

Univerzitet u Beogradu – Mašinski fakultet

Goran Simić





Univerzitet u Beogradu - Mašinski fakultet

Goran Simić

# VAGONI

Konstrukcija i proračun

Autor:

Dr Goran Simić, vanredni profesor

VAGONI

Konstrukcija i proračun

Recenzenti:

Dr Vojkan Lučanin, redovni profesor

Dr Dušan Milutinović, SI CIP

Izdavač:

Univerzitet u Beogradu-Mašinski fakultet

11120 Beograd 35, Kraljice Marije 16

Telefon 011 3370 050 i 3302384

[www.mas.bg.ac.rs](http://www.mas.bg.ac.rs)

Za izdavača:

Dekan dr Milorad Milovančević, redovni profesor

Glavni i odgovorni urednik:

Dr Aleksandar Obradović, redovni profesor

Odobreno za štampu odlukom Dekana Mašinskog fakulteta

br. 249/13 od 10.10.2013

Tiraž: 200 primeraka

Štampa:

Planeta print, Beograd, Ruzveltova 10, tel 011 3088 129

Zabranjeno preštampavanje i umnožavanje.

Sva prava zadržavaju izdavač i autor.

ISBN 978-86-7083-809-3

## PREDGOVOR

Ovaj udžbenik je nastajao tokom niza godina nastavničkog rada na Katedri za šinska vozila na Mašinskom fakultetu Univerziteta u Beogradu. Udžbenik pokriva oblast predmeta Vagoni 1 i Vagoni 2 u okviru diplomskih (master) akademskih studija na usmerenju Šinska vozila na Mašinskom fakultetu u Beogradu. Delimično knjiga pokriva i sadržaj izbornog predmeta Osnovi šinskih vozila na osnovnim akademskim studijama.

U skladu sa nastavnim programom obuhvaćene su one oblasti konstrukcije i proračuna šinskih vozila koje su više-manje zajedničke za sva šinska vozila. Oblasti koje su obuhvaćene drugim predmetima na usmerenju Šinska vozila, kao što su kočnice, dinamičko ponašanje šinskih vozila ili oblast gradskih i specijalnih šinskih vozila se u ovom udžbeniku ne obrađuju.

Na sadržaj ovog udžbenika svakako je imalo uticaj i iskustvo autora u saradnji na različitim projekatima sa šinskom industrijom. Imajući u vidu značaj tehničkih propisa i standarda u oblasti projektovanja, proizvodnje i remonta šinskih vozila, posebna pažnja je posvećena citiranju relevantnih SRPS EN standarda kao i UIC propisa koji su bili aktuelni u vreme završetka rukopisa. Budući čitaoci treba da imaju u vidu da se propisi permanentno inoviraju i unapređuju, pa je uvek potrebno proveriti njihovu aktuelnost.

Očekujem da bi ova knjiga mogla biti korisna i inženjerima koji rade u oblasti proizvodnje, održavanja ili eksploatacije šinskih vozila, kao početni orijentir u traženju rešenja za tehničke probleme u njihovoj praksi.

Zahvaljujem recenzentima prof. dr Vojkanu Lučaninu i dr Dušanu Milutinoviću na brižljivo pregledanom tekstu i datim sugestijama.

