

doc. Ing. Jozef Gašparík, PhD.

doc. Ing. Juraj Grenčík, PhD.

Ing. Pavol Meško, PhD.

Ing. Vladislav Zitrický PhD.

Ing. Vladimír Ľupták

Mechanika v železničnej doprave

Vydala Žilinská univerzita v Žiline

EDIS - vydavateľské centrum ŽU

2016

Publikácia vznikla v rámci riešenia grantového projektu VEGA 1/0095/16 "Hodnotenie kvality spojenia na dopravnej sieti ako nástroj na zvýšenie konkurencieschopnosti systému verejnej osobnej dopravy" na Fakulte prevádzky a ekonomiky dopravy a spojov Žilinskej univerzity v Žiline.

Vedecký redaktor: prof. Ing. Jozef Majerčák, PhD.

Recenzenti: doc. Ing. Jaromír Široký, Ph.D.
Ing. Jaromír Široký, Ph.D.

Za odbornú, jazykovú a technickú úroveň publikácie zodpovedajú autori.

Žilinská univerzita v Žiline/EDIS - vydavateľské centrum ŽU

© J. Gašparík, J. Grenčík, P. Meško, V. Zitrický, V. Lupták, 2016

ISBN 978-80-554-1274-0

OBSAH

ÚVOD	7
1 ZÁKLADNÉ POJMY V MECHANIKE ŽELEZNIČNEJ DOPRAVY.....	9
1.1 Rozdelenie vozidiel	9
1.1.1 Hmotnostné a ťažové parametre vozidiel	19
1.1.2 Rozmerové parametre vozidiel.....	21
1.2 Trakčné zariadenia hnacích vozidiel.....	22
1.3 Pravidlá označovania veličín	25
2 ÚLOHY MECHANIKY V ŽELEZNIČNEJ DOPRAVE.....	29
2.1 Skutočný pohyb vlaku	29
2.2 Idealizovaný pohyb vlaku.....	30
2.2.1 Zákonitosti pohybu vozidiel.....	32
2.2.2 Rovnomerný zrýchlený (spomalený) pohyb	34
2.2.3 Pôsobenie momentu na valec (železničné dvojkolesie).....	35
2.2.4 Pôsobenie sily v osi valca	37
2.3 Kinetická energia vozidla (vlaku).....	38
2.4 Zostavenie matematického modelu vozby	41
3 JAZDNÉ ODPORY	43
3.1 Traťové odpory	44
3.1.1 Odpor sklonu.....	44
3.1.2 Odpor oblúka	47
3.1.2.1 Vplyv nerovnakej dĺžky koľajníc v oblúku	47
3.1.2.2 Vplyv pevného rázvoru dvojkolesí	48
3.1.2.3 Vplyv dostredivej zložky ťažnej sily v oblúku	48
3.1.2.4 Vplyv odstredivej sily v oblúku.....	49
3.1.2.5 Empirický vzťah pre súčiniteľ odporu z oblúka.....	50
3.1.3 Odpor na výhybkách.....	51
3.1.4 Odpor tunela	52
3.1.5 Vplyv dĺžky vlaku na traťový odpor	53
3.2 Úprava profilu trate pre vozebné výpočty.....	55
3.2.1 Skutočný sklon a zjednodušený sklon.....	55
3.2.2 Náhradný sklon	56
3.2.3 Redukovaný sklon.....	56
3.2.4 Trasa konštantného odporu	58
3.3 Vozidlové odpory.....	59
3.3.1 Odpor ložísk.....	60
3.3.2 Valivý odpor	62
3.3.3 Odpor vzduchu (aerodynamický odpor).....	65
3.4 Celkový jazdný odpor vlaku.....	67

