

АНАЛИЗА ПЕШАЧКИХ ТОКОВА ГРАДСКЕ ЗОНЕ – „БЕЗБЕДНА БРЗИНА ПЕШАКА“

PEDESTRIAN FLOW ANALYSIS IN THE URBAN ZONE – „SAFE SPEED OF PEDESTRIANS“

Резиме: Планерске, пројектантске и оперативне анализе у саобраћају посебно обухватају и анализе пешачких токова, пре свега са аспекта безбедности и капацитета. Поред њихове усмерености на анализу густине пешачког тока, посебан осврт се даје емпиријском мерењу брзине кретања пешака на семафорисаним пешачким прелазима, ради њихове адекватне заштите приликом темпирања семафорисаних пешачких лантерни. Циљ овог рад заснован је на утврђивању брзине пешачких токова на територији градске зоне у погледу брзине пешака, као и предложених HCM (Highway Capacity Manual) вредности за дате услове. У оквиру рада приказани су резултати карактеристика пешачких токова на подручју сигнализисаних пешачких прелаза у Добоју. Утврђена вредност брзине за мушкарце и жене на три локације, на анализираном узорку од 627 измерених брзина, износи 1,254 m/s. Брзине пешака као случајне променљиве понашају се по закону нормалне дистрибуције за дате класе измерених вредности. Ниво услуге пешачких токова у Добоју на основу ХЦМ приручника је оцењен као „Ц“.

Кључне речи: Брзина пешака, Ниво услуге, капацитет, безбедност

Abstract: Planning, designing and operative analyses in traffic particularly comprise pedestrian flow analyses primarily from the aspect of safety and capacity. In addition to their orientation to the analysis of the pedestrian flow density, special attention has been paid to the empirical measurement of pedestrian speed across pedestrian crossings with traffic lights for the purpose of their protection while determining timing of the traffic lights lanterns. The aim of this paper is to determine the speed of pedestrian flows in the urban zone in terms of pedestrian speed, as well as the proposed Highway Capacity Manual (HCM) values for the given conditions. The results about the characteristics of pedestrian flows in the area of signalled pedestrian crossings in Doboј are presented in the paper. Detected speed value for men and women at three locations, on the analyzed sample of 627 measured speeds, is 1.254 m/s. Pedestrian speeds as random variables are governed by the law of normal distribution for given classes of measured values. The level of pedestrian flow services in Doboј based on the HCM manual has been rated as "C" level.

Keywords: Pedestrian speed, LOS (Level Of Service), capacity, safety

1. УВОД

Основне карактеристике пешачког тока, често се пореде са кретањем возила у саобраћајном току. Анализом кретања пешака, често се могу и предвидети параметри пешачког кретања у реалним амбијенталним условима. У случају опасних ситуација, јако је тешко симулирати кретање пешака, а тиме и њихово кретање, па се посебно води рачуна у пројектанским решењима о њиховој заштити са аспекта безбедности саобраћаја. Пешачки ток поседује низ предности и готово недостижне особине у односу на друге врсте саобраћаја (заузимање малог простора, велике маневарске способности, скромност захтева за инфраструктуром, компактност целине, еколошка прихватљивост, доступност и једноставан начин регулисања). Пешачки ток поседује и две значајне карактеристике које ограничавају ову врсту саобраћаја (релативно мале брзине и безбедност ових учесника у саобраћају).

Пешаци представљају најхетерогенију и најбројнију категорију непосредних учесника у саобраћају па самим тим су сврстани у категорију рањивих корисника пута. Од 10 погинулих учесника у саобраћајним незгодама, приближно је 4 пешака. (Igazvölgyi, 2014) Поред низа предности несемафоризованих пешачких прелаза (краће време задржавања пешака, јефтинија инвестиција и одржавање сигнализације), европска истраживања су дала следеће резултате који упозоравају на низак ниво безбедности пешака на прелазима без семафора.

Возило које прилази несемафоризованом пешачком прелазу у:

