

UNIVERZITET U BEOGRADU
MAŠINSKI FAKULTET

Saša R. Mitić

**METODOLOGIJA USMERENOG
PROJEKTOVANJA STRUKTURA
AUTOBUSA U POGLEDU ČVRSTOĆE**

- doktorska disertacija -

Beograd, 2012.

UNIVERSITY OF BELGRADE
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

Saša R. Mitić

A METHODOLOGY FOR REDIRECTED
DESIGN OF BUS SUPERSTRUCTURES
REGARDING THEIR STRENGTH

- doctoral dissertation -

Belgrade, 2012.

Komisija za ocenu i odbranu doktorske disertacije:

Mentor: dr Branislav Rakićević, vanredni profesor
Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet

Članovi komisije: dr Branko Vasić, redovni profesor
Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet

dr Taško Maneski, redovni profesor
Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet

dr Vladimir Popović, docent
Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet

dr Miroslav Demić, redovni profesor
Univerzitet u Kragujevcu, Fakultet inženjerskih nauka

Datum odbrane: _____

Onima iza mene i onima ispred mene ...

Onima pored mene i onima u meni ...

Samo mojima

PREDGOVOR

Koliko god daleko da posegnem za sećanjima u prošlost, pamtim autobus kao veliku čeličnu kutiju koja prevozi ljude. Sticajem okolnosti, dobar deo svog života proveo sam koristeći autobuse u razne svrhe i uvek sa oduševljenjem pratio svaki novi model, čekajući trenutak da se provozam u njemu. Životno opredeljenje dovelo me je do toga da u jednom trenutku i sam dođem u poziciju da dam svoj doprinos razvoju autobuske industrije, što sam, nadam se, kroz ovaj rad uspeo.

Izuzetnu zahvalnost dugujem prof. dr Branislavu Rakićeviću, mentoru, na velikoj pomoći i bezrezervnoj podršci tokom izrade disertacije. Zahvaljujem se i članovima Komisije za ocenu i odbranu, prof. dr Branku Vasiću, prof. dr Tašku Maneskom, doc. dr Vladimiru Popoviću i prof. dr Miroslavu Demiću, na korisnim savetima i što su omogućili da moj trud i rad dobije i fizičku interpretaciju u vidu ove doktorske disertacije.

Takođe, moram da izrazim i svoju nemerljivu zahvalnost svom radnom okruženju, Laboratoriji CIAH, čiji su resursi i ljudstvo uvek bili na raspolaganju za kreativan i istraživački rad.

Saša R. Mitić

Beograd, jun 2012. godine

METODOLOGIJA USMERENOG PROJEKTOVANJA STRUKTURA AUTOBUSA U POGLEDU ČVRSTOĆE

REZIME

Prevrtanje predstavlja jedan od najčešćih vidova autobuskih nezgoda. Parametri bezbednosti autobusa uzimaju u obzir, između ostalog, veliki broj putnika koji se istovremeno nalaze u autobusu, ograničeni broj mera pasivne bezbednosti koje se mogu koristiti (sigurnosni pojasevi, vazdušni jastuci, itd.), kao i relativno lošu bočnu stabilnost ovih vozila. Zbog toga zahtevi za konstrukciju autobusa uključuju rešenja za poboljšanje bezbednosti vozila protiv prevrtanja, kao deo procesa projektovanja.

U okviru doktorske disertacije predstavljen je razvijeni metodološki pristup formiranja modularnih prstenova nadgradnje, koji predstavljaju osnovne noseće elemente čvrstoće konstrukcije. Početne aktivnosti zasnivaju se na definisanju zona plastičnih deformacija prilikom prevrtanja i određivanju karakteristika lociranih plastičnih zglobova. Zatim se formiraju diskretizovani numerički gredni modeli, sa eksperimentalno definisanim karakteristikama i poznatim vrednostima apsorbovane energije. Dobijeni rezultati omogućavaju uključivanje diskretizovanih modela u dalji proces projektovanja, gde se kroz viši nivo numeričke analize dobijaju osnovne karakteristike modularnih prstenova nadgradnje. Konačno, pretpostavljena metodologija potvrđena je eksperimentalnom verifikacijom na realnom fizičkom modelu prstena nadgradnje.

Ključne reči: autobus, pasivna bezbednost, prevrtanje, usmereno projektovanje, plastični zglob, apsorbovana energija

Naučna oblast: Mašinstvo

Uža naučna oblast: Motorna vozila

UDK: 629.341:539.4(043.3)
629.341:614.8(043.3)

A METHODOLOGY FOR REDIRECTED DESIGN OF BUS SUPERSTRUCTURES REGARDING THEIR STRENGTH

ABSTRACT

Rollover is among the most common form of bus accidents. Bus safety issues include, among others, the large number of passengers that can be in a bus at the same time, limited extent to which passive safety measures (safety belts, airbags, etc.) can be used, and a relatively low rollover stability of this type of vehicle. Bus construction requirements therefore include solutions for improved rollover safety as a part of the design process.

Within this dissertation, the developed methodological approach of superstructure modular rings forming is presented, which represent basic elements of superstructure strength. Starting activities are based on defining of plastic deformation zones during rollover and determination of located plastic hinges characteristics. Then, discretized numerical beam models are formed, with experimentally defined characteristics and calculated values of absorbed energy. Achieved results enable implementation of discretized models into the further designing process where, through higher level of numerical analysis, we can get basic characteristics of superstructure modular rings. Finally, assumed methodology has been confirmed with experimental verification on real physical model of superstructure modular ring.

Key words: bus, passive safety, rollover, redirected design,
plastic hinge, absorbed energy

Scientific discipline: Mechanical Engineering

Scientific sub-discipline: Motor Vehicles

UDK: 629.341:539.4(043.3)
629.341:614.8(043.3)

SADRŽAJ

1. UVOD	1
1.1. ISTORIJAT AUTOBUSA	2
2. STATISTIČKI POKAZATELJI	6
3. ANALIZA UTICAJA NADGRADNJI AUTOBUSA NA POVEĆANJE PASIVNE BEZBEDNOSTI	17
3.1. REGULATIVA	17
3.1.1. Istorijat i važeća međunarodna regulativa	18
3.1.2. UN/ECE Pravilnik br. 66/01	23
Nivo referentne energije	24
Određivanje položaja težišta vozila	25
Strukturno definisanje nadgradnje autobusa	29
Izbor adekvatne metode ispitivanja nadgradnje	30
3.1.3. Nacionalna regulativa	36
3.2. FAZE PROJEKTOVANJA AUTOBUSA	37
3.2.1. Projektni zadatak	39
3.2.2. Idejni projekat	41
3.2.3. Glavni projekat	43
3.2.4. Razrada dokumentacije i izrada prototipova autobusa	44
3.2.5. Ispitivanje prototipova autobusa	44
3.2.6. Logistička podrška projekta	46

4. PREGLED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA U OBLASTI	47
5. PREDMET I CILJ ISTRAŽIVANJA	53
5.1. PROBLEMATIKA I PREDMET ISTRAŽIVANJA	54
5.2. CILJ ISTRAŽIVANJA	55
5.3. ZADACI ISTRAŽIVANJA	55
5.4. OČEKIVANI REZULTATI	56
6. TEORIJSKA RAZMATRANJA	57
6.1. SLOM NOSAČA I VEZA PRI SAVIJANJU	59
6.2. UTICAJ VEZA NA SLOM KONSTRUKCIJE AUTOBUSA	62
7. METODOLOGIJA USMERENOG PROJEKTOVANJA STRUKTURA AUTOBUSA	64
7.1. ULAZNI PODACI NEOPHODNI ZA RAD	64
7.1.1. Definisane karakteristike materijala i poprečnog preseka nosača	65
7.1.2. Polazne pretpostavke	67
7.2. DEFINISANJE LOKACIJA I KARAKTERISTIKA PLASTIČNIH ZGLOBOVA	68
7.2.1. Konvencionalno ispitivanje karakteristika plastičnih zglobova	69
7.2.2. Fotogrametrijska ispitivanja	70
Tipovi fotogrametrije	71
7.3. MODELIRANJE I NUMERIČKI PRORAČUN ELEMENATA STRUKTURE	75
7.3.1. Proračun struktura primenom računara	76
7.3.2. Formiranje modela i procedura proračunske verifikacije	83

7.3.3. Svođenje deformisanih elemenata strukture na realne dužine.....	87
7.4. ISPITIVANJE REALNOG – FIZIČKOG MODELA PRSTENA.....	90
7.5. KRITERIJUMI ZA PRIHVATANJE REZULTATA ISPITIVANJA.....	90
7.6. SISTEMSKI PRILAZ PRAĆENJU STANJA ELEMENATA VOZILA.....	92
8. EKSPERIMENTALNA I PRORAČUNSKA VERIFIKACIJA.....	95
8.1. ISPITIVANJE KARAKTERISTIKA PLASTIČNIH ZGLOBOVA.....	96
8.1.1. Konvencionalna metoda.....	96
8.1.2. Fotogrametrijska metoda.....	99
8.1.3. Uporedni prikaz dobijenih rezultata.....	106
8.2. NUMERIČKI PRORAČUN FORMIRANOG MODELA.....	107
8.3. EKSPERIMENTALNA VERIFIKACIJA PRORAČUNSKOG MODELA.....	113
8.4. ANALIZA REZULTATA I KRITERIJUMI ZA NJIHOVO PRIHVATANJE.....	119
8.4.1. Definisane ukupne energije.....	119
9. ZAKLJUČNA RAZMATRANJA.....	125
9.1. KRATAK OSVRT I OSTVARENI CILJEVI DISERTACIJE.....	125
9.2. OČEKIVANA PRIMENA OSTVARENIH REZULTATA.....	128
9.3. SMERNICE DALJEG RADA.....	131
LITERATURA.....	135

1. UVOD

Prevoz putnika, uz prevoz robe, predstavlja osnovu drumskog saobraćaja, koji je najzastupljeniji vid transporta u svetu. Poseban segment predstavlja skupni organizovani prevoz putnika, kao najrasprostranjeniji i najpopularniji oblik transporta. Glavni predstavnici transportnih sredstava za organizovani prevoz putnika su autobusi.

Autobusi su vremenom dobijali sve zahtevniju ulogu. Osim osnovne funkcije prevoza putnika, u današnje vreme se očekuje da tokom prevoza putnici dobiju i odgovarajuće dodatne usluge, koje se mogu ogledati u vidu povećanog komfora (udobnija sedišta, klimatizovan prostor, bar, toalet, audio i video oprema, ...), kao i u vidu povećane sigurnosti putnika (ugradnja sigurnosnih pojaseva, vazdušnih jastuka i zavesa, čvrstoća nadgradnje, ...).

Kao neminovnost, pred današnje konstruktore autobusa postavljaju se i zahtevi vezani za aerodinamiku, unutrašnji i spoljašnji dizajn. Veliki je izazov projektovati autobuse imajući u vidu regulativu koja propisuje minimalne zahteve, ranije pomenute stavke povećanog komfora i sigurnosti putnika, a da pri tome sve bude uklopljeno u masena i dimenziona ograničenja i da budu ispoštovani svi zahtevi vezani za ekološke parametre (izduvna emisija, elektromagnetna kompatibilnost, buka, ...).

U procesu projektovanja, proizvodnje i održavanja autobusa u današnje vreme koriste se najsavremeniji materijali, tehnologije i procedure, što omogućava adekvatan odgovor na sve postavljene zahteve i izbacivanje na tržište autobusa koji, osim što je funkcionalan, ekonomski opravdan, bezbedan i komforan, mora biti i dopadljiv na oko, atraktivnog izgleda, da putnicima pruži zadovoljstvo i užitek koji će ih privoleti da uvek iznova koriste autobus kao prevozno sredstvo. Jedino

na taj način je moguće opravdati veliku mašineriju koja danas čini autobusku industriju.

1.1. ISTORIJAT AUTOBUSA

Istorija autobusa je duža nego što se obično misli. Čak je i njihova primena išla u nekoliko smerova. Za početak, prva linija javnog transporta putnika sredstvima koja liče na današnje autobuse organizovan je od strane francuskog naučnika Bleza Paskala (*Blaise Pascal*) 1662. godine, i to uz pomoć konjske zaprege. Ovakav javni prevoz funkcionisao je samo nekih 15 godina, da bi se zatim ugasio, zbog drastičnog povećanja poreza na ova vozila i ograničenja samo na visoke članove društvene zajednice.

Sve do dvadesetih godina XIX veka nema zapisa o javnom transportu putnika. Tada se pojavljuju kombinacije konjskih zaprega i neke vrste kočija (videti Sliku 1.1.).



Slika 1.1. – Kočija sa konjskom zapregom iz 1829. godine

S obzirom da su autobusi tog vremena bili samo pogonjeni konjskom zapregom, dolazilo je do niza problema koji se tom vrstom pogona nisu mogli prevazići. Zbog

toga se pokušavalo da se konjska zaprega zameni nekom drugom vrstom pogona, koja bi omogućavala veću efikasnost transporta. Tako su se sredinom tridesetih godina XIX veka pojavili autobusi sa pogonom na paru (videti Sliku 1.2.).

Tih godina pojavljuju se i prve redovne međugradske autobuske linije sa vozilima pogonjenim parnim mašinama u Engleskoj. Pioniri transporta bili su Volter Henkok (*Walter Hancock*) i Ser Goldsvorti Gurni (*Sir Goldsworthy Gurney*), koji su ponudili pouzdanu uslugu transporta u uslovima puta previše opasnim za vozila sa konjskom zapregom. Vozila na paru su imala manju šansu da se prevrnu ili zanesu na lošem putu, a istovremeno se izbegava i "čudljivost" konja. Štaviše, vozila na paru postizala su veću brzinu (oko 40 km/h na pređenih 7 km puta i prosečno oko 20 km/h na dužim relacijama). Troškovi vozila na paru iznosili su svega polovinu ili čak trećinu od troškova konjske zaprege. Takođe, izbegava se i česta situacija kod konjske zaprege da konji vuku vozilo i kada su njegove kočnice aktivirane, što je dovodilo do oštećenja puta.



Slika 1.2. – Henkokov autobus na paru "Enterprajz" iz 1833. godine

Daljim razvojem industrije, u drugoj polovini XIX veka stekli su se uslovi za nove vrste pogona. Interesantno je da su se prvo pojavila vozila sa električnim pogonom,

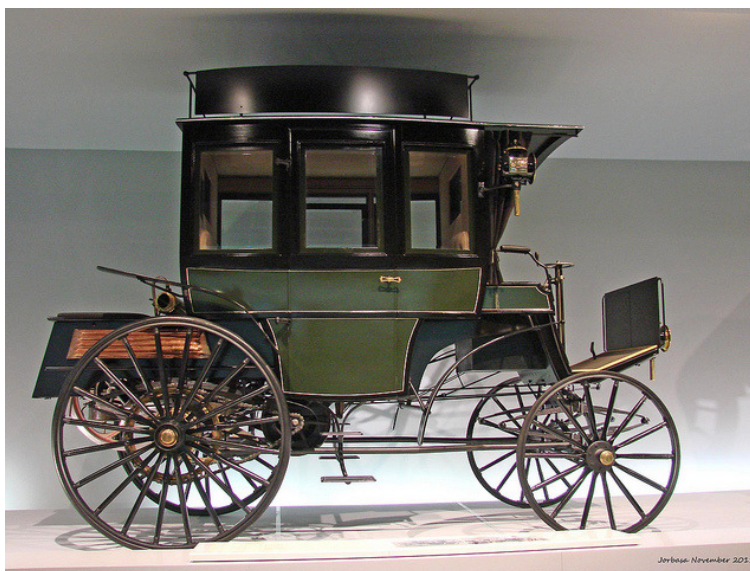
sredinom osamdesetih godina XIX veka (videti Sliku 1.3.). Pravu primenu električni pogon doživeo je u Evropi, gde je Verner Fon Simens (*Werner Von Siemens*) konstruisao napajanje autobusa električnom energijom iz električne mreže horizontalno postavljene iznad puta. Prvobitno su se za spajanje sa mrežom koristili fleksibilni električni kablovi, da bi ih kasnije zamenile dugi, kruti nosači, tzv. pantografi. Međutim, sam način napajanja vozila energijom ih čini veoma zavisnim od stepena razvijenosti mreže, što značajno smanjuje autonomiju vozila.



Slika 1.3. – Simensov autobus na električni pogon iz 1882. godine

Motori sa unutrašnjim sagorevanjem pojavili su se krajem XIX veka, kada je stepen industrijskog razvoja omogućio ekonomsku opravdanost korišćenja fosilnih goriva. Prvi autobus pogonjen motorom sa unutrašnjim sagorevanjem predstavio je Karl Benc (*Carl Benz*) 1895. godine (videti Sliku 1.4.), a u redovnu upotrebu pušten je u Londonu 1899. godine. Tada se radilo o vozilima na koja se nije moglo sa sigurnošću osloniti, a i broj putnika je bio ograničen (od 10 do 20 osoba). Razvoj je ipak išao dalje, tako da su od 1930. godine autobusi mogli da prime i prevezu i do 50 osoba. Takođe, počela je primena različitih vrsta goriva za motore, kao na što su zemni gas, ulje, i sl.

Ipak, glavni razvoj autobusnog saobraćaja zabeležen je posle Drugog svetskog rata, kada je došlo do naglog razvoja saobraćajne infrastrukture. Ljudi su na veoma jednostavan, siguran i brz način mogli da prelaze velike razdaljine. U drugoj polovini XX veka autobusi su postepeno preuzimali gradski saobraćaj od do tada najzastupljenijeg tramvajskog, naročito na linijama koje nisu zahtevale masovni saobraćaj velikog kapaciteta. Za razliku od tramvaja, autobusi su lako manevrisali i imali su vrlo niska ulaganja za izgradnju linija na kojima su saobraćali, tako da su ovakav saobraćaj mogli sebi dozvoljavati i manji gradovi.



Slika 1.4. – Autobus Karla Benca iz 1895. godine sa benzinskim motorom

Polako ali sigurno, autobus je postajao nezamenljivo prevozno sredstvo i zauzeo svoje značajno mesto među transportnim sredstvima modernog doba. Tako je ostalo i do današnjih dana, gde i pored niza prototipova sa alternativnim pogonima, motori sa unutrašnjim sagorevanjem čine osnovni vid pogonskog agregata kod autobusa.

2. STATISTIČKI POKAZATELJI

Prema UN/ECE rezoluciji o konstrukciji vozila /1/, vozila namenjena za prevoz putnika svrstana su u kategoriju M, a na autobuse se odnose sledeće kategorije:

- M2 – vozila za prevoz putnika, koja osim mesta za vozača imaju najmanje osam sedišta i čija najveća dozvoljena masa ne prelazi 5 t;
- M3 – vozila za prevoz putnika, koja osim mesta za vozača imaju najmanje osam sedišta i čija najveća dozvoljena masa prelazi 5 t.

S obzirom na veliki broj putnika koji se istovremeno nalazi u ovim vozilima, od presudne je važnosti obezbediti sigurnost putnika u toku prevoza. To je prvenstveno moguće obezbediti bezbednim učešćem u saobraćaju i izbegavanjem pojava saobraćajnih nezgoda. Međutim, svakodnevno se na putevima širom sveta desi veliki broj saobraćajnih nezgoda, i nažalost u njima učestvuju sve vrste prevoznih sredstava, kao i vozila svih kategorija.

Saobraćajne nezgode u kojima učestvuju autobusi imaju veliki sociološki značaj, s obzirom da se gotovo svaka takva nezgoda pojavi u medijima, naročito ako u takvim nezgodama ima stradalih. Broj poginulih, a naročito povređenih putnika je često jako velik, što javnosti pruža sliku autobusa kao nebezbednog transportnog sredstva. Kada se tome pridodaju i fotografije, koje su neizbežan prateći element ovakvih vesti, nepovoljni efekat je još izraženiji i veoma je teško na racionalan način analizirati informaciju koja je dobijena.

Zbog toga su autobusi svrstani u kategoriju vozila kojima se u današnje vreme posvećuje posebna pažnja sa stanovišta bezbednosti putnika. Tehnički pregledi vozila se vrše u kraćim intervalima nego za ostale kategorije vozila, detaljnije se

kontrolišu ugrađena oprema i opšte stanje vozila, uvode se sve strožije kontrole vozača, ograničenja brzine i vremena provedenog u vožnji, ...

Na Slici 2.1. date su fotografije karakteristične za saobraćajne nezgode autobusa koje karakteriše veliki broj povređenih i poginulih osoba.



a)



b)



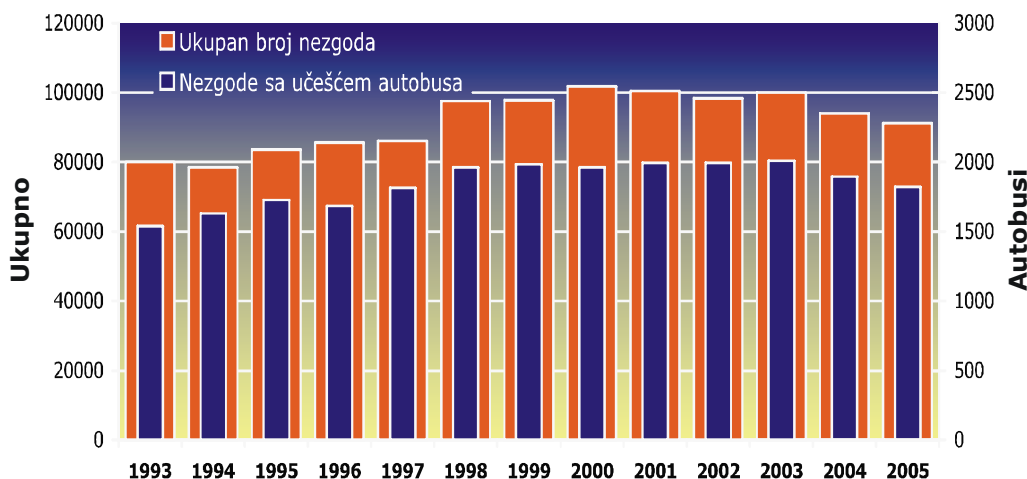
c)



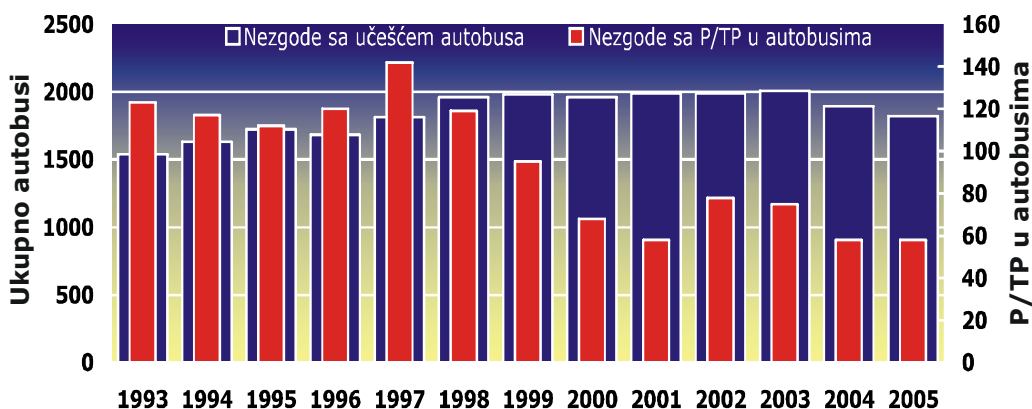
d)

Slika 2.1. – Posledice saobraćajnih nezgoda u kojima učestvuju autobusi

Međutim, bez obzira na tu činjenicu, sa sigurnošću se može reći da autobusi spadaju u najbezbednija prevozna sredstva za prevoz putnika. Do tog podatka se dolazi ne preko broja saobraćajnih nezgoda ili broja poginulih, već sveobuhvatnom analizom svih relevantnih parametara i uzimajući sve te parametre u funkciji pređenih kilometara. Tako se, npr. u Španiji, analizirajući saobraćajne nezgode u periodu od 1993. do 2005. godine /2/, došlo do zaključka da broj nezgoda u kojima su učestvovali autobusi čini svega oko 2% ukupnog broja saobraćajnih nezgoda. Pored toga, ukoliko se u razmatranje uzme i broj poginulih i povređenih, dolazimo do još nižeg procenta. Dijagramski prikaz predstavljen je na Slici 2.2. i Slici 2.3.

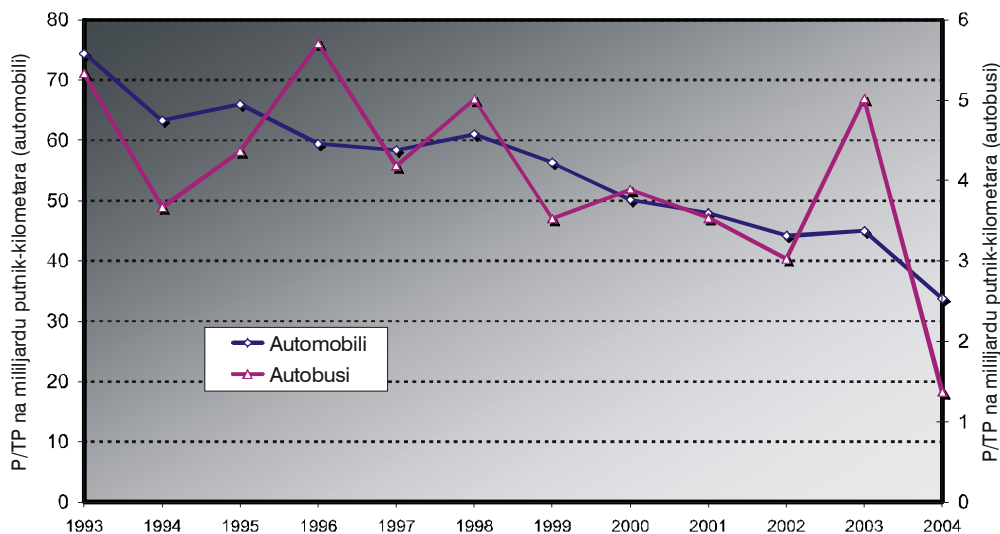


Slika 2.2. – Broj saobraćajnih nezgoda u kojima su učestvovali autobusi u odnosu na ukupan broj nezgoda



Slika 2.3. – Broj poginulih i teško povređenih u odnosu na ukupan broj nezgoda u kojima su učestvovali autobusi (P – poginuli; TP – teško povređeni)

U prilog tvrdnji o bezbednosti autobusa kao transportnog sredstva ide analiza i procena rizika povreda i smrtnih ishoda tokom transporta. Za tu analizu merodavan je ne samo broj povređenih i poginulih, već i ukupan broj pređenih kilometara. Tako se dolazi do podatka da je u Španiji, u periodu od 1993. do 2004. godine prosečan broj poginulih i teško povređenih na milijardu putnik-kilometara, kada su u pitanju autobusi, 15 puta manji nego kod putničkih automobila, a čak 294 puta manji nego kod motocikala. Dijagramski prikaz ovih rezultata predstavljen je na Slici 2.4.

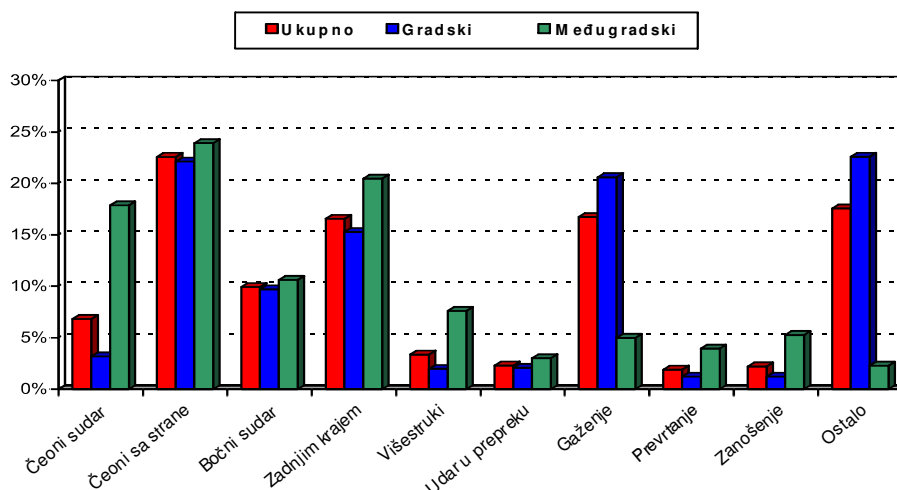


Slika 2.4. – Broj poginulih i teško povređenih na milijardu putnik-kilometara
(P – poginuli; TP – teško povređeni)

Daljom analizom saobraćajnih nezgoda u kojima učestvuju autobusi, definisani su karakteristični tipovi nezgoda, kao i karakteristični režimi korišćenja autobusa pri kojima je došlo do nezgode. Definisano je nekoliko najkarakterističnijih tipova nezgoda u kojima učestvuju autobusi:

- čeonu sudar;
- čeon-bočni sudar;
- bočni sudar;
- sudar sa zadnje strane;
- višestruki sudar;
- udar u prepreku;
- gaženje;
- prevrtanje,
- zanošenje;
- ostali manje značajni tipovi nezgoda.

Procentualno učešće pojedinih tipova nezgoda u zavisnosti od režima korišćenja autobusa prikazano je na Slici 2.5.

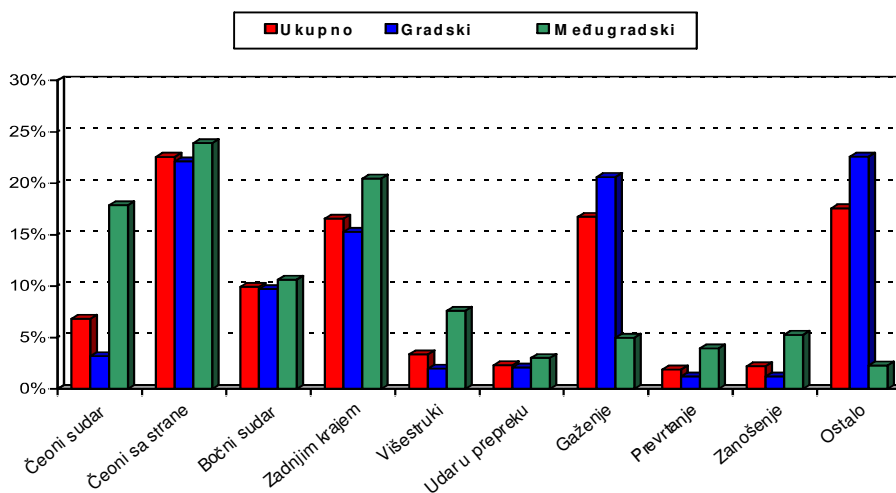


Slika 2.5. – Procentualno učešće pojedinih tipova nezgoda u zavisnosti od režima korišćenja autobusa

Na osnovu iznetih podataka jasno se može identifikovati nekoliko karakterističnih tipova nezgoda koji su najzastupljeniji u zavisnosti od režima korišćenja. Tako su čeono-bočni i sudari sa zadnje strane, kao i bočni sudari, najčešći vidovi nezgoda i kod gradskih i kod međugradskih autobusa. Čeoni sudar je izrazito karakterističan za međugradске autobuse, dok je gaženje izrazito karakteristično za gradske autobuse.

Međutim, ukoliko se u prethodnu analizu uključe i podaci o broju poginulih i teško povređenih u zavisnosti od pojedinih tipova nezgoda i režima korišćenja autobusa, situacija se značajno menja, naročito kod međugradskih autobusa. Naime, neki tipovi nezgoda, koji po broju nisu bili značajni, uključivanjem podataka o broju poginulih i povređenih, postaju izrazito dominantni. Tako, npr. kod međugradski autobusa, prevrtanje, kao i izletanje s puta usled zanošenja, predstavljaju grupu nezgoda sa najvećim procentom poginulih i teško povređenih, što definitivno ukazuje u kom se pravcu moraju kretati aktivnosti koje doprinose povećanju bezbednosti svih učesnika u saobraćaju, a u ovom slučaju prvenstveno putnika u autobusima. Te aktivnosti moraju pokrivati konstrukciju autobusa i povećanje pasivne bezbednosti putnika, ali s druge strane i razvoj prateće regulative, koja treba sveobuhvatnije da analizira uzroke i posledice ovakvih nezgoda.

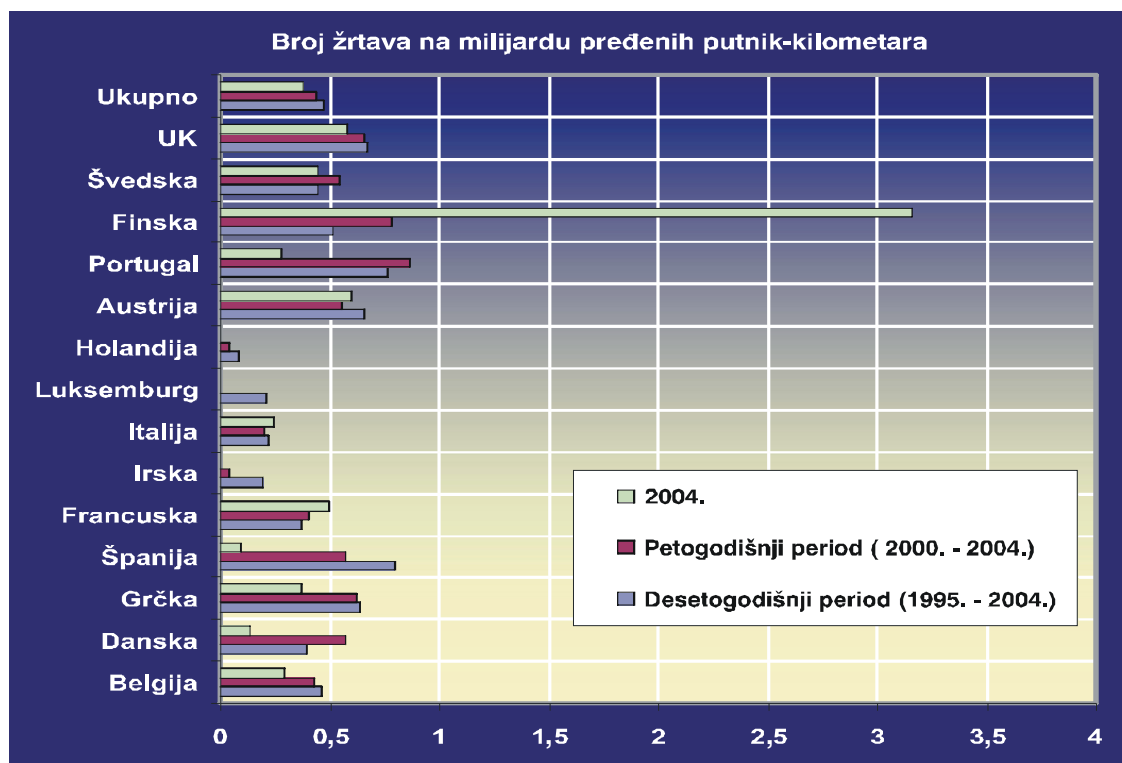
Procentualno učešće broja poginulih i teško povređenih u zavisnosti od pojedinih tipova nezgoda i režima korišćenja autobusa prikazano je na Slici 2.6.



Slika 2.6. – Procentualno učešće broja poginulih i teško povređenih u zavisnosti od pojedinih tipova nezgoda i režima korišćenja autobusa

Svi ranije izneti podaci, kao što je već rečeno, odnose se na Španiju, i to na period od 1993. do 2005. godine. Kako bismo pokazali da je analizirani uzorak u proseku zemalja Evropske Unije, na Slici 2.7. dat je prikaz broja žrtava na milijardu pređenih putnik-kilometara u 2004. godini, u petogodišnjem periodu, od 2000. do 2004. godine, kao i u desetogodišnjem periodu, od 1995. do 2004. godine. Podaci su dati za sve tadašnje zemlje članice Evropske Unije pojedinačno, kao i ukupno na nivou cele Unije.

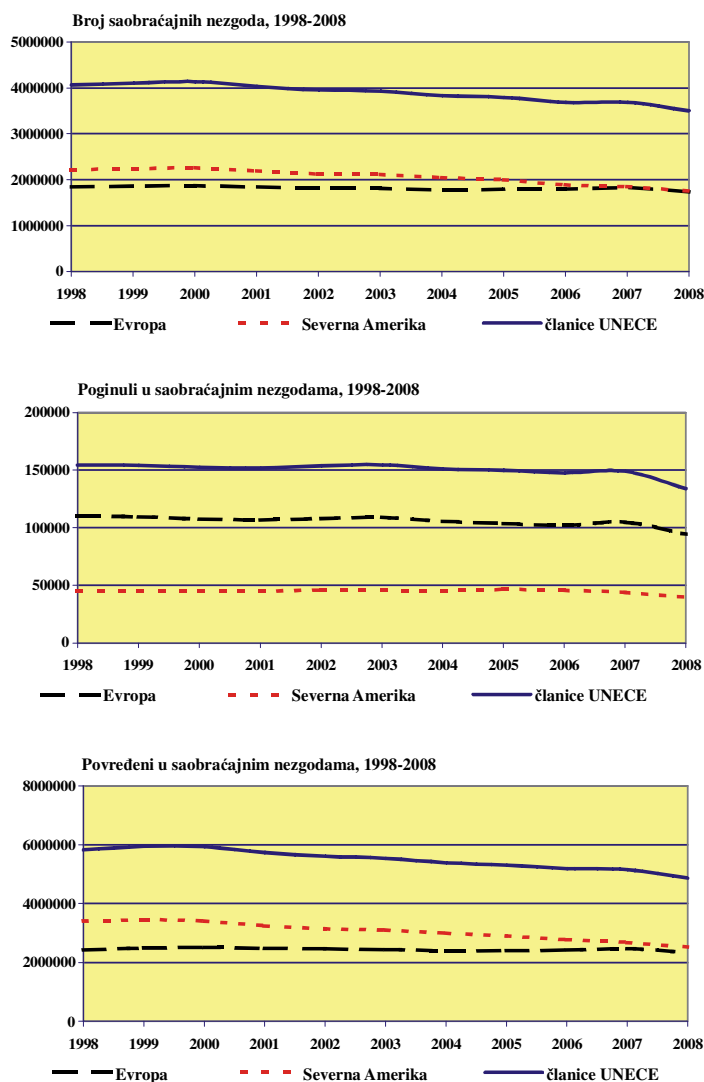
Godina preseka za analizu podataka uzeta je sa namerom da se pokaže koliko jedna saobraćajna nezgoda može da se odrazi na statističke pokazatelje. Tako se može videti da je Finska u 2004. godini izrazito odskočila po broju žrtava na milijardu pređenih putnik-kilometara, zbog teške saobraćajne nesreće, u kojoj je poginulo 23 putnika jednog autobusa /3/. Međutim, kada se pogledaju podaci na nivou petogodišnjeg ili desetogodišnjeg proseka, podaci za Finsku su tek nešto iznad proseka zemalja Evropske Unije.



Slika 2.7. – Broj žrtava na milijardu pređenih putnik-kilometara u Evropskoj Uniji

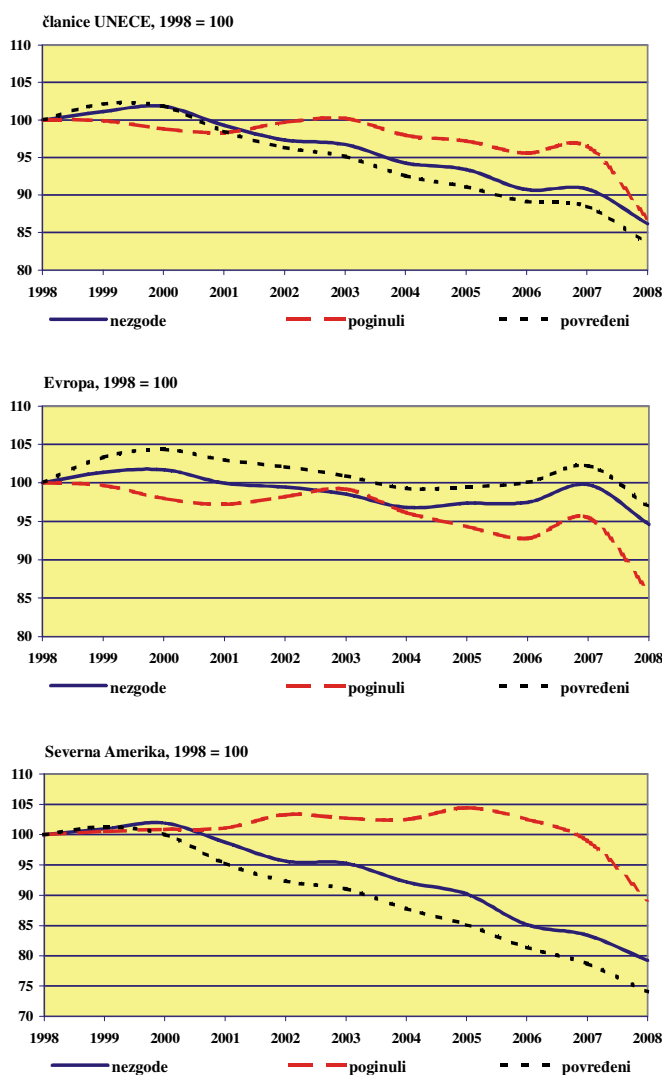
Na Slici 2.8. prikazani su uporedni rezultati analiza sprovedenih u zemljama UNECE regiona za period 1998. – 2008. Dati su odvojeni podaci za zemlje regiona Evrope, zemlje regiona Severne Amerike, kao i za zemlje članice UNECE. Analizirani su podaci o broju saobraćajnih nezgoda, kao i o broju poginulih i povređenih u saobraćajnim nezgodama /4/.

Iz prikazanih rezultata jasno se može zaključiti da se za sva tri analizirana regiona beleži blagi pad broja saobraćajnih nezgoda, kao i broja poginulih i povređenih osoba. Indikativno je, međutim, kada se pogledaju rezultati za zemlje regiona Evrope i Severne Amerike, da je na približno isti broj saobraćajnih nezgoda tokom celog perioda, broj poginulih u regionu Evrope više nego dvostruko veći, dok je broj povređenih u isto vreme za nijansu manji. Postoje različita tumačenja ovih rezultata, ali je suština u karakterističnim tipovima saobraćajnih nezgoda, koji se umnogome razlikuju u ova dva regiona.



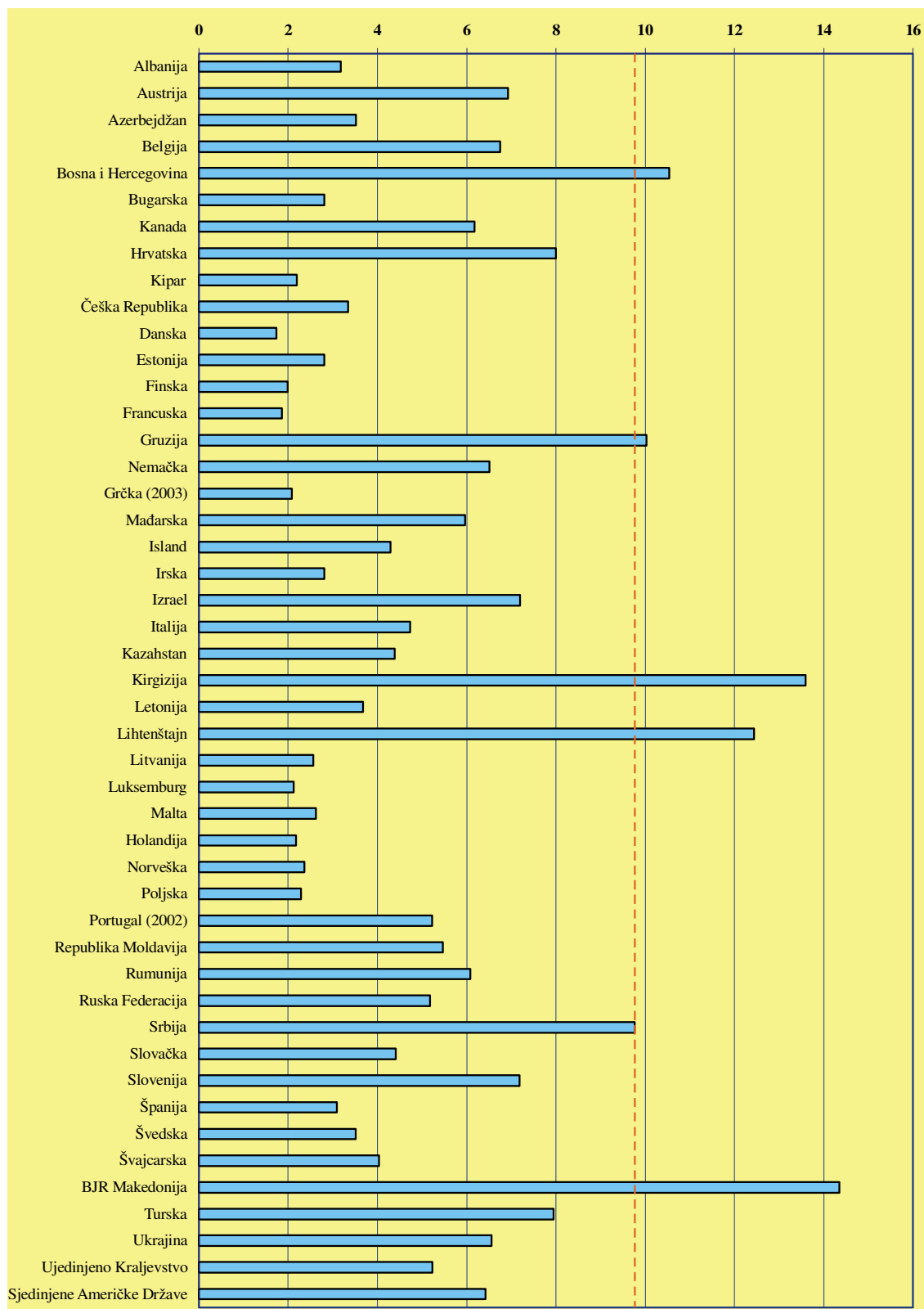
Slika 2.8. – Uporedni rezultati analiza sprovedenih u zemljama UNECE regiona za period 1998. – 2008.

Interesantna analiza prikazana je na Slici 2.9. Za isti period (1998. – 2008.) prikazana je analiza istih parametara (broj saobraćajnih nezgoda, broj poginulih i povređenih osoba), ali indeksirana indeksom 100 na početku tog perioda. Tu se jasno može videti trend pada sva tri parametra, i to za sva tri regiona grupa zemalja koje su bile predmet analize rezultata. Jedino gde se može primetiti određeno odstupanje je broj poginulih osoba u Severnoj Americi, koji ne prati adekvatno trend pada broja saobraćajnih nezgoda i broja povređenih osoba, već zadržava određeni visoki nivo.

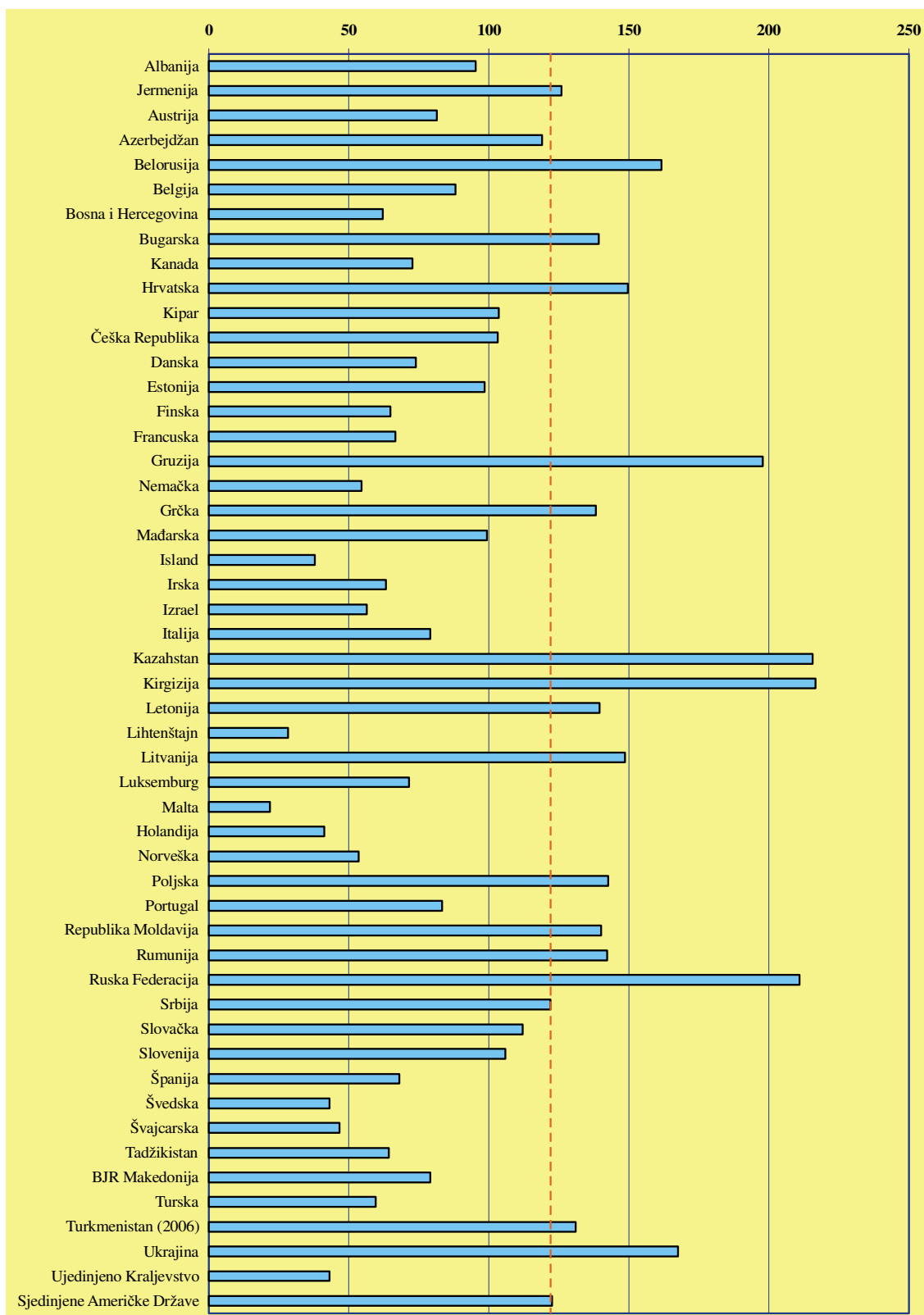


Slika 2.9. – Uporedni rezultati analiza sprovedenih u zemljama UNECE regiona za period 1998. – 2008. (indeks 100 na početku perioda)

Na kraju prezentovanja rezultata o broju saobraćajnih nezgoda i njihovim posledicama, na Slici 2.10. i Slici 2.11. dat je ilustrativni prikaz broja saobraćajnih nezgoda i broja poginulih za svaku zemlju članicu UNECE pojedinačno, i to za kraj analiziranog perioda, tj. 2008. godinu. Vide se velika odstupanja između pojedinih zemalja, gde se naročito izdvajaju zemlje istočne Evrope (van EU), kako po broju saobraćajnih nezgoda, tako i po broju poginulih. To se može objasniti jedino dostignutim nivoom saobraćajne kulture u pojedinim zemljama, kao i razvojem svesti stanovništva o bezbednosti saobraćaja uopšte.



