

Univerzita Hradec Králové

Přírodovědecká fakulta

Katedra fyziky

**Mikrovlánná technologie mýtných bran v České republice v komparaci se satelitním mýtným systémem**

**Bakalářská práce**

Autor: Michaela Brůžová

Studijní program: Fyzika

Vedoucí práce: Ing. Karol Radocha, Ph. D.

Odborný konzultant:

Hradec Králové

listopad 2014

Univerzita Hradec Králové

Přírodovědecká fakulta

### **Zadání bakalářské práce**

Autor:	Michaela Brůžová
Studijní program:	Fyzika
Studijní obor:	Fyzikálně-technická měření a výpočetní technika
Název práce:	Mikrovlnná technologie mýtných bran v České republice v komparaci se satelitním mýtným systémem
Název práce v AJ:	Microwave technology toll gates in the Czech Republic in comparison with satellite toll system
Cíl a metody práce:	Bakalářská práce se zabývá mikrovlnnou a satelitní technologií mýtných systémů v České republice. Popisuje fungování a fyzikální podstatu jednotlivých mýtných systémů a jejich vzájemné porovnání. V závěrečné části pak charakterizuje a analyzuje hlavní rozdíly, klady a zápory, kterým se mikrovlnné mýto liší od satelitního mýta.
Garantující pracoviště:	katedra fyziky Přírodovědecké fakulty UHK
Vedoucí práce:	Ing. Karol Radocha, Ph. D.
Konzultant:	
Oponent:	RNDr. Jan Šlégr, Ph.D.
Datum zadání práce:	21. 12. 2014
Datum odevzdání práce:	28. 5. 2015

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracovala samostatně a že jsem v seznamu použité literatury uvedla všechny prameny, z kterých jsem vycházela.

V Hradci Králové 28. května 2015

Michaela Brůžová

## **Poděkování**

Za odbornou pomoc při zpracování předkládané práce chci na tomto místě poděkovat vědoucímu práce panu Ing. Karolu Radochovi, Ph. D.

## **Anotace**

BRŮŽOVÁ, M. *Mikrovlnná technologie mýtných bran v České republice v komparaci se satelitním mýtným systémem*. Hradec Králové, 2014. Bakalářská práce na Přírodovědecké fakultě Univerzity Hradec Králové. Vedoucí bakalářské práce Ing. Karol Radocha, Ph. D.

Tato bakalářská práce se zabývá mikrovlnnou a satelitní technologií mýtných systémů v České republice. Popisuje fungování a fyzikální podstatu jednotlivých mýtných systémů a jejich vzájemné porovnání. V závěrečné části pak charakterizuje a analyzuje hlavní rozdíly, klady a zápory, kterým se mikrovlnné mýto liší od satelitního mýta.

## **Klíčová slova**

Mýto, EFC, DSRC, GSNN, RSE, OBU, mikrovlnná a satelitní technologie

## **Annotation**

BRŮŽOVÁ, M. *Microwave technology toll gates in the Czech Republic in comparison with satellite toll system*. Hradec Králové, 2014. Bachelor Thesis at Faculty of Science University of Hradec Králové. Thesis Supervisor Ing. Karol Radocha, Ph. D.

This Bachelor Thesis with microwave and satellite technology toll systems in the Czech Republic. The work describes the function and physical toll of the particular systems and their comparison. The final section then describes and analyzes the main differences, pros and cons, which differs from the toll microwave satellite toll.

## **Keywords**

Tool, DSRC, GSNN, RSE, OBU, microwave and satellite technology

# Obsah

Úvod.....	8
<b>1 Systém výběru mýtného .....</b>	<b>9</b>
1.1 Systém elektronických plateb EFC (Electronic Fee Collection) .....	9
1.2 Technická komise CEN/TC 278 (Technical Commite of CEN) a pracovní skupina WG 1 (working group) .....	9
1.3 Přehled systémů EFC.....	11
1.4 Technické koncepce systému EFC.....	12
<b>2 Mýtné v České republice .....</b>	<b>13</b>
2.1 Historie výběru mýtného v českých zemích .....	13
2.2 Současný systém výběru poplatků.....	13
2.2.1 Dálniční kupóny.....	14
2.2.2 Elektronické mýtné .....	15
<b>3 Mikrovlnný systém mýtných bran .....</b>	<b>16</b>
3.1 Jednotlivé komponenty systému .....	16
3.2 DSRC (Dedicated Short Range Communication) .....	17
3.2.1 Mikrovlnné záření.....	18
3.3 Prvky systému DSRC.....	19
3.3.1 Palubní jednotka OBU (On Board Unit).....	19
3.3.2 Mýtné stanice RSE (Road Side Equipment) .....	20
<b>4 Satelitní mýtný systém.....</b>	<b>22</b>
4.1 Výběr mýtného pomocí GSM/GPS.....	22
4.2 Systém GPS.....	22
4.3 Prvky satelitního systému.....	24
4.3.1 Zařízení u komunikace – RSE .....	24
4.3.2 Zařízení ve vozidle – OBU .....	25
<b>5 Hybridní mýtný systém.....</b>	<b>26</b>
5.1 Hybridní OBU jednotka .....	26
<b>6 Přenos dat.....</b>	<b>28</b>
6.1 Mikrovlnná technologie .....	29
6.2 Satelitní technologie.....	29

6.3	Komparace přenosu dat v mikrovlnné technologii a satelitní technologii .....	32
7	Elektronické zařízení.....	34
7.1	Mikrovlnná technologie .....	34
7.2	Satelitní technologie.....	35
7.3	Komparace elektronického zařízení v mikrovlnné technologii a satelitní technologii.....	36
8	Sazby, náklady a výnosy z mýtného .....	37
8.1	Sazby, náklady a výnosy z mikrovlnného mýtného v ČR.....	37
8.2	Sazby, náklady a výnosy z mýtného v Německu .....	40
8.3	Komparace sazeb, nákladů a výnosů mýtného v ČR a v Německé republice .....	43
9	Analýza technologií .....	46
9.1	Stávající mikrovlnná technologie .....	46
9.2	Satelitní technologie.....	46
9.3	Hybridní technologie .....	46
	Závěr.....	48
	Seznam literatury .....	50

## Úvod

System pro elektronické vybírání poplatků v České republice se v dnešní době stává jedním z nejdiskutovanějších témat. Na základě projektu Ministerstva dopravy přešla Česká republika od 1. 1. 2007 z tzv. časového zpoplatnění vozidel nad 12 tun na zpoplatnění výkonové, tedy poplatek za ujeté kilometry (výkony). Byl zaveden elektronický výběr mýtného pomocí tzv. mikrovlnné technologie. Tento systém je garantován do konce roku 2016. Jak a kým bude po tomto roce provozován výběr poplatků za užívání komunikací, je otázkou.

Téma mé bakalářské práce je Mikrovlnná technologie mýtných bran v České republice v komparaci se satelitním mýtným systémem a vybrala jsem si ji právě proto, že již nyní vyvstává otázka, zda pokračovat ve stávajícím mýtném systému nebo dát přednost systému jinému. Tuto otázku se pokusím zodpovědět pomocí vzájemného porovnání mikrovlnného a satelitního systému výběru mýtného a to z pohledu funkčnosti a fyzikální podstaty uvedených technologií.

V teoretické části této práce je popsáno fungování jednotlivých systémů, jejich fyzikální podstata a také historický vývoj v dané oblasti.

Praktická část se věnuje komparaci jednotlivých systémů v různých srovnatelných oblastech, jako je např. přenos dat, fungování OBU jednotek, ekonomika provozu a výběru nebo nákladovost systému atd.

V závěrečné části tato práce analyzuje hlavní rozdíly, klady a zápory, kterými se mikrovlnné mýto liší od satelitního mýta a navrhuje řešení, jakým způsobem by bylo možné pokračovat v systému pro elektronické vybírání poplatků v České republice po roce 2016.



# 1 Systém výběru mytného

V této kapitole jsou popsány systémy a technologie elektronických plateb EFC (Electronic Fee Collection). Charakterizovány jsou jednotlivé komunikační subsystémy a komponenty daného systému a jejich princip fungování.

## 1.1 Systém elektronických plateb EFC (Electronic Fee Collection)

Integrovaný platební systém EFC je přijatá platforma, která je standardizovaná na úrovni Evropské unie v technické komisi Evropského výboru pro normalizaci (European Committee of Standardisation) CEN TC278 (Comité Européen de Normalisation). Součástí skupiny standardů zpracovaných v pracovní skupině WG1 (working group) "Electronic Fee Collection" jsou metody pro výměny informací o elektronické platbě, jak mezi jednotlivými dopravními operátory (tzn. provozovatelé placených dopravních služeb), tak i mezi jednotlivými platebními systémy (např. peněžními úřady). [10]

## 1.2 Technická komise CEN/TC 278 (Technical Commite of CEN) a pracovní skupina WG 1 (working group)

CEN/TC 278 je evropskou technickou normalizační komisí pro systémy ITS (Intelligent Transport Systems). Komise byla založena již v roce 1991 a od roku 1994 je její činnost sledována i v České republice. Komise se skládá z těchto pracovních skupin:

- WG 1 : Elektronické vybírání poplatků
- WG 2 : Systémy řízení dopravy nákladů a vozového parku
- WG 3 : Veřejná přeprava osob
- WG 4 : Dopravní a cestovní informace
- WG 5 : Řízení dopravy
- WG 6 : Systémy parkování
- WG 7 : Geografické datové soubory
- WG 8 : Silniční dopravní data
- WG 9 : Vyhrazené spojení krátkého dosahu
- WG 10: Silniční vozidla - rozhraní člověk - stroj

- WG 11: skupina byla zrušena
- WG 12: Automatická identifikace vozidel a nákladů
- WG 13: Architektura systémů
- WG 14: Pokrádežové systémy pro navrácení odcizených vozidel
- WG 15: eCall
- WG 16: Kooperativní systémy

Práce komise CEN/TC 278 se již delší dobu koncentruje především na oblast elektronického výběru mýtného. Jako jedna z mála má tato pracovní skupina vypracované i strukturální rozřídění jednotlivých pracovních položek. Schéma vymezuje normy z hlediska technologie (vodorovná lišta) a z hlediska typu normy (rámcové normy, normy požadavků, normy profilů a technické zprávy).

Rámcové normy jsou takové, které stanovují rámec pro daný předmět. Ve schématu jsou uvedeny jednotlivé rámce: rámec zkoušení (14907-1 ), rámcová EFC architektura (17573), rámcové požadavky na zabezpečení systému EFC (17574) a rámcové požadavky na důvěryhodné záznamové zařízení (doposud nemá zapracovanou formu).

Norma profilu existuje pro každou z technologií a obsahuje požadavky z jiných norem. Smyslem těchto norem je sestavit požadavky do takových forem, aby byly snadno použitelné (například Norma aplikačního profilu pro EFC založené na DSRC (15509) byla schválena v roce 2007).

Technické zprávy jsou informativním dokumentem, který může být později podkladem pro vytvoření normy nebo technické specifikace. Tento typ dokumentu se volí pro jeho rychlý vývoj možnost schválení přímo na jednání technické komise. Již schválená TR 16040 klade požadavky na DSRC ve městech a ostatní TR jsou ještě ve vývoji. [11]

	EFC založené na DSRC		EFC nezávislé na technologii	Autonomní EFC	
	Zkoušky	Požadavky		Požadavky	Zkoušky
Rámcové normy	14907-1 Test Procedures		17573 EFC Architecture 17574 Security Profiles XXXXX Trusted Recorder		
Normy požadavků ("toolboxes")	14907-2 DSRC-OBUs Tests	14906 AID for DSRC-EFC 25110 AID, IC-cards	12855 Info Exchange	17575-1/2/3/4 AID Auto.-EFC	XXXXX 17575-Test
Normy profilu	15876-1/2 IAP Test	15509 IAP for DSRC-EFC		XXXXX IAP for Auto.-EFC 12813 CCC for Auto-EFC 13141 LAC for Auto-EFC	13143-1 (/2) CCC Test 13140-1 (/2) LAC Test
Technické zprávy		TR Urban DSRC req.	TR First Mount OBE TR Pre-Paid Req. TR Value Added Serv.		

