

Izazovi u procesu formiranja transportnih modela – studija slučaja Tetovo-Gostivar (Koridor VIII)

Milica Tubić, mast.inž.saob., Hidroprojekat saobraćaj, milica.tubic@hps.rs

Miloš Micković, mast.inž.saob., Hidroprojekat saobraćaj, milos.mickovic@hps.rs

Danijela Rotula, dipl.inž.saob., Hidroprojekat saobraćaj, danijela.rotula@hps.rs

Marija Stojanović, dipl.inž.saob., Hidroprojekat saobraćaj, marija.stojanovic@hps.rs

Ana Rusić, dipl.inž.saob., Hidroprojekat saobraćaj, ana.rusic@hps.rs

Rezime: Osnovni zadatak i cilj transportnih modela je da na najbolji način analiziraju raspodelu dostignutih i očekivanih saobraćajnih tokova na mreži. Transportni modeli predstavljaju simulacione alate koji se koriste za analize uticaja saobraćaja, analize projektnih varijanti (alternativa), studije o proceni uticaja na životnu sredinu, studije opravdanosti, operativno planiranje, kao i testiranje mera za upravljanje saobraćajem. Formiranje transportnog modela predstavlja složen proces koji podrazumeva detaljnu analizu projektnih elemenata puta, kao i podataka o kretanjima na mreži pre samog implementiranja u softverski alat. Sam proces prikupljanja i obrade podataka vrlo često može biti zahtevniji od samih simulacija, zahtevati duži vremenski period i u velikoj meri uticati na kvalitet dobijenih rezultata. Detaljan pristup procesu formiranja modela, izazovi koji se javljaju, kao i predlozi unapređenja procesa planiranja i modeliranja prikazani su na primeru, odnosno studiji slučaja formiranja transportnog modela za potrebe izrade Saobraćajne studije autoputa Tetovo-Gostivar.

Ključne reči: transportni model, autoput, studija slučaja

1 UVOD

Transportni modeli treba što realnije da reprezentuju kretanje ljudi i dobara unutar definisane predmetne oblasti koju karakterišu socio-ekonomski pokazatelji, kao i pokazatelji namene površina sa pripadajućom mrežom puteva i ulica. Ključna prednost upotrebe transportnih modela jeste što su to alati koji omogućavaju simuliranje različitih alternativa, poboljšanja i scenarija, a time ujedno i saobraćajnih efekata koje prouzrokuju. Formiranje i analiza rezultata dobijenih transportnim modelom omogućava shvatanje zavisnosti i promena koje se dešavaju u definisanom saobraćajnom sistemu, kako u postojećem stanju, tako i u planiranim i projektovanim uslovima u budućnosti. Modeli se formiraju korišćenjem softverskih alata poput PTV Visum, Aimsun, Corsim, itd. Pre samog implementiranja u softverski alat potrebno je detaljno analizirati podatke o kretanjima stanovništva (istraživanjima na terenu i obradom dostupnih podataka), kao i podatke o projektnim i eksploatacionim elementima deonice u području analize. U radu je data sintezna analiza iskustava u formiranju transportnog modela za potrebe izrade Saobraćajne studije autoputa Tetovo-Gostivar, izazovi koji su rešavani, kao i predlozi unapređenja procesa planiranja i modeliranja.