Slika 2.10. – Broj saobraćajnih nezgoda u zemljama članicama UNECE na hiljadu vozila (podaci za 2008. godinu)



Slika 2.11. – Broj poginulih u saobraćajnim nezgodama u zemljama članicama UNECE na milion stanovnika (podaci za 2008. godinu)

3. ANALIZA UTICAJA NADGRADNJI AUTOBUSA NA POVEĆANJE PASIVNE BEZBEDNOSTI

Imajući u vidu prethodno iznete statističke podatke, nedvosmisleno se može zaključiti da je uvođenje regulative u oblasti povećanja bezbednosti učesnika u saobraćaju od presudnog značaja za smanjivanje broja saobraćajnih nezgoda, kao i ublažavanje njihovih posledica, prvenstveno u broju stradalih.

Istovremeno, jako je bitno definisati proces projektovanja autobusa, gde se precizno i nedvosmisleno moraju odrediti faze u procesu projektovanja, kao i vremenski okviri tog procesa. Bitno je znati od čega se u tom procesu mora poći, šta su neophodni ulazni parametri, koji su nam resursi potrebni, kao i šta je izlaz iz svake od faza projektovanja.

O oba ova segmenta biće reči detaljnije u okviru ovog poglavlja.

3.1. REGULATIVA

Dosta davno se počelo sa definisanjem regulative koja bi se bavila autobusima i pasivnim parametrima bezbednosti vezanim za njih. Tu nije bilo dovoljno razvijati regulativu na nacionalnom nivou, već je ideja bila da se napravi strategija, koja bi na nivou zemalja sveta postala obavezujuća, i na taj način standardizovala metode ispitivanja pojedinih komponenti i autobusa u celini. Tome u prilog je išao i veoma ekspanzivan razvoj automobilske industrije posle Drugog svetskog rata, što je dovelo do širenja tržišta, koje se sa nacionalnog nivoa prebacuje na internacionalni, pa je nastala potreba da se uredi pravila po kojima bi se mogla uspostaviti kontrola, standardizacija i unifikacija modela autobusa i metoda njihovog ispitivanja.

U ovom delu biće više reči o istorijatu uvođenja regulative, kao i važećoj međunarodnoj i nacionalnoj regulativi.

3.1.1. Istorijat i važeća međunarodna regulativa

Potpisivanjem Sporazuma iz 1958. godine /5/ stvorile su se osnove za razvoj UN/ECE regulative koja bi se bavila autobusima. Usvojena su dva UN/ECE Pravilnika, i to 1976. godine UN/ECE Pravilnik br. 36 /6/ i 1982. godine UN/ECE Pravilnik br. 52 /7/. Oba Pravilnika bavila su se problematikom opštih konstrukcionih zahteva i definisanjem putničkog prostora, kao što su:

- raspodela opterećenja po osovinama i uslovi opterećenja,
- definisanje prostora za stajanje,
- definisanje broja putnika koji mogu da stoje,
- protivpožarna zaštita putničkog dela,
- izlazi (radna vrata, vrata u slučaju opasnosti, prozori, ...),
- unutrašnji raspored (prilaz vratima, prozorima, izlazima u slučaju opasnosti, prolazi, platforme, stepeništa, sedišta za putnike, oprema, ...),
- unutrašnje osvetljenje,
- zglob i prikolica zglobnog autobusa,
- manevrivost,
- držanje pravca zglobnih autobusa,
- rukohvati i držači,
- pregrade stepeništa,
- tuneli za ručni prtljag,
- ventilacioni otvori na krovu.

Pri tome, UN/ECE Pravilnik br. 36 odnosio se na autobuse većeg kapaciteta (preko 22 putnika i ukupne širine veće od 2,3 m), dok se UN/ECE Pravilnik br. 52 odnosio na tzv. minibusse (do 22 putnika). Kasnije, 1998. godine, usvojen je i UN/ECE Pravilnik br. 107 /8/, koji se bavio istom problematikom kao i prethodno

navedena dva Pravilnika, ali se odnosio na autobuse sa dve platforme za prevoz putnika, tzv. dvospratne autobuse (dabl-dekere).

Razvoj industrije autobusa, kao i sve veće učešće autobusa u drumskom prevozu putnika, doveli su tokom osamdesetih godina prošlog veka do razvoja svesti o povećanju aktivne i pasivne bezbednosti putnika, kao jednom od bitnih činilaca opšte bezbednosti svih učesnika u saobraćaju. Na to su ukazivale i statistike saobraćajnih nezgoda, u kojima su sve više učestvovali i autobusi, i to sve češće sa fatalnim ishodima i velikim brojem žrtava.

Na osnovu svih prethodnih iskustava, a na zahtev velikog broja zemalja članica, 1986. godine je usvojen UN/ECE Pravilnik br. 66 /9/, koji se bavi problematikom čvrstoće nadgradnji autobusa. Ovaj Pravilnik prvenstveno se bavio bezbednošću putnika u slučaju bočnog prevrtanja autobusa, jer se analizom dotadašnjih saobraćajnih nesreća (kao što je u uvodnom delu napomenuto) došlo do zaključka da je prevrtanje veoma čest i najopasniji vid nezgoda u kojima učestvuju autobusi.

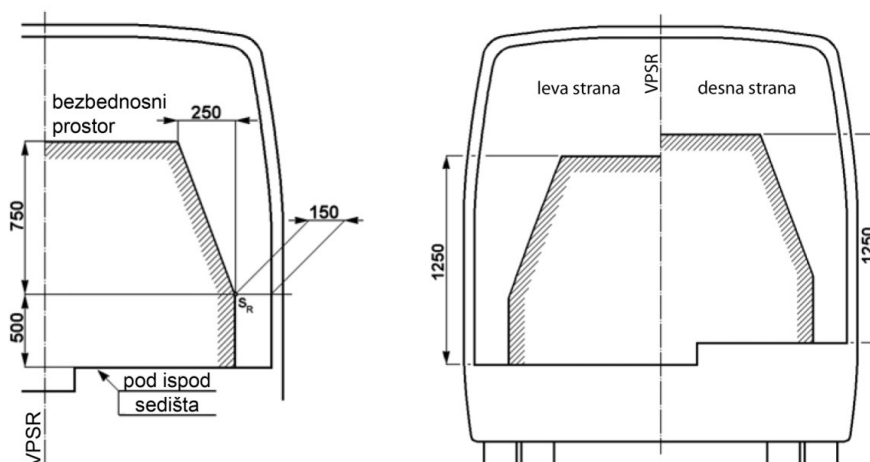
Ovaj Pravilnik u osnovi definiše uslove ispitivanja i ukupnu energiju udara koju nadgradnja autobusa treba da apsorbuje prilikom bočnog prevrtanja, bez loma elemenata nadgradnje i narušavanja tzv. bezbednosnog prostora. Shodno tome, bile su propisane četiri alternativne metode ispitivanja:

- prevrtanje kompletnog vozila na odgovarajućoj platformi za ispitivanje,
- prevrtanje jednog ili više segmenata nadgradnje vozila,
- ispitivanje jednog ili više segmenata nadgradnje udarom klatna,
- provera čvrstoće nadgradnje proračunom.

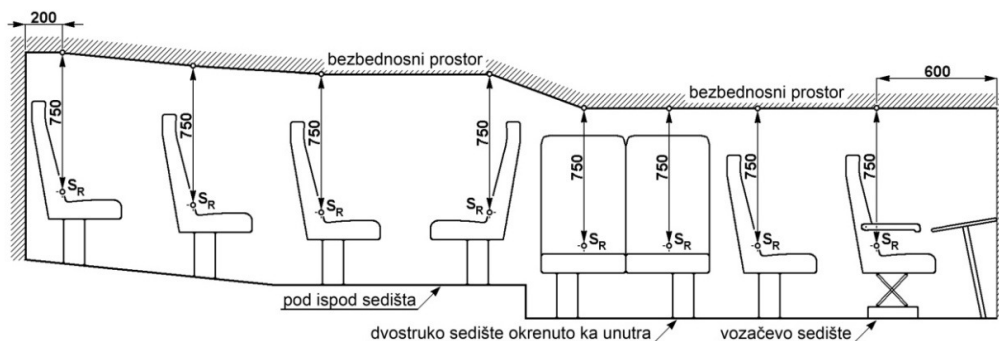
Pri tome, termin segment nadgradnje definisan je kao deo nadgradnje koji se sastoji od najmanje dva identična vertikalna nosača sa svake strane reprezentativna dela ili delova nadgradnje vozila.

Kao što je već ranije pomenuto, definiše se i bezbednosni prostor za putnike, koji mora da ostane nenarušen za vreme i posle ispitivanja bilo kojom od četiri navedene metode. Taj prostor definisan je u poprečnom (u odnosu na vertikalnu podužnu srednju ravan vozila) i podužnom pravcu, kao što je prikazano na Slici 3.1. i Slici 3.2.

Naravno, nije dovoljno samo usvojiti određenu regulativu i primenjivati je u proizvodnji i korišćenju saobraćajnih sredstava, već je neophodno i kontinuirano pratiti i analizirati uticaj primenjenih mera na bezbednost učesnika u saobraćaju. To ukazuje na eventualne propuste i prostor za unapređenje, što neminovno vodi ka stalnim promenama u regulativi.



Slika 3.1. – Definisane bezbednosne prostore u poprečnom pravcu



Slika 3.2. – Definisane bezbednosne prostore u podužnom pravcu

S obzirom na važnost materije, u okviru Komisije za Evropu pri Ujedinjenim nacijama i Evropske Unije, u poslednjih nekoliko godina prošlog veka izuzetno su intenzivirane aktivnosti na poboljšanju i doradi postojećih Pravilnika, Direktiva i standarda, kao i donošenju niza novih. Detaljno su analizirane nesreće koje su se desile u prošlosti, sa puno statističkih podataka o posledicama, kao i parametrima aktivne i pasivne bezbednosti pri tome.

Da bi se ova problematika koja obuhvata više oblasti vezanih za aktivnu i pasivnu bezbednost što bolje sagledala, Evropska Unija je pokrenula projekat ECBOS /10/. U okviru ovog projekta analizirane su nesreće autobusa na tlu Evrope, uticaj nesreća na stanje konstrukcije, kao i na putnike koji se u autobusu nalaze. Cilj projekta bio je da se multidisciplinarno objedine iskustva i aktivnosti na ovom polju, kao i da se na osnovu rezultata ovog projekta daju preporuke za buduće aktivnosti po pitanju regulative.

Projekat je realizovan u periodu od 2000. do 2003. godine i u njemu je učestvovalo više evropskih univerzitetskih i laboratorijskih centara. Tokom rada na ovom projektu, usvojena je EC Direktiva 2001/85/EC /11/, koja obuhvata sve kategorije autobusa i odnosi se na ispitivanje čvrstoće konstrukcije nadgradnji autobusa, a isto tako i na opšte konstrukcione karakteristike.

Situacija sa UN/ECE Pravilnicima nije bila tako jednostavna, s obzirom na već postojeći određeni broj UN/ECE Pravilnika (36, 52, 66, 107), kao i na njihovu međusobnu nekompatibilnost u određenim segmentima.

Tabelarni uporedni pregled UN/ECE Pravilnika i EC Direktiva koji se bave problematikom konstrukcionih karakteristika i čvrstoće nadgradnji autobusa prikazan je u Tabeli 3.1.

Podaci koji se navode za UN/ECE Pravilnike ukazuju da je kod UN/ECE Pravilnika br. 36 uvedena i serija amandmana 03, na šta ukazuje numerička oznaka iza kose crte u oznaci Pravilnika. Takođe, vidi se da je u slučaju UN/ECE Pravilnika br. 52

uvedena serija amandmana 01, dok kod UN ECE Pravilnika 107 i 66 nije bilo značajnijih izmena metodologije ispitivanja, koja bi usloвила uvođenje nove serije amandmana.

Tabela 3.1. – Pregled Pravilnika i Direktiva vezanih za autobuse (početno stanje)

		UN/ECE Pravilnik	EC Direktiva
Opšti konstrukcioni zahtevi autobusa	Sa više od 22 mesta za putnike	36/03	2001/85/EC
	Sa manje od 22 mesta za putnike	52/01	
	Dvospratni autobusi	107/00	
Čvrstoća nadgradnji autobusa u slučaju prevrtanja	66/00		

Upravo su zaključci ECBOS projekta inicirali sređivanje stanja UN/ECE Pravilnika, tako da trenutno i u okviru Pravilnika imamo potpuno regulisano stanje: UN/ECE Pravilnik br. 107 obuhvata sada sve kategorije autobusa, uključujući i kategoriju M2 i praktično je ekvivalentan EC Direktivi 2001/85/EC, dok je UN/ECE Pravilnik br. 66 unapređen i odnosi se i dalje na čvrstoću nadgradnje autobusa sa više od 22 putnika. Trenutno stanje može se videti u Tabeli 3.2.

Tabela 3.2. – Pregled Pravilnika i Direktiva vezanih za autobuse (aktuelno stanje)

		UN/ECE Pravilnik	EC Direktiva
Opšti konstrukcioni zahtevi autobusa kategorija M2 i M3		107/03	2001/85/EC
Čvrstoća nadgradnji autobusa u slučaju prevrtanja		66/01	

Kao glavni rezultat ECBOS projekta po pitanju čvrstoće nadgradnji autobusa proizišlo je nekoliko preporuka:

- neophodno je uvesti proveru čvrstoće konstrukcije i za autobuse kategorije M2, što znači za sva vozila za prevoz putnika sa više od 8+1 mesta,

- proveru čvrstoće nadgradnje udarom klatna u segment nadgradnje treba isključiti iz predloženih metoda ispitivanja, jer se dotadašnjim iskustvima došlo do zaključka da rezultati dobijeni ovom vrstom ispitivanja daju različite rezultate u odnosu na ostale metode (nadgradnja može da primi veći nivo energije, što nije dobro i ne odgovara realnom stanju),
- umesto ove metode treba uvesti kvazistatička ispitivanja elemenata nadgradnje, što podrazumeva definisanje lokacija i karakteristika plastičnih zglobova unutar nadgradnje autobusa.

Takođe, prihvaćene su preporuke o izmenama metoda ispitivanja, tako da sada u okviru UN/ECE Pravilnika br. 66 imamo sledeće metode:

- osnovna metoda ispitivanja:
 - bočno prevrtanje celog autobusa,
- ekvivalentne metode ispitivanja:
 - bočno prevrtanje segmenta nadgradnje,
 - kvazistatičko opterećenje segmenata,
 - kvazistatički proračun segmenta na osnovu ispitivanja elemenata,
 - kompjuterska simulacija prevrtanja celog autobusa.

Pri tome je neophodno naglasiti da su ekvivalentne metode ispitivanja potpuno ravnopravne sa osnovnom metodom, kao i da je diskreciono pravo proizvođača autobusa da se odluči za bilo koju od metoda ispitivanja.

U nastavku teksta detaljnije će biti opisana procedura pripreme i ispitivanja nadgradnji autobusa prema zahtevima UN/ECE Pravilnika br. 66/01.

3.1.2. UN/ECE Pravilnik br. 66/01

Pre samog izbora metode kojom će se ispitivanje obaviti, neophodno je definisati neke opšte polazne karakteristike vezane za ispitivanu nadgradnju, kako bi se na

odgovarajući način definisala kompletna struktura autobusa. Neke od tih polaznih karakteristika su sledeće:

- definisanje nivoa referentne energije koju vozilo treba da apsorbuje,
- određivanje položaja težišta kompletnog vozila,
- strukturno definisanje nadgradnje autobusa,
- izbor adekvatne metode ispitivanja nadgradnje.

Nivo referentne energije

Referentna energija predstavlja potencijalnu energiju vozila koje se ispituje, merenu u odnosu na donji horizontalni nivo prostora za ispitivanje prevrtanjem, u njegovom početnom, nestabilnom položaju procesa prevrtanja. Vrednost referentne energije izračunava se pomoću izraza:

$$E_R = M \cdot g \cdot h_1 = M \cdot g \cdot \left[0.8 + \sqrt{h_0^2 + (B \pm t)^2} \right],$$

gde je:

- M - M_k , tj. masa praznog, neopterećenog vozila ukoliko sedišta za putnike nemaju sigurnosne pojaseve, ili
 M_t , tj. ukupna efektivna masa vozila kod kojeg su ugrađeni sigurnosni pojasevi. Pri tome se M_t određuje kao:

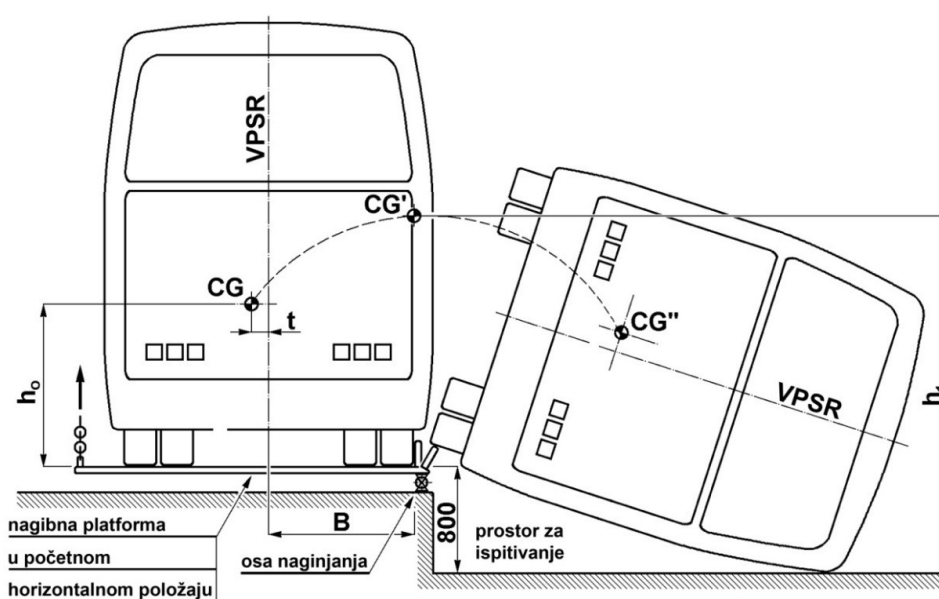
$$M_t = M_k + k \cdot M_m,$$

gde je $k = 0.5$, a M_m je ukupna masa putnika i osoblja autobusa koji se nalaze na sedištima sa ugrađenim sigurnosnim pojasevima

- h_0 - visina (u metrima) težišta vozila za izabranu vrednost mase M
 t - poprečno rastojanje (u metrima) težišta vozila u odnosu na vertikalnu podužnu srednju ravan vozila

- B - poprečno rastojanje (u metrima) od vertikalne podužne srednje ravni vozila do ose rotacije u testu prevrtanja
- g - gravitaciona konstanta
- h_1 - visina (u metrima) težišta vozila u njegovom početnom, nestabilnom položaju u odnosu na donji horizontalni nivo prostora za ispitivanje prevrtanjem

Dimenzije korišćene u ovom izrazu prikazane su na Slici 3.3.



Slika 3.3. – Definisane procesa prevrtanja autobusa sa nagibne platforme

Određivanje položaja težišta vozila

Referentna i ukupna energija koju nadgradnja autobusa treba da apsorbira zavisi direktno od položaja težišta vozila. Zbog toga, položaj težišta je neophodno odrediti što je preciznije moguće.

Aneksom 3 Pravilnika precizno su definisane metode merenja dimenzija, uglova i vrednosti opterećenja. Takođe, detaljno su definisani načini određivanja položaja težišta u podužnom, poprečnom i vertikalnom pravcu, i to:

- položaj težišta u podužnom pravcu

Položaj težišta u podužnom pravcu određen je izrazom:

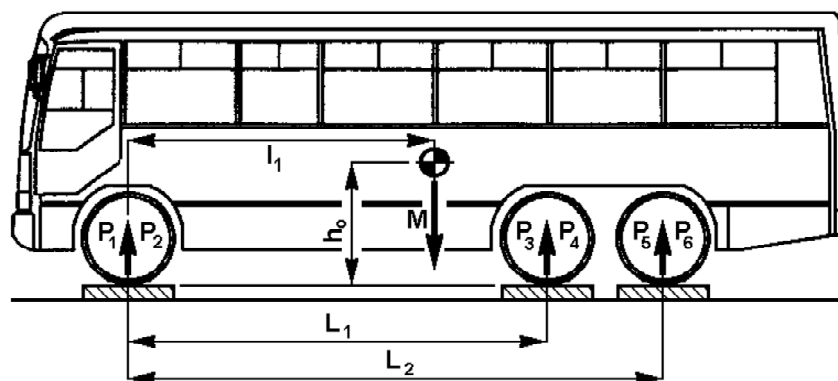
$$l_1 = \frac{(P_3 + P_4) \cdot L_1 + (P_5 + P_6) \cdot L_2}{P_u},$$

gde je:

- l_1 - podužno rastojanje težišta vozila od ose osovine 1
- P_u - ukupna reakcija kompletnog vozila, jednaka vrednosti M_k ili M_t i određena izrazom:

$$P_u = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6,$$

- P_1 - reakcija izmerena na levom točku osovine 1
- P_2 - reakcija izmerena na desnom točku osovine 1
- P_3 - reakcija izmerena na levom točku osovine 2
- P_4 - reakcija izmerena na desnom točku osovine 2
- P_5 - reakcija izmerena na levom točku osovine 3
- P_6 - reakcija izmerena na desnom točku osovine 3
- L_1 - međuosno rastojanje osovina 1 i 2
- L_2 - međuosno rastojanje osovina 1 i 3



Slika 3.4. - Parametri za određivanje položaja težišta u podužnom pravcu

Dimenzije korišćene u ovom izrazu prikazane su na Slici 3.4.

- položaj težišta u poprečnom pravcu

Položaj težišta u poprečnom pravcu u odnosu na vertikalnu podužnu srednju ravan vozila određen je izrazom:

$$t = \left[(P_1 - P_2) \cdot \frac{T_1}{2} + (P_3 - P_4) \cdot \frac{T_2}{2} + (P_5 - P_6) \cdot \frac{T_3}{2} \right] \cdot \frac{1}{P_u},$$

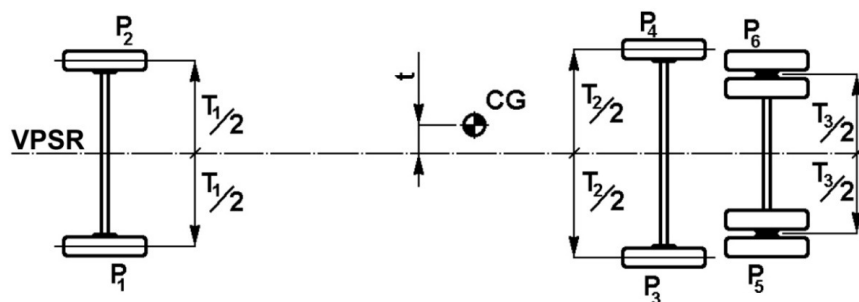
gde je:

T_1 - trag točkova osovine 1

T_2 - trag točkova osovine 2

T_3 - trag točkova osovine 3

Dimenzije korišćene u ovom izrazu prikazane su na Slici 3.5.



Slika 3.5. - Parametri za određivanje položaja težišta u poprečnom pravcu

- položaj težišta u vertikalnom pravcu (visina težišta)

Visina težišta određuje se izdizanjem jednog kraja vozila i merenjem reakcija na osovinama. Ugao izdizanja određen je izrazom:

$$\alpha = \arcsin\left(\frac{H}{L_1}\right),$$

gde je:

- H - visina izdizanja točkova osovine 2 u odnosu na točkove osovine 1
- L_1 - međuosno rastojanje osovina 1 i 2

Istovremeno, vrši se provera mase praznog, neopterećenog vozila prema izrazu:

$$P_u = F_u = F_1 + F_2 + F_3 + F_4 = M_k,$$

gde je:

- F_1 - reakcija izmerena na levom točku osovine 1
- F_2 - reakcija izmerena na desnom točku osovine 1
- F_3 - reakcija izmerena na levom točku osovine 2
- F_4 - reakcija izmerena na desnom točku osovine 2

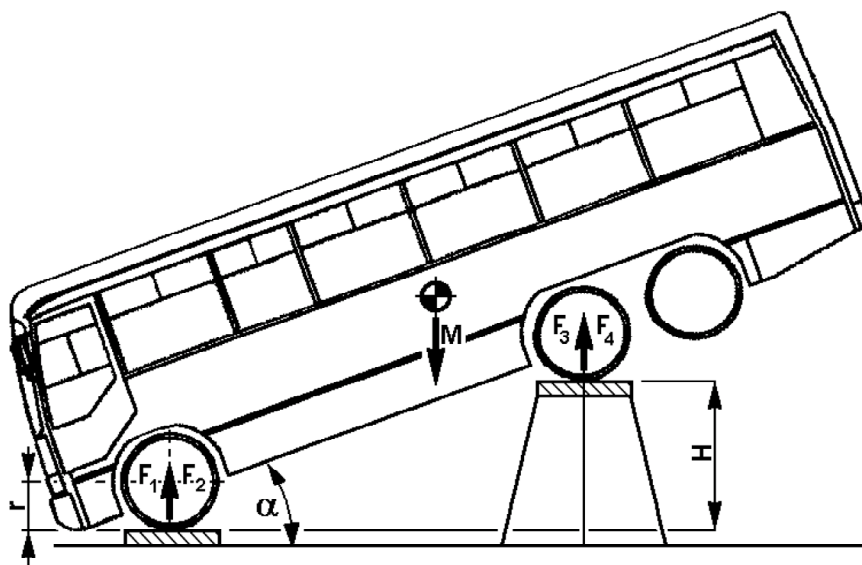
Konačno, visina težišta određuje se pomoću izraza:

$$h_0 = r + \frac{1}{\operatorname{tg}\alpha} \cdot \left(l_1 - L_1 \cdot \frac{F_3 + F_4}{P_u} \right),$$

gde je:

- r - visina centra osovine 1 iznad tla

Dimenzije korišćene u prethodnim izrazima prikazane su na Slici 3.6.



Slika 3.6. – Parametri za određivanje položaja težišta u vertikalnom pravcu

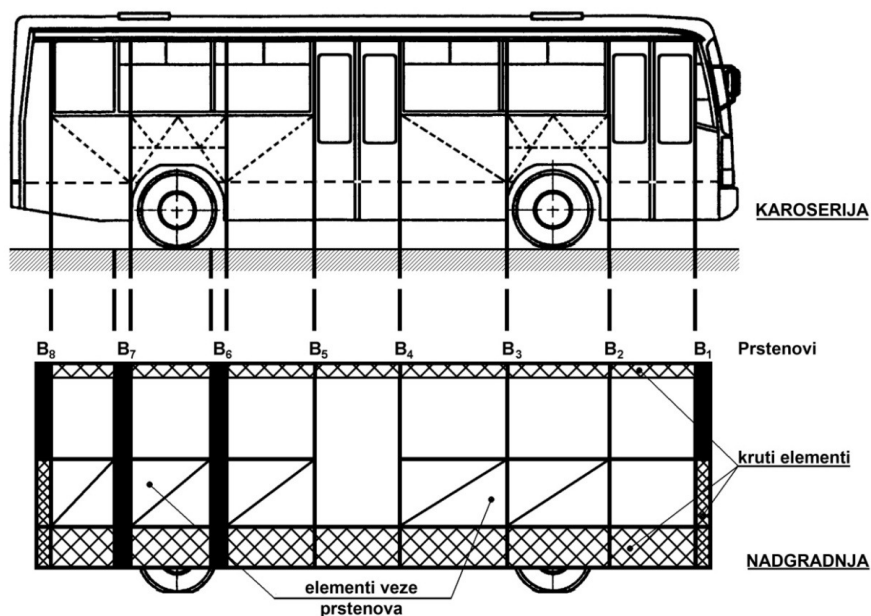
Strukturno definisanje nadgradnje autobusa

Aneksom 4 Pravilnika precizirano je da proizvođač autobusa na nedvosmislen način mora da definiše nadgradnju autobusa, i da pri tome definiše:

- koji prstenovi doprinose čvrstoći nadgradnje i apsorpciji određenog nivoa energije,
- koji elementi veze prstenova doprinose torzionoj krutosti nadgradnje,
- raspodelu mase između definisanih prstenova,
- koji elementi nadgradnje autobusa se mogu smatrati krutim.

Takođe, definišu se i dva osnovna pojma delova nadgradnje koji čine njene određene delove: prsten i segment nadgradnje.

Prsten se definiše kao deo nadgradnje koji formira zatvorenu strukturu između dve ravni koje su upravne na vertikalnu podužnu srednju ravan vozila. Prsten se sastoji od po jednog vertikalnog stuba sa svake bočne strane, kao i pripadajućih elemenata bočnih strana, dela krovne strukture i dela poda i podpodne strukture.



Slika 3.7. – Definisane nadgradnje i elementa nadgradnje

Primer definisanja prstenova na nadgradnji autobusa prikazan je na Slici 3.7.

Segment predstavlja strukturnu celinu koja reprezentuje jedan deo nadgradnje u svrhu ispitivanja njene čvrstoće. Segment sadrži najmanje dva prstena međusobno spojena odgovarajućim elementima veze (bočne stranice, krov i podpodna struktura).

Izbor adekvatne metode ispitivanja nadgradnje

Kao što je već ranije napomenuto, u okviru ovog Pravilnika postoji 5 metoda koje su preporučene za ispitivanje čvrstoće nadgradnje autobusa. U nastavku će biti date osnovne karakteristike svake od preporučenih metoda.

- Bočno prevrtanje celog autobusa

Ova metoda zasniva se na ispitivanju kompletnog autobusa. Za potrebe ispitivanja neophodno je pripremiti odgovarajući prostor i nagibnu platformu. Prostor za

ispitivanje treba da bude ravna površina sa tvrdom podlogom (beton ili asfalt), spuštena 800 mm ispod nivoa nagibne platforme. Sama platforma mora da bude konstruisana tako da omogući bočno naginjanje autobusa od horizontalnog položaja, preko početnog, nestabilnog položaja, sve do prevrtanja u predviđeni prostor. Pri tome se mora obezbediti da ne dođe do bočnog proklizavanja točkova autobusa na nagibnoj platformi tokom izdizanja, sa ciljem dobijanja realne situacije prevrtanja autobusa.

Neophodno je kompletan proces prevrtanja autobusa snimati kamerama visoke brzine snimanja (sa mogućnošću snimanja velikog broja snimaka u sekundi). Ovo je potrebno kako bi se ispoštovao zahtev Pravilnika da ni u jednom trenutku tokom prevrtanja autobusa ne sme da bude narušen bezbednosni prostor vozila.

Osnovne dimenzije prostora za ispitivanje prikazane su na Slici 3.3., dok je na Slici 3.8. dat prikaz autobusa postavljenog na nagibnu platformu i spremnog za ispitivanje.



Slika 3.8. – Autobus na nagibnoj platformi u procesu ispitivanja

Prednosti ove metode ispitivanja ogledaju se u direktno dobijenim rezultatima, jer se odmah po prevrtanju mogu videti efekti konstrukcije, kao i da li je neki deo

nadgradnje narušio bezbednosni prostor. Naravno, neophodno je pregledati i snimke načinjene brzim kamerama, kako bi se ustanovilo da li je eventualno tokom faze prevrtanja došlo do narušavanja bezbednosnog prostora od strane nekog elementa konstrukcije u njegovoj fazi maksimalne elastične i plastične deformacije, s obzirom da nakon prevrtanja, na konstrukciji možemo verifikovati samo konačne plastične deformacije.

Međutim, nedostaci ove metode su što imamo samo krajnji rezultat ispitivanja, tj. da li je vozilo zadovoljilo kriterijume Pravilnika ili ne. Ukoliko su kriterijumi zadovoljeni sve je u redu, međutim, ukoliko vozilo nije zadovoljilo, ne može se ustanoviti tačan razlog, pa se samim tim ne može korektivno delovati na samu strukturu sa ciljem otklanjanja nedostataka. S druge strane, to je i najskuplja varijanta ispitivanja, s obzirom da se praktično kroz faze projektovanja došlo do konkretnog prototipa, koji u slučaju neispunjenja kriterijuma mora da se vrati skoro do samih početnih faza, ali i dalje bez jasnih smernica šta na konstrukciji treba poboljšati.

- Bočno prevrtanje segmenta nadgradnje

Ova metoda je po proceduri ispitivanja identična prethodnoj, a jedina razlika je što nije neophodno pripremiti kompletan autobus za ispitivanje, već je dovoljno pripremiti određeni broj segmenata (videti Sliku 3.9.). Segmente je neophodno koncipirati tako da preko njih bude zastupljena kompletna nadgradnja autobusa, i to na način da se svakom prstenu dodeli odgovarajući nivo energije, tako da energija u zbiru bude veća ili jednaka ukupnoj energiji izračunatoj za kompletno vozilo.

Prednost ove metode u odnosu na prethodnu je što se u ranijim fazama ispitivanja mogu odrediti karakteristike delova konstrukcije i na taj način na vreme uticati na eventualna "slaba" mesta. Sam proces ispitivanja, iako verovatno duži, u slučaju negativnog ishoda prevrtanja celog autobusa, predstavlja vremenski kraći proces.



Slika 3.9. – Segment autobusa na nagibnoj platformi u procesu ispitivanja

- Kvazistatičko opterećenje segmenata

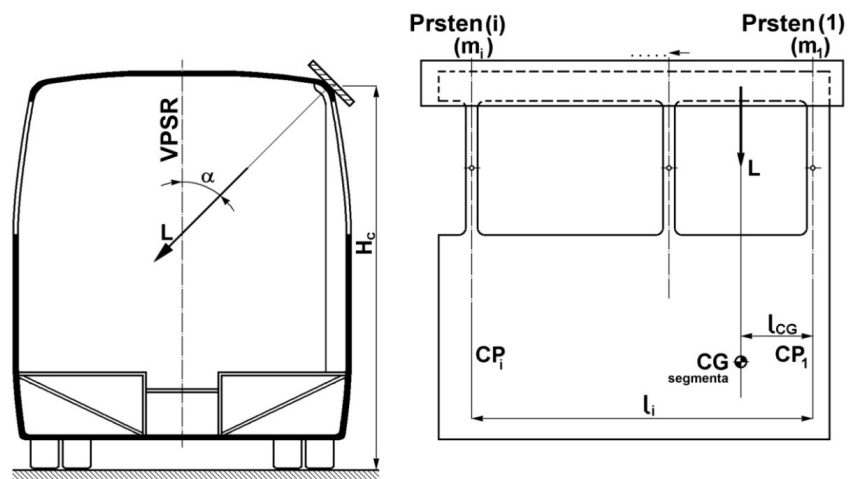
Kod ove metode ispitivanja kao uzorci se koriste segmenti nadgradnje, formirani na isti način kao i za prethodnu metodu. Osnovna razlika je što se kod ove metode segmenti ne postavljaju na nagibnu platformu i ne podvrgavaju bočnom prevrtanju, već se opterećenje unosi u segment preko gornje tačke veze vertikalnih stubova i krova, duž celog segmenta (videti Sliku 3.10.). Pri tome segment treba pričvrstiti za tlo, i to da se obezbedi da ne dođe do pojave plastičnih deformacija konstrukcije u blizini tačaka veze za tlo.

Pravac dejstva opterećenja na segment definisan je uglom α u odnosu na vertikalnu podužnu srednju ravan segmenta, koji je određen izrazom:

$$\alpha = 90^\circ - \arcsin\left(\frac{800}{H_c}\right),$$

gde je:

H_c - visina veze između vertikalnih stubova i krova (u milimetrima), merena od horizontalne ravni na kojoj je vozilo postavljeno (videti Sliku 3.10.)



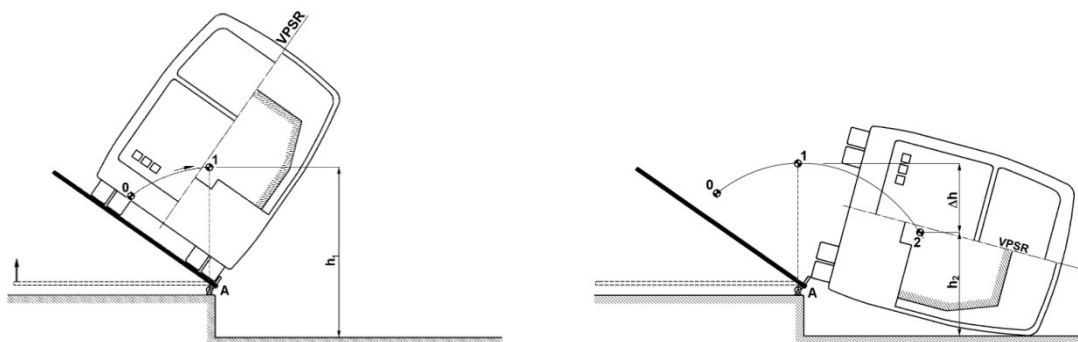
Slika 3.10. – Ispitivanje segmenta autobusa kvazistatičkim opterećenjem

Za ovu metodu, ukupna energija koju treba da apsorbuje nadgradnja iznosi:

$$E_u = 0.75 \cdot M \cdot g \cdot \Delta h,$$

gde je:

Δh - vertikalno kretanje težišta vozila (u metrima) tokom procesa prevrtanja vozila, definisano kao razlika visina h_1 i h_2 (videti Sliku 3.11.)



Slika 3.11. – Definisavanje vertikalnog kretanja težišta autobusa tokom prevrtanja

- kvazistatički proračun segmenta na osnovu ispitivanja elemenata

Za ovu metodu ispitivanja neophodno je da proizvođač autobusa dostavi dodatne podatke o strukturi nadgradnje, i to definisane lokacije plastičnih zona i plastičnih zglobova.

Pod pojmom plastičnih zona podrazumevaju se posebni, geometrijski ograničeni delovi nadgradnje, kod kojih, kao rezultat dejstva dinamičkih udarnih sila:

- koncentrisane su velike plastične deformacije,
- nastaju bitna izobličavanja prvobitnog oblika (poprečnog preseka, dužine ili drugih geometrijskih parametara),
- dolazi do pojave gubitka stabilnosti, kao posledica lokalnog izvijanja,
- apsorbuje se kinetička energija usled deformisanja.

Pod pojmom plastičnih zglobova podrazumevaju se jednostavne plastične zone koje nastaju na tankozidnim elementima konstrukcije, kao što su vertikalni stubovi nadgradnje, nosači prozora, vrata, ...

Tehnički parametri koji bliže opisuju plastične zone i plastične zglobove su:

- geometrijske karakteristike poprečnih preseka elemenata nadgradnje u kojima dolazi do pojave plastičnih zona i plastičnih zglobova,
- tip i smer primenjenog opterećenja za svaku plastičnu zonu i plastični zglob ponaosob,
- krivu moment – ugao za svaku plastičnu zonu i plastični zglob ponaosob. Za dalji numerički proračun mogu se koristiti statičke i dinamičke karakteristike dobijene ispitivanjem, ali se ne smeju kombinovati.

Za dalji tok proračuna neophodno je napraviti matematički model kompletne nadgradnje autobusa, sa unetim geometrijskim karakteristikama poprečnih preseka svih elemenata, kao i ispitivanjem dobijenim karakteristikama plastičnih

zglobova. Takođe, precizno su definisani svi ostali uslovi vezani za formiranje modela, kao i način primene opterećenja i procedura proračuna.

- kompjuterska simulacija prevrtanja celog autobusa

Ukoliko se izabere ova metoda ispitivanja, neophodno je formirati matematički model nadgradnje, koji je u stanju da simulira realno fizičko ponašanje procesa prevrtanja u skladu sa prvom metodom (bočno prevrtanje autobusa). Takođe, mora biti jasno naznačen primenjeni softver koji će biti korišćen u procesu simulacije i proračuna.

Kao i kod prethodne metode, precizno su definisani svi zahtevi vezani za proces simulacije i proračuna.

3.1.3. Nacionalna regulativa

Nacionalna regulativa, za razliku od međunarodne, nije razvijana na adekvatan način. Delimično je tome doprineo raspad Jugoslavije, pa zatim i višegodišnja izolacija Srbije od strane međunarodne zajednice. Tek u poslednjih nekoliko godina se ponovo čine napori za ažuriranjem nacionalne regulative u svim oblastima.

Generalno posmatrano, autobusi kao celina i njegove komponente tretirani su nizom nacionalnih standarda. Ti standardi su u dobrom delu usaglašeni sa određenim međunarodnim standardima, ali nisu u dovoljnoj meri pratili razvoj UN/ECE Pravilnika i Direktiva Evropske Unije. Tako smo došli do situacije da prethodno navedena važeća međunarodna regulativa, posebno UN/ECE Pravilnici, nije ratifikovana u našoj zemlji, tako da ne postoji obaveza proizvođača i uvoznika autobusa da kriterijume ovih Pravilnika poštuju. Istovremeno, novi Zakon o bezbednosti saobraćaja na putevima /12/, Pravilnik o podeli motornih i priključnih vozila i tehničkim uslovima za vozila u saobraćaju na putevima /13/, kao i očekivana Uredba o homologaciji vozila, striktno definišu primenu

ratifikovanih UN/ECE Pravilnika, dok će očekivano približavanje Srbije Evropskoj Uniji nedvosmisleno voditi i ka uvođenju primene Direktiva Evropske Unije.

Trenutno važeći nacionalni standardi uglavnom tretiraju opšte konstrukcione zahteve autobusa i u određenoj meri su usklađeni sa UN/ECE Pravilnikom 107/03 i delom EC Direktive 2001/85/EC. Taj deo se prvenstveno odnosi na raspodelu opterećenja po osovinama, dimenzije i raspored vrata i prozora, dimenzije i raspored sedišta, definisanje prostora za stajanje, dimenzije stepenika, itd.

S druge strane, ne postoji domaći standard koji razmatra problematiku čvrstoće nadgradnje autobusa, a koja je predmet UN/ECE Pravilnika br. 66. Zbog toga se našim ulicama i putevima kreću i autobusi na kojima nije izvršena provera čvrstoće nadgradnje za slučaj prevrtanja, što u velikoj meri utiče na bezbednost putnika. Tek ratifikacijom UN/ECE Pravilnika br. 66 steći će se uslovi za punu primenu regulative, čime će se značajno podići stepen bezbednosti putnika, ali i ostalih učesnika u saobraćaju.

3.2. FAZE PROJEKTOVANJA AUTOBUSA

Projektovanje autobusa u suštini predstavlja skup teorijskih, konstruktivnih i eksperimentalnih radnji, počevši od istraživanja tržišta i postavke projektnih zahteva, preko izrade idejnog i glavnog projekta, izrade i korekcije tehničke dokumentacije, sve do izrade i ispitivanja prototipova i dobijanja gotovog proizvoda spremnog za plasman na tržište /14/.

Osnovnu aktivnost u procesu projektovanja autobusa predstavlja analiza tržišta. Rezultat te analize treba da nam pokaže potrebu za vrstom i tipom autobusa koji nedostaje na tržištu, kao i koje količine novih autobusa su tržištu neophodne. U slučaju da su rezultati analize tržišta takvi da pokazuju potrebu za određenim tipom autobusa, ostvareni su preduslovi za pristupanje daljim aktivnostima koje treba da dovedu do početka rada na njegovom projektovanju.

Takođe, neophodno je definisati i ostale aktivnosti koje su usmerene ka definisanju parametara koji imaju za cilj omogućavanje izrade projektnog zadatka. Pri tome je neophodno posebnu pažnju pokloniti sledećim aktivnostima:

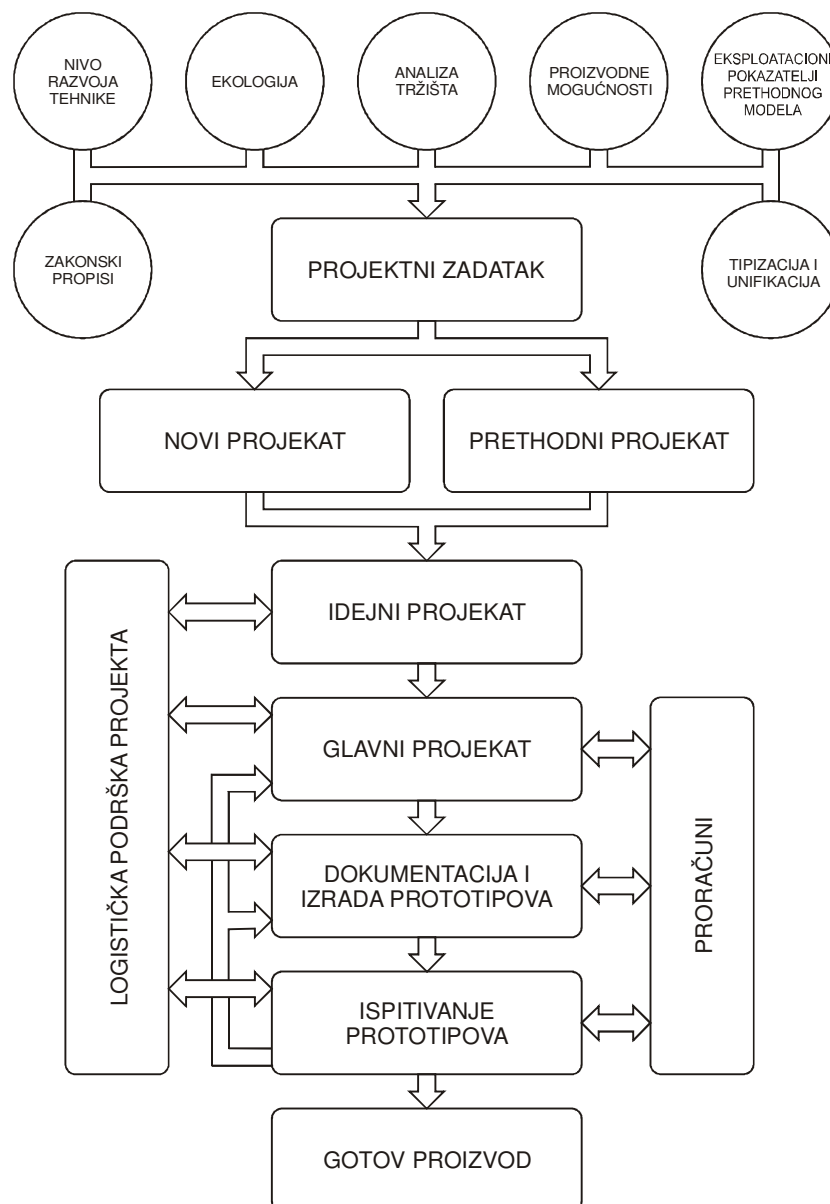
- status zakonskih propisa,
- analiza nivoa tehnološkog razvoja i perspektiva razvoja tehnike,
- poštovanje ekoloških zahteva u opštem smislu reči,
- sagledavanje proizvodnih mogućnosti,
- analiza eksploatacionih karakteristika prethodnih modela autobusa,
- moguća tipizacija i unifikacija sa već postojećim modelima autobusima iz vlastitog proizvodnog programa.

Tokom projektovanja autobusa koriste se kompleksne teorijsko-eksperimentalne metode, koje se zasnivaju na analizi tražnje, mogućnosti proizvodnje, pouzdanosti, bezbednosti, procenjenom riziku, simulaciji, funkcionalnosti, itd. Takođe, koriste se i kriterijumi za ocenu performansi, mogućnosti održavanja, bezbednosti, ekoloških parametara, ekonomičnosti, cene i sl.

