СРПСКО ДРУШТВО ЗА ПУТЕВЕ

Пут и саобраћај
Journal of Road and Traffic Engineering

www.putisaobracaj.rs

Капацитет аутопута у зонама радова – искуства у страним условима

Стефан Анђелковић[a*], Владан Тубић[a]

[a] *Универзитет у Београду, Саобраћајни факултет*

ПОДАЦИ О РАДУ

DOI: 10.31075/PIS.66.03.07
Стручни рад
Примљен: 02.05.2020
Прихваћен:30.09.2020
Кореспондинг аутор:
stefan.andjelkovic.sf@gmail.com

Кључне речи:

Зоне радова
Капацитет
Аутопут
Затварање саобраћајне траке

РЕЗИМЕ

Регулисање саобраћаја у зони радова на аутопуту представља изазов за све саобраћајне инжењере. Зоне радова на путу представљају један од најзначајнијих проблема за нормалну реализацију услова у саобраћајном току, које могу проузроковати разне последице које ће увелико редуковати капацитет и смањити ниво услуге. На деоницама у зони радова долази до појаве уских грла, која резултирају загушењима, тј. доводе до појаве дебаланса саобраћајног захтева и капацитета пута. У овом раду дат је преглед литературе и страних искустава и начина регулисања саобраћаја у зонама радова на аутопуту. Имајући у виду да се говори о саобраћајницама највишег ранга, на којима постоје деонице са зонама радова, неопходно је одржати задовољавајући ниво услуге применом концепта регулисања који ће минимално ометати нормалну реализацију услова у саобраћајном току.

1. Увод

Зоне радова значајно утичу на квалитет саобраћајних услова на аутопутевима. Претходна процена утицаја зона радова на појаву загушења је веома важан аспект који омогућава разматрање алтернативних могућности распореда у оквиру зона радова, у процесу планирања, чиме се смањује обим загушења у саобраћајном току.

У зонама радова на аутопуту, капацитет се може значајно редуковати из неколико разлога, а то су: смањење ширине саобраћајне траке, смањење броја саобраћајних трака и неповољне путне геометрије. За разлику од аутопутских зона радова у Сједињеним Америчким Државама где се обично примењује мера смањења ширине саобраћајне траке, на Немачким аутопутевима у зонама радова се врши затварање саобраћајних трака. Међутим, препорука је да се на деоницама аутопутева у дуготрајним зонама радова, где постоји могућност настанка загушења, избегава затварање саобраћајних трака уколико постоји могућност.

Проток и капацитет у зонама радова су анализирани у великом броју студија, међутим за анализу капацитета аутопутских зона радова постоји тек неколико озбиљних студија, а тиме су се бавили Ressel (1994), Ober-Sundermeier и Zackor (2001), Suemmermann (2012) и други. Међутим, анализе зона радова, као и саме методе процене капацитета се разликују у овим студијама, тако да је поређење процењених капацитета веома тешко.

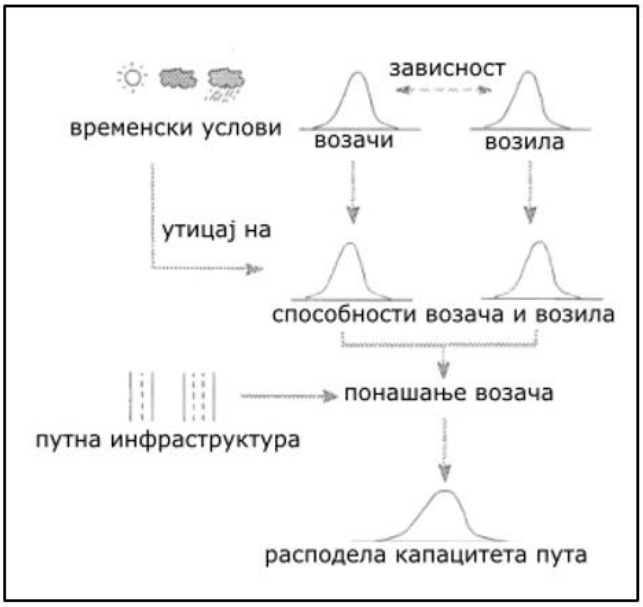
У овом раду представљени су резултати свеобухватних студија капацитета у оквиру зона радова на аутопуту. Циљ рада је да обједини резултате студија и представи их синтезно. Такође, прегледом страних искустава и истраживања самог капацитета на аутопутским зонама радова добија се увид у способност различитих начина регулисања саобраћаја у оквиру зона радова.

2. Капацитет пута у зони радова

Капацитет пута је у приручнику ХЦМ-а (*Highway Capacity Manual*) дефинисан као ,,максимални број очекиваних возила који може проћи одговарајућу тачку или пресек на путној мрежи, током одређеног временског периода под преовлађавајућим путним и саобраћајним условима" (Ackerman 2000). Упркос наведеној дефиницији, није могуће дати квантитативну дефиницију капацитета путева.

Дефиниција која је дата од стране ХЦМ-а укључује термин ,,очекиваних возила" који указује на постојање променљивости бројчане вредности максималног броја возила. Другим речима, капацитет представља стохастичку променљиву која подлеже понашању возача који пролазе одређеном деоницом пута. Понашање возача у току саме вожње зависи од три фактора: могућности возача, могућности возила и стања путне инфраструктуре. На наведене факторе може се утицати на бројне начине.

Наведене три карактеристике утичу једна на другу, а од њих зависи и сама брзина, тј. капацитет саобраћајнице. Сходно наведеном, јасно је да капацитет не представља једну фиксну вредност, већ зависи од мноштва фактора и самим тим представља расподелу. Утицаји на расподелу капацитета путева су приказани на Слици 1.

