

VĚDECKÉ SPISY VYSOKÉHO UČENÍ TECHNICKÉHO V BRNĚ

*Edice PhD Thesis, sv. 466*

*ISSN 1213-4198*

*thesis*  
**IS**

*Ing. Zdeněk Růžička*

**Modely pro zkoumání vlivu rušení  
na kvalitativní parametry  
signálu UMTS**

VYSOKÉ UČENÍ TECHICKÉ V BRNĚ  
Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií  
Ústav radioelektroniky

**Ing. Zdeněk Růžička**

**MODELÝ PRO ZKOUMÁNÍ VLIVU RUŠENÍ NA  
KVALITATIVNÍ PARAMETRY SIGNÁLU UMTS**

MODELS FOR INVESTIGATION OF INTERFERENCE  
INFLUENCE TO QUALITATIVE PARAMETERS OF UMTS  
SIGNAL

ZKRÁCENÁ VERZE Ph.D. THESIS

Obor: Elektronika a sdělovací technika  
Školitel: prof. Ing. Stanislav Hanus, CSc.  
Oponenti: Doc. Ing. Vladimír Wiesner, Ph.D.  
Doc. Ing. Jiří Masopust, CSc.  
Datum obhajoby: 7. ledna 2008

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Model, UMTS, interference, Matlab, kvalitativní parametry, rozprostírací kódy, optimalizace, bitová chybovost

## **KEYWORDS**

Model, UMTS, interference, Matlab, qualitative parameters, spreading codes, optimization, bit error ratio

## **DISERTAČNÍ PRÁCE JE ULOŽENA:**

Ústav radioelektroniky

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií

Vysoké učení technické v Brně

Purkyňova 118

612 00 Brno

© Zdeněk Růžička, 2008

ISBN 978-80-214-3661-9

ISSN 1213-4198

# OBSAH

1	ÚVOD .....	5
2	MODEL DPDCH KANÁLU V SYSTÉMU UMTS .....	6
2.1	Modelování zpracování transportního kanálu .....	6
2.2	Modelování zpracování fyzického kanálu .....	6
2.3	Generátor UMTS signálu .....	9
3	SROVNÁNÍ TYPŮ RUŠENÍ .....	9
3.1	Simulace .....	9
3.2	Zhodnocení výsledků .....	10
4	ANALÝZA KANÁLOVÉHO KÓDOVÁNÍ A PROKLÁDÁNÍ V TRANSPORTNÍM KANÁLU .....	13
4.1	Simulace .....	14
4.2	Zhodnocení výsledků .....	17
5	PŘIDĚLOVÁNÍ ORTOGONÁLNÍHO KÓDU DLE SPECIFICKÉHO POŘADÍ .....	17
5.1	Optimalizace kódového stromu .....	18
5.2	Simulace pro ověření optimalizovaných výsledků .....	24
5.3	Zhodnocení výsledků .....	24
6	ZÁVĚR .....	26
	LITERATURA .....	27
	ŽIVOTOPIS .....	29
	ABSTRAKT .....	30
	ABSTRACT .....	30



# 1 ÚVOD

Modelování mobilních komunikačních systémů je velmi perspektivní prostředek, který může poskytnout nový pohled na systém, pomáhá analyzovat a zkoumat jevy v systému bez nutnosti technické realizace, která je mnohdy obtížná, ale hlavně finančně velmi náročná. Klíčovým problémem je sestavení modelu, který by co nejpřesněji popisoval analyzovaný systém. Čím je přesnější model, tím přesnější jsou i výsledky simulací. Složitost modelů však může být také překážkou, protože narůstá i výpočetní náročnost.

V současné době jsou hodně využívány modely pro síť 2G. Jejich využití spadá do mnoha oblastí, jako je plánování a optimalizace sítě, zlepšování a rozšiřování poskytovaných služeb, řešení problémů a konfliktních situací a podobně. Modelování systémů třetí generace se v současnosti dostává do popředí zároveň se zaváděním těchto systémů do provozu po celém světě.

Jevů, které je možno modelovat je poměrně velké množství. Některé jevy je možno simulovat za pomoci modelů sítě druhé generace, které vyžadují jen minimální modifikaci. Ve většině případů je však vzhledem k velkým rozdílům mezi systémy možno použít pouze základní metodiku modelování.

Jedním z nejvýznamnějších systémů třetí generace je UMTS (WCDMA), viz [1], [2]. Jak už název napovídá, jedná se o univerzální mobilní systém, tedy systém poskytující velké množství služeb. Oproti předchozím mobilním systémům je UMTS založen na principu CDMA. Kmitočtové spektrum UMTS má tedy úplně odlišnou strukturu. Systému jsou přiděleny zpravidla 2 až 3 rádiové kanály s šířkou pásma 5 MHz. V každém rádiovém kanálu se přenáší širokopásmový signál s přenosovou rychlostí 3,84 Mcps. Pokrytí území buňkami je rozděleno do několika úrovní. Velká plocha je pokryta sítí makrobuňek a uvnitř této plochy pak mohou být místa pokryta mikrobuňkami nebo pikobuňkami. V podstatě se dá říci, že všichni uživatelé využívají ke komunikaci jeden kmitočet.

S využitím stejného kmitočtu v sousedních buňkách souvisí makrodiverzita. Jedná se o situaci, kdy signál vysílaný z jednoho zdroje se šíří různými cestami, je přijat různými přijímači a přijímané signály jsou následně sloučeny. Pro zlepšení příjmu signálu, který se šíří více cestami, je použit přijímač typu rake [3]. Použití stejného nosného kmitočtu pro všechny uživatele v jedné buňce způsobuje další významný problém. Z pohledu jednoho uživatele jsou signály ostatních uživatelů rušivé a narušují jeho vlastní přenos. Velikost plochy pokryté signálem jedné základnové stanice se mění s úrovní interferencí. Signály přijímané ze základnové stanice by sice měly být díky rozprostíracím kódům ortogonální, ale vlivem vícecestného šíření více či méně ortogonalitu ztrácejí. Tím dochází ke zvýšení úrovně rušení a také ke zmenšení efektivní plochy buňky.

Modelování systému UMTS představuje problém, který klade mnohem větší nároky na výpočetní techniku. Jednak je zde mnohem vyšší přenosová rychlost, ale hlavně zde dochází k rozprostírání signálu. Z tohoto důvodu jsou tyto simulace velmi časově náročné i při využití moderní výpočetní techniky. Interferenční analýza je důležitým prvkem jak pro plánování, tak i pro optimalizaci mobilní sítě, viz [4] a [5]. Zdroje interferencí v systému UMTS lze rozdělit na rušení v rámci samotného systému a rušení jinými systémy.

Cíle disertační práce se dají shrnout do následujících bodů:

- Navržení modelů vhodných pro zkoumání vlivu rušení na signál UMTS, implementace modelů do prostředí Matlab.
- Ověření funkce modelů a výsledků simulací, optimalizace modelu za účelem zrychlení simulací.
- Návrh simulací a metod pro snížení rušení v systému.
- Analýza navrhovaných metod, zpracování výsledků a stanovení doporučení pro zlepšení vlastností systému.

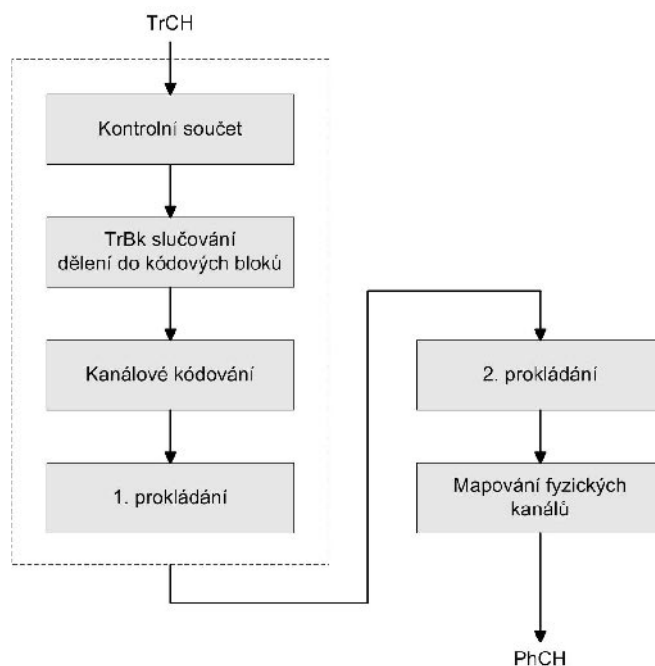
## 2 MODEL DPDCH KANÁLU V SYSTÉMU UMTS

Popisovaný model představuje zpracování signálu v datovém kanálu DPDCH (Dedicated Physical Data Channel) přenášeném v downlinku. Model je založen na specifikacích 3GPP, viz [7] až [11].

Model Node-B je složen ze dvou základních částí pro zpracování signálu a tří částí, které slouží ke generování kódů a pomocných signálů. První část tvoří zpracování transportního kanálu. Tato část modelu je publikována v [12]. Druhou část modelu Node-B tvoří ta část fyzické vrstvy, která zpracovává fyzické kanály. Tato část modelu je publikována v [13]. Další dvě části modelu tvoří generátor Walshových ortogonálních kódů používaných pro rozprostírání signálu a generátor pseudonáhodných skramblovacích kódů sloužících pro identifikaci node-B, viz [14]. Poslední částí je generátor UMTS signálu, viz [15].

### 2.1 MODELOVÁNÍ ZPRACOVÁNÍ TRANSPORTNÍHO KANÁLU

Blokové schéma modelu je na Obr. 2.1. Důvodem pro zjednodušení modelu je skutečnost, že jsou simulovány vlastnosti kanálového kódování a prokládání. Vynechané bloky tyto simulace neovlivní a zbytečně by zvyšovaly nároky na výpočetní prostředky.



Obr. 2.1. Blokové schéma modelu zpracování transportního kanálu

Vstupní signál je rozdělen na bloky. K těmto blokům dat je připojen kontrolní součet s délkou 12 bitů. Pro kanálové kódování je použit konvoluční kód s kódovou rychlostí 1/3. První prokládací matice má 4 sloupce (TTI = 40 ms). Druhé prokládání je dáno specifikací. Výstupní fyzický kanál je pak předán do další části modelu.

### 2.2 MODELOVÁNÍ ZPRACOVÁNÍ FYZICKÉHO KANÁLU

Zpracování fyzických kanálů v Node-B je zobrazeno na Obr. 2.2. Vstupní bitový tok  $b$  je nejprve rozdělen do dvou větví na liché a sudé bity  $b_l$  a  $b_s$ . Dále v obou větvích následuje mapování bitů na bipolární symboly:

$$b^l \{0,1\} \rightarrow b_b^l \{1,-1\} \quad b^s \{0,1\} \rightarrow b_b^s \{1,-1\}, \quad (2.1, 2.2)$$

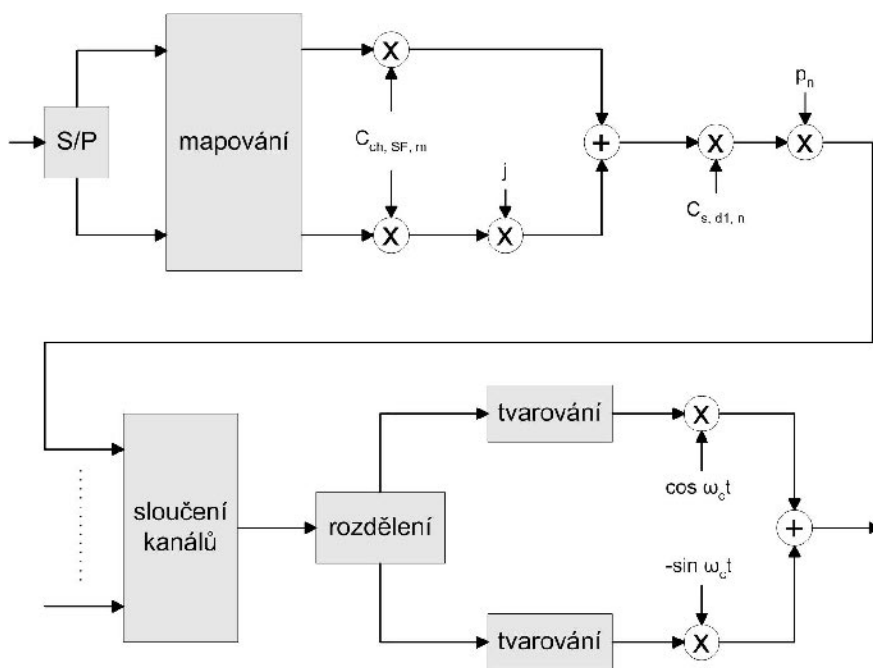
kde  $b_b^l$  a  $b_b^s$  jsou bipolární signály v liché a sudé větvi. Bipolární signály v obou větvích jsou vynásobeny rozprostíracím kódem. Zde jsou použity Walshovy ortogonální kódy. Řád kódů, resp. Rozprostírací činitel se mění v rozsahu 4 až 512. Použití delšího rozprostíracího kódu snižuje uživatelskou přenosovou rychlost, ale zvyšuje počet potenciálně využitelných kanálů a rozprostírací zisk. V obou větvích je signál rozprostírán stejným ortogonálním kódem. Pro  $i$ -tý kanál lze operaci rozprostření zapsat:

$$s_i^l(t) = c_{ch,SF,m} \cdot b_b^l(t) \quad s_i^s(t) = c_{ch,SF,m} \cdot b_b^s(t), \quad (2.3, 2.4)$$

kde  $s_i^l(t)$  a  $s_i^s(t)$  představují rozprostřený signál v liché a sudé větvi a  $c_{ch,SF,m}(t)$  je ortogonální Walshův rozprostírací kód s indexem  $m$  a rozprostíracím činitelem  $SF$ . Symbolová perioda bipolárního signálu je  $T_b$  a symbolová perioda rozprostíracího kódu je  $T_c$ . Vztah mezi těmito periodami lze zapsat:

$$T_b = SF \cdot T_c. \quad (2.5)$$

Signál ve spodní větvi modelu je pak ještě vynásoben komplexní jednotkou, aby bylo možno obě větve sloučit do komplexního čipového toku. Tento čipový tok je vynásoben skramblovacím kódem, který je rovněž komplexní.