Projektovanje autobusa ima svoje određeno vreme trajanja, počevši od ideje do izacivanja "nulte" serije iz proizvodnje. Sam proces projektovanja sastoji se iz nekoliko faza:

- definisanje projektnog zadatka,
- izrada idejnog projekta,
- izrada glavnog projekta,
- razrada tehničke dokumentacije i izrada prototipova autobusa i
- ispitivanje prototipova autobusa.

Pomenute aktivnosti i faze projektovanja autobusa međusobno su povezane i uslovljene. Jedna od mogućih šema aktivnosti pri projektovanju data je na Slici 3.12.



Slika 3.12. – Pretpostavljene aktivnosti i faze projektovanja autobusa

U nastavku će biti više reči o pomenutim fazama projektovanja autobusa.

3.2.1. Projektni zadatak

Projektovanje autobusa počinje izradom projektnog zadatka. Projektni zadatak predstavlja polazni dokument za naredne faze projektovanja, a to su izrada idejnog i glavnog projekta autobusa.

U ovoj fazi neophodno je detaljno analizirati osnovne početne aktivnosti u procesu projektovanja autousa, kao i njihov uticaj. Prvenstveno je neophodno pravilno oceniti zahteve tržišta, naročito ako se uzme u obzir da se potrebe tržišta moraju predvideti bar nekoliko godina unapred, koliko je potrebno da se od polaznih faza projektovanja dođe do konačne realizacije i puštanja vozila na tržište. Pri tome, mora se uzeti u obzir i minimalno planirani životni ciklus proizvoda, kako ne bi prerano postao nekonkurentan i prevaziđen na tržištu.

U okviru analize zakonskih propisa neophodno je razmatrati aktuelnu nacionalnu i međunarodnu regulativu, ali imati uvek u vidu i razne vrste preporuka, pozitivnu inženjersku praksu, kao i voditi računa o tendencijama promena aktuelne regulative u narednom periodu.

Takođe, jedna od važnih stavki o kojoj se mora voditi računa je i nivo tehnološkog razvoja, kako autobusa kao proizvoda u celini, tako i njihovih sistema i agregata. To je u današnje vreme naročito izraženo u pogledu pogonskog agregata i zahteva vezanih za emisiju izduvnih gasova, jer su zahtevi svakim danom sve strožiji, a vremenski intervali primene novih graničnih vrednosti sve kraći. Ipak, nivoi primene novih tehnologija pri projektovanju i proizvodnji autobusa uvek su definisani nekoliko godina unapred, tako da proizvođači uvek imaju relevantne smernice da od samog početka rada na projektu autobusa krenu u pravom smeru, sa ciljem dobijanja konkurentnog i aktuelnog proizvoda.

Na osnovu svega iznetog, može se zaključiti da definisanje projektnog zadatka, kao prva faza projektovanja autobusa, predstavlja veoma kreativan proces rada, koji se zasniva na činjenicama, pozitivnoj inženjerskoj praksi i prethodnom iskustvu, ali se istovremeno zasniva na elementima predikcije.

Kao izlaz iz faze definisanja projektnog zadatka trebalo da budu definisani i neki osnovni parametri autobusa, kao što su:

- vrsta autobusa (minibus, zglobni autobus, dvospratni autobus, ...)

- namena autobusa (gradski, prigradski, turistički)
- broj putnika (za stajanje i sedenje, u zavisnosti od namene),
- maseni parametri,
- osnovne performanse,
- logistički podaci,
- ...

Nakon sagledavanja svih merodavnih ulaznih parametara, utvrđuje se da li se ide na projektovanje sasvim novog modela autobusa, ili se kao osnova može koristiti neki već postojeći autobus iz proizvodnog programa proizvođača, koji će uz neophodne modifikacije zadovoljiti postavljene tržišne zahteve. Ovo je uobičajena praksa kod proizvođača autobusa, koja pruža mogućnost zadovoljenja zahteva tržišta odgovarajućim asortimanom autobusa, uz minimalna ulaganja.

3.2.2. Idejni projekat

Idejni projekat predstavlja prvu konkretizaciju projektnog zadatka. Kreativne i intuitivne postavke koje su imale značajnu ulogu pri izradi projektnog zadatka, ustupaju mesto logičkim i objektivnim faktorima, proračunima, merenjima, oblikovanju, ocenama proizvodnih i tehnoloških mogućnosti, itd. U fazi izrade idejnog projekta autobusa pristupa se rešavanju sledećih zadataka:

- izbor najpovoljnije koncepcije autobusa,
- izbor relevantnih parametara agregata i sklopova autobusa, na osnovu uporedne analize više raspoloživih konstruktivnih varijanti, njihov okvirni raspored i definisanje uslova koje oni moraju da ispune, sa ciljem postizanja optimalnih performansi,
- sagledavanje mogućih pravaca razvoja osnovnog modela autobusa u smislu zadovoljenja potencijalnih zahteva kupaca u pogledu izbora pogonskih komponenti, korišćenja vozila u specifičnim uslovima eksploatacije (ekstremno visokih, odnosno niskih temperatura), dodatne opreme kojom

- se postiže viši nivo usluge prevoza (sedišta sa povećanom udobnošću, dopunsko grejanje, klimatizacija, toalet, mini-bar, ...),
- analiza vučno-dinamičkih karakteristika vozila u više varijantnih rešenja autobusa, sa prethodno usvojenim užim izborom komponenata pogonske grupe i transmisije,
 - definisanje maneivrivosti vozila,
 - ergonomija radnog mesta vozača i putničkog prostora autobusa,
 - analiza pogodnosti opsluživanja i održavanja vozila,
 - provera mogućnosti tipizacije i unifikacije novih varijantnih rešenja sa već postojećim,
 - ...

Sva rešenja koja predstavljaju izlaz iz faze idejnog projekta zasnivaju se na prikupljenim informacijama o aktivnostima konkurencije u svetu u smislu trendova razvoja sličnih autobusa, proračunima, rezultatima ispitivanja i istraživanja, analizama statističkih parametara, ...

Osnovni izlazni element iz faze idejnog projekta je sklopni crtež autobusa. U sklopni crtež unose se osnovni geometrijski parametri autobusa, kao i određeni ograničavajući faktori koji su definisani projektnim zadatkom:

- gabaritne dimenzije autobusa, međuosovinska rastojanja, prepusti, prostor za prtljag,
- broj, raspored i veličina vrata za putnike i eventualno vrata vozača,
- položaj pogonskog agregata i određenog broja krupnijih komponenata pogonskog sistema u odnosu na noseću strukturu autobusa.
-

Sklopni crtež autobusa, radi preglednosti, treba da bude što većeg formata. Istovremeno, sklopni crtež ne mora biti preterano detaljan, dovoljna je uprošćena varijanta, sa ucrtavanjem osnovnih kontura agregata (u slučaju da se alternativno koristi više vrsta agregata, i ta rešenja mogu biti prikazana na crtežu).

Kako bismo pravilno odredili gabaritne dimenzije autobusa, neophodno je poznavati orijentacione vrednosti gabarita i ugradbenih mera pojedinih agregata, kao što su pogonski agregat, spojnica, menjački prenosnik, prednji i zadnji (pogonski) most, oblik nadgradnje, rezervoar(i) za gorivo, točkovi i pneumatici, broj i tip sedišta, potrebna zapremina prtljažnog prostora, itd.

U ovoj fazi projekta razrađuju se i varijante razmeštaja pratećih sistema pogonskog agregata (položaj i struktura usisne i izduvne grane, sistem za hlađenje motora), rezervnog točka, rezervoara za gorivo, akumulatora i sl.

Sastavni deo idejnog projekta čine i opis autobusa i komponenata, kao i tehnički uslovi koje pojedine komponente i vozilo treba da zadovolje.

3.2.3. Glavni projekat

Konkretizacija i operacionalizacija aktivnosti sprovedenih kroz idejni projekat definisana je kao glavni projekat autobusa. U ovoj fazi projektovanja daju se konačna tehnička rešenja koja u potpunosti treba da definišu autobus.

U toku izrade glavnog projekta rešavaju se sledeći zadaci:

- razrađuju se konstruktivna rešenja za sve osnovne komponente autobusa, pri čemu se preciznije definišu tehničke karakteristike, gabariti i mase,
- analiziraju se moguće kombinacije razmeštaja komponenata i sklopova autobusa i usvaja se njihov konačni raspored,
- preciznije se definiše ergonomija radnog mesta vozača i putničkog prostora autobusa,
- preciznije se definiše masa autobusa i njena raspodela po osovinama,
- pristupa se kontrolnim proračunima svih vitalnih sklopova autobusa, kako sa aspekta čvrstoće, tako i sa aspekta efektivnosti,

- vrši se detaljan proračun kompletne noseće strukture autobusa, sa unetim svim opterećenjima koja na nju deluju u uslovima eksploatacije, i, u skladu sa rezultatima proračuna, vrše se korekcije na konstrukciji u smislu njene optimizacije.

Glavni projekat sadrži detaljan sklopni crtež autobusa, sklopne crteže glavnih sklopova i komponenata, kao i radioničke crteže sa tehnologijama izrade pojedinih elemenata.

3.2.4. Razrada dokumentacije i izrada prototipova autobusa

U ovoj fazi projektovanja autobusa definiše se dokumentacija neophodna za izradu prototipova. Ona mora da sadrži sve neophodne detalje koji omogućavaju protoptipsko izvođenje autobusa. Broj prototipova zavisi od programa ispitivanja, kao i budžeta predviđenog za projekat novog autobusa. Najčešće se radi nekoliko prototipova, pri čemu taj broj ne prelazi pet.

Prilikom izrade prototipova mogu se ustanoviti određene greške u prethodnim fazama projektovanja, tako da su i u ovoj fazi dozvoljene korekcije modela, bilo kroz dodatne proračune, bilo kroz korekciju tehničke dokumentacije. Takođe, u ovoj fazi projekta vrši se i razrada tehnoloških i servisnih uputstava.

Kao izlaz iz ove faze projektovanja, osim gotovih prototipova spremnih za ispitivanje, imamo i kompletnu tehničku dokumentaciju, praćenu detaljnim tehničkim opisima i uputstvima, u svim predviđenim varijantnim rešenjima.

3.2.5. Ispitivanje prototipova autobusa

S obzirom da se kroz sve prethodne faze projektovanja, kao i proračunom autobusa i njegovih sklopova i komponenti ne mogu unapred tačno definisati svi parametri koji u potpunosti određuju eksploatacione karakteristike, neophodno je proces projektovanja zaokružiti ispitivanjem prototipova. Metode ispitivanja prototipova

autobusa po pravilu definiše proizvođač za svaki model posebno, u funkciji namene autobusa i predviđenog budžeta. Pri tome, te metode mogu biti standardizovane i u sklopu prihvaćene nacionalne i međunarodne regulative, ali se svaki proizvođač odlučuje za niz nestandardizovanih metoda, koje će na najbolji način ukazati na sve dobre i loše strane ispitivanih prototipova. Ali, bez obzira na nestandardizovanost i raznolikost metoda ispitivanja, postoji opšta podela na putna i laboratorijska ispitivanja.

Putna ispitivanja imaju veoma veliki značaj, jer omogućavaju dobijanje karakteristika autobusa u uslovima koji približno odgovaraju eksploatacionim. Za ova ispitivanja definiše se detaljan program, a ona se obavljaju ili na specijalno pripremljenim ispitnim poligonima definisanih karakteristika podloge, ili na pažljivo odabranim deonicama javnih puteva.

Tendencije savremenog projektovanja autobusa zastupaju sve veći procenat zamene putnih ispitivanja laboratorijskim. Osnovni cilj je smanjenje vremena koje je potrebno za sprovođenje ove faze projektovanja. Savremena laboratorijska i računarska oprema veoma verno može da simulira eksploatacione uslove, i to putem snimanja odgovarajućih režima opterećenja.

Ova savremena laboratorijska oprema znatno skraćuje vreme neophodno za ispitivanje autobusa, a samim tim i efikasnost kompletnog procesa projektovanja. Međutim, ta oprema, zajedno sa korišćenim softverima, s druge strane je veoma skupa, pa je neophodno naći meru između ova dva načina ispitivanja autobusa. Ali, očekivanja su da će u doglednoj budućosti laboratorijska ispitivanja definitivno preuzeti primat nad putnim ispitivanjima, koja će biti svedena na neophodni minimum.

U slučaju da autobus kao celina, neki sistem ili komponenta nije zadovoljio postavljene zahteve, vrši se korekcija dokumentacije i ponavlja ciklus ispitivanja, u celosti ili parcijalno. Takođe, ukoliko je to neophodno, moguće je vratiti se u bilo

koju prethodnu fazu projektovanja, do nivoa koji zahteva odgovarajuća izmena na prototipu.

Ukoliko su prototipovi zadovoljili sve zahteve ispitivanja, model autobusa se može smatrati gotovim proizvodom koji se može plasirati na tržište.

3.2.6. Logistička podrška projekta

U ovu grupu svrstane su one aktivnosti koje pomažu u procesu projektovanja autobusa, ali nisu direktno vezane u lancu aktivnosti tokom faza projektovanja. One od samog početka omogućavaju donošenje određenih odluka vezanih za definisanje projektnog zadatka, da bi kroz dalje faze omogućavale optimalan i funkcionalan gotov proizvod.

Neke od aktivnosti koje čine logističku podršku su:

- tehno-ekonomska analiza opravdanosti kompletnog projekta,
- sistemski prilaz praćenju stanja elemenata vozila,
- komercijalno-nabavna služba,
- saradnja i komunikacija sa kooperantima,
- služba servisa i održavanja,
- služba plasmana gotovih proizvoda.

Kao što je već ranije rečeno, postupak projektovanja autobusa je veoma kreativan proces, pri kome, u cilju smanjenja mogućnosti pojava grešaka, treba koristiti poznate teorijske i empirijske metode.

4. PREGLED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA U OBLASTI

Imajući u vidu predmet i cilj istraživanja doktorske disertacije, može se zaključiti da je reč o multidisciplinarnom pristupu rešavanju problema. Naime, osim znanja vezanih za osnovne karakteristike konstrukcije vozila, njihovo projektovanje i koncepciju gradnje, neophodno je imati uvid u poznavanje strukture i karakteristike materijala, kao i ponašanje elemenata strukture vozila pri dejstvu specifičnih opterećenja karakterističnih za sudar. Osim toga, neophodno je imati saznanja i o posledicama sudara na učesnike u saobraćaju, kao i pregled statističkih podataka vezanih za broj i strukturu saobraćajnih nezgoda, broj žrtava i povređenih. Takođe, neophodno je biti u toku sa važećom međunarodnom i nacionalnom regulativom, kako bi svi postignuti rezultati bili istovremeno i aktuelni.

S obzirom da je literatura vezana za analizu saobraćajnih nezgoda, statističke podatke i regulativu već navedena kroz odgovarajuće odeljke ovog rada, ovde će biti data analiza literature koja se bavi aktuelnom problematikom karakteristika materijala, struktura mašinskih konstrukcija, konkretnim primenjenim rešenjima u analiziranoj oblasti, kao i o primenjenim softverima, obavljenim ispitivanjima i postignutim rezultatima.

Samim tim, analizirana literatura podeljena je u nekoliko segmenata:

- struktura i karakteristike primenjenih materijala, uz analizu ponašanja konstrukcija pri dejstvu opterećenja,
- numeričko rešavanje problema ponašanja nadgradnji,
- primena softverskih paketa za rešavanje problema,
- uticaj konstrukcije na bezbednosne parametre.

Bažant (*Bažant*) je u radovima [15] i [16] primenio tehniku asimptotskog poklapanja na skaliranje strukturalnog loma usled plastičnih zglobova. Tehnika je primenjena na strukture kod kojih plastični zglobovi pokazuju progresivno slabljenje nakon dostizanja maksimalne vrednosti momenta savijanja pri velikim vrednostima uglova rotacije. Erlih (*Ehrlich*) i Armero (*Armero*) su u radu [17] razvili nove metode konačnih elementa za analizu lokalizovanih lomova i plastičnih deformacija greda i okvira definisanih kao plastični zglobovi. Zglobovi se modeliraju kao nevezani za opšta pomeranja osnovnih struktura grednih i površinskih modela. Razvoj numeričkih metoda za precizno definisanje ovih rešenja tada predstavlja jedno od dobrih rešenja. U radu je prikazan okvirni postupak za definisanje karakteristika plastičnih zglobova u elementima mašinskih struktura. Jang (*Young*) je analizirao razvoj plastičnih zglobova i stanje naprsline na kružnom prstenu [18]. On je pokazao da lokacija naprsline može značajno da utiče redosled pojave plastičnih zglobova, što utiče i na stanje naprsline u strukturama. To je pokazao na primeru elastoplastičnog prstena opterećenog dijametralno suprotnim koncentrisanim opterećenjima. Elastično superponiranje je iskorišćeno za utvrđivanje elastoplastičnog ponašanja i procenu stabilnosti naprsline pri pojavi plastičnih zglobova. Marante (*Marante*), Pikon (*Picón*) i Florez-Lopez (*Flórez-López*) su predložili opšti kriterijum za lokalizaciju plastičnih zglobova u elementima strukture [19]. Pretpostavlja se da je element strukture sklop elastičnog grednog elementa i dva plastična zgloba na njegovim krajevima. Matolči (*Matolcsy*) je dao svoje viđenje opšteg pristupa problemu plastičnih zglobova na tankozidnim pravougaonim čeličnim cevima u sastavu nosećih struktura autobusa [20]. Dao je definiciju takvih plastičnih zglobova, zajedno sa glavnim karakteristikama i važnim parametrima. Takođe, Matolči (*Matolcsy*) je ispitao nekoliko vrsta plastičnih zglobova koji se mogu koristiti prilikom konstruisanja autobusa u cilju zaštite putnika prilikom saobraćajnih nezgoda i prikazao dobijene rezultate. Ričard Liu (*Richard Liew*) i Tang (*Tang*) su u radu [21] pristupili analizi plastičnih zglobova prilikom konstruisanja prostornih struktura sastavljenih cevnih elemenata pomoću teorije "dvopovršinskog" plastičnog zgloba, pritom se fokusirajući na neelastičnu krutost trodimenzionalnog grednog nosača. Nelinearno ponašanje materijala razmatrano je uvođenjem "slabljenja" na

krajevima elemenata. Za prikaz mogućnosti analize modela u predviđanju ponašanja pri savijanju i izvijanju elemenata rešetke korišćeni su jednostavni gredni modeli. Ćimpoeru (*Cimpoeru*) i Mari (*Murray*) u radu [22] prikazali su tehniku "velikih deformacija" za modeliranje sloma nadgradnje autobusa tokom prevrtanja, sačinjene od tankozidnih cevi. Ova tehnika primenjena je na tankozidnim cevima koje čine nadgradnju velikog autobusa. Pri tome je sa uspehom modelirano ponašanje dvodimenzionalnog rama preko odnosa opterećenja i deformacije.

Koketi (*Cocchetti*) i Majer (*Maier*) su koristili konvencionalnu metodu konačnih elemenata za modeliranje grednih struktura izloženih statičkom opterećenju, uz pretpostavku moguće pojave plastičnih deformacija koncentrisanih u unapred izabranim "kritičnim presecima" [23]. Neelastično ponašanje ovih preseka, tj. stvaranje plastičnih zglobova opisano je deo po deo linearnim sastavnim modelima, dozvoljavajući na taj način očvršćavanje i omekšavanje elemenata strukture u smislu opšteg naponskog stanja i srodnih kinematskih promenljivih veličina. Belingardi (*Belingardi*) i Peroni (*Peroni*) su proučavali lomove tankozidnih greda prouzrokovane dvoosnim savijanjem u sve tri faze fenomena (pre, za vreme i posle loma), koristeći metodu konačnih elemenata [24]. Bažant (*Bažant*) se bavio problemom skaliranja loma greda, ramova i ploča sa plastičnim zglobovima [25]. S obzirom da je dobijanje tačnog analitičkog rešenja za strukture sa više zglobova koji se istovremeno plastično deformišu veoma složeno, Bažant (*Bažant*) je svoje proučavanje usmerio ka asimptotskom slučaju dovoljno velike strukture, koje se u jednom trenutku ne deformišu više od jednog plastičnog zgloba. Armero (*Armero*) i Erlih (*Ehrlich*) su u svom radu [26] predstavili novu analizu konačnih elemenata tankih Ojler-Bernulijevih (*Euler-Bernoulli*) grednih elemenata koji uključuju plastične zglobove uočene tokom deformacije. Predložene metode zasnivaju se na identifikaciji klasičnog pristupa primene plastičnih zglobova kod velikih deformacija na modelima sačinjenim od grednih konačnih elemenata.

Mahadžan (*Mahajan*) i Šah (*Shah*) su razvili automatizovani alat za pre i postprocesiranje analize prevrtanja autobusa u skladu sa UN/ECE Pravilnikom br. 66 [27]. Za tu svrhu su koristili programski paket ALTAIR HYPERWORKS PROCESS MANAGER. Gadekar (*Gadekar*), Kširsagar (*Kshirsagar*) i Anilkumar (*Anilkumar*) su koristili programski paket LS-DYNA 3D kako bi pomoću simulacije optimizirali strukturu autobusa u cilju povećanja bezbednosti putnika [28]. Razvijena metodologija omogućava smanjenje potrebnih računarskih resursa, bolju optimizaciju strukture i skraćenje razvojnog ciklusa autobusa. Čen (*Chan*) je u svom preglednom radu [29], u skladu sa savremenim računarskim tendencijama, predstavio pregled istraživanja nelinearnog ponašanja čeličnih okvira, kao i metode njihove konstrukcije koje omogućavaju optimizaciju okvira. Valjaderes (*Valladeres*), Miralbes (*Miralbes*) i Kastehon (*Castejon*) su razvili numeričku tehniku uz pomoć koje se simulira mehaničko ponašanje segmenata autobusa u slučaju prevrtanja [30]. Razvijeni su različiti numerički modeli za simulaciju ispitivanja uz pomoć metode konačnih elemenata. Rađene su vrlo precizne analize, koje uzimaju u obzir nekoliko parametara koji utiču na analizu, kao što su naponsko stanje i tipovi elemenata koji su korišćeni u modelu. Razmatran je autobus sa 6 prstenova, tako da segment autobusa predstavlja jednu trećinu celokupne nadgradnje autobusa. Korišćen je softver PATRAN za rad sa konačnim elementima, i to kao predprocesor za prvu fazu. U sledećoj fazi primenjeni su granični uslovi i uslovi opterećenja. Konačan numerički proračun rađen je uz pomoć softvera ABAQUS. Park (*Park*), Ju (*Yoo*) i Kvon (*Kwon*) su se u radu [31] fokusirali na razvoj čvrstoće nadgradnje autobusa tokom prevrtanja pomoću simulacije, koristeći komercijalni softver LS-DYNA 3D u početnim fazama razvoja vozila. U tom cilju prvo je modeliran segment nadgradnje autobusa od grednih elemenata, a primenjeni su granični uslovi zahtevani UN/ECE Pravilnikom br. 66. Kao verifikacija rezultata dobijenih na grednom modelu, rezultati dobijeni simulacijom upoređeni su sa rezultatima dobijenim na površinskom modelu. Grupa autora na čelu sa Elitokom (*Elitok*) u radu [32] bavila se dinamičkom analizom prevrtanja autobusa sačinjenog od nerđajućeg čelika, na osnovu kriterijuma definisanih u okviru UN/ECE Pravilnika br. 66. Takođe, obavljena su i različita razmatranja koja nisu predmet Pravilnika (npr. težina putnika i prtljaga),

kao i uticaj sedišta na povećanje čvrstoće nadgradnje. Kao rešenje korišćen je softver LS-DYNA, kao i softveri ANSA i LS-PREPOST kao predprocesori i postprocesori za analizu konačnih elemenata. Gursel (*Gürsel*) i Gursesli (*Gürsesli*) su formirali model nadgradnje autobusa i analizirali ga u skladu sa zahtevima UN/ECE Pravilnika br. 66 [33]. Rezultati dobijeni primenom metode konačnih elemenata upoređeni su sa ispitnim rezultatima dobijenim na segmentu nadgradnje. Segment nadgradnje modeliran je u softveru CATIA u smislu čvrstoće nadgradnje vozila za prevoz putnika.

Kvašnjevski (*Kwasniewski*) i grupa autora su predstavili program za procenu bezbednosti putnika i ponašanja mini-buseva pri saobraćajnim nezgodama, pri čemu su posebnu pažnju posvetili bočnim sudarima i prevrtanju autobusa [34]. Program je napravljen na osnovu nekoliko međunarodnih standarda, među kojima je i UN/ECE Pravilnik br. 66, uz određene izmene u skladu sa procesom konstruisanja mini-busa i važnošću pojedinih strukturnih komponenti prilikom saobraćajnih nezgoda. Programski paket LS-DYNA je korišćen za simulaciju metode konačnih elemenata kao predloženi pristup, uz eksperimentalnu potvrdu numeričke analize verifikacije strukture autobusa. Matolči (*Matolcsy*) je u radu [35] predstavio ozbiljnost saobraćajnih nezgoda u kojima dolazi do prevrtanja autobusa, analizirajući statističke podatke o takvim nezgodama i različite metodologije koje se koriste za ispitivanje struktura autobusa. Takođe, prikazao je i analizirao četvorogodišnju statistiku o preko stotinu nezgoda sa prevrtanjem autobusa [36]. Statistika sadrži podatke o mini-busevima i dvsopratnim autobusima koji tada još uvek nisu bili pokriveni UN/ECE Pravilnikom br. 66. Prikazan je razvoj standardnog testa prevrtanja korišćenog u datom pravilniku i istaknut je problem "ograničene deformacije".

Pored toga, zbog multidisciplinarnosti pristupa rešavanju problema, postoji i veliki broj knjiga koji se bavi ovom problematikom. Samo mali broj njih [37-42] je analiziran u okviru ovog pregleda i doktorske disertacije, ali odabrane knjige u potpunosti pokrivaju analiziranu oblast.

Takođe, tokom eksperimentalnog dela rada na doktorskoj disertaciji proizišao je veći broj radova koji su objavljivani u časopisima i na vodećim međunarodnim i domaćim skupovima, a koji će biti pomenuti u nastavku doktorske disertacije.

5. PREDMET I CILJ ISTRAŽIVANJA

Na osnovu svega što je prezentovano u prethodnim poglavljima, vezano za statističke pokazatelje saobraćajnih nezgoda, aktuelnu regulativu, a naročito za presek istraživanja u ovoj oblasti u svetu na osnovu analizirane dokumentacije, izvedeni su sledeći zaključci:

- Iako statistički podaci govore da su autobusi, u odnosu na druga prevozna sredstva za transport putnika najbezbedniji, pažnja koju mediji posvećuju svakoj nezgodi je velika i nepovoljno utiče na razvoj ove vrste transporta;
- Regulativa koja se bavi ovom problematikom je u današnje vreme prilično razvijena, pri čemu se primećuje intenziviranje aktivnosti u poslednjih nekoliko godina na pooštavanju kriterijuma koje autobusi treba da zadovolje po pitanju pasivne bezbednosti;
- Dosadašnja, a naročito najnovija istraživanja koja se bave problematikom projektovanja struktura autobusa u pogledu čvrstoće, baziraju se na korišćenju komercijalnih softverskih paketa, uz pomoć kojih se formiraju proračunski modeli, koji služe kao osnov za razne analize i proračune. To umnogome skraćuje određene faze projektovanja autobusa, ali je istovremeno nabavka kvalitetnih softvera skupa i postavlja se pitanje njihove isplativosti, naročito za proizvođače koji na tržište izbacuju male serije autobusa različitih namena.

Sve gore pomenute činjenice navode na zaključak da postoji prostor za poboljšanje postojećih metoda u okviru projektovanja autobusa, ili čak i razvoja novih metoda sa potpuno novim referentnim parametrima, a sve sa ciljem unapređivanja bezbednosti svih učesnika u saobraćaju, prvenstveno putnika u autobusima.

Kako bi se pristupilo tom poslu, neophodno je definisati predmet i cilj istraživanja, definisati zadatke u okviru istraživanja, kao i predstaviti očekivane rezultate.

5.1. PROBLEMATIKA I PREDMET ISTRAŽIVANJA

Kao što je već ranije navedeno, proizvođači motornih vozila posvećuju veliku pažnju problemu pasivne bezbednosti učesnika u saobraćaju. Ovo je naročito aktuelno kod autobusa, s obzirom na broj putnika koji se istovremeno nalazi u vozilu.

Zaštita putnika od posledica saobraćajnih udesa predmet je mnogih međunarodnih i nacionalnih propisa. Položaj težišta kod savremenih, naročito visokoturističkih autobusa, predstavlja bitan faktor njihove bočne nestabilnosti, koji može dovesti do prevrtanja. Prevrtanje autobusa, kao najčešći vid udesa autobusa, predstavlja slučaj koji je dosta analiziran, upravo iz razloga bezbednosti putnika, što je dovelo do definisanja propisa i regulative na nacionalnom i međunarodnom nivou. Ovim propisima zahteva se zadovoljavanje određenih parametara čvrstoće konstrukcije i nivo energije koju konstrukcija treba da apsorbuje, kako bi se obezbedio bezbednosni prostor za putnike prilikom prevrtanja.

S druge strane, proces projektovanja predstavlja dugotrajan proces i praktično "put u nepoznato", s obzirom da se pouzdani podaci o karakteristikama konstrukcije mogu dobiti tek ispitivanjima na realnom modelu.

Na osnovu navedenih činjenica, predmet istraživanja usmeren je ka novom pristupu u fazi projektovanja i proračuna struktura autobusa tj. njihovih konstruktivnih elemenata, kao i definisanju metodologije verifikacije takvih struktura u pogledu čvrstoće, sa ciljem zadovoljavanja svih postavljenih zahteva.

Aktivnosti koje treba preduzeti u okviru predmeta istraživanja bile bi prvenstveno okrenute ka inženjerskom pristupu rašavanju problema, razvoju i primeni softvera

koji bi brzom analizom jednostavnih proračunskih modela dali preliminarnu sliku čvrstoće strukture autobusa, kao i nizu eksperimentalnih aktivnosti, kako bi se dobili rezultati koji bi na verodostojan način reprezentovali stvarno stanje strukture autobusa.

5.2. CILJ ISTRAŽIVANJA

Osnovni cilj istraživanja predstavlja analiza i modeliranje veza konačne krutosti, u okviru definisanja metodološkog pristupa za usmereno projektovanje struktura autobusa. Razvijena metodologija bi omogućila verifikaciju struktura u pogledu čvrstoće i zadovoljavanje zahteva postavljenih regulativom, a različite kombinacije veza i profila predstavljali bi bazu podataka plastičnih zglobova i modularnih prstenova, čijim se adekvatnim izborom na jednostavan način i u vremenski kratkom periodu dolazi do realnog koncepta strukture autobusa.

5.3. ZADACI ISTRAŽIVANJA

Osnovni zadaci koji se nameću kroz istraživanje, a koje je neophodno realizovati, mogu se definisati kao:

- Definisanje i analiza problema;
- Analiza dosadašnjih teorijskih i praktičnih dostignuća u ovoj oblasti;
- Određivanje polaznih parametara za ostvarivanje postavljenog cilja;
- Razvoj metodološkog pristupa za usmereno projektovanje struktura autobusa;
- Definisanje kriterijuma za njegovo prihvatanje;
- Definisanje lokacija plastičnih zglobova unutar strukture autobusa i određivanje njihovih karakteristika;
- Formiranje diskretizovanog proračunskog modela strukture;

- Obavljanje niza ispitivanja na različitim uzorcima, sa ciljem verifikacije proračunski dobijenih rezultata ponašanja strukture;
- Analiza postignutih rezultata i smernice daljeg rada;

Takođe, iz cilja istraživanja proizilazi i zadatak da sve aktivnosti u okviru istraživanja dovedu do jednostavne procedure, koja bi u znatnoj meri skratila vreme predviđeno za projektovanje autobusa, a istovremeno i do strukture koja u potpunosti zadovoljava sve zahteve regulative.

5.4. OČEKIVANI REZULTATI

S obzirom na trenutnu situacija u našoj automobilskoj industriji, nerealno je očekivati povratak proizvodnje putničkih i teretnih motornih vozila u pravom smislu te reči, od početnih faza projektovanja, do gotovog proizvoda. S druge strane, velike su mogućnosti u fazi finalizacije proizvoda, tj. proizvodnje nadgradnji, gde nije neophodno korišćenje sofisticirane tehnologije i niza pratećih proizvođača opreme i delova.

Naša automobilska industrija svoju šansu upravo traži u proizvodnji autobusa (nadgradnji), priključnih, specijalnih i radnih vozila, gde adekvatno formirana baza podataka sa konstruktivnim rešenjima nadgradnji umnogome može skratiti i olakšati proces projektovanja.

Očekuje se da rezultati ostvareni kroz doktorsku disertaciju nađu primenu kod domaćih proizvođača autobusa, s obzirom na male serije koje oni izbacuju na tržište, jer bi primena metode usmerenog projektovanja dovela do znatnog smanjenja vremena i troškova u fazi projektovanja, a to bi neminovno dovelo do stvaranja konkurentnijeg proizvoda na tržištu.

6. TEORIJSKA RAZMATRANJA

Opšti oblik udesa autobusa ne može se definisati zbog slučajnog karaktera uslova pod kojima se on odvija. Određena sistematizacija je ipak moguća izborom nekih karakterističnih tipova udesa, kao što su čeonu udar, udar sa zadnje strane, bočni udar i prevrtanje. Svaki od pomenutih tipova udesa podrazumeva različit tok procesa, ali se sistematizacijom povećavaju mogućnosti jasnog definisanja problema, izbora odgovarajuće metode analize i dobijanja prihvatljivih rezultata.

U slučaju prevrtanja autobusa, situacija je da konstrukcija obično pada na spoj stranice i krova pod određenim uglom u odnosu na ravan poda autobusa. Veličina ovog ugla zavisi od oblika terena na kome dolazi do prevrtanja i dinamičkih uticaja.

Savremene karoserije autobusa proizvode se uglavnom od tankozidnih čeličnih cevi. Konstrukcija apsorbuje energiju udara najviše plastičnim deformisanjem komponenata. Usled preopterećenja pojedinih nosača dolazi do njihovog lokalnog plastičnog deformisanja. Uloga ovih lokalnih plastičnih deformacija slična je kao kod zglobova u mehanizmima, pa se ove deformacije nazivaju plastični zglobovi /43/. Karakteristika plastičnog zgloba zavisi od geometrije poprečnog preseka nosača, konstrukcije veze i karakteristika materijala. Izgled jednog tipičnog plastičnog zgloba prikazan je na Slici 6.1.

Slom karoserije autobusa pri prevrtanju je vremenski kratak proces u kome može da se razlikuje nekoliko faza. Početne elastične deformacije konstrukcije linearno se povećavaju sve do pojave plastičnih deformacija, ili nekog drugog izvora nelinearnosti negde na konstrukciji. Posle pojave prvog plastičnog zgloba krutost konstrukcije opada, ali unutrašnja opterećenja nalaze nove puteve kroz konstrukciju, gde dolazi do njihove preraspodele. Dalje povećanje spoljašnjih opterećenja uzrokuje slične efekte na drugim delovima konstrukcije. Svako lokalno

preopterećenje konstrukcije uzrokuje preraspodelu unutrašnjih opterećenja kroz delove konstrukcije čija nosivost još nije u potpunosti iskorišćena. Pomeranja su pri tome znatno veća nego kod normalnih opterećenja. Kada broj plastičnih zglobova postane dovoljan, konstrukcija postaje mehanizam i u tom trenutku konstrukcija obično ima najveću otpornost. U toku kretanja mehanizma dolazi do pojave najvećih deformacija. Najveći deo energije apsorbuje se u plastičnim zglobovima, tako da karakteristike plastičnih zglobova imaju presudnu ulogu na ponašanje konstrukcije u toku prevrtanja.



Slika 6.1. – Izgled tipičnog plastičnog zgloba u strukturi autobusa

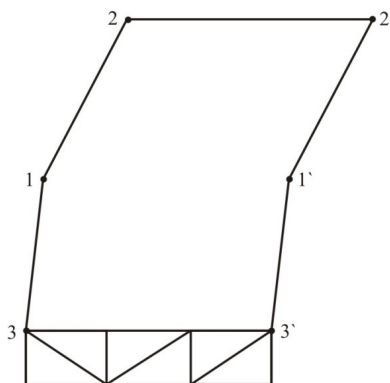
Do pojave plastičnih zglobova pri prevrtanju autobusa obično dolazi na:

- stubovima stranica kod spoja sa podužnim nosačem u nivou donje ivice prozora,
- spoju stubova stranica sa krovom,
- spoju stubova stranica sa podom.

Nabrojani karakteristični plastični zglobovi prikazani su na Slici 6.2 /44/.

Na veličinu plastičnih deformacija konstrukcije najviše utiču zglobovi u tzv. "primarnom" mehanizmu sloma (tačke 1, 1', 2 i 2' na Slici 6.2.), pa se zbog toga nazivaju "primarni" zglobovi. Plastični zglobovi formirani na stubovima stranice u

spoju sa podom ne utiču na veličinu plastičnih deformacija u tolikoj meri kao "primarni" zglobovi, pa se zbog toga obično nazivaju "sekundarni" zglobovi.



Slika 6.2. – Karakteristične lokacije plastičnih zglobova na prstenu autobusa

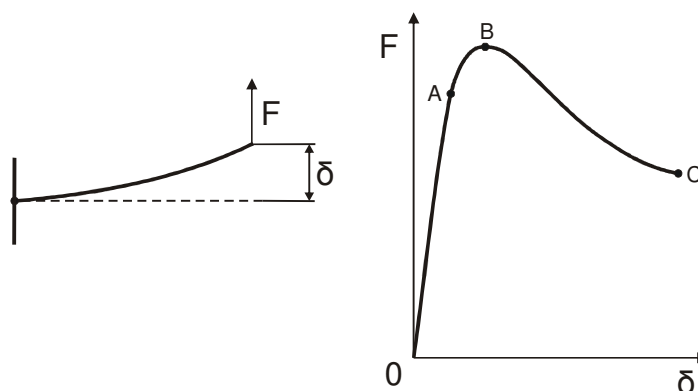
6.1. SLOM NOSAČA I VEZA PRI SAVIJANJU

Najveći deo energije udara u toku sloma konstrukcije apsorbuje se u plastičnim zglobovima.

Tankozidni nosač opterećen na slom savijanjem prolazi u toku opterećivanja kroz tri stadijuma /45/:

1. elastični stadijum, u kome postoji proporcionalnost između opterećenja i deformacije i u kome važi Hukov (*Hooke*) zakon,
2. prelazni elasto-plastični stadijum,
3. plastični stadijum, u kome dolazi do relativno velikih trajnih deformacija.

Na Slici 6.3. prikazan je tipičan dijagram opterećenje – deformacija tankozidne konzole opterećene na slom savijanjem. Na prikazanom dijagramu elastičnom stadijumu odgovara deo krive OA. U ovom delu krive je zavisnost između opterećenja i deformacije linearna, pa opterećenje i rasterećenje konzole ide po istoj liniji.



Slika 6.3. – Tipičan izgled dijagrama opterećenje – deformacija konzolnog tankozidnog nosača

Elastična karakteristika zavisi od:

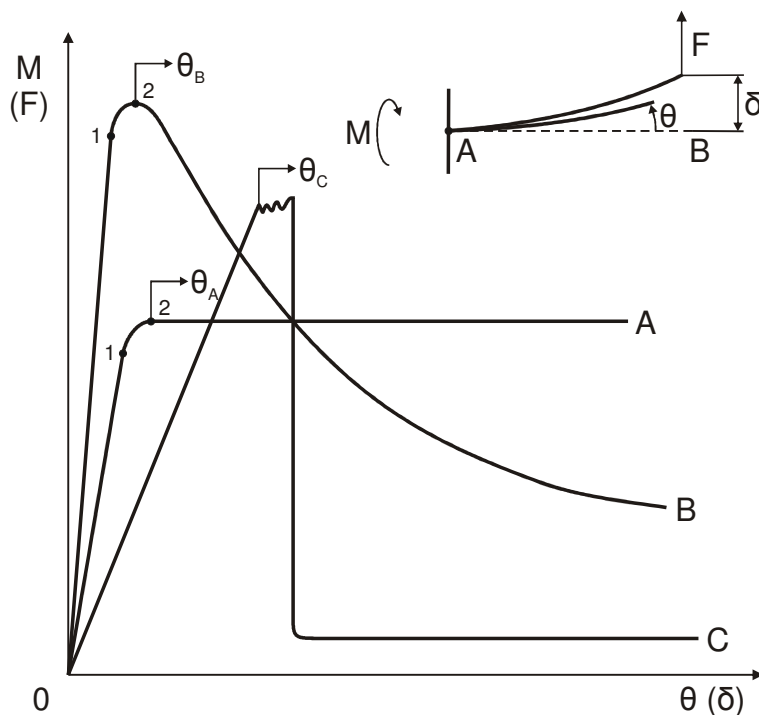
- materijala od kojeg je nosač izrađen,
- elastičnih karakteristika poprečnog preseka,
- krutosti veze.

Daljim opterećivanjem konzole dolazi se u elasto-plastični stadijum, koji je na dijagramu prikazan delom krive AB. Ovde zavisnost između opterećenja i deformacije nije linearna. Opterećenje i rasterećenje nemaju istu karakteristiku, zbog delimične plastifikacije preseka nosača. Kod tankozidnih nosača u prelaznom stadijumu često se javlja i izvijanje pritisnutih zidova preseka, kod kojih je došlo do pojave kritičnog napona izvijanja.

Plastični stadijum odgovara delu krive od tačke B i dalje. U ovom stadijumu zavisnost opterećenja i deformacije je izrazito nelinearna. Opterećenja uglavnom opadaju sa povećanjem deformacija, ili im je gradijent porasta znatno manji nego u elastičnom stadijumu.

U zavisnosti od karakteristika nosača i njegove veze, mogu da se dobiju veoma različite zavisnosti opterećenje – deformacija kraja opterećene konzole. Na Slici 6.4. prikazan je dijagram različitih zavisnosti momenta od ugla rotacije zgloba u

korenu konzole za različite karakteristike materijala, veze nosača i njegovih poprečnih preseka. Sa dijagrama se može uočiti da se karakteristike krutosti, maksimalne otpornosti i sposobnosti apsorbovanja energije bitno razlikuju.



Slika 6.4. – Dijagram zavisnosti moment – ugao konzolnog nosača za različite karakteristike materijala i poprečnih preseka

Krutost konzole je elastična karakteristika definisana nagibom početnog, linearnog dela dijagrama, koji odgovara elastičnom stadijumu. Konzola B ima najveću krutost a konzola C najmanju. Ukupna krutost nosača na konstrukcijama zavisi od elastičnih karakteristika preseka i od krutosti njihovih veza.

Elasto-plastični stadijum se nalazi između tačaka 1 i 2. Razlika vrednosti momenata između tačaka 1 i 2 zavisi od karakteristika materijala i poprečnih preseka. Kod standardnih tankozidnih pravougaonih cevi razlika ovih momenata obično nije velika. Veličina prelaznog stadijuma povećava se sa povećanjem debljine zida preseka. U ovom stadijumu može da dođe do značajnih promena veličine ugla rotacije, što utiče na veličinu pomeranja kraja konzole.

Otpornost konzole predstavlja njenu maksimalnu nosivost opterećenja. Ova veličina ne mora da bude proporcionalna krutosti grede i menja se tokom sloma.

Karakteristike greda u plastičnom stadijumu (od tačke 2 i dalje) ne moraju da budu proporcionalne krutosti grede i zavise od mehanizma i karakteristika lokalnog sloma.

Kriva A karakteristična je za slom greda punih poprečnih preseka i debelozidnih greda zatvorenih poprečnih preseka. Kod ovih preseka posle pojave plastičnih deformacija moment ostaje približno konstantan pri povećanju ugla rotacije plastičnog zgloba. Ugao rotacije plastičnog zgloba predstavlja relativni ugao meren od početka plastičnog stadijuma.

Kriva B karakteristična je za slom tankozidnih greda zatvorenih poprečnih preseka. Karakteristično je da pri pojavi plastičnih deformacija moment opada sa povećanjem ugla rotacije plastičnog zgloba.

Kriva C odgovara slomu grede pri kojem je došlo do cepanja materijala nosača ili njegove veze.

Energija koju su apsorbivale konzole odgovara površini ispod krive opterećenje – deformacija ili moment – ugao. Apsorbovana energija za zadati ugao rotacije ne mora da bude proporcionalna krutosti odnosno otpornosti nosača.

6.2. UTICAJ VEZA NA SLOM KONSTRUKCIJE AUTOBUSA

Pri izradi bezbednosnih konstrukcija teži se da strukturne veze imaju što veću krutost i potrebnu otpornost. Zbog tehnoloških zahteva i cene izrade ovo nije uvek u potpunosti ostvarivo.

Krutost veza može značajno da utiče na veličinu pomeranja konstrukcije. Kako je već napomenuto, pri slomu strukturnih prstenova, najveće deformacije javljaju se kao posledica rotacije "primarnih" plastičnih zglobova "primarnog" mehanizma sloma (vidi Sliku 6.2.). Ukoliko veze u tačkama 1, 1', 2 i 2' nisu dovoljno krute, pomeranja konstrukcije pre pojave plastičnih deformacija mogu da budu znatno veća u odnosu na konstrukciju sa krutim vezama. Kako su ukupne dozvoljene deformacije konstrukcije ograničene UN/ECE Pravilnikom br. 66, tj. definisanim bezbednosnim prostorom, deformacije nastale zbog uticaja veza konačne krutosti umanjuju dozvoljene plastične deformacije konstrukcije i mogućnost apsorbovanja energije udara.

Pored veličine pomeranja, veze konačne krutosti mogu da utiču i na pojavu i osobine plastičnog zgloba. Ukoliko je otpornost veze manja od otpornosti nosača, plastični zglob će se pojaviti u vezi, a ne u nosaču. Ovo može značajno da umani otpornost i ukupnu energiju koju zglob može da apsorbuje. Pri konstruisanju, zbog toga, uvek treba imati u vidu i moguća ponašanja strukturnih veza, a ne samo nosača.

Projektovanjem veza nešto manje otpornosti od nosača i sa velikom sposobnošću apsorbovanja energije može da se, bar u principu, ostvari mogućnost korišćenja lakših nosača, projektovanih tako da zadovolje samo uslov maksimalne otpornosti, bez zahteva za dobro apsorbovanje energije.

Na osnovu iznetog može se zaključiti da veze nosača na nosećim strukturama autobusa, sa stanovišta proračuna na prevrtanje, mogu da imaju značajan uticaj na veličinu ukupnih pomeranja i proces apsorbovanja energije udara. Adekvatnom konstrukcijom veza nosača obezbeđuje se potrebna krutost i otpornost veza, što utiče na veličinu pomeranja nosača i sposobnost apsorbovanja energije.

7. METODOLOGIJA USMERENOG PROJEKTOVANJA STRUKTURA AUTOBUSA

Očigledno je da je proces definisanja nadgradnje koja zadovoljava sve postavljene zahteve veoma složen, s obzirom da je neophodan temeljan pristup od početnih faza projektovanja, pa sve do realizacije predviđenih ispitivanja. Pri tome je neophodno postići određeni nivo optimizacije nadgradnje, jer su masa s jedne i određena čvrstoća s druge strane, ograničavajući faktori. Proces je utoliko složeniji jer je sve ovo neophodno sprovesti za različite vrste i kategorije autobusa.

U okviru ovog poglavlja prezentovan je razvijeni metodološki pristup formiranju modularnih prstenova nadgradnje, koji predstavlja osnov metodologije usmerenog projektovanja. On se sastoji od nekoliko osnovnih faza /46/:

- definisanje ulaznih podataka neophodnih za rad,
- definisanje procedura ispitivanja uzoraka prstenova nadgradnje i njegovih komponentata, sa ciljem lociranja plastičnih zglobova i određivanja njihovih karakteristika,
- formiranje redukovanih grednih modela modularnih prstenova nadgradnje i njihov numerički proračun,
- eksperimentalna verifikacija rezultata dobijenih numeričkim proračunom,
- definisanje kriterijuma za prihvatanje ili odbacivanje rezultata ispitivanja.

7.1. ULAZNI PODACI NEOPHODNI ZA RAD

U početnoj fazi neophodno je definisati ulazne podatke, kao i početne uslove i aproksimacije koje nam mogu biti od pomoći da se dođe do brzog i jednostavnog rezultata.

Osnovna stvar koju treba uraditi je definisanje vrste i namene autobusa za koji je neophodno formirati strukturu koja je predmet ispitivanja. Tu postoje dve mogućnosti:

- ispitivanje strukture već postojećeg tipa autobusa,
- ispitivanje strukture autobusa koji je u početnim fazama projektovanja.

Ukoliko se radi o već postojećem tipu autobusa, neophodno je odrediti materijal koji je korišćen za izradu strukture, zatim formirati jednostavan gredni redukovani model na kome će se obaviti numerički proračun.

