

Pavel Pechač
Stanislav Zvánovec

ZÁKLADY ŠÍŘENÍ VLN PRO PLÁNOVÁNÍ POZEMNÍCH RÁDIOVÝCH SPOJŮ

Praha 2007



Lektor: Doc. Ing. Zdeněk Nováček, CSc.

Pavel Pechač, Stanislav Zvánovec

Základy šíření vln pro plánování pozemních rádiových spojů

Bez předchozího písemného svolení nakladatelství nesmí být kterákoli část kopírována nebo rozmnožována jakoukoli formou (tisk, fotokopie, mikrofilm nebo jiný postup), zadána do informačního systému nebo přenášena v jiné formě či jinými prostředky.

Autor a nakladatelství nepřijímají záruku za správnost tištěných materiálů. Předkládané informace jsou zveřejněny bez ohledu na případné patenty třetích osob. Nároky na odškodnění na základě změn, chyb nebo vynechání jsou zásadně vyloučeny.

Všechny registrované nebo jiné obchodní známky použité v této knize jsou majetkem jejich vlastníků. Uvedením nejsou zpochybněna z toho vyplývající vlastnická práva.

Veškerá práva vyhrazena

© Doc. Ing. Pavel Pechač, Ph.D., Praha 2007

© Ing. Stanislav Zvánovec, Ph.D., Praha 2007

© Nakladatelství BEN – technická literatura, Věšínova 5, Praha 10

P. Pechač, S. Zvánovec: Základy šíření vln pro plánování pozemních rádiových spojů
BEN – technická literatura, Praha 2007

1. vydání

ISBN 978-80-7300-223-7

OBSAH

1 ÚVOD	7
2 ZÁKLADNÍ POJMY	9
2.1 Úvod do šíření vln pro pozemní rádiové spoje	10
2.1.1 Frekvenční spektrum	10
2.1.2 Zemská atmosféra	11
2.1.3 Způsoby šíření vln pro pozemní rádiové spoje	12
2.2 Elektromagnetická vlna	14
2.2.1 Maxwellovy rovnice	14
2.2.2 Vlnová rovnice	16
2.2.3 Rovinná vlna	16
2.2.4 Parametry prostředí	18
2.2.5 Polarizace	21
2.2.6 Fresnelovy zóny	23
2.2.7 Odraz a ohyb vln	26
2.2.8 Elektrické parametry zemského povrchu	30
2.2.9 Difrakce	32
2.2.10 Rozptyl	35
2.2.11 Vyjádření veličin v decibelech	38
2.3 Základní parametry antén	39
2.3.1 Vstupní impedance	39
2.3.2 Šířka pásma	40
2.3.3 Vyzářování	41
2.3.4 Izotropický zářič	42
2.3.5 Směrová anténa	43
2.3.6 Zisk antény	44
2.3.7 Efektivní vyzářený výkon	45
2.3.8 Polarizace antény	46
2.3.9 Efektivní plocha antény	46
2.4 Rádiový přenos	47

2.4.1	Šíření ve volném prostoru	47
2.4.2	Vícecestné šíření	48
2.4.3	Úniky	50
2.4.4	Průměrný rok a nejhorší měsíc	54
2.4.5	Diverzitní příjem	55
2.4.6	Rádiový šum	56
2.4.7	Kvalita a spolehlivost rádiového spoje	59
2.4.8	Výkonová bilance rádiového spoje	60
2.4.9	Výpočet pokrytí	62
2.5	Modelování šíření vln	63
2.6	Použitá a doporučená literatura ke kap. 2	65
3	MECHANIZMY ŠÍŘENÍ VLN V TROPOSFÉŘE	67
3.1	Útlum atmosférickými plyny	68
3.2	Troposférická refrakce	74
3.2.1	Index lomu troposféry, refraktivita	74
3.2.2	Křivočaré šíření vlny	77
3.2.3	Efektivní poloměr Země	80
3.2.4	Rádiový horizont	81
3.2.5	Vlnovodný kanál (ducting)	82
3.2.6	Vliv refrakce na rádiový spoj	86
3.2.7	Příklady anomální refrakce	88
3.2.8	Metody výpočtu	92
3.3	Troposférický rozptyl	94
3.4	Útlum hydrometeory	95
3.4.1	Rozložení dešťových kapek	95
3.4.2	Rozptyl a útlum v objemu deště	96
3.4.3	Dlouhodobé statistické modely útlumu deštěm	97
3.4.4	Plošné parametry deště	101
3.4.5	Trasová diverzita	104
3.4.6	Ostatní hydrometeory	106
3.5	Použitá a doporučená literatura ke kap. 3	107

4 ŠÍŘENÍ VLN PRO POZEMNÍ RÁDIOVÉ SPOJE	109
4.1 Prostorová vlna na přímou viditelnost	110
4.1.1 Spoj na přímou viditelnost	110
4.1.2 Šíření nad rovinnou zemí	114
4.1.3 Rozhodující plocha odrazu	117
4.1.4 Šíření nad kulovou zemí	120
4.1.5 Šíření nad nerovným terénem	122
4.1.6 Úniky v troposféře	125
4.2 Prostorová vlna v terénu	125
4.2.1 Difrakce na terénní překážce	125
4.2.2 Vícenásobná difrakce	127
4.2.3 Vliv vegetace	131
4.2.4 Šíření do oblasti stínu	134
4.2.5 Pokrytí v nerovném terénu	135
4.3 Prostorová vlna v zástavbě	137
4.3.1 Mechanizmy šíření vln v zástavbě	137
4.3.2 Empirický model	140
4.3.3 Deterministické modely šíření	143
4.3.4 Model ITU-R P.1411 pro krátké spoje	148
4.3.5 Statistické modely zástavby	150
4.4 Povrchová vlna	153
4.4.1 Vznik přízemní povrchové vlny	153
4.4.2 Fyzikální principy	153
4.4.3 Spádová křivka	157
4.4.4 Šíření nad nehomogenním povrchem	162
4.5 Ionosférická vlna	164
4.5.1 Ionizace	164
4.5.2 Odraz vlny od ionosféry	166
4.5.3 Vliv magnetického pole Země	170
4.5.4 Vrstvy ionosféry	171
4.5.5 Ionosférický spoj	175
4.5.6 Měření a předpověď stavu ionosféry	179

4.5.7	Princip návrhu krátkovlnného spoje	181
4.6	Troposférická vlna	184
4.6.1	Spojení za rádiový horizont	184
4.6.2	Základní geometrie troposférického spoje	185
4.6.3	Výkonová bilance troposférického spoje	187
4.6.4	Úniky troposférického spoje	189
4.6.5	Použití diverzity	189
4.7	Další mechanismy šíření vln	190
4.8	Použitá a doporučená literatura ke kap. 4	191
REJSTRÍK		195
KONTAKTY NA PRODEJNY TECHNICKÉ LITERATURY		199