

Obsah

1 Úvod a historie modelování dopravního proudění	9
1.1 Základní varianty popisu dopravního systému	10
1.2 Základní rysy a specifika dopravních systémů	10
1.3 Historie dopravního modelování	15
1.3.1 Počátky teorie dopravního proudu	15
1.3.2 Fundamentální dopravní veličiny	15
1.3.3 Pionýrské práce v oblasti dopravních systémů	16
1.3.4 Modely dopravního proudu v 50. letech 20. století	20
1.3.5 Šedesátá léta 20. století	22
1.3.6 Sedmdesátá léta 20. století, úsvit mikroskopických modelů	23
1.3.7 Osmdesátá léta 20. století: spojitě car-following modely	24
1.3.8 Devadesátá léta 20. století	25
1.4 Aktuální stav modelování dopravy	26
1.5 Metody akvizice dopravních dat	28
1.6 Klasifikace modelů	30
2 Kinematický popis dopravních vzorků	33
2.1 Kinematický a dynamický popis dopravního proudění	33
2.2 Jednoproudé a jednosměrné dopravní proudění	33
2.3 Popis dopravního proudění prostřednictvím trajektorií	34
2.4 Mikrostruktura empirických dopravních proudů	34
2.5 Primární a sekundární mikroskopické veličiny	36
2.6 Náhodná proměnná v kontextu dopravního modelování	37
2.7 Makroskopický dopravní popis – matematické zavedení	37
2.7.1 Příklad: konvergence dopravní hustoty	40
2.8 Rovnice kontinuity pro dopravní proudění	41
2.9 Hydrodynamická alternativa a varianty dopravního proudění	42
2.10 Dopravní hustota ve zvoleném úseku komunikace	43
2.11 Dopravní intenzita na linii detektoru	43
3 Metody modelování makroskopických dopravních zákonitostí	45
3.1 Elementární vlastnost hustoty homogenního proudění	45
3.2 Základní východiska makroskopického dopravního modelování	45
3.2.1 1. premisa	46
3.2.2 2. premisa	46
3.2.3 3. premisa	46
3.2.4 Shrnutí	46
3.3 Rovnice makroskopické dopravní rovnováhy	47
3.4 Fundamentální závislost podle profesora Greenshieldse (1935)	48
3.5 Dvoufázová dopravní teorie	49
3.6 Greenbergův makroskopický model	51
3.6.1 Pohybová rovnice pro kapalinové proudění	51

3.6.2	Formulace Greenbergova modelu	51
3.6.3	Řešení Greenbergova modelu	53
3.7	Fundamentální diagramy: posun k realističtějším tvarům	54
3.8	Hybridní model Louise A. Pipesa a Elliotta W. Montrolla	56
3.9	Fundamentální dopravní závislosti: posun k realističtějším průběhům	57
3.10	Empirická podoba fundamentálních diagramů	59
3.11	Fundamentální dopravní hypotéza	59
3.12	Třífázová dopravní teorie podle Borise Kernerera	61
3.13	Příklady	63
3.13.1	Fundamentální křivky	63
3.13.2	Statistické rozdělení rychlostí	64
3.13.3	Kapacita komunikace – maximální dopravní intenzita	64
3.13.4	Průměrné časové rozestupy mezi vozidly a jejich evoluce	65
3.13.5	Druhá fundamentální závislost	67
3.13.6	Mikrostruktura dopravy a její deskriptivní charakteristiky	68
3.13.7	Detekce dopravní fáze	69
4	Kinematické dopravní vlny a vysvětlení jejich vzniku	71
4.1	Kinematické dopravní vlny a jejich propagační rychlost	71
4.2	Fyzikální model kinematických dopravních vln	72
4.3	Geometrické vazby ve fundamentálním diagramu	74
4.4	Lighthillův-Whithamův-Richardsův dopravní model	75
4.4.1	Operátorový tvar Burgersovy lineární alternativy a jeho Cauchyova úloha	78
4.4.2	Cauchyova úloha Lighthillova-Whithamova-Richardsova modelu	78
4.4.3	Převod Burgersovy lineární alternativy do prostoru zobecněných funkcí	79
4.4.4	Fundamentální řešení dopravního operátoru	80
4.4.5	Konstrukce vzorce pro obecné řešení Burgersovy lineární alternativy	81
4.4.6	Diskuse řešení	82
4.5	Transformace LWR-modelu směrem k realističtějším predikcím	82
5	Metodika zpracování a vyhodnocování empirických dat	85
5.1	Sestavení základních binárních relací	85
5.2	Obecná metodika zpracování dopravních dat	86
5.3	3s-unifikační procedura	86
5.4	Empirické charakteristiky rozdělení rychlostí vozidel	87
5.5	Empirické charakteristiky rozdělení světlostí vozidel	88
5.5.1	Kritéria pro přípustnost	89
5.5.2	Zdůvodnění axiomu o balančním chvostu	89
5.5.3	Dopravní proud jako Poissonův systém	90
5.5.4	Zdůvodnění axiomu o plató	90
5.5.5	Empirické tvary distribuce světlostí	91
5.5.6	Empirické tvary distribuce multisvětlostí	92
5.5.7	Historie modelování rozestupů mezi vozidly	94
5.5.8	Historický progres v disciplíně VHM	95
5.5.9	Pohled do dopravní mikrostruktury skrze sdružené hustoty pravděpodobnosti	97
6	Statistika rychlostí metodou maximalizace entropie	99
6.1	Výchylka aktuálního stavu dopravního systému od stavu optimálního a její kvantitativní popis	99
6.2	Entropie jako míra neuspořádanosti dopravního systému	100
6.3	Stav systému s maximální entropií	100
6.4	Empirická rozdělení rychlostí	102