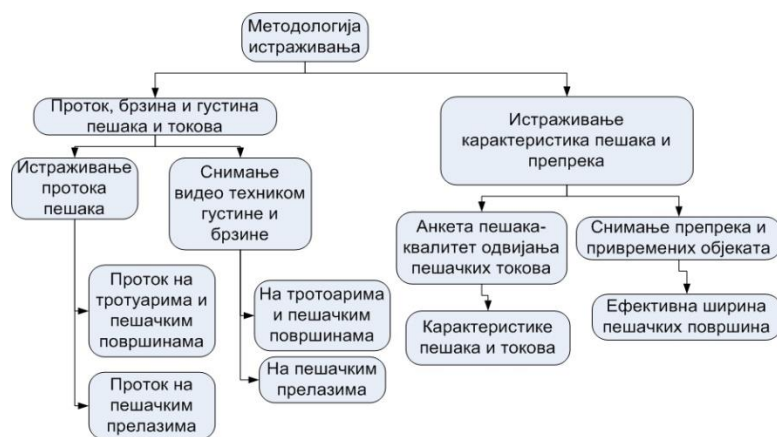
- 27% случајева није стало пешаку који је прилазио прелазу,
- 15% случајева није стало пешаку који је чекао да ступи на прелаз,
- 30% случајева је стало пешаку који је прилазио прелазу,

- 10% случајева је стало пешаку који је чекао да ступи на прелаз,
- 18% случајева пешаци су рискантним поступком принудили возача да заустави возило. (Igazvölgyi, 2014)

Код семафоризованих пешачких прелаза, осећај несигурности стварају возила на раскрсницама која имају истовремено зелено светло када су пешаци у ситуацију да се на пешачкој лантерни упали црвено за пешаке. Тада су пешаци у недоумици, да ли наставити са преласком пута или се вратити на тротоар. Такође, појава опасне ситуације условљена је и паљењем условно зеленог скретања возила у мешовитој траци сигналним појмом на возачкој лантерни. Тада се пешаци налазе у зони конфликта, јер се истовремено на пешачкој лантерни јавља зелени сигнални појам.

2. МЕТОД ИСТРАЖИВАЊА ПЕШАЧКИХ ТОКОВА

У зонама града постоје места где се концентрише велики број људи, а приликом пројектовања оваквих објеката посебна пажња се усмерава да ходници, степенице и стазе за прилазак, морају испуњавати критеријуме, који су у служби безбедности саобраћаја. Ради сагледавања карактеристика пешачких токова, потребно је поћи од саме методологије, којом се прате и анализирају пешачки токови.



Слика 1. Шематски приказ методологије истраживања пешачких токова (Ђукић и Вукановић, 2008)

Основна методологија која се користи за одређивање капацитета и нивоа услуге коју пружа саобраћајница за кретање пешака заснива се на научно- стручној литератури, а прије свега на америчком приручнику за капацитет путева HCM. Сви критеријуми на основу којих се дефинише ниво услуге саобраћајнице за пешаке засновани су на HCM-2000 и HCM-2010. (Highway Capacity Manual, 2000 и Highway Capacity Manual, 2010) То је заправо један аналитички метод где се на основу улазних, мерених и сниманих података уз, помоћ одређених релација долази до основних критеријума за дефинисање нивоа услуге. Спроведени метод истраживања у оквиру овог рада дат је на основу снимања брзине и густине пешака видео техником на пешачким прелазима.

Постоје и други значајни индикатори нивоа услуге пешачких токова. На пример, могућност пешака да слободно изабере свој пут попречно у односу на пут других пешака је ограничена кад вредност расположивог простора по пешаку опадне испод $3,3 \text{ m}^2/\text{пешаку}$. За вредности испод $1,4 \text{ m}^2/\text{пешаку}$ практично свако попречно кретање доводи до конфликта, када се стварају конфликтне тачке. Способност престизања пешака који се спорије крећу потпуно је очувана при вредностима $3,3 \text{ m}^2/\text{пешаку}$, али се прогресивно смањује при опадању вредности расположивог простора до вредности од $1,7 \text{ m}^2/\text{пешаку}$. Испод те вредности престизање је практично немогуће без физичког контакта. (Zhang & Seyfried, 2014)

Индикатор оцене нивоа услуге је и могућност одржавања протока у супротном смеру насупрот смеру главног тока. За токове пешака подједнаких обима по смеру јавља се мало смањење капацитета саобраћајнице у односу на капацитет за једносмеран ток пошто сваки смер заузима себи пропорционалан део ширине саобраћајнице. Ипак, ако је однос тока по смеровима 90:10%, расположиви подаци показују да за величину расположивог простора од $1 \text{ m}^2/\text{пешаку}$ долази до

смањења капацитета за око 15%. (Highway Capacity Manual, 2000) Ово смањење је последица немогућности мањег тока да користи себи пропорционалан део ширине саобраћајнице за пешаке. (Zhang & Seyfried, 2014)

Критеријуми за дефинисање различитих нивоа услуге су недовољно прецизни и одређивање граничних тачака је у одређеној мери субјективно. Ипак, истраживања су установила да опис кретања пешака по нормативу ХЦМ-а не одговара субјективном доживљају пешака у погледу слободног простора. (Lee, 2010)

