( $k_p$ )

$P_{L,kp,rLkp}.X$  ..... позиција на пешак на тротоар лево во правец ( $k_p$ )

$P_{L,kp,rLkp}.V$  ..... брзина на движење на пешак на тротоар лево во правец ( $k_p$ )

$P_{L,kp,rLkp Opr}$  одлука за промена на правецот на движење на пешак на тротоар лево во правец ( $k_p$ )

Векторот на состојби на пешаците на тротоарот десно во правец ( $k_p$ ), во момент (t), е:

$$P_{D,kp,rDkp} = [ P_{D,kp,rDkp}.X, P_{D,kp,rDkp}.V, P_{D,kp,rDkp Opr} ]^T \quad [5.2]$$

каде што:

- $k_p = 1,2$  ..... ознака на правец на движење на пешаците
- $rDkp = 1,2, \dots, J_{Dkp}$  ..... индекс на пешак на тротоар десно во правец ( $k_p$ )
- $P_{D,kp,rDkp}.X$  ..... позиција на пешак на тротоар десно во правец ( $k_p$ )
- $P_{D,kp,rDkp}.V$  ..... брзина на движење на пешак на тротоар десно во правец ( $k_p$ )
- $P_{D,kp,rDkp Opr}$  ..... одлука за промена на правецот на движење на пешак на тротоар десно во правец ( $k_p$ )

Секој пешак донесува одлука за промена на правецот на движење во согласност со група логички променливи-ЛП. Во моделот, пешаците со константна брзина ја менуваат својата „x-y“ позиција.

**ЛП<sub>1</sub>** - Во секој момент (t) пешакот одржува растојание од најмалку 0.35m, во однос на паркираните возила,

$$D_{p_p} \geq 0.35(m)$$

$$P_j.X(t) - R(r).X(t) \geq 0.35(m)$$

**ЛП<sub>2</sub>** - Во секој момент (t) пешакот одржува растојание од најмалку 0.35m, во однос на работ на коловозот,

$$D_{p_{rk}} \geq 0.35(m)$$

$$P_j.X(t) - PP(\text{рабна лента}) \geq 0.35(m)$$

**ЛП<sub>3</sub>** - Во секој момент (t) растојанието помеѓу пешак и елемент урбана опрема да изнесува најмалку 0.30m,

$$D_{p_{uo}} \geq 0.30(m)$$

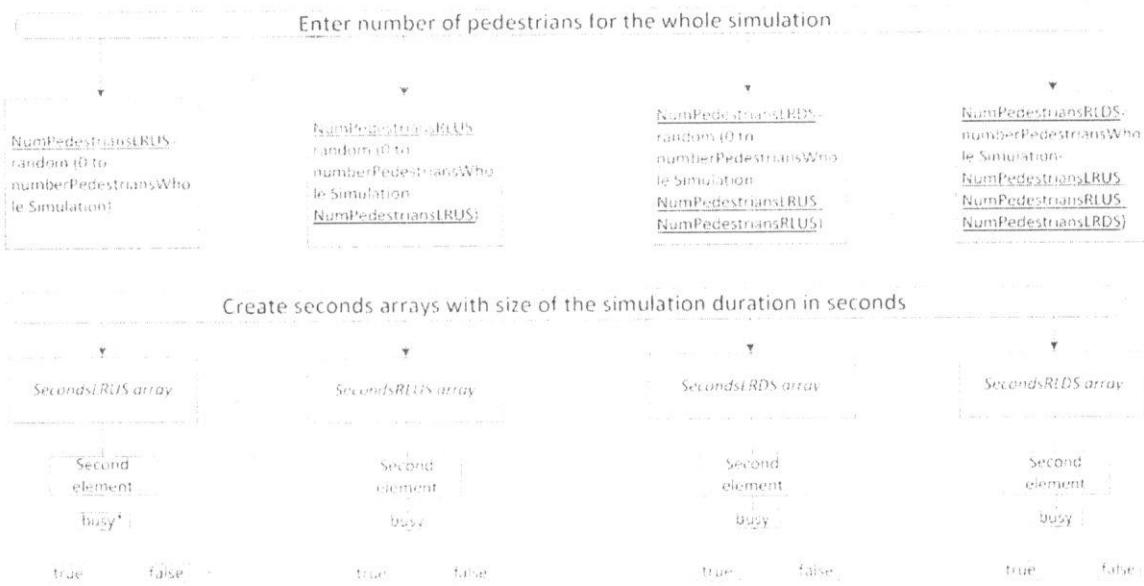
$$P_j.X(t) - UO_{o,z}.X(t) \geq 0.30(m)$$