**Obrázek 1 - Schéma norem a normativních dokumentů pokrývajících předmět normalizace elektronického mýtného – CEN/TC 278/WG 1 a ISO/TC 204/WG 5 [11]**

### 1.3 Přehled systémů EFC

System EFC je možné mimo jiné rozdělit dle konfigurace výběrových míst nebo případně dle počtu jízdních pruhů. Důležité rozdělení je také podle tří základních technologií:

- DSRC (Dedicated Short Range communication): Technologie přenosu je nazývána podle tzv. Komunikačního spojení na krátkou vzdálenost, které zprostředkuje přenos mezi zařízeními na dopravní infrastruktuře nazývané mýtné brány - RSE (Road Side Equipment) a jednotkou OBU (On Board Unit) ve vozidle. Komunikace se uskutečňuje v pásmu mikrovln nebo infračerveném pásmu.

- GSM-GPS (Global System for mobile Kommunikation/Global Positioning System): Pro tento systém se používá technologie GSM, který určuje pozice a ujetou vzdálenost.
- LSVa systém (Die Leistungsabhängige Schwerverkehrsabgabe) využívají ve Švýcarsku: Tato technologie je založená na velmi inteligentní OBU jednotce, která odečítá vzdálenost podle elektronického tachografu a může využívat korekce vzdálenosti podle GPS. [10]

#### **1.4 Technické koncepce systému EFC**

První technologie zavedená do praxe v 90-tých letech byla založena na rádiové komunikaci mezi jednotkou ve vozidle OBU a zařízením na infrastruktuře, kterým je obvykle portál RSE s přijmačem a vysílačem. Vzhledem k využití mikrovlnného pásma 5,8 GHz byl dosah komunikace omezen na několik desítek metrů. Díky relativně malému dosahu mluvíme o dedikovaném spojení krátkého dosahu DSRC. Modifikací k mikrovlnám je spojení v infračerveném pásmu, které je používáno hlavně mimo Evropu.

Všeobecně se považuje technologie založená na GNSS (Global Navigation Satellite System) ve spojení s komunikačním kanálem GSM za technologii budoucnosti. Souvisí to i se zaváděním systému GALILEO (Evropský globální navigační družicový systém), který měl být podle původních informací uveden do provozu v roce 2010, bohužel se tak nestalo a nejnovější zprávy hovoří o zprovoznění systému až v roce 2018. Zde odpadá RSE zařízení a označení začátků a konců zpoplatněné sítě je virtuální. Úseky jsou zaznamenány v OBU a vozidlo se svou lokalizací k nim přihlásí. Technologie umožňuje měnit rozsah, ale i parametry zpoplatněné sítě. [12]

## 2 Mýtné v České republice

Tato kapitola se zabývá mýtným systémem (tzv. výkonovým zpoplatněním) a časovým zpoplatněním v České republice, tedy výběrem poplatků za užití zpoplatněných komunikací, jeho historií, ale i současností a způsobem výběru těchto poplatků.

### 2.1 Historie výběru mýtného v českých zemích

*„Na našem území, přes které vedlo několik důležitých středověkých obchodních cest, se mýtné vybíralo od konce 13. století. Existoval systém hlavních zpoplatněných silnic z Prahy k hranicím. Chebská, prachatická, domažlická, mostecká nebo kralupská, ale i další. Moravu zase od severu na jih protínala středověká verze dálnice, která stejně jako ta současná procházela Brnem.*

*Vybírání silničních poplatků si nárokoval král, ale většinou práva i povinnosti s vybíráním mýta a udržováním cest přenášel na města nebo šlechtu. Ta měla od panovníka nařízeno cesty za vybrané peníze udržovat; nejen jejich povrch, ale i okolí. Platilo totiž nařízení, že okolí silnice má být pro přehlednost „vymýceno, co by kamenem dohodil“. Z něho vzniklo slovo, které dodnes používáme pro některé silniční poplatky - mýto“. [16]*

### 2.2 Současný systém výběru poplatků

Koncepční architektura systému elektronického vybírání poplatků je standardizovaná, aby bylo umožněno vytvoření rovného prostředí pro všechny výrobce, ale zároveň, aby byla zabezpečena kompatibilita jednotlivých výrobců v rámci států Evropské Unie.

V současné době je zpoplatnění obecného užívání pozemních komunikací na území České republiky řešeno zákonem č. 13/1997 Sb., o pozemních komunikacích, ve znění pozdějších předpisů. Zákon hovoří o tom, že užívání pozemní komunikace, která je určena prováděcím právním předpisem a která je označena dopravní značkou označující zpoplatnění, stanoveným druhem motorového vozidla, podléhá zpoplatnění (dále jen "zpoplatněná pozemní

komunikace"). V České republice je užívání zpoplatněných pozemních komunikací rozděleno na časové a výkonové zpoplatnění. V prvním případě se jedná o užití zpoplatněné komunikace vozidly nejméně se čtyřmi koly, jejichž největší povolená hmotnost činí nejvýše 3,5 tuny. A ve druhém případě jde o silniční motorová vozidla nejméně se čtyřmi koly, jejichž největší povolená hmotnost činí více než 3,5 tuny.



**Obrázek 2 - Dopravní značka, která označuje dálnici, jejíž užití je zpoplatněno mýtným a časovým [11]**

### **2.2.1 Dálniční kupóny**

Dálniční kupóny, jak se dnes známám, či nálepkám oficiálně říká, slouží k předplacení vybraných úseků českých dálnic a rychlostních silnic. Tedy ne úplně všechny dálnice a rychlostní silnice anebo jejich úseky jsou zpoplatněné. Pokud se jedná o úsek, kde je umožněna jízda bez předchozího zakoupení známky, je to vždy označeno příslušnou dopravní značkou.

První dálniční známky u nás byly zavedeny v roce 1995, tedy ve stejném období kdy byly naše dálnice a rychlostní silnice zpoplatněny. [14]

V České republice je možné použít tři druhy známek, a to s platností na deset dní, měsíc nebo rok. Nejefektivnější se jeví známka roční, jejíž platnost je od 1. prosince do 31. ledna následujícího roku (tj. 14 měsíců).



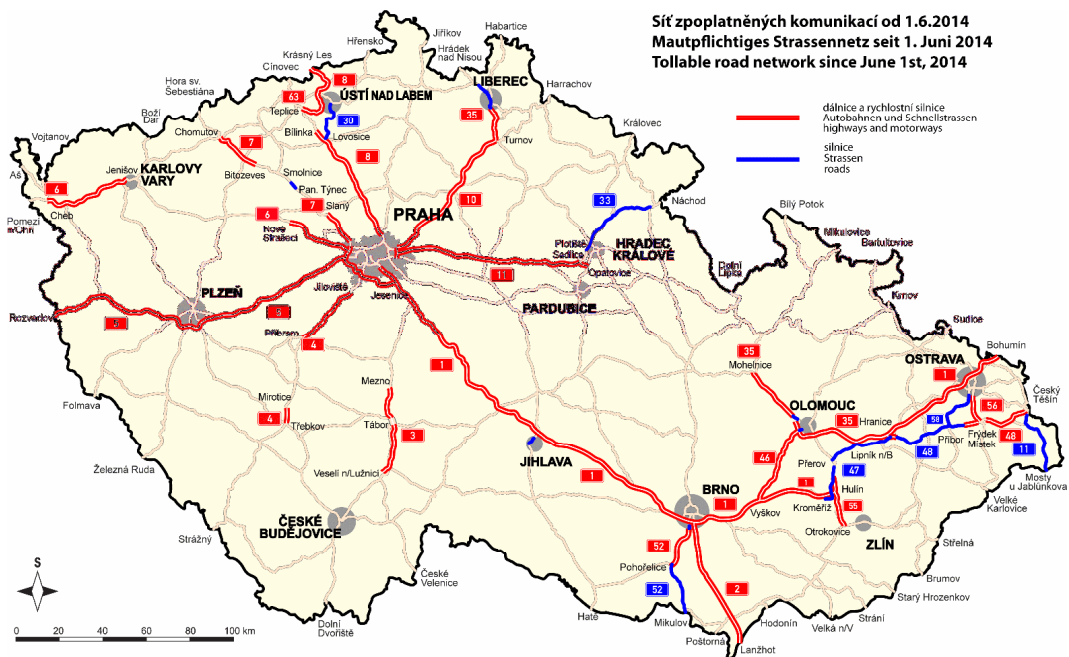
**Obrázek 3 - Dálniční kupón [15]**

### **2.2.2 Elektronické mýtné**

V roce 2007 byly dálniční kupóny pro vozidla nad 12 tun nahrazeny elektronickým výběrem mýtného. [9]

V České republice bylo elektronické mýtné pro vozidla s celkovou hmotností nad 12 tun zavedeno od 1. ledna 2007 novelou Zákona o pozemních komunikacích (13/1997 Sb.) na 950 kilometrech dálnic a silnic pro motorová vozidla, kde bylo vybudováno 178 mýtných bran. Od ledna 2008 se začalo platit na 200 kilometrech silnic I. třídy a od ledna 2010 se povinnost platit elektronické mýtné začala vztahovat na všechna vozidla o celkové hmotnosti nad 3,5 tuny. [7]

K 31. 12. 2013 bylo dle tarifních tabulek zpoplatněno celkem 203,4 km z 5791,4 km silnic I. třídy (dle Přehledů z informačního systému o silniční a dálniční síti v ČR – stav k 1. 1. 2014). Silnice I. třídy tvoří 14,3 % celkové délky zpoplatněné sítě. [8]



Obrázek 4 - Sít' zpoplatněných komunikací v ČR [2]

## 3 Mikrovlnný systém mýtných bran

### 3.1 Jednotlivé komponenty systému

Každé vozidlo zpoplatňované mýtným musí být vybaveno elektronickým zařízením - palubní jednotkou - které není přenosné na jiné vozidlo. Mýtné za každý zpoplatněný úsek je odečteno při průjezdu vozidla pod mýtnou stanicí. Sazba závisí na třídě komunikace, délce mýtného úseku, dni v týdnu, počtu náprav vozidla a emisní třídě vozidla. [4]

Systém elektronického mýtného se skládá z několika subsystémů:

#### Mýtné stanice

Mýtné stanice jsou postaveny na zpoplatněné silniční síti a jsou vybaveny anténami umožňujícími komunikaci mezi mýtnou stanicí a palubní jednotkou. O odúčtování mýtného je řidič informován akustickým signálem palubní jednotky při každém průjezdu pod mýtnou stanicí. Mýtné je odečteno automaticky.



## **Kontrolní stanice**

Kontrolní stanice jsou vybaveny technikou pro kontrolu vybavenosti vozidel palubní jednotkou Premid, jejího správného nastavení a ke kontrole platby mýtného. Pokud je zjištěna nesrovnalost, je informace předána do kontrolního centra systému elektronického mýtného včetně automaticky pořizované fotografie příslušného vozidla. Personál centra provede ověření zasláné informace. Pokud došlo k přestupku, je výsledek zaslán mobilním kontrolám, které vozidlo zastaví a zjednajjí nápravu. Vozidlo může být odstaveno.

## **Přenosná kontrolní zařízení**

Kromě pevně instalovaných přístrojů existují i přenosná zařízení, která nejsou vázána na určité místo a lze je tak pružně použít ke kontrole různých úseků trasy.