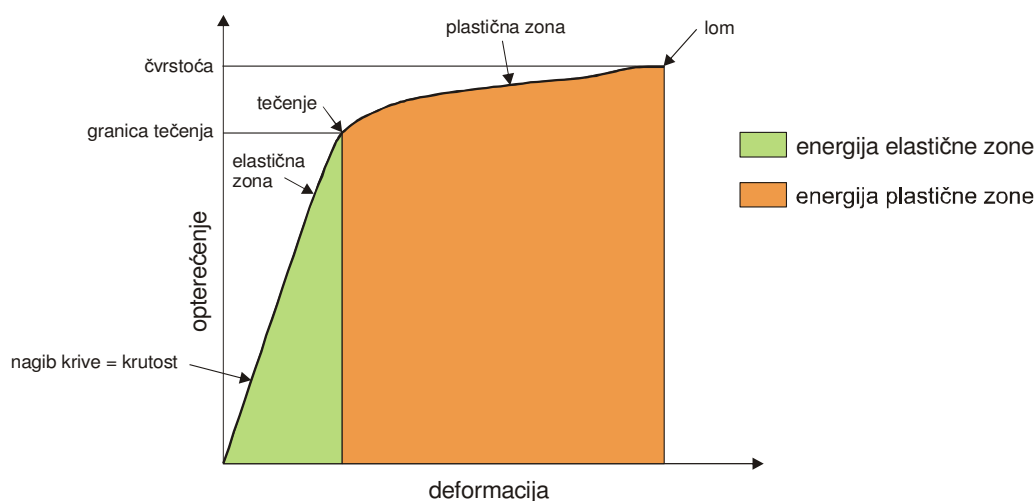
U slučaju projektovanja potpuno novog tipa autobusa, posao je znatno kreativniji i zahtevniji, jer je neophodno definisati i najsitnije detalje kako bi se dobili osnovni podaci neophodni za dalje faze usmerenog projektovanja. Tu se prvenstveno misli na izbor materijala, jer je jako bitno kako materijal utiče na ponašanje strukture tokom ispitivanja.

7.1.1. Definisane karakteristike materijala i poprečnog preseka nosača

Naime, regulativom je definisan određeni nivo energije koji konstrukcija treba da apsorbuje, kako bi se zadovoljio uslov odgovarajuće čvrstoće. Poznato je da energija predstavlja površinu ispod krive opterećenje – deformacija ili moment – ugao (videti Sliku 7.1.), pa je za nivo željene energije veoma bitno u kakvom odnosu stoje veličine koje utiču na oblik krive. Materijal mora biti tako izabran da ima određenu čvrstoću, ali istovremeno da bude i dovoljno elastičan, tj. da omogući deformaciju prilikom dejstva sile, kako bi se postigao zadovoljavajući nivo apsorbovane energije.

Dalje, neophodno je voditi računa o profilu elemenata strukture koji se koriste na konstrukciji, jer karakteristike poprečnog preseka, pored materijala, direktno utiču na nivo apsorbovane energije strukture. Uobičajeno je da se koriste zatvoreni tankozidni profili, ali se različitim kombinacijama mogu dobijati pojedinačni

specifični elementi koji treba da obezbede lokalno povećanje čvrstoće strukture, sa ciljem postizanja većeg nivoa apsorbovane energije /47/. Neophodno je sprečiti pojavu pucanja elemenata strukture tokom ispitivanja, jer ukoliko ispitivani element iz određenih razloga pukne tokom ispitivanja, vrednost sile (momenta) drastično pada, tako da i pored velike deformacije (ugla) ne možemo ni približno postići traženi nivo energije.



Slika 7.1. – Definisane energije sa dijagrama opterećenje - deformacija

Takođe, ovde do izražaja dolazi iskustvo koje se stiče prethodnim radom i nizom eksperimenata koje je neophodno obaviti, kako bi relativno brzo došli do željenih karakteristika materijala i preseka. Tu se mogu uzeti u obzir i razni nestandardni uticaji na karakteristike nosivosti elemenata strukture, kao što je popunjavanje nosača purpenom ili sličnim materijalima, kao i upotreba različitih vrsta sendvič-panela. Upotreba ispune nosača prvenstveno ima funkciju sprečavanja pojave unutrašnje korozije, koja dovodi do drastičnog pada karakteristika elemenata strukture tokom vremena, ali može dovesti i do određenog nivoa povećanja čvrstoće, što u svakom slučaju povoljno utiče na zadovoljavanje zahteva za apsorbovanje određenog nivoa energije.

U svakom slučaju, ova početna faza ima presudan značaj za kompletan dalji tok procesa projektovanja, jer nepovoljnim izborom materijala i poprečnog preseka

tek na kraju kompletnog procesa možemo ustanoviti da struktura ne zadovoljava postavljene zahteve, što dovodi do vraćanja kompletne procedure na sam početak.

7.1.2. Polazne pretpostavke

Pre nego što se krene u dalje faze projektovanja, neophodno je definisati i određene aproksimacije, sa ciljem optimizacije procesa proračuna, kao i dobijanja adekvatnih rezultata koji se mogu smatrati merodavnim.

Osnovne pretpostavke koje su neophodne za kompletnu verifikaciju metodologije usmerenog projektovanja su:

- ponašanje plastičnih zglobova kao izolovanih zona u prstenu ili na strukturi mora biti sledljivo, tj. do značajnih deformacija unutar strukture može doći samo na tim mestima,
- u globalnoj podeli ukupne energije koju treba da apsorbuje struktura na prstenove i određene module, mogu se koristiti i ranije postignuta i proverena rešenja, uvođenjem na celovit, sveobuhvatan i zahtevan način u integralni model strukture,
- modeliranje prstena treba da predstavlja zbir plastičnih zglobova i redukovanih modela sa njihovim karakteristikama; posledica ovoga je da se plastični zglobovi, ali i kompletan prsten, ponašaju kao u eksperimentu, tj. da imamo realan odziv.

Na osnovu ovakvih pretpostavki može se pristupiti daljim koracima u ostvarivanju procedure pretpostavljene metodologije.

7.2. DEFINISANJE LOKACIJA I KARAKTERISTIKA PLASTIČNIH ZGLOBOVA

Sagledavajući prethodno prezentovana teorijska razmatranja, zaključeno je da je definisanje lokacija i karakteristika plastičnih zglobova unutar konstrukcije ulazni parametar za sve dalje analize i proračune.

Shodno tome, neophodno je za određenu strukturu definisati prvo lokacije plastičnih zglobova, a zatim i njihove karakteristike. U tu svrhu neophodno je obaviti niz ispitivanja elemenata konstrukcije za koje se pretpostavlja da će se na njima pojaviti plastični zglobovi.

Samom metodologijom, modularni prstenovi nadgradnje definisani su kao osnovni elementi koji treba da budu nosioci čvrstoće kompletne strukture, pa je samim tim i lokacija plastičnih zglobova usmerena na njih. U teorijskim razmatranjima već su date karakteristične lokacije plastičnih zglobova unutar karakterističnih prstenova nadgradnje (videti Sliku 6.2.). Takva pretpostavka karakterističnih lokacija dobijena je nizom ispitivanja koja se obavljaju na elementima konstrukcije, ali i analizom ponašanja konstrukcija autobusa i tokom saobraćajnih nezgoda pri kojima je došlo do prevrtanja autobusa.

Na osnovu tako pretpostavljenih lokacija, neophodno je obaviti ispitivanja na elementima strukture i karakterističnim prstenovima, sa ciljem verifikacije lokacija plastičnih zglobova, ali i određivanja karakteristika plastičnih zglobova, koje su nam neophodne za naredne faze projektovanja /48/.

U tom smislu predviđeno je ispitivanje elemenata klasičnim metodama unošenja opterećenja i pravljenja zapisa opterećenje – deformacija i moment - ugao, ali i korišćenjem savremenih tehnologija, radi dobijanja uporednih rezultata i verifikacije dobijenih karakteristika plastičnih zglobova. Ova ispitivanja, osim dobijanja karakteristika plastičnih zglobova, treba da daju potvrdu da otkazi u smislu pucanja (kidanja) materijala u zoni plastičnih zglobova nastaju značajno nakon deformacija koje su interesantne u pogledu sigurnosnog prostora, koji mora

ostati nepovređen prema zahtevima UN/ECE Pravilnika br. 66. Takođe, mogu nam poslužiti i kao osnov za definisanje kritičnih zona plastičnih deformacija prstena na kojima je eventualno potrebno izvršiti određene konstruktivne korekcije, sa ciljem postizanja adekvatnijih karakteristika prilikom prihvatanja ukupne energije deformacije prstena.

7.2.1. Konvencionalno ispitivanje karakteristika plastičnih zglobova

Za ovu vrstu ispitivanja koristimo konvencionalnu opremu, koja se sastoji od davača pomeranja, davača sile, akvizicione jedinice i računara. Procedura ispitivanja je jednostavna, neophodno je uzorak a pravilan način pričvrstiti za podlogu, davače postaviti na predviđene lokacije i delovati silom na način koji je predviđen regulativom.

Ova ispitivanja obavljaju se i na elementima i na samom prstenu, kako bi se na taj način verifikovale lokacije plastičnih zglobova i dobile njihove karakteristike (videti Sliku 7.2.).



a)



b)

Slika 7.2. – Ispitivanje prstena i elemenata strukture

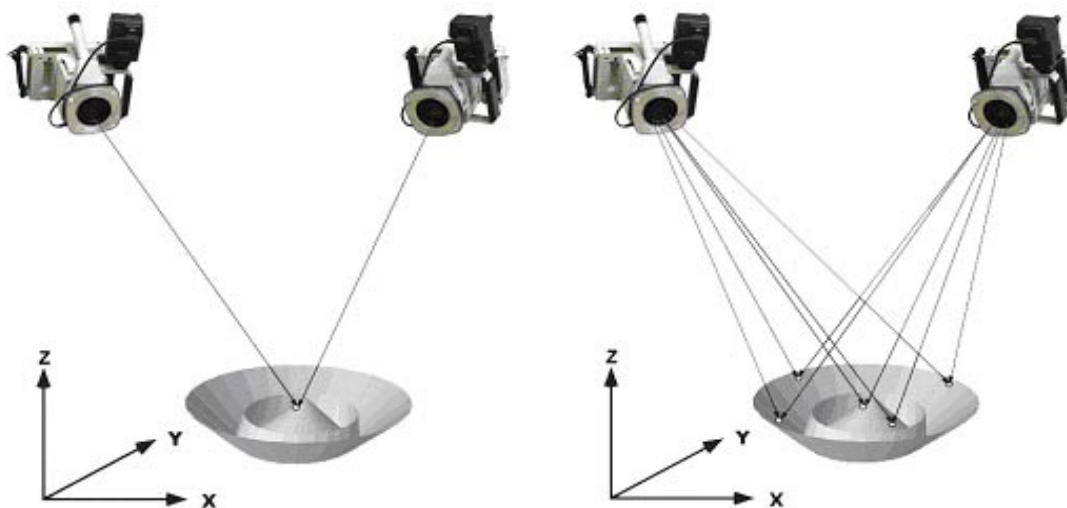
Ova vrsta ispitivanja je veoma jednostavna, što zbog već pomenute jednostavne konvencionalne opreme, tako i zbog jednoznačno dobijenih rezultata, sa jasnim prikazima i očitavanjima. Takođe, i priprema ispitivanja je veoma jednostavna i brza, a ne zahteva se nikakva posebna tehnologija tokom ispitivanja.

Radi verifikacije dobijenih rezultata, korišćena su i savremena bezkontaktna optička merenja. Kratko objašnjenje fotogrametrijskih metoda dato je u nastavku.

7.2.2. Fotogrametrijska ispitivanja

Fotogrametrija je nauka o merenjima uz pomoć fotografija (*photo* – svetlost, *gram* – crtež, *metry* – merenje) /49/. To je tehnika merenja koja koristi fotografije, kao osnovni metrološki medijum, za određivanje geometrijskih osobina objekta. Tehnika uključuje digitalizaciju slikanog modela objekta pre i posle pojave deformacija.

Triangulacija je metod korišćen u fotogrametriji, kojim se dobijaju 3D položaji tačaka (videti Sliku 7.3.).



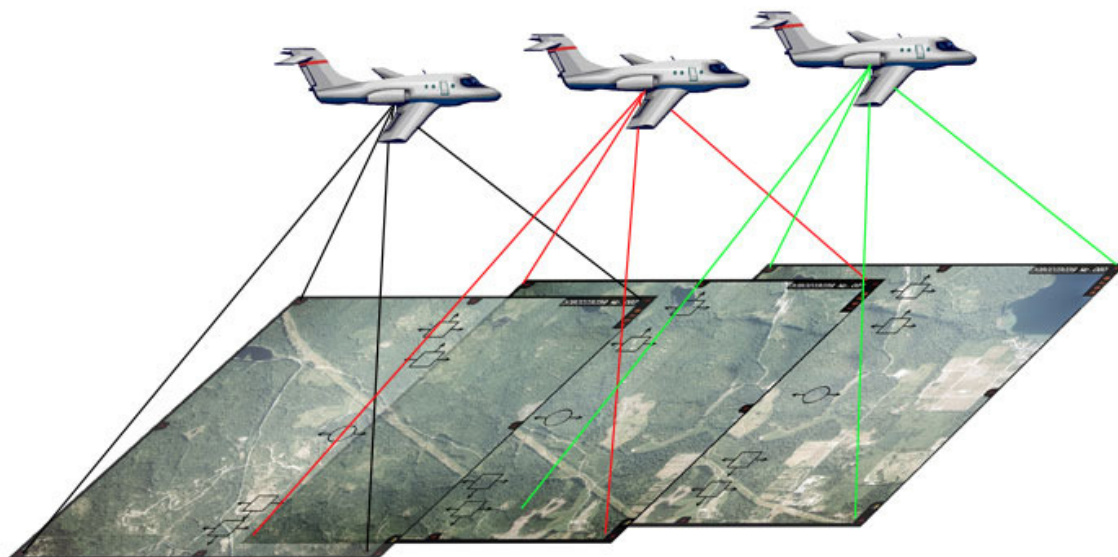
Slika 7.3. – Triangulacija sa jednom ili više tačaka

Izlaz fotogrametrije je uobičajeno mapa, crtež ili 3D model nekog realnog objekta ili mesta. Mnoge od mapa koje danas koristimo napravljene su uz pomoć fotogrametrije i fotografija napravljenih iz aviona.

Tipovi fotogrametrije

Fotogrametrija se može klasifikovati na različite načine, ali jedan od osnovnih je podela na osnovu položaja kamere tokom fotografisanja. Na tim osnovama imamo fotogrametriju iz vazduha i fotogrametriju na blizinu.

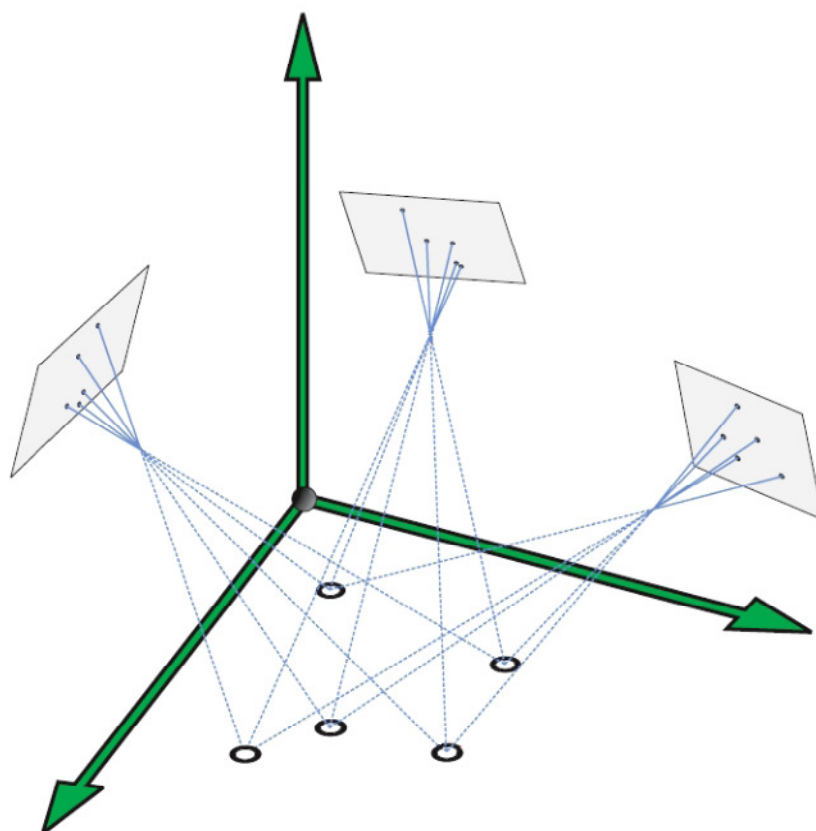
Kod fotogrametrije iz vazduha kamera je postavljena na letelicu i obično je usmerena vertikalno naniže prema tlu. Tokom preleta aviona na putanji prave se višestruke fotografije koje pokrivaju tlo (videti Sliku 7.4.). Ove fotografije se obrađuju na stereo ploteru (uređaj koji omogućava operateru da istovremeno vidi dve fotografije u stereo pogledu). Ove fotografije se takođe koriste u automatskoj obradi za stvaranje digitalnog prostornog modela.



Slika 7.4. – Primer fotogrametrijskih zapisa iz vazduha

Kod fotogrametrije na blizinu kamera se nalazi blizu objekta i postavlja se na stalak. Obično ovaj tip fotogrametrijskog rada nije topografski – izlaz nisu topografski objekti, kao modeli terena ili topografske mape, već crteži i 3D modeli.

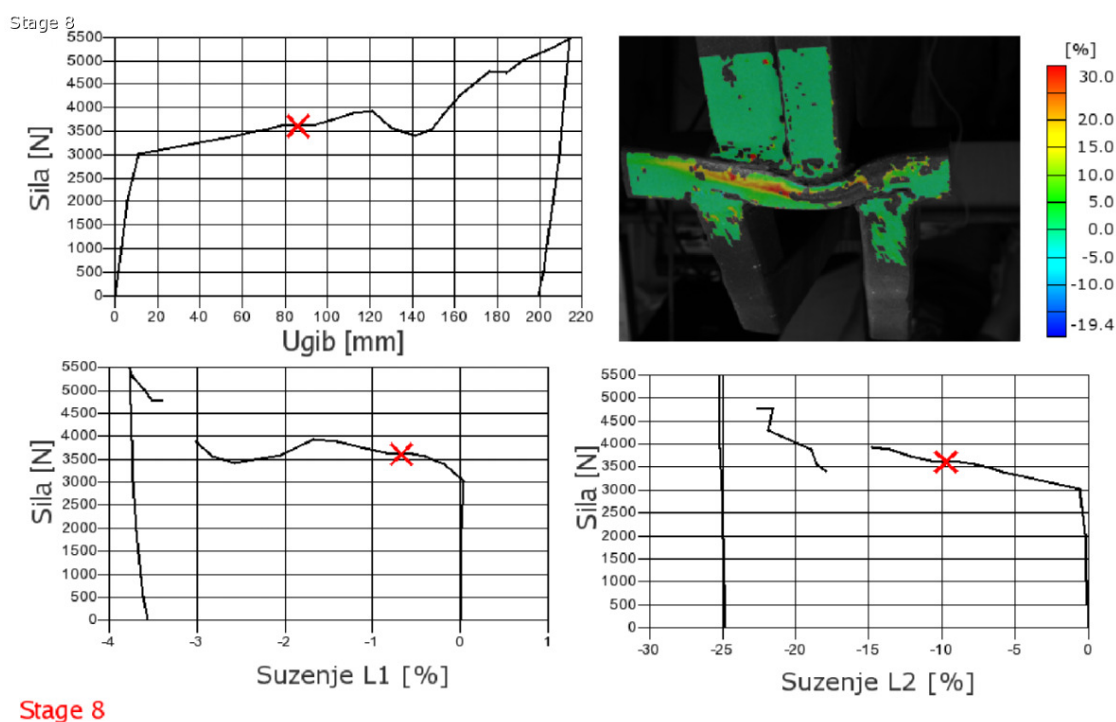
Pravljenjem fotografija sa najmanje dve različite pozicije mogu biti konstruisane takozvane “linije vidljivosti” od svake kamere do tačke na objektu (videti Sliku 7.5.). Matematičkim presecanjem linija u prostoru, moguće je veoma precizno odrediti poziciju tačke u prostoru. Fotogrametrijskim mernim uređajima moguće je meriti pozicije više tačaka istovremeno, pri čemu je korišćeni hardver jedino ograničenje u pogledu broja tačaka.



Slika 7.5. – Povezanost fotogrametrijskih fotografija

Kamere se svakodnevno koriste za modeliranje građevina, inženjerskih struktura, vozila, forenzička ispitivanja, uviđaje, filmske scenografije, ...

Fotogrametrijska merenja su bezdimenziona, odnosno gledajući fotografiju nemamo informaciju o veličini snimljenog objekta. Ukoliko u merni volumen postavimo neki objekat poznate veličine dobijamo potpuniju informaciju o karakteristikama merenog objekta. Pri fotogrametrijskim merenjima u mernom volumenu potrebno je imati najmanje jednu poznatu dužinu. Ukoliko poznajemo stvarne koordinate nekih referentnih tačaka, možemo odrediti njihova međusobna rastojanja i iskoristiti ih za davanje dimenzija merenom objektu. Druga mogućnost je korišćenje referentnih tačaka sa konstantnim međusobnim rastojanjem, izvedenih u obliku referentnih mernih štapova, koji se postavljaju u merni volumen. Rastojanje između referentnih tačaka određuje se mernim mašinama visoke tačnosti, a štapovi su napravljeni od legura koje imaju zanemarljiv koeficijent linearnog širenja u određenom temperaturskom rasponu.

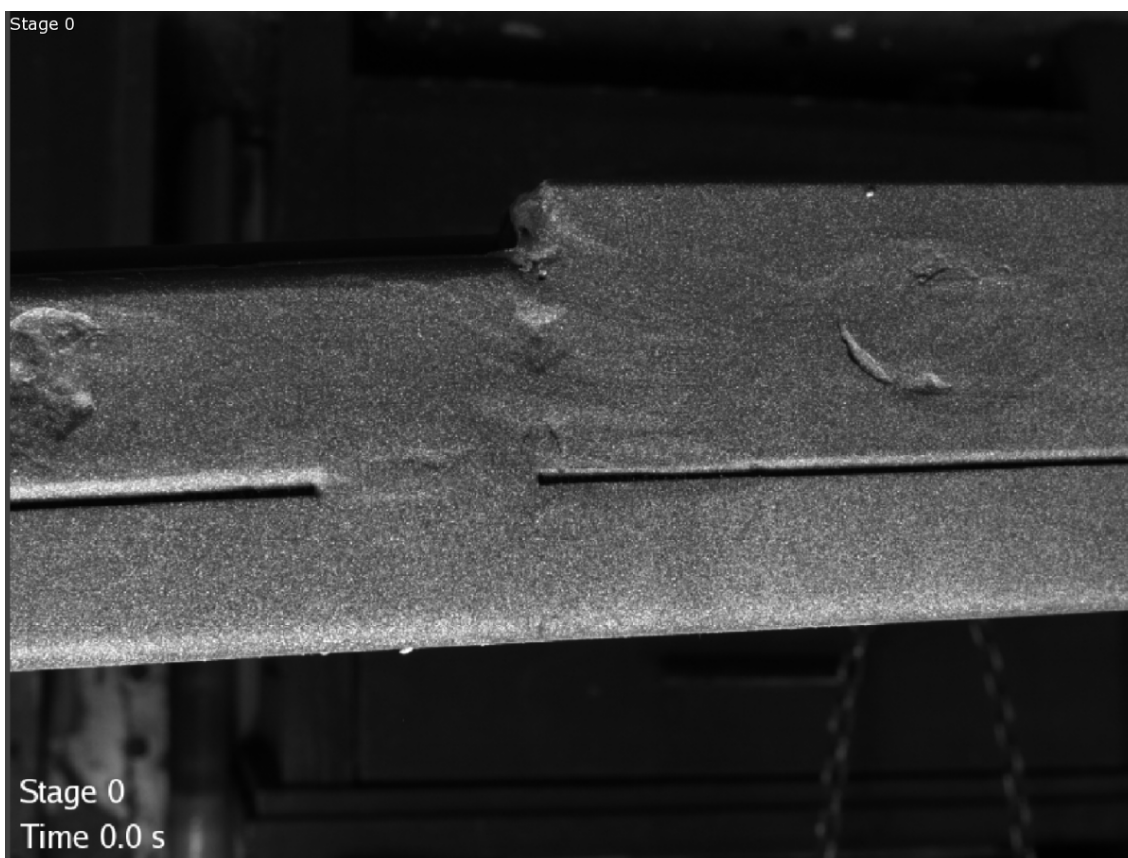


Slika 7.6. – Karakterističan prikaz rezultata fotogrametrijskog ispitivanja

Primenom fotogrametrijskih ispitivanja na elemente konstrukcija mogu se dobiti veoma različiti podaci. Na primer, ukoliko se radi samo fotogrametrija, mogu se dobiti naponska stanja u ispitivanim elementima, i to tokom svih faza ispitivanja.

Ukoliko se pri tome mere deformacije i primenjena sila, dobija se velika količina podataka, sa kojima se mogu raditi veoma različite analize. Prikaz jednog ispitivanog elementa, sa dijagramima različitih analiza koje se mogu obaviti kroz ceo tok ispitivanja, dat je na Slici 7.6.

Priprema uzorka za ispitivanje ovom metodom je takođe specifična, jer se zahteva čišćenje snimane površine, a zatim premazivanje penetrantom, tj. nekom materijom koja može ostvariti kontrastnu sitnozrnastu strukturu na ispitivanom uzorku. Na taj način omogućuje se kamerama da lociraju tačke i prate njihovo pomeranje tokom ispitivanja. Što su zrnasta struktura i kontrast finiji, to je i kvalitet dobijenih podataka veći. Izgled pripremljenog uzorka za ispitivanje, sa nanetim penetrantom, prikazan je na Slici 7.7.



Slika 7.7. – Izgled dobro pripremljenog uzorka za ispitivanje

Načelno se fotogrametrija može koristiti i za ispitivanje kompletnih prstenova nadgradnje, ali realan problem predstavlja površina koju treba pokriti kamerama i snimati veliki broj podataka o pomeranju tačaka. Zbog te velike površine nismo u mogućnosti da na kvalitetan način pratimo dovoljan broj tačaka na strukturi, pa je zbog toga neophodno segmentno snimanje određenih zona u kojima dolazi do značajnijih deformacija i koje su interesantne sa stanovišta ispitivanja.

Naravno, postoji mogućnost i pokrivanja velikih površina kamerama, ali je za takva ispitivanja neophodno nabaviti kamere sa znatno većom rezolucijom, što u velikoj meri poskupljuje proces ispitivanja. Osim toga, proces kalibracije je dosta složeniji, a dobijeni rezultati nisu tako precizni kao u slučaju primene fotogrametrijskih ispitivanja na bliže lociranim delovima strukture, u ovom slučaju na plastičnim zglobovima.

7.3. MODELIRANJE I NUMERIČKI PRORAČUN ELEMENATA STRUKTURE

Nakon definisanja karakteristika plastičnih zglobova, prelazi se na sledeću fazu, a to je formiranje proračunskog modela. Kao što je već napomenuto, ceo prsten i njegove elemente koji sadrže plastične zglobove menjamo redukovanim grednim modelom. Za takav gredni model su već poznati neki parametri:

- lokacije plastičnih zglobova,
- karakteristike plastičnih zglobova,
- ukupna energija koju svaki prsten, a samim tim i svaki plastični zglob, može da apsorbuje,
- ponašanje strukture do određenih deformacija.

Gredni model je izabran zbog jednostavnosti i brzine modifikacija koje se mogu na njemu vršiti. Zone koje nisu izložene deformacijama ne moraju da se rade detaljno, dok zone plastičnih zglobova treba predstaviti detaljnim modelima.

Osnovni cilj ove faze usmerenog projektovanja je da se iterativnim postupcima polako prilazi kriterijumu za predviđenu raspodelu energije. Ono što je pogodnost koju možemo koristiti kao alat u iterativnim postupcima je da sve karakteristike plastičnih zglobova možemo korigovati u toku proračuna, u zavisnosti od nastalih realnih deformacija tokom eksperimentalnog dela.

Takođe, ovde se možemo pozabaviti i eksperimentisanjem sa promenljivim dizajnom konstrukcije. Dovoljno je unositi nove karakteristike preseka i eventualno menjati karakteristike korišćenih materijala, uz uslov da su lokacije plastičnih zglobova nepromenljive. Na osnovu toga se radi eksperimentalna verifikacija, uz napomenu da je neophodno eksperimentalno potvrditi i uporediti rezultate ponašanja plastičnog zgloba kao izdvojene celine i u okviru prstena.

Efekti numeričkog proračuna su da se radi o jednostavnom, brzom, interaktivnom postupku, gde su ciklusi optimizacije konstrukcije veoma efikasni i konvergiraju zadovoljavajućim rezultatima. Uz detaljnu analizu parcijalnih zona strukture ostvaruje se realni uticaj na ponašanje prstenova i same strukture u celini, uz obezbeđivanje stalne veze između strukture kao celine i pojedinih njenih segmenata predstavljenih u vidu karakterističnih prstenova.

7.3.1. Proračun struktura primenom računara

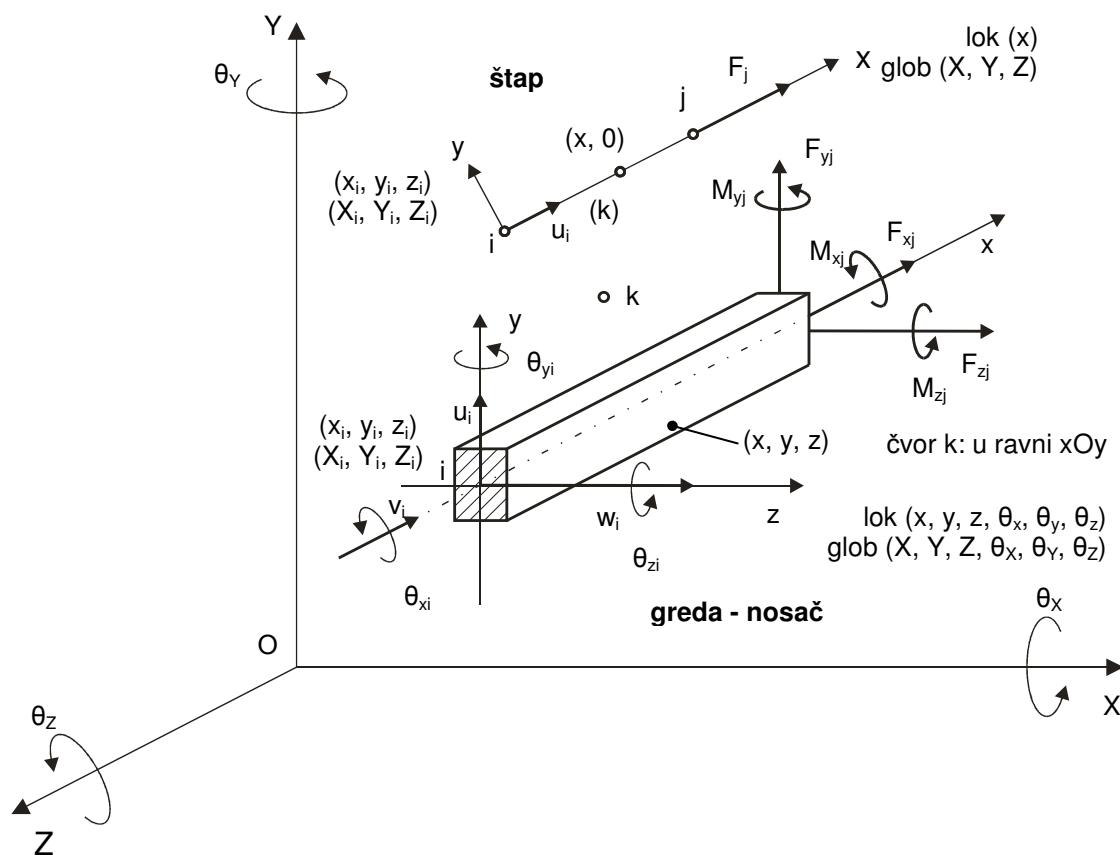
Proračun struktura primenom računara je složen postupak koji zahteva poznavanje klasičnog pristupa proračunu, uz primenu novih metoda i tehnika. Primenom računara inženjerske aktivnosti se dovode na viši tehnološki nivo i omogućava se kompleksna identifikacija ponašanja struktura. Ne može se izostaviti činjenica da čovek ostaje najvažniji faktor procesa projektovanja i proračuna definišući tehnička ograničenja i opterećenja strukture. Nijedan računar, naime, ne može da zameni čovekovu kreativnost i intuiciju, već mu samo može omogućiti da postane daleko efikasniji. Kako bi se ostvarili svi postavljeni zahtevi, potrebna je stalna nadogradnja znanja inženjera i razvoj novih metoda i tehnika proračuna.

Predmet razmatranja u ovom slučaju jeste proračun struktura primenom metode konačnih elemenata (MKE). Metoda konačnih elemenata predstavlja savremenu numeričku metodu čija je osnovna ideja iznalaženje rešenja komplikovanih problema približnim numeričkim postupkom. Kontinualna (neprekidna) struktura se idealizuje podelom (diskretizacijom) na male elemente pravilnog geometrijskog oblika (linijske, površinske i zapreminske) koji se nazivaju konačni elementi. Ponašanje konačnih elemenata se relativno jednostavno opisuje što omogućava modeliranje i proračun kompleksnih struktura i problema. Zajednička tačka susednih elemenata se naziva čvor, odnosno čvorna tačka. Važna osobina čvorne tačke je da je pomeranje svih susednih elemenata u njoj isto, pa se ponašanje cele strukture opisuje preko čvornih tačaka modela. Kada se iz matrične jednačine ravnoteže dobije polje pomeranja čvorova, na osnovu njega se mogu odrediti deformacije i naponi konačnih elemenata, a samim tim i tačaka strukture /50/.

Naponsko stanje u strukturi zavisi od geometrije noseće strukture (rasporeda i dimenzija nosećih elemenata), opterećenja i načina oslanjanja, a ne zavisi od vrste materijala. Svako neznatno smanjenje napona i njegove koncentracije, koje se može postići ovakvim pristupom, omogućava veliko produženje eksploatacionog veka strukture i povećanje njene pouzdanosti.

Proračun struktura primenom računara pomoću metode konačnih elemenata omogućava:

- modeliranje i proračun složenih struktura i problema,
- određivanje stvarne slike pomeranja i napona,
- određivanje stvarnog ponašanja strukture i njenih elemenata,
- pouzdanu prognozu reagovanja strukture u eksploataciji,
- dobijanje elemenata za odlučivanje (režim rada, sanacija, rekonstrukcija, optimizacija i potvrđivanje izbora konceptijskog rešenja),
- određivanje uzroka lošeg ponašanja ili popuštanja strukture,
- procenu eksploatacionog veka i vremena pouzdanog rada strukture.

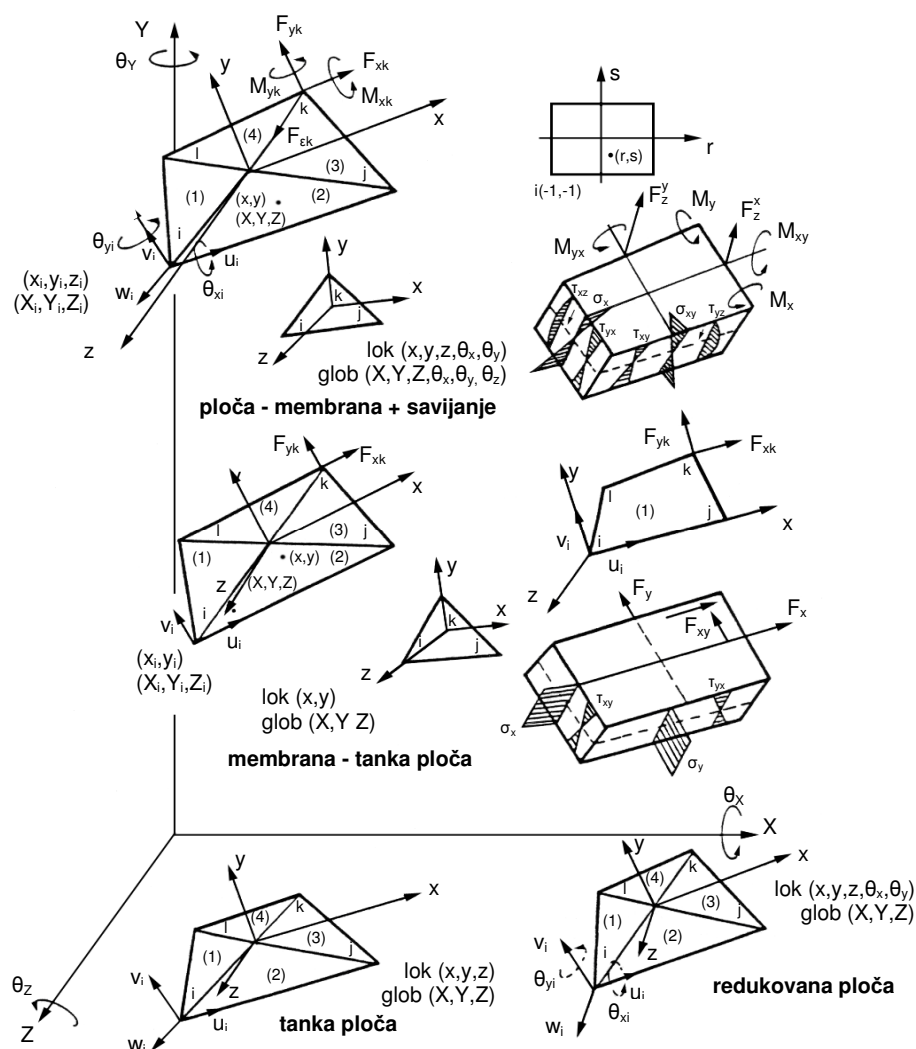


Slika 7.8. – Neki od osnovnih konačnih elemenata: štap i greda-nosač

Metoda konačnih elemenata pri statičkoj analizi struktura sastoji se iz sledećih koraka:

1. Modeliranje, idealizacija i diskretizacija strukture. Izbor tipa, broja, veličine i raspodele elemenata predstavljaju najvažnije funkcije modeliranja problema;
2. Izbor pravog interpolacionog modela za polje pomeranja. Modeli se uglavnom daju u formi polinoma. Oni treba da obezbede pretpostavljeni model pomeranja, deformacije i napona konačnog elementa;
3. Formiranje matrica krutosti i vektora opterećenja konačnih elemenata. Sve veličine konačnog elementa se izračunavaju u koordinatnom sistemu elementa (lokalni) i koordinatnom sistemu strukture (globalni);

4. Sastavljanje ukupne (globalne) matrice krutosti, vektora opterećenja i graničnih uslova strukture. Svaka matrica krutosti i vektor opterećenja konačnog elementa dodaje se na mestima definisanim globalnim rednim brojem čvorova elementa, kao i granični (konturni) uslovi;
5. Rešavanje nepoznatih pomeranja čvorova iz jednačina statičke ravnoteže (sistem linearnih algebarskih jednačina);
6. Izračunavanje deformacije i napona konačnih elemenata;
7. Izračunavanje napona tačaka strukture.



Slika 7.9. – Neki od osnovnih konačnih elemenata: ploča, membrana, tanka ploča i redukovana ploča

Na Slici 7.8. i Slici 7.9. predstavljeni su osnovni konačni elementi, gde su ujedno dati lokalni (x, y, z) i globalni (X, Y, Z) koordinatni sistemi, kao i lokalni i potrebni globalni stepeni slobode. Takođe su date i sile u čvorovima elemenata, kao i sile i naponi u preseku elemenata.

Ukratko će biti prikazane osnove matričnog računa koji se primenjuje u metodi konačnih elemenata. Osnovna statička jednačina u matričnom obliku u globalnom koordinatnom sistemu glasi:

$$[K][\delta] = [F]$$

gde je:

$$[K] = \sum_{(k)=1}^m [k_{rs}]_{(k)} - \text{globalna (ukupna) matrica krutosti}$$

$$[\delta] = [\delta_1 \delta_2 \delta_3 \dots \delta_r \dots \delta_n]^T - \text{globalna matrica vektora nepoznatih pomeranja}$$

$$[F] = [F_1 F_2 F_3 \dots F_r \dots F_n]^T - \text{globalna matrica vektora opterećenja}$$

δ_r - vektor pomeranja čvora $r, s = 1, 2, 3 \dots n$ (translacije i rotacije)

F_r - vektor opterećenja čvora $r, s = 1, 2, 3 \dots n$ (translacije i rotacije)

n - ukupan broj tačaka modela

m - ukupan broj elemenata modela

$$[k_{rs}]_{(k)} = [T]^T [\bar{k}_{rs}] [T] - \text{matrica krutosti konačnog elementa u globalnom sistemu}$$

$[T]$ - matrica transformacije lokalnog i globalnog sistema

$$[\bar{k}_{rs}] = \iiint_V [B]^T [D] [B] dV - \text{matrica krutosti konačnog elementa u lokalnom sistemu}$$

$[D]$ - matrica elastičnosti materijala

$[B] = [L][N]$ - matrica veza deformacije i pomeranja

$[L]$ - matrica diferencijalnih operatora problema

$[N]$ - matrica funkcije oblika konačnog elementa

$[\sigma] = [D][\varepsilon]_{(k)} = [D][B][\delta]_{(k)}$ - matrica vektor napona

$[\varepsilon]_{(k)}$ - matrica vektor deformacije konačnog elementa

Osnovna dinamička jednačina u matičnom obliku u slučaju prinudnih prigušenih oscilacija glasi:

$$[A][\ddot{\delta}] + [B][\dot{\delta}] + [C][\delta] = [F(t, \omega)]$$

gde je:

$[A]$ - matrica inercije

$[B]$ - matrica prigušenja

$[C]$ - matrica krutosti

$[\ddot{\delta}]$ - matrica vektora ubrzanja

$[\dot{\delta}]$ - matrica vektora brzine

$[\delta]$ - matrica vektora pomeranja

$[F(t, \omega)]$ - prinudni vektor sila u vremenskom ili frekventnom domenu

ω_r - r -ta sopstvena frekvencija

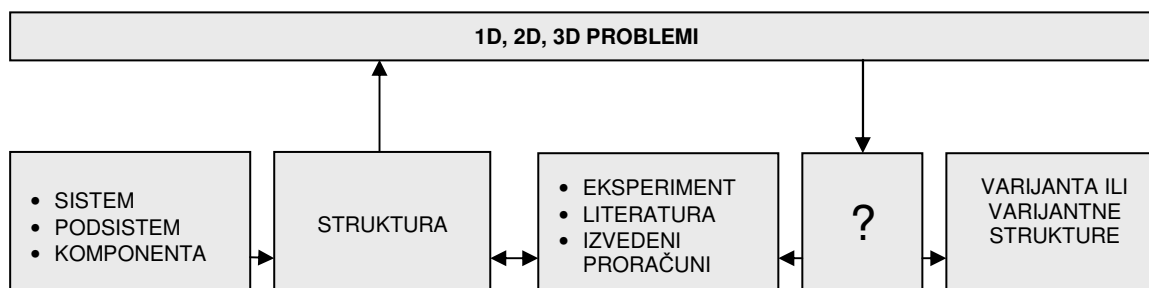
μ_r - r -ta matrica vektor

Koncept i struktura razvijenog sistema računarskog proračuna struktura primenom metode konačnih elemenata dati su na Slici 7.10. Glavna karakteristika koncepta predstavlja identifikaciju ponašanja više različitih varijanti modela za proračun (npr. grubi, fini, redukovani i dr.) uz uzajamnu povezanost i verifikaciju sa eksperimentom i/ili sličnim modelima. Identifikacija ponašanja prolazi kroz faze analize fizičkog modela, modeliranja, pretprocesora, procesora i postprocesora.

Modeliranje strukture predstavlja najosetljivije, najvažnije i najteže savladivo mesto sistema proračuna. Najveći deo modeliranja predstavlja iskustvo i intuitivnost korisnika, koje je teško opisati. Inženjer ovde iskazuje veliku kreativnost i intuiciju uz malo rada na računaru. Modeliranje, u stvari, predstavlja preslikavanje fizičkog u računski model obuhvatajući aktivnosti proučavanja konstrukcione dokumentacije, izbor tipa ili tipova konačnih elemenata i definisanje diskretizacije fizičkog modela konačnim elementima, kao i definisanje čvornih tačaka, graničnih uslova, konačnih elemenata i opterećenja.

Pretprocesor predstavlja fazu u kojoj korisnik puno vremena provodi uz računar. Za većinu proračuna obavljenih pomoću metode konačnih elementa karakterističan je veliki broj ulaznih podataka vezanih za definisanje (generisanje) koordinata čvornih tačaka, konačnih elemenata, opterećenja, graničnih uslova i dr. U ovoj fazi vrši se lokalno i globalno generisanje diskretizovanog modela, grafička kontrola i verifikacija i optimizacija povezanosti čvornih tačaka.

MODELIRANJE	PREPROCESOR	PROCESOR	POSTPROCESOR
<ul style="list-style-type: none"> • Preslikavanje • Definisanje problema • Izbor konačnih elemenata • Diskretizacija • Granični uslovi i opterećenja 	<ul style="list-style-type: none"> • Lokalno generisanje • Globalno generisanje • Grafika • Optimizacija povezivanja čvorova 	<ul style="list-style-type: none"> • Statički • Dinamički • Termički • Linearan i nelinearan • Stacionaran i nestacionaran 	<ul style="list-style-type: none"> • Analize rezultata • Specifični proračuni • Grafika • Elementi optimizacije



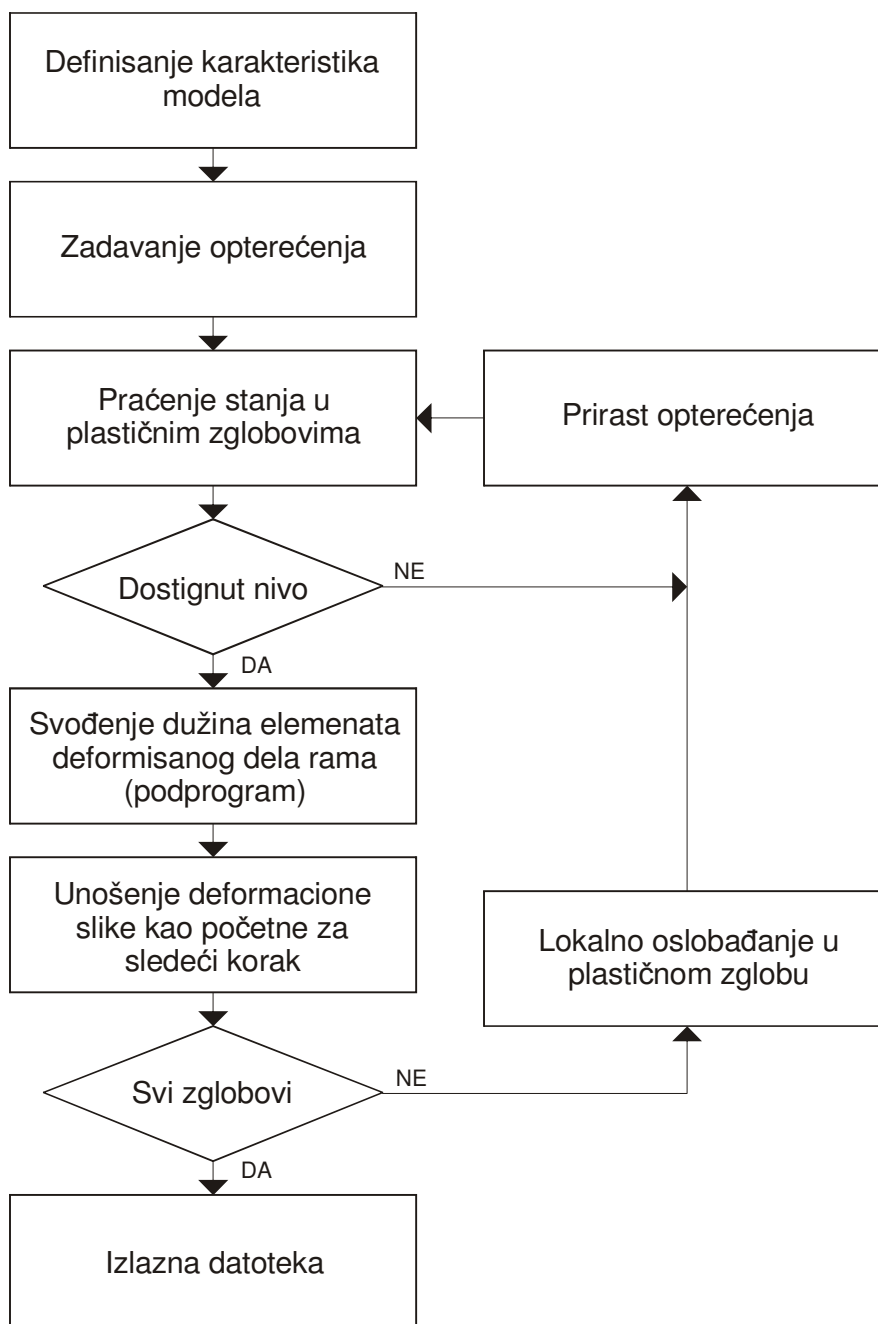
Slika 7.10. – Struktura sistema računarskog proračuna struktura primenom MKE

Faza procesiranja, primenom metode konačnih elemenata, definiše mehaniku deformabilnih tela, na osnovu koje se sagledava ponašanje strukture i procenjuje njeno reagovanje na poremećaje u eksploataciji, uz optimizaciju funkcionalnih i parametara pouzdanosti analizirane strukture.