7	Termodynamický dopravní plyn	105
7.1	Obecné verze termodynamického dopravního plynu	105
7.1.1	Základní kontury mikroskopického dopravního přístupu	105
7.1.2	Socio-dynamické interakce mezi částicemi dopravního plynu	107
7.1.3	Dosah interakčních sil a jeho specifikace	108
7.1.4	Celková energie zkoumaného souboru částic	109
7.1.5	Stacionární stav deterministické varianty systému	109
7.1.6	Stochastická alternativa modelu	110
7.1.7	Interpretace stochastické rezistivity v dopravním systému	111
7.1.8	Stochastický popis termodynamického částicového plynu	112
7.2	Homogenní plyn s krátkodosahovým potenciálem	113
7.2.1	Odvození hustoty pravděpodobnosti pro rychlost vozidel	113
7.2.2	Statistické rozdělení rozestupů mezi částicemi	115
7.2.3	Rozdělení světlostí pro bezinterakční variantu systému	115
7.2.4	Obecná formule pro distribuci světlostí	118
7.2.5	Rozdělení světlostí pro nerezistivní verzi systému	118
7.2.6	Rozdělení světlostí pro systém s logaritmickým potenciálem I.	119
7.2.7	Rozdělení světlostí pro systém s logaritmickým potenciálem II.	120
7.2.8	Vlastnosti empirických rozdělení světlostí	123
7.2.9	Rozdělení světlostí pro systém s obecným krátkodosahovým potenciálem	124
7.2.10	Rozdělení světlostí pro systém s hyperbolickým potenciálem	126
7.2.11	Úprava rovnice pro sedlový bod	127
7.2.12	Aplikace distribuce světlostí při popisu dopravní mikrostruktury	128
7.3	Statistické rozdělení časových světlostí	129
7.3.1	Analytické odvození statistického rozdělení časových světlostí	130
7.3.2	Zohlednění empirických vlastností dopravní mikrostruktury	133
8	Zobecněné inverzní Gaussovo rozdělení	135
8.1	Zobecněná inverzní Gaussova hustota	135
8.2	Macdonaldova funkce jako řešení modifikované Besselovy diferenciální rovnice	136
8.3	Aproximace Macdonaldovy funkce	137
8.4	Tvar Macdonaldovy funkce pro $a = 1/2$	138
8.5	Obecná definice distribuční rodiny GIG	138
8.6	Exponenciální rozdělení a jeho škálovaná varianta	139
8.7	Erlangovo rozdělení a jeho škálovaná varianta	139
8.8	Gamma rozdělení a jeho škálovaná varianta	140
8.9	Laplaceův obraz ryzí GIG distribuce	140
8.10	Škalovací rovnice pro GIG distribuci a její úskalí	140
8.11	Podmínka škálovatelnosti GIG distribuce	141
8.12	Momenty v distribuční rodině GIG	142
8.13	Momenty ve škálované distribuční rodině GIG	142
8.14	Asymptotické řešení škálovací úlohy pro $\alpha = 0$	143
8.14.1	Škálování pro vysoké hodnoty intenzity β	144
8.14.2	Škálování pro nízké hodnoty intenzity β	145
8.14.3	Korigovaný tvar škálovacího vztahu	145
8.15	Asymptotické řešení škálovací úlohy pro $\alpha > 0$	145
8.15.1	Škálování pro vysoké hodnoty intenzity β	145
8.15.2	Škálování pro nízké hodnoty intenzity β	146
8.15.3	Korigovaný tvar škálovacího vztahu	147
8.16	Asymptotické řešení škálovací úlohy pro $\alpha < 0$	147
8.16.1	Škálování pro nízké hodnoty intenzity β	148
8.16.2	Škálování pro vysoké hodnoty intenzity β	150