## **Mobilní kontrola**

Mobilní kontroly na české síti zpoplatněných komunikací doplňují činnost stacionárních a přenosných kontrolních zařízení. Provádí je Celní správa ČR, která je okamžitě informována o všech deliktech přímo z centrály systému elektronického mýtného. [5]

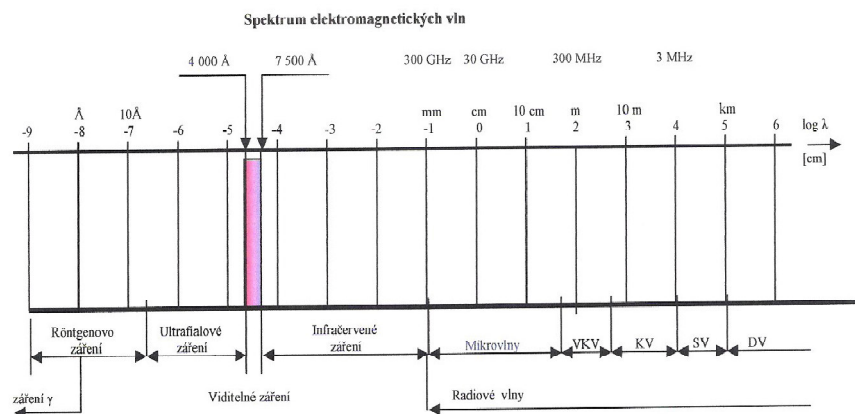
## **3.2 DSRC (Dedicated Short Range Communication)**

Mikrovlnné mýtné systémy využívají k lokalizaci vozidla technologii Komunikace na krátké vzdálenosti DSRC (Dedicated Short Range Communication) pracující v mikrovlnném pásmu rádiových kmitočtů. Ta umožňuje vysoce spolehlivou, energeticky úspornou a zabezpečenou datovou komunikaci mezi různými zařízeními na krátkou vzdálenost. S pomocí této technologie vozidlová jednotka OBU (On Board Unit) provede rychlou výměnu informací s komunikačním zařízením mýtné stanice (mýtné brány, bodu), ke které se právě bezprostředně přiblížila. Kromě vyčtení dat z OBU jednotky tím dojde k jednoznačné lokalizaci vozidla vzhledem k poloze fyzické konstrukce mýtné stanice. Takto provedená lokalizace je v porovnání s jinými způsoby kamerových systémů a rozpoznávání registračních značek vozidel, vysoce spolehlivá. Mýtná

stanice je pomocí sítě elektronických komunikací, připojena, do centrálního systému, data z OBU jednotky se přenesou do centrálního systému, který s jejich pomocí počítá mýtnou povinnost vozidla. [1]

### 3.2.1 Mikrovlnné záření

Mikrovlny byly objeveny na počátku 40. let 20. století na univerzitě v anglickém Birminghamu. Poprvé, kde byly mikrovlny použity, byl radar za II. světové války. Mikrovlny jsou elektromagnetickým vlněním, které zaujímá v elektromagnetickém spektru oblast na samém konci radiových vln. To znamená, že jsou ohraničeny z jedné strany pásmem VKV (Velmi krátké vlny) a z druhé strany infračerveným zářením. Jedná se o frekvenci od 300 MHz do 300 GHz, která odpovídá vlnovým délkám  $\lambda$  od 1 m do 1mm – obr. 5. Mikrovlnné pásmo, protože leží mezi kmitočty klasické radiotechniky a optickými kmitočty, má ve spektru elektromagnetických vln zcela zvláštní postavení. Vzhledem ke své poloze se u nich projevují jak vlastnosti klasických radiových vln, tak některé vlastnosti optické. Z teorie elektrických obvodů jsou to např. odpor, vodivost, impedance, z fyziky pak koeficient odrazu, přenosu, index lomu apod. Nejrozšířenější využití mikrovln je při přenosu zpráv, obrazu a dalších informací v telekomunikacích (např. mobilní telefony), v navigaci (radary) apod. [3]



Obrázek 5 - Spektrum elektromagnetických vln [3]

### 3.3 Prvky systému DSRC

Fyzická architektura EFC systému na bázi DSRC je navržena jako třívrstvá, kde první vrstvu tvoří jednotky ve vozidle (OBU) a zařízení umístěné na dopravní infrastruktuře (RSE). Druhá vrstva (tzv. komunikační vrstva) je tvořena centrem, které je provedeno ve formě pevného propojení veřejnou sítí. Brány s RSE vybavením jsou obsahují počítačovou a komunikační jednotkou právě pro spojení s centrem. Do této vrstvy patří i komunikace řídicího centra s vydavatelem (finanční institucí) nebo provozovatelem EFC. Třetí vrstvu tvoří řídicí centrum EFC, které zpracovává přijaté platby od každého platebního místa po 24 hodin denně, vede detailní evidence o vykonaných transakcích a zároveň provádí (zajišťuje) prostřednictvím oprávněných servisů inicializaci OBU jednotek a jejich servis. Centrální systém distribuuje provozní data, parametry, a také tarify k zařízení na infrastruktuře. [12]



Obrázek 6 - Schéma funkce kontrolní mýtné brány [17]

#### 3.3.1 Palubní jednotka OBU (On Board Unit)

OBU jednotka je elektronické komunikační zařízení ve vozidle určené pro aplikace, které vyžadují komunikaci na krátké vzdálenosti (DSRC), pracující na kmitočtu 5,8 GHz. Jedná se o nedílnou složku Elektronického mýtného systému (ETC). Funkčnost transpondéru umožňuje interoperabilitu podle harmonizované specifikace. Uživatelské paměti mohou být strukturovány do několika prvků. Elektronické zařízení je vybaveno tlačítky, která umožňují uživateli změnit počet náprav v jednotce nebo jiné parametry zejména ve vztahu k systému EFC, jakož i kontrolovat stav OBU. Tyto parametry OBU jsou zobrazeny pomocí LED diod, a kromě toho je řidič při průjezdu mýtnou stanicí (RSE) upozorněn akustickým

signálem. Takto je uživatel (řidič) informován zda transakce byla úspěšně provedena nebo zda došlo k selhání. OBU je připevněna ve vozidle na čelní sklo a její instalace je provedena během několika minut [18].



**Obrázek 7- OBU jednotka [19]**

### **3.3.2 Mýtné stanice RSE (Road Side Equipment)**

Mýtné stanice jsou zařízení, která jsou zpravidla provedena jako brány nad vozovkou a pevně spjata se zemí. Tato zařízení jsou vybavena anténami umožňujícími komunikaci mezi mýtnou stanicí a palubní jednotkou. Komunikace proběhne i v případě nestandardních podmínek, např. vyšší rychlosti vozidla, průjezdu více vozidel apod. O odúčtování mýtného je řidič informován akustickým signálem palubní jednotky při každém průjezdu pod mýtnou stanicí. Mýtné je odečteno automaticky.

Oproti tomu kontrolní stanice jsou vybaveny technikou (kamerami) pro kontrolu vybavenosti vozidel palubní jednotkou, jejího správného nastavení a také ke kontrole platby mýtného. Pokud je zaznamenána nesrovnalost (ne komunikace OBU s RSE, nesprávný počet náprav, vozidlo nemá kredit v OBU jednotce apod.), je informace předána do kontrolního centra systému elektronického mýtného včetně automaticky pořizované fotografie příslušného vozidla. Personál centra provede ověření zasláné informace. Pokud došlo k přestupku, je výsledek zaslán mobilním kontrolám, které vozidlo zastaví a zjednájí nápravu. Kromě pevně instalovaných přístrojů existují i přenosná

zařízení, která nejsou vázána na určité místo a lze je tak pružně použít ke kontrole různých úseků trasy (tzv. přenosná zařízení).

Tyto zařízení RSE mají požadavky na komunikační připojení relativně nízké, postačuje dvojitá ISDN linka (Integrated Services Digital Network – Digitální síť integrovaných služeb). Datová propojení a přenos video obrazu dohledového systému do řídicího centra jsou klíčovými skupinami přenosu dat, které musí zajistit dostatečně bezpečná a z hlediska přenosových rychlostí i dostatečně kapacitní komunikační infrastruktura [12].



**Obrázek 8- Standardní mýtná stanice [17]**



**Obrázek 9 - Kontrolní mýtná stanice [17]**



**Obrázek 10 - Čidlo pro komunikace s OBU jednotkou [17]**

## 4 Satelitní mýtný systém

Tento způsob elektronické platby mýtného je založen na principu určování polohy vozidla pomocí družicového systému. V současné době se jedná o využití systému GPS a později se předpokládá přechod na evropský družicový systém, který je vyvíjen pod názvem Galileo. Systém na bázi GNSS/CN (Global Navigation Satellite System/Cellular Network) je novou technologií mezi aplikacemi EFC. [12] Mýtné systémy v Německu a na Slovensku využívají americký GPS, obecně však může být využit i jiný navigační systém – např. ruský Glonass, časem i budovaný evropský systém Galileo. [1]

### 4.1 Výběr mýtného pomocí GSM/GPS

Jak již bylo řečeno, například v sousedním Německu se velmi osvědčil systém přesné určení polohy pomocí systému GPS a přenosu dat přes mobilní síť GSM. Zpoplatněné komunikace jsou pokryty virtuální sítí platebních míst a motoristé musí mít, stejně jako u mikrovláknové technologie, ve voze zařízení OBU. Centrála podle OBU zjistí, kudy vozidlo projelo a podle toho určí i výši platby. Nevýhodou této varianty mohou být problémy s konektivitou během špatného počasí (silný déšť, husté sněžení) nebo přetížení komunikační sítě při velkém přenosu dat v dopravní špičce.

Pro řidiče, kteří jedou přes Německo pouze výjimečně, a koupení drahého zařízení OBU by bylo finančně neúnosné, je možné zajet k jednomu z řady platebních terminálů a koupit si průjezdní kartu s magnetickým proužkem, udávanou trasou a odhadovaným výpočtem času, jak dlouho bude průjezd trvat. [20]

### 4.2 Systém GPS

Při určování polohy zpracováním signálů družic se používají tyto metody:

- 1) metoda úhломěrná
- 2) metoda dopplerovská
- 3) metoda dálkoměrná

- 4) metoda založená na měření fáze nosné
- 5) metoda interferometrická

Systém GPS je pasivní dálkoměrný systém, lze ho použít i pro dopplerovskou navigaci. Dálkoměrné systémy určují polohu uživatele z jeho vzdáleností  $d_i$  od jednotlivých navigačních družic. Měření vzdáleností je převedeno na měření dob  $\tau_{di}$ , které jsou potřebné k tomu, aby signály vyslané z družic dosáhly uživatelova přijímače. Jestliže známe souřadnice družic  $(x_i, y_i, z_i)$ , můžeme polohu uživatele  $(x, y, z)$  určit jako řešení soustavy tří rovnic pro tři neznámé

$$\sqrt{(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2 + (z_i - z)^2} = \tau_{di}c, \quad i = 1, 2, 3$$

Tento systém GPS tvoří tři podsystémy: kosmický, řídicí a uživatelský.

Kosmický segment byl projektován na 24 družic, ale nyní je využíván až na mezní počet 32 družic. Družice obíhají ve výšce 20 350 km nad povrchem Země na 6 kruhových drahách s inklinací  $55^\circ$ . Dráhy jsou vzájemně posunuty o  $60^\circ$  a na každé dráze jsou původně 4 pravidelně, nyní 5 - 6 nepravidelně, rozmístěné pozice pro družice. Družice váží asi 1,8 tuny a na střední oběžné dráze (MEO - Medium Earth Orbit) se pohybuje rychlostí 3,8 km/s, s dobou oběhu kolem Země 11 hodin 58 minut. Pro vysvětlení to znamená, že každý den můžeme vidět družici na stejné dráze, ale o 4 minuty dříve.

Řídicí segment se skládá z hlavní řídicí stanice, je umístěna na letecké základně Falcon v Colorado Springs ve Spojených Státech Amerických, z pěti monitorovacích stanic, které jsou rozmístěny rovnoměrně po obvodu Země, v blízkosti rovníku (Havajské ostrovy, Marshallových ostrovy, ostrov Ascension ve středním Atlantiku, ostrov Diego Garcia, Colorado Springs v USA) a stanice pro komunikaci s družicemi, které jsou čtyři a jsou umístěny na ostrovech Ascension, Diego Garcia, na Kwajalein a na Havaji. Hlavním úkolem těchto stanic je při každém průletu družice zaznamenat dráhu letu a následně provést výpočet korekcí, jak dráhy letu družice, tak vyslaného signálu. Dále tento segment sleduje a synchronizuje atomové hodiny na palubě družice. Následně jsou všechny informace odesílány k satelitu a poté do přijímače GPS, kde jsou všechna data aktualizována. Řídicí

segment má ještě další funkce: spravuje a udržuje družice a podílí se na vypouštění nových družic.