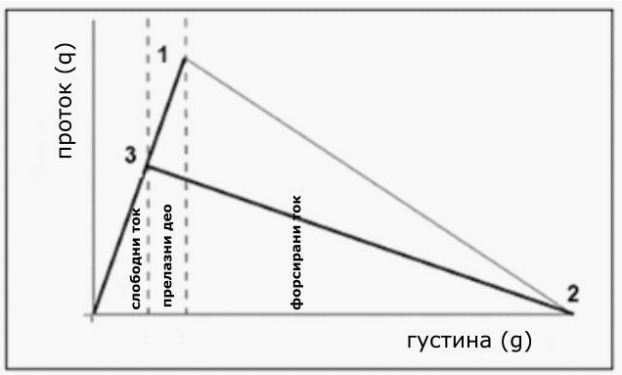


Слика 1. Фактори који утичу на расподелу капацитета на путевима *Извор: http://docplayer.nl/*

Капацитет пута представља максимални интензитет пута. Може се изразити бројем возила по јединици времена. Критичан проток на фундаменталном дијаграму заправо представља капацитет пута. Капацитет једног пута дефинише деоница са најмањом пропунсом моћи, тј. уско грло.

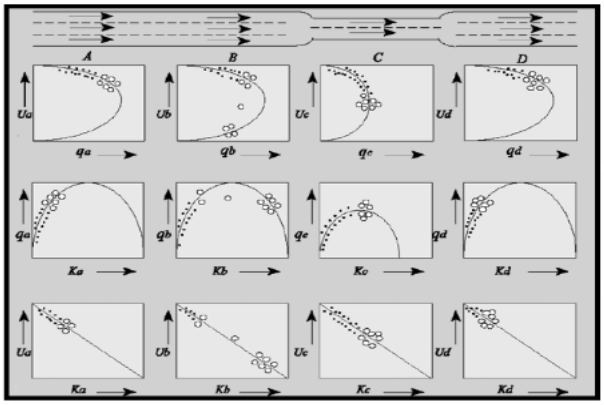
У приручнику ХЦМ уско грло је дефинисано као локација где саобраћајни захтеви превазилазе саобраћајну понуду, односно капацитет. Уско грло се може односити на део пута са неповољним техничко-експлоатационим карактеристикама у односу на остале делове пута, који у великој мери утичу на погоршавање основних параметара саобраћајног тока. Уско грло утиче негативно на смањење брзине и максималног протока. Једна од најчешћих манефестација уских грла је кроз зоне радова на путу.

Саобраћајни проток који напушта зону уског грла има знатно мању брзину од максималне брзине протока која важи у условима слободног саобраћајног тока. Наведени ефекат се назива пад капацитета. На Слици 2. је приказан пад капацитета. У моменту 1, непосредно пре појаве загушења на мрежи, достиже се капацитет слободног саобраћајног тока. Након тога долази до загушења, што је и приказано у моменту 2, након чега ће се успоставити капацитет тока, приказано у моменту 3. Капацитет слободног саобраћајног тока је већи од капацитета, као што је и приказано на Слици 2.



Слика 2. Пад капацитета
Извор: http://docplayer.nl/

За уска грла, као што су зоне радова на путу, капацитет тока је кључни, јер деоница зоне радова утиче на целокупан капацитет сегмента пута. Уска грла представљају локације где долази до благог пада брзине у саобраћајном току и као што је већ речено овакве локације диктирају капацитет пута, јер је пропусност најнижа на уском грлу. На Слици 3. представљен је фундаментални дијаграм за четири различите локације (А- локација без утицаја, В – зона утицаја (иза уског грла), С – уско грло, D – зона испред уског грла. Интензитет у уском грлу ће бити максимални и капацитет ће бити достигнут. У зони утицаја, испред уског грла, може доћи до загушења уколико се достигне капацитет уског грла. У зони иза уског грла не постоји загушење и параметри саобраћајног тока су слични као и у слободном току.



Слика 3. Приказ фундаменталног дијаграма у зони уског грла
Извор: http://docplayer.nl/

Зоне радова на путу свакако представљају активности које резултују прекидима саобраћаја и појавама загушења услед смањења капацитета, повећања времена путовања, повећана стопе саобраћајних незгода и потрошње горива. Из разлога јављања све већих саобраћајних оптерећења дуж мреже и благе промене у току, могу да изазову драстичне ефекте на услове у саобраћају. Стога је од круцијалне важности одржати задовољавајући ниво услуге кроз краткорочне зоне радова. Зоне радова морају имати посебне стратегије и методе контроле саобраћаја морају бити пажљиво планиране, како би се минимизирали утицаји на саобраћајни ток. Експлоатацијом путне инфраструктуре повећава се потреба за њеном рехабилитацијом, тј. за редовним одржавањем, што резултује одређеним радовима на путу, као што је и приказано на Слици 4.

Слика 4. Приказ зоне радова на аутопуту
Извор: https://intellistrobe.com

Зоне радова свакако представљају саобраћајне ситуације које су редовна пратећа појава саобраћајног процеса, за које корисници не знају увек унапред где ће на њих наићи. Једна од нежељених последица зона радова је повећан број саобраћајних незгода које за исход поред материјалне штете, могу имати и повређена и настрадала лица, како учеснике у саобраћају а тако и саме раднике у оквиру зоне радова. Сваке године бројни возачи и радници бивају повређени или настрадали у зонама радова на аутопуту. Национални институт за заштиту на раду (NIOSH) у Сједињеним Америчким Државама извештава да приближно 100 радника настрада, а преко 20 000 бива повређено сваке године.