8.16.3	Korigovaný tvar škálovacího vztahu	150
8.16.4	Obecný asymptotický tvar škálovací konstanty	151
9	Balanční částicové systémy	153
9.1	Třída balancovaných hustot	153
9.2	Vlastnosti Laplaceových obrazů balancovaných hustot	155
9.3	Základní pojmy teorie balančních částicových systémů – neformálně	155
9.4	Základní pojmy teorie balančních částicových systémů – formálně	157
9.5	Ekvivalence mezi spojitým a diskretním popisem	158
9.5.1	Přechod od roztečí k intervalovým frekvencím	158
9.5.2	Přechod od intervalových frekvencí k roztečím	158
9.6	Poissonův částicový systém	159
9.7	Diracův částicový systém – systém s ekvidistantním uspořádáním	159
9.8	Charakteristiky prvního řádu	161
9.8.1	Obecné vztahy	161
9.8.2	Charakteristiky prvního řádu v Laplaceově formátu	163
9.8.3	Poissonův částicový systém	164
9.8.4	Diracův částicový systém	165
9.8.5	Erlangův částicový systém	165
9.9	Distribuce multiroztečí	167
9.9.1	Multirozteče Poissonova systému	167
9.9.2	Multirozteče semi-Poissonova systému	168
9.9.3	Multirozteče Erlangova částicového systému	168
9.9.4	Multirozteče Gamma částicového systému	169
9.9.5	Multirozteče základního částicového systému s GIG generátorem	169
9.10	Charakteristiky druhého řádu	171
9.11	Stochastická rigidita a její Laplaceův obraz	173
9.11.1	Stochastická rigidita v Poissonově a v Diracově systému	173
9.11.2	Stochastická rigidita v Erlangově systému prvního řádu	174
9.11.3	Stochastická rigidita v obecných systémech	175
9.12	Klasifikace stavů systému podle úrovně kompresibility	177
9.13	Přehled nejznámějších reprezentací balančních částicových systémů	177
9.14	Odhadování distribucí roztečí v reálných dopravních proudech	177
10	Mezní hodnoty pro distribuce zadané repulzivním potenciálem	179
10.1	Repulzivní částicový systém	180
10.2	Základní vztahy mezi parametry a momenty generátoru	180
10.3	Věta o omezenosti rozptylu světlostí	181
10.4	Pásová lokalizace škálovací konstanty pro GIG distribuci	183
10.4.1	Věta o vymezení škálovacího pásu	183
10.4.2	Zjednodušení řešení škálovací úlohy pro GIG distribuci	185
11	Diskretní dopravní mikromodelování	187
11.1	Klasifikace dopravních modelů	187
11.2	Model Nagela a Schreckenberga	188
11.2.1	Definice a varianty Nagelova-Schreckenberova modelu	189
11.2.2	Stacionární stav Nagelova-Schreckenberga modelu	190
11.2.3	Základní popis výstupních hodnot	191
11.2.4	Výstupy modelu	191
11.2.5	Shrnutí	193
11.3	Model TASEP	194
11.3.1	Definice modelu TASEP	194
11.3.2	Popis konfigurací modelu TASEP	195

11.3.3	Stacionární stavy modelu TASEP	196
11.3.4	Řešení modelu TASEP maticovou metodou	196
11.3.5	Varianty aktualizčních procedur	197
11.3.6	Model TASEP o třech buňkách	198
11.3.7	Analytické výpočty a pomocná tvrzení	199
11.3.8	Partiční suma modelu TASEP	202
11.3.9	Matematické vlastnosti Derridových matic	202
11.3.10	Faktická realizace Derridových matic	203
11.3.11	Transformace MPA	205
11.3.12	Fundamentální závislost modelu TASEP	206
11.3.13	Distribuce roztečí v modelu TASEP	209
11.3.14	Příklad	210
11.3.15	Příklad	211
11.3.16	Příklad	211
12	Dodatkové partie	213
12.1	O původu Poissonova rozdělení	213
12.1.1	Stochastický částicový systém konečné délky	213
12.1.2	Poissonovský systém jako limitní verze stochastického systému konečné délky	215
12.1.3	Hodnoty deskriptivních charakteristik v Poissonově systému	216
12.1.4	Rychlost konvergence k Poissonovu systému	216
12.2	Asymptotické metody pro odhady určitých integrálů	218
12.2.1	Hrubý leading	218
12.2.2	Laplaceova metoda	219
12.2.3	Metoda nejprudšího sestupu aneb aproximace v sedlovém bodě	221
12.3	Momenty normálního rozdělení	224
12.4	Kvazipoissonovské systémy a jejich vztah ke třídě \mathcal{B}	225
12.4.1	Základní věta o generátoru kvazipoissonovského systému	226
12.5	Statistická kompresibilita a deflekce v balančním částicovém systému	228
12.5.1	Stručná připomínka základních vztahů a jejich odvození	228
12.5.2	Statistická kompresibilita v balančním částicovém systému	230
12.5.3	Statistická deflekce v balančním částicovém systému	231
12.6	Idealizované šíření kinematické vlny	232
12.7	Landauova symbolika pro asymptotická vyjádření funkcí	233
12.8	Pomocné limity pro stanovení podmínky škálovatelnosti	234
12.9	Aproximace Macdonaldovy funkce pro malé hodnoty argumentu	234
13	Desatera integrálních transformací a tabulky korespondencí	237
13.1	Laplaceovo desatero	237
13.2	Initial/Final Value Theorems	237
13.3	Laplaceův slovník korespondencí	238
13.4	Fourierovo desatero	238
13.5	Fourierův slovník korespondencí	239