Uživatelský segment je složen z GPS přijímačů jednotlivých uživatelů. Tvoří ho pouze pasivní přijímače a umožňuje přijímat signály z družic a získávat z nich informace o své poloze a čase. Přijímače nemusí komunikovat s družicemi, a tohoto důvodu je systém GPS schopný obsloužit neomezený počet uživatelů. [28] [32] [33]



**Obrázek 11 - Družice GPS na oběžné dráze plánovaného bloku IIF [28]**

### **4.3 Prvky satelitního systému**

Architektura EFC systému na bázi satelitní technologie se příliš neliší od architektury DSRC. Jednotlivé prvky architektury jsou popsány v následujících kapitolách.

#### **4.3.1 Zařízení u komunikace – RSE**

Zatímco systém DSRC pracuje s reálnou infrastrukturou vytvořenou fyzickými mýtnými místy podél komunikace, systém na bázi GNSS/CN pracuje s místy virtuálními. Jejich pozice je uložena v digitální databázi, která je umístěna ve vozidle v OBU. Tato virtuální místa lze flexibilně aktualizovat bez nutnosti výraznějších zásahů do systému, jedná se pouze o aktualizování databáze uložené v OBU jednotce vozidla. Pokud vozidlo projíždí úsekem zpoplatněné komunikace,



pomocí OBU jsou získávána potřebná data pro výpočet platby. Tyto hodnoty jsou předávány prostřednictvím sítě GSM. [12]

#### **4.3.2 Zařízení ve vozidle – OBU**

Vozidlová jednotka OBU obdobně jako běžný navigační přijímač přijímá signál GNSS, určuje svou polohu a tu průběžně během jízdy předává centrálnímu systému elektronického mýta prostřednictvím mobilní sítě GSM. Centrální systém má v digitálních mapových podkladech zaneseny polohy tzv. virtuálních mýtných stanic (bran, mýtnic), s pomocí dat vozidlové jednotky registruje její průjezd virtuální mýtnicí a následně počítá mýtnou povinnost. Mapové podklady mohou být umístěny také přímo v každé vozidlové jednotce a průjezd mýtnicí může vyhodnocovat přímo vozidlová jednotka, což oproti výpočtu v centrálním systému snižuje komunikační nároky (náklady) mezi jednotkami a centrálním systémem a zvyšuje nároky (náklady) na HW (hardware) a SW (software) vybavení vozidlové jednotky. [1]

Popis zpoplatněné sítě vychází z rozdělení na sektory a jejich další dělení na segmenty, které mají svou nezaměnitelnou identitu. Při určení pozice se systém rozpadá na objekty nižší úrovně, např. zóna (místo, kde se platí), jejímiž atributy je například směr jízdy vozidla. [12]

## 5 Hybridní mýtný systém

V letech 2007-2010 došlo k vývoji a ke zkušebnímu provozu systému, který prokázal, zdali je možné zkombinovat satelitní a mikrovlnou technologii a tak rozšířit počet zpoplatněných komunikací. [22] Centrální systém je schopen přijímat data o pohybu vozidel po komunikacích, a to jak z mýtných bran (komunikujících s jednotkami ve vozidlech pomocí mikrovlnné technologie DSRC), tak ze satelitních jednotek, které určují polohu vozidla pomocí satelitní navigace. Pomocí mobilní sítě pak odesílají informace o poloze do centrálního systému. [1]

Tento systém byl připraven na integraci do Evropského mýtného systému. Celý systém byl vytvořen pro snadnou integraci do stávajícího mýtného systému, došlo by k napojení na stávající struktury a z pohledu uživatele by bylo pouze nutné vyměnit OBU. Stávající mikrovlnné mýtné na dálnicích by ale i v případě zavedení hybridního systému zůstalo hlavním zdrojem příjmů, jelikož je na dálnicích mnohem větší provoz a navíc satelitní technologie má nižší efektivitu výběru z důvodu kontrolní činnosti, zatímco u mikrovlnného je 99,6 %. [22]

### 5.1 Hybridní OBU jednotka

Tato jednotka využívá nejnovější GPS a GSM technologie, které jsou spojeny do jednoho kompaktního celku, který obsahuje DSRC rozhraní, a to v souladu se všemi normami. To umožňuje interoperabilitu se stávajícími technologiemi DSRC. DSRC rozhraní může být také použito pro komunikaci s vozidlem z mobilního telefonu nebo pro komunikaci s kontrolními zařízeními. Aplikace jsou založené na konceptu, kde jsou polohy GPS shromážděny a přeneseny do hostitelského systému přes GPRS - komunikační linku a transakce se provádí v centrálním systému. Tato koncepce umožňuje velkou flexibilitu v případě potřeby změny výše poplatků nebo změny délky komunikací, protože není třeba stahovat velké množství mapových dat nebo algoritmů do palubní jednotky.

Technologie GNSS poskytuje vysokou přesnost a dostupnost i v těch nejnáročnějších podmínkách jako jsou například složité terény. OBU jednotka je navržena tak, aby splňovala vysoké bezpečnostní požadavky, které jsou důležité pro vysoko objemové interoperabilní platby. To zahrnuje funkce, jako šifrování dat, autentizace, kryptografického řízení přístupu. Instalace a aktivace OBU je provedena uživatelem za několik minut. Jednotka může být nalepena na čelní sklo, připojena konektorem do zapalovače nebo připojena k elektrické soustavě vozidla. [6]



**Obrázek 12 - Hybridní OBU jednotka [6]**

## Praktická část

Tato část bakalářské práce bude zaměřena na komparaci technologií mýtných systému, a to mikrovlnné a satelitní technologie. K tomuto účelu jsem si pro srovnání vybrala již zmíněnou Českou republiku, jako zástupce technologie mikrovlnného systému výběru mýtného a Německou republiku, která používá k výběru mýtného satelitní technologii. Pro srovnání budou použity některé z oblastí, které jsou pro obě technologie srovnatelné. Z tohoto srovnání bude vyvozen závěr práce a případné nastínění jakou technologií by mohla Česká republika využít po roce 2016 k výběru poplatku za užívání komunikací.

## 6 Přenos dat

*„Základním úkolem každého telekomunikačního systému je přenést informace z jednoho bodu do jiného bodu nebo současně do více bodů. V moderních telekomunikačních systémech se jedná téměř vždy o přenosy digitálních dat, jejichž základní jednotkou je 1 bit. Přenos 1 bitu na určitou vzdálenost je vždy realizován pomocí přenosu určitého výkonu, byť ve většině případů výkonu velmi malého. Takový přenos výkonu je možné popsat pomocí střední hodnoty Poyntingova vektoru*

$$\vec{S}_{stř} : \vec{S}_{stř} = \frac{1}{2} \cdot \text{Re}(\vec{E} \times \vec{H}^*).$$

*Výkony související s přenosem dat se v oboru elektrotechniky přenášejí výhradně pomocí elektromagnetické vlny, která se šíří za různých okrajových podmínek přenosovým médiem. Vlna je charakterizována navzájem kolmými vektory elektrického pole  $\vec{E}$  a magnetického pole  $\vec{H}$ , směr přenosu výkonu je kolmý na rovinu těchto vektorů. Podle toho jakým prostředím a jakým způsobem se elektromagnetické vlny v daném přenosovém médiu šíří rozdělujeme telekomunikační systémy.*

*V případě, že se elektromagnetická vlna šíří volným prostředím (bezdrátové radiové systémy), na straně vysílače je elektromagnetická vlna vyzářena do volného prostředí a šíří se jím rychlostí světla k přijímači. Na straně přijímače je malá část vyzářeného výkonu zachycena přijímací anténou a ve formě vedené vlny je*

*přivedena do přijímače k dalšímu zpracování. Pro přenos dat stačí v minimální konfiguraci nasměrovat proti sobě dvě antény a zapojit příslušná zařízení, což lze za určitých okolností realizovat velmi levně a v čase řádově jednotky hodin. Při vhodném návrhu anténních systémů se přijímač nebo vysílač (nebo oba) mohou pohybovat (mobilní komunikace). Radiově lze realizovat spojení i v těch případech, kdy se vedení vln nedají vůbec použít (např. v oboru družicových komunikací).“*  
[24]

## **6.1 Mikrovlnná technologie**

Jako "mikrovlnné" se obvykle označují rádiové přenosy na frekvencích nad 100 MHz. Při těchto frekvencích již je možné soustředit energii rádiových vln do poměrně úzkého svazku a ten cíleně nasměrovat (pomocí vhodné parabolické antény) na konkrétní cíl. Ten ale musí být v dosahu přímé viditelnosti, protože takovýto svazek jen velmi těžko či vůbec nedokáže obcházet ani procházet terénní ani jiné překážky. Jelikož se takovýto svazek šíří po ideální přímce, vadí mu i zaoblení zemského povrchu. [23] V případě mikrovlnné technologie je tento problém vyřešen tím, že mytné brány mají nastavené čidlo na snímání dat v OBU jednotce tak, aby byl pokryt celý prostor komunikace. Přenosová rychlost je okolo 500 kbit/s. [34]

## **6.2 Satelitní technologie**

V satelitní technologii výběru mytného za užití zpoplatněných komunikací je využito určení polohy pomocí GPS a přenosu dat prostřednictvím systému GSM (Global System for Mobile).

### **Přenos dat v systému GSM**

Obecně se dá říct, že mobilní digitální sítě byly vyvinuty pro potřebu přenosu hlasu, který je přenášen v digitálním tvaru. Díky tomu je pro ně relativně snadné přenášet místo hlasu i obecná data. Přesto však existují určitá omezení, týkající se hlavně dosažitelné přenosové rychlosti. Z principu fungování sítě GSM je pro každý časový interval k dispozici 22,8 kbit/s, přestože samotný rádiový kanál nabízí 33,8 kbit/s. Zbylých 11 kbit/s je však použito jako režijní přenosová

kapacita, zajišťující funkci sítě GSM. Těchto 22,8 kbit/s však nelze využít výhradně k přenosu samotných uživatelských dat, protože i zde je potřeba přidat určitý počet režijních bitů.



**Obrázek 12 - Režijní bity – při rychlosti 9,6 kbit/s – 13,2 kbit/s [27]**

Vzhledem k tomu, že datové přenosy nepotřebují tak vysoké zabezpečení, zvýšila se rychlost přenášených dat na hodnotu 14,4 kbit/s, s tím, že byl vyžadován kvalitnější signál. V okrajových částech buňky a stejně tak v místech se slabým signálem se pak efektivní využitelnost těchto datových přenosů zmenšuje.