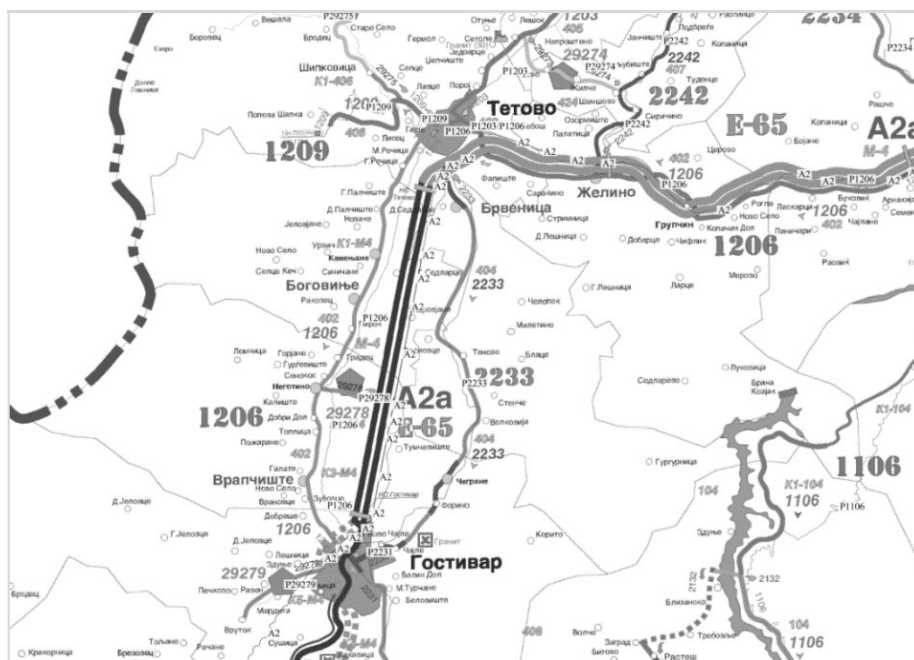
2 PREDMET PROJEKTA, PRIPREMA MODELA I SAOBRAĆAJNA ISTRAŽIVANJA

Modeliranje saobraćajnih zahteva ima značajnu ulogu u planiranju i projektovanju nove infrastrukture, uzimajući u obzir budući razvoj i čineći ih lako prilagodljivim promenljivim demografskim, ekonomskim ili prostornim uslovima. Osnovni ciljevi izrade Saobraćajne studije za koju je formiran predmetni transportni model su analize saobraćajne potrebe za izgradnjom autoputske deonice Tetovo-Gostivar, definisanje zahtevanog Nivoa Usluge koji treba da pruži planirani infrastrukturni objekat, prognoza saobraćaja u definisanom planerskom periodu i saobraćajno vrednovanje dva varijantna rešenja, pri čemu Varijanta 1 podrazumeva izgradnju autoputske deonice sa zatvorenim sistemom naplate putarine od Tetova do Gostivara, dok Varijanta 2 podrazumeva i izgradnju petlje sa naplatnom stanicom na km 44+923.00. Oba varijantna rešenja podrazumevaju izgradnju dvotračnog puta koji se prostire paralelno sa autoputskom deonicom. Predmetna deonica predstavlja Sektor 1 autoputske deonice Tetovo-Gostivar-Bukojčani. Deonica Gostivar-Bukojčani, odnosno Sektor 2, predmet je zasebne studije, ali je za potrebe dobijanja realnih podataka o saobraćajnim tokovima formiran jedinstven model koji uključuje oba sektora.

U zavisnosti od predmeta analize definiše se prostorni obuhvat transportnog modela sa pripadajućom mrežom saobraćajnica: opština, grad, pokrajina, nacionalni nivo ili region. Oblast koja se modelira ne bi trebalo da bude predimenzionisana, iz razloga što može otežati postizanje željene konvergencije, odnosno približavanja realnim saobraćajnim uslovima na mreži. Definisano područje se deli na saobraćajne zone između kojih se vrše kretanja korisnika sistema. Pored samog područja koje je predmet analize, prilikom formiranja modela važno je uzeti u obzir i uticaj šireg područja koje okružuje i ima interakciju sa analiziranim. Predmetni putni pravac na nivou Republike Severne Makedonije nosi oznaku A2 i predstavlja vezu autoputskih pravaca A1 i A4 sa autoputem A3. Takođe, predmetni pravac je deo i evropske mreže puteva i sa oznakom E-65 i predstavlja deo panevropske mreže kao deonica Koridora VIII. Razmatrani putni pravac od Tetova do Gostivara, kao autoputska deonica ima značajnu ulogu za razvoj Republike Severne Makedonije, povezujući severne delove zemlje, prestonicu Skoplje i tokove koji dolaze sa Kosova i Metohije i Albanije sa centralnim i južnim delovima Makedonije, pravcem sever – jug.