У свету се улажу велики напори и пажња се управо усресређује на зоне радова, како би биле што безбедније организоване. Свако квалитетно обезбеђење зоне радова укључује пројекат, који израђује одговорни пројектант. Пракса у домаћим условима показује да се зонама радова за сада не даје велики значај и да се посматрају као мање важна места која имају одређени утицај на саобраћајни ток. У свету се већ увелико примењују решења и могућности нових технологија, тако је и ИТС нашао примену у зонама радова на путу, где се овај проблем ублажава, односно помоћу ИТС-а се повећава пропусна моћ и безбедност саме саобраћајнице у зонама радова на путу.

3. Преглед литературе

Управљање саобраћајем у зонама радова на путу је још увек велики изазов. Озбиљни проблеми на које треба обратити пажњу у наведеним зонама су свакако безбедност и временски губици у путовању. Наведени проблеми се најчешће јављају у самој зони радова, али се могу проширити и створити такозване шок таласе. У оквиру приручника ХЦМ-а стоји да капацитет зоне радова зависи од природе посла, броја и структуре опреме на градилишту и локације зоне, као и самих радника у односу на динамички саобраћај.

Richards и Dudek (1979) су се бавили мерењем капацитета градског аутопута. Мерили су саобраћајно оптерећење непосредно пре зоне радова, одакле следи затварање саобраћајне траке. Дошло је до редукције капацитета због затварања траке, али и и због активности у самој зони радова (камиони, радне машине, долазак радника). Затим су упоређивали капацитете саобраћајнице у зони радова са и без радника на њима.

Cunagin и Chang (1982) су истраживали утицај теретних возила на капацитет аутопута током ван-вршних часова. Закључили су уколико дође до формирања колоне теретних возила долази до редукције капацитета. Овај ефекат је до тада истраживан само за слободне делове аутопута, али не и за зоне радова.

Остали потенцијални фактори утицаја на капацитет су свакако лоши временски услови, укључујући кишу и јак ветар. Jones и Goolsby (1970) су установили да присуство кише редукује капацитет за око 14%. ХЦМ, са друге стране, наводи да је редукција капацитета од 10-20% због кише типична, и да су чак могућа и већа редуковања. ХЦМ такође сугерише да се ови ефекти узимају у свакој анализи, посебно када су такви услови чести. Као и у случају теретних возила, овај ефекат до тада није истражен у зонама радова на аутопуту.

Улазак у зону радова подразумева затварање одређене саобраћајне траке, што се одражава на саобраћајни ток, али и на безбедност учесника у саобраћају. Неки возачи, покушавајући да избегну загушење и застоје, возе делом траке која је предвиђена за затварање, а затим на месту њеног затварања, изводе оштре и хитре маневре уливања у ток, што је веома небезбедно.

Један од система контроле саобраћаја је *Indiana Lane Merge* систем, који има за циљ да повећа искоришћеност саобраћајних трака у зони радова. Идеја рада овог система је да смањи број агресивних промена трака. Овај систем се састоји од низа статичких и динамичких знакова.

Постоје и додатни утицаји на капацитет у зонама радова аутопутева који су недовољно истражени,а односе се на јак ветар, присуство полиције, % теретних возила у току итд. Саобраћајем се најчешће у зонама радова управља тако што се затвори одређена саобраћајна трака, а друга се конвертује у двосмерну.

Из ХЦМ-а, холандског ЦИА приручника и истраживања која је спровела група аутора, Al-Kaisy & Fred (2002), Kim, Lovell, & Pracha (2001), Adeli & Jiang (2003) и Karim &Adeli (2003) утврђено је да постоји укупно 33 променљивих које могу имати утицај на капацитет у зонама радова на аутопуту. Ове променљиве су приказане у Табели 1.

Табела 1. Утицаји у зонама радова на аутопуту

Променљиве у зонама радова на аутопуту		
Структура саобр. тока	Мрак	Радници у зони радова
Утицај инцидентних ситуација	Осветљење	Сужавање саобр. трака
Бочне сметње	Број саобр. трака	Локација затварања саобр. траке
Мере раздвајања	Удаљеност од рампе	Број затворених саобр. трака
Стање коловоза	Радијус пута	Присуство саобраћајне сигнализације
Присуство сигналних контролера	Видљивост у зони радова	Нагиб пута
Месечни фактор	Време трајања радова	Ограничење брзине
Временски услови	Прелазне зоне	Интензитет радова
Дужина зоне радова	Дан у недељи	Изглед радне зоне
Локација зоне радова	Поштовање ограничења	Фаза рада
Радно време у зони радова	Мрак	Радници у зони радова

Извор: http://docplayer.nl/

Неке од наведених променљивих су директно повезане са самом зоном радова, док друге и нису директно повезане са зоном радова, али су свакако део окружења у коме се радна зона налази, а друге су чак потпуно и изван зоне радова. Из овог огромног броја утицаја изабрани су они најбитнији, за које се сматра да имају свакако највећи и пресудни утицај у зони радова на аутопуту. Две студије Adeli & Jiang (2003) и Zheng et al. (2010) и публикација CROW су сузиле број утицаја променљивих на капацитет у зонама радова, и оне су представљене у Табели 2.

Табела 2. Најбитнији утицаји у зонама радова на аутопуту према ауторима Adeli & Jiang (2003) и Zheng et al. (2010)

Најбитније променљиве у зонама радова на аутопуту	
Дан у недељи	Уздужни нагиб
Удаљеност од рампи	Ограничење брзине
Временски период дана	% теретних возила у току
Трајање радова	Врста заштитне баријере
Дужина зоне радова	Видљивост у зони радова
Сужавање трака	Временски услови

Извор: http://docplayer.nl/

Утицај најважнијих варијабли биће представљен у наредном поглављу, која су спровела поједина истраживања. Постоје одређене разлика у истраживањима које ће бити представљене у наставку рада.

3.1. Истраживања спроведена у свету

У наставку ће бити приказана истраживања најбитнијих утицаја у зонама радова на аутопуту.