U Beogradu, novembra 2013

Goran Simić



# SADRŽAJ

1. OPŠTE OSNOVE	1
1.1 Iz istorije tehničkog razvoja šinskih vozila	1
1.2 Savremeni šinski saobraćaj u svetu i kod nas	4
1.3 Relativne prednosti i nedostaci šinskog transporta	7
1.4 Projektovanje i životni ciklus šinskih vozila	9
1.5 Standardi i propisi u projektovanju šinskih vozila	11
1.6 Podela šinskih vozila	12
1.7 Osnovne konstrukcione celine vagona	14
1.8 Osnovni parametri i osnovne dimenzije vagona	15
2. TRČEĆI SKLOP	25
2.1 Osovinski sklop	25
2.1.1 Profil točka	38
2.1.2 Montaža osovinskog sklopa	45
2.2 Ležišta šinskih vozila	50
2.2.1 Ispitivanje ležišta	54
2.3 Jednoosovinski trčeći sklop	57
2.4 Obrtna postolja	61
2.4.1 Obrtna postolja teretnih vagona	63
2.4.1.1 Obrtno postolje Y25	63
2.4.1.2 Obrtno postolje tipa DB	67
2.4.1.3 "Trodelno" obrtno postolje	69
2.4.1.4 Tendencije u razvoju teretnih obrtnih postolja	72
2.4.2 Konstrukcija obrtnih postolja za putničke wagone	73
2.4.2.1 Karakteristični sklopovi putničkih obrtnih postolja	74
2.4.2.2 Zakretni moment	83
2.4.2.3 Obrtno postolje MD52	87
2.4.2.4 Tendencije razvoja obrtnih postolja za putničke wagone	91
2.5 Trčeći sklop sa nezavisnim točkovima	92
2.6 Trčeći sklop zglobnih vozova	93
3. GEOMETRIJSKO-KINEMATSKI PRORAČUNI	100
3.1 Provera profila (gabarita) šinskih vozila	100
3.1.1 Osnovni profil	100
3.1.2 Profil vozila	102
3.1.3 Bočna pomeranja vagona na koloseku	103
3.1.3.1 Merodavni položaji za bočna pomeranja	106
3.1.3.2 Koeficijent naginjanja	107
3.1.4 Vertikalna pomeranja vagona na koloseku	112
3.1.5 Izrazi za suženja	113
3.1.5.1 Suženje Ei	114
3.1.5.2 Suženje Ea	115
3.1.6 Izračunavanje profila vozila na bazi osnovnog statičkog profila	118
3.1.7 Širina profila vozila	119
3.1.8 Odnos raznih profila	120
3.2. Provera uzajamnog položaja trčećeg sklopa i kolskog sanduka	121
3.2.1 Uzajami položaj rama obrtnog postolja i kolskog sanduka	122
3.2.2 Uzajamni položaj točka i kolskog sanduka	125
4. OPTEREĆENJA KONSTRUKCIJE VAGONA	129
4.1 Vertikalne sile	129

4.2 Bočne sile	131
4.2.1 Centrifugalna sila	131
4.2.2 Sila vetra	137
4.3 Uzdužna sila inercije pri kočenju	138
4.4 Unutrašnji pritisak u cisternama	139
4.5 Pritisak rasutih tereta na zidove vagona	141
4.6 Ostale sile	142
<b>5. PROVERA SIGURNOSTI OD PREVRTANJA U KRIVINI</b>	<b>144</b>
<b>6. PRORAČUN ČVRSTOĆE OSOVINSKOG SKLOPA</b>	<b>150</b>
6.1 Proračun čvrstoće osovine	150
6.1.1 Opterećenja osovine	150
6.1.2 Računski naponi	157
6.1.3 Koncentracija napona	158
6.1.4 Dozvoljeni naponi	159
6.2 Proračun čvrstoće točkova	161
6.2.1 Merodavna opterećenja točka za proračun	163
6.2.2 Osnove modela za proračun	166
6.2.3 Određivanje dozvoljenih napona za proračun	169
<b>7. SISTEM ELASTIČNOG OSLANJANJA</b>	<b>171</b>
7.1 Opšte karakteristike	171
7.1.1 Krutost elemenata	171
7.1.2 Sprezanje elastičnih elemenata	174
7.1.3 Idealna elastična karakteristika	176
7.1.4 Proračun elastičnog oslanjanja	180
7.1.4.1 Opšta ograničenja	180
7.1.4.2 Tok proračuna	181
7.2 Oslanjanje sa gibnjevima	183
7.2.1 Čvrstoća i krutost	183
7.2.2 Karakteristike realnih gibnjeva	187
7.2.3 Montažni prednapon u gibnju	190
7.2.4 Karakteristike gibnja u sklopu sa karikama	191
7.3 Oslanjanje sa zavojnim oprugama	193
7.3.1 Čvrstoća i krutost	194
7.3.2 Stabilnost zavojnih opruga	198
7.3.3 Zamena jedne cilindrične zavojne opruge sa dve ekvivalentne	200
7.3.4 Opruge opterećene aksijalno i poprečno	201
7.4 Oslanjanje sa gumenim oprugama	202
7.4.1 Napon i krutost karakterističnih elemenata	205
7.4.2 Ponašanje gume u eksploataciji	208
7.5 Vazdušno oslanjanje	209
7.5.1 Nosivost i krutost vazdušnih opruga	209
7.5.2 Sistem vazdušnog oslanjanja	213
7.6 Elastični sistemi na bazi klatna	218
7.6.1 Elastični sistem sa kosim vešalicama	219
7.6.2 Karike i vođice kao elastični elementi oslanjanja dvoosovinskih vagona	222
7.7 Naginjanje kolskog sanduka u krivini	225
7.8 Torzione karakteristike vagona	230
7.9 Prigušujući elementi	235
7.10 Aktivni i pasivni sistemi oslanjanja	240
<b>8. NOSEĆA STRUKTURA</b>	<b>246</b>
8.1 Konstrukcija noseće strukture	246
8.1.1 Postupci spajanja	254
8.1.2 Diferencijalna i integralna struktura	258
8.1.3 Mere za olakšanje konstrukcije	262