Перципиране границе нивоа услуге ниже су од измерених вредности од 12% до 27%, што је просечна разлика око 20%. Овим истраживањем је показано да пешаци имају тенденцију да потцењују растојање и величину простора и да истовремено прецењују своје способности приликом преласка улице. (Lee, 2010)



Слика 2. Однос перципираних и измерених граница нивоа услуге (Lee, 2010)

Табела 1. Ниво услуге саобраћајнице за пешаке у зависности од брзине пешака (Highway Capacity Manual, 2000)

Ниво услуге	Простор (ft²/пешаку)	Проток (пешака/мин/ft²)	Брзина(ft/s)	Однос V/C
A	>60	≤5	>4.25 (>1,295)	≤0.21
B	>40-60	>5-7	>4.17-4.25 (>1.271-1.295)	>0.21-0.31
C	>24-40	>7-10	>4.00-4.17 (>1,219-1.271)	>0.31-0.44
D	>15-24	>10-15	>3.75-4.00 (>1.143-1.219)	>0.44-0.65
E	>8-15	>15-23	>2.50-3.75 (>0.762-1.143)	>0.65-1.00
F	≥8	Променљива	≤2.50 (≤0.762)	Променљива

Експериментална истраживања пропусне моћи код пешачких кретања показала су да за проток пешака важе основне законитости саобраћајног тока, то јест релације: проток- густина- брзина. Ови параметри се односе по следећој релацији (Highway Capacity Manual, 2010):

$$Q = g \cdot V \quad (1)$$

Где је:

Q- проток по јединици ширине,

g- густина пешака по јединици површине,

V- брзина пешака

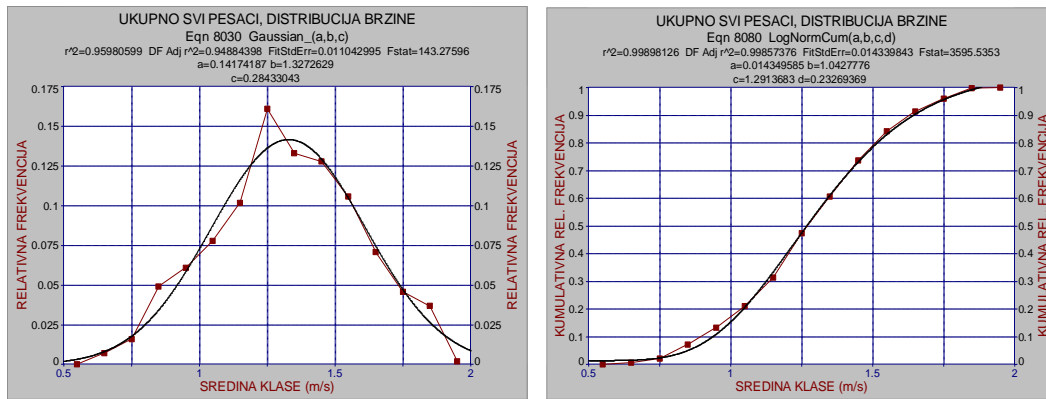
Из претходне релације може се уочити да на проток пешака утиче брзина и густина пешака у току, еквивалентно као у току возила. Проток пешака је параметар који се лако може утврдити емпиријским мерењем на терену или проценити у зависности од локације. Густина пешака је параметар саобраћајног тока који представља однос броја пешака и дужине пешачке комуникације. Овај параметар пешачког тока, слично као код возила се на дужим одсецима тешко може утврдити непосредним мерењем. Брзина пешака је параметар тока који се може мерити и који је због карактеристике пешака и њихове велике хетерогености, према годинама, сврси кретања и сл. зависан од локације на којој се врши мерење. Максимални проток спада у веома малу област густине пешачког тока, а то је област где јединични простор по пешаку износи $0,4-0,9 \text{ m}^2/\text{пешака}$. (Subotić, et al 2013; Кузовић, 1987) Кад се простор смањи испод $0,4 \text{ m}^2/\text{пешаку}$ брзина протока нагло опада све до престанка кретања, када јединични простор износи $0,2-0,3 \text{ m}^2/\text{пешаку}$. (Драгић и Суботић, 2011)

3. РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА

Значајан параметар за анализу нивоа услуге пешачких токова је брзина пешака, чијом анализом вредности се долази до потребних планерско- пројектантске норме неопходне за анализирање пешачких комуникација. У оквиру овог истраживања анализиране су добијене емпиријске вредности аритметичке средине брзине пешака на сигнализаним пешачким прелазима, како за мушкарце, тако и за жене, а уједно и за целу популацију. Истраживањем се дошло до реперних вредности предложених за територију града Добоја, на сигнализаним пешачким прелазима, чиме се могу предложити реперне вредности брзине пешака у локалним условима. Добијене вредности нису мерене у условима загушења (при лошијим нивоима услуге), нити под утицајем било ког другог значајнијег утицајног фактора. Циљ овог рада је утврђивање брзина пешака на сигнализаним раскрсницама и његово поређење са HCM вредностима, због чега се наменски користи поређење са HCM-2000, а не са HCM-2010, као прилагодљивијим приручником. Вредности добијене емпиријским мерењем, занемарују утицајне елементе протока саобраћаја и трасологије раскрснице, што је уједно и оквирно просторно ограничење. Утицајни фактори геометрије раскрснице, конфликта токова, преласка пешачког прелаза кроз црвено и сл. су елиминисани из узорка, као неповољни за добијање репрезентативних вредности брзина. За класе пешака, рачуната је и кумулативна и релативна фреквенција добијених вредности. Добијене вредности брзина су класиране и ишло се са граничном вредности брзина пешака која није прелазила 2 m/s . Истраживањем је елиминисано временско ограничење у вршним преподневним и поподневним периодима повећања мобилности пешака због радних кретања.

У оквиру рада посматрана су 3 сигнализана пешачка прелаза у градској зони града Добоја, где су мерене индивидуалне брзине кретања пешака. Измерено је преко 1000 брзина пешака, али због утицајних елемената (преласка граничне вредности, лоших временских услова, преласка кроз црвено, кретања пешака у паровима и сл.), један део узорка је елиминисан из посматрања. Мерењем брзина пешака, дошло се до препоручених вредности применљивих у локалним условима, како за мушкарце, тако и за жене. Након полне класификације усвојене су сумарне вредности за цео репрезентативни узорак од 672 измерене брзине пешака. Од 627 брзине, 342 измерене брзине чине жене, а 285 брзина чине мушкарци.

Анализом релативне фреквенције репрезентативног узорка на датим локацијама утврђено је да су се класе брзина пешачких токова рапоредивале на основу Гаусове (нормалне) расподеле. Расподела кумулативне релативне фреквенције рађена је према логаритамској нормалној расподели, где је добијена мања вредност одступања брзина, јер је на свим дијаграмима вредност $R^2 > 0,9$. На основу оваквог емпиријског истраживања формиран јединствени дијаграми за све три локације кумулативне и релативне фреквенције.



Слика 3. Кумулативна и релативна фреквенција брзине пешака на све три локације

Табела 2. Статистичка анализа приказа брзина свих пешака

Сви пешаци					
Границе Класа	Средина класе	Број узорка	2*3	Релативна фреквенција	Кумулативна фреквенција
1	2	3	4	5	6
0,5-0,6	0,55	0	0	0	0
0,6-0,7	0,65	8	5	0,007	0,007
0,7-0,8	0,75	17	13	0,016	0,023
0,8-0,9	0,85	46	39	0,049	0,072
0,9-1,0	0,95	51	48	0,061	0,133
1,0-1,1	1,05	59	62	0,078	0,212
1,1-1,2	1,15	70	81	0,102	0,314
1,2-1,3	1,25	102	128	0,161	0,475
1,3-1,4	1,35	78	105	0,133	0,608
1,4-1,5	1,45	70	102	0,128	0,737
1,5-1,6	1,55	54	84	0,106	0,843
1,6-1,7	1,65	34	56	0,071	0,914
1,7-1,8	1,75	21	37	0,046	0,960
1,8-1,9	1,85	16	30	0,037	0,998
1,9-2,0	1,95	1	2	0,002	1,000
УКУПНО		627	790	1,000	
АРИТМЕТИЧКА СРЕДИНА СА КЛАСАМА =				1,260	
ЕМПИРИЈСКА АРИТМЕТИЧКА СРЕДИНА =				1,254	
СТАНДАРДНА ДЕВИЈАЦИЈА =				0,277	
КОЕФИЦИЈЕНТ ВАРИЈАЦИЈЕ =				0,220	

Ако се анализирају брзине пешака према потпуној структури, доказано је да се на свим мерним местима жене се спорије крећу од мушкараца, јер су измерене просечне вредности брзине жена од 1,219 m/s, а мушкараца 1,296 m/s.

Табела 3. Аритметичка средина и стандардна девијација измерених брзина према локацијама и потпуној структури

ЛОКАЦИЈА	Величина узорка	V (Мушкарци)		Величина узорка	V (Жене)	
		m/s	S _d		m/s	S _d
1	73	1,015	0,170	93	0,908	0,156
2	139	1,433	0,211	174	1,351	0,219
3	73	1,316	0,223	75	1,299	0,228

4. ДИСКУСИЈА РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА

На основу спроведног истраживања дате су табеларно вредности брзине за све три локације и оцена нивоа услуге према поређењу са HCM вредностима.