ХЦМ (Ackerman, 2000) представља приручник на светском нивоу и главну смерницу у саобраћајном инжењерству. Такође то је основни приручник и на његовим темељима развили су се многи приручници у разним земљама света. У ХЦМ-у су детаљно дате смернице за минималну редукцију капацитета у зонама радова на аутопуту, али ту се дају само оквирне вредности капацитета, а не тачне вредности за тачно одређене ситуације.

Група аутора Karim & Adeli (2003) је спровела истраживање у Сједињеним Америчким Државама, где је истражен велики број утицаја на капцитет у зонама радова на аутопуту. Следећи резултати су описани у њиховом истраживању.
- Сужавање траке – смањење ширине траке од 0.5 м резултира 175 воз/час мање;
- Успон пута – 100 воз/час мање при успону од 5% ;
- Дужина затворене траке – дужина затворене траке од 1.5 км резултује 50воз/час мање;
- Удаљеност од рампи – смањење од 25 воз/час када је у близини рампа;

Наведена група аутора у свом истраживању је детаљно описала утицај нагиба пута, али су резултати двосмислени. Резултати симулационе студије у Белгији од аутора Van Begin (2002) о утицају дужине радних зона такође нису разјашњени до краја.

Истраживањем капацитета у зонама радова на аутопуту које су спровели Al-Kaisy & Hall (2003) утврђено је да је знатно мањи капацитет на деоницама аутопутева са мањом ширином саобраћајних трака. Уместо протока од 2160 воз/час по траци, капацитет је био 1800 ПАЈ/час по траци.

Такође ова студија је показала и редукцију капацитета од 7% до 16% у случају мањег учешћа возача комјутера (drivers commuter) [1] у случају викенда и периода не-вршног часа. Студија је такође показала да различита ограничења брзине и врсте баријера узрокују разлике у редукцији капацитета између 1% и 12,5%.

Истраживање које је спровела група аутора Dixon et al. (1996) у северној Каролини, САД, показала је да локација саме зоне радова може имати велики утицај на капацитет. На ванградским аутопутевима редукција капацитета је и до 300 воз/час више него у зонама градских аутопутева. Они то објашњавају разликом у понашању у вожњи због познавања услова и адаптацију на градске услове и загушења.

Maze & Bortle (2005) у свом истраживању описују да је разлика у капацитету између краткотрајних и дуготрајних зона радова између 7% и 16%. Они то објашњавају чињеницом да што су радови у зони дужи (временски) возачи ће се боље адаптирати на новонастале услове. Такође у свом истраживању, они наводе да је ефекат нагиба пута повезан за процентуалним учешћем теретних возила, зато што је највећи утицај управо над њима. Они наводе да до редукције у капацитету може доћи од 16% до 33% када се повећава нагиб пута.

Истраживања које су спровели Hunt et al. (1991) у Уједињеном Краљевству закључују да процентуално учешће теретних возила од 30% узрокује редукцију у капацитету за 23%, у поређењу са ситуацијом без теретних возила и да смањење ширине траке до 0,4m редукује капацитет за 12%. Поједина истраживања спроведена у Немачкој Weinspach (1988), указују на исти закључак тј. да саобраћајне траке мање ширине више утичу на редукцију капацитета. Наводи се да саобраћајне траке мање од 3,5м редукују капацитет за чак 15%.

3.2. Истраживања спроведена у Холандији

У Холандији капацитет на аутопуту је утврђен на 2100 воз/час по траци (Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2011). У случају аутопута у зонама радова ова вредност износи знатно мање, из разних разлога. У Холандији су спроведене бројне студије и успостављени алати за квантификацију редукције капацитета у зонама радова на аутопуту.

Главни приручник у саобраћајном инжењерству је ЦИА (*Capaciteit Infrastructuur Autosnelwegen*) приручник са одговарајућим смерницама за капацитет. Холандски приручник даје само једну вредност за капацитет по траци и углавном се заснивама на моделима и студијама, а не на емпиријским истраживањима.

Такође у оквиру овог приручника дати су ефекти низа променљивих на редукцију капацитета. У наставку су приказане релевантне студије везане за дату тематику.

Студија спроведена путем микро симулације објашњава ефекат многих променљивих са утицајем на капацитет у истраживању групе аутора Zheng et al. (2010). Наведено истраживање је прво имало за задатак да установи променљиве које имају највећи утицај на капацитет аутопута у зонама радова, а затим су покушали да квантификују истражене утицаје коришћењем микросимулације. Утицаји различитих променљивих су следећи:

- Видљивост у зони радова – при условима добре видљивости постоји повећање од 100 воз/час у односу на случај када не постоји добра видљивост у самој зони радова;

-Трајање – евидентно је повећање од 250 воз/час у каснијим фазама у зони радова;

-Удаљеност од рампи – рампе на удаљености од 0.5км резултују у 250 воз/час мање, за разлику од оних на удаљености од 1км;

-Дужина зоне радова – дужина зоне радове од 1км резултује 170 воз/час мање, него дужина од 2км
Запажено је да у оквиру ове студије нема говора о неким веома битним утицајима попут сужавања саобраћајних трака, затварања саобраћајних трака и % учешћа теретних возила.

Друга студија која је спроведена путем микро симулације Nelis & Westland (1992) показује да долази до редуковања капацитета за 10% када дође до смањења ширине траке са 3,6м на 3м. Овом студијом је такође доказано да што је зона радова дугорочнија, возачи су боље упознати са условима који владају на путу и знају шта може да их очекује, стога може доћи до повећања капацитета за 20% у односу на радове на самом почетку.