4	MECHANIZMUS VZNIKU ŤAŽNEJ SILY A POHYBU VOZIDLA	71
4.1	Ťažná sila hnacích dráhových vozidiel	71
4.1.1	Indikovaná ťažná sila	71
4.1.2	Ťažná sila na obvode hnacích kolies	73
4.1.3	Ťažná sila na spriahadle	74
4.1.4	Trvalá a hodinová ťažná sila	75
4.1.5	Adhézia a adhézna ťažná sila	76
4.2	Trakčná charakteristika	84
4.2.1	Ideálna trakčná charakteristika	84
4.2.2	Charakteristiky vozidiel so spaľovacím motorom	88
4.2.2.1	Mechanický prenos výkonu	91
4.2.2.2	Hydrodynamický prenos výkonu	93
4.2.2.3	Elektrický prenos výkonu	97
4.2.3	Charakteristiky hnacích vozidiel elektrickej trakcie	100
4.2.3.1	Vozidlá jednosmernej trakčnej sústavy so stupňovitou odporovou reguláciou	101
4.2.3.2	Vozidlá striedavej trakčnej sústavy so stupňovitou odbočkovou reguláciou	105
4.2.3.3	Elektrické hnacie vozidlá s plynulou pulznou reguláciou	106
5	ROVNICA POHYBU VLAKU A ZOTRVAČNÝ SKLON	109
5.1	Vlaková rovnica	109
5.1.1	Úprava vlakovej rovnice tiažovým prístupom	111
5.1.2	Úprava vlakovej rovnice hmotnostným prístupom	112
5.2	Zotrvačný sklon	114
5.3	Diagram s_0/v	115
5.3.1	Výpočtový (tabuľkový) spôsob konštrukcie diagramu s_0/V	117
5.3.2	Graficko-výpočtový spôsob konštrukcie diagramu s_0/V	118
5.3.3	Prebytok mernej ťažnej sily	119
6	NORMATÍV HMOTNOSTI DOPRAVOVANÝCH VOZIDIEL	123
6.1	Analytické stanovenie technického normatívu hmotnosti	123
6.2	Grafická metóda určenia technického normatívu hmotnosti	124
6.2.1	Korefov nomogram	124
6.2.2	Tabuľky technického normatívu hmotnosti	129
7	SKÚMANIE POHYBU KOĽAJOVÝCH VOZIDIEL	131
7.1	Tachogram jazdy koľajového vozidla	131
7.2	Metódy riešenia tachogramu	132
7.2.1	Statická metóda	133
7.2.2	Numerické metódy	135
7.2.3	Müllerova grafická metóda	139
7.2.4	Fáza brzdenia v tachograme	143
7.3	Spotreba energie	145
7.3.1	Určenie spotreby paliva vlakov motorovej trakcie	147
7.3.2	Spotreba elektrickej energie vlakov elektrickej trakcie	149

7.3.3	Jednosmerná trakčná sústava, hnacie vozidlá so stupňovitou odporovou reguláciou výkonu	150
7.3.4	Trakčná sústava so striedavým napätím, hnacie vozidlá so stupňovitou reguláciou výkonu	158
7.3.5	Hnacie vozidlá s plynulou reguláciou	160
7.3.6	Metóda určenia spotreby energie pri neúplnej trakčnej charakteristike.....	163
7.4	Vyhodnotenie záznamu jazdy.....	164
7.4.1	Záznam registračného rýchlomera typu Hasler a Metra	165
7.4.2	Rozbor záznamu rýchlomerného pásika.....	167
7.4.3	Záznam parametrov jazdy na elektronických tachografoch.....	169
8	POSUN ŽELEZNIČNÝCH KOLAJOVÝCH VOZIDIEL	173
8.1	Posun hnacím dráhovým vozidlom (rušňom).....	174
8.1.1	Posun zachádzaním	175
8.1.2	Posun odrazom.....	176
8.2	Metódy posunu pri rozrad'ovaní a zostavovaní vlakov	178
8.2.1	Stupňovité metódy zostavy skupinových vlakov	180
8.2.2	Násobné (simultánne) metódy	182
8.3	Určenie času trvania posunu	183
8.3.1	Určenie času trvania posunu z hodnôt získaných priamym meraním.....	183
8.3.2	Celkový čas posunu pri rozrad'ovaní alebo zostavovaní vlaku zachádzaním.....	184
8.3.3	Určenie času trvania posunu trakčnými výpočtami pri uvažovaní konštantných (stredných) síl.....	187
8.3.3.1	Posun zachádzaním.....	188
8.3.3.2	Posun odrazom	192
8.3.4	Určenie času trvania posunu pri uvažovaní premenných síl	194
8.4	Posun na spádovisku	197
8.4.1	Pohyb samotného vozňa	202
8.4.2	Náraz idúceho vozidla na stojace vozidlo	204
8.4.2.1	Stanovenie rýchlosti narážajúceho vozidla pri náraze na stojace nezabrzdené vozidlá pre dovolené spomalenie nákladu	205
8.4.2.2	Stanovenie rýchlosti narážajúceho vozidla pri náraze na vozidlá omnoho väčšej tiaže zabezpečených proti pohybu	206
8.4.2.3	Stanovenie rýchlosti narážajúceho vozidla na zabrzdené vozidlo	207
8.4.3	Rýchlostná výška, stratová výška, čiara rýchlostných výšok.....	208
8.4.4	Výška a pozdĺžny profil spádoviska	212
8.4.5	Rozbehový bod na spádovisku	216
8.5	Dynamické posudzovanie spádoviska.....	219
9	BRZDENIE ŽELEZNIČNÝCH KOLAJOVÝCH VOZIDIEL	225
9.1	Brzdy na železničných vozidlách.....	226
9.1.1	Princíp činnosti priebežnej vzduchovej brzdy	227
9.1.2	Mechanika trecej brzdy.....	230
9.1.3	Zákon adhézie pri brzdení.....	232

