

Výrobek k ochraně elektronického klíče před zneužitím

Bakalářská práce

Studijní program:

B3107 Textil

Studijní obor:

Textilní marketing

Autor práce:

Pavel Knížák

Vedoucí práce:

Ing. Hana Pařilová, Ph.D.

Katedra hodnocení textilií

Konzultant práce:

Ing. Veronika Tunáková, Ph.D.

Katedra materiálového inženýrství





Zadání bakalářské práce

Výrobek k ochraně elektronického klíče před zneužitím

Jméno a příjmení: **Pavel Knížák**
Osobní číslo: T18000158
Studijní program: B3107 Textil
Studijní obor: Textilní marketing
Zadávající katedra: Katedra hodnocení textilií
Akademický rok: **2019/2020**

Zásady pro vypracování:

1. Definovat hrozby zneužití.
2. Navrhnout vhodné opatření k ochraně elektronických klíčů s pomocí textilních materiálů.
3. Proměřit stínění elektromagnetického záření a ověřit funkčnost navrženého výrobku.

Rozsah grafických prací:
Rozsah pracovní zprávy:
Forma zpracování práce:
Jazyk práce:

30 – 40 normostran
tištěná/elektronická
Čeština



Seznam odborné literatury:

- Duquesne, S., Magniez, C., and Camino, G. Multifunctional Barriers for Flexible Structure: Textile, Leather and Paper. Springer, 2010.
- Juřík, P. Platební karty, ilustrovaná historie placení. Praha : Libri, 2012. 978- 80-7277-498-2.
- Hayt, W. Engineering electromagnetics. McGraw-Hill, 1967.
- Kaiser, K. Electromagnetic Shielding. CRC/Taylor & Francis, 2006.
- Šafářová, V. *Textilie se zvýšenou odolností vůči elektromagnetickému smogu*. Liberec, 2014. Disertační práce. Technická univerzita v Liberci. Vedoucí práce Jiří Militký.

Vedoucí práce:

Ing. Hana Pařilová, Ph.D.
Katedra hodnocení textilií

Konzultant práce:

Ing. Veronika Tunáková, Ph.D.
Katedra materiálového inženýrství

Datum zadání práce:

29. října 2019

Předpokládaný termín odevzdání:

10. srpna 2020

Ing. Jana Drašarová, Ph.D.
děkanka

L.S.

doc. Ing. Vladimír Bajzík, Ph.D.
vedoucí katedry

V Liberci dne 7. května 2020

Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně jako původní dílo s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé bakalářské práce a konzultantem.

Jsem si vědom toho, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu Technické univerzity v Liberci.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti Technickou univerzitu v Liberci; v tomto případě má Technická univerzita v Liberci právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Současně čestně prohlašuji, že text elektronické podoby práce vložený do IS/STAG se shoduje s textem tištěné podoby práce.

Beru na vědomí, že má bakalářská práce bude zveřejněna Technickou univerzitou v Liberci v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů.

Jsem si vědom následků, které podle zákona o vysokých školách mohou vyplývat z porušení tohoto prohlášení.

10. srpna 2020

Pavel Knížák

Anotace

Tato bakalářská práce je zaměřená na problematiku ochrany elektronického klíče před zneužitím. Práce byla rozdělena do několika kapitol, kde jsou popsány teoretické prvky zneužití elektronického klíče společně s tematikou elektromagnetického stínění. Třetí kapitola této práce pojednává o textilních materiálech se zvýšenou elektrickou vodivostí, u kterých tak vzniká pravděpodobnost následného využití pro ochranu elektronického klíče. Hlavním cílem práce je navržení vhodného opatření proti hrozbě zneužití elektronického klíče k automobilu, který je vybaven technologií KESSY, čemuž se věnuje převážná většina praktické části této práce. Dílčími cíli práce je výběr vhodného automobilu pro testování a vyzkoušet na testovaném klíči princip Faradayovy klece. Dále v rámci této práce bylo vybráno devět vhodných textilních vzorků pro testování elektromagnetického stínění a na základě naměřených hodnot jsou v práci vyhodnoceny i výsledky tohoto měření. Na základě této provedené analýzy jsou v závěru práce navržena opatření v podobě pouzdra na elektronický klíč.

Klíčová slova

Elektromagnetické stínění, elektronický klíč, modelový návrh, pouzdro pro ochranu elektronického klíče, relay attack, technologie KESSY, textilie se zvýšenou elektrickou vodivostí, textilní vzorek

Annotation

Product to Protect the Electronic Key from Misusage

This bachelor thesis aims to depict matter of electronic key protection against misuse. The thesis is divided into several chapters, where theoretical elements of electronic key misuse are described, as well as the topic of electromagnetic shielding. The third chapter of this thesis deals with the textile materials with increased electrical conductivity, in which case there is a probability of subsequent use for the protection of this electronic key. The main goal of the thesis is to propose a suitable measure against the threat of misuse of the electronic key to the car, which is equipped with the KESSY technology, which is devoted to the vast majority of the practical part of this thesis. The secondary goals are to select a suitable car for testing and to test the principle of the Faraday cage on the tested key. Furthermore, within this thesis, nine suitable textile samples were selected for the testing of electromagnetic shielding and based on the measured values, the results of this measurement are evaluated in the thesis. The final part based on this analysis assesses and suggests particular measures and improvements in the form of an electronic key case.

Key words

Electromagnetic shielding, electronic key, model design, case for electronic key protection, relay attack, the KESSY technology, fabrics with increased electrical conductivity, textile pattern

Poděkování

Poděkování patří paní Ing. Haně Pařilové, Ph.D. za odborné vedení, vstřícnost, trpělivost a ochotu, s níž mi poskytovala cenné rady a připomínky během zpracování této bakalářské práce. Dále děkuji i paní Ing. Veronice Tunákové, Ph.D., za veškeré poskytnuté rady a materiály k vypracování této práce.

Obsah

Seznam obrázků.....	14
Seznam tabulek.....	16
Seznam zkratek a symbolů	17
Úvod.....	18
1 Hrozby zneužití elektronického klíče.....	19
1.1 Technologie KESSY.....	19
2 Elektromagnetické stínění	23
2.1 Základní charakteristika	23
2.2 Mechanismus stínění	24
2.2.1 Útlum odrazem	24
2.2.2 Absorpční útlum	25
2.2.3 Útlum vlivem mnohonásobných odrazů.....	26
3 Textilní materiály se zvýšenou elektrickou vodivostí.....	28
3.1 Elektricky vodivé textilie.....	28
3.2 Metody pro výrobu vodivých textilií.....	28
3.2.1 Kovová vlákna	29
3.2.2 Pokovená vlákna.....	30
3.2.3 Vodivá kompozitní polymerní vlákna	30
3.2.4 Polymery plněné uhlíkovými sazemi	31
3.2.5 Vlákna plněná uhlíkovými nanotrubicemi	32
3.2.6 Vlákna plněná kovovými částicemi.....	32
3.2.7 Vlákna plněná nanočásticemi solí kovů	32
3.2.8 Bikomponentní vlákna.....	33
3.2.9 Uhlíková vlákna.....	33
3.2.10 Vlákna z vodivých polymerů.....	34

4	Specifikace testovaného klíče.....	35
4.1	Popis funkcí testovaného klíče	35
5	Specifikace testovaných textilních vzorků.....	36
5.1	Měřené veličiny u testovaných textilních vzorků.....	36
5.1.1	Elektromagnetické stínění textilie	36
5.1.2	Tloušťka kovové vrstvy textilie.....	37
5.1.3	Analýza materiálového složení kovové vrstvy textilie.....	37
5.1.4	Jemnost nití tkaniny	38
5.1.5	Plošná hmotnost textilie.....	39
5.1.6	Tloušťka textilie.....	39
5.1.7	Dostava tkaniny	40
5.1.8	Vazba tkaniny	40
6	Jednotlivé textilní vzorky	41
6.1	Vzorek č. 1 – bavlněná tkanina	41
6.2	Vzorek č. 2 – polyesterová tkanina	43
6.3	Vzorek č. 3 – tkanina Bojan	45
6.4	Vzorek č. 4 – tkanina s elektricky vodivou mřížkou.....	47
6.5	Vzorek č. 5 – tkanina povrstvená elektricky vodivým polymerem.....	49
6.6	Vzorek č. 6 – tkanina s elektricky vodivou mřížkou obsahující vlákna x-static .	52
6.7	Vzorek č. 7 – pokovená tkanina	54
6.8	Vzorek č. 8 – tkanina s elektricky vodivou mřížkou obsahující uhlík	57
6.9	Vzorek č. 9 – netkaná pokovená textilie.....	59
7	Testování odstínění signálu elektronického klíče	61
7.1	Průběh testování	61
7.2	Zhodnocení výsledků.....	61
7.3	Návrh opatření proti hrozbě zneužití elektronického klíče	62
7.4	Modelový návrh pouzdra.....	63

Závěr	65
Seznam použitých zdrojů	66
Seznam příloh	72

Seznam obrázků

Obrázek 1: Mnohonásobné odrazy na vstupu a výstupu stínící kovové přepážky	26
Obrázek 2: Klasifikace textilních materiálů dle účinnosti elektromagnetického stínění	27
Obrázek 3: Elektrický odpor jako funkce obsahu vodivého plniva v materiálu	31
Obrázek 4: Klíč KESSY k vozu Ford Mondeo 2012	35
Obrázek 5: Schéma měření elektromagnetického stínění metodou koaxiálního přerušování vedení.....	36
Obrázek 6: Schéma fungování XRF	38
Obrázek 7: SDL Atlas přístroj [mm]	39
Obrázek 8: Vzorek bavlněné tkaniny	41
Obrázek 9: Průběh měření elektromagnetického stínění vzorku č. 1	42
Obrázek 10: Vzorek polyesterové tkaniny	43
Obrázek 11: Průběh měření elektromagnetického stínění vzorku č. 2	44
Obrázek 12: Vzorek tkaniny Bojan	45
Obrázek 13: Hodnoty měřených veličin u vzorku č. 3	45
Obrázek 14: Průběh měření elektromagnetického stínění vzorku č. 3	46
Obrázek 15: Vzorek tkaniny s elektricky vodivou mřížkou.....	47
Obrázek 16: Průběh měření elektromagnetického stínění vzorku č. 4	48
Obrázek 17: Vzorek tkaniny povrstvené elektricky vodivým polymerem.....	49
Obrázek 18: Porozita vzorku č. 5	50
Obrázek 19: Průběh měření elektromagnetického stínění vzorku č. 5	51
Obrázek 20: Vzorek tkaniny s elektricky vodivou mřížkou obsahující vlákna x-static	52
Obrázek 21: Průběh měření elektromagnetického stínění vzorku č. 6	53
Obrázek 22: Vzorek pokovené tkaniny	54
Obrázek 23: Měření tloušťky kovové vrstvy vzorku č. 7	55
Obrázek 24: Analýza materiálového složení kovové vrstvy pokrývající vzorek č. 7	55
Obrázek 25: Průběh měření elektromagnetického stínění vzorku č. 7	56
Obrázek 26: Vzorek tkaniny s elektricky vodivou mřížkou obsahující uhlík	57
Obrázek 27: Průběh měření elektromagnetického stínění vzorku č. 8	58
Obrázek 28: Vzorek netkané pokovené textilie	59
Obrázek 29: Průběh měření elektromagnetického stínění vzorku č. 9	60

Obrázek 30: Modelový návrh pouzdra	63
Obrázek 31: Modelový návrh pouzdra – pohled v řezu	64

Seznam tabulek

Tabulka 1: Konstanty rovnice.....	25
Tabulka 2: Porovnání vlastností kovů	30
Tabulka 3: Hodnoty měřených veličin u vzorku č. 1.	41
Tabulka 4: Hodnoty měřených veličin u vzorku č. 2	43
Tabulka 5: Hodnoty naměřených veličin u vzorku č. 4.....	47
Tabulka 6: Složení polymerační lázně vzorku č. 5.....	50
Tabulka 7: Hodnoty měřených veličin u vzorku č. 5	50
Tabulka 8: Hodnoty měřených veličin u vzorku č. 6	52
Tabulka 9: Hodnoty měřených veličin u vzorku č. 7	54
Tabulka 10: Hodnoty měřených veličin u vzorku č. 8	57
Tabulka 11: Hodnoty měřených veličin u vzorku č. 9	59