Osnovne funkcije postprocesora, koji predstavlja pomoć pri obradi rezultata proračuna, podrazumevaju minimiziranje ručne obrade rezultata proračuna, primenom kondenzovane štampe, analize jednog ili više modela za jedno ili više opterećenja. Posebno treba istaći značaj specifičnih proračuna, koji omogućavaju bliže upoznavanje ponašanja strukture. Elementi optimizacije (raspodela membranskih i savojnih napona, energija deformacije i kinetičkih i potencijalnih energija po strukturi) obezbeđuju veoma efikasnu identifikaciju ponašanja strukture. Navedene funkcije postprocesora definišu potrebne modifikacije na strukturi koje treba da dovedu do boljeg ponašanja konstrukcije u eksploataciji, što je krajnji cilj sveukupnog angažovanja.

7.3.2. Formiranje modela i procedura proračunske verifikacije

U ovom delu detaljno je predstavljena procedura formiranja modela i postupci koje treba sprovesti tokom faze numeričke verifikacije da bi se stiglo do željenog cilja, tj. do rezultata koji se mogu smatrati relevantnim i merodavnim. Sve prethodno navedene aktivnosti predstavljaju ulazne podatke za ovu fazu, tako da je neophodno precizno definisati sve korake unutar ovog dela. U cilju tačnog predstavljanja procedure, formiran je algoritam koji precizno definiše korake i redosled postupaka koje je neophodno sprovesti radi dobijanja relevantnog modela, čijim će se proračunom dobiti slika koja odgovara realnom stanju na fizičkom modelu, a istovremeno zadovoljava sve zahteve regulative. Prikaz algoritma dat je na Slici 7.11.



Slika 7.11. – Algoritam procedure proračunske verifikacije modela

Prvi korak u proceduri formiranja modela predstavlja definisanje karakteristika željenog modela. Na osnovu formirane tehničke dokumentacije strukture autobusa, ili na osnovu pretpostavljene forme strukture (ukoliko se radi o prototipu ili potencijalnom varijantnom rešenju), definišu se datoteke koje su vezane za funkciju modeliranja i pretprocesorske funkcije:

- formira se datoteka tačaka i elemenata modela,
- vrši se izbor konačnih elemenata koji će se koristiti u proračunu,
- definišu se karakteristike materijala,
- postavljaju se početni granični uslovi,
- vrši se lokalno i globalno generisanja tačaka i elemenata sa ciljem dobijanja celovite strukture modela,
- radi se optimizacija povezivanja čvorova,
- određuju se položaji oslonaca.

Sledeći korak je formiranje datoteke opterećenja, u kojoj je neophodno definisati intenzitet opterećenja, kao i čvorove u kojima opterećenja treba da deluju. Naravno, neophodno je odrediti i pravac i smer dejstva opterećenja.

Tako formiran model spreman je za puštanje u proračun. U okviru procesorskog dela vrši se izbor proračuna – statički, dinamički, termički, ... Za potrebe ove vrste ispitivanja koje odgovara kvazistatičkom ispitivanju elemenata, bira se statički proračun. Po obavljenom proračunu automatski se generišu nove datoteke, a u ovom slučaju bitne su tri:

- datoteka pomeranja,
- datoteka napona,
- izlazna datoteka.

U okviru ovih datoteka mogu za bilo koji čvor ili element modela da se prate veličine pomeranja, naponsko stanje ili vrednost momenta, kao i svi podaci koji mogu biti interesantni tokom proračuna. U izlaznoj datoteci, na primer, mogu se videti i uzroci eventualnog neuspeha proračuna, što je bitno zbog eventualnih korekcija na modelu ili graničnim uslovima.

S obzirom da su ranije definisane lokacije plastičnih zglobova u strukturi, tačno se zna kojim čvorovima u modelu ti plastični zglobovi odgovaraju. Zato se prati stanje

tih čvorova, njihova pomeranja, naponska stanja i momente. Takođe, postoje i eksperimentalno definisane vrednosti momenata pri kojima dolazi do pojave plastičnog zgloba, tako da su te vrednosti merodavne za model da se zna da u trenutku postizanja proračunske vrednosti momenta u čvoru on postaje zglob.

Zatim se proverava da li je vrednost momenta u čvoru dostignuta. Paralelno se prate svi čvorovi gde se nalaze pretpostavljeni plastični zglobovi i prati se koji će prvi dostići vrednost. Ukoliko nije dostignuta očekivana vrednost momenta, unosi se prirast opterećenja i proračun se pušta ponovo, sa većom vrednošću opterećenja. Ukoliko je vrednost momenta dostignuta, konstatuje se koji je plastični zglob prvi dostigao vrednost i ide se dalje prema proceduri.

Sledeći korak je veoma bitan sa stanovišta dobijanja merodavnih rezultata. Naime, kod proračuna koji se bave linearnom analizom prati se samo deformacija duž pravca dejstva sile i ta vrednost se iskazuje kao deformacija. To nije problem kada su u pitanju elastične deformacije malih vrednosti. Međutim, kod ispitivanja struktura autobusa dolazi do velikih deformacija, istovremeno i u plastičnoj zoni, tako da podaci dobijeni na ovaj način ne bi bili merodavni. Usled velikih deformacija, osim deformacije pod dejstvom opterećenja, dolazi i do spuštanja određenih tačaka nadgradnje, usled nepromenljivosti dužina elemenata. U slučaju linearne analize nema spuštanja tačaka, tako da praktično dolazimo u situaciju da se deformisani elementi strukture izdužuju. To je daleko od realnog stanja i predstavlja osnovni problem pri korišćenju jednostavnih softvera za linearnu analizu u svrhu proračuna sa velikim deformacijama.

Zbog toga je napravljen podprogram (videti Prilog 1) koji rešava problem svođenja deformisanih elemenata strukture na realne dužine. To praktično u metodologiji predstavlja obavezan korak nakon svake konstatovane pojave plastičnog zgloba u modelu. Ovom postupku podvrgavaju se elementi modela koji su izloženi derformacijama i kod kojih dolazi do velikih pomeranja usled desjstva opterećenja. Praktično, to su svi elementi iznad čvorova koji se nalaze u podprozorskoj vezi

modela, a načelno to su elementi iznad zglobova obeleženih sa 1 i 1' na Slici 6.2. (tzv. "primarni" zglobovi). Detaljniji opis podprograma biće dat kasnije.

Kad je završen proces svođenja dužina elemenata, dobijena deformaciona slika modela unosi se kao početno stanje za sledeću fazu proračuna. Ovaj proces omogućava da se nastavi ispitivanje modela koje odgovara realnim uslovima.

U postupku sledi korak provere da li su svi plastični zglobovi "aktivirani", tj. da li je vrednost momenta postignuta u svim čvorovima gde se očekuju plastični zglobovi. Ukoliko nije, ide se na korak lokalnog oslobađanja na savijanje po pravcu dejstva opterećenja u čvoru koji je dostigao vrednost momenta, a zatim na korak prirasta opterećenja i ponovo postupak proračuna, sa većom vrednošću opterećenja. Ukoliko se dobije indikacija da su svi čvorovi praktično prošli proceduru, ide se na izlaznu datoteku, u kojoj su sadržani svi merodavni parametri za dalje faze usmerenog projektovanja.

Ovo je najosetljivija faza projektovanja, jer se zahteva najviše pažnje tokom rada, dobra vizuelizacija podataka, ali pre svega izuzetno dobra priprema podataka koji se koriste tokom numeričkog proračuna modela.

7.3.3. Svođenje deformisanih elemenata strukture na realne dužine

Kao što je ranije navedeno, softveri za linearnu analizu imaju veliko ograničenje kada se koriste u svrhu proračuna modela kod kojih se očekuju velike deformacije. Čvorne tačke deformisanih elemenata se pri pojavi velikih deformacija usled dejstva opterećenja translatorno pomeraju. U realnosti, osim translatornog pomeranja dolazi i do spuštanja tačaka zbog nepromenljivosti dužine ispitivanih elemenata. Kod modela podvrgnutoj linearnoj analizi postoji samo translatorno pomeranje, što za posledicu ima izduženje elemenata koji su izloženi deformaciji.

Numerički proračun modela na ovaj način ne daje realne rezultate, pa je zbog toga razvijena procedura pretočena u softver, koja ima za cilj svođenje dužina deformisanih elemenata strukture na realne vrednosti.

Ulazni podaci koji su neophodni za sprovođenje ove procedure su datoteke tačaka i elemenata ispitivanog modela u određenoj fazi ispitivanja. Iz tih datoteka se čitaju podaci o koordinatama čvorova deformisanih elemenata, kao i o karakteristikama materijala i poprečnih preseka. Na osnovu tih podataka izračunavaju se dužine deformisanih elemenata.

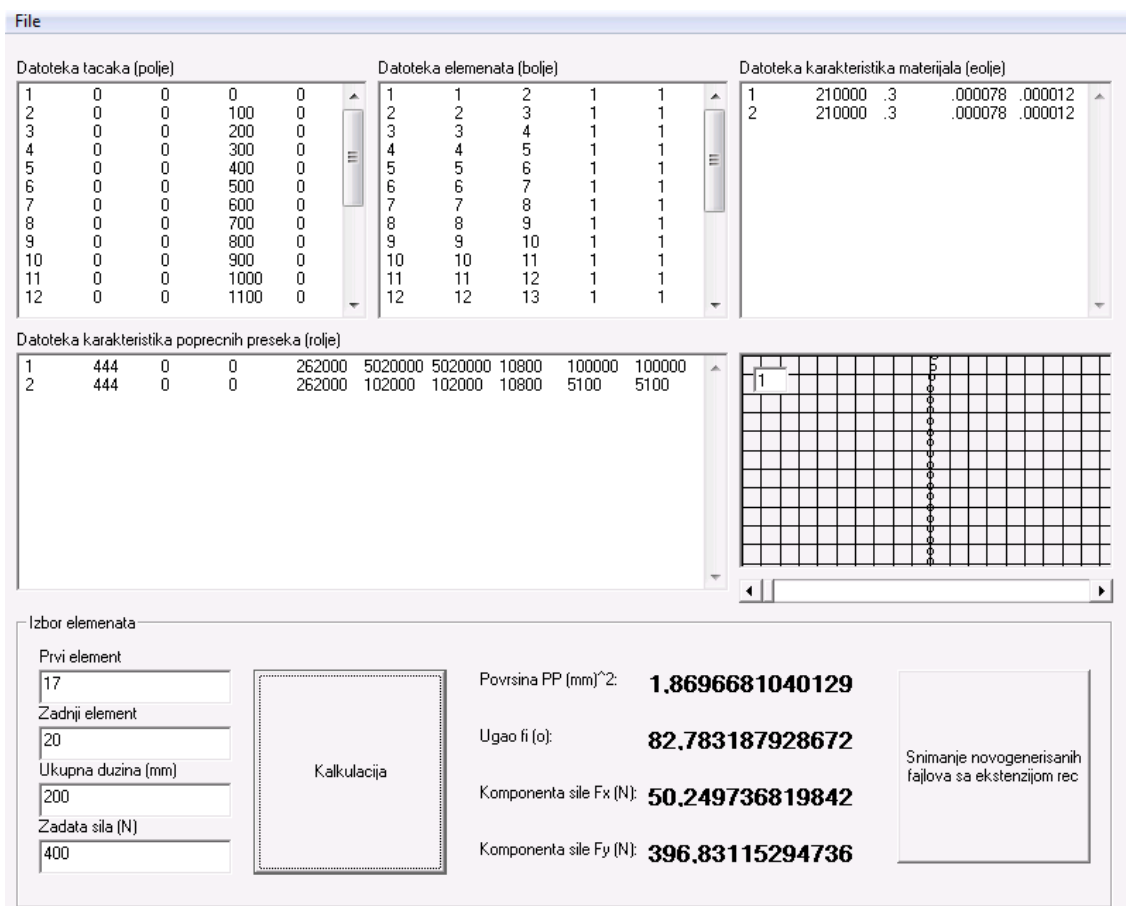
Osnovna ideja je da se uvođenjem aksijalne sile izvrši skraćivanje deformisanih elemenata na realne dužine. Kako bi intenzitet aksijalne sile bio u razumnim granicama, u okviru podataka o karakteristikama poprečnog preseka smanjuje se vrednost površine poprečnog preseka profila na malu vrednost. Time nije narušena čvrstoća elementa u pogledu savijanja, koje je jedino opterećenje kojem je element izložen, a aksijalna sila može imati razumne vrednosti.

Pravac dejstva sile se uzima tako da prolazi kroz prvi čvor prvog elementa i drugi čvor poslednjeg elementa unutar deformisane celine. Tako je izbegnuto uvođenje niza aksijalnih sila za svaki element posebno, što bi bilo preciznije, ali se proverom pokazalo da je greška počinjena na ovaj način zanemarljiva. Inače, ovaj pravac dejstva sile je uzet kako bi se smanjila mogućnost ozbiljnijeg uticaja momenta koji nastaje usled kraka sile u odnosu na neke od deformisanih elemenata.

Unošenjem prvog i poslednjeg deformisanog elementa unutar ispitivanog modela, realne dužine elemenata i intenziteta aksijalne sile, podprogram sam definiše veličinu poprečnog preseka, pravac dejstva sile definisan uglom i komponentama sile po osama, pušta takav model kroz proračun i deformisanu sliku elemenata postavlja kao početno stanje za sledeću fazu proračuna. Automatski se dodeljuje unapred definisano ime za sve datoteke koje će se naći u daljim fazama proračuna.

Izgled ekrana sa parametrima koji su uneti i podprogramom definisani, prikazan je na Slici 7.12.

Upotrebom ovog podprograma omogućeno je korišćenje softvera za linearnu analizu i kod nelinearnih proračuna, što je mnogo brža, jeftinija i jednostavnija varijanta, s obzirom da su ovakvi softveri veoma jednostavni za korišćenje i mogu se naći slobodni na tržištu. Softveri koji se bave nelinearnom analizom znatno su skuplji, zahtevniji po pitanju pripreme i definisanja modela i potrebno je znatno duže vreme za dobijanje konkretnih rezultata.



Slika 7.12. – Izgled radnog ekrana podprograma za svođenje dužina elemenata

7.4. ISPITIVANJE REALNOG – FIZIČKOG MODELA PRSTENA

U cilju verifikacije rezultata dobijenih numeričkim proračunom modela, poželjno je obaviti završna ispitivanja uzorka. U ovom slučaju, nakon preliminarnih ispitivanja elemenata strukture i prstena, sa ciljem utvrđivanja lokacije i karakteristika plastičnih zglobova, zatim numeričkog proračuna formiranog modela, zahteva se ispitivanje realnog – fizičkog modela prstena strukture autobusa. Ovim ispitivanjem praktično treba potvrditi podatke dobijene numeričkim proračunom. Konačna eksperimentalna verifikacija omogućava da se u daljem radu rezultati dobijeni numeričkim proračunom mogu u potpunosti smatrati merodavnim i pouzdanim, što u značajnoj meri skraćuje vreme potrebno za fazu projektovanja, a i resurse koji se za potrebe ispitivanja koriste.

7.5. KRITERIJUMI ZA PRIHVATANJE REZULTATA ISPITIVANJA

Celokupna procedura ispitivanja i projektovanja struktura ne bi bila kompletna ukoliko ne postoji adekvatna analiza dobijenih rezultata. Iako su neke od prethodnih faza usmerenog projektovanja navedene kao bitne za ceo postupak, ipak pravilno definisani kriterijumi za analizu i prihvatanje rezultata mogu da budu presudni.

Kriterijumi za ocenu i prihvatanje rezultata su vrlo jasno definisani regulativom, prvenstveno u okviru UN/ECE Pravilnika br. 66. Naime, nekoliko je bitnih stavki koje čine kriterijume, ali suštinski se sve svodi na jedan opšti zaključak: ni u jednoj fazi ispitivanja ili numeričkog proračuna ne sme da bude narušen bezbednosni prostor, definisan na Slici 3.1. i Slici 3.2.

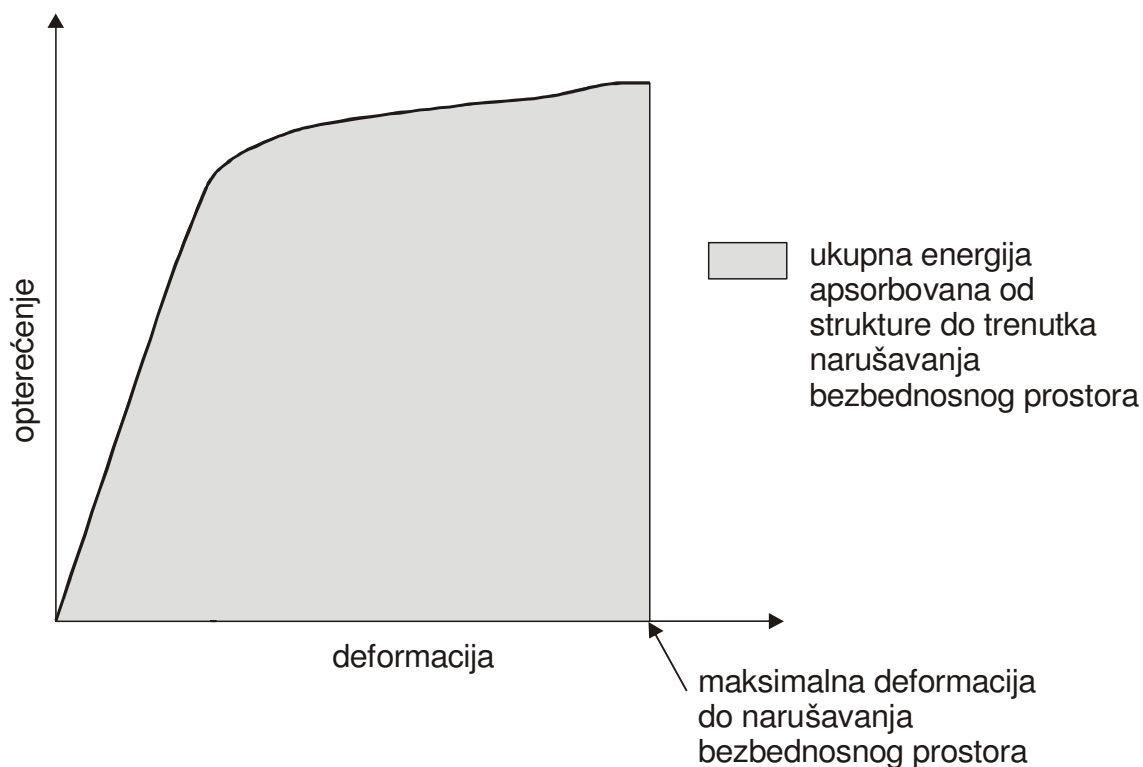
S tim u vezi, korišćenjem tehničke dokumentacije gde su naznačene dimenzije unutrašnjeg prostora autobusa, kao i analizom dimenzija bezbednosnog prostora za konkretan slučaj, dolazi se do dimenzija prostora koji se nalazi između elemenata strukture i ivice bezbednosnog prostora. To je praktično prostor koji

imamo na raspolaganju za deformaciju elemenata strukture pre narušavanja bezbednosnog prostora.

Na početku poglavlja objašnjen je princip definisanja nivoa energije koju struktura treba da apsorbuje. Iz reprezentativnog dijagrama opterećenje – derformacija na Slici 7.1. jasno se vidi da veličina deformacije direktno utiče na nivo energije koja se može postići. Tu je takođe jako bitno da ne dođe do pucanja (sloma) elementa prilikom ispitivanja, kako bi se zadržao nivo primenjene sile tokom derformacije.

S obzirom na prethodno navedene činjenice, postoji mogućnost da se precizno definiše maksimalna deformacija koja se može uneti u elemente strukture sa stanovišta bezbednosnog prostora. To se može unapred i grafički predstaviti na dijagramu, tako da praktično ispitivanje može da se prekine i pre te granične kritične zone ukoliko je postignut zahtevani željeni nivo apsorbovane energije. U svakom slučaju, granična kritična zona deformacije ne sme biti prekoračena ni u kom slučaju. Ukoliko se ta zona dostigne pre postizanja zahtevanog nivoa apsorbovane energije, neophodno je uraditi određene korekcije na elementima strukture i ponoviti kompletnu proceduru ispitivanja. Prikaz dijagrama sa uvedenim graničnim zonama prikazan je na Slici 7.13.

Iz ovoga se može uvideti još jedna velika prednost ove metodologije, a to je konstantna interakcija svih faza projektovanja i ispitivanja. U svakom trenutku postoji kompletna slika o ponašanju elemenata strukture, a istovremeno postoje i definisani kriterijumi za ocenu dobijenih rezultata. Uvek se može intervenisati u procesu ispitivanja, kako bi određenim korekcijama na brz način došli do zadovoljavajuće strukture. Na taj način se ostvaruje presudna ušteda vremena i novca, što je u današnje vreme sve bržeg ritma možda i presudno.



Slika 7.13. – Dijagram opterećenje – deformacija sa uvedenom maksimalnom graničnom deformacijom

7.6. SISTEMSKI PRILAZ PRAĆENJU STANJA ELEMENATA VOZILA

U Poglavlju 3 je napomenuto da logistička podrška projekta predstavlja određene aktivnosti koje nisu direktno vezane u lancu aktivnosti tokom faza projektovanja, ali od samog početka omogućavaju donošenje određenih odluka vezanih za definisanje projektnog zadatka, da bi kroz dalje faze omogućavale optimalan i funkcionalan gotov proizvod.

Postoji veliki broj aktivnosti koje se razmatraju kroz logističku podršku, ali se po značaju izdvaja jedna, kojoj je i posvećen jedan deo aktivnosti na izradi doktorske disertacije. Naime, radi se o sistemskom prilazu praćenju stanja elemenata vozila, s obzirom da se radi o veoma kompleksnoj oblasti, a imajući u vidu veliki broj sistema i komponenata koji se nalaze na vozilu.

Posebna pažnja u ovom delu posvećena je sistemima oslanjanja, praćenju njihovog stanja i eventualnim zamenama novijim rešenjima sistema. Poslednjih godina industrija motornih vozila je pokazala tendenciju zamene elektromehaničkih komponenti sistema za oslanjanje mehatroničkim sistemima, sa inteligentnim i autonomnim karakteristikama /51/. Tu zamenu karakterišu integracija hardverskih komponenti i primena naprednih kontrolnih funkcija. Ovo je posebno interesantan sklop kod autobusa, jer se od njih zahteva povišena udobnost zbog prevoza putnika, sa jedne strane, kao i maksimalna bezbednost vozila u kritičnim situacijama, kao što su nagla kočenja, skretanja, zanošenja, ...

Sušтина je u sistemskom pristupu i primeni metoda sistemskog inženjerstva u početnim fazama razvoja aktivnih sistema oslanjanja. Poseban naglasak je dat na interakciji kompjuterskih simulacija i ostalih elemenata procesa razvoja.

Koristi od primene simulacije aktivnih sistema oslanjanja su brojne: osnovna je smanjenje vremena do izbacivanja gotovog proizvoda na tržište, zatim nove unapređene funkcije mehatroničkih komponenti i uređaja, kao i povećana pouzdanost sistema.

Pri razvoju modela aktivnog sistema oslanjanja korišćeni su CAD/CAE alati, kao i višenamenski softveri za simulaciju. U ovoj fazi analize sistema korišćen je četvrtinski model vozila, pri čemu su razmatrani jedino digitalni sistemi automatske regulacije.

Osnovna prednost ovako razvijenog modela je što se na ovaj način mogu obaviti simulacije vozila gotovo svih kategorija, bez bilo kakvih laboratorijskih ispitivanja koja bi bila teško izvodljiva, naročito na višim kategorijama vozila, u koje spadaju i autobusi.

S obzirom da se ovakav vid analize i simulacije koristi u ranim fazama projektovanja vozila, sasvim je razumljivo da je do sada razvijeni dinamički model samo grubo predstavljanje pravog dinamičkog sistema, i da su njegovi glavni doprinosi upravo u procesu istraživanja i razvoja. Može se očekivati da će u bliskoj

budućnosti ovakvi sistemi biti projektovani, unapređivani i ugrađivani u vozila, što bi u velikoj meri popravilo sliku o bezbednosti vozila.

I pored toga što se radilo samo na aktivnim sistemima oslanjanja, ovakav sistemski prilaz bi bilo neophodno primeniti i na ostale sisteme na vozilu, jer bi se na taj način značajno unapredila bezbednost putnika i ostalih učesnika u saobraćaju sa jedne strane, ali i pouzdanost i efektivnost vozila sa druge strane.

Primena sistemskog prilaza na veći broj sistema, međutim, ima velikog uticaja i na cenu izlaznog proizvoda i vreme proizvodnje, što su nepovoljni uticaji ovakvog načina rukovođenja fazom projektovanja. Ipak, očekuje se da će u skoroj budućnosti ovakav pristup biti sve brži i ekonomičniji, tako da će nestati prepreke koje trenutno sprečavaju masovniju primenu mehatroničkih sistema.

Istovremeno, bezbednost igra sve značajniju ulogu pri projektovanju autobusa, tako da razvoj i implementacija ovog i sličnih sistema na vozilu ima sigurnu i blisku budućnost.

8. EKSPERIMENTALNA I PRORAČUNSKA VERIFIKACIJA

Kako bi se potvrdili stavovi navedeni u okviru prethodnog poglavlja a vezani za metodologiju usmerenog projektovanja, neophodno je obaviti provere, ispitivanja i formirati proračunske modele za konkretne slučajeve. Za to je bilo potrebno obezbediti uzorke elemenata koji sadrže plastične zglobove, kao i karakteristične prstenove nadgradnje.

Iako se moglo raditi sa fiktivnim uzorcima na kojima bi se potvrdili raniji stavovi, osnovna ideja je bila da se sva ispitivanja rade na realnim elementima neke konkretne strukture autobusa.

Na samom početku rada i pripremi materijala za ovu doktorsku disertaciju, za pomoć oko projektovanja nadgradnji autobusa obratila se firma RISTIĆ iz Ivanjice. Ideja o usmerenom projektovanju je bila prihvatljiva, tako da se počelo sa pripremom i izradom zahtevanih uzoraka potencijalnih struktura autobusa za pojedine faze usmerenog projektovanja. Pripremljena je kompletna tehnička dokumentacija nadgradnje autobusa, koja je bila osnov za izradu uzoraka. Osnovni deo tehničke dokumentacije prikazan je u Prilogu 2.

Kao što je i u metodologiji navedeno, i u ovom delu se radilo po određenim fazama:

- ispitivanje fizičkog modela prstena, sa ciljem definisanja lokacija plastičnih zglobova,
- ispitivanje elemenata strukture u kojima se nalaze plastični zglobovi, radi definisanja karakteristika plastičnih zglobova,
- formiranje modela za sprovođenje numeričkog proračuna prstena strukture autobusa, sa ciljem dobijanja podataka o ukupnoj energiji koju deo strukture može da apsorbuje,

- eksperimentalna verifikacija proračunskog modela, ispitivanjem realnog fizičkog modela prstena,
- analiza rezultata i kriterijuma za njihovo prihvatanje.

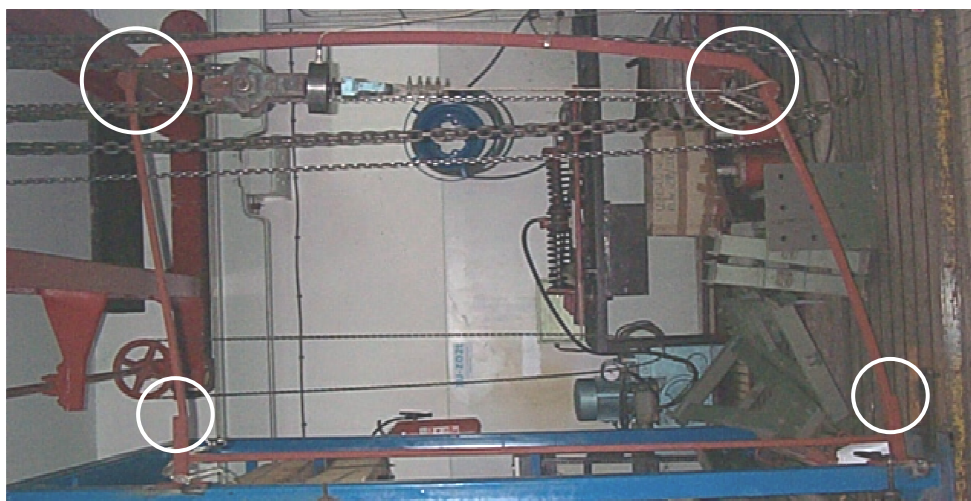
8.1. ISPITIVANJE KARAKTERISTIKA PLASTIČNIH ZGLOBOVA

Kao što je već u opisu metodologije u Poglavlju 7 navedeno, ispitivanje karakteristika plastičnih zglobova vrši se pomoću dve nezavisne metode. Osim konvencionalnih, rađena su i fotogrametrijska ispitivanja. U okviru ove tačke biće predstavljeni dobijeni rezultati, kao i njihovo poređenje.

8.1.1. Konvencionalna metoda

Konvencionalna metoda je korišćena za ispitivanje prstena strukture autobusa, s ciljem definisanja lokacija plastičnih zglobova, a zatim i elemenata strukture u okviru kojih se ti plastični zglobovi nalaze.

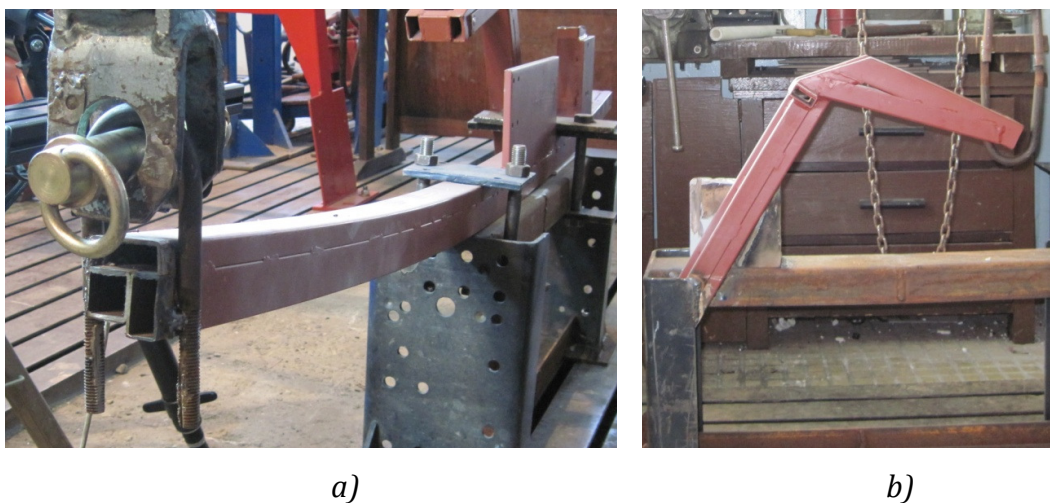
Na slici 8.1. prikazano je ispitivanje karakterističnog prstena strukture autobusa radi definisanja lokacija plastičnih zglobova.



Slika 8.1. – Lokacije plastičnih zglobova u ispitivanom prstenu

Ispitivan je gornji deo prstena, s obzirom da su plastični zglobovi očekivani u ranije opisanom, tzv. primarnom mehanizmu sloma. Sa Slike 8.1. se vidi da se plastični zglobovi nalaze upravo na mestima primarnih zglobova, koji odgovaraju tačkama 1, 1', 2 i 2' na Slici 6.2.

Na osnovu ovog ispitivanja izrađeni su uzorci elemenata strukture koji sadrže donji i gornji plastični zglob. Prikaz ovih elemenata dat je na Slici 8.2.

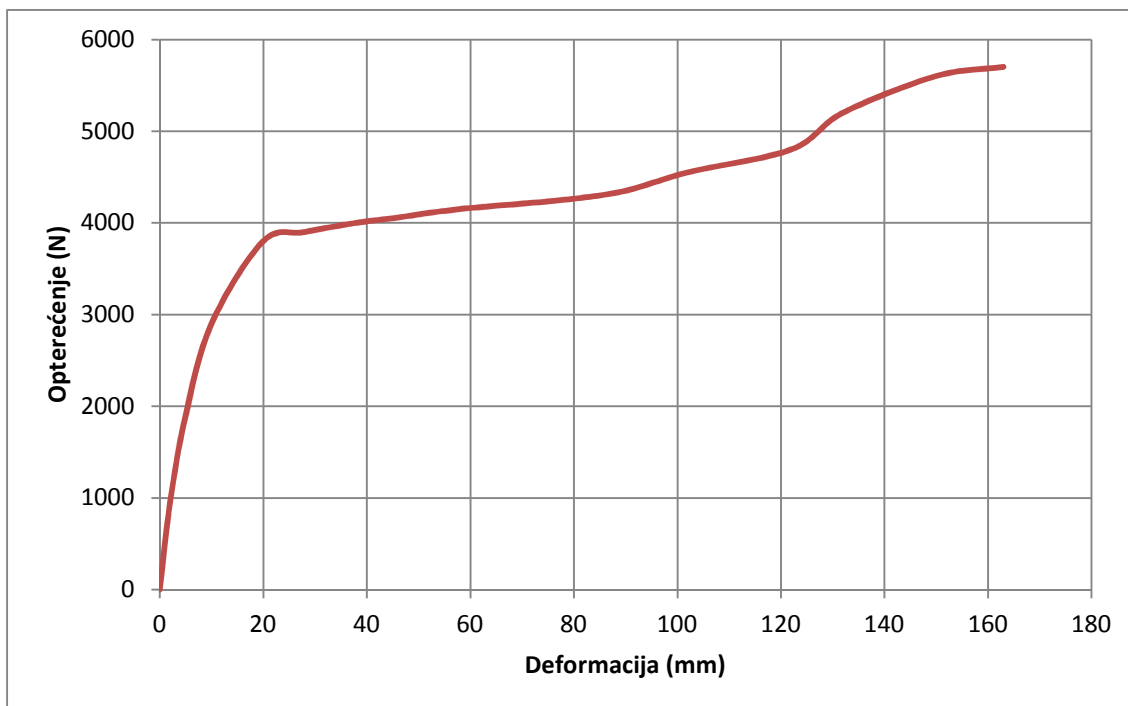


Slika 8.2. – Elementi strukture koji sadrže plastične zglobove

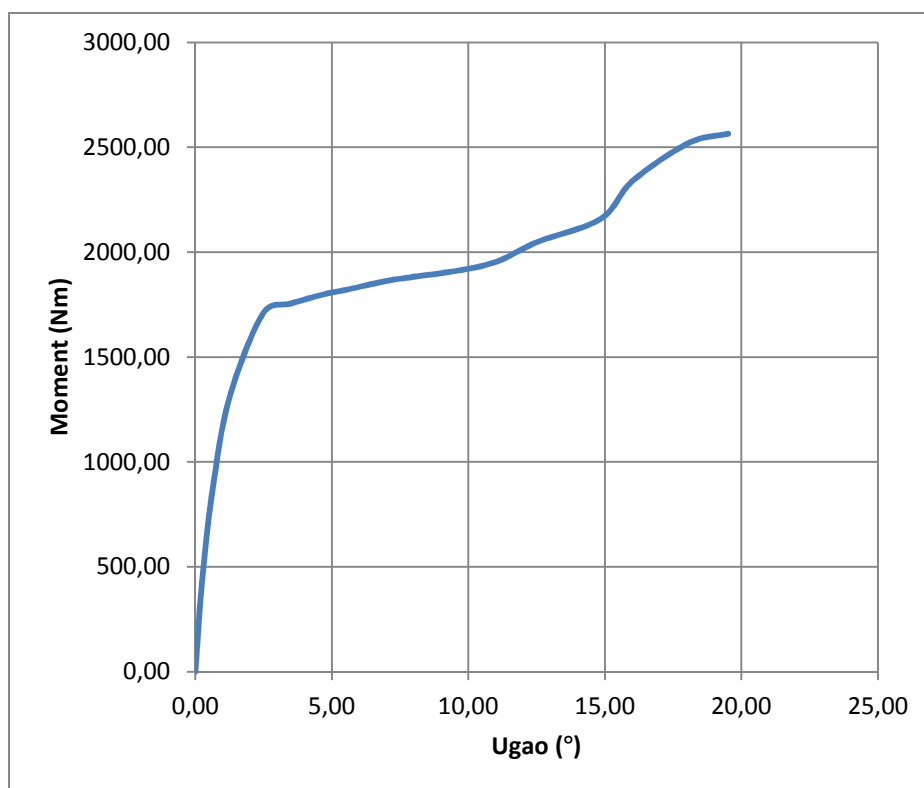
Konvencionalna ispitivanja obavljena su uz pomoć davača pomeranja, davača sile, sistema za akviziciju i prenosnog računara. Svi zapisi opterećenja i deformacije mogu se prikazati dijagramski, a proračunski se dobijaju vrednosti momenta i ugla rotacije u plastičnom zglobu, što se takođe može predstaviti dijagramski. Takođe, sistem za akviziciju automatski može izračunavati apsorbirani nivo energije, što takođe može biti predstavljeno dijagramski.

U okviru disertacije predstavljeni su rezultati dobijeni za gornji zglob, s obzirom da bi prikaz svih dobijenih rezultata zahtevao previše prostora, a potvrda metodologije se može pokazati i praćenjem prikaza rezultata na jednom zglobu.

Prikaz dijagrama opterećenje – deformacija dat je na Slici 8.3., dok je prikaz dijagrama moment – ugao dat na Slici 8.4.



Slika 8.3. – Dijagram opterećenje – deformacija gornjeg zgloba



Slika 8.4. – Dijagram moment – ugao gornjeg zgloba

8.1.2. Fotogrametrijska metoda

Fotogrametrija je tehnika koja koristi fotografije za određivanje geometrijskih osobina objekta. Tehnika uključuje digitalizaciju slikanog modela objekta pre i posle pojave deformacija. U ovom slučaju, namera je bila da se ovom metodom izvrši provera karakteristika plastičnih zglobova bezkontaktnim merenjem deformacija.

Eksperimenti su izvođeni opremom GOM (3D optika nemačke proizvodnje) /52/ i softverskom aplikacijom ARAMIS. Numerička analiza rađena je softverom koji primenjuje metodu konačnih elemenata. Ovaj prikaz pokazaće kako se mogu predvideti eksperimentalni rezultati pomoću metode konačnih elemenata; ovo je veoma pouzdano pomoćno učilo koje će pri projektovanju pomoći da se u budućnosti poboljša strukturalna čvrstoća novih proizvoda. Do sada sprovedene eksperimentalne i numeričke analize pokazuju visok stepen korelacije.

Namera je bila da se istakne prednost primene modernog optičkog 3D merenja deformacija u identifikovanju efekata deformacija proisteklih iz različitih opterećenja.

Oprema se sastoji iz dve mobilne optičke digitalne stereo kamere podržane ARAMIS softverskom aplikacijom. Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu poseduje ovu opremu, čije su glavne komponente (videti Sliku 8.5.):

- dve kamere od po 2 megapiksela, sa kapacitetom merne zapremine 2000 x 1500 x 1500 mm,
- stalak za obezbeđivanje i stabilno držanje kamera,
- senzor kontroler za napajanje kamera i kontrolu pravljenja snimaka,
- PC sistem visokih performansi,
- ARAMIS softverska aplikacija V6.1 i softverski sistem GOM Linux 10 ili viši.

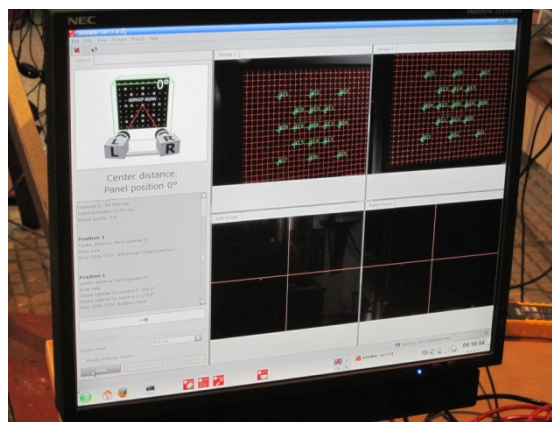


Slika 8.5. – Oprema za fotogrametrijska ispitivanja

Pre svakog postupka merna oprema mora biti kalibrisana. Kalibracija se izvodi merenjem posebnog mernog objekta. Svako odstupanje od poznatih dimenzija (kalibracionog objekta) koristi se za podešavanje merne opreme (videti Sliku 8.6.).



a)



b)

Slika 8.6. – Kalibracija merne opreme za fotogrametrijska ispitivanja

ARAMIS (GOM mbH, Braunschweig, Nemačka) je komercijalni softverski paket za trodimenzionalnu (3D) fotogrametriju slika. Softver je optički 3D sistem za merenje deformacija koji prevodi kretanje piksela sa serije stereo fotografija u vektore pomeranja. Kombinovanjem brzih stereo fotografija i fotogrametrije, može se omogućiti detaljna istorija cilja koji je podvrgnut brzom rastu deformacije.

Softverski paket ARAMIS pomaže boljem razumevanju ponašanja materijala i komponenata i idealno je pogodan za praćenje eksperimenata sa visokom vremenskom i lokalnom rezolucijom. ARAMIS je bezkontaktni sistem merenja nezavistan od materijala, koji za statičko ili dinamičko ispitivanje objekata omogućava:

- 3D koordinate površina,
- 3D pomeranja i brzine,
- vrednosti površinskog napona (veliki i mali naponi, smanjenje debljine),
- odnosi napona.

ARAMIS je idealno rešenje za:

- određivanje osobina materijala (Jangov (*Young*) moduo elastičnosti, itd ...),
- analizu komponenata (test loma, analiza vibracija, studije izdržljivosti, ...)

ARAMIS je jedinstveno rešenje koje daje kompletne 3D rezultate površine, pomeranja i napona, u slučajevima kada se zahteva veliki broj konvencionalnih mernih uređaja (merne trake, davači pomeranja, ...). Ista konfiguracija sistema koristi se za više primena i može se lako integrisati u postojeće ispitne instalacije.

ARAMIS prepoznaje strukturu površine objekta merenja na slikama sa digitalnog aparata i dodeljuje koordinate pikselima sa slike. Prva slika u projektu merenja predstavlja nedeformisano stanje objekta.

Nakon ili tokom deformisanja objekta merenja prave se novi snimci. Zatim ARAMIS upoređuje digitalne snimke i proračunava pomeranje i deformaciju karakteristika objekta.

Ukoliko predmet merenja ima samo nekoliko karakteristika objekta, kao što je slučaj sa homogenim površinama, takva površina se mora pripremiti na odgovarajući način, na primer nanošenjem stohastičke šare pomoću spreja u boji.

ARAMIS omogućava interfejs za unos CAD podataka koji se koriste za transformaciju 3D koordinata i proračune 3D odstupanja oblika.

ARAMIS softver omogućava rezultate sa više položaja merenja na površini ispitnog objekta u realnom vremenu. Oni se direktno prenose do ispitnih uređaja, jedinica za akviziciju ili softvera za obradu (npr. LabView, DIAdem, MSExcel, itd ...) i koriste se za:

- kontrolu ispitnih uređaja,
- dugotrajne testove sa minimalnim zahtevima za skladištenje podataka,
- analize vibracija,
- 3D optičke davače pomeranja.

Kao deo kompleksnog procesnog lanca, optički sistemi merenja postali su važan alat industrijskih procesa poslednjih godina. Zajedno sa numeričkom simulacijom imaju značajne mogućnosti za kvalitativno unapređenje i optimizaciju vremena razvoja proizvoda i proizvodnje. ARAMIS snažno podržava svestranu verifikaciju simulacija konačnih elemenata. Određivanje parametara materijala uz pomoć ARAMIS-a pomaže proceni i unapređenju postojećih modela materijala. Unos setova rezultata konačnih elemenata dozvoljava primenu numeričkih svestranih poređenja sa simulacijom konačnih elemenata za sve tipove ispitivanja komponenata.

Zbog toga se simulacije konačnih elemenata mogu optimizirati i postati pouzdanije.

ARAMIS je posebno pogodan za merenje trodimenzionalnih deformacija pod statičkim i dinamičkim opterećenjem, sa ciljem analiziranja deformacija i naprezanja realnih struktura.

Veći deo funkcija sistema kontrolisan je putem softvera. Na raspolaganju su funkcije merenja, procene, prikaza i štampe. Svim funkcijama se može pristupiti preko padajućih menija, prečica ili dijalog boksova.

Polja primene softverskog paketa:

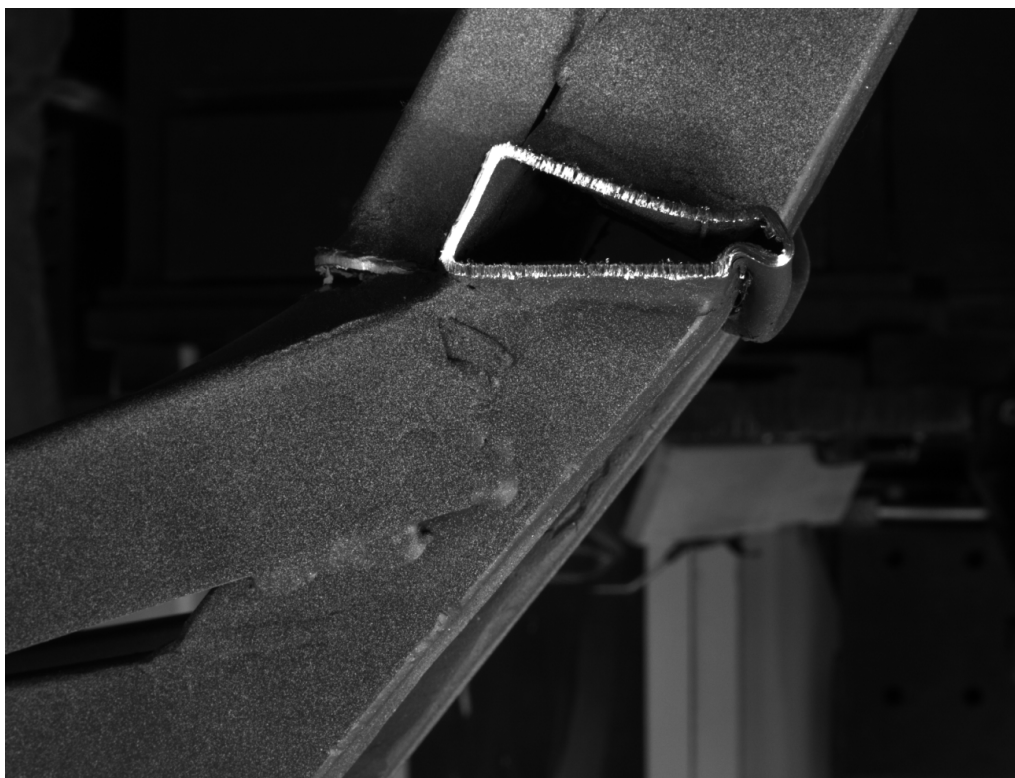
- ispitivanje materijala,
- ocena čvrstoće,
- dimenzionisanje komponenata,
- ispitivanje nelinearnog ponašanja,
- karakterisanje procesa puzanja i starenja,
- verifikacija modela konačnih elemenata,
- određivanje karakteristika materijala,
- analiza ponašanja homogenih i nehomogenih materijala tokom deformacije,
- proračun naprezanja.

Karakteristike ARAMIS sistema:

- koristi se kao 2D i 3D sistem za merenje,
- ARAMIS dodeljuje kvadratne ili pravougaone slike detalja, tzv. Facete (npr. 15x15 piksela), u različitim slikama jedna od druge,
- promenljivi uslovi osvetljenja različitih slika automatski se kompenzuju,
- jednostavna priprema uzorka kao korišćena raster metoda zahteva primenu stohastičkih ili običnih šara samo u slučaju da površina uzorka nije dovoljno izražena,
- veliko područje merenja: i veliki i mali objekti (od 1 mm do 2000 mm) mogu se meriti istim senzorom; deformacije se mogu meriti u opsegu od 0.01% do nekoliko 100%,

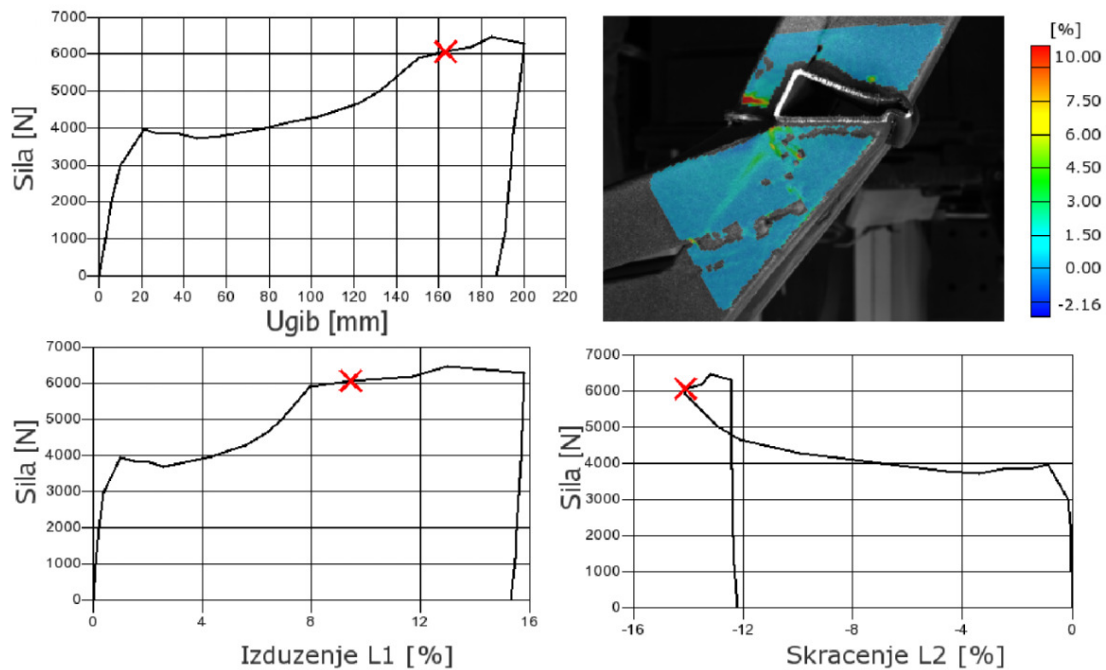
- sveobuhvatna i grafička 3D prezentacija izmerenih rezultata sa velikom gustinom tačaka sa podacima,
- grafička prezentacija izmerenih rezultata omogućava optimalno razumevanje ponašanja komponenata,
- visok stepen mobilnosti, s obzirom da se sistem lako može smestiti u transportne kofere; Zbog toga sistem može biti transportovan automobilom ili avionom bez ikakvih problema.