**ЛП<sub>4</sub>** - Во секој момент (t) пешакот одржува растојание од најмалку 0.30m кога се разминува со пешак кој му доаѓа во пресрет од спротивната насока на движење,

$$D_{p_3} \geq 0.30(m);$$

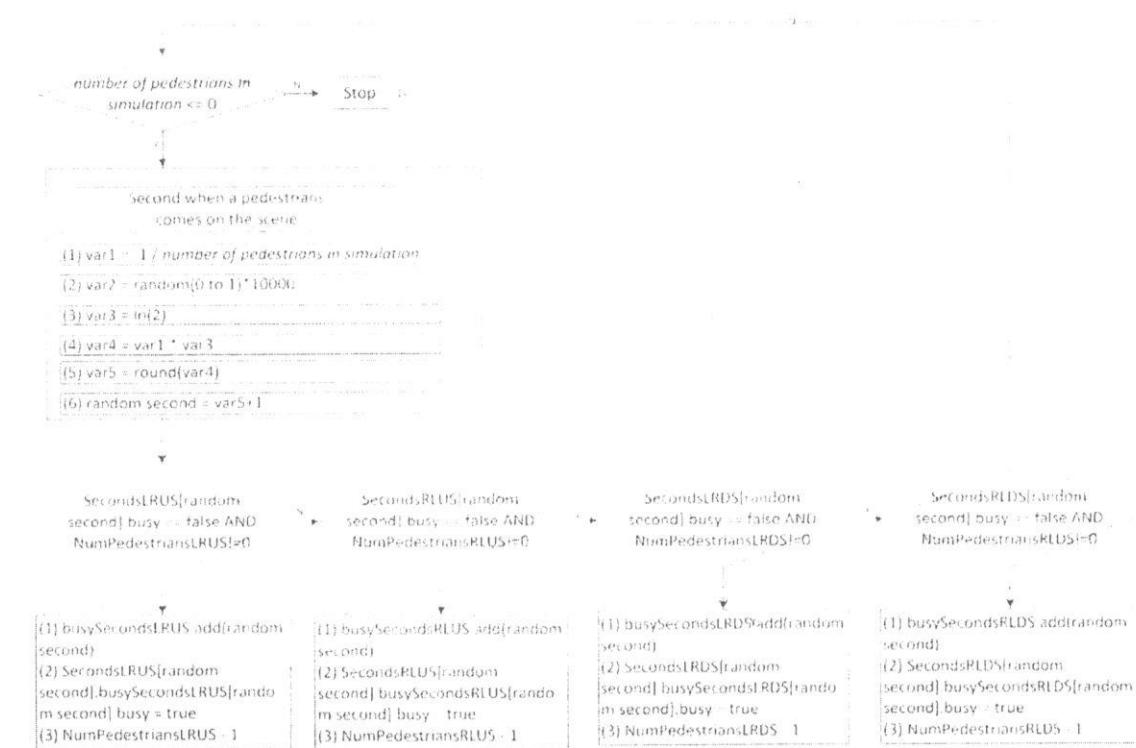
$$P_j.X(t) - P_{j2,1}.X(t) \geq 0.30(m)$$

Алгоритмите на иницијализација, моделирање и симулација на движењето на пешаците во SFStreetSIModel version 1.0, [1], се претставени на Сл.1-Сл.4.