У још једној студији микро симулације Vermijs & Schuurman (1993) истраживали су % учешће теретних возила и њихов утицај на капацитет у зонама радова. Утврдили су да када се % теретних возила удвостручи, нпр са 20% на 40% капацитет опада за 8%, а када % учешће теретних возила опадне са 20% на 5% капацитет се повећа за 10%. Наведена студија је истраживала и утицај дужине саме зоне радова на капацитет, али резултати су двосмислени.

[1] Возачи који свакодневно користе путнички аутомобил за одлазак на посао.

Студија Hoogendoorn (2010) је показала да киша, средњег и јаког интензитета, може узроковати смањење капацитета за 5-10%. Иста студија је такође показала да магла може да проузрокује редукцију капацитета и до 10%. Поред наведених приручника и студија које су користиле микро симулацију о утицају на капацитет, спроведена су и одређена емпиријска истраживања која описују редукцију капацитета на аутопуту у зонама радова. Ter Kuile (2006) је спровео емпиријско истраживање како би утврдио понашање возача и услове у саобраћајном току на аутопуту где су ширине саобраћајних трака нешто уже од стандардних у зонама радова. Један од резултата наведеног истраживања, је да долази до редукције капацитета за око 8% када су траке уже од стандардних на аутопуту. Наведено је углавном последица смањења капацитета у левој траци (у случају две траке). У истраживањима спроведеним у Холандији не постоје резултати о утицају нагиба пута и локације зоне радова на капацитет деоница аутопута у зонама радова.

3.3. Истраживања спроведена у Сједињеним Америчким Државама

Истраживање које су спровели Venugopal and Tarko (2001) показује да је већина испитиваних утицаја, осим врсте траке и брзине ветра, од изузетног је значаја за утицај на капацитет у зонама радова на аутопуту. Све остале променљиве представљене у њиховом истраживању знатно редукују капацитет.

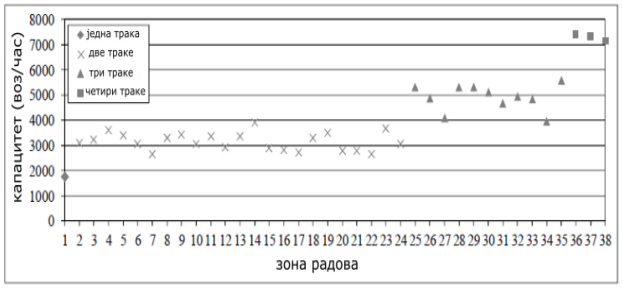
Киша редукује капацитет како је и очекивано. У просеку, смањење капацитета износи 140 воз/час или око 10% капацитета. Смањење је веома слично ономе које је дато у америчком приручнику ХЦМ-а за капацитет аутопута без зоне радова. Треба имати на уму да ово истраживање укључује само кишне периоде, док би засебно требало истраживати снежне услове. У овкиру студије се такође очекивало и да тешка возила знатно редукују капацитет и то је и доказано. Процењено је смањење за 4 за сваки пораст % теретних возила за 1%. Утицај затварања траке (леве или десне) на капацитет, показало се да је незнатан. Другим речима студијом је показано да без обзира да ли дође до затварања леве или десне траке, то неће у знатној мери утицати на редукцију капацитета аутопута у зони радова. Такође се веровало да јак ветар утиче на смањење капацитета. У случајевима јаког ветра од возача тешких возила се очекује да држе веће растојање слеђења и да возе спорије. Иако резултати не потврђују горња очекивања, треба имати на уму да брзина ветра била у доњем опсегу у току самог периода истраживања. Најјачи ветар је био око 24 км/час. Наведена студија је показала да је до највеће редукције капацитета, од 14%, дошло током полицијског присуства непосредно у близини зоне радова.

3.4. Истраживања спроведена у Немачкој

Истраживањем које су спровели N. von der Heiden и J. Geistefeldt (2016) дати су резултати свеобухватне студије капацитета аутопутева у зонама радова у Немачкој. Циљ студије је био добити стандардне капацитете за дугорочне и краткорочне зоне радова, које ће бити имплементиране у новом алату за саобраћајну анализу у Немачкој. Методе процене капацитета примењене у студији заснивају се на методологији Немчаког приручника – ХБС-а (*Handbuch fuer die Bemessung von Strassenverkehrsanlagen*). Стога, стандардни капацитети у зонама радова могу се директно упоредити са онима које је препоручио ХБС. Капацитет дугорочних зона радова на аутопуту процењен је на основу података о саобраћају прикупљених са одговарајућих детектора. Прекиди у саобраћајном току обично се јављају на почетку или затварању саобраћајне траке. Стога, су саобраћајни подаци добијени на прилазу зони радова како би се на основу њих проценио капацитет саме зоне радова. Поред тога, подаци о брзини и остали саобраћајни показатељи су неопходни како би се добили валидни подаци за процену капацитета. Следе карактеристике зона радова које су истраживане:

- 22 радне зоне на градској и 16 зона радова на ванградској путној мрежи;
- 1-једнотрачна, 23-двотрачне, 11-тротрачних и 3-четворотрачних коловозних трака;
- 10 дирекционих радних зона са смањењем ширине саобраћајне траке;
- Минималне ширине трака између 2,50м и 3,75м које користе само путнички аутомобили и између 3м и 3,75м ширине трака које користе теретна возила.
- 10 зона радова са уздужним нагибом већим од 2%.

У самом раду, успели су наћи модел који би утврдио капацитет на свих 38 зона радова. Сви капацитети су приказнаи на Слици 5. са бројем саобраћјних трака у анализираним правцима. Примећено је да у појединим случајевима капацитети значајно варирају чак и за исти број саобраћајних трака.