U postojećem stanju tranzitni saobraćaj i saobraćaj lokalnog karaktera funkcionišu preko postojeće višetračne saobraćajnice A2 (E-65). Novoprojektovana saobraćajnica državnog puta A2 trebalo bi da preuzme daljinske tokove, dok će paralelni dvotračni put imati funkciju povezivanja novoprojektovane autoputske deonice sa lokalnom mrežom. Saobraćajna dispozicija postojećeg puta A2, kao i pregledna karta novoprojektovanog Sektora 1 i paralelnog dvotračnog puta prikazane su na slikama 1 i 2.

Osnov formiranja kvalitetnog transportnog modela jeste detaljna analiza i prikupljanje podataka o postojećem stanju. Podaci o kretanjima se prikupljaju saobraćajnim istraživanjima i analizom dostupnih podataka iz publikacija i relevantnih baza. Podaci o mreži se takođe prikupljaju istraživanjima na terenu i analizama relevantnih baza podataka i arhiva projekata.



Slika 1: Saobraćajna dispozicija puta A2

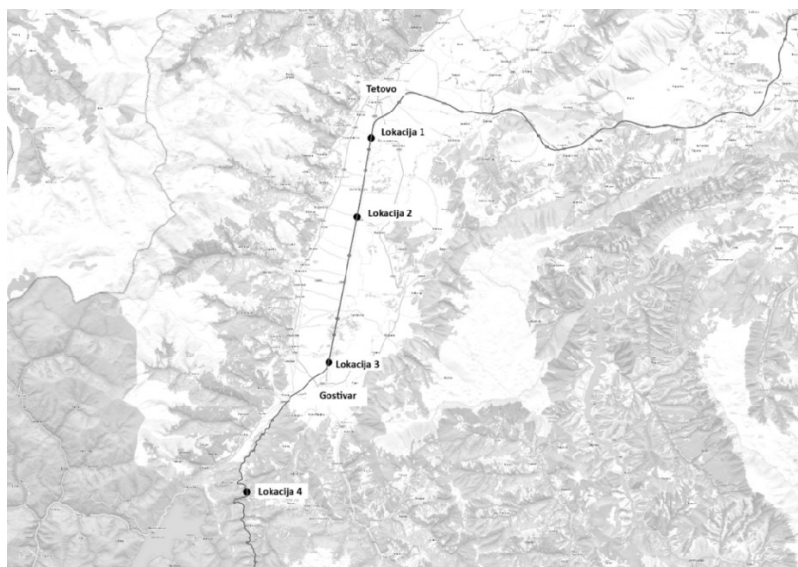


Slika 2: Pregledna karta novoprojektovanog sektora 1

Saobraćajno istraživanje podrazumeva pripremu, kao i sprovođenje istraživanja. Dobro pripremljeno i sprovedeno istraživanje predstavlja ključni preduslov za dobijanje relevantnih izlaznih rezultata i zaključaka, tako da je ovim koracima formiranja modela neophodno posvetiti pažnju i adekvatan vremenski period. U zavisnosti od predmeta analize definiše se metod prikupljanja podataka na terenu (brojanje, ankete, snimanje). Jedna od ključnih stavki pripreme jeste odabir reprezentativnih lokacija, kao i obuka istraživača. Lokacije na kojima se sprovodi istraživanje treba da omoguće prikupljanje podataka o što većem broju vozila na mreži, a po potrebi je moguće analizirati i njihovo razlivanje na mreži, odnosno utvrditi izvore i ciljeve. Greške koje nastaju prilikom istraživanja, naročito kada je reč o brojanju, najčešće se odnose na pogrešnu kategorizaciju vozila od strane istraživača, a nepažnja i tehnička nepripremljenost vode do gubitka dela uzorka. Datum i vreme sprovođenja istraživanja u velikoj meri utiču na kvalitet rezultata modela, pa se iz tog razloga istraživanja najčešće sprovode za vreme merodavnih dana i

meseci, po adekvatnim vremenskim uslovima i u periodima dana kada se javlja merodavno i najveće opterećenje.