Seznam zkratek a symbolů

δ - hloubka vniku elektromagnetického pole do kovového materiálu

Ω - jednotka odporu

ϕ_1 – vlhkost vzduchu

$^{\circ}\text{C}$ – stupeň Celsia

A – absorpční útlum

ADAC – Allgemeiner Deutscher Automobil-Club

CB – uhlíkové saze

CPC – conductive polymer composites

EAST – European Association for Secure Transactions

GHz – gigahertz

Hz – hertz

IATA – Mezinárodní asociace leteckých dopravců

IR – infračervené záření

KESSY – Keyless Entry Start and Exit System

kHz – kilohertz

K_s – koeficient stínění

M – útlum mnohonásobných odrazů

MHz – megahertz

MPa – megapascal

NaOH – hydroxid sodný

Pa – pascal

PPy – polypyrrol

pTSA – kyselina p-toluensulfonová

R – útlum odrazem

ρ_s – plošná hmotnost

r – vzdálenost zdroje od stínící přepážky

SSSR – Svaz sovětských socialistických republik

t – tloušťka

XRF – rentgenová fluorescence

μm – mikrometr

Úvod

V dnešní době jsou lidé neustále obklopeni moderními elektronickými přístroji a technologiemi, které jsou zvyklí využívat denně, při takřka jakékoliv každodenní činnosti. Tyto nové technologie svým majitelům nejčastěji dávají výhodu v podobě časové úspory či usnadnění práce (chytré mobilní telefony, počítače, platební karty apod.). V průběhu času dochází, se zvyšující se náročností spotřebitelů, k průběžnému vývoji zcela nových nebo k vylepšování stávajících elektronických produktů na trhu. Díky zvětšující se míře užívání elektroniky se však lidé stále častěji stávají terčem útoků ze strany hackerů, podvodníků a dalších lidí, kteří páchají trestnou činností. Je to hlavně z důvodu, že tyto elektronické produkty jsou svými majiteli využívány i k uchovávání citlivých osobních údajů a také jako prostředek k nakládání s financemi a majetkem (např. klíč od automobilu či platební karta) [6]. Prostřednictvím infiltrace – napadení (např. pomocí jiné elektroniky) či přímo odcizení elektronického výrobku, ve kterém jsou uloženy citlivé osobní údaje, se mohou pachatelé snadno dostat k majetku svých obětí. Touto cestou lze dokonce páchat trestnou činnost plošně a mnohdy i v poměrně krátkém čase.

Nejpoužívanějším elektronickým nositelem osobních údajů a údajů, které jsou klíčem k majetku lidí jsou v dnešní době bezesporu chytré mobilní telefony, platební karty a klíče od automobilů. Stále častěji se terčem lidí páchajících trestnou činností stávají právě platební karty a klíče od automobilů vybavené KESSY technologií. V první kapitole této práce je uveden princip fungování KESSY technologie a hrozby spojené s jejím využíváním.

Hlavním cílem této práce je s využitím textilních materiálů navrhnout vhodné opatření proti hrozbám zneužití elektronického klíče k automobilu, který je vybaven technologií KESSY. Dílčími cíli práce je výběr vhodného automobilu a klíče pro testování odstínění elektromagnetického pole, otestování funkčnosti principu Faradayovy klece na elektronickém klíči, výběr vhodných textilních materiálů k otestování odstínění signálu elektronického klíče a měření hodnot efektivity stínění těchto materiálů.

Při výběru vhodného textilního materiálu a měření jeho vlastností bude využito poznatků z Disertační práce Ing. Veroniky Šafářové [2], která se ve své práci zabývala zvýšenou odolností textilií vůči elektromagnetickému smogu.

1 Hrozby zneužití elektronického klíče

Díky neustálému vývoji a vyššímu využívání elektroniky v automobilovém průmyslu jako odpovědi na náročnější požadavky spotřebitelů – kvalitu a komfort, se v poslední době automobily často stávají předmětem krádeží. Příchod technologie KESSY se stal, jak píše ve svém článku pro Autohled.cz Martin Novák [1], doslova vodou na mlýn zlodějům. Bezklíčové odemykání je jistě velmi pohodlné a v poslední době hodně oblíbené u řidičů. Zloději ale začali používat tzv. relay attack, a tak se automobil stává mnohem zranitelnější vůči odcizení.

Pro tuto technologii se hodí přirovnání k očkování proti chřipce – i zde totiž dochází k jisté prevenci, neboť pokud je automobil vybaven KESSY technologií, pak není potřeba zámku na dveřích ani klasického zapalování, který by pachatel či skupina pachatelů mohla obejít. Tento fakt by podle mnohých mohl značně zmenšit riziko odcizení automobilu bez povšimnutí, protože automobil bez zámku na dveřích nelze otevřít bez použití násilí, což pachateli velmi snižuje šanci na úspěch při krádeži. Pak je tu také další argument, který je nutno zmínit, a to sice, že i kdyby se pachatel do automobilu vloupal násilím, tak díky technologii KESSY by stejně automobil nedokázal nastartovat a následně s ním odjet. Jak tomu ale u očkování bývá, virus může zmutovat – pachatelé objevili nový způsob, jak by mohli automobil ve své podstatě velmi snadno, díky přítomnosti této technologie, odcizit. Z technologie KESSY se tak stává spíše pachatelův spojencem než protivníkem [8].

1.1 Technologie KESSY

Technologie KESSY, známá také jako Keyless, umožňuje bezklíčové otevírání vozu a v dnešní době je poskytována zákazníkům, buď ve standardní výbavě nebo za příplatek, od většiny výrobců automobilů. Hlavní výhodou této technologie spočívá v tom, že řidiči, zejména ženy, již nemusí hledat klíče například v kabelce. Další výhodou je poté možnost auto bez klíče i nastartovat – místo klasického zapalování najdeme ve voze tlačítko, což je užitečné hlavně z hlediska komfortu. Pro zákazníky existuje i možnost si pořídit jednu z těchto dvou funkcí (bezklíčové odemykání a bezklíčový start – stop systém) samostatně [1].

Princip, jak tato technologie funguje, je poměrně jednoduchý. Martin Novák [1] ve svém článku uvádí, že součástí klíče od automobilu je dálkové ovládání, ve kterém je umístěn vysílač radiových vln s malým dosahem, nejčastěji 1,5 m. Tento vysílač pak vysílá vlny do jednotky instalované uvnitř automobilu. Jednotka pak hned, jakmile zachytí tyto vlny, které jí byly naprogramovány a uloženy do paměti, umožní automobil odemknout buď celý nebo pouze prostor pro zavazadla. Dále umožní řidiči i nastartovat motor. V některých automobilech je dokonce namontován pokročilejší systém KESSY, který je schopen odhalit, zda stojí řidič poblíž zavazadlového prostoru a ten mu poté na základě řidičovy polohy automaticky otevře. Jednotka umí rozpoznat vlny, jež klíč vysílá na určitou vzdálenost, kterou je možné předem nastavit. Také je možné některé modely automobilů, například Renault nebo Dacii, automaticky zamknout po nějaké době, kdy se od automobilu řidič vzdálí [8].

Princip fungování Keyless technologie se liší podle značky automobilu, navíc každá značka má tento systém uveden pod jiným obchodním názvem. Například automobily značky Tesla se automaticky odemykají už ve chvíli, když se k nim řidič přiblíží na určitou vzdálenost. Toto je z hlediska používání relay attacku velmi nebezpečná záležitost pro majitele vozidla. U jiných automobilů zase jednotka zachycující radiové vysílání klíče umožní vůz odemknout až tehdy, když se řidič dotkne kliky u dveří. Co se týče bezklíčového start – stop systému, tak i ten se liší podle značky automobilu. U některých značek je možné automobil nastartovat bez klíče už ve chvíli, kdy se klíč nachází uvnitř vozu, ale u jiných je nutné, aby řidič klíč umístil klíč nejprve na speciální místo, než jednotka umožní nastartovat motor. Například BMW i8, kde je potřeba, aby se klíč nacházel v prostoru předních sedadel [1].

Martin Příbyl ve svém článku pro Aktuálně.cz [3] popisuje, že odcizení automobilu s Keyless technologií je až děsivě prosté. Jedná se o již zmíněný relay attack. Tento útok mohou provést minimálně dva pachatelé, kteří si vyhlédnou ke krádeži automobil, kdy jeden z nich následuje řidiče, který se od automobilu vzdálí např. do nákupního centra. Jakmile se pachatel přiblíží ke své oběti, tak díky zařízení, které má u sebe, dojde k zesílení signálu vysílaného klíčem natolik, že ho zachytí druhý z pachatelů nacházející se v ten moment v blízkosti onoho vozu s pomocí přijímače a automobil je díky tomu odemčen. Tento způsob odcizování automobilů je v dnešní době stále populárnější a počty krádeží provedených tímto způsobem neustále rostou (hlavně na západě, kde jsou automobily s touto technologií mnohem rozšířenější než například v ČR).

Rostoucí počet krádeží, při kterých byl použit relay attack byl zaznamenán například ve Velké Británii, kde za pouhý jeden rok vzrostl počet těchto krádeží zhruba o 33 000 vozů. Ačkoliv výrobci automobilů již delší dobu vědí o tomto způsobu krádeže, tak mnozí z nich stále ještě nepřišli s žádným opatřením, které by eliminovalo tuto hrozbu, což potvrdily i výsledky dlouhodobého testování ADAC (Allgemeiner Deutscher Automobil-Club), v němž se ukázalo, že proti způsobu krádeže relay attack jsou imunní pouze vozy od výrobce Jaguar Land Rover [1].

Průzkum společnosti Thatcham Research pak ukázal, že 5 automobilů z celkem 11 testovaných má velmi slabou obranu proti tomuto typu krádeže a zde se konkrétně jednalo o modely Ford Mondeo, Hyundai Nexo, Kia ProCeed, Lexus UX a Toyotu Corolla. Naopak v tomto testu uspěly modely Audi e-tron, Jaguar XE, Range Rover Evoque, Mercedes třídy B a Porsche Macan [20].

Jak je uvedeno v článku [3], Guillaume Devauchelle, ze společnosti Valeo, se pro server Aktuálně.cz snažil objasnit důvod, proč tento problém stále přetrvává, což vyplývá z výsledků v předchozím odstavci uvedených průzkumů. Uvedl, že příliš přísná bezpečnostní opatření by mohla vytvořit problém, že automobil by poté bylo možné opravit pouze u autorizovaných partnerů jeho výrobce, kteří nejsou vždy zákazníkům dobře dostupní a mimo jiné pochyboval o legálnosti takového přístupu.

V dnešní době existuje hned několik řešení této hrozby a některá jsou i aftermarketová. Dá se říci, že jedním z nejlepších opatření jsou čipy s technikou Ultra Wide Band využívané koncernem Jaguar Land Rover. Tato technologie dokáže z doby, za jakou signál běžel mezi klíčem a přijímačem v klíče rozpoznat, jak daleko od auta klíč ve skutečnosti je. Zesilovač signálu v takovém případě prostě nefunguje.

Dalším způsobem je patentovaný systém od Pavla Miloše a jeho firmy Safe Partner. Dodává speciální čip, jehož součástí je pohybové čidlo (akcelerometr) a mikroprocesor, který dokáže vyhodnotit, jestli se klíč hýbe, nebo ne. Pokud je delší dobu v klidu, vysílač se odpojí a zesilovač signálu poté nelze použít. *„Jednoduchou obranou může být také speciální pouzdro, které funguje jako Faradayova klec a elektromagnetický signál klíčku se z něj nedostane ven. Richard Billyeald z Thatcham Research ale upozorňuje na to, že je nutné vyzkoušet, zda*

podobné pouzdro skutečně signál blokuje. Některá jsou totiž určena pro bankovní karty a na klíč nemusí stačit.“ [3].