Слика 5. Капацитет за 38 зона радова са 1, 2, 3 и 4 траке по смеру

Извор: https://pdf.sciencedirectassets.com

Број саобраћајних трака, ширина саобраћјних трака, уздужни нагиб, % теретних возила и локација зоне радова на ванградским и градским аутопутевима су идентификовани као главни утицаји на капацитет. У постојећем Немачком моделу којим се прорачунава капацитет аутопута у зони радова, смањење броја трака које се узима као битан утицај, показано је кроз студију да није могао да се идентификује као битан утицај на капацитет. Редукциони фактори за уздужни нагиб и % теретних возила идентификовани су као независни.

Када су у питању краткорочне зоне радова регресиона анализа је показала да страна затварања траке и локација радне зоне на ванградској и градској мрежи има утицај на капацитет у зонама радова. Сви остали параметри имају занемарив утицај. Параметри изведени из емпиријске базе података, попут ширине трака и уздужног нагиба усвојени су из резултата за дуготрајне зоне радова.

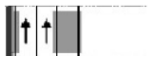
На основу података са детектора на немачким аутопутевима, добијени су модели за прорачун капацитета аутопутева у зонама радова и то за краткорочне и дугорочне зоне радова. Ови модели се могу применити у поступцима планирања радне зоне. За дугорочне радне зоне, може се емпиријским путем израчунати капацитет за 38 радних зона. На основу тога, фактори смањења за различите параметре радних зона одређивани су помоћу процедуре оптимизације. Релевантни параметри су број трака, ширина трака, постојање подељених трака, уздужни нагиб, проценат теретних возила и место локације зоне радова на ванградској или градској путној мрежи. У 111 краткорочних зона радова просечан саобраћајни ток током загушења процењен је на основу капацитета. На основу статистичких разматрања и регресионе анализе, локација зоне радова и страна затварања траке (лева или десна) идентификовани су као једини релевантни параметри који утичу на капацитет. Невероватно је да проценат теретних возила није имао мерљив утицај на капацитет анализираних краткорочних зона радова.

4. Капацитет аутопутева у зони радова – практични примери

Сам изглед зона радова на деоницама аутопутева заснован је на потребном времену и условљен временом неопходним за извођење активности на одређеној локацији. Када су у питању зоне радова у Холандији, користи се већ помињан ЦИА приручник на основу кога дизајнирају сам изглед зоне радова, са саобраћајног аспекта. Наведени приручник се користи како би се зона радова испројектовала да обезбеди сигурност радника и задовољавајући ниво услуге.

Наведени приручник разликује укупно 10 различитих врста радова на путевима; од радних активности удаљених 10м од пута, до активности на свим саобраћајним тракама. Најчешћи случајеви радних зона приказани су у наставку. Сви примери налазе се у ЦИА холандском приручнику за капацитет и путеве, а у наставку су приказани различити начини распореда у зонама радова на аутопуту.

Табела 3. Зона радова двотрачни аутопут

Тип зоне радова	Опис	Ограничење (км/час)	Капацитет (воз/час)
Двотрачни аутопут			
	Затварање сервисне траке без сужавња коловозне траке	90	3600
	Затварање сервисне траке са сужавањем леве и десне саобраћајне траке	70	3200
	Затварање леве саобраћајне траке са коришћењем сервисне траке	90	3400
	Затварање леве саобраћајне траке са коришћењем сервисне траке и сужења	70	3000
	Затварање десне саобраћајне траке	90	1500
	Затварање леве саобраћајне траке	90	1500
	Затварање обе саобраћајне траке и коришћење сервисне траке	90	1300

Извор: http://docplayer.nl/

Табела 4. Зона радова тротрачни аутопут

Тип зоне радова	Опис	Ограничење (км/час)	Капацитет (воз/час)
Тротрачни аутопут			
	Затварање леве саобраћајне траке	90	3600
	Затварање леве и средње саобраћајне траке и коришћење сервисне траке	90	3200
	Затварање леве и средње саобраћајне траке без коришћења сервисне траке	90	1500
	Затварање десне и средње саобраћајне траке	90	1500

Извор: http://docplayer.nl/

Табела 5. Зона радова двотрачни и тротрачни аутопут-оба смера

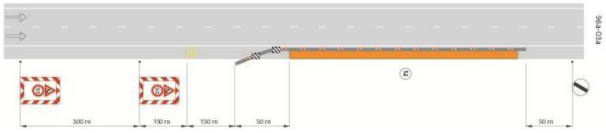
Тип зоне радова	Опис	Ограничење (км/час)	Капацитет (воз/час)
Двотрачни аутопут – оба смера			
	Затварање десне и сервисне траке у смеру А и коришћење једне траке из супротног смера Б	90	Смер А – 3000 Смер Б - 3400
	Затварање коловзне траке у смеру А и коришћење једне саобраћајне траке из смера Б	90	Смер А – 1500 Смер Б - 3400
	Затварање коловозне траке у смеру А и коришћење једне саобраћајне траке из смера Б	90	Смер А – 1500 Смер Б - 1500
Тротрачни аутопут – оба смера			
	Затварање коловозне траке у смеру А и коришћење две саобраћајне траке из смера Б	90	Смер А – 3400 Смер Б - 3400
	Затварање две саобраћајне траке у смеру А и коришћење једне траке у Б	90	Смер А – 4300 Смер Б - 4500

Извор: http://docplayer.nl/

У наставку су приказани изгледи радних зона који су најчешће присутни у зонама радова аутопута у Холандији:

-Затварање зауставне саобраћајне траке без сужавња саобраћајних трака

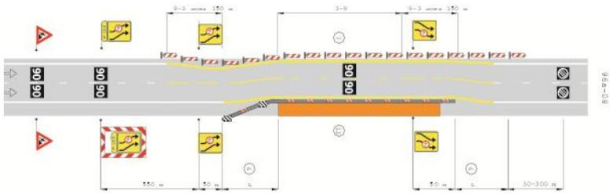
Изглед зоне радова при затварању зауставне траке је дат на Слици 6. Као што је и приказано на слици, систем не утиче директно на ометање саобраћаја. Саобраћајне траке нису сужене и ниједна саобраћајна возна трака није затворена.