Kao merodavni mesec za istraživanje, posle detaljne analize karakteristika vremenske neravnomernosti, odabran je oktobar 2023. godine. Istraživanje je sprovedeno u utorak (17.10), a kao period istraživanja obuhvaćen je osmočasovni period od 8h do 16h. Brojanje saobraćaja podrazumevalo je klasifikaciju vozila prema kategorijama i vremenu nailaska. Takođe, prilikom sprovođenja istraživanja beležene su i registarske oznake, kako bi bilo moguće dobiti saobraćajnu sliku – raspodelu kretanja vozila u predmetnoj zoni. Istraživanje karakteristika saobraćajnih tokova i snimanje registarskih oznaka realizovano je na ukupno 4 lokacije. Najznačajniji kriterijum pri odabiru lokacija bio je beleženje tranzitnih kretanja duž postojeće deonice. Lokacije 1 i 3 pozicionirane su na naplatnim stanicama Tetovo i Gostivar, odnosno na početku i kraju Sektora 1. Lokacija 2 podrazumeva beleženje registarskih oznaka na području najznačajnije petlje u postojećem stanju, odnosno petlje sa najvećim razlivanjem saobraćaja. Takođe, u zoni lokacije 2 predviđena je i izgradnja denivelisane raskrsnice (Varijanta 2). Lokacija 4 pozicionirana je tako da se zabeleže vozila koja nastavljaju kretanje ka Kičevu ili od Kičeva, ali i da bi se obuhvatili tokovi koji skreću za nacionalni park „Mavrovo”. Saobraćajnim istraživanjima prikupljeni su podaci o lokalnim kretanjima u području analize, kretanjima sa izvorom i ciljem u analiziranom području i kretanjima koja tranzitiraju područje. Na narednoj slici prikazane su pozicije punktova u okviru zone istraživanja.



Slika 3: Lokacije istraživanja

Tokom pripreme istraživanja utvrđeno je da na predmetnom potezu postoji mali broj automatskih brojača saobraćaja, koji imaju značajnu ulogu jer pružaju podatke o celokupnom dnevnom, mesečnom i godišnjem saobraćajnom opterećenju. Kako bi se prevazišao navedeni nedostatak i dobila preciznija raspodela saobraćaja na mreži sprovedena su i dodatna kontrolna brojanja saobraćaja na analiziranom području.

Prikupljanje podataka o projektnim elementima mreže, takođe, predstavlja izazovan proces koji je u velikoj meri uslovljen postojanjem ažurnih baza podataka, obzirom da sve neophodne podatke najčešće nije moguće prikupiti terenskim istraživanjima.