**Obrázek 13 -Režijní bity – při rychlosti 14,4 kbit/s – 8,4 kbit/s [27]**

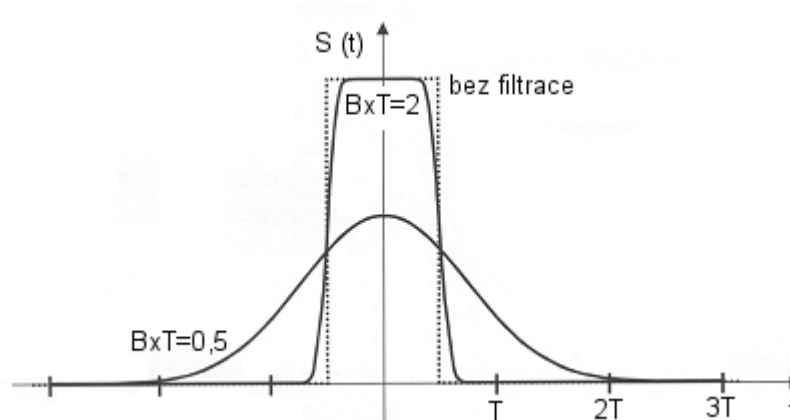
Přenos dat sítí GSM má schopnost vyrovnat se s chybami při přenosu. Při klasickém přenosu hlasu je použito kódování, které z původních 13 kbit/s vytvoří 22,8 kbit/s a přijímající strana je pak schopna provést opravu některých přijatých dat. Podobně je tomu u přenosu obecných dat. Použité mechanismy se sice od přenosu hlasu liší, ale zajišťují také dostatečné zabezpečení proti chybám. Tyto mechanismy, stejně jako u přenosu hlasu, přidávají k přenášeným datům určité doplňující informace, které umožňují opravu přijímaných dat bez nutnosti

přenášet tuto poškozenou část znovu. Toto řešení sice nezpůsobuje nepravidelnosti toku dat a zároveň nezpomaluje tok dat, na druhou stranu je náročný na přenosovou kapacitu. Čím více chyb má protokol odstranit, tím více ochranných bitů je třeba k datům přidávat.

Pro další zvýšení spolehlivosti datových přenosů se používá řešení, využívající zpětnou vazbu mezi odesílatelem a příjemcem. Pokud příjemce přijme data poškozená, pošle odesílateli zprávu a ten na tuto žádost data opětovně pošle. Tento proces samozřejmě vyžaduje, aby byly obě strany domluveny na tomto postupu a je tedy nutno definovat protokol. Tento protokol se nazývá RLP (Radio Link Protocol) a je odvozený od linkového protokolu HDLC (High-Level Data Link Control – Vysokoúrovňové řízení datového spoje). Bitový tok je zde rozdělen na rámce po 200 bitech a k nim jsou přidány bity pro detekci chyb a číslování rámců. Na přijímací straně je testováno správné přijetí každého rámce a v případě chybného přenosu je požadováno opětovné poslání. Protokol RLP je implementován v koncových bodech sítě GSM - jednak v samotném mobilním terminálu a na straně druhé v ústředně, resp. na ní navazující jednotku spolupráce s externími sítěmi, která zajišťuje propojení s ostatními sítěmi. [26]

System GSM pracuje na kmitočtech 880-915/925-960 MHz. System používá kmitočtový duplex (FDD) s odstupem kanálů 45 MHz. Celkové pracovní pásmo je  $2 \times 35$  MHz a obsahuje celkem 175 rádiových duplexních kanálů o šířce pásma 200 kHz (FDMA – Frequency Division Multiple Access – Násobný přístup s kmitočtovým dělením). Kanály jsou očíslovány 0 - 24 (174). Kanál č. 0 je oddělovací a nepoužívá se pro přenos, využitelných je tedy 174 duplexních kanálů. Na každém radiovém kanálu je metodou TDMA (Time Division Multiple Access – Násobný přístup s časovým dělením), což je přístupová metoda v digitálních systémech, vytvořeno 8 slotů, přičemž každý slot představuje 1 uživatelský kanál. Celkem je tedy k dispozici  $174 \times 8 = 1392$  duplexních kanálů. System používá modulaci GMSK (Gaussian Minimum Shift Keying). Provádí se předfiltrace datového signálu pomocí gaussovské dolní propusti, odtud pochází název této modulace. Protože časový průběh filtrovaného signálu neobsahuje skokové změny, nemění se skokově ani vysílaný kmitočet. U této modulace je důležitý modulační index ( $B \times T$ ), což je součin šířky pásma gaussovské propusti a doby trvání bitu

( $B \times T = 0,3$ ; spektrální účinnost  $h = 1,35$  bit/Hz/s ), celková bitová rychlost je 270,833 kbit/s (obr. 14). Teoretický dosah systému GSM omezený strukturou TDMA je 35 km. [27]



**Obrázek 14 - Modulační metoda GMSK s filtrací modulačního signálu gaussovskou dolní propustí s relativní šířkou pásma  $B \times T = 0,3$  [26]**

### 6.3 Komparace přenosu dat v mikrovlnné technologii a satelitní technologii

Metoda přenosu dat technologií DSRC pracující v mikrovlnném pásmu radiových kmitočtů, umožňuje realizaci přenosu na krátkou vzdálenost mezi vozidlem a infrastrukturou na komunikaci. Dosah je v řádech jednotek nebo desítek metrů a frekvence, na které toto zařízení pracuje, je pro Evropu standardizováno na 5,8 GHz (vlnová délka 51,7 mm  $\rightarrow \lambda = c/f$ ). Vozidlo vybavené palubní jednotkou provede rychlou výměnu informací s komunikačním zařízením RSE. Mimo to dojde k přesné lokalizaci vozidla, která je provedena díky poloze fyzické konstrukce mýtné brány. Tento přenos je vysokorychlostní a je závislý na přímé viditelnosti mezi vysílačem a přijímačem. Pomocí sítě elektronických komunikací, které propojují mýtné brány s centrálním systémem, jsou data z OBU jednotky přenesena do tohoto systému a následně je vypočtena mýtná povinnost. Rychlost přenosu dat se uvádí okolo 500 kbit/s a je uskutečňován pomocí vlastní přenosové kabelové sítě, což je výrazně levnější. Přenos dat pomocí mikrovlnné technologie je vysoce účinný, přesto existují materiály, kterými mikrovlny



procházejí obtížně nebo vůbec. Mikrovlny se odrážejí od kovů zpět do prostředí (např. metalurgická přední skla vozidel, OBU jednotka vložena do pokoveného obalu apod.). Dalším materiálem je voda, která má absorpční vlastnosti. Při interakci s mikrovlnou, to znamená, že při silném dešti nemusí proběhnout komunikace mezi OBU a RSE. Je to zapříčiněno tím, že molekuly vody se v elektrickém poli orientují podle polarity a ve vysokofrekvenčním elektromagnetickém poli se polarita mění více než  $10^9$  krát za sekundu. Následně jsou vyvolány oscilační vibrace a dochází ke srážkám molekul a dojde k přeměně mikrovlnné energie na teplo.

Oproti tomu satelitní technologie pracuje na principu určování polohy pomocí systému GPS a následném přenosu dat pomocí sítě GSM. Jednotka OBU jako přijímač přijímá signál z GNSS a určuje svou polohu. Prostřednictvím mobilní sítě GSM je tato poloha průběžně předávána centrálnímu systému. Polohy virtuálních mýtných stanic jsou uvedeny v digitálních mapových podkladech centrálního systému a pomocí OBU jsou zaznamenány průjezdy těmito virtuálními stanicemi. Následně je vypočítána mýtná povinnost. Tato technologie umožňuje, aby mapové podklady byly uloženy přímo v OBU a následně po průjezdu virtuální stanicí zde byly i vyhodnoceny. Tímto jsou sníženy náklady oproti výpočtu v centrálním systému, ale zároveň se zvyšuje nárok na HW a SW vybavení OBU. Přenosová rychlost GSM se pohybuje okolo 270 kbit/s.

## 7 Elektronické zařízení

Elektronické zařízení (OBU), která jsou potřebná ve všech již zmíněných technologiích, se liší technickou a finanční náročností.

### 7.1 Mikrovlnná technologie

V mikrovlnné technologii mýtných bran v České republice je použito elektronického zařízení (OBU) nazvaného Premid jednotka, které komunikuje s mýtným systémem prostřednictvím technologie DSRC. Zařízení je vyráběno firmou Princip. Palubní jednotka je poskytnuta řidiči proti vratné záloze 1550,- Kč, majitelem jednotky je Ředitelství silnic a dálnic České republiky.

Jednotka Premid obsahuje informace o daném vozidle a průjezd pod mýtnou branou je následně zaznamenán na centrále. Tam je spočítána ujetá vzdálenost vozidla a podle daného tarifu zpoplatněna. O průjezdu pod mýtnou branou je řidič informován zvukovým signálem. Kromě standardních mýtných bran jsou na komunikacích umístěna i kontrolní stanoviště, která identifikují vozidla pomocí kamerového systému a kontrolují přítomnost a správné nastavení modulu Premid. V případě nesrovnalostí je zaznamenaná informace zaslána do kontrolního centra, kde je ověřena. V případě přestupku je následně informována Celní správa ČR, která realizuje mobilní kontrolu. Způsob získání Premid modulu závisí na zvolené formě plateb mýtného. Platba může probíhat buď formou pre-pay (platba je předplacena nabitím kreditu do Premid jednotky), nebo post-pay (platba je prováděna na základě zasláné faktury). Při pre-pay způsobu platby lze Premid jednotku získat na jednom z distribučních míst, obvykle velkých čerpacích stanicích nebo hraničních přechodech. Při post-pay platbě je nutné uzavřít smlouvu na jednom z kontaktních míst nacházejících se v krajských městech.

V obou případech je nutné složit vratnou kauci 1550,-Kč za zařízení a doložit emisní úroveň vozidla. Pro sjednání smlouvy post-pay je pak navíc nutná ještě bankovní záruka nebo jedna z akceptovaných čerpacích karet a výpis z obchodního rejstříku. Pro většinu tuzemských dopravců je výhodnější uzavření smlouvy na post-pay úhradu mýtného, jelikož lze platby odkládat a odpadají komplikace s vrácením nevyužitých předplacených kilometrů. [29]

## 7.2 Satelitní technologie

V satelitní technologii výběru mýtného je používána OBU jednotka obdobně jako v mikrovlnné. V Německu se mýto platí jen za používání zpoplatněných silnic. Uživatelům je k dispozici několik možností zaúčtování:

- automatické zaúčtování palubním přístrojem OBU
- manuální zaúčtování na internetu
- manuální zaúčtování na poplatkovém terminálu

Nejdůležitější je automatické zaúčtování:

Tento způsob zaúčtování je založený na rozpoznávání zpoplatněných silničních úseků, kterými vozidlo projíždí, a to pomocí GPS a přídavných navigačních senzorů. Do OBU jednotky uživatel zadá potřebné údaje (například počet náprav, emisní třídu vozidla) a ta stanoví polohu vozidla a přiřadí ji jednomu ze silničních úseků na téměř 30.000 kilometrech zpoplatněné silniční sítě (oba směry). Poté přístroj vypočítá poplatek a údaje odešle přes mobilní síť do centrály společnosti Toll Collect. Po registraci si může každý uživatel nechat instalovat palubní přístroj do svého vozidla. Informace o mýtném se v kódované formě přenášejí prostřednictvím mobilní sítě do počítačového centra, kde je provedeno vyúčtování. OBU je poskytována uživatelům bezplatně a zůstává i po instalaci do vozidla majetkem společnosti Toll Collect. Náklady spojené s instalací přístroje si každý uživatelé hradí sám. Montáž zařízení do vozidla je časově náročnější, okolo čtyřech hodiny.

V současnosti si mohou zaregistrovaní uživatelé vybrat ze dvou různých modelů OBU:

Nástavbový palubní přístroj se připevňuje na palubní desku a obsahuje modul DSRC, který slouží k přenosu údajů z OBU na kontrolní mosty, do kontrolních vozidel BAG a na podpůrné majáky. Tento přenos dat probíhá prostřednictvím techniky infračervených vln nebo prostřednictvím mikrovlnné techniky, aby byla zaručena vzájemná funkčnost (interoperabilita) s jinými mýtnými systémy.

Druhým typem je OBU jednotka, která se instaluje podobně jako autorádio. Při instalaci se navíc na čelní sklo připevní modul DSRC. U obou přístrojů se na střechu nákladního vozidla nainstaluje kombinovaná anténa. Prostřednictvím této

antény přístroj přijímá signál GPS a přes mobilní síť GSM přenáší údaje do výpočetního centra. Při personalizaci palubního přístroje se do něj nahrají specifické údaje o daném kamionu (emisní třída, počet náprav, státní poznávací značka a země registrace vozidla). Takto je jednoznačně identifikován přístroj s vozidlem. Při automatickém systému výběru mýta je palubní přístroj prostřednictvím signálu GPS neustále zásobován údaji o poloze. OBU tak rozeznává, kde se nákladní vozidlo právě nachází a tuto polohu kontinuálně porovnává s údaji uloženými na mapě v přístroji. Takzvané sdružené určování polohy výpočtem kontroluje pomocí setrvačnicku (gyroskopu) a pomocí signálu tachometru pohyb vozidla a směru pohybu vozidla. Sdružené určování polohy výpočtem je systémem nezávislým na GPS navigaci.