Nevýhodou opatření, které využívá koncern Jaguar Land Rover, je nedostupnost tohoto řešení pro ostatní automobilové značky. Speciální čip firmy Safe Partner je již opatřením, které je určeno pro široké spektrum zákazníků. Jeho nevýhoda však spočívá v omezování pohybu uživatele jejich produktu. Obrana ve formě speciálního pouzdra se tak jeví jako nejdostupnější ze všech uvedených opatření proti hrozbě relay attacku. [3].

2 Elektromagnetické stínění

Elektromagnetické stínění je jedním z nejdůležitějších odrušovacích prostředků elektromagnetické kompatibility, který umožňuje jak zmenšení rušivého vyzařování na straně zdrojů rušivých signálů, tak i zvýšení elektromagnetické odolnosti na straně přijímačů rušivých signálů [21]. Elektromagnetické stínění je konstrukčním prostředkem sloužícím k zeslabení pole prostřednictvím rušivých signálů ve vymezené části prostoru [4].

Stínicí materiál funguje jako bariéra vůči elektromagnetickému poli, která pracuje na velmi širokém frekvenčním pásmu [5]. Toto pásmo může dosahovat 50 Hz pro zdroje střídavého proudu, pro dlouhovlnná, středněvlnná a krátkovlnná rozhlasová vysílání dosahuje 100 kHz – 30 MHz. Materiály, které jsou používány pro tvorbu elektromagnetického stínění, se vyznačují zejména vysokou elektrickou vodivostí a permeabilitou. Z tohoto důvodu jsou nejefektivnější kryty, které jsou založené na použití kovů [23].

2.1 Základní charakteristika

Elektromagnetické stínění působí jako lineární systém, který lze specifikovat jako tzv. „*koeficient stínění K_s , který je definován poměrem intenzity elektrického pole E_t (nebo magnetického pole H_t) v určitém bodě stíněného prostoru k intenzitě E_i (H_i) pole dopadajícího na stínicí přepážku.*“ [45].

$$K_S = \frac{E_t}{E_i} = \frac{H_t}{H_i} \quad (1)$$

V praxi je více použito logaritmické míry tohoto koeficientu nazývaného efektivností či účinností stínění. Následujícím vzorcem je možné vyjádřit stínicí efektivitu pro elektrické pole:

$$SE_E = 20 \log \left| \frac{E_i}{E_t} \right| \quad (2)$$

Pokud se jedná o magnetické pole, tak je pro stínící efektivitu stanoven vzorec:

$$SE_H = 20 \log \left| \frac{H_i}{H_t} \right| \quad (3) [44]$$

2.2 Mechanismus stínění

Stínění SE [dB] zahrnuje tři fyzikální mechanismy, a to:

- útlum odrazem (někde také reflexe) R [dB],
- absorpční útlum A [dB],
- útlum mnohonásobných odrazů M [dB].

$$SE [dB] = R[dB] + A[dB] + M[dB] \quad (4) [45]$$

2.2.1 Útlum odrazem

Útlum odrazem vzniká vlivem částečného odrazu energie vlny na impedančním rozhraní mezi dielektrikem s impedancí Z_1 a např. pokovenou textilií s impedancí Z_2 . Útlum odrazem není závislý na tloušťce stínící odrazové přepážky, tím pádem lze účinné elektrické stínění vytvořit i z tenké, avšak vysoce vodivé přepážky [40].

Elektromagnetická vlna se při průniku stínící přepážkou střetává se dvěma rozhraními. Druhé rozhraní je výstupní mezi médiem s impedancí Z_2 a médiem s impedancí Z_1 . Pro prošlou vlnu E_1 (H_1) tedy platí:

$$E_1 = \frac{2Z_2}{Z_1 + Z_2} E_0 \quad (5)$$

$$H_1 = \frac{2Z_2}{Z_1 + Z_2} H_0 \quad (6)$$

kde E_0 (H_0) je intenzita vlny dopadající a E_1 (H_1) je intenzita vlny proniknuvší [41].

Zobecněný vztah pro útlum odrazem může být zapsán jako:

$$RE = C + 10 \log \left(\frac{\sigma_r}{\mu_r} \right) \left(\frac{1}{f^n + r^m} \right) \quad (7)$$

kde konstanty C , n a m pro rovinnou vlnu, elektrické a magnetické pole jsou charakterizovány v tabulce viz níže. Hodnota r je vzdálenost zdroje od stínící přepážky [m] [40].

Tabulka 1: Konstanty rovnice [40]

Typ pole	C	n	m
Elektrické pole	322	3	2
Rovinná vlna	168	1	0
Magnetické pole	14,6	-1	-2

2.2.2 Absorpční útlum

Absorpční útlum vzniká pohlcením části energie elektromagnetické vlny během průchodu stínící přepážkou o tloušťce t , při které se přemění na základě Joulova efektu na teplo. Útlum absorpcí je dán následujícím vzorcem:

$$A = 8,69 \frac{t}{\delta} \quad (8)$$

kde δ značí hloubku vzniku elektromagnetického pole do kovového materiálu (je závislá na frekvenci).

$$\delta = \sqrt{\frac{2}{\omega \mu \sigma}} \quad (9)$$

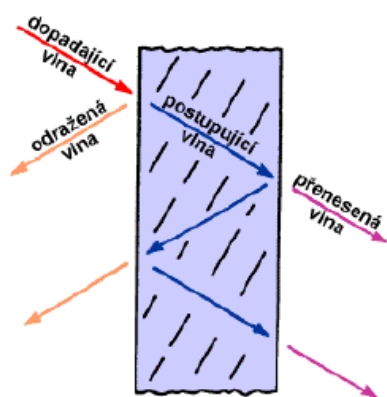
Absorpční útlum roste s druhou odmocninou kmitočtu na dB stupnici a je větší pro vodivé feromagnetické materiály ($\mu_r \gg 1$) než stejně vodivé nemagnetické materiály [34].

Ve vodivých materiálech se elektromagnetické pole rychle utlumí. Vzdálenost, kdy je vlna utlumena na 1/e, respektive 37 % své původní hodnoty je dána jako hloubka vzniku δ [m].

$$\delta = \sqrt{\frac{1}{\pi\mu\sigma f}} \quad (10)$$

2.2.3 Útlum vlivem mnohonásobných odrazů

Při průchodu elektromagnetické vlny vodivou stínicí přepážkou dochází na rozhraních k opakovaným odrazům, jak je schematicky vyznačeno na obrázku 1. Skládání mnohonásobně odražených vln může mít zanedbatelný vliv na celkový útlum kovové přepážky.



Obrázek 1: Mnohonásobné odrazy na vstupu a výstupu stínicí kovové přepážky [36]

Pro velikost tohoto útlumu mnohonásobnými odrazy M lze ve vztahu určit následující vzorec:

$$M = 20 \log \left| 1 - \left(\frac{Z_0 - Z_M}{Z_0 + Z_M} \right)^2 e^{-\frac{2h}{\delta}} e^{-j\frac{2h}{\delta}} \right| \quad (11)$$

Výskyt mnohonásobných odrazů vyžaduje přítomnost velkého specifického povrchu jako jsou např. porézní či pěnové materiály anebo mezifázových ploch ve stínícím prvku. Pokud

je stínění vyrobeno z dobře vodivého materiálu a jeho tloušťka je podstatně větší než hloubka vzniku, pak lze vliv mnohonásobných odrazů na celkovou účinnost zanedbat [40].

Lze konstatovat, že nejvhodnější materiály určené pro stínění elektromagnetického pole, vykazují vysokou elektrickou vodivost a vysokou magnetickou permeabilitu. Z tohoto důvodu patří mezi nejčastěji využívané materiály právě kovy. Ovšem z mnoha důvodů, jako jsou např. požadovaná nízká hmotnost, cena nebo mechanické vlastnosti, konkrétně flexibilita, je velkou snahou kovy nahradit, a to kompozitními materiály. Obecně jsou upřednostňovány vodivé částice s velikostí 1 μm a nižší.

Dále je vhodné využít plnivo s vysokou vodivostí pro zajištění útlumu elektromagnetického pole odrazem a absorpcí a také plnivo s vysokým poměrem délky a tloušťky. Plnivo ve vláknenné formě je upřednostňováno před částicemi právě díky vysokému poměru délky a šířky vlákna. Je zřejmé, že vhodné je použití kovových vláken, které dosahují velmi nízkých průměrů (měrná jednotka μm). Tenký oxidový povlak vznikající např. na povrchu měděných vláken má totiž jen nízkou vodivost a působí tak ztrátu elektricky vodivých kontaktů mezi jednotlivými plniva. Efektivita stínění nezávisí pouze na materiálu a tloušťce, ale i na frekvenci zdroje elektromagnetického záření, vzdálenosti od zdroje záření ke stínícímu prvku společně s množstvím a tvarem různých nespojitostí přepážky (např. mezery, díry, trhliny apod.) [35].

Třída I - Profesionální použití					
Stupeň	5	4	3	2	1
	Výborný	Velmi dobrý	Dobrý	Průměrný	Slabý
Rozsah efektivity elmag.stínění	$SE > 60\text{dB}$	$60\text{dB} \geq SE > 50\text{dB}$	$\geq SE > 40\text{dB}$	$40\text{dB} \geq SE > 30\text{dB}$	$30\text{dB} \geq SE > 20\text{dB}$

Třída II - Obecné použití					
Stupeň	5	4	3	2	1
	Výborný	Velmi dobrý	Dobrý	Průměrný	Slabý
Rozsah efektivity elmag.stínění	$SE > 30\text{dB}$	$30\text{dB} \geq SE > 20\text{dB}$	$20\text{dB} \geq SE > 10\text{dB}$	$10\text{dB} \geq SE > 7\text{dB}$	$7\text{dB} \geq SE > 5\text{dB}$

Obrázek 2: Klasifikace textilních materiálů dle účinnosti elektromagnetického stínění [43]

3 Textilní materiály se zvýšenou elektrickou vodivostí

Ze získaných poznatků uvedených v druhé kapitole této práce bylo zjištěno, že materiál, který dokáže odstínit elektromagnetické záření, musí zároveň vykazovat určitou elektrickou vodivost. Proto se tato kapitola zabývá právě textilními materiály se zvýšenou elektrickou vodivostí, u kterých tak vzniká pravděpodobnost následného využití pro ochranu elektronického klíče.

3.1 Elektricky vodivé textilie

Elektricky vodivé textilie jsou tvořeny z přízí a produktů, které byly vyrobeny z elektricky vodivých vláken. Lze je získat mnoha způsoby, které jsou níže více rozepsány. Pojmem elektro-textilie se pak označují textilní útvary, které vykazují určitou elektrickou vodivost nebo poskytují výpočetní či elektronickou funkci. [2] Elektro-textilie mohou sloužit k mnoha účelům, příkladem může být stínění elektromagnetického pole, pohlcování IR záření nebo elektronické a antistatické aplikace [19].

3.2 Metody pro výrobu vodivých textilií

Mezi jednu z metod pro výrobu vodivých textilií patří použití elektricky vodivých vláken při výrobě textilie. Tato vlákna se dělí do dvou základních skupin. Do první skupiny se řadí přirozeně vodivá vlákna, jakými jsou například kovová a uhlíková vlákna. Do druhé skupiny se poté řadí speciálně zpracovaná vlákna za účelem zvýšení elektrické vodivosti (například povrstvená vlákna nebo vlákna plněná vodivými částicemi), ze kterých je možné vyrobit netkané textilie. K výrobě tkaniny či pleteniny je třeba vyrobit příze, které jsou buď směšové a obsahují i nevodivá vlákna nebo jsou ze 100% vodivého vlákna [15].