Prikazi ispitivanih elemenata su veoma kvalitetni. Mogu se koristiti fotografski prikazi, ali se takođe mogu snimati i filmovi o prolasku elementa kroz sve faze ispitivanja. Na Slici 8.7. prikazan je detalj ispitivanja gornjeg zgloba strukture u jednoj od faza ispitivanja.



Slika 8.7. – Prikaz ispitivanog elementa

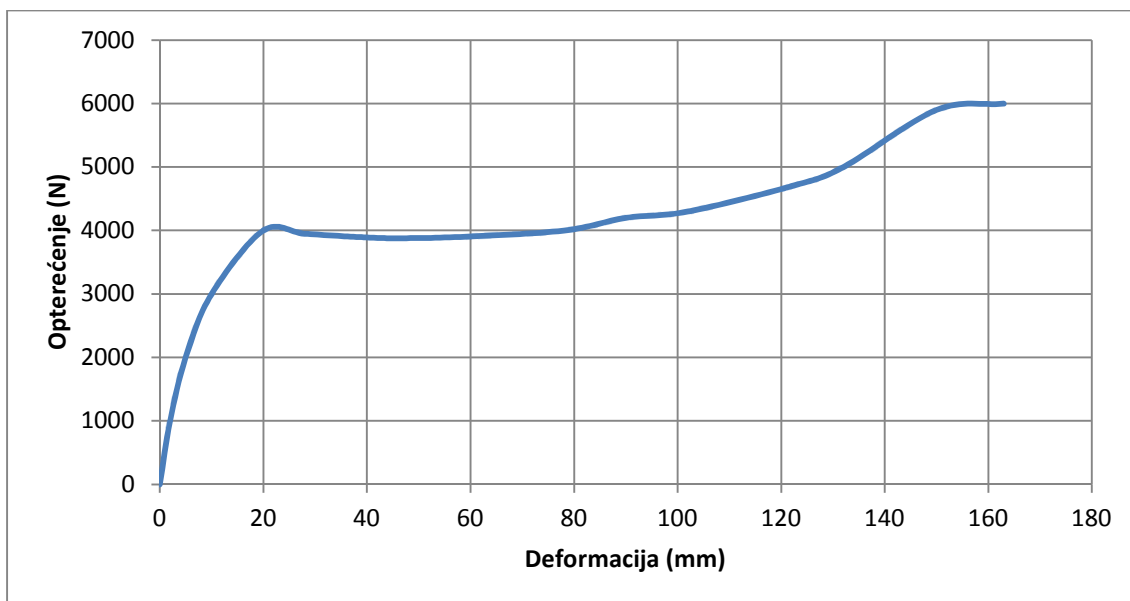
Rezultati merenja, kao i fotografije tokom ispitivanja, mogu se predstaviti na razne načine. Jedan od prikaza rezultata merenja za istu fazu ispitivanja dat je na Slici 8.8.



Stage 15

Slika 8.8. – Jedan od načina prikaza rezultata ispitivanja

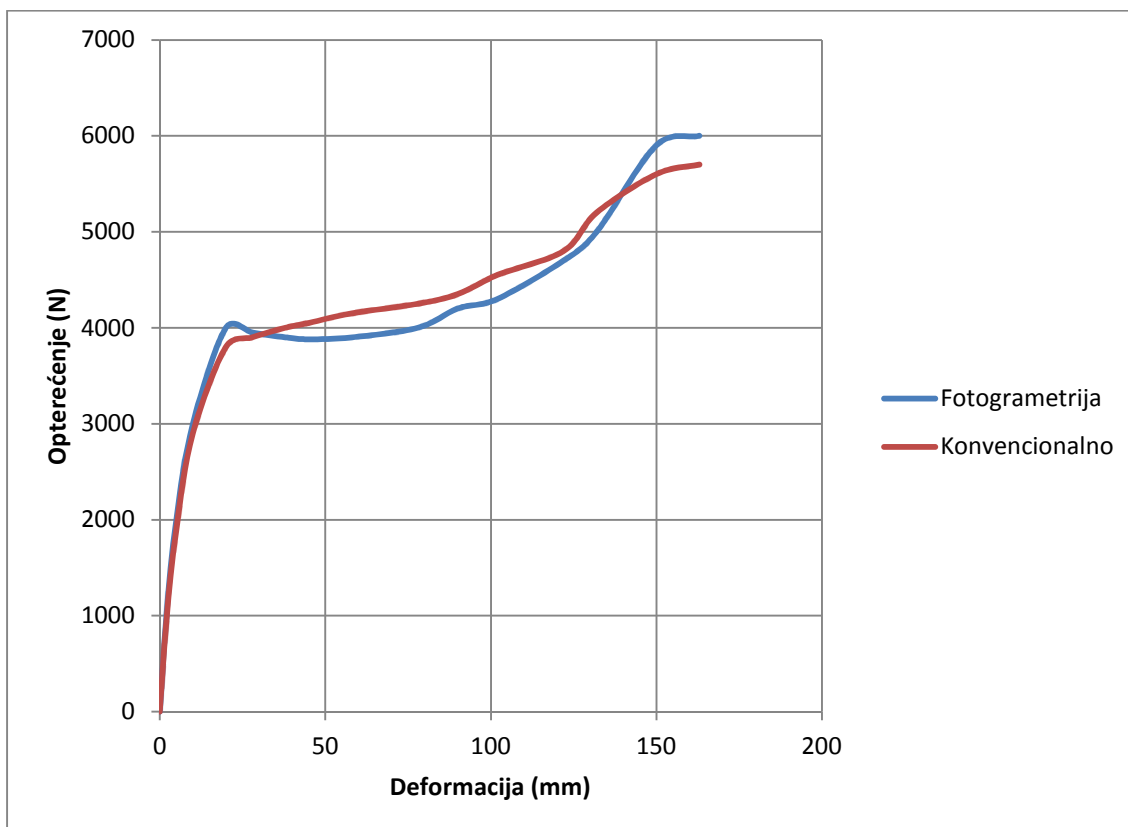
Na osnovu ovakvog prikaza, može se izdvojiti dijagram opterećenje – deformacija i prikazati na posebnom dijagramu, koji je dat na Slici 8.9.



Slika 8.9. – Dijagram opterećenje – deformacija gornjeg zgloba (fotogrametrija)

8.1.3. Uporedni prikaz dobijenih rezultata

Na Slici 8.10. uporedno su prikazane vrednosti karakteristika gornjeg plastičnog zgloba dobijene korišćenjem obe metode ispitivanja.



Slika 8.10. – Uporedni dijagram opterećenje – deformacija

Iz prikaza se može zaključiti da su dobijeni rezultati veoma bliski, što ukazuje na mogućnost da se i jedna i druga metoda mogu sa velikom pouzdanošću koristiti za ovakve vrste ispitivanja. U zavisnosti od složenosti konstrukcije, mogućnosti prilaza elementima konstrukcije i obima ispitivanja, može se koristiti metoda koja je za datu situaciju pogodnija.

U svakom slučaju, fotogrametrijska metoda je novija, atraktivnija, sa više mogućnosti analize podataka, tako da u svakom slučaju treba težiti njenoj primeni kada god mogućnosti dozvoljavaju.

8.2. NUMERIČKI PRORAČUN FORMIRANOG MODELA

Za dobijanje rezultata numeričkim proračunom obično se koriste komercijalni softveri koji su dostupni na tržištu. Spektar postojećih softvera je veoma širok, u principu se svi zasnivaju na metodi konačnih elemenata, a na korisniku je da odabere softver koji mu najviše odgovara.

U okviru ove doktorske disertacije korišćen je softverski paket KOMIPS /53/, koji je i razvijen na Mašinskom fakultetu Univerziteta u Beogradu. KOMIPS koristi veoma široku bazu podataka konstruktivnih materijala i njihovih karakteristika, a dobijeni rezultati u poređenju sa ostalim komercijalnim softverima mogu se smatrati veoma pouzdanim.

Programski paket KOMIPS korišćen prilikom proračuna strukture obuhvata programe koji podrazumevaju analizu fizičkog modela, modeliranje (preslikavanje fizičkog modela u računarski), preprocesiranje (lokalno i globalno generisanje, grafika, optimizacija povezivanja čvorova strukture i konverzije modela), procesiranje (statički, dinamički i termički, linearan i nelinearan, stacionaran i nestacionaran proračun) i postprocesiranje (analiza rezultata proračuna, specifični proračuni, grafika, elementi optimizacije i konverzije).

Korišćeni programski paket uključuje preprocesor, koji kroz automatizaciju manuelnog rada interaktivnim generisanjem, omogućuje komforan rad pri generisanju, grafičkoj kontroli, verifikaciji i prikazivanju modela. Faza procesiranja, primenom metode konačnih elemenata, definiše mehaniku deformabilnih tela, na osnovu koje se sagledava ponašanje strukture i procenjuje njeno reagovanje na poremećaje u eksploataciji, uz optimizaciju funkcionalnih parametara pouzdanosti i parametara analizirane konstrukcije.

Osnovne – najprostije funkcije postprocesora koji predstavlja pomoć pri obradi rezultata proračuna, podrazumevaju minimiziranje ručne obrade rezultata proračuna analize jednog i više modela za jedno i više opterećenja. Elementi

optimizacije (raspodela membranskih i savojnih napona, energija deformacije i kinetičkih i potencijalnih energija po strukturi) obezbeđuju veoma efikasnu identifikaciju ponašanja konstrukcije. Navedene funkcije postprocesora definišu potrebne modifikacije na konstrukciji koje treba da dovedu do boljeg ponašanja konstrukcije u eksploataciji, što je krajnji cilj sveukupnog angažovanja.

Formiranje proračunskog modela kreće definisanjem datoteke tačaka i datoteke elemenata. U okviru tih datoteka neophodno je definisati tip konačnih elemenata koji će se koristiti, a u ovom slučaju su to, prema ranije predstavljenom obrazloženju, gredni elementi. Zatim, unose se koordinate čvornih tačaka modela, definišu se i unose karakteristike poprečnih preseka profila (karakteristike materijala, površine, momenti inercije, otporni momenti, ...).

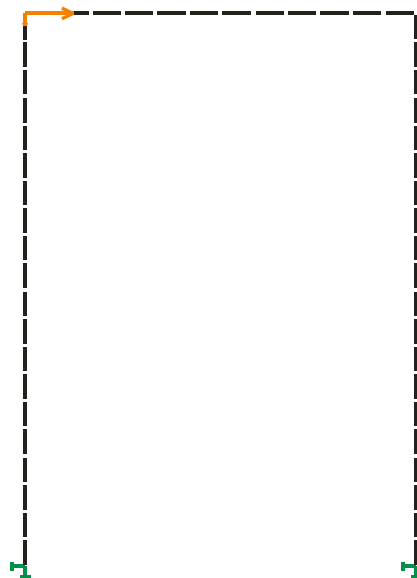
Sledeća faza je da se odrede stepeni slobode svakog čvora u modelu, tj. potrebno je definisati mesta na modelu koja predstavljaju oslonce i u kojim čvorovima postoje ograničenja pomeranja ili rotacije po bilo kojoj osi.

Na kraju, neophodno je definisati datoteku opterećenja, i to preciziranjem intenziteta opterećenja po sve tri ose, kao i čvorne tačke u kojima pretpostavljena opterećenja deluju.

Sa definisanom datotekom opterećenja, moguće je pokrenuti proračun. U okviru menija može se izabrati jedan od ponuđenih tipova proračuna, s tim što je u ovom slučaju ispitivanja merodavna provera statičkim proračunom.

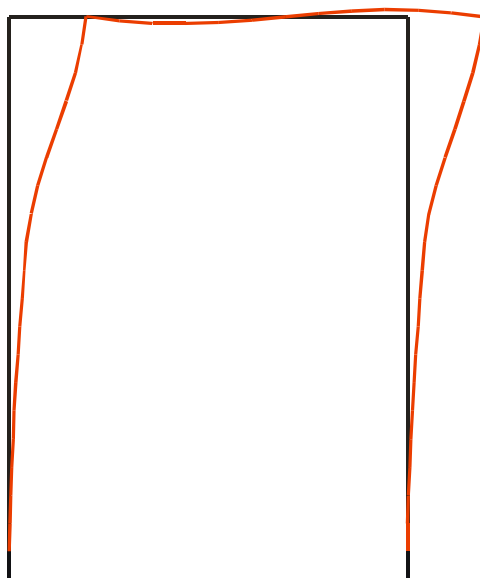
Po obavljenim proračunima generišu se nove datoteke, i to datoteke pomeranja, napona, sila, kao i izlazna datoteka u kojoj su sadržani svi merodavni podaci i eventualne greške koje mogu nastati tokom proračuna. Sve ove datoteke služe za postprocesorsku analizu podataka, kao i za grafičko predstavljanje dobijenih rezultata.

Formirani model, sa svim prethodno navedenim definisanim parametrima, prikazan je na Slici 8.11.



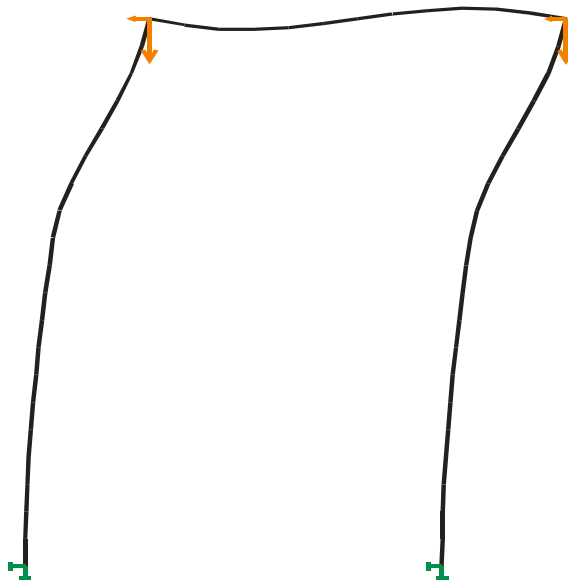
Slika 8.11. – Prikaz formiranog modela prstena

Nakon puštenog proračuna, dobija se deformaciona slika koja se takođe može vizuelno predstaviti (videti Sliku 8.12.).



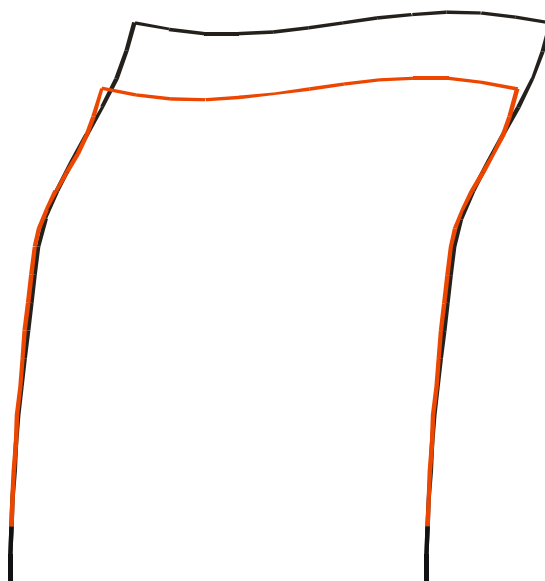
Slika 8.12. – Prikaz deformacije nakon prvog proračuna

Nakon toga, deformisana slika predstavlja početno stanje za sledeću fazu proračuna (videti Sliku 8.13.).



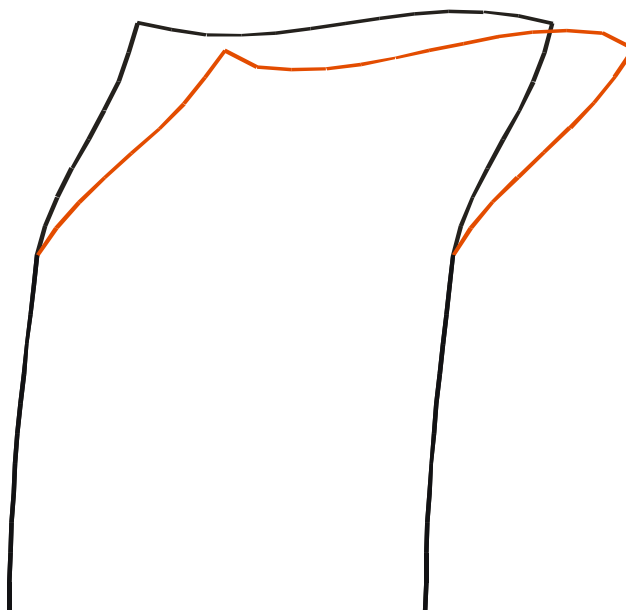
Slika 8.13. – Deformisana slika kao početno stanje za sledeću fazu

To je faza svođenja dužina deformisanih elemenata na realne, u kojoj se koristi pripremljeni podprogram (videti Sliku 8.14.).



Slika 8.14. – Svođenje dužina deformisanih elemenata na realne

Ove faze se, prema predviđenom algoritmu opisanom u Poglavlju 7 ponavljaju, sve dok se ne pojave svi predviđeni plastični zglobovi u prstenu strukture autobusa. Pojavom i poslednjeg plastičnog zgloba, dolazi se do konačne slike deformisane strukture pri kojoj se i ostvaruje maksimalna deformacija. Prikaz završnog stadijuma proračunskog modela dat je na Slici 8.15.

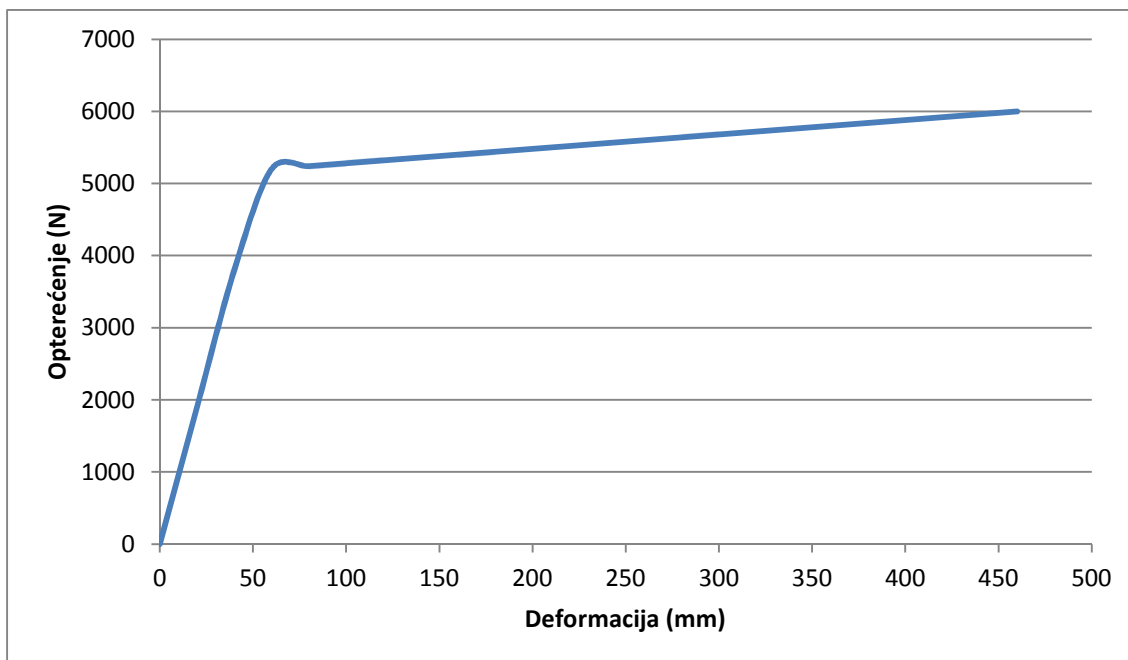


Slika 8.15. – Prikaz modela nakon završenog numeričkog proračuna

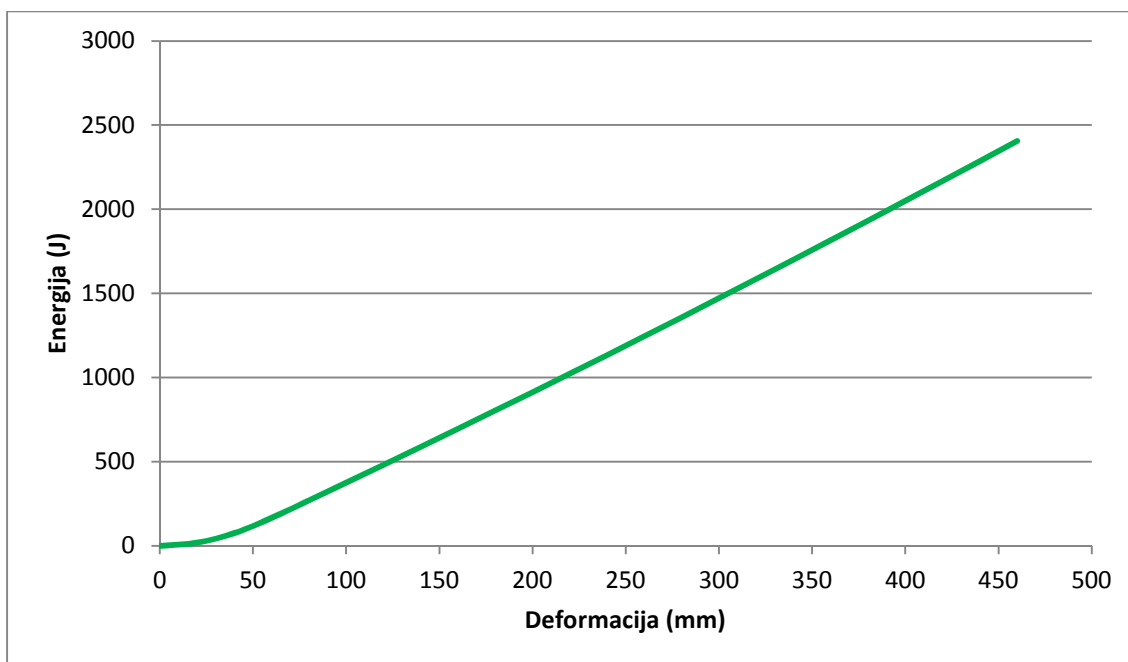
Akumuliranjem svih postignutih deformacija prstena, kao i konačnog poterećenja do kojeg se stiglo tokom proračuna, može se formirati dijagram opterećenje – deformacija, kao i dijagram energije koju prsten može da apsorbuje. Ovi dijagrami prikazani su na Slici 8.16. i Slici 8.17.

Veoma je važno napomenuti da, zbog prirasta opterećenja koje je neophodno unositi pri svakoj iteraciji proračuna, nije moguće ostvariti krivu koja će uvek odgovarati eksperimentu. U realnim fizičkim ispitivanjima postoji mogućnost opadanja sile sa pojavom plastičnih deformacija, što dovodi do nižeg nivoa apsorbovane energije. To se numeričkim proračunom ne može postići, već se pokušava da se minimalnim prirastom opterećenja ostane na približno konstantnoj vrednosti, a da se eventualna razlika energije kompenzuje ranijom

tačkom prelaska nagiba krive opterećenje – deformacija. Na taj način trebalo bi da se dobiju rezultati koji odgovaraju realnim.



Slika 8.16. – Dijagram opterećenje – deformacija proračunskog modela prstena



Slika 8.17. – Apсорbovana energija proračunskog modela prstena

Ovako dobijene vrednosti predstavljaju podatak koji je neophodno na više načina proveriti. Prvu proveru potrebno je uraditi eksperimentalnom verifikacijom proračunskog modela, čime će se videti da li je postavljenom metodologijom usmerenog projektovanja na korektan način analiziran problem, kao i da li rezultati dobijeni na modelu približno odgovaraju rezultatima dobijenim na realno fizički ispitanom uzorku prstena strukture autobusa.

Nakon toga sledi provera kriterijuma za prihvatanje rezultata, tj. treba videti da li je pretpostavljeni prsten strukture autobusa dobro projektovan i da li može da apsorbuje zahtevani nivo energije.

Ukoliko oba ova uslova budu ispunjena, možemo tvrditi da je posignut cilj sa kojim se krenulo u analizu.

8.3. EKSPERIMENTALNA VERIFIKACIJA PRORAČUNSKOG MODELA

Prvi korak verifikacije proračunskog modela je ispitivanje realnog fizičkog modela i upoređivanje tako dobijenih rezultata sa proračunskim. Sa tim ciljem obavljeno je ispitivanje karakterističnog prstena strukture autobusa uz postavljanje oslonaca i dejstvo opterećenja koje odgovara proračunskom modelu.

Kao što su obavljena preliminarna ispitivanja prstena i elemenata strukture sa ciljem utvrđivanja karakteristika plastičnih zglobova, i ovde se mogu primeniti obe metode ispitivanja. Međutim, ovog puta izabrana je samo konvencionalna metoda, s obzirom da je kalibrisanje opreme za fotogrametrijsko ispitivanje, kao i priprema celog prstena, znatno složenije za veliku površinu snimanja.

Za ovo ispitivanje korišćeni su postojeći resursi Laboratorije, koji podrazumevaju davače sile i pomeranja, sistem za akviziciju, računar, kran i ostale pomoćne sisteme za pričvršćivanje prstena za podlogu.

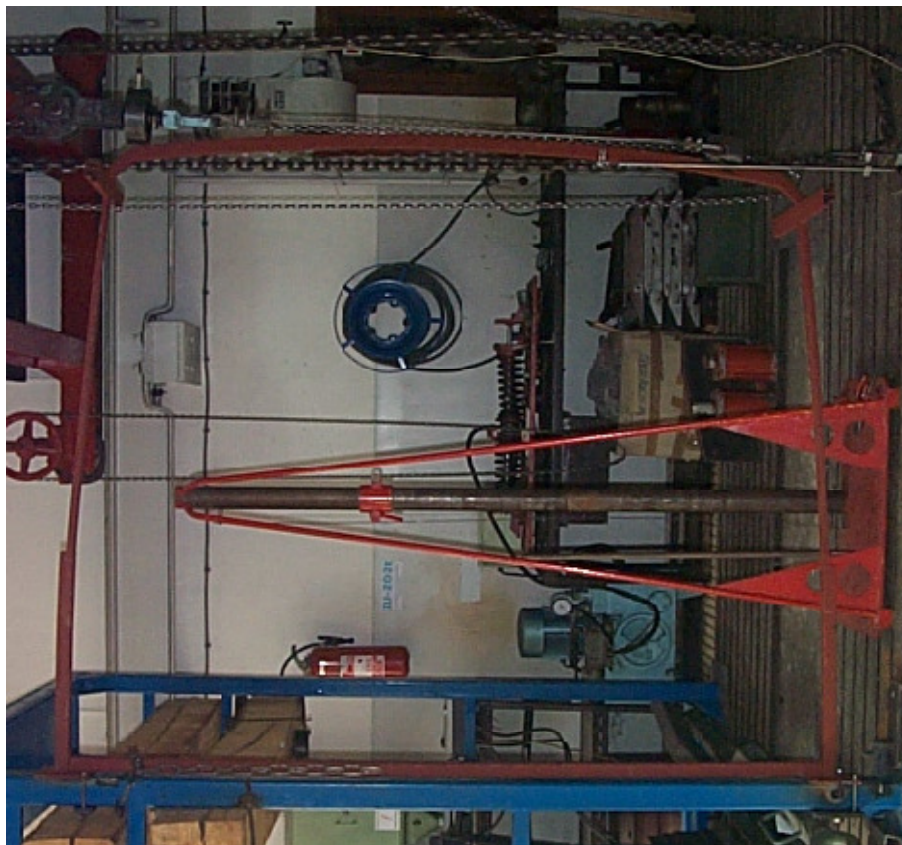
Izgled prstena koji se podvrgava ispitivanju prikazan je na Slici 8.18.



Slika 8.18. – Prsten koji se podvrgava ispitivanju

Na Slici 8.19. prikazan je prsten strukture pripremljen za ispitivanje. Ovde je važno napomenuti da u slučaju ispitivanja prstenova nije neophodno obeležavati bezbednosni prostor, s obzirom da se pomeranje bilo koje od tačaka na strukturi može izračunati. Sa druge strane, dimenzije bezbednosnog prostora u odnosu na prsten su dobro poznate, tako da je kompletan prostor unutar prstena precizno definisan. Naravno, u cilju što boljeg predstavljanja i praćenja rezultata, moguće je

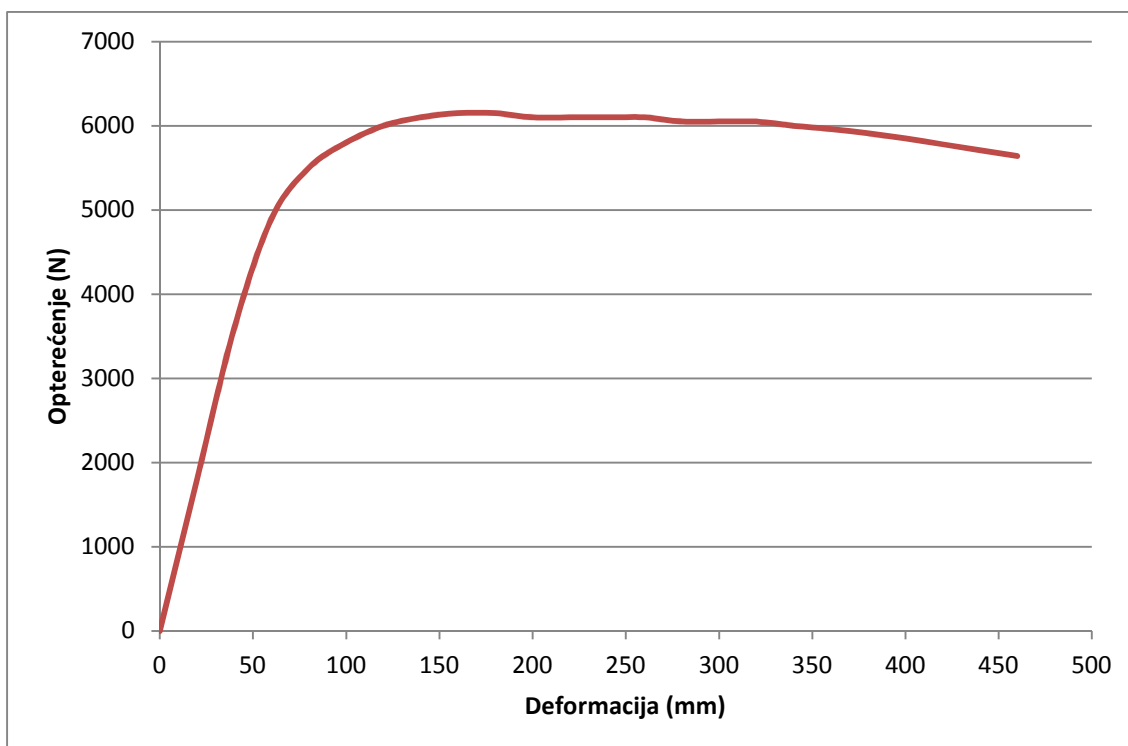
uvek unapred odrediti reperne tačke koje predstavljaju neku vrstu graničnika do kojih vrednosti pomeranja sme da se ide.



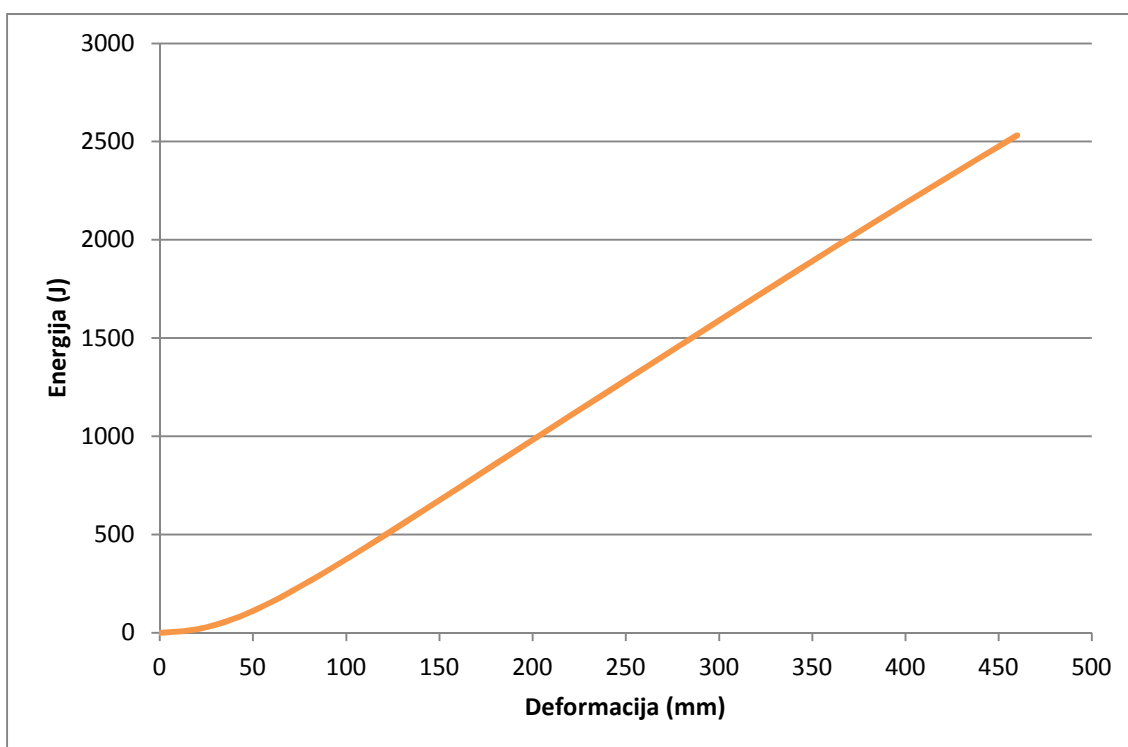
Slika 8.19. – Prsten pripremljen za ispitivanje

Dobijeni rezultati predstavljeni su ponovo u vidu dijagrama opterećenje – deformacija i energija – deformacija, kako bi mogli da se uporede sa rezultatima dobijenim numeričkim proračunom.

Na Slici 8.20. prikazan je dijagram opterećenje – deformacija ispitanog realnog prstena strukture autobusa, dok je na Slici 8.21. prikazan dijagram energija – deformacija za isti slučaj.



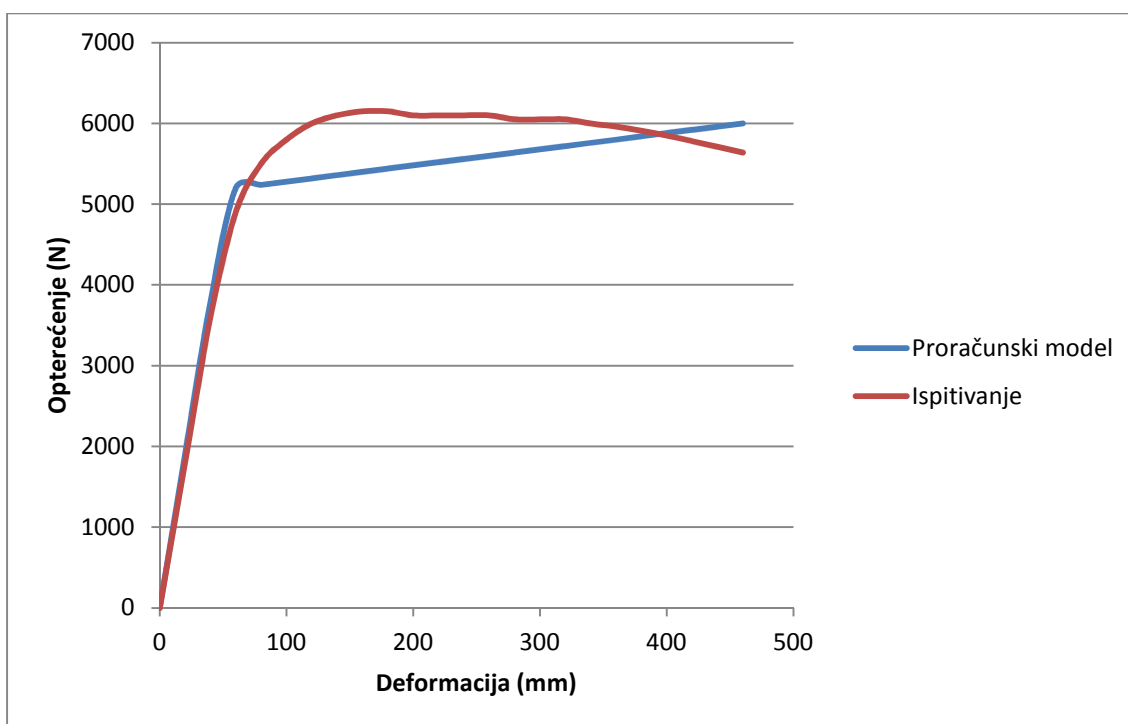
Slika 8.20. – Dijagram opterećenje – deformacija ispitanog realnog prstena



Slika 8.21. – Apsorbovana energija ispitanog realnog prstena

Na osnovu prikazanih rezultata može se primetiti da je oblik krive prikazane na dijagramu opterećenje – deformacija nešto drugačijeg oblika nego što je to slučaj kod numeričkog proračuna modela. Već je objašnjeno da se ta razlika može pojaviti usled nemogućnosti da numerički proračun radi sa održavanjem konstantne vrednosti opterećenja ili njegovim opadanjem, već konstantno mora da postoji minimalan prirast. Kod realnih ispitivanja takva situacija je sasvim moguća, pa su i razlike u dobijenim rezultatima realnost.

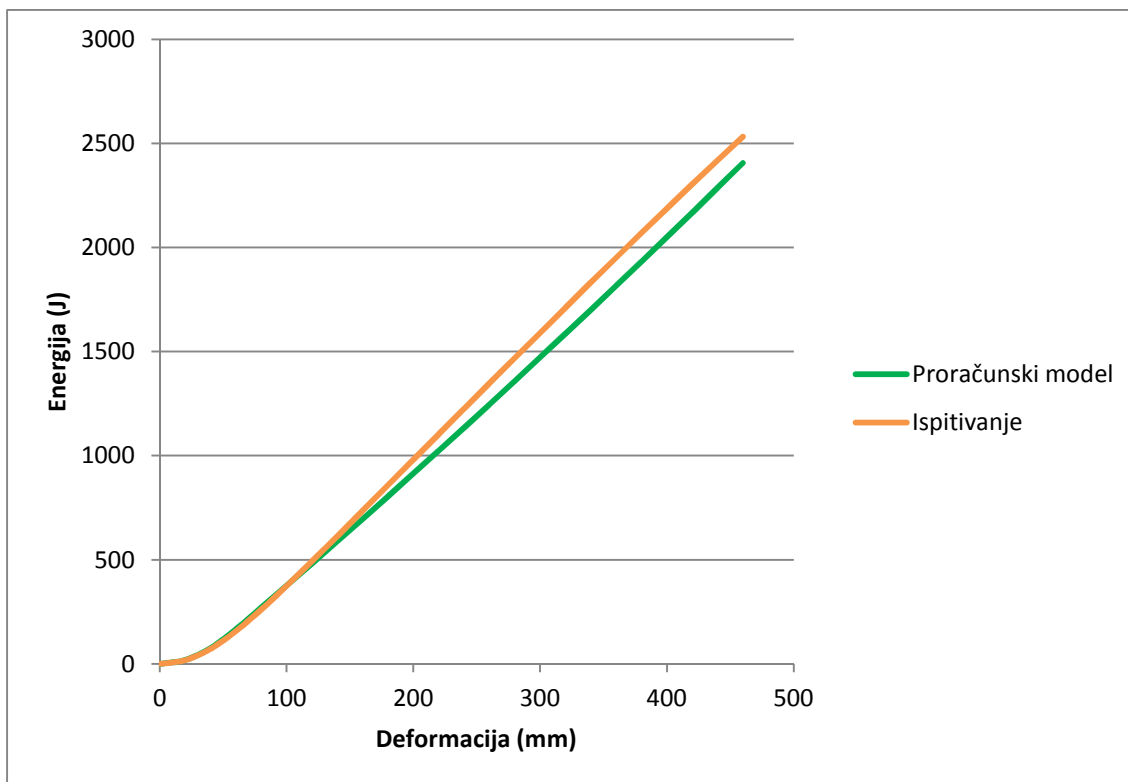
Uporedni dijagram dobijenih vrednosti ispitivanjem i numeričkim proračunom prikazan je na Slici 8.22.



Slika 8.22. – Uporedni dijagram opterećenje - deformacija

Iz prikazanog dijagrama se može zaključiti da je došlo do određene razlike, kao i da se pri definisanju karakteristika proračunskog modela mora voditi računa da se prirast sile svede na minimum, kako bi ukupan rezultat proračuna bio u okvirima prihvatljivog. Takođe, može se videti da je ponašanje oba modela u elastičnoj zoni gotovo identično.

Uporedni dijagram mogućnosti apsorbovanja energija dobijenog na osnovu ispitivanja numeričkog i realnog modela prikazan je na Slici 8.23.



Slika 8.23. – Uporedni dijagram apsorbovane energije

Sa dijagrama se vidi da je nivo apsorbovane energije nešto niži kod proračunskog modela, što je posledica ranije pomenute razlike na dijagramu opterećenje – deformacija.

Ova razlika ne mora da bude bitna ukoliko se pokaže da su zadovoljeni kriterijumi postavljeni pred karakteristični prsten strukture. Zbog toga je poslednja faza upravo analiza kriterijuma za prihvatanje rezultata, koja će dati konačan odgovor na pitanje da li je metodologija usmerenog projektovanja prihvatljiv pristup rešavanju ove vrste problema.

8.4. ANALIZA REZULTATA I KRITERIJUMI ZA NJIHOVO PRIHVATANJE

Prethodno prikazani rezultati samo delimično daju odgovor na pitanje da li je metodologija usmerenog projektovanja opravdana ili ne. Da bi se u potpunosti potvrdila njena opravdanost, potrebno je definisati kriterijume koje je neophodno zadovoljiti kako bi rezultati bili prihvaćeni, a time i sama metodologija verifikovana.

8.4.1. Definisane ukupne energije

Osnovni podatak koji je neophodan za utvrđivanje valjanosti rezultata je da se definiše minimalni nivo ukupne energije koju treba da apsorbuje struktura autobusa radi zadovoljenja zahteva UN/ECE Pravilnika br. 66.

Neophodna merenja su obavljena na prototipu autobusa koji je u celini bio podvrgnut ispitivanju /54/. Za potrebe definisanja nivoa energije bili su potrebni sledeći podaci o autobusu:

- masa praznog vozila,
- ukupna širina vozila,
- visina težišta vozila,
- ukupna visina vozila,
- rastojanje prednjeg dela vozila od težišta,
- rastojanje zadnjeg dela vozila od težišta.

Na osnovu tih podataka došlo se do minimalnog nivoa ukupne energije koju treba da apsorbuje celokupna struktura autobusa:

$$E^* = 40646.14 \text{ J}$$

Nakon toga, bilo je neophodno, na osnovu konstrukcionih karakteristika strukture, definisati ukupan broj prstenova u strukturi koji može da apsorbuje deo energije.

Takođe, trebalo je definisati koliko različitih tipova prstenova unutar strukture postoji, kao i koliko energije koji od tipova prstenova može da apsorbuje. Pri tome je veoma bitno voditi računa da se u zbiru energija pojedinačnih prstenova mora postići minimum koji je dobijen računski. Taj zbir može biti i veći, što ide samo na stranu sigurnosti, ali isto tako i u nepotrebno ojačavanje strukture.

Uvidom u tehničku dokumentaciju, konstatovano je da ima ukupno 8 prstenova strukture koji su u mogućnosti da prime deo ukupne energije. Istovremeno, konstatovano je i da postoji nekoliko različitih tipova prstenova unutar strukture:

- prednja stena strukture autobusa,
- zadnja stena strukture autobusa,
- prsten od jačih elemenata (većeg poprečnog preseka) – 4 prstena,
- prsten od slabijih elemenata (manjeg poprečnog preseka) – 2 prstena.

Prednja i zadnja stena nalaze se na prednjem i zadnjem kraju strukture i u zavisnosti od konstrukcije ne moraju biti predviđeni za značajniju apsorpciju energije. Prstenovi od jačih elemenata se u strukturi nalaze na obodima prednjih i zadnjih vrata, s obzirom da su tu opterećenja na strukturu veća, zbog otvorene konture strukture i veze vrata i ostalih elemenata. Prstenovi od slabijih elemenata su oni koji se nalaze između jednih i drugih vrata, najbliže težištu strukture.

Referentne energije koje pojedini prstenovi strukture treba da apsorbuju su sledeći:

- | | |
|------------------------------------|--------|
| - prednja stena strukture autobusa | 2200 J |
| - zadnja stena strukture autobusa | 8000 J |
| - prsten od jačih elemenata | 6504 J |
| - prsten od slabijih elemenata | 2310 J |

Ukupna vrednost apsorbovane energije izračunata iz zbira nosivosti pojedinih prstenova iznosi:

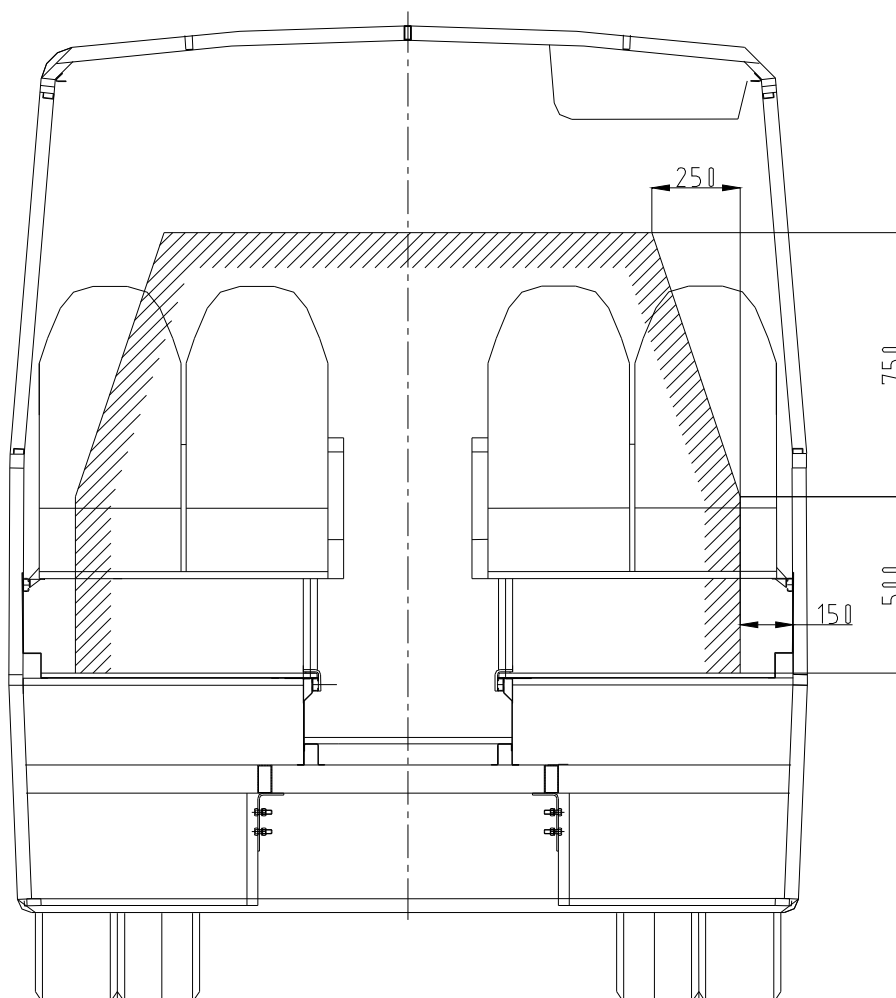
$$E = 40836 \text{ J}$$

Na taj način obezbeđen je uslov da pojedini prstenovi strukture u zbiru moraju da zadovolje minimalni izračunati nivo energije koji treba da apsorbuje struktura.

Tokom verifikacije metodologije usmerenog projektovanja, prikazivani su rezultati dobijeni prilikom modeliranja i ispitivanja prstena sastavljenog od elemenata manjeg poprečnog preseka, tako da je za te rezultate merodavni referentni nivo energije od 2310 J.