Výsledky satelitního a sdruženého určování polohy výpočtem se neustále vzájemně porovnávají. Na základě údajů o trase a sazeb mýta a také uložených údajů o vozidle OBU vypočítá splatné mýto, tuto informaci uloží a v podobě kódovaných dat přes mobilní síť zašle do výpočetního centra. Zaslání této informace následuje buď po dosažení určité částky mýta, anebo po uplynutí definovaného času. Je-li v tomto okamžiku palubní přístroj vypnutý, zašlou se údaje při nejbližším zapnutí. Vypne-li řidič zapalování vozidla, vypne se automaticky i OBU.

V centrále společnosti Toll Collect se částky splatného mýta podle odpovídající státní poznávací značky vozidla přiřadí konkrétnímu uživateli a pravidelně, jednou za měsíc, je v případě platby mýta vystavován výpis vyúčtování mýta. [31]

### **7.3 Komparace elektronického zařízení v mikrovlnné technologii a satelitní technologii**

Elektronické zařízení obou technologií se liší jednak ve způsobu montáže a ceně. U satelitní technologie je čas na montáž jednotky podstatně delší (cca 4 hodiny) a je spojena i s finanční zátěží na provedení montáže OBU jednotky než u mikrovlnné technologie (řádově desetitisíce), kde je montáž provedena během několika málo minut a zcela zdarma. Jednotka se poskytuje za 1550,- Kč, což je vratná kauce.

## 8 Sazby, náklady a výnosy z mýtného

### 8.1 Sazby, náklady a výnosy z mikrovlnného mýtného v ČR

V České republice bylo za období od ledna roku 2007 do roku 2013 (tj. celkem 84 měsíců) vybráno za výkonové zpoplatnění dálnic, rychlostních silnic a silnic I. třídy téměř 50 miliard korun. Výnosy jdou do Státního fondu dopravní infrastruktury. Vydáno bylo více jak 790 000 OBU jednotek. Česká republika v roce 2011 společností Kapsch zaplatila poslední splátku za výstavbu mýtného systému, který stál v přepočtu 22 miliard korun.

#### Sazby

Sazby mýtného jsou rozděleny podle časových období, podle typu komunikace a také podle emisní třídy vozidla a počtu náprav. Z těchto údajů se následně odvíjí výše sazby mýtného na kilometr (tabulky 1a, 1b), 2a) a 2b)).

#### Výše sazeb mýtného za užívání dálnic a rychlostních silnic

<b>Mýtné sazby (Kč/km)</b>											
<b>Časové období v pátek od 15 hod. do 20 hod. včetně</b>											
<b>Emisní třída EURO 0 -II</b>			<b>Emisní třída EURO III-IV</b>			<b>Emisní třída EURO V</b>			<b>Emisní třída EURO VI, EEV a vyšší</b>		
<b>Počet náprav</b>			<b>Počet náprav</b>			<b>Počet náprav</b>			<b>Počet náprav</b>		
<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
<b>4,24</b>	<b>8,10</b>	<b>11,76</b>	<b>3,58</b>	<b>6,87</b>	<b>9,94</b>	<b>2,33</b>	<b>4,46</b>	<b>6,46</b>	<b>2,12</b>	<b>4,05</b>	<b>5,88</b>

Tabulka č. 1 a ) - Sazby pro dálnice a rychlostní silnice od 1. 1. 2015

<b>Mýtné sazby (Kč/km)</b> <b>Ostatní časová období</b>											
Emisní třída EURO 0 -II			Emisní třída EURO III-IV			Emisní třída EURO V			Emisní třída EURO VI, EEV a vyšší		
Počet náprav			Počet náprav			Počet náprav			Počet náprav		
2	3	4	2	3	4	2	3	4	2	3	4
3,34	5,70	8,24	2,82	4,81	6,97	1,83	3,13	4,52	1,67	2,85	4,12

Tabulka 1 b ) - Sazby pro dálnice a rychlostní silnice od 1. 1. 2015

Výše sazeb mýtného za užívání pro silnice I. třídy

<b>Mýtné sazby (Kč/km)</b> <b>Časové období v pátek od 15 hod. do 20 hod. včetně</b>											
Emisní třída EURO 0 -II			Emisní třída EURO III-IV			Emisní třída EURO V			Emisní třída EURO VI, EEV a vyšší		
Počet náprav			Počet náprav			Počet náprav			Počet náprav		
2	3	4	2	3	4	2	3	4	2	3	4
2,00	3,92	5,60	1,69	3,31	4,74	1,10	2,15	3,07	1,00	1,96	2,80

Tabulka 2 a ) - Sazby pro silnice I. třídy od 1. 1. 2015

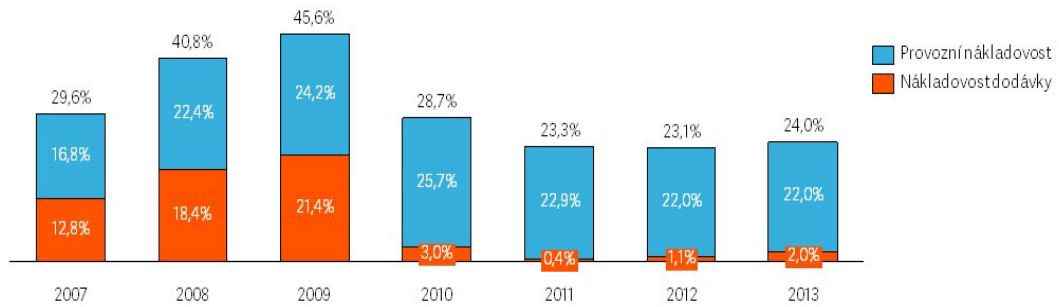
<b>Mýtné sazby (Kč/km)</b> <b>Ostatní časová období</b>											
Emisní třída EURO 0 -II			Emisní třída EURO III-IV			Emisní třída EURO V			Emisní třída EURO VI, EEV a vyšší		
Počet náprav			Počet náprav			Počet náprav			Počet náprav		
2	3	4	2	3	4	2	3	4	2	3	4
1,58	2,74	3,92	1,33	2,31	3,31	0,87	1,50	2,15	0,79	1,37	1,96

Tabulka 2 b ) - Sazby pro silnice I. třídy od 1. 1. 2015

## Náklady

Celková nákladovost systému je složena z nákladovosti dodávky a nákladovosti služeb.

### Graf nákladů mýtného



### Graf č. 1 – Vývoj složené procentuální nákladovosti mýtného systému [8 ]

V grafu jsou znázorněny jednotlivé procentuální nákladovosti dodávky a provozní nákladovost. Za období let 2007 až 2013 je průměrná provozní nákladovost 22,3 %.

## Výnosy

Výnosy uvedené v tabulce č. 3 jsou za období od roku 2007, kdy byl mýtný systém v České republice spuštěn až do roku 2013.

### Výnosy mýtného za období od roku 2007 až do roku 2013 (v Kč)

Měsíc	Rok 2007	Rok 2008	Rok 2009	Rok 2010	Rok 2011	Rok 2012	Rok 2013
Leden	421 786 642	496 860 660	399 788 421	421 068 104	624 142 244	690 493 689	661 425 157
Únor	416 306 348	508 399 158	413 041 515	478 586 349	624 684 035	694 112 126	649 538 782
Březen	479 462 201	517 458 518	468 824 056	569 125 325	725 653 488	774 145 167	700 998 503
Duben	438 323 857	556 185 705	453 104 922	533 067 744	659 360 167	707 730 175	719 792 254
Květen	478 401 971	529 979 849	458 554 947	553 326 490	720 912 764	765 435 703	734 367 674
Červen	480 731 672	537 741 308	483 478 634	579 431 370	707 182 415	750 225 440	724 963 226
Červenec	459 978 654	539 403 071	473 901 611	539 190 227	652 510 263	712 602 308	741 989 849
Srpen	466 073 048	474 003 488	466 274 828	535 016 856	687 257 677	719 904 800	702 912 833
Září	473 592 057	550 401 917	509 406 159	593 856 958	716 611 087	724 136 936	755 313 187
Říjen	542 132 269	552 112 823	520 714 967	621 301 465	712 279 789	812 870 008	813 329 266
Listopad	515 477 132	491 698 842	487 064 066	623 383 242	713 372 087	760 079 894	763 984 231
Prosinec	393 011 779	389 906 761	409 118 352	527 087 097	582 050 874	568 314 773	586 383 286
<b>Celkem</b>	<b>5 565 277 631</b>	<b>6 144 152 102</b>	<b>5 543 272 478</b>	<b>6 574 441 227</b>	<b>8 126 016 890</b>	<b>8 680 051 019</b>	<b>8 554 998 248</b>
<b>Celkem za období 2007 až 2013</b>						<b>49 188 209 595</b>	

Tabulka č. 3 - Výnosy mýtného v ČR [35]

## 8.2 Sazby, náklady a výnosy z mýtného v Německu

Spolková republika Německo v lednu roku 2005 zavedla mýtnou povinnost na německých dálnicích pro kamiony nad 12 tun. Mýtný systém, který je založený na kombinaci techniky satelitního určování polohy a moderní komunikační technologie v jednom, vytvořila společnost Toll Collect. Výše vybíraných poplatků je závislá na počtu ujetých kilometrů po zpoplatněné trase, emisní třídě vozidla a stanoveném počtu náprav.

V roce 2012 byla zpoplatněná síť dálnic rozšířena o 1135 km spolkových silnic (období rychlostních silnic a silnic první třídy v České republice), v roce 2013 rozšíření ještě pokračovalo a nyní je délka zpoplatněné sítě v Německu 13999 km. V roce 2013 generoval mýtný systém 4,41 mld. EUR (114,6 mld. Kč). Od začátku spuštění systému se v Německu vybralo na mýtu 33 mld. EUR (910 mld. Kč). V Německu výnosy z mýtného systému stoupaly do roku 2010, kdy dosáhly svého maxima (4,54 mld. EUR), a od té doby lehce klesaly. Příčinou je struktura tarifní tabulky a výše sazeb, které jsou od roku 2010 stejné. [30]



## Sazby

### Sazby mýtného na německých komunikacích

<b>Emisní třídy podle zákona o mýtě na spolkových dálnkových komunikacích</b>						
	<b>Kategorie A</b>	<b>Kategorie B</b>	<b>Kategorie C</b>	<b>Kategorie D</b>	<b>Kategorie E</b>	<b>Kategorie F</b>
<b>Emisní třída</b>	<b>S6</b>	<b>S5, EEV třída 1</b>	<b>S3 s PMK*, S4</b>	<b>S2 s PMK*, S3</b>	<b>S2</b>	<b>S1, žádná emisní třída</b>
<b>Emisní třída EURO</b>	<b>EURO 6</b>	<b>EURO 5, EEV 1</b>	<b>Euro 3 + PMK*, EURO 4</b>	<b>Euro 2 + PMK*, EURO 3</b>	<b>EURO 2</b>	<b>EURO 1, EURO 0</b>

\* PMK – třídy snížených emisí částic jsou standardy dodatečné výbavy pro snížení emisí částic. Pro kategorii D je nutná PMK 1 nebo vyšší, pro kategorii C pak PMK 2 nebo vyšší.