Obr. 2.2. Model zpracování fyzických kanálů v Node-B

Systém UMTS využívá dvou druhů skramblovacích kódů, viz [11]. V downlinku se využívají dlouhé skramblovací kódy, jejichž délka je 38400 čipů, což koresponduje s délkou jednoho rámce systému UMTS. Tyto kódy jsou odvozeny z Goldových kódů 18. řádu.

Skramblovací kód již čipovou posloupnost dále nerozprostírá. Výsledný signál jednoho datového kanálu lze zapsat takto:

$$ch_i(t) = (s_i^l(t) + j \cdot s_i^s(t)) c_{s,d1,n}(t), \quad (2.6)$$

kde  $c_{s,d1,n}(t)$  je použitý skramblovací kód s indexem  $n$ . Datový kanál je poté vynásoben výkonovou vahou a komplexně sečten s ostatními kanály:

$$m(t) = \sum_{i=1}^x p_i \cdot ch_i(t), \quad (2.7)$$



kde  $m(t)$  je signál obsahující všechny sloučené datové kanály,  $p$  je vektor výkonových vah a  $x$  je počet kanálů.

Tento výsledný signál je přiveden do kvadraturního modulátoru. Signál je v obou větvích tvarován pomocí Root Raised Cosine filtru s rolloff faktorem 0,22. Signál je před filtrací převzorkován 10x. Impulsní charakteristika filtru je:

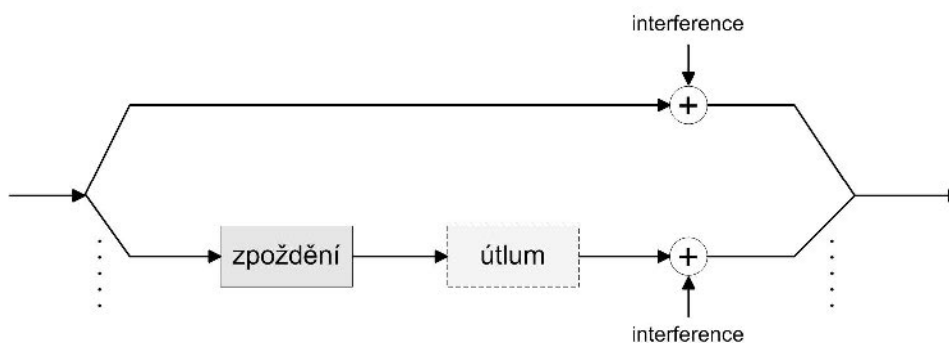
$$h = \frac{4\alpha}{\pi\sqrt{T}} \frac{\cos\left(\frac{(1+\alpha)\pi}{T}\right) + \frac{T}{4\alpha} \sin\left(\frac{(1-\alpha)\pi}{T}\right)}{1 - \left(\frac{4\alpha}{T}\right)^2}, \quad (2.8)$$

kde  $\alpha$  je rolloff faktor filtru. Proces modulace signálu včetně tvarování lze zapsat takto:

$$s_{trans}(t) = (\text{Re}(m(t)) * h) \cdot \cos(\omega_c t) + (\text{Im}(m(t)) * h) \cdot (-\sin(\omega_c t)), \quad (2.9)$$

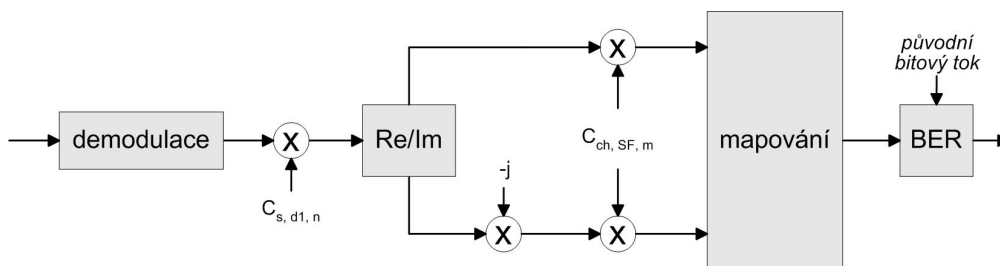
kde  $s_{trans}(t)$  je vysílaný signál a  $\cos(\omega_c t)$  a  $-\sin(\omega_c t)$  jsou nosné vlny signálu. Takto upravený signál je přiváděn na model rádiového rozhraní. Modulace na nosný kmitočet se v simulacích neprovádí, protože by bylo zapotřebí výrazné převzorkování signálu a tím i výrazný nárůst výpočetního výkonu. Zpracování signálu tedy odpovídá zpracování komplexní obálky.

Model rádiového prostředí ukazuje Obr. 2.3. Přenášený signál je rozdělen do několika cest. Ke každé cestě je pak přidán interferenční signál, který zastupuje veškeré okolní rušení způsobené jak signály v síti UMTS, tak i případnými signály jiných systémů. Všechny cesty jsou pak sloučeny na vstupu přijímací části modelu.



Obr. 2.3. Simulace rádiového prostředí v modelu

Přijímací část modelu provádí nejprve demodulaci signálu a filtraci dolní propustí. Takto zpracovaný signál je deskramblován. Dále je signál rozdělen na reálnou a imaginární složku, které jsou vynásobeny příslušným ortogonálním kódem. Následně jsou signály převedeny na bitový tok a sloučeny. Z výsledného a původního vstupního bitového toku je spočítána bitová chybovost BER. Přijímací část modelu je na Obr. 2.4.



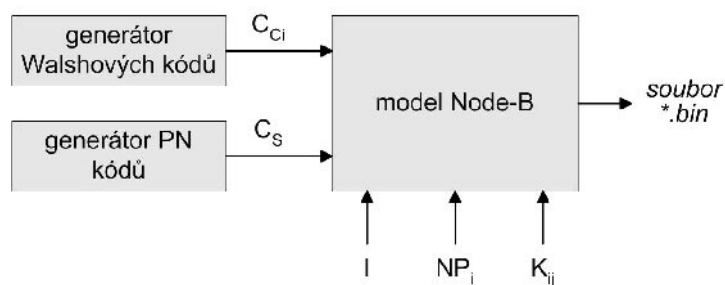
Obr. 2.4. Přijímací část modelu

## 2.3 GENERÁTOR UMTS SIGNÁLU

Generátor je založen na vysílací části popisovaného modelu. Vysílací část slouží pro vytvoření komplexního UMTS signálu na základě požadovaných vstupních parametrů a vstupních bitových posloupností. Vstupní parametry generátoru jsou popsány dále.

- Počet zdrojů signálu - udává počet základnových stanic, které se budou podílet na výsledném signálu.
- Váhy zdrojů signálu - tento vektor tvoří váhové koeficienty pro signály z jednotlivých zdrojů.
- Typ provozu - parametr určuje, jaký bude charakter signálu z hlediska použitých rozprostíracích kódů. Parametr nabývá reálných hodnot z intervalu  $\langle 0, 1 \rangle$ . Hodnota 1 odpovídá spíše hlasovému provozu. Hodnota 0 odpovídá datovým službám s vysokou přenosovou rychlostí.
- Zatížení - parametr udává míru využití systému. Může nabývat hodnot z intervalu  $(0, 1)$  a představuje v podstatě procentuální míru využití systému.
- Délka signálu - tato hodnota představuje délku výsledného signálu v čípech.

Pro vygenerování UMTS signálu je pak využita vysílací část modelu popsaného v kapitole 2.2. Pokud je výsledný signál použit ve výpočtu, který vyžaduje určitou úroveň signálu, je možné provést normování vygenerovaného signálu. Blokové schéma generátoru je na Obr. 2.5.



Obr. 2.5. Generátor UMTS signálu

Výsledný UMTS signál je uložen do souboru s příponou *bin* pro další využití v modelu.

## 3 SROVNÁNÍ TYPŮ RUŠENÍ

V této kapitole je provedeno srovnání vlivu různých typů rušení na UMTS signál.

### 3.1 SIMULACE

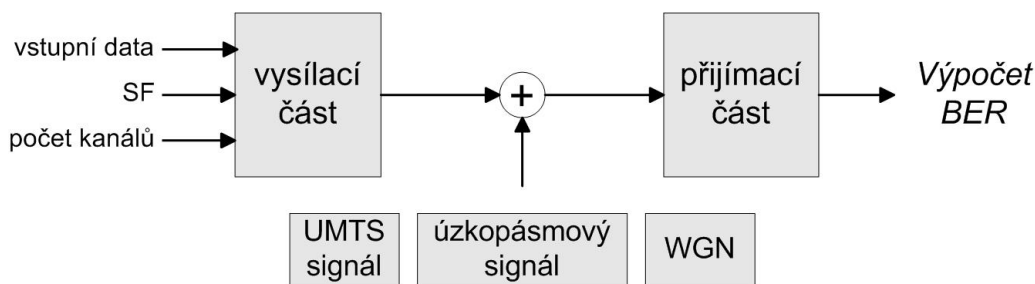
Úkolem následujících simulací je jednak srovnání jednotlivých typů rušivého signálu a dále stanovení odolnosti užitečného UMTS signálu na tato rušení. Použité rušivé signály jsou:

- UMTS signál – signál z UMTS generátoru simulující rušení z okolních buněk.
- WGN signál – bílý šum, tedy širokopásmový signál s náhodným charakterem.
- Úzkopásmový signál – harmonický signál.

Dalším parametrem těchto simulací bude charakter užitečného signálu UMTS. Konkrétně:

- odstup užitečného signálu od rušení,
- počet kanálů v užitečném signálu,
- hodnota rozprostíracího činitele SF.

Na základě uvedených parametrů signálů bude provedeno srovnání účinků uvedených rušivých signálů na užitečný UMTS signál. Blokové schéma pro následující simulace je uvedeno na Obr. 3.1.

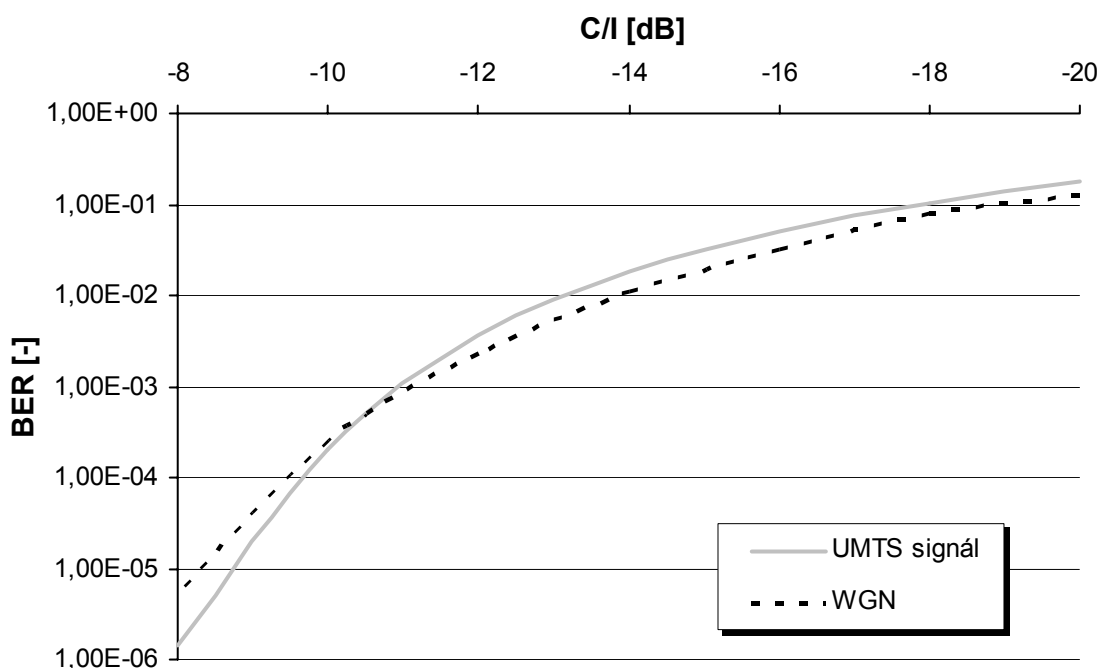


Obr. 3.1. Blokové schéma simulace

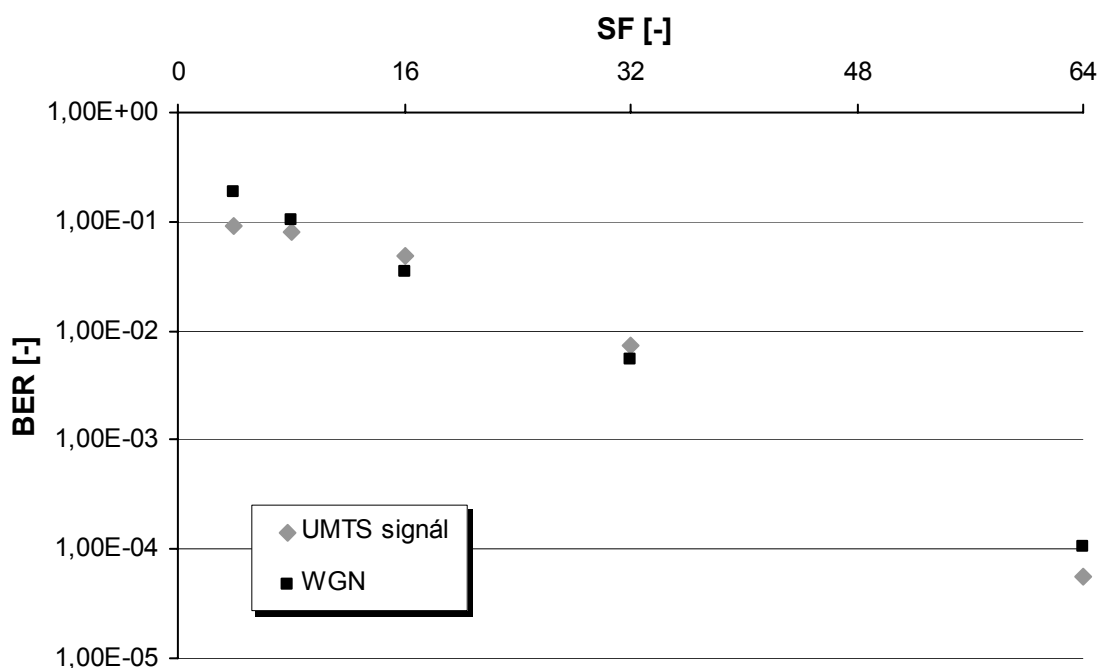
Základním signálem pro srovnání tedy bude rušivý signál s charakterem UMTS signálu, který bude vytvořen pomocí generátoru popsaného v kapitole 2.3. Nejprve budou srovnávány jeho účinky na užitečný signál s účinky bílého šumu, viz Obr. 3.2 až 3.4. Srovnání s účinky úzkopásmového signálu jsou na Obr. 3.5 až 3.7.