Další používanou metodou je povrstvování textilie. Tato metoda funguje na principu nánosu vodivé vrstvy, která může být tvořena vodivými polymery nebo kovem. Výsledkem tohoto procesu jsou textilie se zvýšenou povrchovou vodivostí.

Mezi další metodu výroby vodivých textilií patří i nanášení elektricky vodivých částic. Elektricky vodivé částice, jako jsou kovové částice nebo saze, jsou rozptýleny na substrát, který tvoří většinou netkaná nevodivá textilie. Tento způsob slouží k dosažení určitého stupně vodivosti textilie.

Dále je využíván i potisk textilie. Na připravenou nevodivou textilií je například sítotiskem nanesena elektricky vodivá struktura. V neposlední řadě je využíváno i prošívání textilie. Na nevodivou textilií je vyšívána vodivá struktura, kterou tvoří elektricky vodivé příze [15].

3.2.1 Kovová vlákna

Při výrobě tkanin, pletenin a netkaných textilií jsou velmi často používána velmi jemná kovová vlákna o průměru cca 10 μm . Běžný průměr kovových vláken se pohybuje v rozmezí 1 až 80 μm . Mezi hlavní přednosti kovových vláken patří vysoká vodivost, elektromagnetické stínění, odporový ohřev a přenos signálu [28].

Dalšími přednostmi jsou:

- odolnost vůči vysokým teplotám (přes 1090 °C),
- vysoká pevnost v tahu,
- vysoká ohebnost,
- možnost praní,
- odolnost vůči chemikáliím [24].

Nevýhodou použití kovových vláken může být jejich hmotnost (jsou až šestkrát těžší než téměř všechny ostatní druhy vláken) a cena. Kovová vlákna jsou také křehká a může docházet k jejich poškozování při předení. S vyšším obsahem kovových vláken v textilním materiálu se dá očekávat omezení údržby a snížení odolnosti proti opotřebení [27].

K výrobě kovových vláken se používají čisté kovy, slitiny a polokovy. Mezi nejčastěji používané čisté kovy patří zlato, stříbro, měď a hliník. Důvodem častého používání těchto kovů jsou jejich výborné zpracovatelské vlastnosti [27, 28]. Do významných slitin používaných k výrobě kovových vláken například patří ocel (všechny formy), slitiny

hliníku, slitiny mědi, slitiny železa atd. V tabulce 2 jsou porovnány vlastnosti uvedených kovů.

Tabulka 2: Porovnání vlastností kovů [29]

	Hustota [kg/dm³]	Vodivost [Sm/mm²]	Pevnost v tahu [N/mm²]
Měď	8,9	58,5	220-270
Hliník	2,7	36	120-140
Poměděný hliník (10%)	3,3	37,7	130-180
Slitina měď-nikl	8,9	40	220-350
Mosaz	8,7	25,3	340-390
Stříbro (99,9%)	10,5	62,5	170-220
Pokovená měď	8,9	58,5	220-270
Nerez-ocel	7,9	1,36	740-840

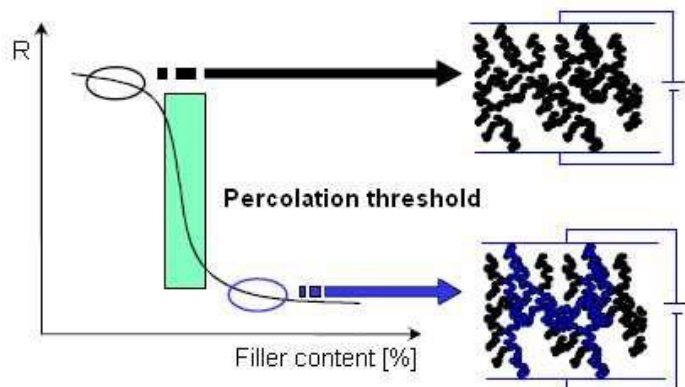
3.2.2 Pokovená vlákna

Elektricky vodivá vlákna je možné také vyrábět prostřednictvím metody povrstvování vláken kovy, galvanickými materiály nebo solemi kovů. Výhodou této metody je vhodnost aplikace pro mnoho typů vláken a získání vynikající vodivosti bez zásadních změn dosavadních vlastností substrátu, mezi které se řadí měrná hmotnost, flexibilita a omak. Povrstvování se aplikuje na povrch vláken, přízí nebo textilií za účelem vytvoření elektricky vodivé textilní struktury. Problémy však může způsobit adheze mezi kovem a vláknem, stejně tak jako odolnost vůči korozi [30].

3.2.3 Vodivá kompozitní polymerní vlákna

Vodivá kompozitní polymerní (CPC – conductive polymer composites), dále jen CPC, vlákna se získávají za pomoci rozptýlení vodivých částic (uhlík, prášky kovů, grafit v termoplastické nebo termosetické nevodivé polymerní matici). Elektrická vodivost CPC je závislá zejména na tvaru vodivých částic a také na obsahu vodivého plniva. Závisí ale i na fyzikálně chemických vlastnostech, mezi které patří: povrchová energie, tvarový faktor, specifický povrch a schopnost shlukování [7].

Základním požadavkem u vodivých kompozitních polymerních materiálů je, aby v izolačním polymeru bylo vodivé plnivo rozptýleno rovnoměrně. Výsledkem je nekonečná síť schopná zajistit tok elektronů. Materiál je pak elektricky vodivý, pokud objemový specifický odpor klesne pod hodnotu $10^8 - 10^6 \Omega \text{ cm}$ [44].



Obrázek 3: Elektrický odpor jako funkce obsahu vodivého plniva v materiálu [7]

Elektrická vodivost je zajištěna buď přímým kontaktem mezi vodivými částicemi, nebo za přítomnosti tunelového efektu bez přímého kontaktu, a to v případě, jsou-li vodivé částice velmi blízko sebe navzájem [45].

3.2.4 Polymery plněné uhlíkovými saze

Uhlíkové saze (CB) jsou definovány amorfni formou uhlíku se strukturou podobnou neuspořádanému grafitu. Neustále zde dochází k reakci atomů uhlíku i aromatických radikálů. Ty pak vytvářejí vrstevnaté struktury složené z hexagonálních kruhů atomových uhlíků formující krystalografické struktury [46].

Ve struktuře uhlíkových sazí rozhoduje:

- velikost částic uhlíkových sazí,
- velikost agregátů,
- tvar elementárních částic [45].

Uhlíkové saze obsahující relativně mnoho elementárních částic jsou vysoce strukturní a dosahují vyšší elektrické vodivosti. Pokud se skládají z několika základních částic, pak jsou tyto saze nízko strukturní [46].

3.2.5 Vlákná plněná uhlíkovými nanotrubicemi

Uhlíkové nanotrubice se vyznačují jednorozměrnou strukturou, mimořádnými fyzikálními vlastnostmi, jako je vysoký poměr šířky/délky, nízká hmotnost, dobrá elektrická vodivost a tepelná vodivost. Díky těmto vlastnostem se využívají v mnoha oblastech aplikací [22].

Mezi metodu získání uhlíkových materiálů ve velkém množství patří modifikace nebo využití různých forem, jako je diamant, grafit, uhlíková vlákna, fullereny, uhlíkové nanotrubice aj. Uhlíkové nanotrubice se vyznačují elektrickou vodivostí, která se pohybuje v řádech 10^4 S/cm [25]. Pokud se vyskytují při pokojové teplotě, mohou dosahovat tepelné vodivosti až 6600 W/mK [26]. Mezi hlavní výhody uhlíkových nanotrubic patří především kombinace velmi malého průměru a dobrých mechanických a elektrických vlastností [7].

3.2.6 Vlákná plněná kovovými částicemi

Během posledních let byla vytvořena nová řada vodivých vláken. Tato vlákna byla vyrobena nanosením vysoce vodivých kovů, mezi které lze zařadit nikl, měď a stříbro, metodou bezproudového pokovování nebo naprašování kovů. U polymerních pokovených vláken může nastat oddělení vodivé vrstvy tepelnými nebo chemickými jevy během užívání či např. praní [31].

3.2.7 Vlákná plněná nanočásticemi solí kovů

Kovové nanočástice se nejčastěji využívají v biomedicíně, elektronických a optických zařízeních. Zvýšená pozornost je věnována in-situ syntéze kovových nanočástic v polymerních maticích. Při této výrobě dochází nejprve k rozpuštění solí kovů v monomeru, následuje pak polymerizace a redukce kovových iontů, a to za použití záření a tepelných procesů [32].

Mezoporézní vlákna v nano nebo submikronovém měřítku je možné vyrobit za použití elektrostatického zvlákňování. Výrobní proces zahrnuje následující kroky:

- příprava solí s vhodným anorganickým prekursorem a polymerním obsahem,
- zvlákňování roztoku,
- zvápenatění kompozitních vláken [32].

3.2.8 Bikomponentní vlákna

Bikomponentní vlákna jsou známá jako syntetická vlákna, která jsou složena ze dvou polymerů odlišné chemické nebo fyzikální struktury. Ty jsou k sobě pak pevně, ale zároveň oddělitelně spojeny. Základní rozdíl mezi vlákny bikomponentními a vlákny z polymerních směsí je, že tyto dva polymery nevytváří nový polymer. Pro výrobu bikomponentních vláken se používají různé metody výroby, mezi které patří zvlákňování z taveniny, z roztoku a elektrostatické zvlákňování. Nejběžnější oblastí použití bikomponentních vláken je nábytkářský a oděvní průmysl, filtrace a medicínské aplikace. Tato vlákna jsou používána i jako nahrazení hedvábí nebo jako elektricky vodivá vlákna či mikrovlákna [33].

3.2.9 Uhlíková vlákna

Uhlíková vlákna jsou zcela novou skupinu vysoko pevnostních materiálů. Uhlíkové vlákno je definováno jako vlákno tvořeno alespoň 90 % uhlíku, který je získán při kontrolované pyrolýze vhodných vláken. Vlastnosti uhlíkových vláken jsou závislé především na výběru výchozího polymerního materiálu, na podmínkách karbonizace a tepelné úpravy i na zavedení určitých aditiv [36]. Uhlíková vlákna se vyznačují těmito vlastnostmi:

- anizotropií mechanických vlastností (modul pružnosti je významně menší ve směru kolmém k ose vlákna),
- křehkostí (prodloužení do přetržení je menší než u skleněných vláken),
- záporným koeficientem délkové teplotní roztažnosti,
- v podélném směru mají uhlíková vlákna malý elektrický odpor [37].

3.2.10 Vlákna z vodivých polymerů

V posledních 20 letech velkou pozornost přitahují elektricky vodivé polymery kvůli tomu, že najednou vynikají jak fyzikálními a chemickými vlastnostmi organických polymerů, ale také i elektrickými vlastnostmi kovů. Odlišují se od vodivých vlákenných materiálů, které byly velmi úspěšně začleněny do textilií, jako jsou kovové dráty (těžké a nelze je prát), uhlíkem nebo kovem plněná syntetická vlákna (mechanické vlastnosti se zhoršují se stoupajícím obsahem vodivého materiálu) a grafitová vlákna (příliš tuhá a křehká). Vodivá polymerní vlákna jako je polyanilin jsou pevná (80 - 300 MPa), lehká (1,5 g/cm³), pružná (prodloužení je mezi 3 % a 20 %) a vysoce elektricky vodivá (300 - 1000 S/cm), tudíž jsou vhodná pro tkaní, pletení a další textilní výrobní procesy [39].

Typickou vlastností vodivých polymerů je pravidelné střídání jednoduchých a dvojných vazeb v molekulární struktuře. Nejjednodušším strukturním polymerem je polyacetylen. Důležitým zjištěním bylo, že když je tenký polyacetylenový film dopován parami jodu, vzroste jeho elektrická vodivost přibližně milionkrát [40]. Dalším strukturním polymerem je např. polypyrrol, dále jen PPy, který se vyznačuje dobrou elektrickou vodivostí a dobrou ekologickou stabilitou v okolních podmínkách [27].