9.1.4	Veľkosť prítlačnej sily	233
9.1.5	Priebeh tlakov v brzdovom valci.....	234
9.1.6	Brzdiaca hmotnosť a brzdiace percentá.....	236
9.2	Brzdy mimo kol'ajových vozidiel.....	239
9.3	Zariadenia na mechanizáciu a automatizáciu spádovísk.....	250
	ZOZNAM SKRATIEK.....	260
	POUŽITÁ LITERATÚRA	261
	ZOZNAM PRÍLOH.....	263

ÚVOD

Výsledkom dopravného procesu je premiestnenie osôb alebo tovaru, pričom základným faktorom je pohyb. Vedecko-technická disciplína, ktorá na základe fyzikálnych zákonov skúma závislosti pohybu koľajového vozidla od pôsobiacich síl, prejdenej dráhy a času, sa nazýva mechanika v železničnej doprave. Aplikuje poznatky technických teoretických predmetov prevádzky dopravných prostriedkov po železničnej dopravnej ceste, teda zameriava sa na železničné koľajové vozidlá. Jej úlohou je správne stanoviť vnútorné a vonkajšie sily a ich pôsobenie na pohyb týchto vozidiel. Z ich poznania možno zostaviť základnú rovnicu pohybu vozidla ako elementárneho telesa a definovať mechaniku vozby.

Učebnica podáva výklad základných princípov pohybu a dynamiky jazdy železničných koľajových vozidiel na základe stanovených predpokladov pre zjednodušenie a idealizáciu pohybu hmotného bodu. Charakterizuje základné sily pôsobiace v zmysle i proti zmyslu pohybu vozidiel, odvodzuje výpočet vlakovej rovnice. Stanovuje zotrvačný sklon ako dôležitý predpoklad riešenia jazdy vlaku, ďalej približuje určenie normatívu hmotnosti dopravovaných vozidiel pomocou priesečníkového nomogramu, pričom ťažiskom je na základe určených parametrov vlaku samotný výpočet pohybu vlaku v podobe riešenia tachogramu jazdy vrátane spotreby energie. Dôležitou súčasťou pohybu vozidiel je posun, pre ktorý sú definované základné atribúty.

Publikácia podáva prierezový pohľad na základné aspekty dynamiky jazdy vlaku ako aj posunu. Pri teoretických riešeniach je dodržané označovanie fyzikálnych veličín podľa zvyklostí a noriem. Autori čerpali zo základnej literatúry k tomuto odboru. Neoznačené obrázky a tabuľky sú autorské.

Vysokoškolská učebnica je svojím zameraním na najdôležitejšie kapitoly mechaniky železničnej dopravy určená najmä študentom inžinierskeho štúdia v študijnom programe železničná doprava, ako aj v študijných programoch príbuzného zamerania.