### 3.2 ZHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ

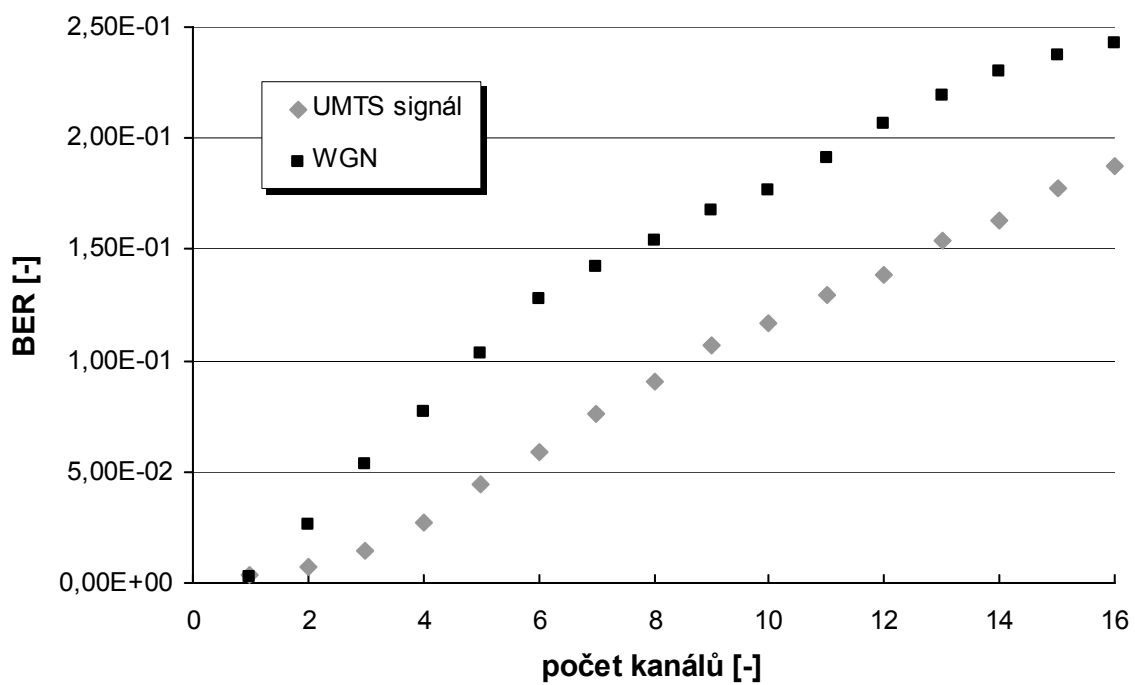
Z uvedených průběhů je patrné, že charakter rušivého signálu má na výslednou chybovost nepříliš velký vliv. To je způsobeno principem CDMA přístupu. Díky rozprostírání a skramblování signálu dochází k snížení rozdílu mezi rušivými signály. Díky rozprostíracímu zisku (Spreading Gain) je možno získat užitečný signál, jehož úroveň je hluboko pod úrovní rušení.



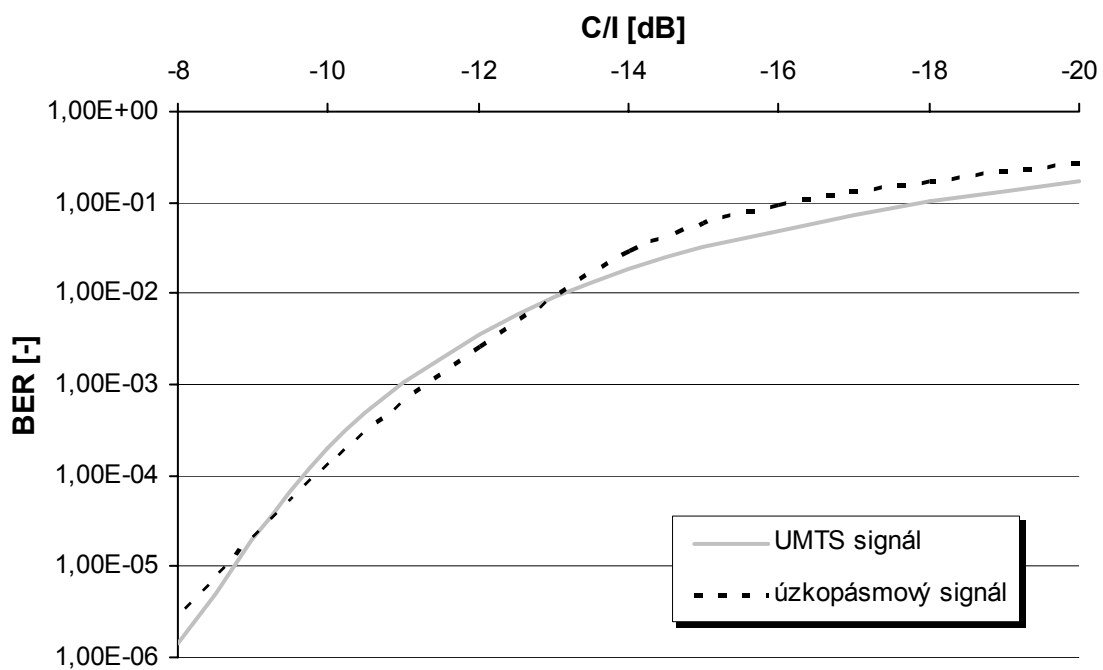
Obr. 3.2. Závislost chybovosti signálu ve fyzickém kanálu na odstupu signálu od rušení



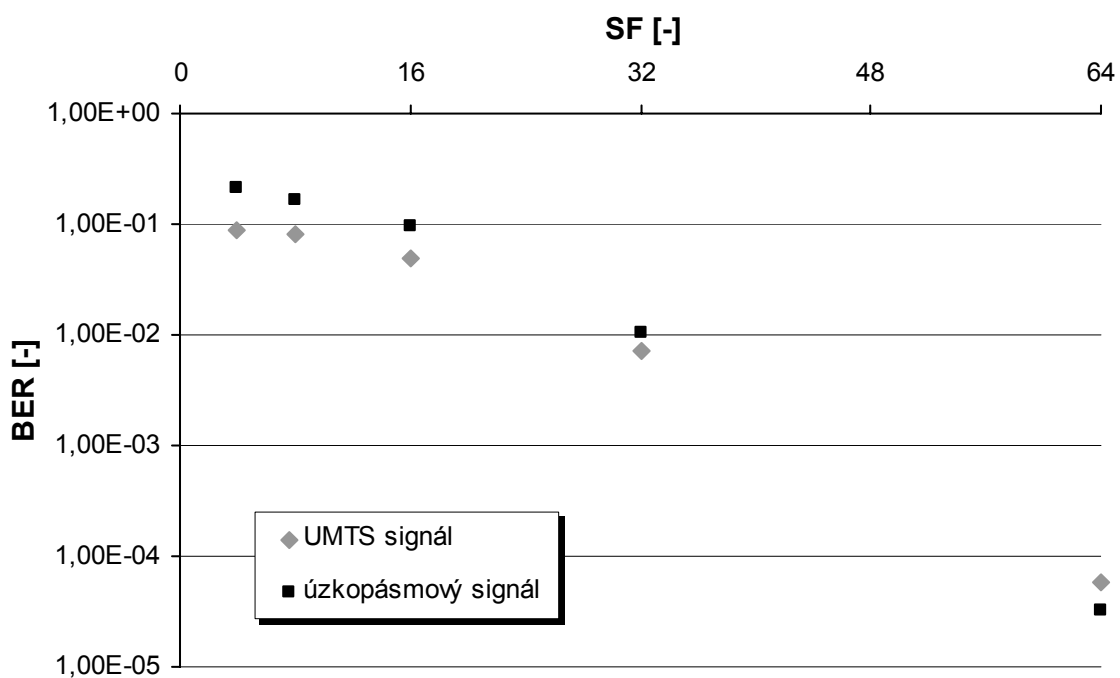
Obr. 3.3. Závislost chybovosti signálu ve fyzickém kanálu na hodnotě SF



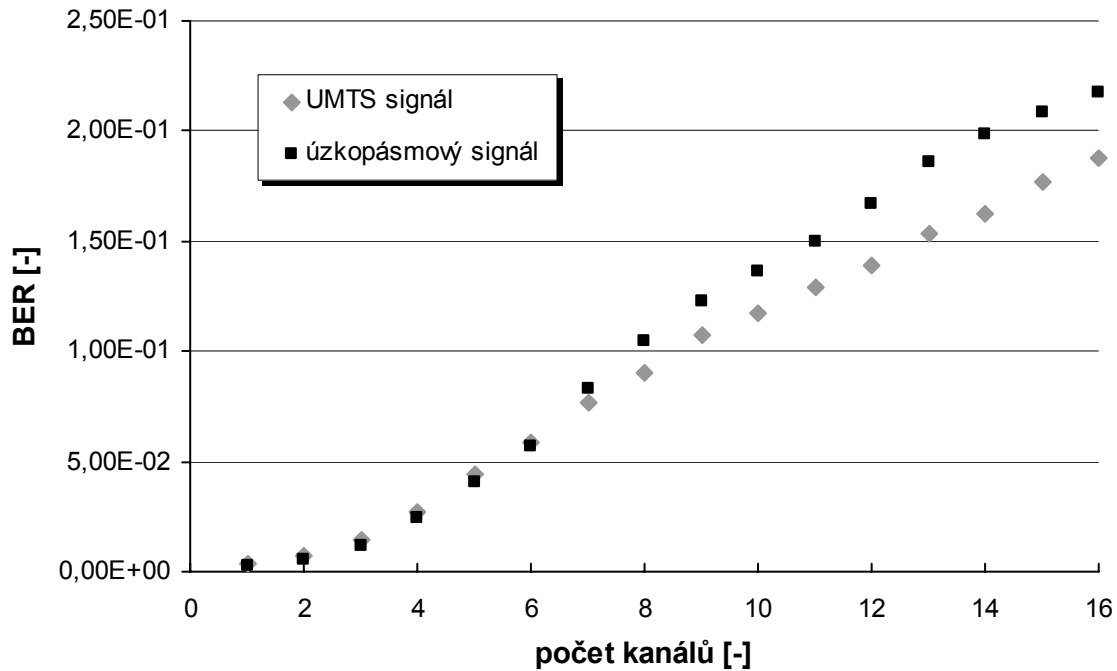
Obr. 3.4. Závislost chybovosti signálu ve fyzickém kanálu na počtu datových kanálů



Obr. 3.5. Závislost chybovosti signálu ve fyzickém kanálu na odstupu signálu od rušení



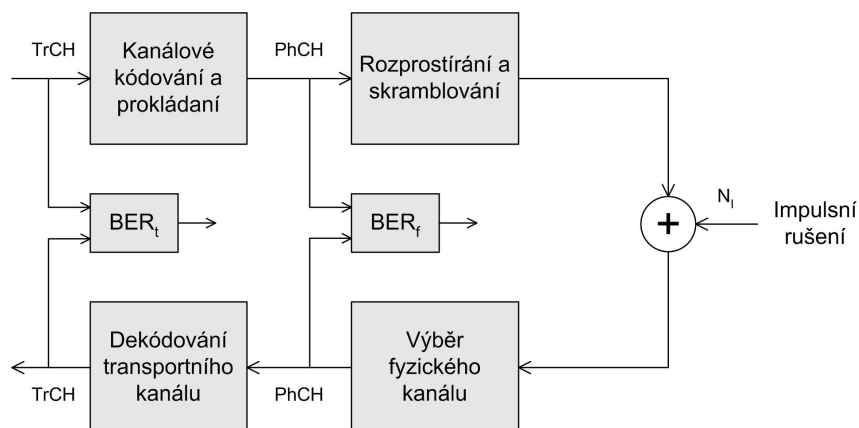
Obr. 3.6. Závislost chybovosti signálu ve fyzickém kanálu na hodnotě SF



Obr. 3.7. Závislost chybovosti signálu ve fyzickém kanálu na počtu datových kanálů

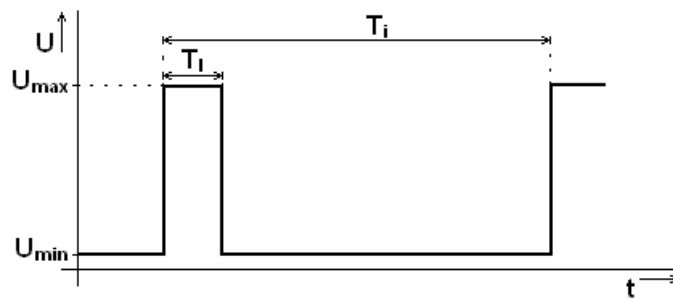
## 4 ANALÝZA KANÁLOVÉHO KÓDOVÁNÍ A PROKLÁDÁNÍ V TRANSPORTNÍM KANÁLU

Následující simulace využívají kompletního modelu fyzické vrstvy systému UMTS. Vyhodnocována je zde jednak chybovost signálu  $BER_f$  ve fyzickém kanálu, tedy bez účasti kanálového kódování a prokládání, a rovněž chybovost transportního kanálu  $BER_t$ , tj. včetně kanálového kódování a prokládání. Bude tedy možné zhodnotit vliv impulsního rušení jak na přenášený signál, tak i na použité zabezpečovací prostředky. Blokové schéma je na Obr. 4.1.