Da bi se došlo do nivoa energije koji je prsten u stanju da apsorbuje, mora da se zna kritična vrednost pomeranja elemenata strukture a da ne dođe do narušavanja bezbednosnog prostora. Već je napomenuto da se do ovog podatka relativno lako može doći, s obzirom da se na osnovu tehničke dokumentacije pruža uvid u sve dimenzije strukture, dok sa druge strane UN/ECE Pravilnik br. 66 precizno definiše podatke o dimenzijama bezbednosnog prostora.

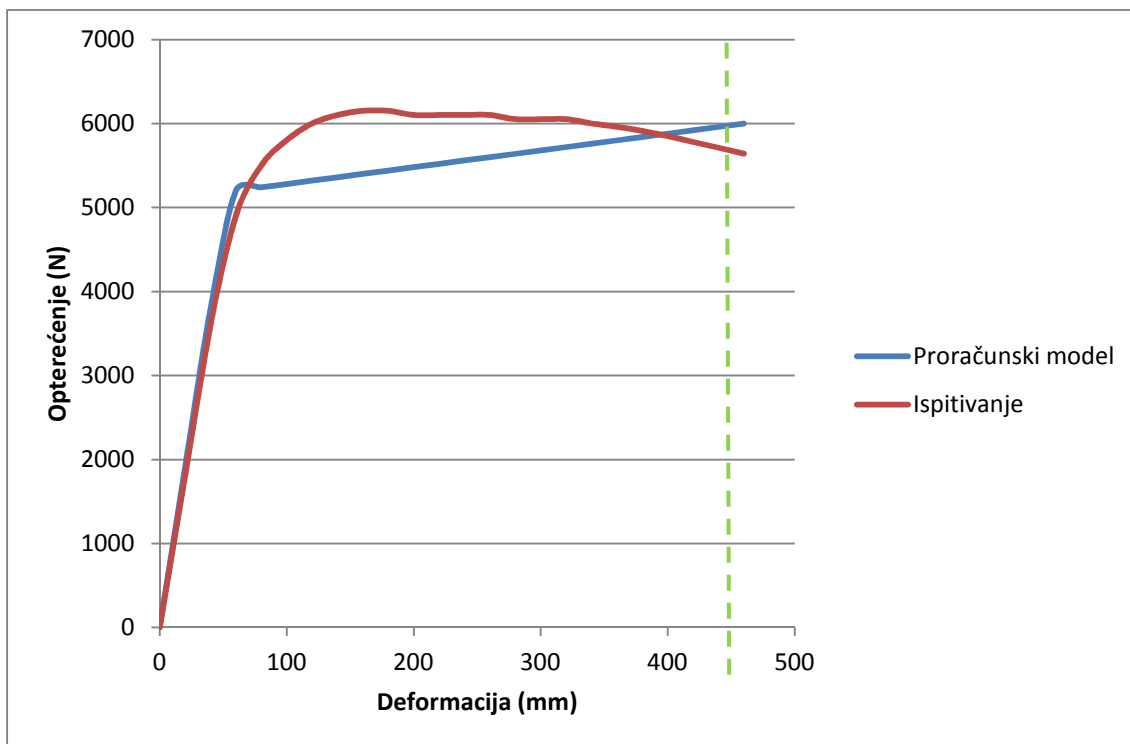
NA Slici 8.24. predstavljen je karakteristični prsten od slabijih elemenata sa ucrtanim položajem bezbednosnog prostora. Poznavanjem lokacija plastičnih zglobova i deformisanjem strukture prstena do graničnih vrednosti nenarušavanja bezbednosnog prostora, dolazi se do podatka da je maksimalna translacija gornjeg čvora strukture 450 mm.



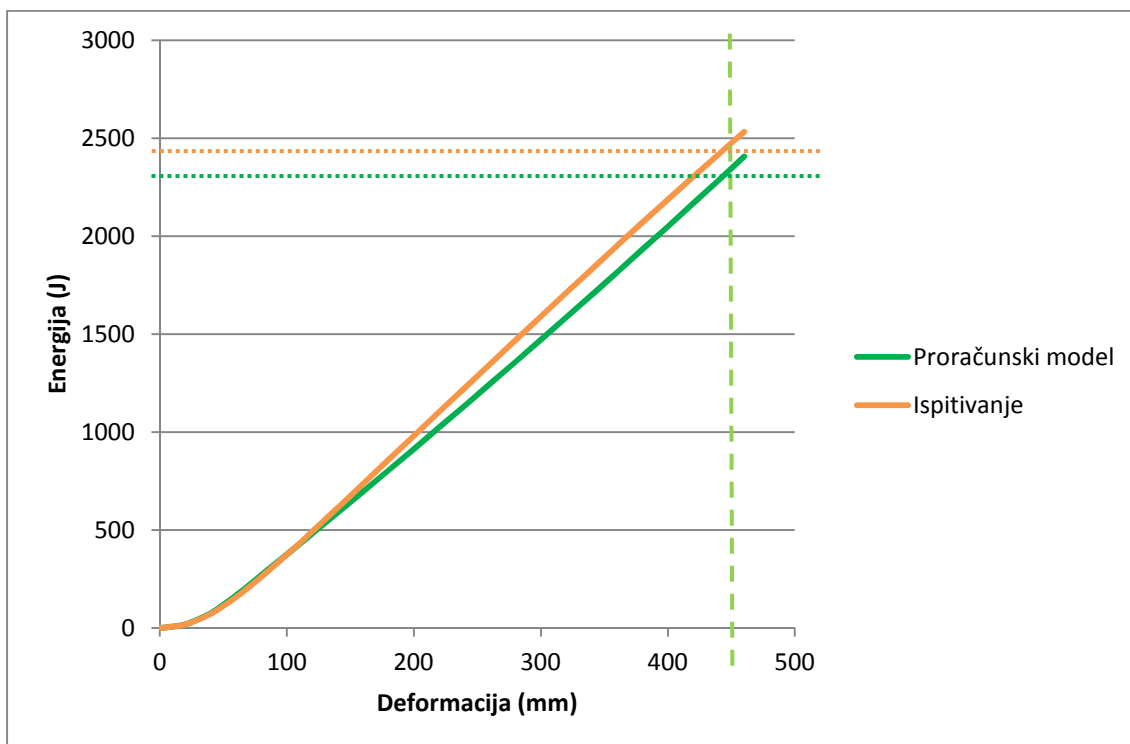
Slika 8.24. – Ispitivani segment sa obeleženim bezbednosnim prostorom

Taj podatak sada daje mogućnost da se odredi tačan nivo energije koji je prsten strukture nadgradnje u stanju da apsorbuje. Za tu priliku, na Slici 8.25. prikazan je dijagram uporednih vrednosti opterećenje – deformacija za oba slučaja, numerički proračun modela i eksperimentalnu verifikaciju, sa ucrtanom graničnom vrednošću pomeranja.

Na Slici 8.26. prikazan je dijagram uporednih vrednosti energije za oba slučaja, numerički proračun modela i eksperimentalnu verifikaciju, takođe sa ucrtanom graničnom vrednošću pomeranja.



Slika 8.25. – Granične vrednosti pomeranja na dijagramu opterećenje – deformacija



Slika 8.26. – Granične vrednosti pomeranja na dijagramu apsorbirane energije

Očitavanjem vrednosti sa dijagrama, jasno se dolazi do zaključka da je numeričkim proračunom modela prstena dobijena vrednost energije od oko 2350 J, dok je ispitivanjem realnog fizičkog prstena strukture konvencionalnom metodom dobijeno skoro 2500 J.

To praktično znači da je ispitivanjem realnog fizičkog modela verifikovan numerički proračun modela prstena strukture autobusa. Time je u potpunosti potvrđena validnost metodologije usmerenog projektovanja struktura autobusa u pogledu čvrstoće.

Važno je takođe napomenuti da prilikom ispitivanja realnih fizičkih modela nije došlo do pucanja (sloma) elemenata strukture, što je takođe veoma važan pokazatelj da je izabrana procedura projektovanja i ispitivanja apsolutno verodostojna i da se rezultati dobijeni na ovaj način u potpunosti mogu prihvatiti kao merodavni i validni.

Iskustvo u ovakvim vrstama ispitivanja, kao i veći broj eksperimentalnih verifikacija numeričkog proračuna dovešće do stanja da verifikacija neće morati da se radi svaki put, već da će numerički proračun jednostavnog grednog modela biti sasvim dovoljan da se potvrdi čvrstoća strukture autobusa.

Zbog toga je neophodno raditi što više proračuna modela, jer se stiče rutina, viši nivo znanja, ali se formira i baza podataka karakteristika materijala, preseka, zglobova i elemenata strukture, čijom se kombinacijom u nekim budućim strukturama do rešenja može doći na još brži i operativniji način.

9. ZAKLJUČNA RAZMATRANJA

9.1. KRATAK OSVRT I OSTVARENI CILJEVI DISERTACIJE

Ukoliko se posmatraju statistički podaci o saobraćajnim nezgodama, dolazi se do zaključka da autobusi spadaju u najbezbednija prevozna sredstva za prevoz putnika. Međutim, iako su saobraćajne nezgode u kojima učestvuju autobusi retke, svaka je medijski izuzetno propraćena i uvek je u žiži interesovanja javnosti.

Zbog toga se u poslednjih nekoliko godina ubrzano radi na unapređenju regulative, naročito u delu pooštavanja kriterijuma koje autobusi treba da zadovolje po pitanju pasivne bezbednosti.

Imajući ove dve važne činjenice u vidu, neophodno je prilagoditi proces projektovanja autobusa na način koji će od samog starta uključivati kriterijume regulative, kako se ne bi taj proces ponavljao po nekoliko puta na osnovu eventualnih negativnih povratnih informacija iz neke od kasnijih faza projektovanja i proizvodnje autobusa.

Predmet istraživanja u okviru doktorske disertacije bio je usmeren ka definisanju novog metodološkog pristupa projektovanju struktura autobusa i elemenata strukture, sa ciljem definisanja smernica u početnim fazama projektovanja. Istovremeno, metodološki pristup predviđa i definisanje metodologije verifikacije struktura autobusa u pogledu čvrstoće, što je osnovni parametar koji mora da bude zadovoljen sa stanovišta pasivne bezbednosti.

U tom cilju preduzete su aktivnosti koje su prvenstveno okrenute ka inženjerskom pristupu rešavanju problema, kao i razvoju i primeni softvera za brzu i

jednostavnu analizu grednih modela struktura i elemenata struktura autobusa. Na osnovu toga se dobija preliminarna slika o stanju konstrukcije u pogledu čvrstoće.

Pored toga, poseban akcenat je stavljen na eksperimentalne aktivnosti, tj. na laboratorijska ispitivanja elemenata strukture autobusa, a sve sa ciljem verifikacije ranije odrađenih numeričkih analiza formiranih proračunskih modela.

Primenom prethodno stečenih inženjerskih znanja, savremenih metoda, sopstvenih eksperimentalnih i teorijskih istraživanja, kao i modernih tehnologija sa odgovarajućom softverskom podrškom pri rešavanju postavljenog problema, ostvareni su osnovni ciljevi koji su postavljeni u okviru rada na disertaciji. To se može sagledati u sledećem:

- definisan je razvijeni metodološki pristup usmerenog projektovanja nadgradnji autobusa; precizirani su koraci koje je neophodno preduzimati kako bi se metodologija mogla sprovesti u potpunosti, a sa ciljem konačne verifikacije karakteristika strukture autobusa;
- razvijen je princip definisanja karakteristika plastičnih zglobova, kao i način njihovog lociranja unutar konstrukcije; u tu svrhu uvedene su najsavremenije metode bezkontaktnih fotogrametrijskih ispitivanja, a uporedni rezultati u potpunosti potvrđuju i afirmišu takve vrste ispitivanja kao brze, jednostavne i precizne;
- utvrđena je procedura za formiranje proračunskih modela strukture nadgradnji autobusa, koji se analiziraju već postojećim razvijenim softverskim paketima; korišćen je softverski paket KOMIPS, koji je razvijen na Mašinskom fakultetu Univerziteta u Beogradu;
- razvijen je podprogram u okviru postojećeg softverskog paketa, koji omogućava znatno brži i vizuelno prihvatljiviji proces praćenja ponašanja strukture; istovremeno, omogućava da se softveri namenjeni za linearnu

- analizu u određenoj meri i na jednostavnim modelima mogu koristiti i za nelinearnu analizu ponašanja struktura, što je u ovom slučaju bilo neophodno, s obzirom na velike deformacije koje nastaju usled simulacije prevrtanja autobusa;
- primenom metodologije usmerenog projektovanja struktura autobusa postignuto je značajno smanjenje vremena koje je potrebno u procesu projektovanja autobusa; istovremeno, postignuti su značajni rezultati i u smanjenju troškova procesa projektovanja i proizvodnje, jer više nije neophodno praviti veći broj prototipova autobusa koji bi bili podvrgnuti ispitivanjima, već se veći deo završava numeričkim proračunom na razvijenim redukovanim matematičkim modelima;
 - na osnovu rezultata dobijenih primenom ove metodologije omogućena je optimizacija struktura autobusa u smislu smanjenja mase i povećanja ukupne čvrstoće konstrukcije; tu se prvenstveno postižu rezultati u zonama strukture koje nisu od presudne važnosti za ukupnu čvrstoću, ali su obično predimenzionisani i predstavljaju neku vrstu balasta na strukturi, nepovoljno utičući na veći broj parametara vozila (masa, položaj težišta, krutost određenih zona strukture, ...);
 - eksperimentalno dobijeni rezultati mogu se koristiti za razne vrste naknadnih analiza koje se mogu pojaviti kao iterasantne; zbog toga bi bilo dobro formirati određene specifične baze podataka, koje bi sadržale karakteristike plastičnih zglobova, modularnih prstenova i segmenata strukture, uz mogućnost kontinuiranog dopunjavanja novim podacima;
 - ova metodologija, s obzirom da je potvrđena kroz doktorsku disertaciju, može se koristiti ne samo kod projektovanja struktura nadgradnji autobusa, već i kod ostalih vrsta vozila, a naročito kod specijalnih i radnih vozila; takođe, može se primeniti i na sve druge mašinske konstrukcije kod kojih je problematika čvrstoće važna.

Sagledavanjem postojećeg stanja, ciljeva istraživanja i dobijenih rezultata, može se konstatovati da su u potpunosti potvrđene sve pretpostavke i aproksimacije koje su predstavljale bitne ulazne parametre za celokupnu analizu. Očekivana dalja primena metodološkog pristupa u potpunosti opravdava postignute rezultate, a korišćenje autobusa sa nadgradnjama projektovanim primenom ove metode omogućava obezbeđivanje merodavnih povratnih informacija, koje se, uz adekvatnu analizu, mogu koristiti za dalje poboljšanje metode.

Prikupljanjem iskustava kroz dalja ispitivanja i istraživanja u ovoj oblasti, moguće je u potpunosti se osloniti na brze numeričke proračune jednostavnih modela, koji će dati jasne naznake o karakteru i ponašanju određene strukture. Tako će proces projektovanja postajati sve brži i precizniji, što i jeste osnovni cilj.

9.2. OČEKIVANA PRIMENA OSTVARENIH REZULTATA

Uvidom u trenutno stanje naše automobilske industrije, nerealno je očekivati povratak proizvodnje putničkih i teretnih motornih vozila u pravom smislu te reči, od početnih faza projektovanja, do izbacivanja gotovog proizvoda na tržište. To je koncept koji je opšte primenjen u celoj Evropi i većem delu sveta, jer je primetna tendencija centralizovanja znanja i razvojnih kapaciteta u manjem broju centara, koji su obično smešteni u razvijenim zamljema. Drugima preostaje tzv. "šrafciğer" industrija, tj. montaža, sklapanje i finalizacija proizvoda bez uključivanja razvojnih kapaciteta. Jedini benefiti mogu se očekivati kroz eventualno sklapanje ugovora o isporuci određenih elemenata neophodnih za finalizaciju vozila, ali takođe bez razvojne faze u celom procesu.

S druge strane, s obzirom na ukazane mogućnosti u fazi finalizacije proizvoda, tj. proizvodnje nadgradnji, gde nije neophodno korišćenje sofisticirane tehnologije i niza pratećih proizvođača opreme i delova, treba intenzivno razmišljati o angažovanju svih raspoloživih resursa za uključivanje u ovakve aktivnosti. Samo se

na taj način može zadržati korak u makar kakvom razvoju određenih tehnologija, procesa, unapređivanju proizvodnje, ...

Automobilska industrija u Srbiji svoju šansu treba da traži upravo u proizvodnji autobusa (nadgradnji), priključnih, specijalnih i radnih vozila. Kao što je već rečeno, ovakav vid proizvodnje ne zahteva pretrano sofisticiranu tehnologiju i opremu, ali se vrlo korisno mogu upotrebiti inženjerska znanja stečena kroz ovakav vid posla i da se određenim poznatim konstruktivnim rešenjima nadgradnji umnogome može skratiti i olakšati proces projektovanja.

Rezultati ostvareni kroz doktorsku disertaciju već su našli primenu kod određenog broja domaćih proizvođača autobusa, od kojih je metoda usmerenog projektovanja gotovo u potpunosti primenjena na nadgradnjama autobusa preduzeća "RISTIĆ" iz Ivanjice (videti Sliku 9.1.).



Slika 9.1. – Autobus RISTIĆ ELITE-R 815 D

O tome govori niz sprovedenih ispitivanja od osnovnih konstruktivnih elemenata strukture, pa sve do ispitivanja prstenova i segmenata nadgradnje. Već nekoliko godina su nadgradnje autobusa ovog proizvođača izvedene prema smernicama ove metodologije, o čemu potvrdu daju i obavljena ispitivanja, kao i verifikacija Izveštaja od strane niza Evropskih zemalja, u kojima su autobusi već godinama u upotrebi.

I ostali veliki proizvođači autobusa u Srbiji, prvenstveno IKARBUS, primenili su u jednom delu svog proizvodnog procesa smernice proizišle na osnovu analiza sprovedenih u okviru primene ove metode. Zbog ekonomske situacije u zemlji, kao i privatizacije preduzeća, izostali su očekivani veći efekti i značajnije uključivanje metodologije usmerenog projektovanja u proces projektovanja autobusa u ovom preduzeću.

Takođe, očekuje se puna primena metode usmerenog projektovanja i na nadgradnje autobusa proizvođača NIŠ EKSPRES, koji se u toku 2011. godine vrlo aktivno uključio u primenu kompletne regulative na svoje proizvode.

Posebni efekti se očekuju i od stranih proizvođača koji već pokazuju određeno interesovanje, s obzirom da se potvrdilo da su finansijski i vremenski aspekti opravdali punu prednost primene ove metode. Laboratorija CIAH na Mašinskom fakultetu je spremna da odgovori svim zahtevima koji se pred nju budu postavljali, a tiču se čvrstoće konstrukcija.

Metodologija je jednim svojim delom primenjena i za ispitivanje nekih drugih komponenata vozila. Najviše rezultata postiglo se primenom ove metodologije na ispitivanje čvrstoće zaštitnih struktura radnih vozila (traktora). U tom smislu potpuno su razvijene i primenjene procedure metodologije usmerenog projektovanja, a kao krajnji efekat postiglo se značajno ubrzanje i pojednostavljenje procesa ispitivanja.

Ovome u prilog govori i tendencija razvoja regulative, koja sve više uvodi simulaciju ispitivanja kao adekvatnu metodu procene ispunjenosti zahteva. Sa već razvijenim metodološkim pristupom i malim prilagođavanjima specifičnostima pojedinih metoda, metodologija usmerenog projektovanja može da nađe i mnogo širu primenu od trenutno postignutog.

Treba istaći da se od početnih faza razvoja metodologije išlo na analizu pojedinih elemenata strukture, definisanje osnovnih karakteristika plastičnih zglobova, analizu vrsta veza nosača i određivanje karakteristika elemenata strukture. Tek kasnije se takav pristup pokazao ispravnim, kada je kroz UN/ECE Pravilnik br. 66 uvedena kvazistatička metoda ispitivanja segmenata i kvazistatički proračun segmenata na osnovu ispitivanja elemenata strukture. To je samo potvrda da se od samog početka razvoja metodološkog pristupa bilo na pravom putu, kao i da je metodologija u potpunosti aktuelna i primenljiva na sve vrste nadgradnji i mašinskih konstrukcija.

9.3. SMERNICE DALJEG RADA

Iako su do sada postignuti rezultati primenom metodologije više nego očekivani, na ovome se ne treba zaustaviti, već daljim aktivnostima raditi na poboljšanju postojeće metodologije. Nekoliko je pravaca u kojima treba delovati:

- neophodno je razrađivati korake u okviru numeričkog proračuna, kako bi se dobio što precizniji odziv, koji što bliže odgovara rezultatima dobijenim ispitivanjem realnog fizičkog modela;
- potrebno je u što većoj meri automatizovati korake numeričkog proračuna predviđene algoritmom, kako bi proces bio što brži i sa što manje upliva podataka i informacija sa strane;

- učiniti korake ka znatno boljoj vizuelizaciji praćenja trenutnog stanja rezultata i ponašanja modela tokom numeričkog proračuna; ovaj deo je od velikog značaja, jer bi se na ovaj način postigao i dodatni efekat ugodnosti korišćenja softverskog paketa; pri tome se treba ograničiti na bolju vizuelizaciju samo određenih odabranih zona i čvorova modela, jer softver nije namenjen za komercijalnu upotrebu, već da korisniku omogući lakši rad;
- sa povećanjem broja obavljenih ispitivanja, potrebno je razmotriti formiranje određenih baza podataka karakteristika materijala, plastičnih zglobova, poprečnih preseka i celih elemenata, prstenova i segmenata uopšte; na taj način bi se sva iskustva stečena kroz ispitivanja slivala u jednu jedinstvenu bazu;
- za korišćenje podataka iz tako formirane baze podataka bilo bi potrebno razviti poseban softver, koji bi na brz, jednostavan i lak način omogućavao korisniku da vrši izbor gotovih rešenja, da kombinuje određene karakteristike nosača, plastičnih zglobova i materijala, i da na taj način čak i pre faze projektovanja dolazi do određenih rešenja; to bi bio izuzetan korak u razvoju metodologije, ali istovremeno je to i vrlo zahtevan korak, koji traži puno vremena i multidisciplinarnost u radu;
- postojeća baza podataka bi, uz korišćenje softvera, otvorila mogućnost za formiranje tzv. baze znanja, što predstavlja jednu stepenicu više u interaktivnom radu na ovakvim poslovima; baza znanja ne bi služila samo pri projektovanju struktura nadgradnji, već bi kroz logističku podršku projekta bila uključena i u sve ostale faze životnog ciklusa jednog vozila.

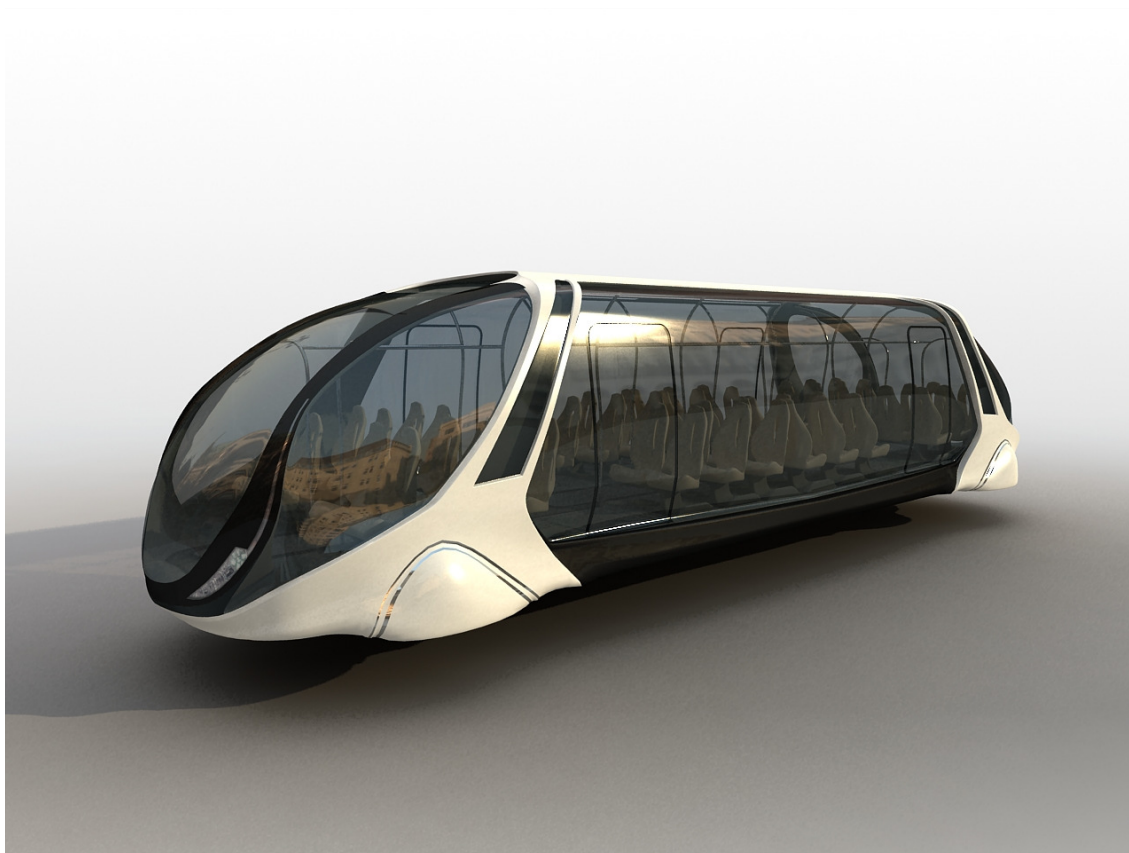
Konačni zaključak je da metodologija usmerenog projektovanja predstavlja veoma savremen, konkurentan i inženjerski prilaz procesu projektovanja struktura autobusa. Postignuti rezultati u potpunosti opravdavaju rad i korišćenje

metodologije, a treba težiti da se oblast njene primene ne zadrži samo na čvrstoći struktura autobusa, već je treba dalje razvijati i primenjivati na znatno širi spektar mašinskih konstrukcija.

S obzirom da u trci sa konkurencijom Srbija nema baš mnogo šanse ukoliko igra na produktivnost, masovnu proizvodnju i sopstveni razvoj, upravo primena ovakvih metoda može doprineti da i proizvodi naših proizvođača postanu jednog dana konkurentni, ne samo u zemlji, već i u okruženju, a možda i znatno dalje.

Aktivno praćenje stanja u regulativi, učešće u međunarodnim forumima i organizacijama koje donose odluke o budućem razvoju i automobilske industrije i primenjene regulative, od presudnog je značaja da ovakva metodologija nađe svoje mesto među domaćim proizvođačima i remontnim kućama. Jedino na taj način se može držati korak sa konkurencijom, i jedino se takvim pristupom može postići ono što je želja svih – bezbedno, sigurno i udobno prevozno sredstvo.

.
. .
.



FIKCIJA

ILI

BLISKA BUDUĆNOST

?

LITERATURA

- /1/ Consolidated Resolution on the Construction of Vehicles (R.E.3), ECE/TRANS/WP.29/78/Rev.2, Economic and Social Council, Economic Commission for Europe, United Nations, Geneva, 2011.
- /2/ Accidents Involving Buses and Coaches, In Depth from the Observatory, Observatorio Nacional de Seguridad Vial, No 12, Fourth quarter 2007, Madrid, 2007.
- /3/ http://www.b92.net/info/vesti/index.php?yyyy=2004&mm=03&dd=19&nav_category=78&nav_id=135677, 2004.
- /4/ Statistics of Road Traffic Accidents in Europe and North America, Economic Commission for Europe, Vol. LII, Geneva and New York, 2011.
- /5/ Status of 1958 Agreement, of the Annexed Regulations and of Amendments Thereto – Revision 19 (ECE/TRANS/WP.29/343/Rev.19), United Nations, New York, 2011.
- /6/ Regulation No. 36, Revision 3: Uniform Provisions Concerning the Approval of Large Passenger Vehicles with Regard to Their General Construction (E/ECE/324/Rev.1/Add.35/Rev.3 - E/ECE/TRANS/505/Rev.1/Add.35/Rev.3), United Nations, Geneva, 2008.
- /7/ Regulation No. 52, Revision 3: Uniform Provisions Concerning the Approval of M2 and M3 Small Capacity Vehicles with Regard to Their General Construction (E/ECE/324/Rev.1/Add.51/Rev.3 - E/ECE/TRANS/505/Rev.1/Add.51/Rev.3), United Nations, Geneva, 2008.
- /8/ Regulation No. 107, Revision 3: Uniform Provisions Concerning the Approval of M2 and M3 Vehicles with Regard to Their General Construction (E/ECE/324/Rev.2/Add.106/Rev.3 - E/ECE/TRANS/505/Rev.2/Add.106/Rev.3), United Nations, Geneva, 2011.

- /9/ Regulation No. 66, Revision 3: Uniform Technical Prescriptions Concerning the Approval of Large Passenger Vehicles with Regard to the Strength of Their Superstructure (E/ECE/324/Rev.1/Add.65/Rev.1 - E/ECE/TRANS/505/Rev.1/ Add.65/Rev.1), United Nations, Geneva, 2006.
- /10/ ECBOS – Enhanced Coach and Bus Occupant Safety, Final Report, European Commission Under the Competitive and Sustainable Growth Program of the 5th Framework, Project No. 1999-Rd.11130, Graz, 2003.
- /11/ Directive 2001/85/EC of the European Parliament and of the Council of 20 November 2001 Relating to Special Provisions for Vehicles Used for the Carriage of Passengers Comprising More Than Eight Seats in Addition to the Driver's Seat, and Amending Directives 70/156/EEC and 97/27/EC, Official Journal of the European Communities, L42, pp. 1-102, 2002.
- /12/ Zakon o bezbednosti saobraćaja na putevima, "Službeni glasnik RS" broj 41/09, Beograd, 2009.
- /13/ Pravilnik o podeli motornih i priključnih vozila i tehničkim uslovima za vozila u saobraćaju na putevima, "Službeni glasnik RS" broj 64/10, Beograd, 2010.
- /14/ Demić, M., Diligenski, Đ., Teorijske osnove projektovanja autobusa, Monografija, Mašinski fakultet u Kragujevcu, Kragujevac, 2003.
- /15/ Bažant, Z.P., Asymptotic Matching Analysis of Scaling of Structural Failure Due to Softening Hinges. I: Theory, Journal of Engineering Mechanics, 129 (6), 641-650, 2003.
- /16/ Bažant, Z.P., Asymptotic Matching Analysis of Scaling of Structural Failure Due to Softening Hinges. II: Implications, Journal of Engineering Mechanics, 129, 651-654, 2003.
- /17/ Ehrlich, D., Armero, F., Finite Element Methods for the Analysis of Softening Plastic Hinges in Beams and Frames, Computational Mechanics, 35, 237-264, 2005.

- /18/ Young, L.-J., Plastic Hinges Development and Crack Stability Analysis in a Circular Ring, *International Journal of Solids and Structures*, 38, 1355-1367, 2001.
- /19/ Marante, M.E., Picón, R., Flórez-López, J., Analysis of Localization in Frame Members with Plastic Hinges, *International Journal of Solids and Structures*, 41, 3961-3975, 2004.
- /20/ Matolcsy, M., General Approach of Plastic Hinges Formed on Thin-Walled Tubes in the Design of a Bus Frame, In *Proceedings of 7th International Symposium on Tubular Structures*, Rotterdam, 1996.
- /21/ Richard Liew, J.Y., Tang, L.K., Advanced Plastic Hinge Analysis for the Design of Tubular Space Frames, *Engineering Structures*, 22, 769-783 2000.
- /22/ Cimpoeu, S.J., Murray, N.W., A Large-Deflection Design Technique for Modelling the Collapse of Bus Frames Constructed from Thin-Walled Tubes in Roll-Over Accidents, In *Proceedings of the Dynamic Loading in Manufacturing and Service Conference*, Melbourne, 1993.
- /23/ Cocchetti, G., Maier, G., Elastic-Plastic and Limit-State Analyses of Frames with Softening Plastic-Hinge Models by Mathematical Programming, *International Journal of Solids and Structures*, 40, 7219-7244, 2003.
- /24/ Belingardi, G., Peroni, L., Numerical Investigation on Plastic Collapse of Thin Walled Beams Subjected to Biaxial Bending, In *Proceedings of the International Conference on Computational Plasticity COMPLAS VIII*, Barcelona, 2005.
- /25/ Bažant, Z., Scaling of Failure of Beams, Frames and Plates with Softening Hinges, *Meccanica*, 36, 67-77, 2001.
- /26/ Armero, F., Ehrlich, D., Numerical Modeling of Softening Hinges in Thin Euler-Bernoulli Beams, *Computers and Structures*, 84, 641-656, 2006.
- /27/ Mahajan, R., Shah, R., Automated Process Tool for Pre & Post Processing of Bus Roll-Over Analysis in Compliance with AIS 031/ECE R66, In *Proceedings of the Hyperworks Technology Conference 08*, Bangalore, 2008.

- /28/ Gadekar, G., Kshirsagar, S., Anilkumar, C., Rollover Strength Prediction of Bus Structure Using LS-Dyna 3D, In Proceedings of the Altair CAE Users Conference, Bangalore, 2005.
- /29/ Chan, S.L., Non-Linear Behavior and Design of Steel Structures, Journal of Constructional Steel Research, 57, 1217-1231, 2001.
- /30/ Valladeres, D., Miralbes, R., Castejon L., Development of a Numerical Technique for Bus Rollover Test Simulation by the F.E.M., In Proceedings of the World Congress on Engineering, London, 2010.
- /31/ Park, S.-J., Yoo, W.-S., Kwon, Y.-J., Rollover Analysis of a Bus Using Beam and Nonlinear Spring Elements, In Proceedings of the 9th WSEAS International Conference on Applied Mathematics, Istanbul, 2006.
- /32/ Elitok, K., et al., An Investigation on the Roll-Over Crashworthiness of an Intercity Coach, Influence of Seat Structure and Passenger Weight. In Proceedings of the 9th International LS-DYNA Users Conference, Detroit, 2006.
- /33/ Gürsel, K.T., Gürsesli, S., Analysis of the Superstructure of a Designed Bus in Accordance with Regulations ECE R 66, G.U. Journal of Science, 23, 71-79, 2010.
- /34/ Kwasniewski, L., et al., Crash and Safety Assesment Program for Paratransit Buses, International Journal of Impact Engineering, 36, 235-242, 2008.
- /35/ Matolcsy, M., The Severity of Bus Rollover Accidents, In Proceedings of the 20th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles, Lyon, 2007.
- /36/ Matolcsy, M., Lessons and Conclusions – Learned from the Analysis of Bus Rollover Accidents, In Proceedings of the Science and Motor Vehicles Conference, Belgrade, 2003.
- /37/ Dowling, P.J., Harding, J.E., Bjorhovde, R., Martinez-Romero, F., Constructional Steel Design: World Developments, Elsevier Science Publishers, Essex, 1992.

- /38/ Guo-Qiang, L., Jin-Jun, L., *Advanced Analysis and Design of Steel Frames*, John Wiley & Sons, West Sussex, 2007.
- /39/ Ziemian, R.D., *Guide to Stability Design Criteria for Metal Structures*, John Wiley & Sons, Hoboken, 2010.
- /40/ Chan, S.L., Chui, P.P.T., *Non-Linear Static and Cyclic Analysis of Steel Frames With Semi-Rigid Connections*, Elsevier Science, Oxford, 2000.
- /41/ Da Silva, V.D., *Mechanics and Strength of Materials*, Springer-Verlag, 2006.
- /42/ Lubliner, J., *Plasticity Theory*, University of California at Berkeley, 2006.
- /43/ Bažant, Z.P., *Scaling of Structural Strength*, Elsevier, 2005.
- /44/ Mitić S., Vorotović G., Rakićević B.: Definisane karakteristike plastičnih zglobova nadgradnji autobusa kao osnov metodologije usmerenog projektovanja, Simpozijum Istraživanja i projektovanja za privredu 2006; Zbornik radova, str. 131-137 (CD Rom), Niš, 2006.
- /45/ Bažant, Z.P., Cedolin, L., *Stability of Structures – Elastic, Inelastic, Fracture and Damage Theories*, World Scientific Publishing, London, 2010.
- /46/ Mitić S., Popović V., Rakićević B., Maneski T.: Characteristic Rings of Bus Superstructure as Basis of Bus Strength During Rollover, FISITA 2004 - World Automotive Congress; Zbornik radova: CD-Rom (rad F2004V253), Barselona, 2004.
- /47/ Mitić S., Rakićević B., Popović V.: Calculation Optimization of Bus Strength, Applied at the Safety Rings of a Bus Superstructure, Conference "Computer-Simulation in Automotive Engineering"; Zbornik radova: CD-Rom, Grac, 2003.
- /48/ Rakićević, B., Radivojević, D., Mitić, S., Vorotović, G., Mandić, D., Stojanović, V.: ispitivanje čvrstoće elemenata rešetkaste konstrukcije autobusa ELITE-R 818D prema zahtevima UN/ECE Pravilnika br. 66, I Faza, Mašinski fakultet, Beograd, 2003.
- /49/ <http://www.photogrammetry.com>

- /50/ Rao, S.S., The Finite Element Method in Engineering, Fourth Edition, Elsevier Inc., Oxford, 2005.
- /51/ Popović V., Vasić B., Petrović M., Mitić S.: System Approach to Vehicle Suspension System Control in CAE Environment (DOI:10.5545/sv-jme.2009.018), Strojniški Vestnik – Journal of Mechanical Engineering (IF2010=0.466; ISSN 0039-2480), 57(2011)2, str. 100-109.
- /52/ <http://www.gom.com>
- /53/ Maneski, T.: KOMIPS – KOMPJUTERSKO MODELIRANJE I PRORAČUN STRUKTURA; Softver; Mašinski fakultet, Beograd, 1998.
- /54/ Rakićević, B., Mitić, S., Vorotović, G., Radivojević, D., Mandić, D., Stojanović, V.: Strength of Bus Superstructure for Bus ELITE-R 818 D According to UN/ECE Regulation No. 66 , Final Report, Mašinski fakultet, Beograd, 2003.

PRILOZI

Prilog 1

**Softver za svođenje deformisanih
elemenata strukture na realne dužine**

Option Explicit

Dim duz1, duz2, duz3, duz4 As Long

Dim g1, g2, granica As Long

Dim datoteka As String

Dim polje1(100000) As Long

Dim polje2(100000) As String

Dim polje3(100000) As Double

Dim polje4(100000) As Double

Dim polje5(100000) As Double

Dim bolje1(100000) As Long

Dim bolje2(100000) As Long

Dim bolje3(100000) As Long

Dim bolje4(100000) As Long

Dim bolje5(100000) As Long

Dim eolje1(100000) As Double

Dim eolje2(100000) As Double

Dim eolje3(100000) As Double

Dim eolje4(100000) As Double

Dim eolje5(100000) As Double

Dim rolje1(100000) As Double

Dim rolje2(100000) As Double

Dim rolje3(100000) As Double

Dim rolje4(100000) As Double

Dim rolje5(100000) As Double

Dim rolje6(100000) As Double

Dim rolje7(100000) As Double

Dim rolje8(100000) As Double

Dim rolje9(100000) As Double

Dim rolje10(100000) As Double

Dim li As Double

Dim PP As Double

Dim FI As Double

Dim FX As Double

Dim FY As Double

Private Sub Command1_Click()

Dim racstr As String

Dim teer(100000) As String

Dim j As Long

Dim i As Long

Dim u As Long

Dim peer(100000) As String

'On Error GoTo greska

```
Dim lokacija As Long
Dim ukupnalokacija As Long

'MsgBox bolje5(Val(Text5.Text))

For i = 1 To duz4 - 1

Select Case rolje1(i)
Case Is = bolje5(Val(Text5.Text))

lokacija = i

Case Else:
End Select

Next i

ukupnalokacija = lokacija + g1 + 1

j = 1

Open datoteka + "E" For Input As #1
Do While Not EOF(1)
Line Input #1, racstr
teer(j) = racstr
j = j + 1
Loop
Close #1

u = 1

Open datoteka + "T" For Input As #1
Do While Not EOF(1)
Line Input #1, racstr
peer(u) = racstr
u = u + 1
Loop
Close #1

Dim zamena As String

zamena = Mid$(teer(ukupnalokacija), 1, 15)

Dim strnovi As String
Dim stab As String
stab = Right(" " + Str(bolje5(Val(Text5.Text))) + " " + Text10.Text, 15)

strnovi = Replace$(teer(ukupnalokacija), zamena, stab)

teer(ukupnalokacija) = strnovi
Open Left(datoteka, Len(datoteka) - 1) + "rec.E" For Output As #1
For i = 1 To j - 1
```

```
Print #1, teer(i)
Next i
Close #1

Open Left(datoteka, Len(datoteka) - 1) + "rec.T" For Output As #1
For i = 1 To u - 1
Print #1, peer(i)
Next i
Close #1

MsgBox "Fajlovi su uspesno snimljeni sa ekstenzijom rec"

Command1.Visible = False

Exit Sub

greska:

MsgBox Err.Description

End Sub

Private Sub Command2_Click()

Dim racstr As String
Dim brojac As Long
Dim brojac1 As Long
Dim st1, st2, st3, st4, st5 As String

' Ucitavanje i memorisanje datoteke tacaka

On Error GoTo greska

'Open App.Path + "/Fajlovi/3.T" For Input As #1
Open datoteka + ".T" For Input As #1

brojac = 1
brojac1 = 1
Do While Not EOF(1)
Line Input #1, racstr
Select Case brojac
Case Is > 2:
st1 = Mid(racstr, 1, 5)
st2 = Mid(racstr, 6, 12)
st3 = Mid(racstr, 18, 15)
st4 = Mid(racstr, 33, 15)
st5 = Mid(racstr, 48, 15)
polje1(brojac1) = Val(st1)
polje2(brojac1) = "0"
polje3(brojac1) = Val(st3)
polje4(brojac1) = Val(st4)
polje5(brojac1) = Val(st5)
```

```
    brojac1 = brojac1 + 1
Case Else:
brojac = brojac + 1
End Select
Loop
Close #1

duz1 = brojac1

' Ucitavanje i analiza datoteke elemenata

Dim qt1, qt2, qt3, qt4, qt5 As String

'Open App.Path + "/Fajlovi/3.E" For Input As #1
Open datoteka + "E" For Input As #1

brojac = 1
brojac1 = 1
Do While Not EOF(1)
Line Input #1, racstr
Select Case brojac
Case Is = 1:

g1 = Val(Mid(racstr, 11, 5))
g2 = Val(Mid(racstr, 16, 5))
granica = g1 + g2

brojac = brojac + 1
Case Else:
brojac = brojac + 1
End Select
Loop
Close #1

'Open App.Path + "/Fajlovi/3.E" For Input As #1
Open datoteka + "E" For Input As #1

brojac = 1
brojac1 = 1
Do While Not EOF(1)
Line Input #1, racstr
Select Case brojac
Case Is > 1 + granica + 5:

qt1 = Mid(racstr, 1, 5)
qt2 = Mid(racstr, 6, 5)
qt3 = Mid(racstr, 11, 5)
qt4 = Mid(racstr, 21, 5)
qt5 = Mid(racstr, 26, 5)

    bolje1(brojac1) = Val(qt1)
    bolje2(brojac1) = Val(qt2)
```



```
bolje3(brojac1) = Val(qt3)
bolje4(brojac1) = Val(qt4)
bolje5(brojac1) = Val(qt5)
```

```
brojac1 = brojac1 + 1
```

```
Case Else:
```

```
brojac = brojac + 1
```

```
End Select
```

```
Loop
```

```
Close #1
```

```
duz2 = brojac1
```

```
' Ucitavanje i analiza datoteke karakteristika materijala elemenata
```

```
Dim wt1, wt2, wt3, wt4, wt5 As String
```

```
'Open App.Path + "/Fajlovi/3.E" For Input As #1
```

```
Open datoteka + "E" For Input As #1
```

```
brojac = 1
```

```
brojac1 = 1
```

```
Do While Not EOF(1)
```

```
Line Input #1, racstr
```

```
Select Case brojac
```

```
Case Is > 1:
```

```
    Select Case brojac
```

```
        Case Is <= g1 + 1:
```

```
            wt1 = Mid(racstr, 1, 5)
```

```
            wt2 = Mid(racstr, 6, 10)
```

```
            wt3 = Mid(racstr, 16, 10)
```

```
            wt4 = Mid(racstr, 26, 10)
```

```
            wt5 = Mid(racstr, 36, 10)
```

```
            eolje1(brojac1) = Val(wt1)
```

```
            eolje2(brojac1) = Val(wt2)
```

```
            eolje3(brojac1) = Val(wt3)
```

```
            eolje4(brojac1) = Val(wt4)
```

```
            eolje5(brojac1) = Val(wt5)
```

```
            brojac1 = brojac1 + 1
```

```
            brojac = brojac + 1
```

```
        Case Else:
```

```
    End Select
```

```
Case Else:
```

```
brojac = brojac + 1
```

End Select

Loop

Close #1

duz3 = brojac1

' Ucitavanje i analiza datoteke karakteristika poprecnih preseka elemenata

Dim yt1, yt2, yt3, yt4, yt5, yt6, yt7, yt8, yt9, yt10 As String

'Open App.Path + "/Fajlovi/3.E" For Input As #1

Open datoteka + "E" For Input As #1

brojac = 1

brojac1 = 1

Do While Not EOF(1)

Line Input #1, racstr

Select Case brojac

Case Is > g1 + 1:

 Select Case brojac

 Case Is <= g1 + g2 + 1:

 yt1 = Mid(racstr, 1, 5)

 yt2 = Mid(racstr, 6, 10)

 yt3 = Mid(racstr, 16, 10)

 yt4 = Mid(racstr, 26, 10)

 yt5 = Mid(racstr, 36, 10)

 yt6 = Mid(racstr, 46, 10)

 yt7 = Mid(racstr, 56, 10)

 yt8 = Mid(racstr, 66, 10)

 yt9 = Mid(racstr, 76, 10)

 yt10 = Mid(racstr, 86, 10)

 rolje1(brojac1) = Val(yt1)

 rolje2(brojac1) = Val(yt2)

 rolje3(brojac1) = Val(yt3)

 rolje4(brojac1) = Val(yt4)

 rolje5(brojac1) = Val(yt5)

 rolje6(brojac1) = Val(yt6)

 rolje7(brojac1) = Val(yt7)

 rolje8(brojac1) = Val(yt8)

 rolje9(brojac1) = Val(yt9)

 rolje10(brojac1) = Val(yt10)

 brojac1 = brojac1 + 1

 brojac = brojac + 1

Case Else:

```
        End Select
    Case Else:

        brojac = brojac + 1
    End Select

Loop
Close #1

duz4 = brojac1

Text1.Text = ""
Text2.Text = ""
Text3.Text = ""
Text4.Text = ""

Dim i As Integer

For i = 1 To duz1 - 1
Text1.Text = Text1.Text + Str(polje1(i)) + vbTab + Str(polje2(i)) + vbTab + Str(polje3(i)) + vbTab +
Str(polje4(i)) + vbTab + Str(polje5(i)) + vbCrLf
Next i

For i = 1 To duz2 - 1
Text2.Text = Text2.Text + Str(bolje1(i)) + vbTab + Str(bolje2(i)) + vbTab + Str(bolje3(i)) + vbTab +
Str(bolje4(i)) + vbTab + Str(bolje5(i)) + vbCrLf
Next i

For i = 1 To duz3 - 1
Text3.Text = Text3.Text + Str(eolje1(i)) + vbTab + Str(eolje2(i)) + vbTab + Str(eolje3(i)) + vbTab +
Str(eolje4(i)) + vbTab + Str(eolje5(i)) + vbCrLf

Next i
For i = 1 To duz4 - 1
Text4.Text = Text4.Text + Str(rolje1(i)) + vbTab + Str(rolje2(i)) + vbTab + Str(rolje3(i)) + vbTab +
Str(rolje4(i)) + vbTab + Str(rolje5(i)) + vbTab + Str(rolje6(i)) + vbTab + Str(rolje7(i)) + vbTab +
Str(rolje8(i)) + vbTab + Str(rolje9(i)) + vbTab + Str(rolje10(i)) + vbCrLf

Next i

Exit Sub

greska:

MsgBox Err.Description

End Sub

Private Sub Command3_Click()
```

On Error GoTo greska

Dim i As Long

Dim suma As Double

suma = 0

For i = Val(Text5.Text) To Val(Text6.Text)

li = Sqr((polje3(bolje3(i)) - polje3(bolje2(i))) ^ 2 + (polje4(bolje3(i)) - polje4(bolje2(i))) ^ 2)

suma = suma + li

Next i

PP = ((Val(Text7.Text) * Val(Text8.Text)) / ((suma - Val(Text7.Text)) * eolje2(bolje4(Val(Text5.Text)))))

FI = (Atn((polje4(bolje3(Val(Text6.Text))) - polje4(bolje2(Val(Text5.Text)))) / (polje3(bolje3(Val(Text6.Text))) - polje3(bolje2(Val(Text5.Text))))) * 180 / 3.14159265

FX = Val(Text8.Text) * Cos(FI * 3.14159265 / 180)

FY = Val(Text8.Text) * Sin(FI * 3.14159265 / 180)

Text10.Text = Format\$(PP, "0.000E+00")