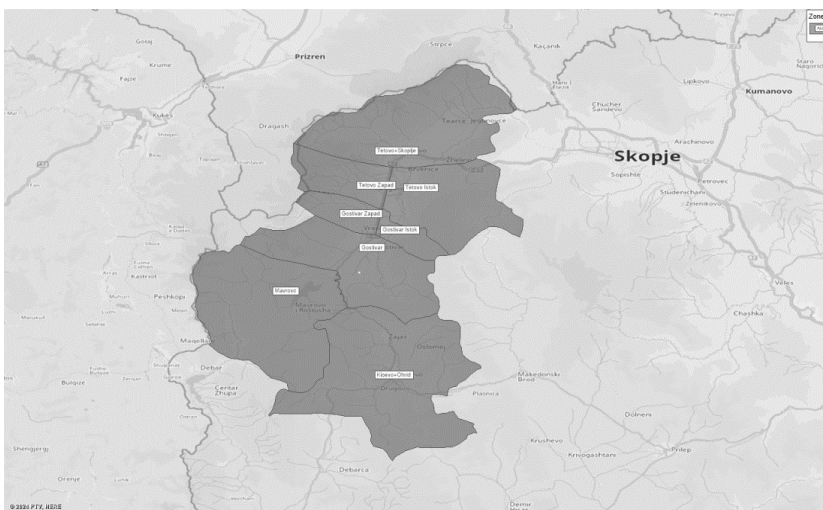
Za potrebe analize parametara efikasnosti u postojećem stanju, kao i planiranim varijantnim rešenjima, korišćeni su:

- Podaci o saobraćajnom opterećenju (PGDS-u) preuzeti su sa sajta „Javno pretprijatie za državni patišta Republike Severne Makedonije”
- Podaci sa naplatnih stanica dobijeni iz baza podataka „Javno pretprijatie za državni patišta Republike Severne Makedonije”
- Podacii o projektnim elementima puta zasnovani na arhivama projekata sprovedenih na predmetnom potezu
- Podacii o socio-ekonomskim pokazateljima preuzetim iz „Državen zavod za statistika Republike Severne Makedonije”.

3 FORMIRANJE TRANSPORTNOG MODELA AUTOPUTA TETOVO-GOSTIVAR

Unosom prethodno prikupljenih podataka u softverski alat kreira se transportni model, pri čemu osnovu modela čini saobraćajna mreža, najčešće zasnovana na GIS podacima, navigacionim mapama ili postojećim bazama podataka. Pored samog unosa veoma često su neophodna i dodatna podešavanja mreže, kao i unos brzina, kapaciteta, nagiba itd. Proračun kapaciteta postojeće i novoprojektovane mreže zasnovan je na HCM-u. Kapaciteti analizirane mreže su prilagođeni na dnevne vrednosti na osnovu definisanih merodavnih protoka.

Transportni model za potrebe izrade saobraćajne studije kreiran je okviru programskog paketa PTV VISUM. Nivo transportnog modela je makroskopski, pri čemu je analiza saobraćaja na raskrsnicama i petljama izvedena na mezoskopskom nivou, kako bi se dobila preciznija saobraćajna slika. U samom modelu područje koje je predmet analize je podeljeno na 8 saobraćajnih zona.



Slika 4: Zonski sistem

Simuliranje, odnosno opterećenje mreže koja je predmet analize, moguće je sprovesti korišćenjem različitih funkcija. Metod opterećenja koji je primenjen je Equilibrium. Metod Equilibrium pogodan je za modeliranje u slučaju kada su saobraćajni zahtevi na mreži većeg obima i kada se potencijalno se mogu javiti zagušenja, kao i kada se na mreži koja se analizira izdvajaju vršni periodi opterećenja. Equilibrium teži da opterećenje na mreži

dovede u ravnotežno stanje, koje se postiže jednakim vremenima putovanja (ili jednakim troškovima) na alternativnim rutama između izvora i cilja. Ravnotežno stanje dostiže se kroz iterativni postupak, gde se kao osnova koristi inkremental opterećenje. Ova metoda opterećivanja mreže uključuje kapacitete i deonica i raskrsnica.