Obr. 4.1. Blokové schéma pro simulaci impulsního rušení

Rušivý signál použitý v této simulaci bude mít charakter širokopásmového signálu s proměnlivou úrovní. Časový průběh rušivých impulzů je na Obr. 4.2.



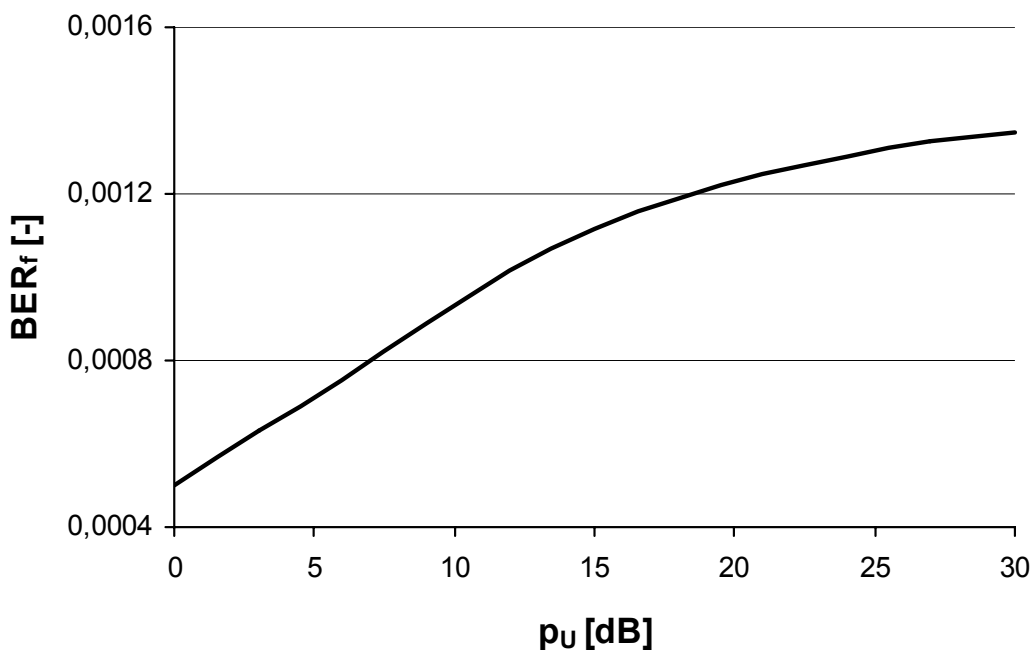
Obr. 4.2. Průběh rušivých impulzů

Impulz je charakterizován následujícími parametry:

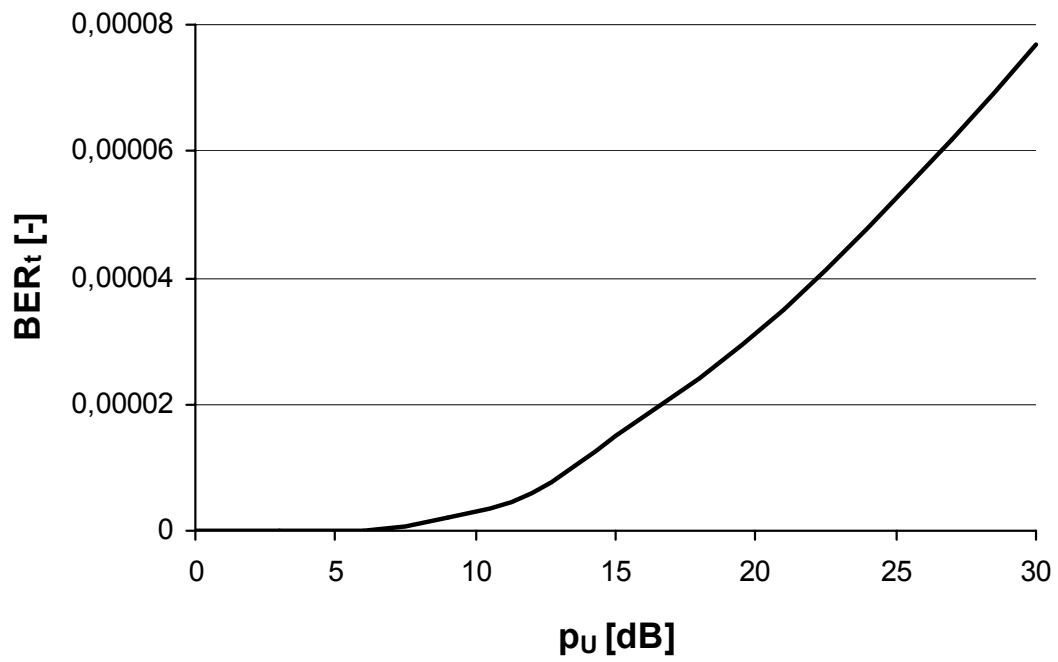
- úrovní, resp. poměrem mezi maximální a minimální úrovní signálu  $pU$ ,
- šířkou, resp. poměrem doby trvání impulzu  $T_I$  a čipové periody signálu  $T_c$ ,
- periodou opakování impulzů  $T_i$ , resp. poměrem  $T_i/T_c$ .

#### 4.1 SIMULACE

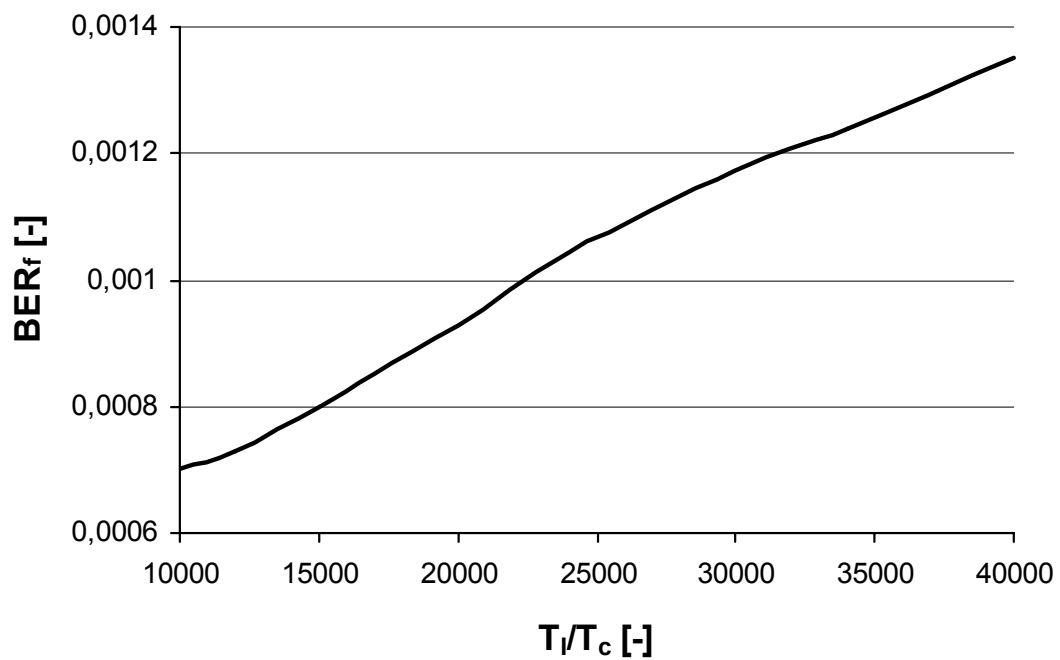
Vstupní náhodná bitová posloupnost je zpracována vysílací částí modelu. Výsledný signál je sečten s rušivým signálem obsahujícím definované impulzy. V přijímací části modelu je pak vyhodnocena bitová chybovost ve fyzickém kanálu  $BER_f$  a rovněž bitová chybovost v transportním kanálu  $BER_t$ . Délka vstupní bitové posloupnosti je volena s ohledem na správné vyhodnocení chybovosti signálu. Výsledné průběhy představují nárůst chybovosti v závislosti na výšce rušivých impulzů, viz Obr. 4.3. a Obr. 4.4., závislost chybovosti na šířce rušivých impulzů, viz Obr. 4.5. a Obr. 4.6 a závislost bitové chybovosti na periodě opakování rušivých impulzů, viz Obr. 4.7. a Obr. 4.8.



Obr. 4.3. Závislost chybovosti fyzického kanálu na výšce rušivých impulzů

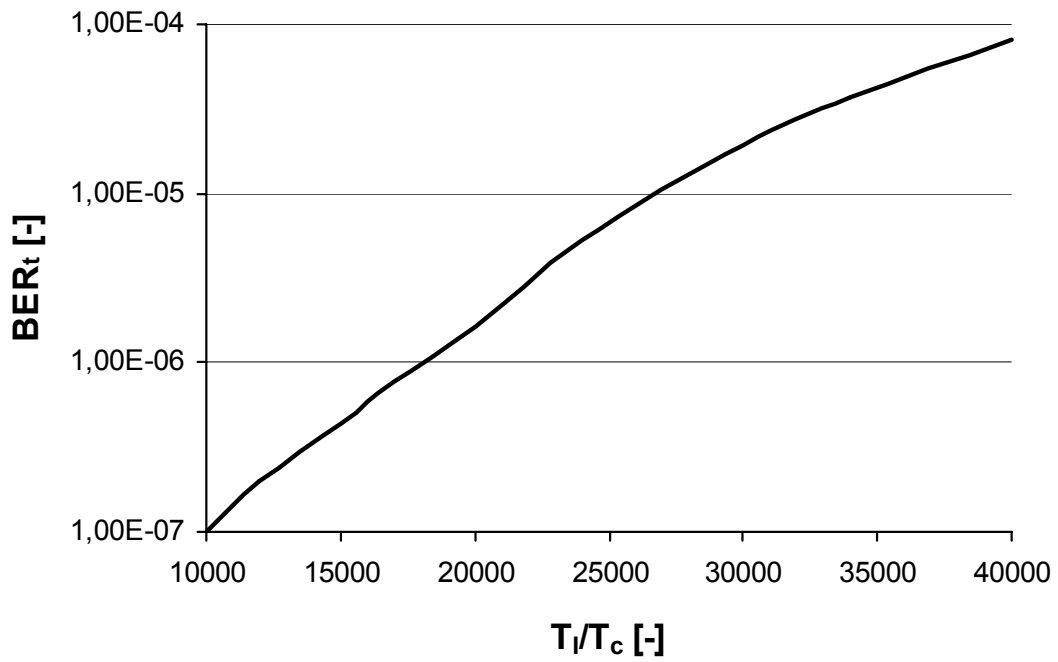


**Obr. 4.4.** Závislost chybovosti transportního kanálu na výšce rušivých impulsů

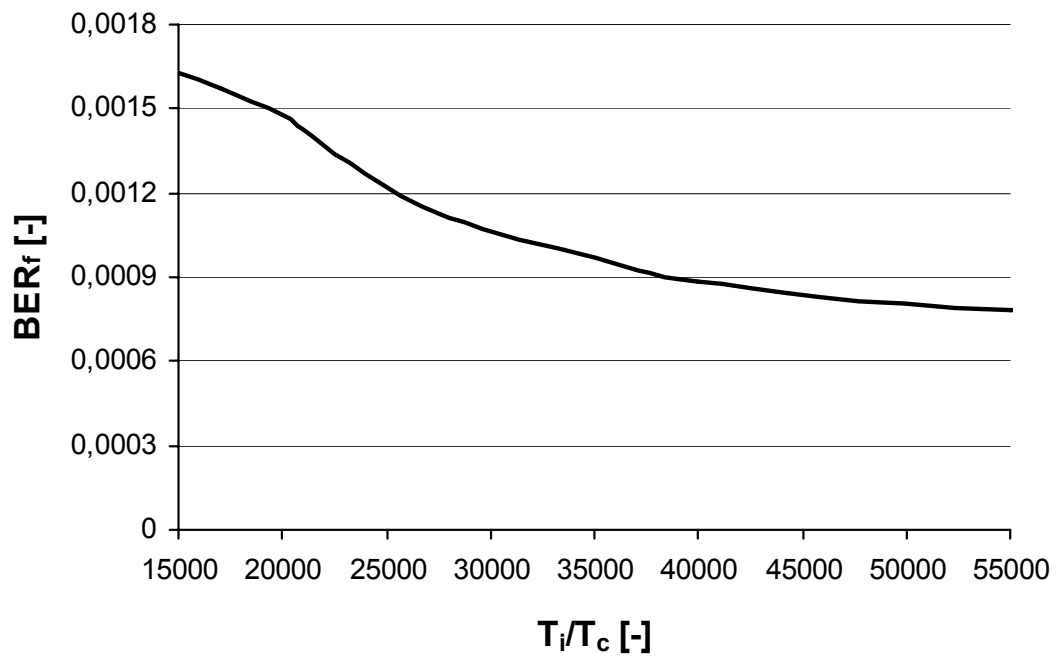


**Obr. 4.5.** Závislost chybovosti fyzického kanálu na šířce rušivých impulsů

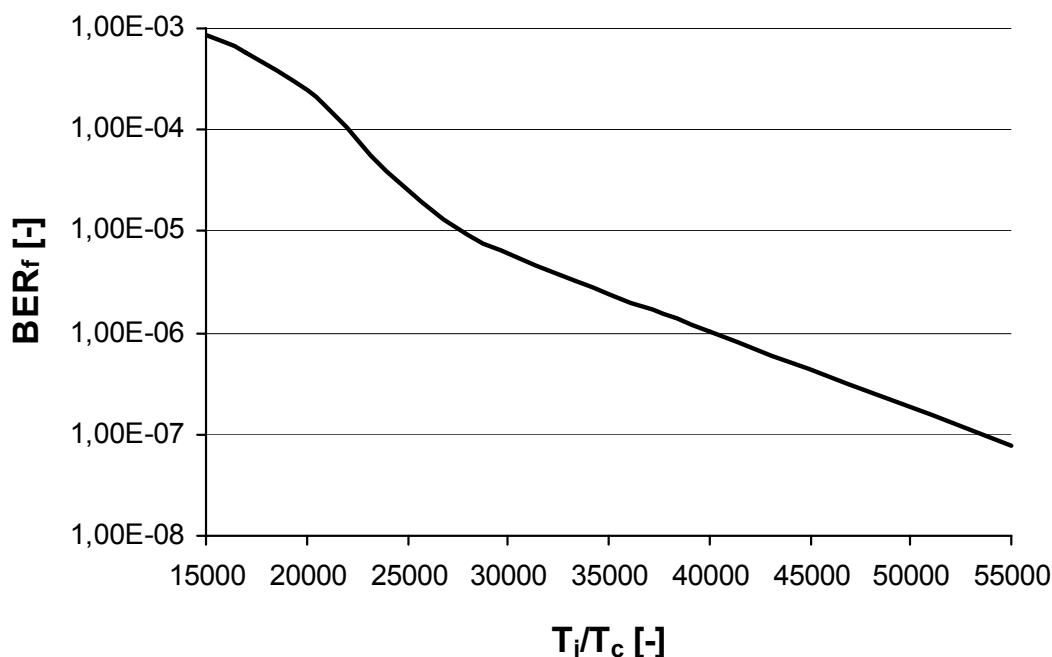




**Obr. 4.6.** Závislost chybovosti transportního kanálu na šířce rušivých impulsů



**Obr. 4.7.** Závislost chybovosti fyzického kanálu na poměru T<sub>i</sub>/T<sub>c</sub>



Obr. 4.8. Závislost chybovosti transportního kanálu na poměru  $T_i/T_c$ .