V dnešní době se vyrábí více než 100 polymerních materiálů s rozdílným rozsahem vodivosti. Některé tyto polymery lze zvláknovat, a proto je lze použít v textilních strukturách. Jejich elektrické vlastnosti lze upravovat v širokém rozsahu, např. dlužením nebo přidávkem rozdílných dopantů. Závislost elektrické vodivosti na teplotě je u polymerů rozdílná než u kovů nebo polovodičů. Elektrická vodivost zpravidla stoupá s klesající teplotou [47].

4 Specifikace testovaného klíče

Jedná se o elektronický klíč s technologií KESSY, jejíž princip fungování je popsán v druhé kapitole. Základní rozměry klíče jsou: 6,5 x 2,5 x 1,3 cm. Konkrétní typ tohoto klíče je 5WK48801/5WK50170 a je vhodný pro všechny modely Ford s bezklíčovým start – stop systémem jako je C-Max 2013+, Fiesta 2013+, Focus 2011 až 2015, Galaxy 2010+, Mondeo 2010+, Kuga 2011+ apod. [9] K výzkumu byl zvolen klíč od automobilu Ford Mondeo 2012, jehož podoba je zobrazena na obrázku viz níže. Ford Mondeo patří k automobilům s nejnižší odolností proti hrozbě relay attacku (viz první kapitola) a z tohoto důvodu byl pro tento výzkum zvolen právě tento model.



Obrázek 4: Klíč KESSY k vozu Ford Mondeo 2012 [51]

V dálkovém ovládní klíče se nachází vysílač radiových vln s malým dosahem vykazující frekvenci 434 MHz. Znalost hodnoty této frekvence je důležitá hlavně z důvodu volby vhodné metody pro měření elektromagnetického stínění textilních vzorků. Je totiž klíčové, aby se hodnota frekvence vysílače v klíči nenacházela mimo rozsah měření dané měřicí metody, protože pak by nebylo možné považovat její výsledky za relevantní, což je důvodem, proč byla k měření elektromagnetického stínění konkrétně zvolena metoda koaxiálního přenosového vedení [9].

4.1 Popis funkcí testovaného klíče

Funkčnost technologie KESSY testovaného klíče je omezena na vzdálenost přibližně tři metrů od vozidla. Na delší vzdálenost je možné automobil odemknout pouze prostřednictvím dálkového ovládní, které je součástí klíče. V případě nouze, jako je např. nefunkční či slabá baterie klíče nebo vybitá baterie u automobilu, je možné automobil odemknout manuálně fyzickým klíčem. Motor automobilu je možné nastartovat, pokud je auto odemčené a klíč se nachází v dosahu řídicí jednotky [8].

5 Specifikace testovaných textilních vzorků

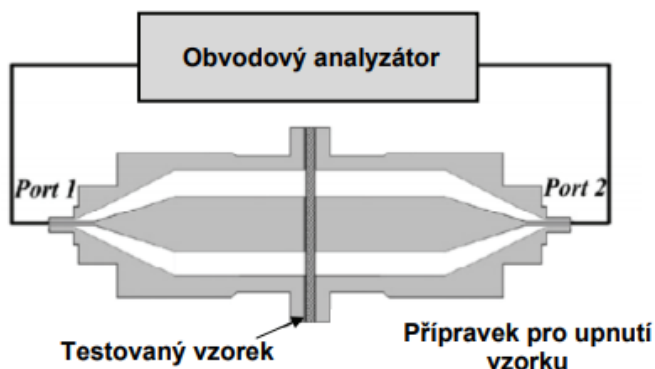
Tato kapitola se zabývá analýzou textilních materiálů, které byly zvoleny k testování odstínění signálu elektronického klíče. Pro tento výzkum bylo použito celkem devět textilních vzorků, které byly vybrány na základě svého materiálového složení a vlastností. Do výběru byly zahrnuty dvě elektricky nevodivé a sedm elektricky vodivých textilií, které byly zvoleny tak, aby zastupovaly co možná největší množství typů textilií se zvýšenou elektrickou vodivostí, kterým se podrobně věnuje třetí kapitola této práce.

5.1 Měřené veličiny u testovaných textilních vzorků

V této kapitole jsou uvedeny všechny veličiny, které byly měřeny u textilních vzorků společně s metodikou jejich měření. Všechna měření probíhala v laboratoři při těchto klimatických podmínkách: $t = 22 \pm 2 \text{ } ^\circ\text{C}$ a $\phi_1 = 45 \pm 2 \text{ } \%$ [2].

5.1.1 Elektromagnetické stínění textílie

Při měření elektromagnetického stínění textilních vzorků byla použita metoda koaxiálního přenosového vedení, při které je textilní vzorek umístěn do prostoru mezi dvěma válcovými držáky, vyrobenými dle normy ASTM D4935-99. Na obrázku 5 je uvedeno schéma této metody měření efektivity stínění.



Obrázek 5: Schéma měření elektromagnetického stínění metodou koaxiálního přenosového vedení [2]

Tato technika umožňuje rozlišit odraženou, prošlou i pohlcenou energii. V rámci využití této měřicí metody je použito $50 \text{ } \Omega$ koaxiálního vedení, které má vnitřní průměr o velikosti 33

mm a vnější průměr 75 mm, zároveň i speciálního adaptéru o průměru 133 mm, který je vybaven přírubou. Tato příruba následně spojuje obě části adaptéru. Měřicí rozsah se u této metody pohybuje v rozmezí od 30 MHz do 1,5 GHz. Naměřené hodnoty elektromagnetického stínění jsou zapisovány měřícím přístrojem v jednotkách decibelů, v záporných číslech, která jsou v této práci (viz kapitola 2.13) kvůli přehlednosti převedena do kladných hodnot použitím absolutní hodnoty. „S řádně upevněnou přírubou se chyba měření pro výše uvedený rozsah pohybuje okolo ± 5 dB, dynamický rozsah se při použití této metody je okolo 100 dB.“ [10].

5.1.2 Tloušťka kovové vrstvy textilie

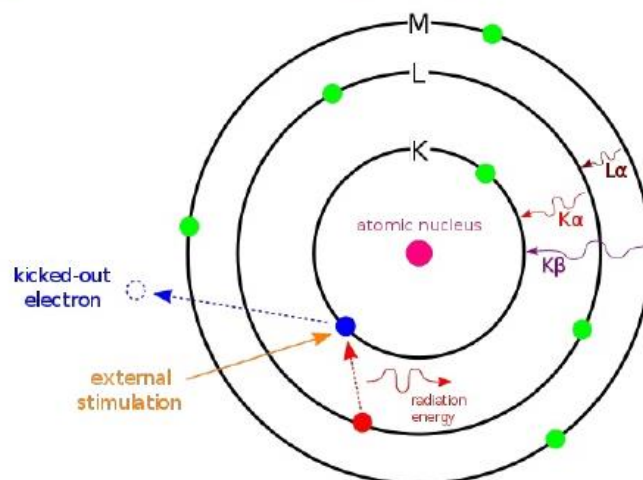
Metodika tohoto měření zahrnuje provedení podélného a příčného řezu vzorkem zkoumané textilie a následnou obrazovou analýzu NIS-Elements AR 2.30 řezů. Byla použita pouze u vzorku č. 7 – pokovená tkanina.

NIS-Elements AR 2.30 nebo také Nikon Imaging Software slouží pro analýzu obrazu. Je primárně určen pro laboratoře, výzkumná pracoviště, univerzity nebo průmyslové provozy. S pomocí tohoto softwaru je plně využito možností automatizace mikroskopů, kamer a dalších periférií [11].

5.1.3 Analýza materiálového složení kovové vrstvy textilie

Tato analýza byla provedena pouze u vzorku č. 7. Určování materiálového složení se zde provádí s pomocí Rentgenové fluorescence (XRF), která spočívá ve vyzáření (fluorescenčních) rentgenových paprsků ze zkoumaného materiálu, který byl předem excitován rentgenovými (vysokoenergetickými) nebo gama paprsky. Tento jev se často používán pro chemickou a elementární analýzu, zejména při zkoumání kovů [52]. Níže je znázorněno schéma fungování Rentgenové fluorescence.

X-ray Fluorescence (XRF)



Obrázek 6: Schéma fungování XRF [49]

5.1.4 Jemnost nití tkaniny

Velikost této veličiny byla zjišťována prostřednictvím použití Gravimetrické metody, pro kterou je stanovena norma ČSN EN ISO 1973. Princip této metody spočívá ve využití vzorce pro výpočet jemnosti vláken, který zní takto:

$$T[\text{Tex}] = \frac{m[\text{g}]}{l[\text{km}]} \quad (12)$$

kde

- T – jemnost vlákna [tex],
- m – hmotnost [g],
- l – délka vlákna [km].

Jemnost nití v tkanině je měřena zvlášť pro osnovní a zvlášť pro útkové nitě. Pro výpočet jemnosti osnovních nití je nutné jich ze vzorku odpárat deset. Dále je třeba zajistit, aby všechny odpárané nitě měly v napjatém stavu přibližně stejnou délku, která by měla činit 10 cm. Poté jsou všechny tyto nitě zváženy (dohromady). Délka nití je vždy převedena na kilometry a poté je, stejně jako hmotnost nití v gramech, použita ve vzorci uvedeném výše. Stejný postup platí i pro měření jemnosti útkových nití [13].

5.1.5 Plošná hmotnost textilie

V metodice měření plošné hmotnosti je stejně jako u metodiky měření jemnosti vláken použita Gravimetrická metoda. Nejprve je odstřížen vzorek z plošné textilie o velikost 100 x 100 mm, který je následně zvážen a jeho hmotnost je poté v gramech dosazena do vzorce níže. Vypočítaná plocha odstříženého vzorku je vždy, před dosazením do vzorce pro výpočet plošné hmotnosti, převedena na m². Plošná hmotnost se vypočítá vztahem:

$$\rho_s = \frac{m}{S} [g/m^2] \quad (13)$$

kde ρ_s – plošná hmotnost [g/m^2],
m – hmotnost vzorku [g],
S – plocha vzorku [m²] [14].

5.1.6 Tloušťka textilie

Tloušťka textilií je měřena na přístroji SDL Atlas, který se řídí normou ČSN EN ISO 5084. Přístroj je vybaven přítlačnou hlavicí, která má plochu 20 cm². Doporučený přítlak hlavice je normou stanoven na hodnotu 1000 Pa, což znamená, že je vzorek při měření zatížen hmotností 200 g. Textilie je při tomto měření umístěna pod přítlačnou hlavicí na rovnou desku, kde následně dojde k jejímu stlačení. Přístroj poté dokáže, na základě vzdálenosti přítlačné hlavice od desky v momentě stlačení textilie, přesně určit její tloušťku v milimetrech [17].



Obrázek 7: SDL Atlas přístroj [mm][17]

5.1.7 Dostava tkaniny

Dostava tkaniny vyjadřuje počet nití na určitou vzdálenost podle normy ČSN 1049-2 (800814) a je definována zvlášť pro osnovní a zvlášť pro útkovou soustavu nití s označením Do [počet nití/10 mm], Du [počet nití/10 mm]. Měření dostavy nití probíhá optickou metodou [7].

5.1.8 Vazba tkaniny

Stanovuje se podle normy ČSN 80 0020 s pomocí optické metody, kdy je cílem pozorování rozložení vazných bodů v ploše tkaniny [16], protože vazba je definována jako: „*způsob vzájemného provázání osnovních a útkových nití.*“ [48]. V místě překřížení nití, kde leží osnovní nit nad útkovou, vzniká osnovní vazný bod. Útkový vazný bod vznikne tak, že v místě překřížení nití leží naopak útková nit nad osnovní [55].

6 Jednotlivé textilní vzorky

6.1 Vzorek č. 1 – bavlněná tkanina

Prvním vzorkem je jednobarevná, průsvitná tkanina s jemným omakem tkaná z jemných přízí v hustě dostavené plátnové vazbě. Tato tkanina je vyrobena z čisté bavlny a podle všech znaků, které jsou pro ni charakteristické, bylo konstatováno, že se jedná o batist, pro jehož výrobu bývá často použito těch nejkvalitnějších bavlněných vláken. Hotový batist je bělený, jednobarevný nebo i potištěný a používá se například pro výrobu šatů či halenek [18]. Na obrázku 8 je zachycen vzhled tohoto textilního vzorku.