Kako bi se koristili kao alat u planiranju i donošenju odluka, transportni modeli treba da teže tačnom prikazu obrazaca putovanja u godini koja je definisana kao bazna. Samo na taj način se budući scenariji mogu proceniti na smislen način. Kako bi se to postiglo, najčešće se koristi postupak kalibracije u kome se rezultati dobijeni modelom porede sa posmatranim podacima, obično sa brojanjem saobraćaja. Na osnovu ovih poređenja, parametri modela i drugi aspekti se prilagođavaju dok se ne ispune zahtevi kalibracije. Kalibracija u praksi predstavlja iterativan i vremenski dug proces. Određeni broj automatizovanih procedura može se primeniti za automatsko podešavanje komponenti modela kako bi se uskladili sa posmatranim vrednostima. Na primer, to može podrazumevati dodavanje konstanti u funkcije korisnosti ili naknadno prilagođavanje matrice. Iako ubrzavaju proces kalibracije, ove metode mogu imati nedostatke.

Za postupak kalibracije prostorne matrice kretanja, u konkretnom slučaju, korišćena je funkcija TflowFuzzy. U predmetnoj analizi definisani su najznačajniji kriterijumi koji istovremeno služe kao mera kvaliteta kalibracije, ali i za prekid procesa kalibracije: koeficijent korelacije, GEH indeks i srednja apsolutna greška. Broj vozila na mreži kalibrisan je na automatske brojače saobraćaja, podatke sa naplatnih stanica i kontrolna brojanja.

Kako su vozila na automatskim brojačima klasifikovana prema kategorijama, a i samo istraživanje je sprovedeno po identičnoj klasifikaciji, postupak kalibracije izvršen je posebno za svaku od kategorija vozila kako bi bila dobijena preciznija raspodela svih kategorija vozila na analiziranoj mreži (putnički automobil, lako teretno vozilo, teretno vozilo, autovoz, autobus). Postupak pojedinačne kalibracije pokazao se kao još jedna od mera koje su doprinele preciznoj raspodeli na deonicama na kojima ne postoje automatski brojači, uzimajući u obzir nedostatak lokacija za kalibraciju, odnosno nedostatak automatskih brojača.

Prilikom definisanja tolerancija u okviru procesa kalibracije, odnosno dozvoljenog odstupanja od željenih vrednosti saobraćaja na deonicama, dodeljene su različite vrednosti za različite kategorije vozila. Razlog toga je varijacija u opsezima broja vozila za različite kategorije koje se javljaju na mreži.

Za prognozu saobraćajnih tokova neophodno je definisati prosečne godišnje stope rasta saobraćaja po osnovnim kategorijama vozila u definisanom planerskom periodu. Na osnovu detaljne i sintezne analize socio-ekonomskih pokazatelja, projekcije makroekonomskog okvira, trenda rasta saobraćaja u prethodnom periodu, kao i vrednosti stopa rasta saobraćaja koje su korišćene u saobraćajnim studijama i studijama opravdanosti zemalja Jugoistočne Evrope, definisane su prosečne stope rasta saobraćaja po petogodišnjim periodima koje odgovaraju, realnom (umerenom) scenariju rasta saobraćaja.

4 ANALIZA DOBIJENIH REZULTATA I ZAKLJUČCI

Obzirom da je na novoprojektovanoj deonici autoputa planiran i sistem naplate putarine, raspodela saobraćajnih tokova na mreži je sprovedena metodom Tribut Equilibrium, koji je pogodan za modeliranje u slučaju postojanja sistema naplate putarine. Rezultati raspodele saobraćaja na mreži u 2047. prikazani su na narednim slikama.



Slika 5: Raspodela saobraćaja na mreži u 2047. godini – Varijanta 1



Slika 6: Raspodela saobraćaja na mreži u 2047. godini – Varijanta 2

Rezultati dobijeni modelom, predstavljali su osnov za analizu saobraćajnih efekata na posmatranom području uz sprovođenje logičke provere. Dobijenu raspodelu na mreži često je neophodno dodatno kalibrisati, obzirom da makroskopski modeli daju manje precizne rezultate i nisu dovoljno osetljivi da u potpunosti odslikaju realne obrasce kretanja korisnika. Na konkretnom primeru, bilo je neophodno sprovesti dodatna podešavanja kretanja korisnika u zoni grada Gostivara (lokalna kretanja).