## 4.2 ZHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ

Výsledky byly publikovány v [12]. Lze jich využít při analýze vlastností kanálového kódování a prokládání použitého v systému UMTS, především schopnosti opravovat shlukové chyby.

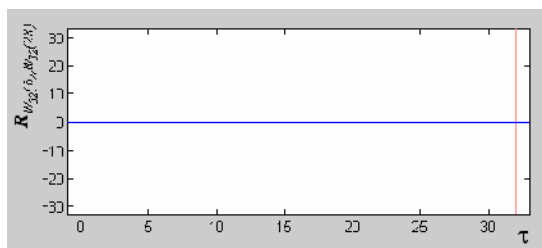
Z výsledků je patrné, že se zvyšující se úroveň rušivého impulsu se přibližně lineárně zvyšuje chybovost na transportním i fyzickém kanálu.

Při prodlužování rušivého impulsu dochází k přibližně lineárnímu nárůstu chybovosti fyzického kanálu, avšak k logaritmickému nárůstu chybovosti v transportním kanálu. Delší rušivý impuls způsobí delší shlukovou chybu. Pokud je délka shluku chyb příliš velká, Viterbiho dekodér není schopen ji opravit.

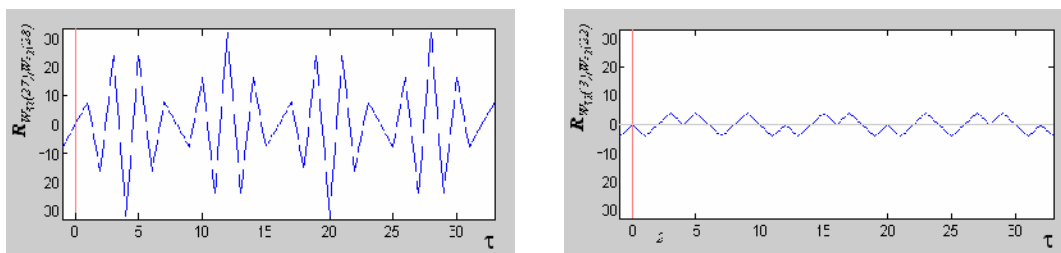
Podobně se systém chová při vyšší četnosti rušivých impulzů. Chybovost v transportním kanále opět roste přibližně logaritmicky, což opět ukazuje na dlouhé shluky chyb.

## 5 PŘIDĚLOVÁNÍ ORTOGONÁLNÍHO KÓDU DLE SPECIFICKÉHO POŘADÍ

Walshovy ortogonální kódy se pro oddělení jednotlivých kanálů používají pro své korelační vlastnosti. Jak již bylo naznačeno v úvodu, vzájemná korelace mezi dvěma ortogonálními kódy je nulová. To však platí pouze v případě, kdy jsou oba kódy vzájemně časově synchronizovány. Pokud tomu tak není, vzájemná korelace už nemusí být nulová. Z tohoto pohledu se dají Walshovy kódy rozdělit do dvou základních skupin. První skupinu tvoří kódy, které mají vzájemnou korelaci nulovou na celém uvažovaném intervalu, bez ohledu na vzájemný časový posun, viz Obr. 5.1. Druhou skupinu kódů pak tvoří ty, které mají vzájemnou korelaci nulovou pouze při nulovém vzájemném časovém posunutí, viz Obr. 5.2.



Obr. 5.1. Vzájemná korelace dvou ortogonálních kódů z „první“ skupiny



Obr. 5.2. Vzájemná korelace dvou ortogonálních kódů z „druhé“ skupiny

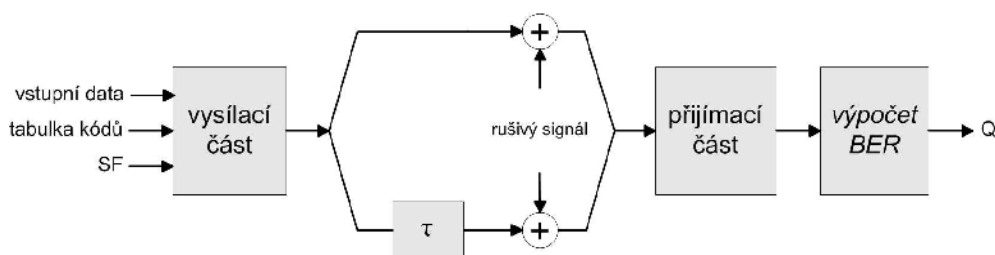
Je zřejmé, že pokud jsou pro oddělení kanálů použity kódy z první jmenované skupiny, pak nedochází k žádnému vzájemnému ovlivňování mezi těmito kanály. Kanály se vzájemně neruší a to bez ohledu na vzájemný časový posun. Pokud však máme kódy z druhé skupiny, dochází přímo nebo nepřímo ke zvyšování úrovně rušení v rádiovém prostředí. Dalším poznatkem vyplývajícím z Obr. 5.2. je, že i když jsou kódy z druhé skupiny citlivé na vzájemný časový posun, tato „citlivost“ není u každé dvojice kódů stejná.

Na základě těchto poznatků je zřejmé, že by bylo vhodné stanovit nějakou novou metodiku přidělování ortogonálních kódů, která by umožnila snížit vzájemné rušení mezi kanály. Na základě výše uvedených průběhů lze usoudit, že kódy by měly být nejprve využity kódy z první skupiny. Základní problém je ale v tom, že některé kódy mají nulovou vzájemnou korelaci pouze s některými kódy a s jinými naopak nenulovou vzájemnou korelaci dosahující někdy i vysokých hodnot. Z toho plyne, že jednotlivé kódy nelze jednoznačně zařadit do první či druhé skupiny. Rozdělení kódů závisí na celé skupině kódů, které jsou v daném okamžiku využívány. Z tohoto pohledu se jako nejlepší možnost jeví využití nějakého optimalizačního algoritmu, který určí pořadí přidělování kódů s ohledem na co nejmenší vzájemné rušení.

## 5.1 OPTIMALIZACE KÓDOVÉHO STROMU

Protože UMTS používá proměnnou délku OVFSF kódů, bude nutno optimalizovat celý strom těchto kódů pro všechny hodnoty SF. Vzhledem k vysoké výpočetní náročnosti simulací, které budou tvořit jádro hodnotící funkce při optimalizaci, není možné optimalizovat přidělování kódů v reálném čase v závislosti na okamžitých podmínkách (počet kanálů, typ provozu apod.). Bude tedy zapotřebí provést optimalizaci dopředu a její výsledky uložit a následně je používat.

Pro výpočet hodnotící funkce, která bude použita při optimalizaci, je využit modifikovaný model, viz Obr. 5.3. V průběhu optimalizačního algoritmu se nastavují vstupní hodnoty modelu a na základě vypočítané bitové chybovosti BER je prováděna minimalizace hodnotící funkce  $Q$ .



**Obr. 5.3.** Model pro výpočet hodnotící funkce  $Q$  pro optimalizaci

Hodnotící funkce vychází ze stanovení chybovosti. Chybovost je vyhodnocována v každém kanále a pak je vypočítána průměrná chybovost.

Celý proces je opakován pro počet kanálů v rozmezí 1 až SF a v každém z těchto cyklů je spočítána průměrná chybovost na kanál. Výsledné průměrné chybovosti jsou sečteny a výsledná hodnota je výstupem hodnotící funkce pro optimalizační algoritmus, viz (5.1).

$$Q = \sum_{i=1}^{SF} \frac{1}{i} \sum_{k=1}^i BER_{i,k}, \quad (5.1)$$

kde  $i$  představuje počet zpracovávaných kanálů,  $k$  právě zpracovávaný kanál a  $BER_{i,k}$  je chybovost  $k$ -tého kanálu při  $i$  zpracovávaných kanálech. Hodnota  $Q$  je pak minimalizována pomocí optimalizačního algoritmu.

Pro optimalizaci popsáního problému jsem zvolil genetický algoritmus. Hledaná veličina není v celé prohledávané oblasti spojitá a její hodnota se hodně mění. Samotný výpočet hodnotící funkce je velmi časově náročný. Náročnost výrazně roste se zvyšujícím se SF. Proto je genetický algoritmus nastaven následovně:

- 7 jedinců v generaci,
- 20-50 generací,
- 4 jedinci z každé generace obnovování (2 křížením, 2 náhodným generováním),
- 100% pravděpodobnost mutace (kromě elitního jedince).

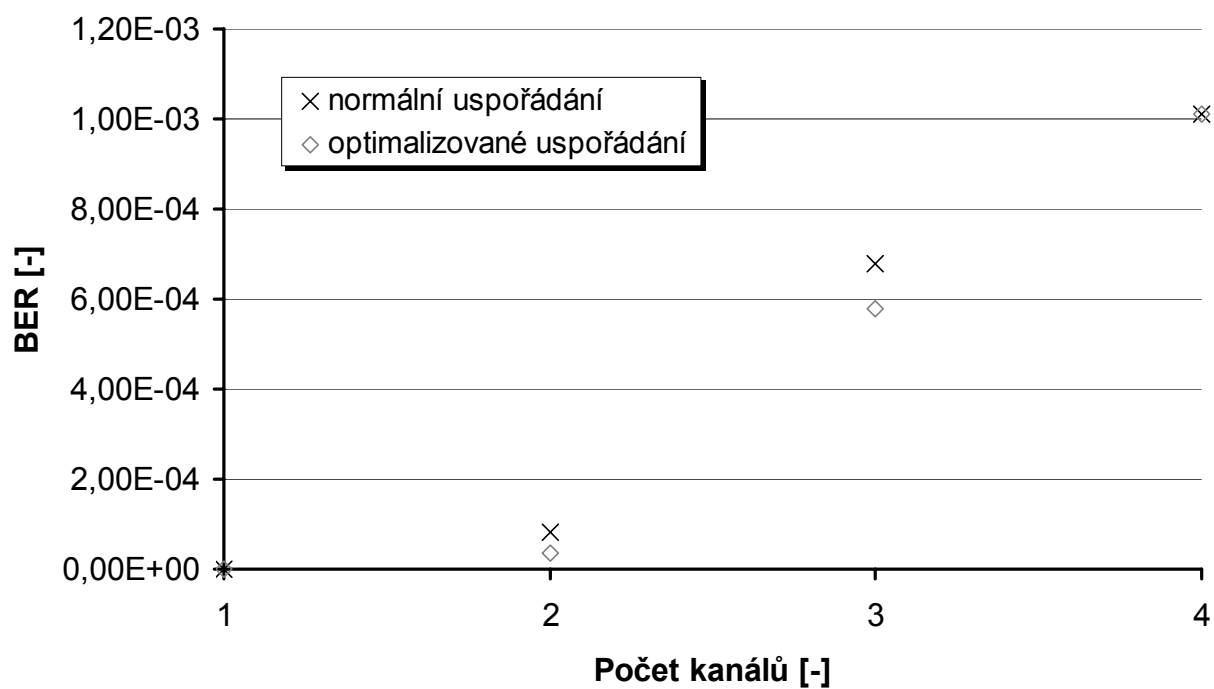
Doplnění dvou nových jedinců náhodným generováním dává lepší výsledky, pravděpodobně proto, že průběh hodnotící funkce je velmi členitý a samotné křížení nevede k dostatečné obměně jedinců. Jedinec je tvořen specifickým přiřazením kódů, které se předává na vstup výpočtu hodnotící funkce. Jedná se tedy o zápis čísel v rozsahu 1 až SF v různém pořadí, který představuje seřazení kódů tak, jak budou postupně přiřazovány novým kanálům.

Pro SF = 4 je malý počet možných kombinací uspořádání kódů (24 možností). V takovém případě je výhodnější vyzkoušet všechny kombinace. Se zvyšujícím se rozprostíracím činitelem narůstá i počet kombinací uspořádání kódů. Počet možností  $c$  je dán variacemi bez opakování, viz (5.2). Zde už je optimalizační algoritmus nezbytný.