Табела 4. Преглед емпиријске аритметичке средине пешака према локацијама и оцена нивоа услуге по критеријуму брзине

Емпиријска аритметичка средина брзине пешака $V(m/s)$				
ЛОКАЦИЈА	Мушкарци $V(m/s)$	Ниво услуге	Жене $V(m/s)$	Ниво услуге
1	1,03	Е	0,92	Е
2	1,43	А	1,36	А
3	1,32	А	1,30	А

Приликом оцене *нивоа услуге* на пешачким прелазима дошло се до показатеља највећег загушење пешака на локацији 1, што узрокује малу брзину пешака за оба пола, а усвојену вредност $HU=E$. Ова локација је најуже језгро града Добоја и са највећим бројем пратећих садржаја, па се брзина пешака у овој зони респективно смањује у односу на остале локације. На друге две локације, пешаци се крећу у условима незагушеног тока, а *Ниво Услуге* пешака је дат као $HU=A$. Све вредности се реперно пореде са HCM-2000 (Highway Capacity Manual, 2000) [3]. Као такве вредности се предлажу за реперне вредности брзине пешака у локалним условима.

5. ЗАКЉУЧАК

На основу спроведеног емпиријског истраживања на узорку од 627 измерених вредности брзина пешака на сигналисаним пешачким прелазима, утврђена је вредност емпиријске аритметичке средине брзине пешачких токова која износи 1,254 m/s (приближно 1,26 m/s), док стандардна девијација износи $S_d=0,277$. Обзиром на мале брзине пешака, очита је вредност одступања од средње вредности, што показује коефицијент варијације од 0,220. Ако се постојеће вредности брзина упореде са HCM-2000 приручником, предложена оцена пешачког тока на територији града Добоја на сигналисаним пешачким прелазима је $HU=C$. Опсежном статистичком анализом утврђене су вредности брзина пешака $V_{15\%}$, $V_{50\%}$ и $V_{85\%}$, које респективно износе 0,64 m/s, 0,99 m/s и 1,34 m/s. Уједно, може се закључити да жене остварују мању вредност брзине у односу на мушкарце, али је та разлика у просеку незнатна. Овакве релативно ниске вредности брзина пешака на сигналисаним пешачким прелазима се оправдавају величином града Добоја и његовим бројем становника, у поређењу са градским метрополама, где брзина пешака у истим условима је знатно већа. Уједно, као значајно ограничење у истраживању, потребно је истаћи да нису разматрани различити типови пешачких прелаза, који би можда показали дијаметрално различите резултате истраживања.

Мерење брзина пешачких токова, је параметар кога је потребно константно пратити и анализирати у различитим путни, амбијенталним, градским и другим условима. Такође, у планерским анализама вредности брзине пешака је потребно прилагодити локалним условима од функционалног значаја саобраћајним стручњацима, ради прецизне прогнозе капацитета пешачких токова.

6. ЛИТЕРАТУРА

- Драгић, Д., Суботић, М. (2011) Истраживање карактеристика пјешачких токова градске зоне, Часопис српског друштва за путеве ПУТ И САОБРАЋАЈ, Број 2, стр.19-25.
- Ђукић, Т., Вукановић, С. (2008) Методологија истраживања карактеристика пешачког саобраћаја, Технике регулисања саобраћаја.
- Zhang, J. & Seyfried, A. (2014) Comparison of bidirectional pedestrian flows by experiments, Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, Volume 405, Pages 316-325.
- Igazvölgyi, K., Z. (2014) IRREGULAR PEDESTRIAN CROSSINGS' BEHAVIOUR ANALYSE IN BUDAPEST, European Transport Conference, AET.
- Кузовић, Љ. (1987) Теорија саобраћајног тока, Грађевинска књига, Београд.

Lee, J.Y. (2010) Pedestrian activity-simulation model for Hong Kong congested urban areas, (PhD) The Hong Kong Polytechnic University.

Subotić, M., Radičević V., Anđelković D., Joševski Z. (2013). Pedestrian walking speed at signalized crossings, Mechanics Transport & Communications - Academic Journal, volume 11, Sofia.

„Highway Capacity Manual“ (2000). Transportation Research Board, National Research Council, Washington D.C.

„Highway Capacity Manual“ (2010). Transport Research Board Publications, Volume 4. Applications Guide, 2010.