Obrázek 8: Vzorek bavlněné tkaniny

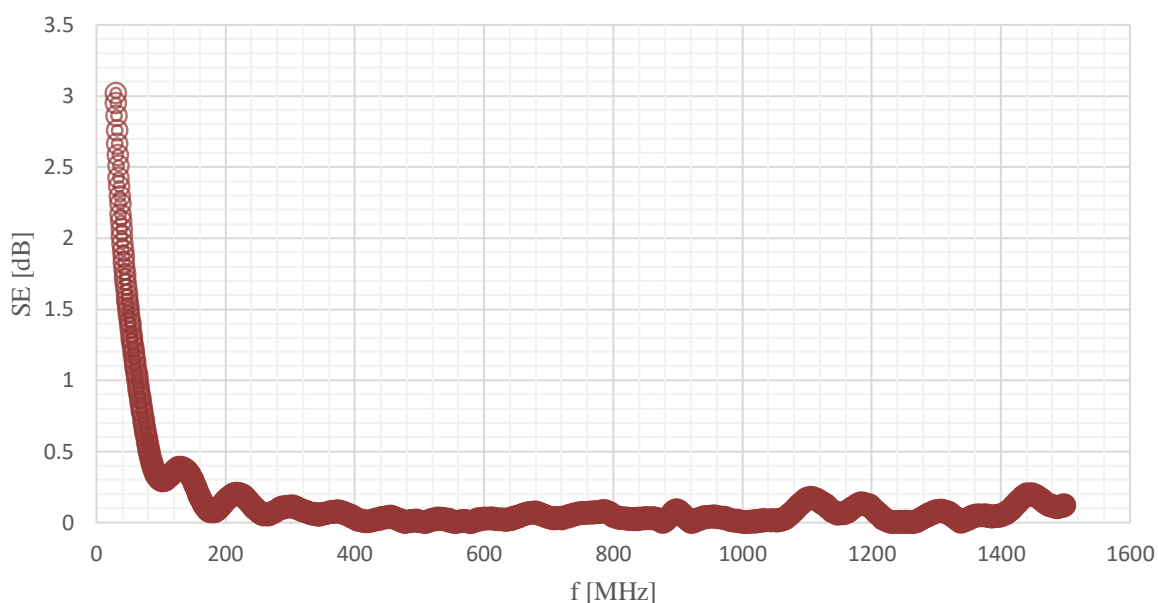
V tabulce 3 jsou zaznamenány naměřené hodnoty všech veličin, které byly měřeny u této bavlněné tkaniny.

Tabulka 3: Hodnoty měřených veličin u vzorku č. 1.

Měřená veličina	Naměřená hodnota	Jednotka veličiny
Tloušťka textilie	0,25	mm
Plošná hmotnost	125,70	g/m ²
Dostava osnovních nití	40	nití/10 mm
Dostava útkových nití	20	nití/10 mm
Jemnost osnovních nití	140	tex
Jemnost útkových nití	140	tex

Průběh měření elektromagnetického stínění této bavlněné tkaniny je zachycen na obrázku 9. Nejvyšší hodnotu efektivity stínění SE (cca 3 dB) měla tato tkanina při frekvenci o velikosti cca 30 MHz. Po zvýšení frekvence však došlo k poklesu hodnot SE tkaniny, které se při následném překročení hodnoty frekvence o velikosti 200 MHz už pohybovaly pouze v intervalu od 0 do 0,25 dB. Průměrná hodnota efektivity stínění u tohoto textilního vzorku je 0,12 dB.

Elektromagnetické stínění vzorku č. 1

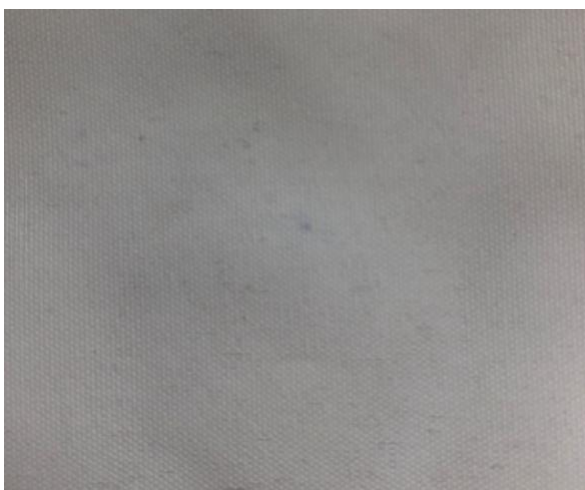


Obrázek 9: Průběh měření elektromagnetické stínění vzorku č. 1

Lze s jistotou předpokládat, vzhledem k téměř nulové hodnotě efektivity stínění SE tohoto vzorku, která byla naměřena při frekvenci 434 MHz (frekvence vysílače radiových vln v dálkovém ovládní elektronického klíče), že tento vzorek nebude v testování odstínění signálu klíče úspěšný.

6.2 Vzorek č. 2 – polyesterová tkanina

Jedná se o jednobarevnou tkaninu s lesklým povrchem a tužším omakem tkaná v hustě dostavené plátňové vazbě. Z hlediska materiálového složení se jedná o čistý polyester. Na obrázku 10 je zachycena podoba této tkaniny, pro kterou je také charakteristické jemné příčné vroubkování způsobené vyšší dostavou osnovních nití. Podle všech znaků jde o taft, který je používán hlavně na výrobu podšívek [18].



Obrázek 10: Vzorek polyesterové tkaniny

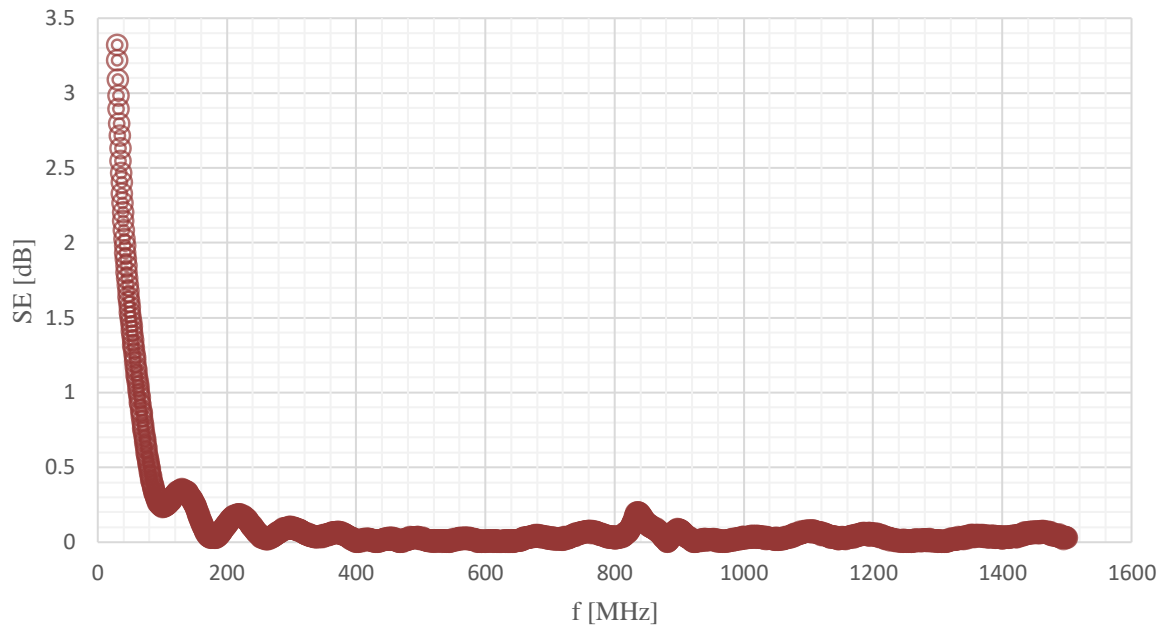
Tabulka 4 obsahuje naměřené hodnoty všech veličin měřených u tohoto textilního vzorku.

Tabulka 4: Hodnoty měřených veličin u vzorku č. 2

Měřená veličina	Naměřená hodnota	Jednotka veličiny
Tloušťka textilie	0,19	mm
Plošná hmotnost	85,30	g/m ²
Dostava osnovních nití	40	nití/10 mm
Dostava útkových nití	20	nití/10 mm
Jemnost osnovních nití	120	tex
Jemnost útkových nití	120	tex

Na obrázku 11 je znázorněn průběh měření elektromagnetického stínění této polyesterové tkaniny. Nejvyšší hodnotu efektivity stínění SE (cca 3,3 dB) měla tato tkanina při frekvenci cca 30 MHz. Při zvýšení frekvence však došlo k poklesu hodnot SE tkaniny, které se po překročení hodnoty frekvence 80 MHz pohybovaly už pouze v rozmezí od 0 do 0,25 dB. Průměrná hodnota efektivity stínění této tkaniny činí 1,67 dB.

Elektromagnetické stínění vzorku č. 2



Obrázek 11: Průběh měření elektromagnetické stínění vzorku č. 2

Stejně jako u vzorku č. 1 lze i v tomto případě předpokládat, že s pomocí této textilie nedojde k úspěšnému odstínění signálu elektronického klíče. Důvodem je opět téměř nulová hodnota efektivity stínění SE u této textilie, která byla naměřena při frekvenci o velikosti 434 MHz.

6.3 Vzorek č. 3 – tkanina Bojan

Zde se jedná o antistatickou tkaninu určenou pro stínění elektromagnetických polí, která je tkaná v hustě dostavené keprové vazbě se střídou 2/1. Materiálové složení této tkaniny je: 59 % polyester / 31 % bavlna / 10 % kov. Kovovou složku zde tvoří staplová vlákna z nerezové oceli. Po vzhledové stránce jde o lehce průsvitnou, jednobarevnou tkaninu tužšího omaku s jemným diagonálním rádkováním, které je typické pro keprovou vazbu viz obrázek 12 [18].



Obrázek 12: Vzorek tkaniny Bojan

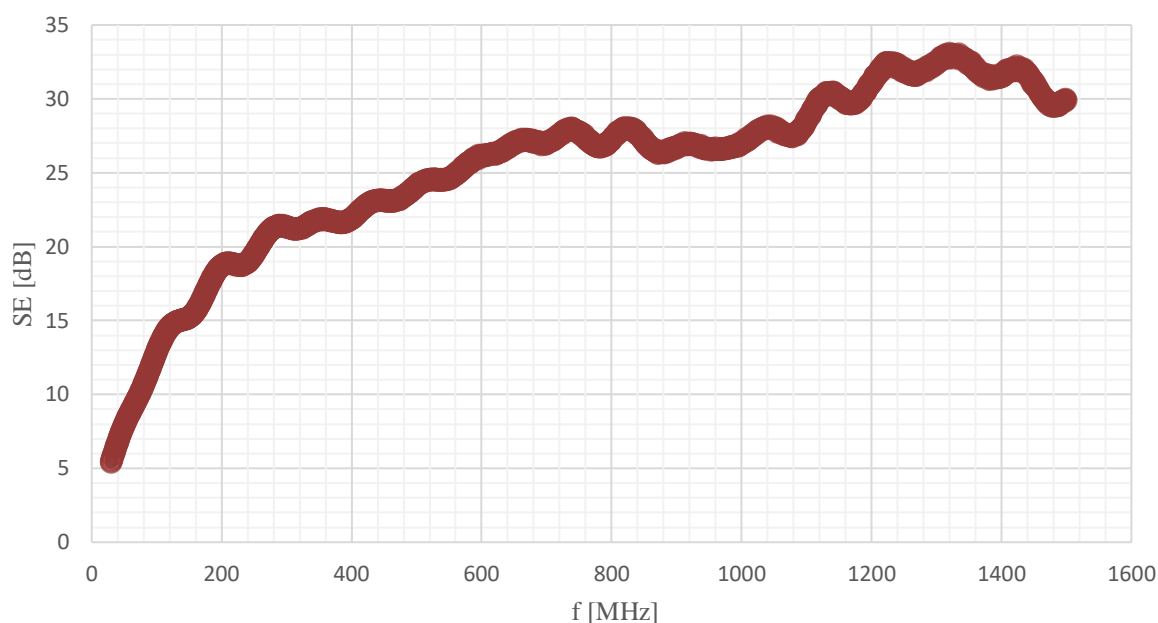
Tato tkanina je vyráběna společností Sintax a. s. a používá se k výrobě pracovních a ochranných oděvů [18]. Na obrázku 13 je uvedena tabulka, která je součástí materiálového listu této tkaniny. V této tabulce jsou zaznamenány naměřené hodnoty všech veličin měřených u této tkaniny společně s normami, kterým podléhají jednotlivé měřící metody.