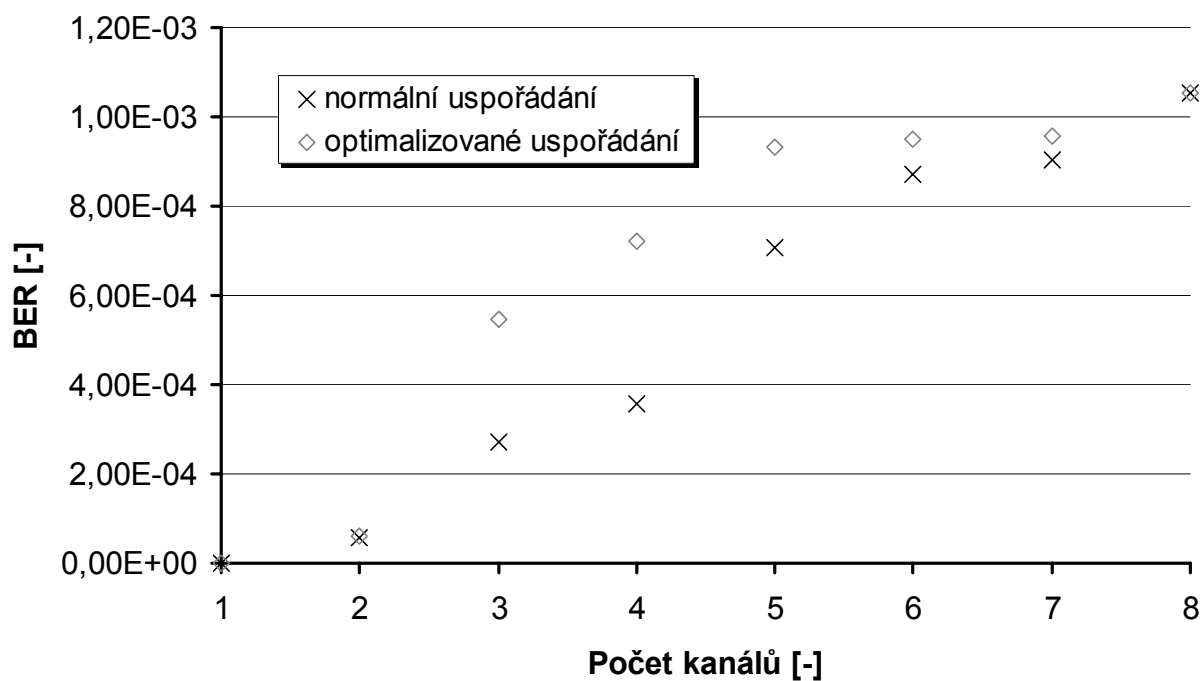
$$c = \text{fact}(SF) \quad (5.2)$$

Se zvyšujícím se rozprostíracím činitelem výrazně narůstá výpočetní náročnost optimalizace. Proto pro vyšší hodnoty SF dochází ke snížení počtu generací genetického algoritmu, tak aby byl výpočet zvládnutelný v akceptovatelném časovém rozmezí.

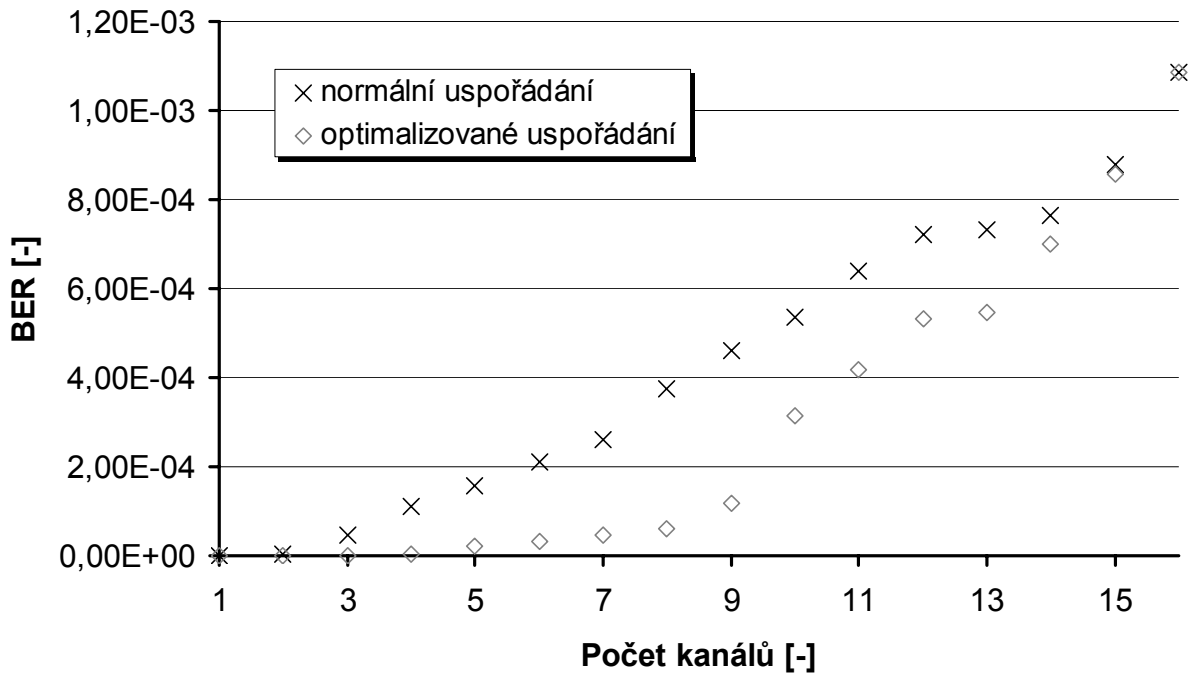
Pro tyto simulace byl využit počítač s následujícími parametry a softwarovým vybavením: procesor Intel Core2 6300 (1,86 GHz), paměť 2 GB verze Matlabu 7.3.0 (R2006b). Délka vstupní bitové posloupnosti byla 104 bitů. Doba simulací se byla od několika desítek minut až po 60 dní. Výsledky simulací pro jednotlivé hodnoty SF jsou uvedeny na Obr. 5.4 až 5.11.



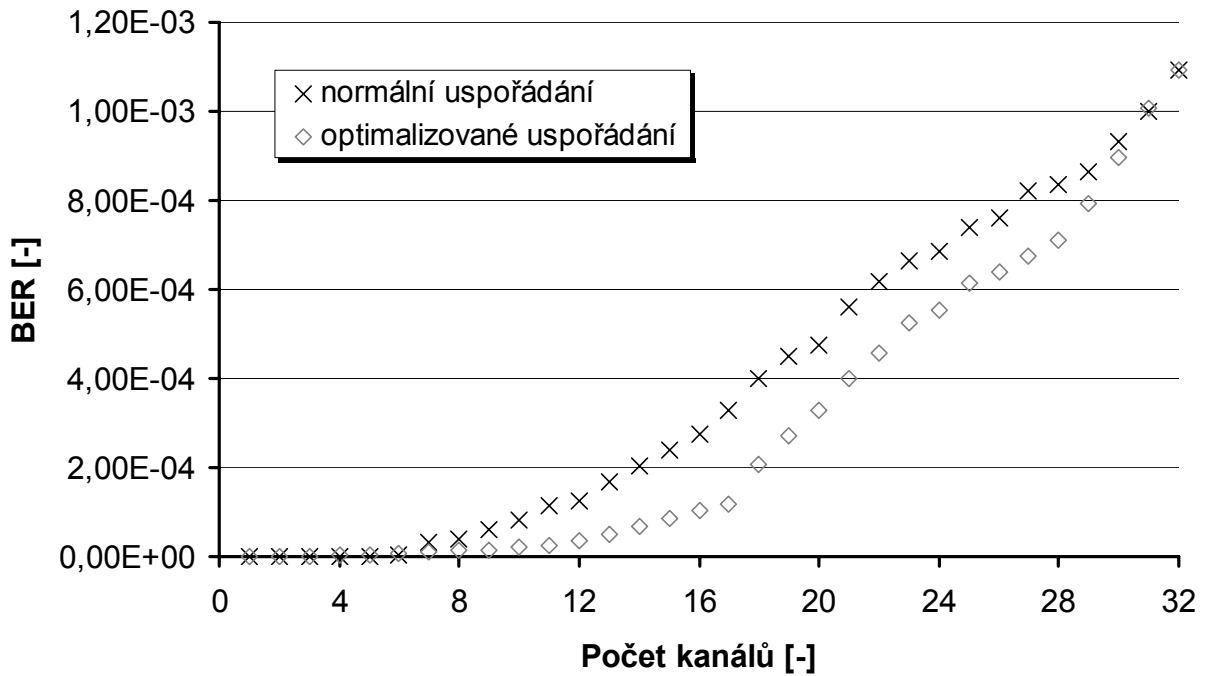
Obr. 5.4. Výsledek optimalizace pro SF = 4



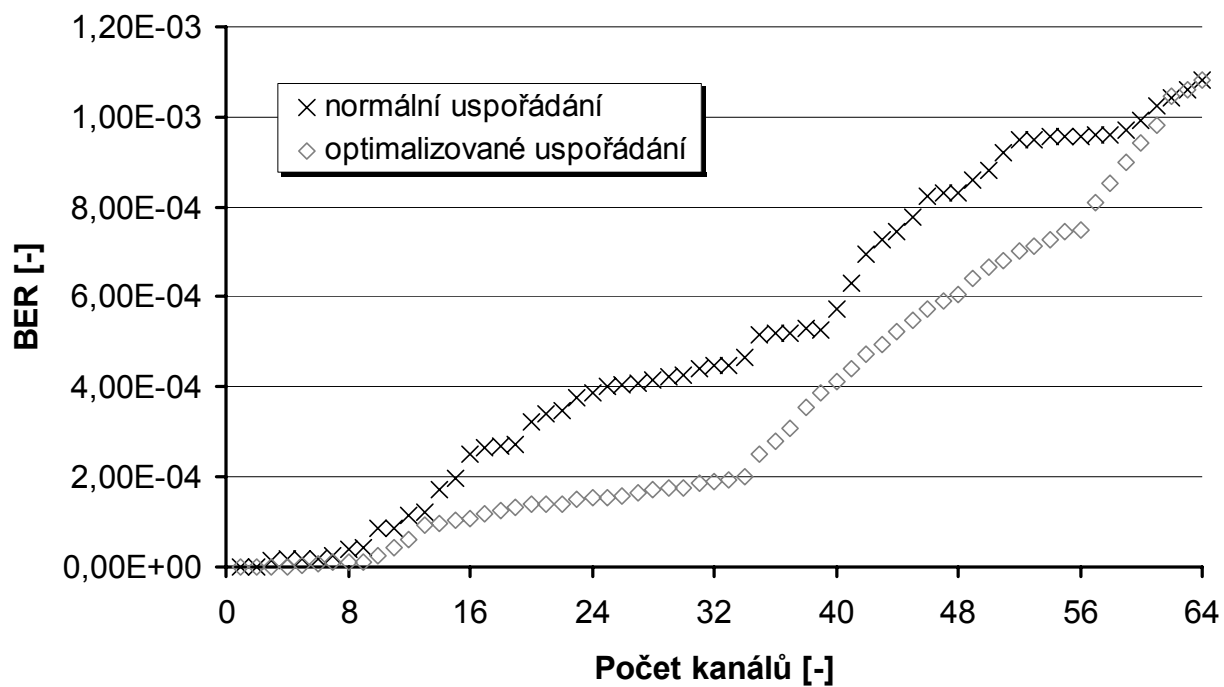
Obr. 5.5. Výsledky simulace pro SF = 8



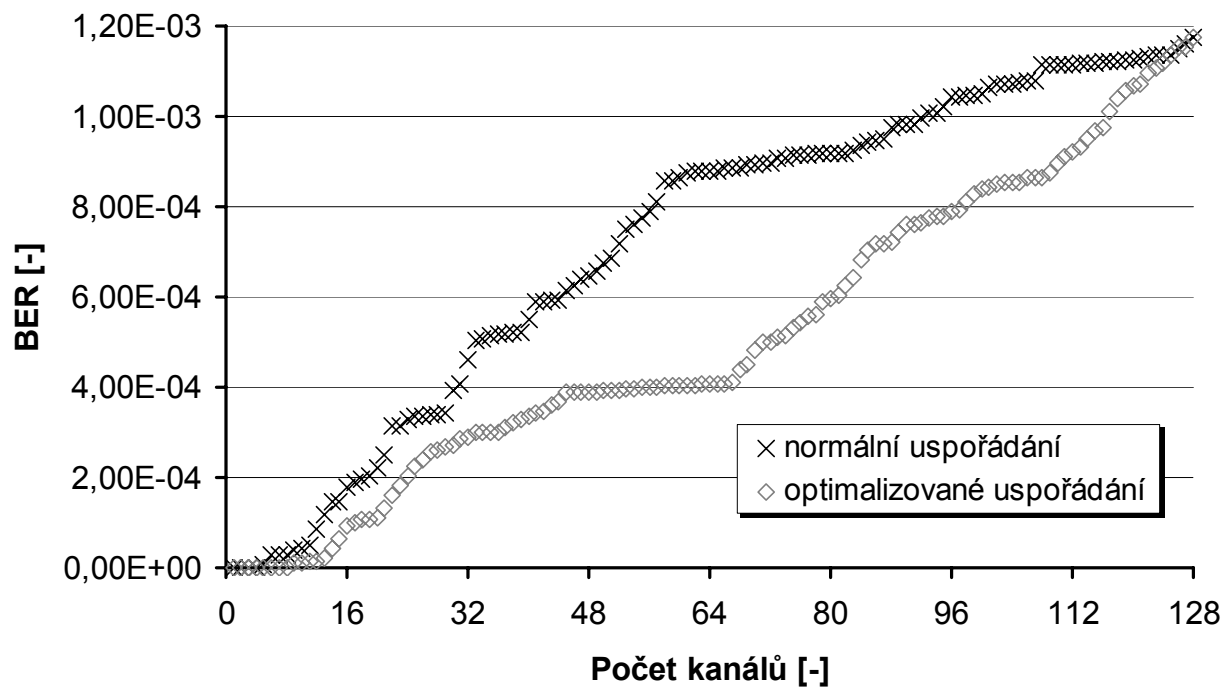
Obr. 5.6. Výsledek optimalizace pro SF = 16