Слика 6. Затварање зауставне саобраћајне траке
Source: http://docplayer.nl/

-Затварање зауставне траке са сужавањем леве и десне саобраћајне траке

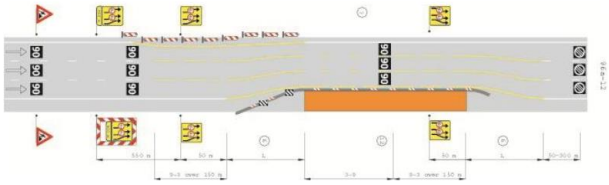
Изглед сужења лева и десне саобраћајне траке, као и само затварање зауставне траке, приказано је на Слици 7. У Холандији не постоји јединствена вредност за ширину траке, али прописана минимална вредност за леву саобраћајну траку је 2,75м док је за десну саобраћајну траку минимална вредност од 3,25м за деонице аутопута у зони радова са ограничењем брзине од 90 км/час. При ограничењу брзине од 70 км/час, минимум ширине за десну траку је 2,75м, а за леву 2,35м (CROW, 2005). На основу наведеног, ширина траке може варирати у одређеним границама.



Слика 7. Затварање зауставне саобраћајне траке и сужење леве и десне саобраћајне траке
Source: http://docplayer.nl/

-Затварање зауставне траке са сужавањем леве и десне саобраћајне траке – тротрачни аутопут

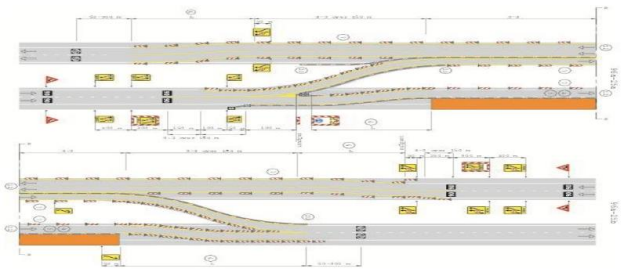
Изглед деонице аутопута при зони радова у случају затварања зауставне траке са сужавањем леве и десне саобраћајне траке у случају тротрачног аутопута дат је на Слици 8. Као и у претходном случају, и овде не постоји јединствена вредност за ширину саобраћајне траке, али постоји минимална вредност од 2,75м за леву и средњу саобраћајну траку и 3,25м за ширину десне траке на аутопуту у зони радова при ограничењу брзине од 90 км/час. При ограничењу брзине од 70 км/час минимум за десну траку је 2,85м, а за леву и средњу траку 2,35м (CROW, 2005). На основу наведеног, ширина траке може варирати у одређеним границама.



Слика 8. Затварање зауставне саобраћајне траке и сужење леве и десне саобраћајне траке – тротрачни аутопут
Source: http://docplayer.nl/

-Затварање десне и сервисне траке у смеру А и коришћење једне траке из супротног смера Б

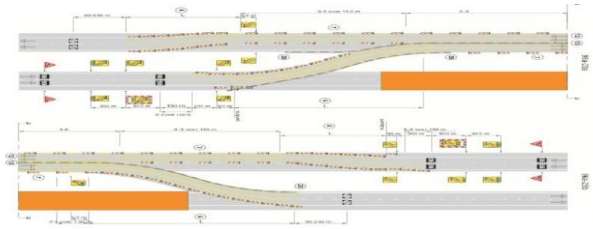
Изглед деонице аутопута у зони радова при затварању десне и зауставне траке у смеру А и коришћење једне траке из супротног смера Б представљено је на Слици 9. На приказани начин утиче се на саобраћај у оба смера. Највећи ефекат очекује се на коловозној страни где је једна од трака додељена супротном смеру. При реализацији овакве зоне радова, ширине трака варирају у зависности од конкретног случаја.



Слика 9. Затварање десне и сервисне траке у смеру А и коришћење једне траке из супротног смера Б
Source: http://docplayer.nl/

-Затварање коловозне траке у смеру А и коришћење две саобраћајне траке из смера Б

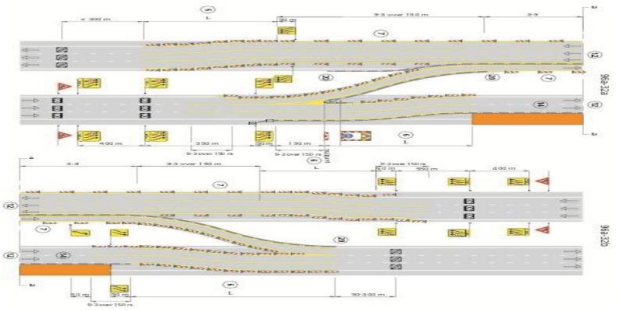
Изглед деонице аутопута у зони радова са затварањем коловозне траке у смеру А и коришћењем две саобраћајне траке из смера Б дат је на Слици 10. Применом оваквог уређења зоне радова, утиче се на оба смера. Највећи ефекат се очекује при преорјентацији траке у супротном смеру. При реализацији овакве зоне радова, ширине трака варирају у зависности од конкретног случаја.



Слика 10. Затварање коловозне траке у смеру А и коришћење две саобраћајне траке из смера Б
Source: http://docplayer.nl/

-Затварање десне и сервисне траке у смеру А и коришћење једне траке из супротног смера Б – тротрачни аутопут

Изглед деонице аутопута у зони радова при затварању десне и зауставне траке у смеру А и коришћење једне траке из супротног смера Б у случају тротрачног аутопута приказано је на Слици 11. При реализацији овакве зоне радова, ширине трака варирају у зависности од конкретног случаја.