UKAZATEL		JEDNOTKA	HODNOTA	ZKUŠEBNÍ METODA
Šíře		m cm	1,50 ± 2	ČSN EN 1773 ČSN 80 3014
Dostava	osnova útek	cm ⁻¹	39 ± 3% 22 ± 3%	ČSN EN 1049-2
Vazba			kepr 2/1	ČSN 80 0020
Plošná hmotnost		g.m ⁻²	190	ČSN EN 12127
Pevnost v tahu	osnova útek	N	1000 500	ČSN EN 13934-1
Povrchový měrný odpor		Ω	10 ⁴	ČSN EN 1149-1
Stínící účinnost při frekvencích 0,5 - 1,5 GHz		dB	25 - 30	ASTDM 4935-99
Změna rozměrů praním 60°C	osnova útek	%	-3 -2	ČSN EN 25077 ČSN EN ISO 3759 ČSN EN 26330

Obrázek 13: Hodnoty měřených veličin u vzorku č. 3 [18]

Na obrázku 14 je znázorněn průběh měření elektromagnetického stínění vzorku č. 3, který se oproti dvěma předchozím měřením této veličiny liší hlavně tím, že hodnoty efektivity stínění SE zde postupně rostou se zvyšující se frekvencí. Nejvyšší hodnoty efektivity stínění (cca 33 dB) vzorek č. 3 dosáhl při frekvenci cca 1325 MHz. Průměrná hodnota SE pak u tohoto vzorku činí 17,62 dB, což je o něco méně, než udává výrobce v materiálovém listu viz obrázek 11. Důvodem této odlišnosti je, že při měření hodnot efektivity stínění, které jsou uvedeny na obrázku 11, byl použit jiný měřicí rozsah než u tohoto měření.

Elektromagnetické stínění vzorku č. 3



Obrázek 14: Průběh měření elektromagnetického stínění vzorku č. 3

Efektivita stínění SE tkaniny Bojan dosahuje při frekvenci o velikosti 434 MHz hodnoty cca 23 dB. To je mnohem více než u předchozích dvou textilií, což zcela nepochybně souvisí s materiálovým složením této tkaniny viz předchozí strana. Stále se však jedná o poměrně nízkou hodnotu SE, která pravděpodobně nebude stačit na odstínění signálu elektronického klíče.

6.4 Vzorek č. 4 – tkanina s elektricky vodivou mřížkou

Tento vzorek obsahuje elektricky vodivou mřížku o velikosti 5 x 5 mm. Materiálové složení vzorku je: 90 % PP/ 10 % SS+100 % CO. Jako nevodivá matrice je zde použita jednobarevná tkanina s tužším omakem (z čisté bavlny) tkaná v keprové vazbě se střídou 2/2, pro kterou je charakteristické jemné šikmé řádkování [17, 18].



Obrázek 15: Vzorek tkaniny s elektricky vodivou mřížkou

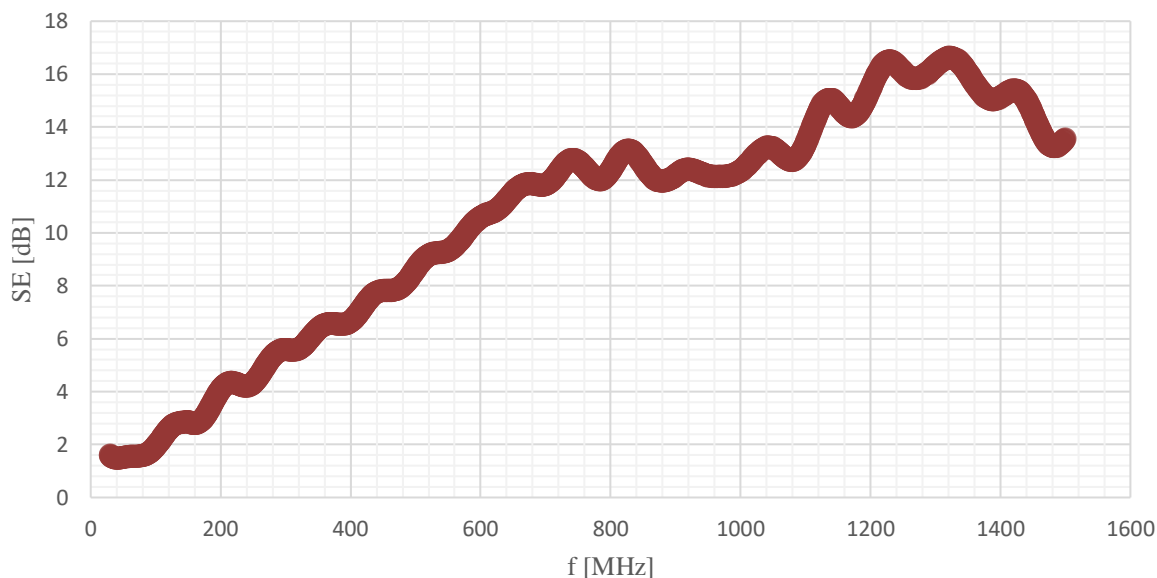
V tabulce 5 jsou zapsány naměřené hodnoty všech veličin měřených u této tkaniny, které uvádí Ing. Veronika Šafářová ve své disertační práci [2].

Tabulka 5: Hodnoty naměřených veličin u vzorku č. 4 [2]

Měřená veličina	Naměřená hodnota	Jednotka veličiny
Tloušťka textilie	0,83	mm
Plošná hmotnost	221,26	g/m ²
Dostava osnovních nití	20	nití/10 mm
Dostava útkových nití	19	nití/10 mm
Jemnost přízí tvořících elektricky nevodivou matrici	50	tex
Jemnost přízí tvořících elektricky vodivou mřížku	50	tex

Průběh měření elektromagnetického stínění této textilie, který je zobrazen na obrázku 16, je podobný jako u vzorku č. 3 viz obrázek 12, protože zde také dochází k růstu hodnot efektivity stínění SE se zvyšujícími se hodnotami frekvence. Nejvyšší hodnotu efektivity stínění (cca 17 dB) měla tato textilie při frekvenci cca 1330 MHz. Průměrná hodnota SE u tohoto textilního vzorku je poté 7,58 dB.

Elektromagnetické stínění vzorku č. 4



Obrázek 16: Průběh měření elektromagnetického stínění vzorku č. 4

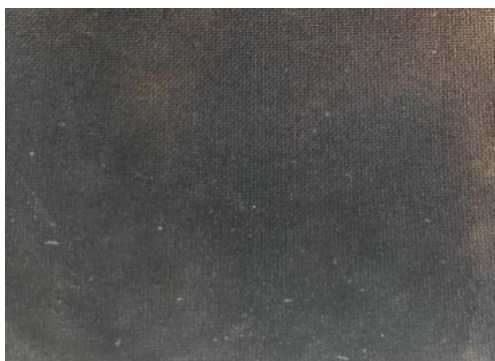
Při frekvenci 434 MHz, kterou vykazuje vysílač umístěný v dálkovém ovládní elektronického klíče, je naměřená hodnota efektivity stínění SE tohoto vzorku cca 8 dB, což znamená, že se s použitím této textilie pravděpodobně nepodaří odstínit signál elektronického klíče, neboť se jedná o velmi malou hodnotu efektivity stínění.

6.5 Vzorek č. 5 – tkanina povrstvená elektricky vodivým polymerem

Jako substrát je zde použita jednobarevná tkanina s tužším omakem, která je vyrobena z čistého polyesteru. Vazbou této tkaniny je plátno. Tkanina je povrstvená elektricky vodivým polypyrrolem. Nanášení vrstvy vodivého polymeru pyrrolu na substrát probíhá, jak uvádí Ing. Veronika Šafářová [2], s pomocí metody in-situ. Pro toto nanášení byla použita ocelová patrona o objemu 150 ml klimatizována na 15 °C, do které byl vložen vzorek předem vypraný v acetonu.

V dalším kroku bylo do patrony přidáno 0,1 g Spolionu 8, který byl využit hlavně z důvodu lepší smáčivosti a rychlejší absorpci pyrrolu. Následně byla patrona uzavřena a směs promíchána. Dále bylo přidáno požadované množství pyrrolu a poté byla patrona opět uzavřena, promíchána a ponechána 10 minut v klidu. Mezitím byla do směsi chloridu železitého a pTSA přidána klimatizovaná destilovaná voda. Tato směs byla následně přidána do patrony a opět promíchána [18].

Na závěr byla patrona doplněna až po okraj klimatizovanou destilovanou vodou a poté byla opatřena potravinářskou fólií, gumičkou a vložena do klimatizované lázně o teplotě 15 °C. V této lázni zůstala po dobu 8 hodin, při čemž každé dvě hodiny docházelo pravidelně k jejímu promíchání. Po uplynutí této doby byl textilní vzorek vyjmut z patrony a poté byl propláchnut vodou. Sušení vzorku probíhalo při teplotě 22°C. Na obrázku 17 je zobrazen vzhled tohoto textilního vzorku a lze si zde snadno povšimnout světlých skvrn na černém povrchu tkaniny, které byly způsobeny pouhým dotykem, z čehož plyne, že tkanina má slabou odolnost vůči oděru [16].



Obrázek 17: Vzorek tkaniny povrstvené elektricky vodivým polymerem

Tabulka číslo 6 zobrazuje jednotlivé naměřené veličiny vzorku č. 5.

Tabulka 6: Složení polymerační lázně vzorku č. 5

Použitá chemická látka	Použité množství
Pyrol [ml].	0,9
Chlorid železitý [g].	4,5
pTSA [g].	2,7
Spolion [g].	0,1

V tabulce 7 jsou zapsány naměřené hodnoty všech veličin měřených u tohoto textilního vzorku, které uvedla Ing. Veronika Šafářová v disertační práci [2].