Label13(0).Caption = PP

Label13(1).Caption = FI

Label13(2).Caption = FX

Label13(3).Caption = FY

Command1.Visible = True

Exit Sub

greska:

Command1.Visible = False

MsgBox Err.Description

End Sub

Private Sub Form_Load()

End Sub

Private Sub HScroll1_Change()

crtaj

End Sub

Private Sub Izlaz_Click()

Unload Me

End Sub

```
Private Sub Text9_Change()  
crtaj
```

End Sub

```
Private Sub Ucita_Click()
```

```
CommonDialog1.ShowOpen
```

```
datoteka = Left(CommonDialog1.FileName, Len(CommonDialog1.FileName) - 1)
```

```
Text1.Text = ""
```

```
Text2.Text = ""
```

```
Text3.Text = ""
```

```
Text4.Text = ""
```

```
Text5.Text = ""
```

```
Text6.Text = ""
```

```
Text7.Text = ""
```

```
Text8.Text = ""
```

```
Text10.Text = ""
```

```
Command2_Click
```

```
Form1.Caption = datoteka
```

```
crtaj
```

End Sub

```
Private Sub crtaj()
```

```
On Error GoTo greska
```

```
Picture1.Cls
```

```
Dim i As Integer
```

```
For i = 0 To Picture1.Height Step 200
```

```
Picture1.Line (0, i)-(Picture1.Width, i)
```

```
Next i
```

```
For i = 0 To Picture1.Width Step 200
```

```
Picture1.Line (i, 0)-(i, Picture1.Height)
```

```
Next i
```

```
Dim maxx, maxy, koefx, koefy As Double
```

```
maxx = Abs(polje3(Val(Text9.Text)))
maxy = Abs(polje4(Val(Text9.Text)))

For i = Val(Text9.Text) + 1 To duz1 - 1
Select Case Abs(polje3(i))
Case Is > maxx: maxx = Abs(polje3(i))
Case Else:
End Select
Next i
For i = Val(Text9.Text) + 1 To duz1 - 1
Select Case Abs(polje4(i))
Case Is > maxx: maxy = Abs(polje4(i))
Case Else:
End Select
Next i
Select Case maxx
Case Is >= Picture1.Width:
koefx = maxx / Picture1.Width
Case Else:
koefx = Picture1.Width / maxx
End Select
Select Case maxy
Case Is >= Picture1.Height: koefy = maxy / Picture1.Height
Case Else:
koefy = Picture1.Height / maxy
End Select

HScroll1.Min = 1
HScroll1.Max = koefx / 2

For i = Val(Text9.Text) To duz1 - 1
Picture1.Circle (Picture1.Width / 2 + polje3(i) * HScroll1.Value, Picture1.Height - (polje4(i) *
koefy) + (polje4(Val(Text9.Text)))), 30
Next i

Exit Sub
greska:

MsgBox Err.Description

End Sub
```

Prilog 2

Tehnička dokumentacija nadgradnje autobusa

POZ	OZNAKA	NAZIV - OBLIK VELICINE	BR.CRT.	MATERIJAL	KOM	
28		POJACANJE	P 1.2054	100x100x6 C.0361	1	
27		L-PROFIL	L=800mm	L 18X18X1,5,C.0361	1	
26		VERTIKALNA VEZA	L=702mm	U 40X20X2 C.0361	2	
25		DIJAGONALA	P1.2011L=947mm	U 40X20X2 C.0361	2	
24		UGAO ZAPTIV. OKVIRA R=70mm	P1.2010	CEL.LIM d=2mm C.0361	14	
23		U-PROFIL -VERTIKALNI	L=475mm	U 40X20X2 C.0361	2	
22		DONJA VEZA	L=20mm	U 40X20X2 C.0361	1	
21		STUB STRANICE	L=739mm	VC 40x40x2 C.0361	3	
20		DIJAGONALA	P1.2020L=1507mm	U 40X20X2 C.0361	2	
19						
18		GORNJI STUB -ZADNJI	P1.2055l=1070mm	VC 40x20x2 C.0361	1	
17		DONJA VEZA	l=1350mm	VC 40x20x2 C.0361	2	
16		STUB STRANICE-KRACI	P1.2009 L=628mm	VC 40x30x2 C.0361	3	
15		HORIZONTALNA VEZA	l=1350mm	VC 40x30x2 C.0361	3	
14		STUB STRANICE	P1.2008t=2331mm	VC 30X20X2,C.0361	6	
13		U-PROFIL RADIJUS	P 1.2021l=180mm	U 30X18X2,C.0361	2	
12		STUB	P1.2006t=2311mm	VC 30X20X2,C.0361	1	
11		U-PROFIL	l=1350mm	U40X37X2, C.0361	1	
10		PODPROZORSKA VEZA	L=505mm	U 40X17X2, C.0361	1	
9		L-PROFIL	l=1350mm	L 18X18X1,5,C.0361	5	
8		CVORNI LIM		80x70x2 C.0361	1	
7		GORNJI STUB	P1.2005 l=950mm	VC 40x30x2 C.0361	3	
6		U-PROFIL	L=741mm	U40X10X2 C.0361	3	
5		U-PROFIL	L=390mm	U30X18X2 C.0361	2	
4		U-PROFIL	l=1350mm	U40X37X2, C.0361	2	
3		U-PROFIL	L=1350mm	U30X18X2 C.0361	6	
2		U-PROFIL	L=487mm	U 40X17X2, C.0361	2	
1		U-PROFIL	l=1350mm	U 40X17X2, C.0361	3	
		VEZA PRIPADNOSTI	P 1.2000.1	FAZA RAZVOJA	MASA	RAZMERA
			DATUM	IME		
		OBRADIO	17.11.2003	JAN		
		PROJEKT	17.11.2003	JAN		
		STAND.				
		ODOBRIO				
		KOSTUR DESNE STRANICE		BROJ CRTEZA	LIST 1	
				P 1.2001.1		
BR.	IZMENE	DATUM	IME	TIP	VARIO 815 D	

POZ	OZNAKA	NAZIV - OBLIK VELICINE	BR.CRT.	MATERIJAL	KOM
56		POJACANJE		280X32X3 C.0361	4
55		POJACANJE		80x15x2 C.0361	3
54		POJACANJE		100X34X5 C.0361	8
53		HORIZONTALNA VEZA	L=840mm	VC40X20X2 C.0361	1
52					
51					
50					
49					
48					
47		CVORNI LIM		80x70x2 C.0361	2
46		L-PROFIL	L=608mm	L 18X18X1,5 C.0361	2
45		DONJA VEZA	l=800mm	VC 40x30x2 C.0361	1
44		L-PROFIL	L=558mm	L 18X18X1,5 C.0361	2
43		L-PROFIL	L=492mm	L 18X18X1,5 C.0361	1
42		CVORNI LIM		80x70x2 C.0361	1
41		L-PROFIL	l=520mm	L 18X18X1,5 C.0361	1
40		L-PROFIL	l=590mm	L 18X18X1,5 C.0361	5
39					
38		HORIZONTALNA VEZA	l=800mm	VC40X20X2 C.0361	3
37		STUB STRANICE-ZADNJI	P1.2059l=1171mm	VC40X20X2 C.0361	1
36		HORIZONTALNA VEZA	L=486mm	VC30X20X2,C.0361	1
35		U-PROFIL	P 1.2015L=711mm	U 20X20X1.5 C.0361	1
34		DIJAGONALA	P 1.2014L=843mm	U40X20X2,C.0361	1
33					
32		DONJA VEZA -KOSA	P1.2012l=494mm	VC40X20X2 C.0361	1
31		DONJA VEZA	l=800mm	VC 40x30x2 C.0361	1
30					
29		CVORNI LIM	P1.2007	80x70x2 C.0361	2
		VEZA PRIPADNOSTI	P 1.2000.1	FAZA RAZVOJA	MASA
					RAZMERA
			DATUM	IME	
		OBRADIO	17.11.2003	JAN	
		PROJEKT	17.11.2003	JAN	
		STAND.			
		ODOBRIO			
		KOSTUR DESNE STRANICE		BROJ CRTEZA	LIST 2
				P 1.2001.1	
BR.	IZMENE	DATUM	IME	TIP	VARIO 815 D

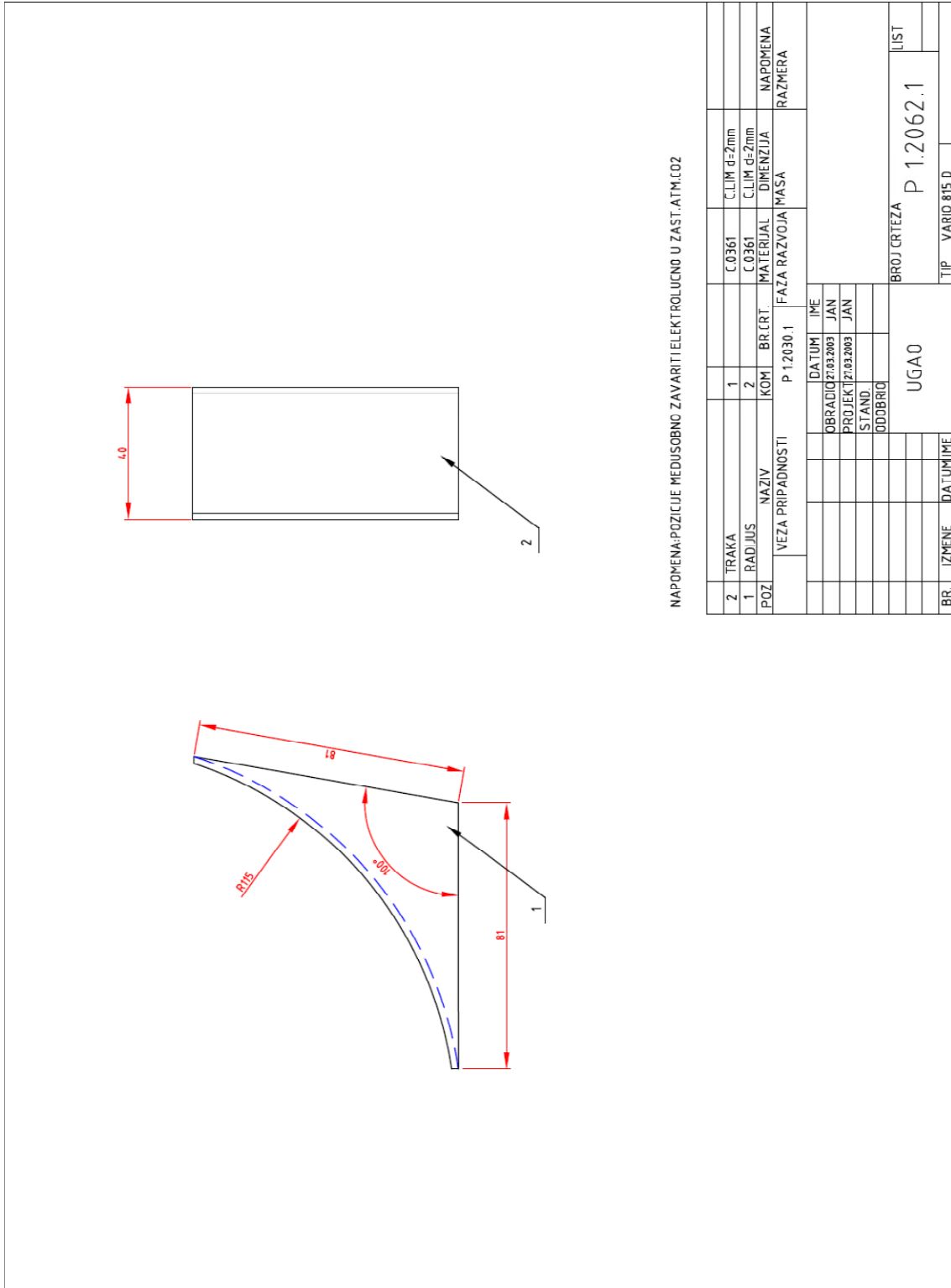
POZ	OZNAKA	NAZIV - OBLIK VELICINE	BR.CRT.	MATERIJAL	KOM	
28		POJACANJE	P 1.2054	100x100x6 C.0361	1	
27		L-PROFIL	L=800mm	L 18X18X1,5,C.0361	1	
26		VERTIKALNA VEZA	L=702mm	U 40X20X2 C.0361	2	
25		DIJAGONALA	P1.2011L=947mm	U 40X20X2 C.0361	2	
24		UGAO ZAPTIV. OKVIRA R=70mm	P1.2010	CEL.LIM d=2mm C.0361	14	
23		U-PROFIL -VERTIKALNI	L=475mm	U 40X20X2 C.0361	2	
22		L-PROFIL	l=860mm	L 18X18X1,5,C.0361	1	
21		STUB STRANICE	L=739mm	VC 40x40x2 C.0361	3	
20		DIJAGONALA	P1.2020L=1507mm	U 40X20X2 C.0361	2	
19		CVORNI LIM		80x70x2 C.0361	1	
18		GORNJI STUB -ZADNJI	P1.2055l=1070mm	VC 40x20x2 C.0361	1	
17		DONJA VEZA	l=1350mm	VC 40x20x2 C.0361	2	
16		STUB STRANICE-KRACI	P1.2009 L=628mm	VC 40x30x2 C.0361	3	
15		HORIZONTALNA VEZA	l=1350mm	VC 40x30x2 C.0361	3	
14		STUB STRANICE-DONJI	P1.2008c=2331mm	VC 30X20X2,C.0361	2	
13		U-PROFIL RADIJUS	P 1.2021l=180mm	U 30X18X2,C.0361	2	
12		STUB	P1.2006c=2311mm	VC 30X20X2,C.0361	1	
11		U-PROFIL	l=1350mm	U40X37X2, C.0361	1	
10		U-PROFIL	L=1345mm	U 40X17X2, C.0361	1	
9		L-PROFIL	l=1350mm	L 18X18X1,5,C.0361	5	
8		CVORNI LIM		80x70x2 C.0361	1	
7		GORNJI STUB	P1.2005 l=950mm	VC 40x30x2 C.0361	3	
6		L-PROFIL	P1.2004L=1345mm	L 18X18X1,5,C.0361	1	
5		U-PROFIL	L=1345mm	U40X37X2, C.0361	1	
4		U-PROFIL	l=1350mm	U40X37X2, C.0361	2	
3		U-PROFIL	L=1350mm	U30X18X2 C.0361	6	
2		U-PROFIL	L=1230mm	U 40X17X2, C.0361	2	
1		U-PROFIL	l=1350mm	U 40X17X2, C.0361	3	
		VEZA PRIPADNOSTI	P 1.2000.1	FAZA RAZVOJA	MASA	RAZMERA
			DATUM	IME		
		OBRADIO	23.10.2003	JAN		
		PROJEKT	23.10.2003	JAN		
		STAND.				
		ODOBRIO				
				KOSTUR LEVE	BROJ CRTEZA	LIST
				STRANICE	P 1.2002.1	1
BR.	IZMENE	DATUM	IME	TIP	VARIO 815 D	

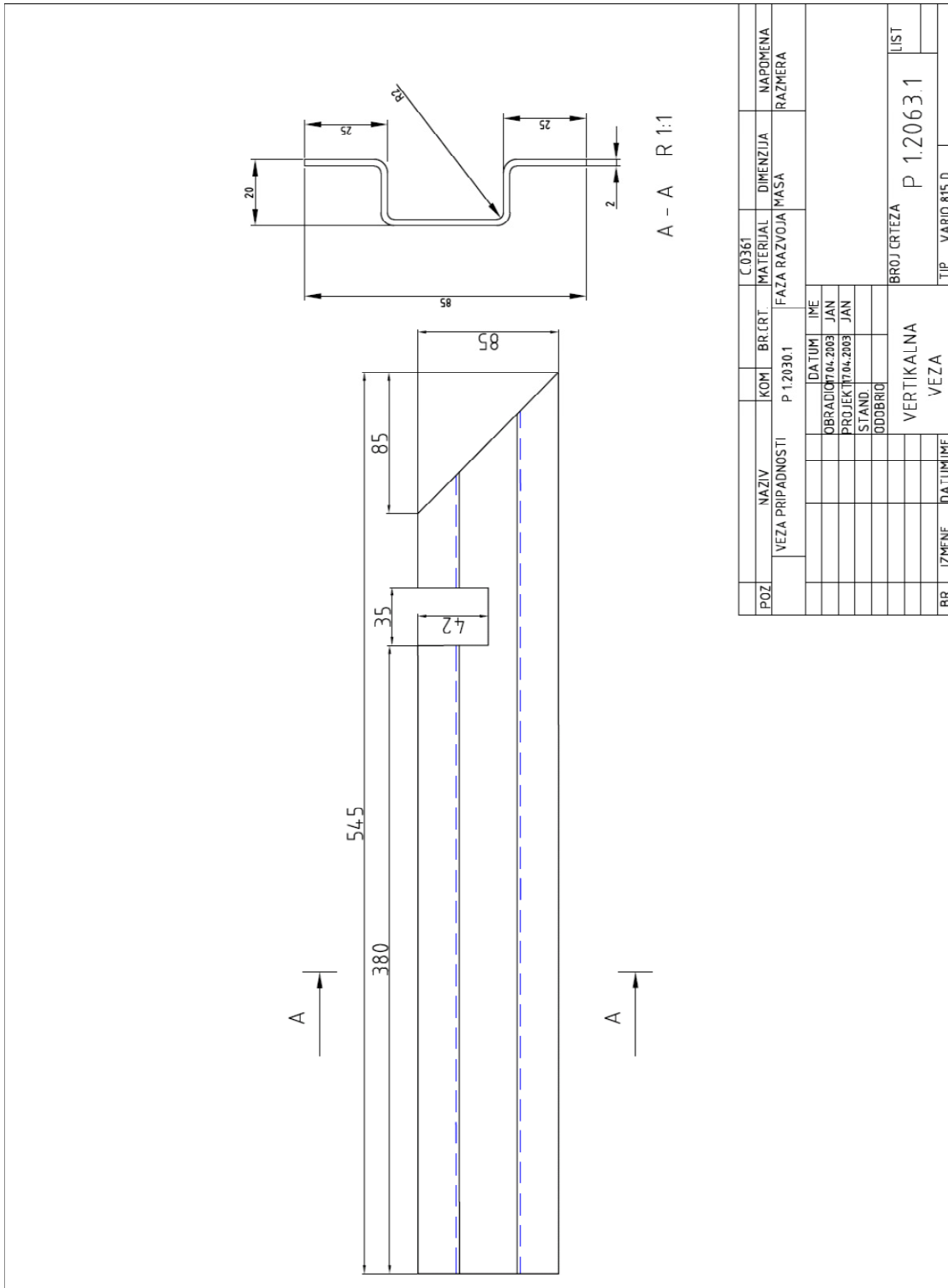
POZ	OZNAKA	NAZIV - OBLIK VELICINE	BR.CRT.	MATERIJAL	KOM
56		POJACANJE		280X32X3 C.0361	4
55		POJACANJE		80x15x2 C.0361	3
54		POJACANJE		100X34X5 C.0361	8
53		HORIZONTALNA VEZA	L=840mm	VC40X20X2 C.0361	1
52		HORIZONTALNA VEZA	l=800mm	VC 40x30x2 C.0361	1
51		STUB VRATA	L=2311mm	VC30X20X2,C.0361	3
50		HORIZONTALNA VEZA	l=800mm	VC 40x30x2 C.0361	1
49		VEZA-RADIJUS	P1.2016L=850mm	VC40X20X2 C.0361	1
48		L-PROFIL	l=800mm	L50X18X1,5 C.0361	1
47		CVORNI LIM		80x70x2 C.0361	2
46		L-PROFIL	L=608mm	L 18X18X1,5 C.0361	2
45		DONJA VEZA	l=800mm	VC 40x30x2 C.0361	1
44		L-PROFIL	L=558mm	L 18X18X1,5 C.0361	2
43		L-PROFIL	L=492mm	L 18X18X1,5 C.0361	1
42		CVORNI LIM		80x70x2 C.0361	2
41		L-PROFIL	l=520mm	L 18X18X1,5 C.0361	1
40		L-PROFIL	l=590mm	L 18X18X1,5 C.0361	5
39					
38		HORIZONTALNA VEZA	l=800mm	VC40X20X2 C.0361	1
37		STUB STRANICE-ZADNJI	P1.2059l=1171mm	VC40X20X2 C.0361	1
36		HORIZONTALNA VEZA	L=486mm	VC30X20X2,C.0361	1
35		U-PROFIL	P 1.2015L=711mm	U 20X20X1.5 C.0361	1
34		DIJAGONALA	P 1.2014L=843mm	U40X20X2,C.0361	1
33		DIJAGONALA	P 1.2013L=1069mm	U40X20X2,C.0361	1
32		DONJA VEZA -KOSA	P1.2012l=494mm	VC40X20X2 C.0361	1
31		DONJA VEZA	l=860mm	VC40X20X2 C.0361	1
30		TRAKA-RADIJUS	L=850mm	40X5 , C.0361	1
29		CVORNI LIM	P1.2007	80x70x2 C.0361	2
		VEZA PRIPADNOSTI	P 1.2000.1	FAZA RAZVOJA	MASA
					RAZMERA
			DATUM	IME	
		OBRADIO	23.10.2003	JAN	
		PROJEKT	23.10.2003	JAN	
		STAND.			
		ODOBRIO			
		KOSTUR LEVE		BROJ CRTEZA	LIST 2
		STRANICE		P 1.2002.1	
BR.	IZMENE	DATUM	IME	TIP	VARIO 815 D

POZ	OZNAKA	NAZIV - OBLIK VELICINE	BR.CRT.	MATERIJAL	KOM	
28						
27						
26						
25						
24						
23		ZAPTIVNI PROFIL	P 1.2098.1		1	
22		POJACANJE		60X60X5 C.0361	4	
21		STUB	P1.2066.1L=343mm	VC 40X20X2, C.0361	1	
20		VERTIKALNA VEZA	L=900mm	VC 40x30x2 C.0361	2	
19		L-PROFIL	P1.2067		1	
18		VERTIKALNA VEZA	P1.2065.1		4	
17		HORIZONTALNA VEZA	P1.2064.1		2	
16		VERTIKALNA VEZA	P1.2063.1		2	
15		STUB ZADNJEG DELA	P1.2034.1		1 (DESNI)	
14		STUB ZADNJEG DELA	P1.2034.1		1 (LEVI)	
13		UGAO ZAPTIVNOG PROFILA R=70mm	P1.2010.1		4	
12		L-PROFIL	~L=2300mm	25X25X1.5 C.0361	1	
11		L-PROFIL	~ L=896mm	25X25X1.5 C.0361	2	
10		L-PROFIL	L=890mm	25X18X1.5 C.0361	2	
9		L-PROFIL	L=1849mm	L 36X25X1.5,C.0361	1	
8		STUB	P1.2043.1L=370mm	VC 40X20X2, C.0361	2	
7		PRAG	P1.2033.1		1	
6		UGAO	P1.2062.1		2	
5		PODPROZORSKA VEZA	P1.2035.1		1	
4		VERTIKALNA VEZA	P1.2042.1		1L+1D	
3		DONJA VEZA	P1.2041.1		1	
2		SREDNJA VEZA	P1.2032.1		1	
1		GORNJA VEZA	P1.2031.1		1	
		VEZA PRIPADNOSTI	P 1.2000.1	FAZA RAZVOJA	MASA	RAZMERA
			DATUM	IME		
		OBRADIO	24.10.2003	JAN		
		PROJEKT	24.10.2003	JAN		
		STAND.				
		ODOBRIO				
				KOSTUR	BROJ CRTEZA	LIST
				ZADNJEG DELA	P 1.2030.1	1
BR.	IZMENE	DATUM	IME	TIP	VARIO 815 D	

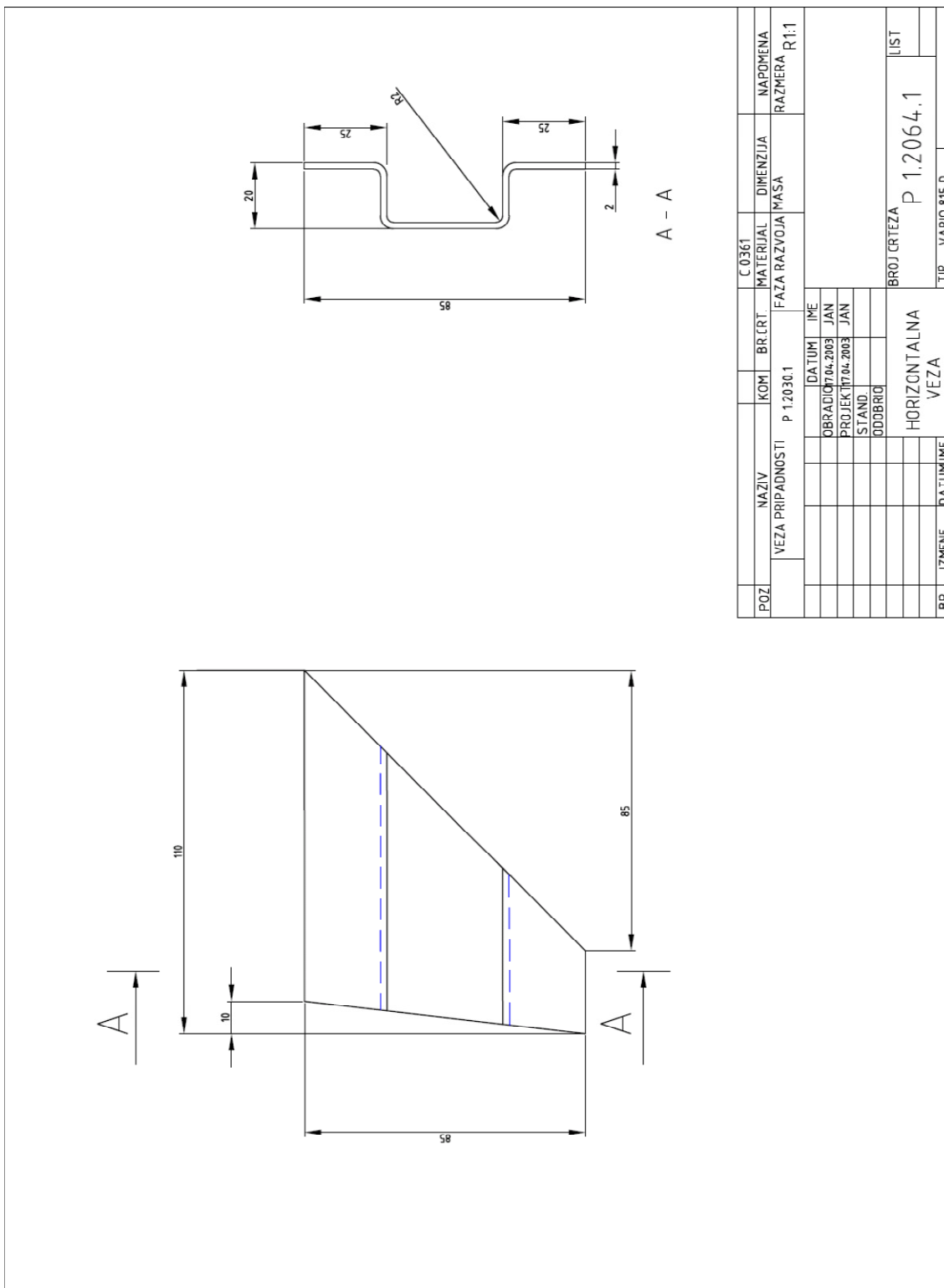
POZ	OZNAKA	NAZIV - OBLIK VELICINE	BR.CRT.	MATERIJAL	KOM	
28						
27						
26						
25						
24		GORNJA VEZA	P 1.2099.1	VC40X20X2,C.0361	1L+1D	
23		NOSAC ELEKTROMOTORA BRISACA	P 1.2090.1	C.0361,d=5mm	1	
22		OSLONAC REDUKTORA BRISACA	P 1.2089.1	C.0361,d=5mm	1	
21		POJACANJE	P 1.2082.1	C.0361,d=5mm	2	
20		HORIZONTALNA VEZA	P 1.2081.1	VC40X30X2 C.0361	1L+1D	
19		L-PROFIL	P 1.2080.1	C.0361,d=1.2mm	1	
18		HORIZONTALNA VEZA	P 1.2079.1	VC 40X40X2,C.0361	1L+1D	
17		STUB PREDNJEG DELA-DESNI	P 1.2069.1	C.0361, d=2mm	1	
16		PODPROZORSKA VEZA-DESNA	P 1.2077.1	VC 40X40X2,C.0361	2	
15		VERTIKALNA VEZA DESNA	P 1.2071.1	VC40X20X2,C.0361	1	
14		NOSAC-DESNI	P 1.2073.1	VC40X30X2 C.0361	1	
13		CAURA OSOVINE BRISACA	P 1.2076.1	C.0361	2	
12		HORIZONTALNA VEZA -DESNA	P 1.2072.1	VC40X20X2,C.0361	1	
11		VERTIKALNA VEZA	P 1.2084.1	40X40X2 C.0361	2	
10		NOSAC HLADNJAKA	P 1.2078.1		4	
9		SREDNJA VEZA ISPRED HLADNJAKA	P 1.2075.1	VC 40X40X2,C.0361	1	
8		STUB PREDNJEG DELA -ZADNI	P 1.2074.1	VC30X20X2 C.0361	2	
7		POJACANJE	P 1.2083.1	100X40X4 C.0361	2	
6		NOSAC-LEVI	P 1.2073.1	VC40X30X2 C.0361	1	
5		HORIZONTALNA VEZA -LEVA	P 1.2072.1	VC40X20X2,C.0361	1	
4		VERTIKALNA VEZA -LEVA	P 1.2071.1	VC40X20X2,C.0361	1	
3		POJACANJE-TRAKA	P 1.2070.1	2560X110X3,C.0361	1	
2		STUB PREDNJEG DELA-LEVI	P 1.2069.1	C.0361, d=2mm	1	
1		GORNJA VEZA	P 1.2068.1	VC40X40X2,C.0361	1	
		VEZA PRIPADNOSTI	P 1.2000.1	FAZA RAZVOJA	MASA	RAZMERA
			DATUM	IME		
		OBRADIO	08.12.2003	JAN		
		PROJEKT	08.12.2003	JAN		
		STAND.				
		ODOBRIO				
				KOSTUR PREDNJEG DELA	BROJ CRTEZA	LIST 1
					P 1.2061.1	
BR.	IZMENE	DATUM	IME	TIP	VARIO 815 D	

POZ	OZNAKA	NAZIV - OBLIK VELICINE	BR.CRT.	MATERIJAL	KOM
28					
27					
26					
25					
24					
23		NOSAC ELEKTROMOTORA BRISACA	P 1.2090		1
22		OSLONAC REDUKTORA BRISACA	P 1.2089		1
21		POJACANJE	P 1.2082	90x70x5,C.0361	2
20		HORIZONTALNA VEZA	P 1.2081		2
19		L-PROFIL	P1.2080		1
18		V-PROFIL	P1.2079		1
17		STUB PREDNJEG DELA-DESNI	P1.2069		1
16		PODPROZORSKA VEZA	P 1.2077		2
15		VERTIKALNA VEZA DESNA	P1.2071		1
14		NOSAC BRANIKA -DESNI	P1.2073		1
13		CAURA OSOVINE BRISACA	P 1.2076		2
12		NOSAC FARA -DESNI	P 1.2072		1
11		VERTIKALNA VEZA	P 1.2084	40X40X2 C.0361	2
10		NOSAC HLADNJAKA	P 1.2078		4
9		SREDNJA VEZA ISPRED HLADNJAKA	P1.2075		1
8		NOSAC BRANIKA -SREDNJI	P1.2074		2
7		POJACANJE	P1.2083	120X40X6 C.0361	2
6		NOSAC BRANIKA-LEVI	P 1.2073		1
5		NOSAC FARA-LEVI	P 1.2072		1
4		VERTIKALNA VEZA -LEVA	P 1.2071		1
3		POJACANJE-TRAKA	P 1.2070		1
2		STUB PREDNJEG DELA-LEVI	P 1.2069		1
1		GORNJA VEZA	P1.2068		1
VEZA PRIPADNOSTI		P 1.2000	FAZA RAZVOJA	MASA	RAZMERA
			DATUM	IME	
		OBRADIO	10.09.2002	JAN	
		PROJEKT	10.09.2002	JAN	
		STAND.			
		ODOBRIO			
KOSTUR PREDNJEG DELA			BROJ CRTEZA		LIST 1
			P 1.2061		
BR.	IZMENE	DATUM	IME	TIP	VARIO 815 D

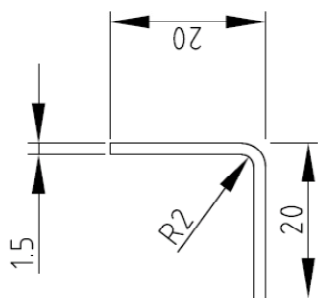




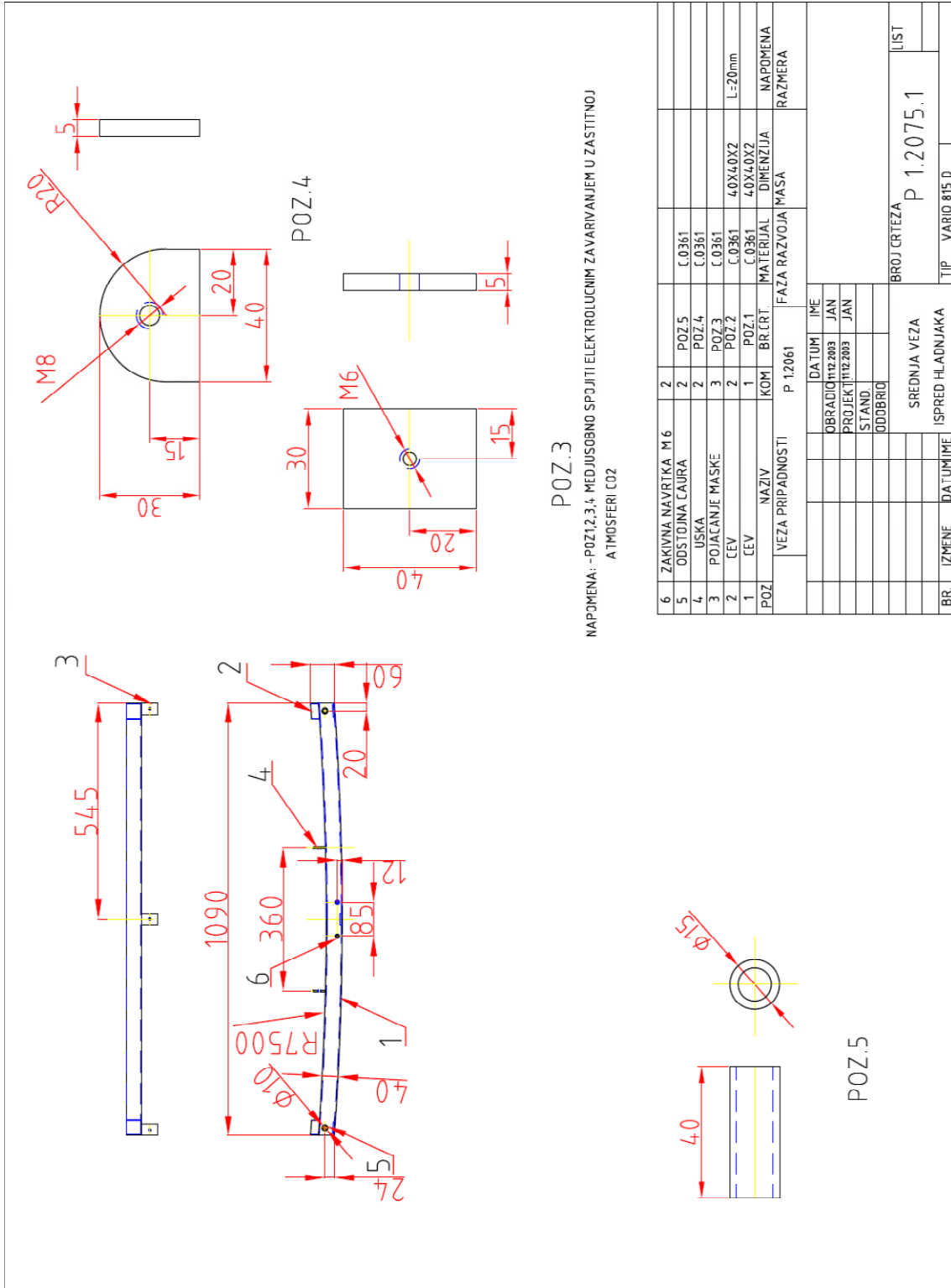
POZ	NAZIV	KOM	BR.CRT.	C 0361	MATERIJAL	DIMENZIJA	NAPOMENA
	VEZA PRIPADNOSTI	P 1.2030.1		FAZA RAZVOJA	MASA		RAZMERA
				DATE	IME		
				OBRADITELJ	04.2003	JAN	
				PROJEKTANT	04.2003	JAN	
				STAND.			
				ODOBRILO			
				VERTIKALNA VEZA			
				BROJ CRTEZA		P 1.2063.1	LIST
BR.	IZMENE	DATE	IME	TIP	VARID	815 D	



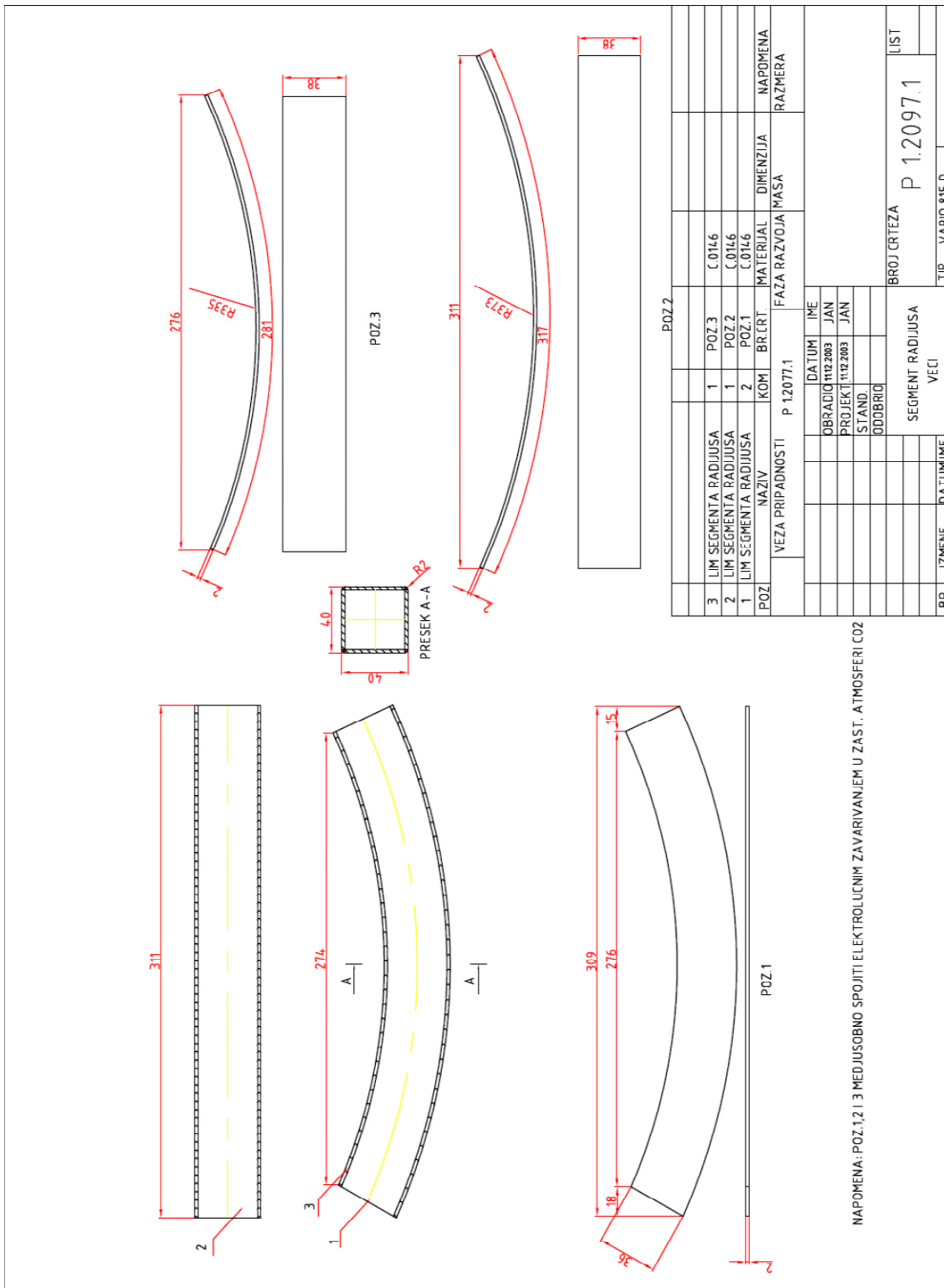
POZ	NAZIV	KOM	BR CRT	C 0361	MATERIJAL	DIMENZJA	NAPOMENA
	VEZA PRIPADNOSTI	P 12030.1		FAZA RAZVOJA	MASA		RAZMERA R1:1
				DATE	IME		
				OBRADI	07.04.2003	JAN	
				PROJEK	17.04.2003	JAN	
				STAND.			
				ODOBRIO			
				HORIZONTALNA			
				VEZA			
				BROJ CRTEZA		P 1.2064.1	LIST
BR	IZMENE	DATE	IME	TIP	VARID	815 D	

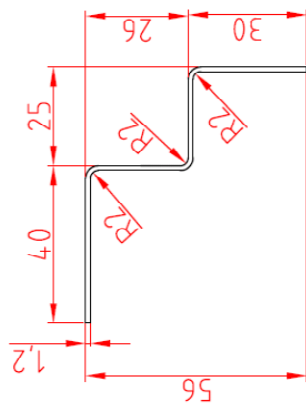


POZ	NAZIV	KOM	BR CRT	C0361	MATERIJAL	DIMENZJA	NAPOMENA
	VEZA PRIPADNOSTI	P 1.2030.1		FAZA RAZVOJA	MASA		RAZMERA 2:1
				DATE	IME		
				OBRADIO	22.10.2003	JAN	
				PROJEKT	22.10.2003	JAN	
				STAND.			
				ODOBRILO			
				L-PROFIL		BROJ CRTEZA P 1.2067.1	
						LIST	
BR.	IZMENE	DA	UM	IME	TIP VARID 815 D		



6	ZAKIVNA NAVRTKA M 6	2	POZ.5	C.0361		
5	ODSTOJNA TAURA	2	POZ.4	C.0361		
4	USKA	2	POZ.3	C.0361		
3	POJACANJE MASKE	3	POZ.3	C.0361	L=20mm	
2	CEV	2	POZ.2	C.0361	40X40X2	
1	CEV	1	POZ.1	C.0361	40X40X2	
POZ	NAZIV	KOM	BR.CRT	MATERIJAL	DIMENZIJA	NAPOMENA
	VEZA PRIPADNOSTI	P 12061		FAZA RAZVOJA	MASA	RAZMERA
				IME		
				BRADIG	1112.2003	JAN
				PROJEKT	1112.2003	JAN
				STAND.		
				ODOBRILO		
				SREDNJA VEZA		
				ISPRED HLADNJAKA		
BR.	IZMENE	DATAUM	IME			
				BROJ CRTEZA	P 1.2075.1	LIST
				TIP	VARID 815 D	





POZ	NAZIV	KOM	BR CRT	C.0146Zn12	MATERIJAL	DIMENZIJAZ	NAPOMENA
	VEZA PRIPADNOSTI	P 1.2030 1		FAZA RAZVOJA	MASA		RAZMERA
				DATE	IME		
				OBRADIO	24.10.2003	JAN	
				PROJEKT	24.10.2003	JAN	
				STAND.			
				ODOBRILO			
				ZAPTIVNI PROFIL			
				BROJ CRTEZA		P 1.2098.1	LIST
BR	IZMENE	DATE	IME	TIP	VARID	815 D	

BIOGRAFIJA AUTORA

Mr Saša Mitić, diplomirani inženjer mašinstva, rođen je u Beogradu, 25.08.1966. godine. Posle završene Osnovne škole upisuje V Beogradsku gimnaziju, matematički smer, a zatim IV Beogradsku gimnaziju, smer programer, koju završava 1985. godine. Mašinski fakultet u Beogradu upisuje 1986. godine, nakon odsluženog vojnog roka. Zvanje Diplomiranog mašinskog inženjera stekao je 1994. godine, sa prosečnom ocenom u toku studija 8.05 i ocenom 10 na Diplomskom radu.

Poslediplomske studije na Mašinskom fakultetu u Beogradu upisao je 1995. godine. Krajem avgusta 1996. godine, primljen je za asistenta-pripravnika na Katedri za motorna vozila. Početkom 2000. godine prijavio je Magistarsku tezu pod naslovom "Metode proračuna i ispitivanja kabina radnih vozila", koju je odbranio u novembru 2000. godine. U decembru 2001. godine izabran je u zvanje asistenta na Katedri za motorna vozila.

Pored angažovanja na odvijanju nastave, aktivan je i u radu Laboratorije CIAH, gde je trenutno Tehnički rukovodilac. Učestvovao je u izradi preko 1500 izveštaja o obavljenim ispitivanjima motornih i priključnih vozila i njihovih komponenti, od kojih je u priličnom broju ispitivanja bio rukovodilac. Bio je ili je i dalje angažovan na projektima Ministarstva za nauku i tehnologiju Republike Srbije. Autor je i koautor preko 50 naučnih i naučno-stručnih radova objavljenih na naučno-stručnim skupovima i u časopisima međunarodnog i nacionalnog značaja.

Član je udruženja ASABE (American Society of Agricultural and Biological Engineers), DOTS-a (Društvo održavalaca tehničkih sistema) i JUMV-a (Jugoslovensko društvo za motore i vozila).

Aktivno govori engleski jezik, a služi se nemačkim i ruskim jezikom. Vlada sledećim softverskim paketima: MS Windows, MS Office, Auto Cad, Catia, Corel Draw, Adobe Photoshop, itd.

Прилог 1.

Изјава о ауторству

Потписани Саша Митић

број индекса _____

Изјављујем

да је докторска дисертација под насловом

МЕТОДОЛОГИЈА УСМЕРЕНОГ ПРОЈЕКТОВАЊА **СТРУКТУРА АУТОБУСА У ПОГЛЕДУ ЧВРСТОЋЕ**

- резултат сопственог истраживачког рада,
- да предложена дисертација у целини ни у деловима није била предложена за добијање било које дипломе према студијским програмима других високошколских установа,
- да су резултати коректно наведени и
- да нисам кршио ауторска права и користио интелектуалну својину других лица.

Потпис докторанда

У Београду, 07.05.2012.

Saša Mitić

Прилог 2.

**Изјава о истоветности штампане и електронске
верзије докторског рада**

Име и презиме аутора _____ Саша Митић _____

Број индекса _____

Студијски програм _____

Наслов рада _____ **Методологија усмереног пројектовања**
_____ **структура аутобуса у погледу чврстоће** _____

Ментор _____ **проф. др Бранислав Ракићевић** _____

Потписани _____ **Саша Митић** _____

Изјављујем да је штампана верзија мог докторског рада истоветна електронској верзији коју сам предао за објављивање на порталу **Дигиталног репозиторијума Универзитета у Београду**.

Дозвољавам да се објаве моји лични подаци везани за добијање академског звања доктора наука, као што су име и презиме, година и место рођења и датум одбране рада.

Ови лични подаци могу се објавити на мрежним страницама дигиталне библиотеке, у електронском каталогу и у публикацијама Универзитета у Београду.

Потпис докторанда

У Београду, 07.05.2012.



Прилог 3.

Изјава о коришћењу

Овлашћујем Универзитетску библиотеку „Светозар Марковић“ да у Дигитални репозиторијум Универзитета у Београду унесе моју докторску дисертацију под насловом:

МЕТОДОЛОГИЈА УСМЕРЕНОГ ПРОЈЕКТОВАЊА
СТРУКТУРА АУТОБУСА У ПОГЛЕДУ ЧВРСТОЋЕ

која је моје ауторско дело.

Дисертацију са свим прилозима предао сам у електронском формату погодном за трајно архивирање.

Моју докторску дисертацију похрањену у Дигитални репозиторијум Универзитета у Београду могу да користе сви који поштују одредбе садржане у одабраном типу лиценце Креативне заједнице (Creative Commons) за коју сам се одлучио.

① Ауторство

2. Ауторство - некомерцијално
3. Ауторство – некомерцијално – без прераде
4. Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима
5. Ауторство – без прераде
6. Ауторство – делити под истим условима

(Молимо да заокружите само једну од шест понуђених лиценци, кратак опис лиценци дат је на полеђини листа).

Потпис докторанда

У Београду, 07.05.2012.



1. Ауторство - Дозвољавање умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце, чак и у комерцијалне сврхе. Ово је најслободнија од свих лиценци.

2. Ауторство – некомерцијално. Дозвољавање умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела.

3. Ауторство - некомерцијално – без прераде. Дозвољавање умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела. У односу на све остале лиценце, овом лиценцом се ограничава највећи обим права коришћења дела.

4. Ауторство - некомерцијално – делити под истим условима. Дозвољавање умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада.

5. Ауторство – без прераде. Дозвољавање умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела.

6. Ауторство - делити под истим условима. Дозвољавање умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада. Слична је софтверским лиценцама, односно лиценцама отвореног кода.