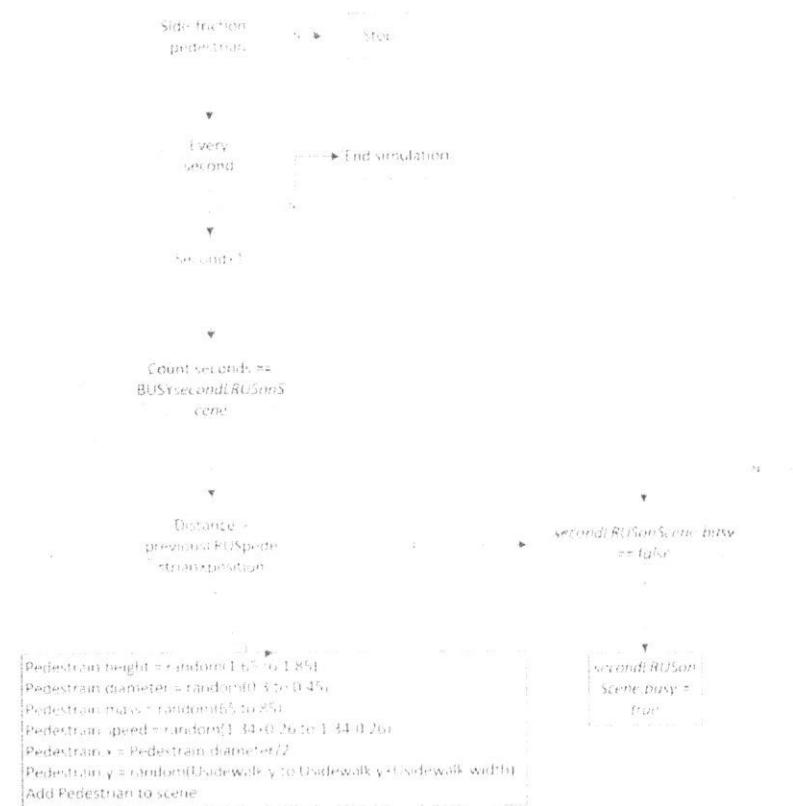


\*True: if a pedestrian comes on the scene in that second; False: if a pedestrian does not come on the scene in that second.

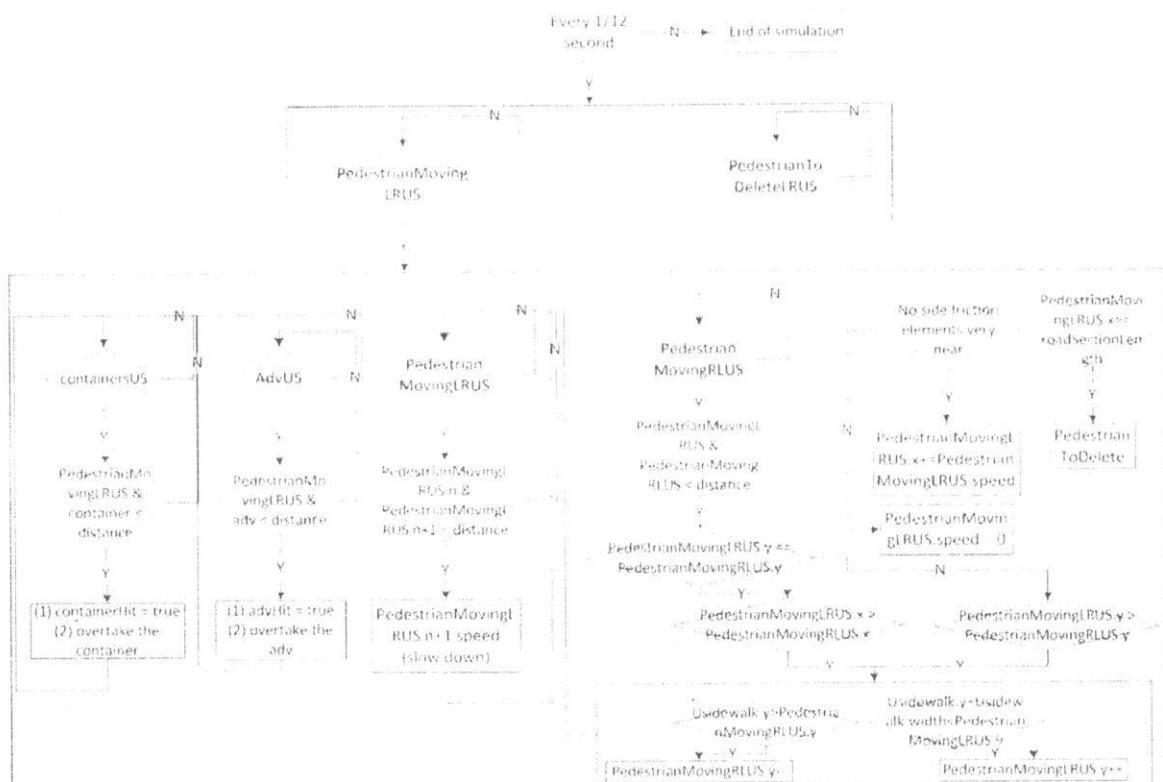
Сл.1. SFStreetSIModel version 1.0, Иницијализација на пешаците



Сл.2. SFStreetSIModel version 1.0, Дистрибуција на пешаците, (распределба на временските интервали на следење помеѓу пешаците)



Сл.3. SFStreetSIModel version 1.0, Генерирање на пешаците



Сл.4. SFStreetSIModel version 1.0, Симулација на движењето на пешаците