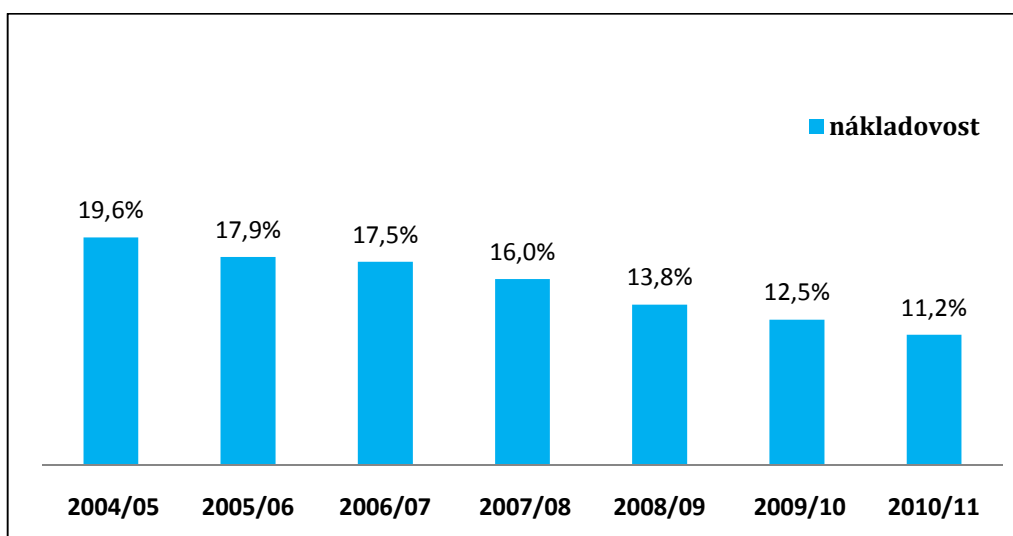
**Tabulka č. 4 - Emisní sazby na komunikacích v Německu [31]**

Sazby mýta za kilometr od 1. 1. 2015				
Kategorie	Podíl sazby mýta (v centech) Náklady na znečištění ovzduší	Počet náprav	Podíl sazby mýta (v centech) Náklady na infrastrukturu	Sazba mýta (v centech)
A	0	do 3	12,5	12,5
		do 4	13,1	13,1
B	2,1	do 3	12,5	14,6
		do 4	13,1	15,2
C	3,2	do 3	12,5	15,7
		do 4	13,1	16,3
D	6,3	do 3	12,5	18,8
		do 4	13,1	19,4
E	7,3	do 3	12,5	19,8
		do 4	13,1	20,4
F	8,3	do 3	12,5	20,8
		do 4	13,1	21,4

Tabulka č. 5 - Sazby mýta za kilometr v Německu [31]

Náklady

Graf nákladů mýtného



Graf č. 2 - Vývoj procentuální nákladovosti mýtného systému v Německu [31]

V grafu jsou znázorněna procentuální nákladovost mýtného systému v Německu od roku 2004 do roku 2011. Celková průměrná nákladovost za období 7 let je 15,5 %.

## Výnosy

### Výnosy z mýtného

<b>ROK</b>	<b>Výběr elektronického mýta (€)</b>
<b>Rok 2004/05</b>	1 873 000 000
<b>Rok 2005/06</b>	2 999 000 000
<b>Rok 2006/07</b>	3 255 000 000
<b>Rok 2007/08</b>	3 535 000 000
<b>Rok 2008/09</b>	4 023 000 000
<b>Rok 2009/10</b>	4 452 000 000
<b>Rok 2010/11</b>	4 530 000 000
<b>Celkem</b>	<b>24 667 000 000</b>

Tabulka č. 6 - Výnosy z mýta v Německu [31]

## 8.3 Komparace sazeb, nákladů a výnosů mýtného v ČR a v Německé republice

K porovnání **sazeb** mýtného od 1. 1. 2015 u jednotlivých technologií jsem vybrala průměrnou sazbu mýtného za kilometr pro vozidlo s emisní třídou V. a čtyřmi nápravami. Česká republika má sazby mýtného rozděleny podle časového období a typu komunikace, z tohoto důvodu jsou vybrány průměrné hodnoty pro dálnice a silnice I. třídy. V Německu jsou sazby za komunikace a časová období stejné. Pro přepočet měny u německé sazby byl použit aktuální kurz měn ČNB ze dne 27. 5. 2015.

Výpočtem bylo zjištěno, že Česká republika účtuje za jeden kilometr dálnice nebo rychlostní silnice v průměru 5,49 Kč a za silnice I. třídy v průměru 2,61 Kč. Oproti tomu Německo účtuje sazbu za jeden kilometr komunikace v přepočtu 4,16 Kč.

**Náklady**, které jsou spojeny s provozem mýtných systémů, jsou uvedeny za období sedmi let (ČR od roku 2007 do 2013, Německo od roku 2004/05 do 2010/11). ČR má nákladovost za dané období 22,3% a Německo 15,5%.

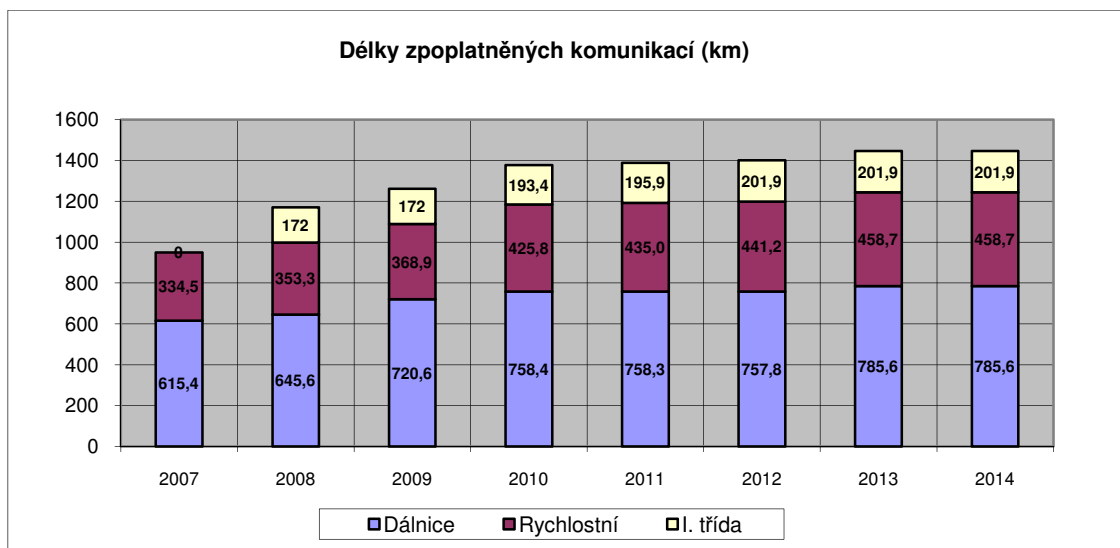
**Výnosy** z mýtného v ČR za období 2007 až 2013 byly vybrány ve výši 49 188 209 595,- Kč. V tabulce č. 8 je přehled meziročních nárůstů výnosu mýtného. Největší nárůst byl zaznamenán v roce 2010/2011, mimo jiné je to způsobeno tím, že v roce 2010 byla zpoplatněna vozidla nad 3,5 t a také došlo ke zvýšení počtu zpoplatněných komunikací (tabulka č. 7). Jestliže budeme počítat se stoupající tendencí v nárůstu výnosů mýtného, je předpoklad, že do konce roku 2016 bude výnos z mýtného 78 404 157 808,- Kč. Výpočet byl proveden z průměru meziročního nárůstu od roku 2010/2011(15,2%).

	Rok 2007/2008	Rok 2008/2009	Rok 2009/2010	Rok 2010/2011	Rok 2011/2012	Rok 2012/2013
<b>Meziroční nárůst (v Kč)</b>	578 874 471	600 879 624	1 031 168 749	1 551 575 663	554 034 129	-12 505 277
<b>Meziroční nárůst (v %)</b>	<b>10,4%</b>	<b>9,8%</b>	<b>18,6%</b>	<b>23,6%</b>	<b>6,8%</b>	<b>-1,4%</b>

**Tabulka č. 7 - Meziroční nárůst výnosů mýtného v ČR [vlastní zdroj]**

<b>Komunikace</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>
<b>Dálnice</b>	615,4	645,6	720,6	758,4	758,3	757,8	785,6
<b>Rychlostní</b>	334,5	353,3	368,9	425,8	435,0	441,2	458,7
<b>I. třída</b>	0	172	172	193,4	195,9	201,9	201,9
<b>CELKEM km</b>	<b>949,9</b>	<b>1170,9</b>	<b>1261,5</b>	<b>1 377,6</b>	<b>1 389,2</b>	<b>1 400,9</b>	<b>1 446,2</b>

**Tabulka č. 8 - Délky zpoplatněných komunikací (km) dle vyhlášky [35]**



**Graf č. 3 - Délky zpoplatněných komunikací (km) dle vyhlášky [35]**

**Výnosy** z mýtného v Německu za období 2004/05 až 2010/11 dosáhly výše v přepočtu 666 009 000 000,- Kč. Průměrně se v tomto období vybralo 95 144 142 857,- Kč za jeden rok. Oproti ČR, která má zpoplatněno 1446 km má Německo díky satelitnímu systému zpoplatněných 13999 km (v obou směrech téměř 28000 km).

## 9 Analýza technologií

31. 12. 2016 končí provozní smlouva s dosavadním technickým provozovatelem systému, konsorciem Kapsch a jeho subdodavateli. České republice zůstane mikrovlnný systém zpoplatnění dálnic, rychlostních silnic a vybraných úseku silnic první třídy. Z tohoto důvodu se stala velice aktuální otázka dalšího zajištění výběru mýtného a zvolení nejideálnějšího technologického systému s přihlédnutím na ekonomiku, efektivitu a úvahy o rozšíření sítě zpoplatněných komunikací. V následujících kapitolách se pokusím rozebrat jednotlivé technologie, které by bylo možné zvolit pro zajištění výběru mýtného po roce 2016.

### 9.1 Stávající mikrovlnná technologie

Mikrovlnný systém je vhodný pro zpoplatnění páteřní sítě, po které se pohybuje hodně vozidel (tj. je třeba velké množství relativně levných palubních jednotek). Protože většina zemí Evropy řeší přesně tuto situaci, převládá v Evropě využití mikrovlnných systémů. Vzhledem k tomu, že Česká republika s touto variantou technologie má více jak sedmiletou zkušenost, jeví se tato možnost jako reálná a z ekonomického hlediska v danou chvíli nejpříjemnější.

### 9.2 Satelitní technologie

Satelitní systém se hodí na plošné zpoplatnění, kdy jsou náklady na stavbu sítě mikrovlnných senzorů (bran) z hlediska ekonomické návratnosti neúměrné. Takový systém se však stále musí vyrovnat s náklady na složitější satelitní jednotky, vymáhání mýtné povinnosti a zajištění distribuční sítě na velkém území. Vzhledem ke stávající situaci, kdy Česká republika disponuje vlastní již vybudovanou mikrovlnnou technologií, je tato technologie nevhodná.

### 9.3 Hybridní technologie

Hybridní satelitní systém je systémem, který Česká republika testovala v letech 2007 až 2010. Tento systém zahrnuje jak technologii mikrovlnného mýtného, tak i technologii satelitní. V případě České republiky, která již disponuje zpoplatněním nejdůležitějších komunikací v zemi a je předpoklad, že

zpoplatnění budou podléhat i některé další komunikace, by tato technologie byla jedním z nejuvhodnějších řešení pro budoucí rozvoj výkonového zpoplatnění.

## Závěr

Česká republika se v roce 2007 zařadila mezi státy, které přešly k elektronickému výběru poplatků za užití komunikací. Po vypsaném výběrovém řízení, které vyhrálo rakouské konsorcium Kapsch, a které dodalo mýtný systém založený na mikrovlnné technologii a zavázalo se až do roku 2016 zajišťovat jeho provoz, se na vybraných komunikacích začalo vybírat mýtné. Vlastníkem mýtného systému je Česká republika (Ministerstva dopravy ČR) a za provoz a správu mýta zodpovídá Ředitelství silnic a dálnic ČR (ŘSD). Zisk a příjmy z výběru elektronického mýtného jdou do Státního fondu infrastruktury.