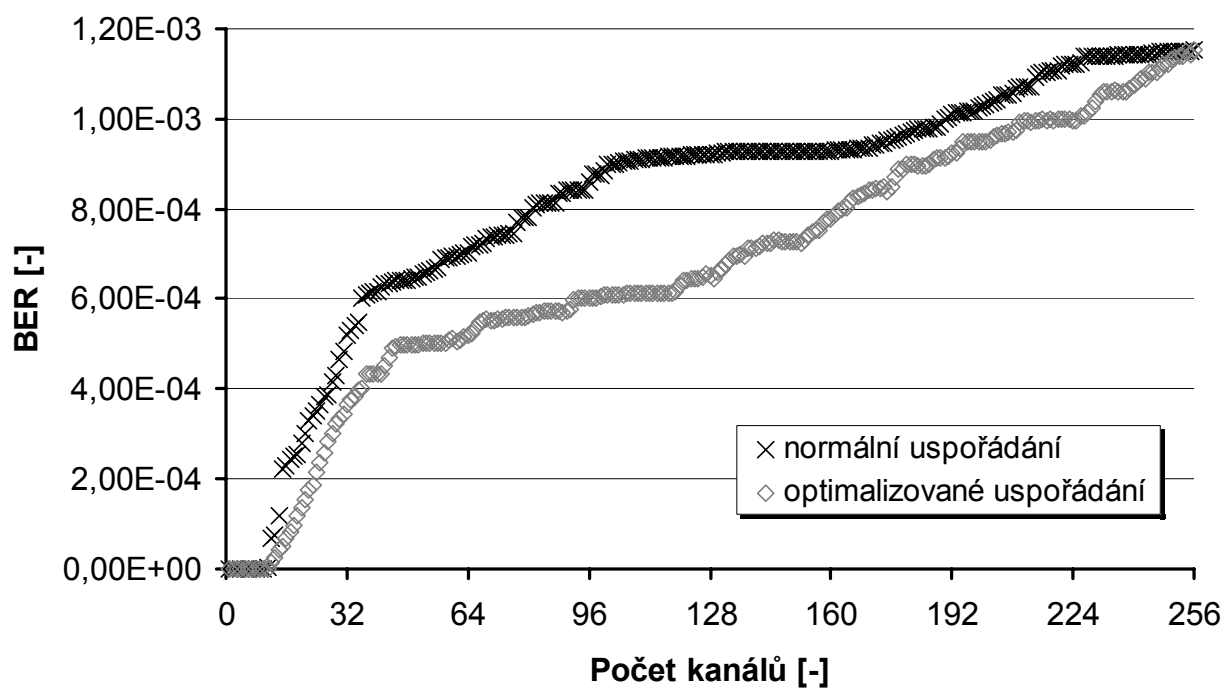
Obr. 5.7. Výsledek optimalizace pro SF = 32



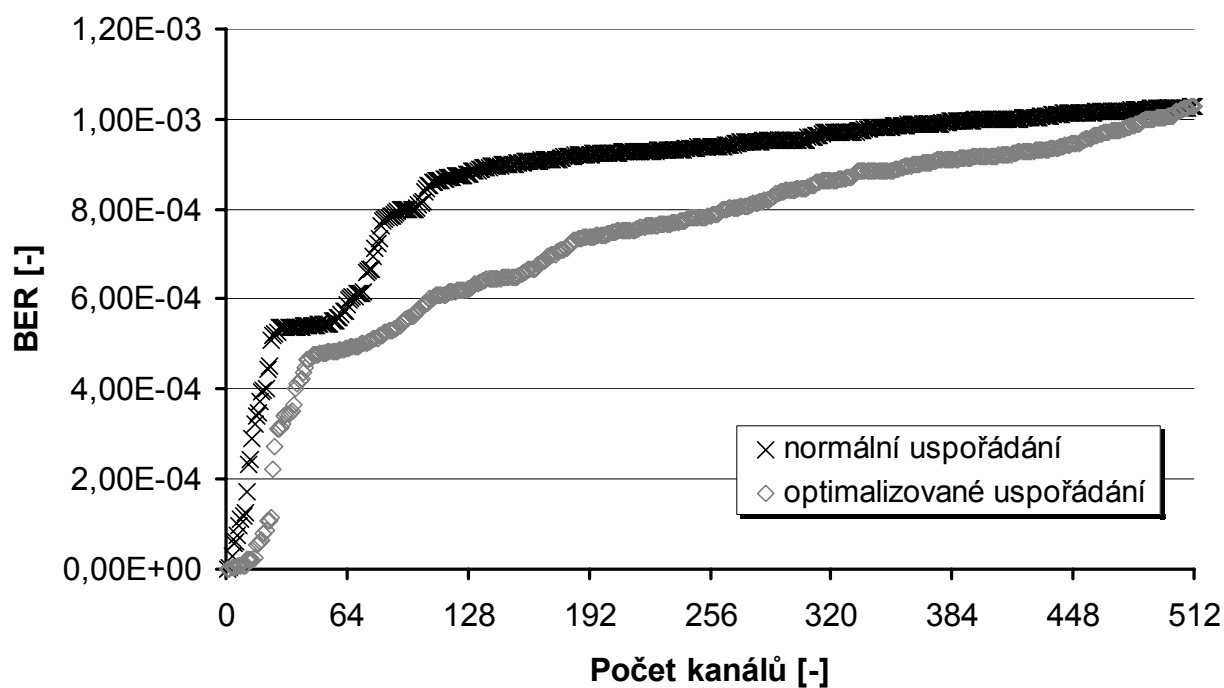
Obr. 5.8. Výsledek optimalizace pro SF = 64



Obr. 5.9. Výsledek optimalizace pro SF = 128



Obr. 5.10. Výsledek optimalizace pro SF = 256



Obr. 5.11. Výsledek optimalizace pro SF = 512



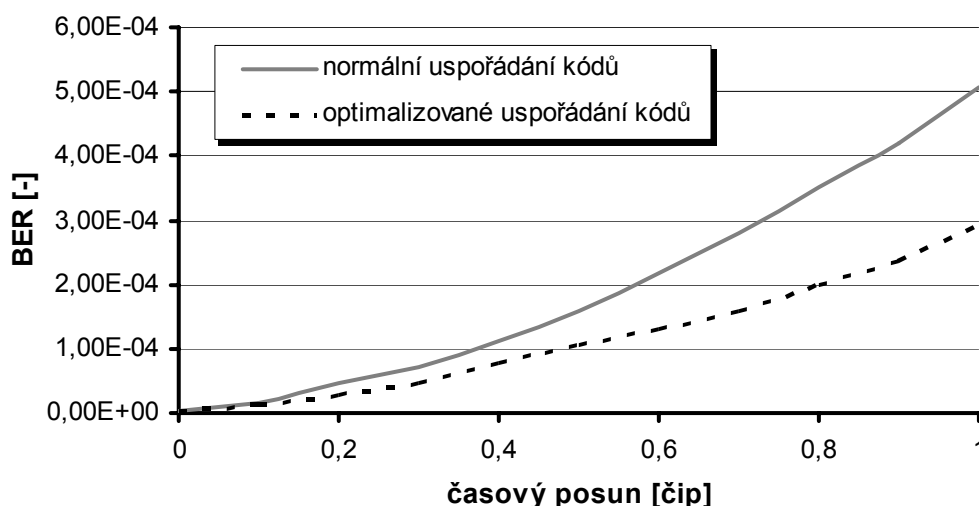
## 5.2 SIMULACE PRO OVĚŘENÍ OPTIMALIZOVANÝCH VÝSLEDKŮ

Na základě předchozích simulací lze předpokládat, že použitím optimalizovaných uspořádání rozprostíracích kódů lze dosáhnout snížení chybovosti vlivem porušení ortogonality mezi jednotlivými kanály.

Simulace budou představovat UMTS signál se zvoleným počtem kanálů s různou hodnotou SF. Signál bude přenesen rádiovým prostředím s vícecestným šířením, zpracován a bude vyhodnocena chybovost. Simulace bude srovnávat klasické přidělení a optimalizované uspořádání Walshových kódů.

Nejprve je nutné stanovit, které kódy budou použity s ohledem na uspořádání kódů a kódový strom. Pro klasické uspořádání je situace jednoduchá. Při použití optimalizovaného uspořádání, kdy jsou kódy vlastně přeházené je zapotřebí vytvořit vhodný algoritmus.

První simulace představuje teoretické rovnoměrné využití kanálů s odlišným rozprostíracím činitelem. Celkový signál bude obsahovat celkem 8 datových kanálů, tedy pro každou hodnotu SF jeden kanál. Celkové využití kódů bude přibližně 50%. Výsledky jsou na Obr. 5.12.



Obr. 5.12. Srovnání uspořádání kódů – rovnoměrné rozložení kanálů

Druhá simulace bude zaměřena především na hlasový typ provozu. Kanály jsou rozprostírány s vysokým rozprostíracím činitelem SF. Využití kódů je opět přibližně 50%. Výsledky jsou na Obr. 5.13.

Poslední simulace představuje datový provoz, tedy málo kanálů s nízkým SF. Výsledky viz Obr. 5.14.

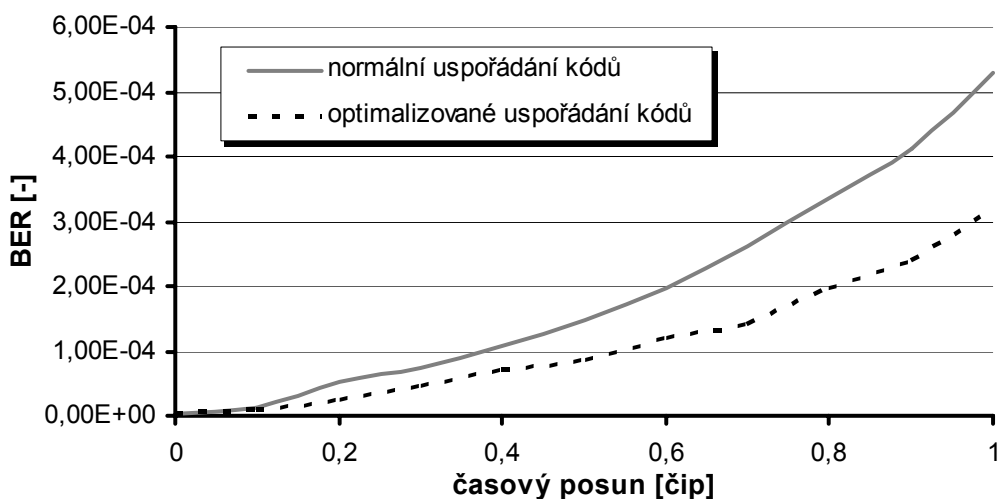
## 5.3 ZHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ

Z výsledku simulace je patrné, že se zvyšujícím se počtem kanálů se zvětšuje i oblast, kde má optimalizované řešení lepší výsledek oproti klasickému řešení. Nejlepších výsledků je dosaženo při použití takového počtu kanálů, který se blíží polovině maxima.

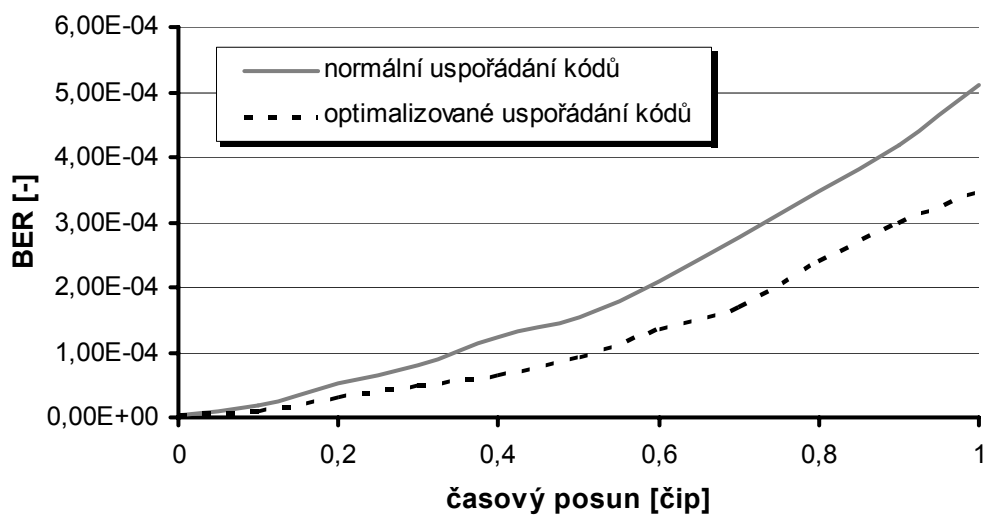
Simulace prováděné v této kapitole jsou extrémně náročné na čas. Hlavně proto zde tedy nebylo účelem nalézt nejvhodnější optimalizační algoritmus a dosáhnout s ním co nejlepších výsledků. Hlavním účelem bylo ověření navrhované metody.

Zatímco u SF = 4 bylo určeno nejlepší možné řešení, u vyšších hodnot SF rapidně narůstá počet možností, takže lze předpokládat, že výsledky simulací nedosahují nejlepších výsledků. Přesto však výsledky vedou ke snížení chybovosti. Navržená metoda pro přidělování kanálových rozprostíracích kódů byla prezentována v [19].

Optimalizace celého kódového stromu najednou by mohla přinést lepší výsledky. Vzhledem ke zmíněné vysoké výpočetní náročnosti je však provedení takovéto optimalizace nereálné. Dalším prostorem pro zlepšení by bylo přidělování rozprostíracích kódů založené na sledování aktuálního stavu v rádiovém prostředí. Tento přístup by však vyžadoval optimalizaci kódového stromu v reálném čase, což opět z výše zmíněných důvodů nelze provádět.