Dodatni izazov je bio uporedna analiza varijantnih rešenja, imajući u vidu postojeće stanje i činjenicu da autoputska deonica ima značajno bolje karakteristike sa aspekta eksploatacionih brzina, vremena putovanja, bezbednosti saobraćaja i nivoa usluge u odnosu na planirani paralelni dvotračni put. Raspodela saobraćaja u okviru varijante sa denivelisanom raskrsnicom dovodi do većih pozitivnih saobraćajnih efekata na celokupnoj mreži koja je predmet analize sa aspekta viših vrednosti eksploatacionih brzina, bezbednosti saobraćaja, većeg transportnog rada na autoputskoj deonici sa naplatom putarine, manjeg vremena putovanja na mreži i bolje povezanosti područja. Lokalni teretni saobraćaj koji opslužuje naseljena mesta između Tetova i Gostivara u varijanti bez denivelisane raskrsnice je prinuđen da koristi paralelni put, dok u slučaju varijante sa denivelisanom raskrsnicom ovaj saobraćaj se jednim delom preusmerava na autoputske deonice.

Zaključak funkcionalnih analiza Saobraćajne studije je da postoji saobraćajna potreba za poboljšanjem uslova saobraćaja na potezu Tetovo-Gostivar (E-65) u planiranom inicijalnom periodu analize od 2028. do 2047. godine. Planirani autoput će u navedenom periodu moći da opsluži sve očekivane saobraćajne zahteve na visokom nivou usluge (A-B).

Sumarno, najznačajnija unapređenja sprovedena u okviru formiranja predmetnog transportnog modela odnose se na detaljan postupak definisanja postojećeg stanja, na način da što bliže reprezentuje uslove u stvarnosti. Detaljnom pripremom i sprovođenjem istraživanja, realizacijom kontrolnih brojanja saobraćaja i postupnom kalibracijom vozila, koja je podrazumevala kalibrisanje na pojedinačne kategorije uz definisanje različitih tolerancija (odstupanja) po kategorijama, prevaziđen je ključni nedostatak – mali broj automatskih brojača na mreži i dobijene su vrednosti protoka na deonicama koje odslikavaju kretanja u baznoj 2023. godini – postignuta je konvergencija modela. Dodatna unapređenja modela ogledaju se i u mezoskopskom nivou analize čvorova, u grafičkom i atributivnom smislu, kao i u analizi rapodele saobraćaja uzimajući u obzir detaljne inpute – kapacitete deonica, vrednosti merodavnih protoka, vrednosti slobodnih i eksploatacionih brzina i troškova sistema za naplatu putarine.

LITERATURA

- [1] Saobraćajna studija, Deonica 1 TETOVO-GOSTIVAR (km 35+717.80 – km 53+217.27), Koridor VIII
- [2] Jaspers Appraisal Guidance (Transport), The Use of Transport Models in Transport Planning and Project Appraisal, Avgust 2014.
- [3] PTV Group, Transportation Modelling: Challenges and Solutions

SUMMARY

Challenges in the Process of Developing Transport Models – Case Study – Tetovo-Gostivar (Corridor VIII)

Abstract: The primary task and goal of transport models is to analyze the distribution of current and expected traffic flows on the network, in the best possible way. Transport models are simulation tools used for traffic impact analysis, analysis of project alternatives, environmental impact assessments, feasibility studies, operational planning, as well as testing traffic management measures. Developing a transport model is a complex process that involves a detailed analysis of road design elements and traffic data on the network, before implementation into the software tool. The process of data collection and processing is often more demanding than the simulations themselves, requiring a longer period of time and significantly influencing the quality of the results obtained. A detailed approach to the model development process, the challenges encountered, and suggestions for improving the planning and modeling process are presented in a case study of developing a transport model for the purpose of preparing a Traffic Study for the Tetovo-Gostivar highway.

Key words: transport model, highway, case study