Mýtné technologie, které přicházejí pro Českou republiku do úvahy po roce 2016, se ve své podstatě liší. Ve své práci jsem se pokusila porovnat obě technologie z několika hledisek, a to jednak v technologii přenosu dat, ve funkčnosti elektronického zařízení OBU a v neposlední řadě z pohledu ekonomického, porovnáním sazeb, nákladů a výnosů mýtného.

Mikrovlnný systém je založený na velmi náročné výstavbě infrastruktury, tedy výstavbě mýtných bran. Tímto systémem jsou pokryty v České republice pouze dálnice a silnice I. třídy. Systém není plně kompatibilní se systémy v Evropě. Výhodou je poměrně levná OBU jednotka a její snadná instalace do vozidla. Přenos dat je rychlejší a je zde vysoká efektivita výběru až 99,6 %.

Oproti tomu satelitní technologie, která je v Evropě méně rozšířena, má velkou výhodu ve flexibilitě. Ta se projevuje v případě jakýchkoliv změn. Provozovatel tohoto mýtného systému může přidávat nebo odebrat vymezené mýtné úseky, měnit délky nebo přesunovat koncové body mýtných úseků. Systém je flexibilní také v tom, že lze přidávat nové cesty nebo dokonce celé nové kategorie silnic (například silnice II. a III. tříd). Nevýhodou tohoto systému je příliš složitá instalace OBU jednotky do vozidla a také její vysoká cena. Přenos dat je vzhledem k využívání mobilních sítí GSM podstatně dražší než u mikrovlnné technologie.



Vzhledem k tomu, že Česká republika má v současné době zpoplatněno mikrovlnou technologií více jak 785 km dálnic, 485 km rychlostních silnic a pouze přibližně 200 km silnic I. třídy, je předpoklad, že zpoplatnění bude pokračovat i na dalších více než 5000 km silnic I. třídy, ale i na silnice II. a III. tříd. Porovnáním obou technologií jsem došla k závěru, že pro Českou republiku by bylo nejvýhodnější realizovat po roce 2016 projekt hybridního mýtného, tedy doplnění mikrovlnného systému satelitním subsystémem. Důvodem je to, že na hlavní páteřní infrastrukturu je již vybudována mikrovlnná technologie mýtných bran a zbývající komunikace, které by do budoucna mohly být zpoplatněny, jsou v tak velkém rozsahu, že budování dalších mýtných bran, by bylo velice nákladné a náročné (stavební povolení, potřebné pozemky, přívody elektrického napájení a podobně). Hybridní mýtný systém byl v České republice již testován a je vytvořen pro snadnou integraci do stávajícího mýtného systému. Pro uživatele by to znamenalo pouze změnu OBU jednotky. Jeho výhodou, je i to, že je připraven na integraci do Evropského mýtného systému.

## Seznam literatury

- [1] Elektronické mýtné: Pracovní skupina elektronické mýtné, Praha, 2014, [online], [cit. 2014-11-18], Dostupný z WWW: <<http://www.elektronickemytne.cz/jak-funguje-mikrovlmne-myto/>>
- [2] Mýto CZ: Mapa zpoplatnění, Praha, 2014, [online], [cit. 2014-11-18], Dostupný z WWW: <[http://www.myto.cz/files/images/maps/MYTOCZ\\_381\\_toll\\_map.gif](http://www.myto.cz/files/images/maps/MYTOCZ_381_toll_map.gif)>
- [3] Cultural service: Mikrovlmná technologie v praxi, Praha, 2014, [online], [cit. 2014-11-18], Dostupný z WWW: <<http://www.cultural-service.cz/pdf/mikrovlmna-technologie.pdf>>
- [4] Doprava v Praxi: Mýto v České republice, Praha, 2014, [online], [cit. 2014-11-18], Dostupný z WWW: <[http://www.doprava.vpraxi.cz/myto\\_cr.html](http://www.doprava.vpraxi.cz/myto_cr.html)>
- [5] Mýto CZ: Obecná architektura, Praha, 2014, [online], [cit. 2014-11-18], Dostupný z WWW: <<http://www.myto.cz/cs/mytny-system/obecna-architektura/index.html>>
- [6] Kapsch: Hybrid GNSS/DSRC On-Board Units, 2014, [online], [cit. 2014-11-18], Dostupný z WWW: <<https://www.kapsch.net/ktc/products/in-vehicle/hybrid-gnss-dsrc-on-board-units>>
- [7] Wikipedie: Elektronické mýtné v Česku 2014, [online], [cit. 2014-11-23], Dostupný z WWW: <[http://cs.wikipedia.org/wiki/Elektronick%C3%A9\\_m%C3%BDtn%C3%A9\\_v\\_%C4%8Cesku](http://cs.wikipedia.org/wiki/Elektronick%C3%A9_m%C3%BDtn%C3%A9_v_%C4%8Cesku)>
- [8] Elektronické mýtné: Pracovní skupina elektronické mýtné, Praha, 2014, [online], [cit. 2014-11-23], Dostupný z WWW: <<http://www.elektronickemytne.cz/tag/dalnice/>>
- [9] Dálniční známky- vše o dálničních známkách a kupónech: [online], [cit. 2014-11-23], Dostupný z WWW: <[http://www.dalnice.com/doprava/poplatky/znamky\\_info.htm](http://www.dalnice.com/doprava/poplatky/znamky_info.htm)>

- [10] PŘIBYL, Pavel – SVÍTEK Miroslav. *Inteligentní dopravní systémy*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2001. ISBN 80-7300-029-6
- [11] Silomos: Struktura komise CEN/TC 278 WG 1, 2014 [online], [cit. 2014-11-23], Dostupný z WWW: <<http://www.silmos.cz/?doc=centc278wg1>>
- [12] PŘIBYL, Pavel. *Inteligentní dopravní systémy a dopravní telematika II*. Praha: Nakladatelství ČVUT, 2007. ISBN 978-80-01-03648-8
- [13] Český kosmický portál, Odbor kosmický: GALILEO-Evropský globální navigační družicový systém, 2014 [online], [cit. 2014-11-23], Dostupný z WWW: <<http://www.czechspaceportal.cz/3-sekce/gnss-systemy/galileo/>>
- [14] Dálniční známky-vše o dálničních známkách a kuponech, 2015 [online], [cit. 2015-01-25], Dostupný z WWW: <[http://www.dalnice.com/doprava/poplatky/znamky\\_info.htm](http://www.dalnice.com/doprava/poplatky/znamky_info.htm)>
- [15] ABA Autoklub Bohemia Assistance, ÚAMK Česká republika, 2015[online], [cit. 2015-01-25], Dostupný z WWW: <<http://www.uamk.cz/dalnicni-kupony-ceska-republika-aba>>
- [16] Průvodce historií cest a mýtného, 2015[online], [cit. 2015-01-25], Dostupný z WWW:<<http://www.evikysupliky.cz/products/pruvodce-historii-cest-a-mytneho/>>
- [17] Elektronické mýto – Dopravní info, 2015[online], [cit. 2015-02-24], Dostupný z WWW: <<http://www.dopravniinfo.cz/elektronicke-myto>>
- [18] Kapsch TrafficCom, 2015[online], [cit. 2015-04-01], Dostupný z WWW: <<http://www.kapsch.net/ktc/downloads/datasheets/in-vehicle/5-8/Kapsch-KTC-DS-OBU-4021-01K-EN-WEB?lang=en-US>>
- [19] Obrázky.cz, 2015[online], [cit. 2015-04-01], Dostupný z WWW: <[http://www.obrazky.cz/?q=palubn%C3%AD%20jednotka%20premid&fulltext&mm=2#utm\\_source=search.seznam.cz&utm\\_medium=hint&utm\\_term=palubn%C3%AD%20jednotka%20premid&utm\\_content=obrazky](http://www.obrazky.cz/?q=palubn%C3%AD%20jednotka%20premid&fulltext&mm=2#utm_source=search.seznam.cz&utm_medium=hint&utm_term=palubn%C3%AD%20jednotka%20premid&utm_content=obrazky)>

- [20] Elektronické mýto v České republice, 2015[online], [cit. 2015-04-01], Dostupný z WWW: <<http://www.auto.cz/elektronicke-myto-v-ceske-republice-podrobne-informace-12457>>
- [21] Toll Collect: 2015[online], [cit. 2015-04-02], Dostupný z WWW: <[https://www.toll-collect.de/en/toll\\_collect/microsites/cs/cestina.html](https://www.toll-collect.de/en/toll_collect/microsites/cs/cestina.html)>
- [22] Wikipedie: Elektronické mýtné v Česku, 2015[online], [cit. 2015-04-02], Dostupný z WWW: <[http://cs.wikipedia.org/wiki/Elektronick%C3%A9\\_m%C3%BDtn%C3%A9\\_v\\_%C4%8Cesku](http://cs.wikipedia.org/wiki/Elektronick%C3%A9_m%C3%BDtn%C3%A9_v_%C4%8Cesku)>
- [23] Jiří Peterka: Bezdrátové přenosové cesty, 2011[online], [cit. 2015-04-02], Dostupný z WWW: <<http://www.earchiv.cz/a98/a842k180.php3>>
- [24] HOFFMANN, Pavel; HUDEC, Přemysl. *Vysokofrekvenční a mikrovlnná měření*. Praha: Nakladatelství ČVUT, 2006. ISBN 80-01-03442-9
- [25] Všechny-autoškoly.cz: Dopravní značka „Dálnice“, 2015[online], [cit. 2015-04-19], Dostupný z WWW: <[http://www.vsechnyautoskoly.cz/dopravni\\_znacka/dalnice\\_ip14a/](http://www.vsechnyautoskoly.cz/dopravni_znacka/dalnice_ip14a/)>
- [26] Technologie pro mobilní komunikaci: Zpracování signálu v systému GSM 2015 [online], [cit. 2015-04-19], Dostupný z WWW: <<http://tomas.richtr.cz/mobil/gsm-mod.htm>>
- [27] BURDA, Jiří. *Zemské mobilní rádiové sítě a přenos dat*. Praha: Vydává WIRELESSCOM, s. r. o., 2000.
- [28] Wikipedie: Global Positioning system, 2015[online], [cit. 2015-05-03], Dostupný z WWW: <[http://cs.wikipedia.org/wiki/Global\\_Positioning\\_System](http://cs.wikipedia.org/wiki/Global_Positioning_System)>
- [29] Mýtný systém v ČR: 2015[online], [cit. 2015-05-03], Dostupný z WWW: <<http://www.tipcars.com/magazin-mytny-system-v-cr-5821.html>>
- [30] Sedm let elektronického mýtného v ČR: 2015[online], [cit. 2015-05-03], Dostupný z WWW:<<http://www.scribd.com/doc/239448053/Sedm-let-elektronicke-ho-my-tne-ho-v-C-R>>

**[31]** Toll Collect: Mýto Německo, 2015[online], [cit. 2015-05-03], Dostupný z WWW: <https://www.toll-collect.de/en/>>

**[32]** HRDINA, Zdeněk; PÁNEK, Petr; VEJRAŽKA, František. *Rádiové určování polohy*. Praha: Nakladatelství ČVUT, 1999. ISBN 80-01-01386-3

**[33]** Svět hardware: Jak funguje GPS?, 1998-2015[online], [cit. 2015-26-05], Dostupný z WWW: <<http://www.svethardware.cz/jak-funguje-gps/21826-3>>

**[34]** Michal Karel: Bakalářská práce, 201[online], [cit. 2015-26-05], Dostupný z WWW:

<[http://www.fd.cvut.cz/projects/k614x1g/clovek/files/bp\\_Michal\\_Karel.pdf](http://www.fd.cvut.cz/projects/k614x1g/clovek/files/bp_Michal_Karel.pdf)>

**[35]** Informace poskytnuté Ředitelstvím silnic a dálnic ČR, e-mail ze dne 10. 9. 2014