Obr. 5.13. Srovnání uspořádání kódů – hlasový provoz



Obr. 5.14. Srovnání uspořádání kódů – datový provoz

## 6 ZÁVĚR

V této práci je prezentován model fyzické vrstvy systému UMTS. Modelování této problematiky se vyskytuje pouze zřídka. Důvodem je především vysoká výpočetní náročnost. Model představuje zpracování signálu v downlinku a je vytvořen v prostředí Matlab firmy Mathworks. Hlavním úkolem bylo analyzovat rušení v síti UMTS. Ke zpracovávanému signálu je tedy možné přičíst různé druhy rušení a analyzovat bitovou chybovost užitečného signálu.

Jsou prezentovány základní simulace, které slouží především k ověření funkce modelu a rovněž k vytvoření základní představy o rychlosti zpracování signálu v systému s rozprostřeným spektrem. Výpočetní náročnost simulací je velmi vysoká.

V další části práce je provedeno srovnání vlivu různých typů rušení na užitečný signál. Z těchto simulací vyplývá, že charakter rušivého signálu nemá příliš velký vliv na chybovost. Nejdůležitějším parametrem je tedy odstup signálu od rušení C/I. Rozprostírací zisk má velký vliv na výslednou kvalitu signálu za stejných podmínek v rádiovém prostředí.

Dále byla provedena analýza citlivosti UMTS signálu na impulsní rušení. Výstupní chybovost byla sledována jak ve fyzickém, tak v transportním kanálu. Z výsledků je tedy možno usuzovat o vlastnostech rozprostírání signálu a rovněž kanálového kódování a prokládání. Z výsledků je patrné, že úroveň rušivého signálu má stejný vliv na chybovost v transportním i fyzickém kanálu. Oproti tomu délka a perioda opakování rušivého impulzu má mnohem výraznější vliv na chybovost v transportním kanálu. To je způsobeno především tím, že s délkou a četností rušivých impulzů se zvětšuje délka shlukových chyb. To se projeví na kvalitě opravy chyb během kanálového kódování. Při určité úrovni chyb již dekodér není schopen signál opravit.

Jádrem práce pak je návrh metody přiřazování rozprostíracích kódů pro jednotlivé fyzické kanály. Základní myšlenkou je vzájemné chování jednotlivých rozprostíracích kódů při vícecestném šíření v rádiovém prostředí. Metoda je založena na vzájemných korelačních vlastnostech jednotlivých kanálových kódů. Na základě těchto vlastností je provedena optimalizace využití těchto kódů. Optimalizace byla provedena jednotlivě pro všechny hodnoty rozprostíracího činitele. Z výsledku simulace je patrné, že se zvyšujícím se počtem kanálů se zvětšuje i oblast, kde má optimalizované řešení lepší výsledek oproti klasickému řešení. Nejlepších výsledků je dosaženo při použití takového počtu kanálů, který se blíží polovině maxima.

Simulace prováděné v této kapitole jsou extrémně náročné na čas. Hlavně proto zde tedy nebylo účelem nalézt nejhodnější optimalizační algoritmus a dosáhnout s ním co nejlepších výsledků. Hlavním účelem bylo ověření navrhované metody.

Dále je zřejmé, že optimalizace celého kódového stromu by mohla přinést lepší výsledky. Vzhledem ke zmíněné vysoké výpočetní náročnosti je však provedení takovéto optimalizace nereálné. Další možností zlepšení by bylo dynamické přidělování rozprostíracích kódů založené na sledování aktuálního stavu v rádiovém prostředí. Tento přístup by však vyžadoval optimalizaci kódového stromu v reálném čase, což opět nelze realizovat.

Přesto však výsledky vedou ke snížení úrovně rušení v rádiovém prostředí a tím ke snížení chybovosti užitečného signálu.

K experimentálnímu ověření výsledků by bylo zapotřebí, aby fungovala komerční síť UMTS nebo aby byl k dispozici přijímač UMTS signálu schopný dekodovat jednotlivé kanály a vyhodnotit bitovou chybovost. Tyto možnosti v době odevzdání práce nebyly dostupné a budou předmětem dalšího výzkumu na Ústavu radioelektroniky FEKT VUT v Brně.

## LITERATURA

- [1] BOSTELMANN, G., ZARITS R. *UMTS Design Details & System Engineering*. Karlsruhe: INACON GmbH, 2002. 590 pages. ISBN 393627306-5.
- [2] KORHONEN, J. *Introduction to 3G Mobile Communications*. Norwood: Artech House, Inc., 2001. 559 pages. ISBN 1-58053-287-X.
- [3] WANG, J., NG, T. S. *Advances in 3G Enhanced Technologies for Wireless Communications*. Norwood: Artech House Inc., 2002. 350 pages. ISBN 1-58053-302-7.
- [4] MISHRA, A. R. *Fundamentals of Cellular Network Planning and Optimisation*. Chichester: John Wiley & Sons Ltd, 2004. 286 pages. ISBN 0-470-86267-X.
- [5] LEMPIAINEN, J., MANNINEN, M. *UMTS Radio Network Planning, Optimization and QoS Management*. Boston: Kluwer Academic Publishers, 2003. 342 pages. ISBN 1-4020-7640-1.
- [6] JEVROSIMOVIC, M., MATIC, D., JORRGUŠESKI, L., HERBEN, M. H. A. J., BRUSSAARD, G., Analysis of SINR for UMTS Rake Receiver-Smart Antenna Processing Using Two Different Modelling Approaches. [online], available at <http://tte.ele.tue.nl/radio/publications/ECR%20pubs%202003/Jevrosimovic%20Analysis%20of%20SNIR%20VTC%20Fall%202003.pdf>, 2003.
- [7] 3GPP Technical Specification Group Radio Access Network – Physical layer, General description; TS 25.201 V6.2.0 [online], available at <http://www.3gpp.org>, 2005.
- [8] 3GPP Technical Specification Group Radio Access Network – Physical layer procedures (FDD); TS 25.214 V6.8.0 [online], available at <http://www.3gpp.org>, 2006.
- [9] 3GPP Technical Specification Group Radio Access Network – Multiplexing and channel coding (FDD); TS 25.212 V6.7.0 [online], available at <http://www.3gpp.org>, 2005.
- [10] 3GPP Technical Specification Group Radio Access Network – Physical channels and mapping of transport channels onto physical channels (FDD); TS25.211 V6.7.0 [online], available at <http://www.3gpp.org>, 2005.
- [11] 3GPP Technical Specification Group Radio Access Network - Spreading and modulation (FDD); TS 25.213 V6.3.0 [online], available at <http://www.3gpp.org>, 2005.
- [12] RŮŽIČKA, Z., GLEISSNER, F., HANUS, S. UMTS Network Model – Sensitivity Analysis of Channel Coding and Interleaving. In *Proceedings of the 16th International Electrotechnical and Computer Science Conference ERK 2007*. Portorož, Slovinsko: Slovenska sekcija IEEE, 2007, (v tisku).
- [13] RŮŽIČKA, Z., HANUS, S. UMTS Network Model for Interference Analysis - Multipath Propagation Impact to C/I Ratio. In *Proceedings of the 15th International Electrotechnical and Computer Science Conference ERK 2006*. Portorož, Slovinsko: Slovenska sekcija IEEE, 2006, s. 115 – 118. ISSN 1581-4572.
- [14] RŮŽIČKA, Z., HANUS, S. Walsh functions – The Tutorial Program. In *Proceedings of the 11<sup>th</sup> Conference and Competition Student EEICT 2005, vol. 3*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2005, p. 449 – 452. ISBN 80-214-2890-2.
- [15] RŮŽIČKA, Z., HANUS, S. Modely pro zkoumání vlivu rušení na kvalitativní parametry signálu UMTS. In *Seminář o řešení projektu GA ČR 102/03/H109 Metody, struktury a komponenty elektronické bezdrátové komunikace v roce 2006*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta Elektrotechniky a komunikačních technologií, 2006, s. 12 – 15. ISBN 80-214-3304-3.

- [16] RŮŽIČKA, Z., HANUS, S. UMTS Network Modelling – Interference Impact to Signal Quality. In *Proceedings of the Junior Scientist Conference JSC 2006*. Vídeň (Rakousko): Vienna University of Technology, 2006, p. 65 – 66. ISBN 3-902463-05-8
- [17] RŮŽIČKA, Z., HANUS, S. UMTS Model - Multipath Propagation Impact to Signal Quality. In *Proceedings of International Conference Radioelektronika 2006*. Bratislava: Katedra Rádioelektroniky, Slovenská technická univerzita v Bratislave, 2006. ISBN 80-227-2388-6
- [18] RŮŽIČKA, Z., HANUS, S. Model of UMTS for Interference Analysis. In *Proceedings of the 12<sup>th</sup> Conference and Competition Student EEICT 2006, vol. 4*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2006, p. 310 – 314. ISBN 80-214-3163-6.
- [19] RŮŽIČKA, Z., HANUS, S. UMTS Network Model for Interference Analysis – Optimization of Spreading Codes Order. In *Radioengineering, Volume 16, Number 3, 2007*, ISSN 1210-2512. (v tisku)
- [20] RŮŽIČKA, Z. Walshovy funkce a způsoby jejich generování. *Elektrorevue*. [online], available at <http://www.elektrorevue.cz>. 2004, 9 stran. ISSN 1213-1539.
- [21] RŮŽIČKA, Z., HANUS, S. Model přenosu a zpracování signálu v síti UMTS. In *Sborník příspěvků konference IEEE Workshop Vršov 2005*. Vršov 2005, p. 148 – 151. ISBN 80-214-3008-7.
- [22] RŮŽIČKA, Z., HANUS, S. Radio Network Dimensioning in UMTS Network Planning Process. In *Proceedings of the 18<sup>th</sup> International Conference on Applied Electromagnetics and Communications*. Dubrovnik (Chorvatsko): KoREMA, Croatian Society for Communications, Computing, Electronics, Measurement and Control, 2005, p. 227 – 230. ISBN 953-6037-44-0.
- [23] RŮŽIČKA, Z., HANUS, S. Admission Control and Load Control in UMTS network . In *Proceedings of the 15<sup>th</sup> International Czech-Slovak Scientific Conference Radioelektronika 2005*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2005, p. 326 – 329. ISBN 80-214-2904-6.
- [24] RŮŽIČKA, Z., HANUS, S. . Modelování UMTS - snížení úrovně interferencí optimalizací rozložení rozprostíracích kódů. In *Sborník příspěvků konference VRŠOV 2006*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta Elektrotechniky a komunikačních technologií, 2006, s. 153 – 156. ISBN 80-214-3247-0.
- [25] RŮŽIČKA, Z., HANUS, S. Modelování UMTS – Optimalizace uspořádání rozprostíracích kódů. In *Sborník příspěvků konference ZVŮLE 2007*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta Elektrotechniky a komunikačních technologií, 2007, s. 168 – 171. ISBN 978-80-214-3468-4.
- [26] RŮŽIČKA, Z., HANUS, S. Model UMTS – Analýza a potlačení interferencí. In *Seminář o řešení projektu GA ČR 102/03/H109 Metody, struktury a komponenty elektronické bezdrátové komunikace v roce 2007*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta Elektrotechniky a komunikačních technologií, 2007, s. 20 – 23. ISBN 978-80-214-34444-8.
- [27] VARRAL, G., BELCHER, R. *3G Handset and Network Design*. Indianapolis: Wiley Publishing, Inc., 2003. 532 pages. ISBN 0-471-22936-9.
- [28] HOLMA, H., TOSKALA, A. *WCDMA for UMTS: Radio Access For Third Generation Mobile Communications*. Chichester: John Wiley and Sons, Ltd., 2004. 450 pages. ISBN 0-470-87096-6.
- [29] LAIHO, J., WACKER, A., NOVOSAD, T. *Radio Network Planning and Optimisation for UMTS*. Chichester: John Wiley and Sons, Ltd., 2006. 629 pages. ISBN 0-470-01575-6.
- [30] NAWROCKI, J. M., DOHLER, M., AGHVAMI, A. H. *Understanding UMTS Radio Network Modelling, Planning and Automated Optimisation..* Chichester: John Wiley and Sons, Ltd., 2006. 510 pages. ISBN 0-470-01567-5.

# ŽIVOTOPIS

**Ing. Zdeněk RŮŽIČKA**

Nádražní 866, 752 01 KOJETÍN

E-mail [ruzicka@gfinstruments.cz](mailto:ruzicka@gfinstruments.cz)

Tel. +420 541 634 387

Narozen 16. září 1980 v Přílepech

Národnost česká

Rodinný stav svobodný

## Vzdělání

- 1999 – 2004 **Vysoké učení technické v Brně / Ústav telekomunikací**  
Magisterské studium oboru Elektronika a sdělovací technika  
Státní zkouška složena v květnu 2004  
Diplomová práce na téma Multimediální komunikační systém s architekturou klient-server
- 2004 – 2007 **Vysoké učení technické v Brně / Ústav radioelektroniky**  
Doktorské studium oboru Elektronika a sdělovací technika  
Státní zkouška složena v květnu 2006

## Praxe

- 7/02 – 8/02 **Radiomobil a.s., Česká republika**  
studijní praxe  
funkce dočasného asistenta v odděleních měření sítě, servis sítě, mikrovlnné plánování, GSM plánování, akvizice

## Jazyky

Anglický, Německý

## Další aktivity

Literatura, Turistika, Volejbal, Badminton

## **ABSTRAKT**

Tato disertační práce je zaměřena na zkoumání vlivu rušení v síti UMTS na chybovost a odstup signálu od šumu nebo od rušení. Jsou zde popsány modely vycházející ze specifikací fyzické vrstvy systému UMTS, které simulují přenos a zpracování signálu. Cílem simulací je analyzovat různé typy rušení a stanovit možnosti snížení tohoto rušení.

## **ABSTRACT**

This dissertation thesis is focused to interference investigation in UMTS network and interference influence to error ratio and signal to noise or interference ratio. There are presented models based on UMTS physical layer specifications that simulate signal transmission and processing. The aim of simulations is to analyze different types of interference and to appoint the possibilities of this interference decrease.