8.1.4	Zaštita od korozije	265
8.1.5	Realna i idealna struktura	268
8.2.	Materijali za noseću strukturu	269
8.2.1	Čelici za noseću strukturu	272
8.2.2	Aluminijumske legure	276
8.2.3	Kompozitni materijali	280
8.3	Proračunska opterećenja	284
8.3.1	Proračunska opterećenja i ispitivanje čvrstoće kolskog sanduka	284
8.3.1.1	Izuzetna opterećenja kolskog sanduka	285
8.3.1.2	Opterećenja elemenata veze opreme pričvršćene za kolski sanduk	289
8.3.1.3	Provera naponskog stanja za izuzetna opterećenja	289
8.3.1.4	Opterećenja sanduka na zamor	291
8.3.1.5	Provera na zamor	292
8.3.1.6	Analiza slučajeva opterećenja	295
8.3.1.7	Čvrstoća kolskog sanduka pri ranžirnim udarima	296
8.3.1.8	Čvrstoća kolskog sanduka pri havarijskim sudarima	298
8.3.2	Proračunska opterećenja i ispitivanje rama obrtnog postolja	301
8.3.2.1	Obrtna postolja putničkih vagona	302
8.3.2.2	Obrtna postolja teretnih vagona	307
8.3.2.3	Dozvoljeni naponi za ram obrtnog postolja	309
8.3.2.4	Ispitivanje rama obrtnog postolja na zamor	309
8.4	Proračun čvrstoće	311
8.4.1	Deterministički i stohastički pristup proračunu čvrstoće	311
8.4.2	Mehanički model	313
8.4.3	Preliminarni izbor dimenzija elemenata noseće strukture	315
8.4.4	Primena MKE u proračunu čvrstoće	325
8.4.5	Korišćenje svojstava simetrije	328
8.4.6	Stabilnost elemenata noseće strukture	331
9.	VUČNO-ODBOJNI UREĐAJI	341
9.1	Vučni uređaj	343
9.1.1	Otklon kvačila u krivini	347
9.2	Odbojnici	349
9.2.1	Odbojnici sa prstenastom oprugom	349
9.2.2	Drugi tipovi odbojnika	352
9.3	Vučno-odbojni uređaji stalno spregnutih vagona	355
9.4	Mehaničke karakteristike odbojnika	357
9.4.1	Karakteristike odbojnika po UIC propisima	362
9.5	Karakteristike, oblik i dimenzije odbojničkih tanjira	364
9.6	Ograničenja prostora na čelima vagona	368
9.7	Automatska kvačila	369
9.7.1	Automatsko kvačilo UIC 69	372
9.7.2	Vučno automatsko kvačilo	377
9.7.3	Kompaktno pojednostavljeno automatsko kvačilo	379
9.8	Stabilišući zglob automatskih kvačila	381
10.	OPREMA PUTNIČKIH VAGONA	386
10.1	Stepeništa	386
10.2	Vrata	388
10.3	Prozori	394
10.4	Prelazni uređaji	395
10.5	Opšte mere za postizanje komfora putnika	398
10.6	Grejanje, provetravanje i klimatizacija	399
10.6.1	Konstrukcija sistema za grejanje i klimatizaciju	405
10.7	Zaštita od požara	408
10.8	Električna instalacija	412
10.8.1	Osvetljenje	416
10.8.2	Ozvučenje	418

10.8.2.1 Komunikacioni UIC kabl	418
10.9 Sanitarni čvor	420
10.10 Putnički vagoni za velike brzine	422
10.10.1 Zaptivenost kolskog sanduka	424
10.10.2 Buka u vagonu i okolini	432
10.10.3 Smanjenje aerodinamičkih otpora	438
11. TERETNI VAGONI ZA POVEĆANE BRZINE	441