Слика 11. Затварање десне и сервисне траке у смеру А и коришћење једне траке из супротног смера Б–тротрачни аутопут
Source: http://docplayer.nl/

5. Закључци и препоруке

Имајући у виду све веће саобраћајне захтеве, чак и веома мала секција зоне радова, може изазвати драстичне ефекте на услове у саобраћајном току. Када су у питању резултати из разних студија које су представљене у овом раду они су двосмислени. Ефекти променљивих и њихов утицај разликује се од студије до студије. Али како би смо добили увид у различите утицаје променљивих на капацитет аутопута у зони радова формирана је Табела 6. која приказује те утицаје. Резултати студија показују да посебно проценат теретних возила има велики утицај на капацитет, док је утицај видљивости и уздужног нагиба веома мали. Када је у питању дужина зоне радова резулат није баш сасвим јасан, истраживања показују нејасне резултате, неке чак показују и позитиван ефекат када су зоне радова дуже. Препорука за будућа истраживања капацитета у зонама радова на аутопуту је да треба спровести истраживање које ће пратити активности непосредно у зони радова и промену у перцепцији учесника у саобраћају истовремено са променом капацитета за истраживану зону радова. Препорука, односно чињеница коју саобраћајни инжењери који се баве регулисањем зона радова на аутопуту и одржавањем капацитета на задовољавајућем нивоу, треба да имају у виду је да капацитет у оквиру зона радова може значајно варирати.

Табела 6. Најбитнији утицаји на капацитет аутопута у зонама радова по литератури

Најбитнији утицаји на капацитет			
Дан у недељи	7-16%	Локација зоне радова	10%
Удаљеност од рампе	7-10%	Уздужни нагиб	7%
Времнски период	7-16%	Ограничење брзине	1-13%
Трајање	7-20%	% Теретних возила у току	8-33%
Дужина зоне радова	2-7%	Врста заштитне баријере	1-12%
Сужење траке	8-17%	Видљивост	3-7%
Временски услови	5-10%		

Генерално посматрано, смернице и приручници који се користе у свету дају добру процену капацитета и оквирну просечну вредност смањења капацитета аутопута у зонама радова. Али и даље недостају истраживања појединих утицаја на сам капацитет и колико капацитет може варирати у зависности од саме ситуације на путу. Различите студије, микро симулације, показују да постоји велика дисперзија утицаја на капацитет. То значи, да ефекат тих утицаја на сам капацитет, није још увек довољно јасан. Генерално, постоји мало емпиријског истраживања које се фокусира на разлике у капацитету изазване наведеним утицајима у одређеним ситуацијама.

Highway capacity in work zones – experiences in foreign conditions

Stefan Anđelković, B.Sc. TE
University of Belgrade, Faculty of Transport and Traffic Engineering

Vladan Tubić, Ph.D. TE
University of Belgrade, Faculty of Transport and Traffic Engineering

Abstract*:* Traffic management in the highway work zones is a challenge for all traffic engineers. Road work zones are one of the most significant problems for the normal realization of traffic conditions, which can cause various consequences that will greatly reduce capacity and reduce the level of service. On the sections in the work zone, bottlenecks appear, which result in congestion, ie. lead to an imbalance of traffic demand and road capacity. This paper provides an overview of the literature and foreign experiences and ways of regulating traffic in the work zones on the highway. Bearing in mind that we are talking about roads of the highest rank, where are sections with work zones, it is necessary to maintain a satisfactory level of service by applying the concept of regulation that will minimally interfere the normal realization of traffic conditions.

Key words: work zone, capacity, highway, lane closure

Литература

[1] Homan, T. C. (2012). *Freeway work zone capacity: empirical research on work zone capacity in the Netherlands* (Master's thesis, University of Twente).

[2] von der Heiden, N., & Geistefeldt, J. (2016). Capacity of freeway work zones in Germany. *Transportation research procedia*, *15*, 233-244.

[3] Venugopal, S., & Tarko, A. (2001, January). Investigation of factors affecting capacity at rural freeway work zones. In *80th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, DC*.

[4] Brilon, W., Geistefeldt, J., & Zurlinden, H. (2007). Implementing the concept of reliability for highway capacity analysis. *Transportation Research Record*, *2027*(1), 1-8.

[5] Richards, S. H., & Dudek, C. L. (1979). Field evaluation of traffic management strategies for maintenance operations in freeway middle lanes. *Transportation research record*, *703*, 31-36.

[6] Cunagin, W. D., & Chang, E. C. P. (1982). *Effects of trucks on freeway vehicle headways under off-peak flow conditions* (No. 869).

[7] Jones, E. R., & Goolsby, M. E. (1970). The environmental influence of rain on freeway capacity. *Highway Research Record*, (321).

[8] The National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH)
Доступно преко:
https://www.cdc.gov/niosh/topics/highwayworkzones(10.08.2020)

[9] Ackerman, N. J. (2000). Highway Capacity Manual, 4th edition, Washington

[10] Goemans, I. J., Daamen, I. W., & Heikoop, H. (2011). Handboek Capaciteitswaarden Infrastructuur Autosnelwegen (CIA) Volledig Vernieuwd. Nationaal Verkeerskundecongress, Nieuwegijn, Nederland.

[11] FGSV (2015). Handbuch fuer die Bemessung von Strassenverkehrsanlagen HBS (German Highway Capacity Manual). Forschungsgesellschaft fuer Strassen- und Verkehrswesen, Cologne.

[12] BMVBS (2011). Leitfaden zum Arbeitsstellenmanagement auf Bundesautobahnen (Guidelines for work zone management on German Freeways). German Federal Ministry for Transport, Building and Urban Development, Bonn.