Tabulka 7: Hodnoty měřených veličin u vzorku č. 5

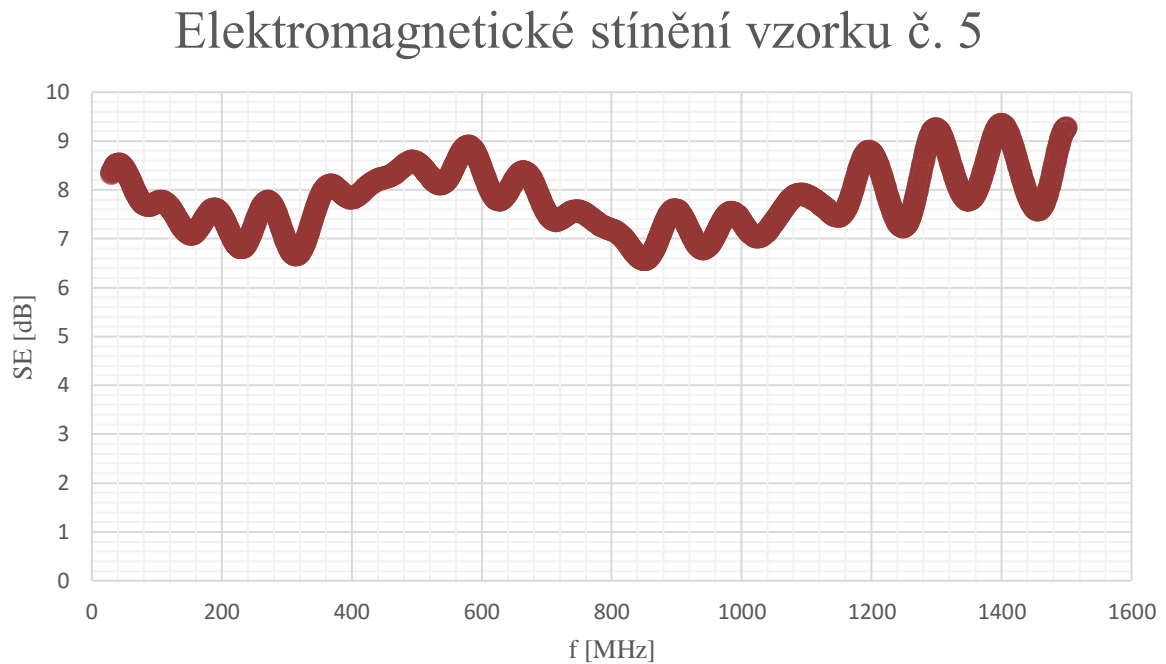
Měřená veličina	Naměřená hodnota	Jednotka veličiny
Tloušťka textilie	0,48	mm
Plošná hmotnost	175,80	g/m ²
Dostava osnovních nití	25	nití/10 mm
Dostava útkových nití	22	nití/10 mm
Jemnost osnovních nití	35	tex
Jemnost útkových nití	35	tex

Obrázek 18 obsahuje údaje o porozitě této tkaniny, které byly rovněž použity v práci Ing. Veroniky Šafářové [2].

Plocha póru A [μm^2]		Počet pórů n [-]	Plošná porozita [%]
\bar{x}	σ^2		
118,82	494,75	160	1,88

Obrázek 18: Porozita vzorku č. 5 [2]

Na obrázku 19 je zobrazen graf elektromagnetického stínění textilního vzorku č. 5, ze kterého je zřejmé, že v průběhu měření docházelo jen k mírným výkyvům hodnot efektivity stínění SE tohoto vzorku v závislosti na hodnotách frekvence. Nejvyšší hodnotu efektivity stínění (cca 9,3 dB) měl vzorek při frekvenci téměř 1400 MHz. Průměrná hodnota SE tohoto vzorku č. 5 je 8,79 dB.

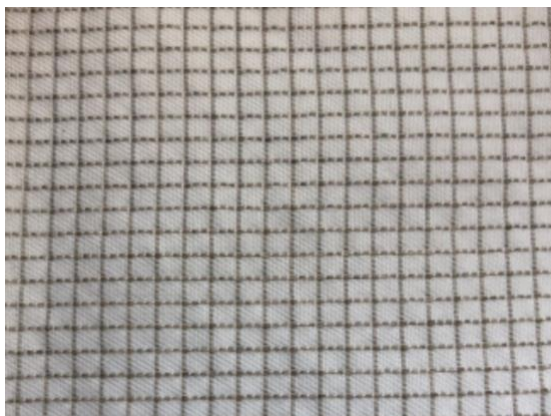


Obrázek 19: Průběh měření elektromagnetického stínění vzorku č. 5

Lze předpokládat, stejně jako u předchozího vzorku, že s pomocí této textilie nedojde k úspěšnému odstínění signálu elektronického klíče. Důvodem tohoto předpokladu jsou nízké hodnoty efektivity stínění SE této textilie (cca 8,2 dB), které byly naměřeny při frekvenci 434 MHz.

6.6 Vzorek č. 6 – tkanina s elektricky vodivou mřížkou obsahující vlákna x-static

Vzorek obsahuje elektricky vodivou mřížku o rozměrech 3 x 3 mm, která je tvořena přízemi z nekonečného vlákna x-static, což je stříbrem 99,9 % pokovené vlákno. Jednobarevná matrice s tužším omakem je vyrobená z čistého polyesteru s použitím hustě dostavené plátňové vazby [16]. Na obrázku 19 je zobrazen vzhled této tkaniny.



Obrázek 20: Vzorek tkaniny s elektricky vodivou mřížkou obsahující vlákna x-static

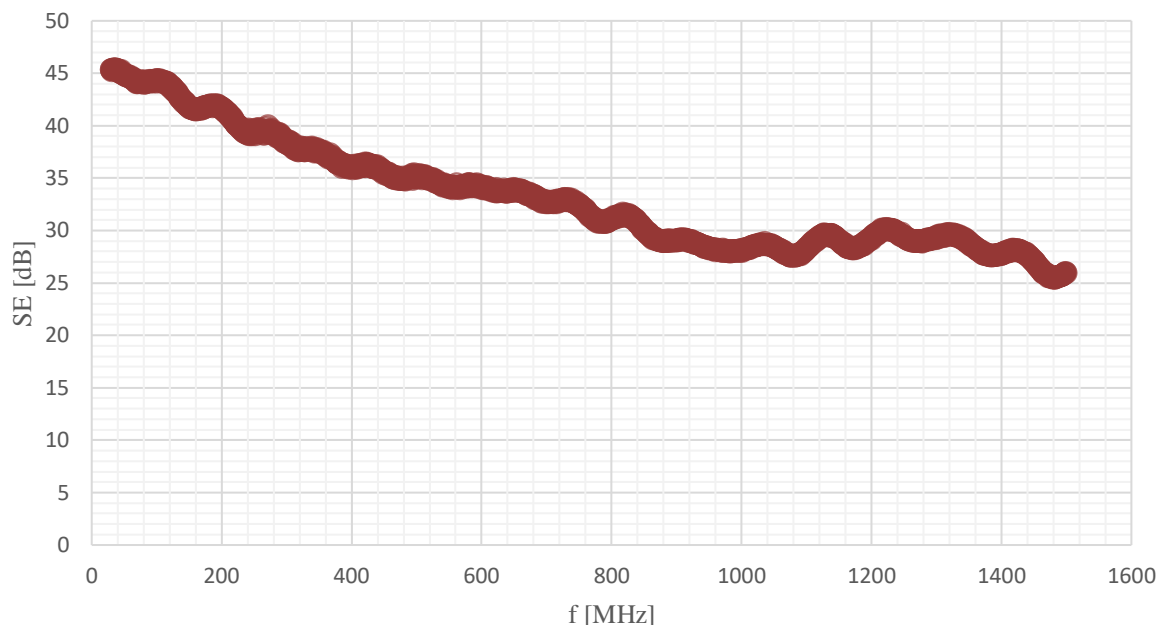
V tabulce níže jsou obsaženy naměřené hodnoty všech veličin měřených u tohoto textilního vzorku.

Tabulka 8: Hodnoty měřených veličin u vzorku č. 6

Měřená veličina	Naměřená hodnota	Jednotka veličiny
Tloušťka textilie	0,38	mm
Plošná hmotnost	109,10	g/m ²
Dostava osnovních nití	40	nití/10 mm
Dostava útkových nití	20	nití/10 mm
Jemnost vodivých přízí v osnově	270	tex
Jemnost vodivých přízí v útku	270	tex

Na obrázku 21 je znázorněn průběh měření elektromagnetického stínění vzorku č. 6. Nejvyšší hodnoty efektivity stínění (cca 45 dB) dosáhl tento vzorek již při frekvenci cca 30 MHz. Poté už hodnoty SE postupně klesaly se zvyšující se frekvencí. Průměrná hodnota efektivity stínění tohoto textilního vzorku je 35,6 dB.

Elektromagnetické stínění vzorku č. 6



Obrázek 21: Průběh měření elektromagnetického stínění vzorku č. 6

Při frekvenci o velikosti 434 MHz dosahuje efektivita stínění SE tohoto textilního vzorku cca 36 dB, což je poměrně vysoká hodnota v porovnání s ostatními vzorky. Lze tedy předpokládat, že tento vzorek by mohl být úspěšný při pokusech o odstínění signálu elektronického klíče.

6.7 Vzorek č. 7 – pokovená tkanina

Tento vzorek se vyznačuje jemným omakem a jednobarevným lesklým povrchem, který je lehce průsvitný. Jedná se o pokovenou tkaninu nízké plošné hmotnosti, která je tkaná v hustě dostavené plátňové vazbě. Kovovou vrstvu tkaniny tvoří slitina Alpaka, což je bílá slitina mědi, niklu, zinku a případně dalších kovů.

Z obrázku 22, na němž je zobrazen vzhled tohoto textilního vzorku, je patrné, že se jedná o tkaninu ripstop, která je charakteristická strukturou uskupenou do malých čtverců tvořených nitěmi větší tloušťky. Ripstop se nejčastěji vyrábí z polyesteru nebo polyamidu [54].



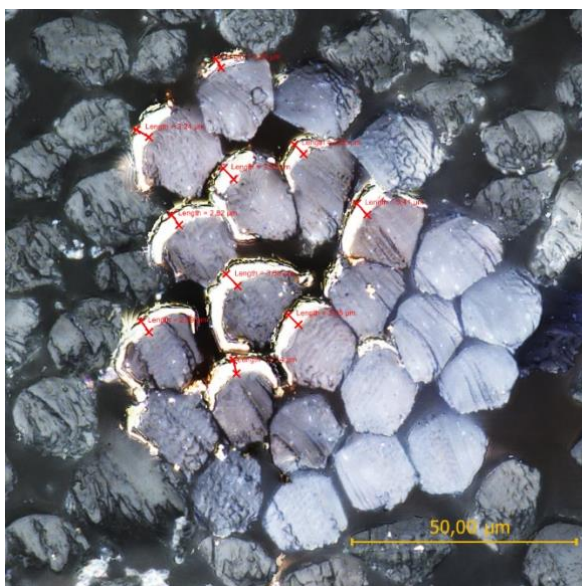
Obrázek 22: Vzorek pokovené tkaniny

V tabulce 9 jsou zaznamenány naměřené hodnoty všech veličin, které byly měřeny u této pokovené tkaniny.

Tabulka 9: Hodnoty měřených veličin u vzorku č. 7

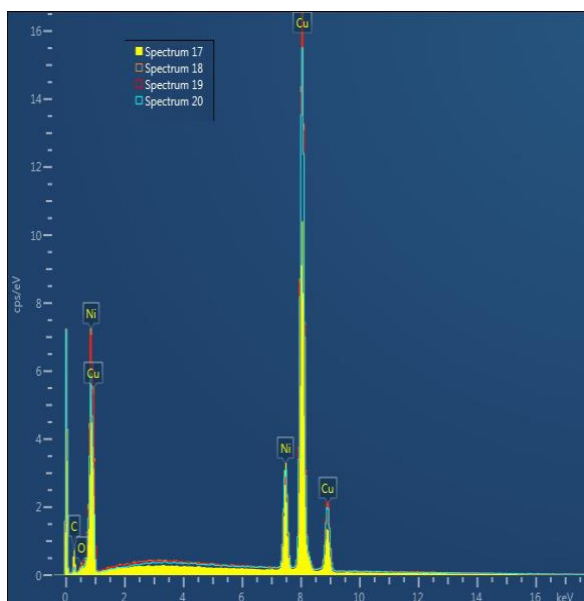
Měřená veličina	Naměřená hodnota	Jednotka veličiny
Tloušťka textilie	0,1	mm
Plošná hmotnost	93,7	g/m ²
Dostava osnovních nití	40	nití/10 mm
Dostava útkových nití	20	nití/10 mm
Tloušťka kovové vrstvy	3,07	μm

Na obrázku 23 je zachycen mikroskopický snímek příčného řezu této pokovené tkaniny, který byl podroben obrazové analýze NIS-Elements AR 2.30 kvůli měření tloušťky kovové vrstvy pokrývající tuto tkaninu [11].



Obrázek 23: Měření tloušťky kovové vrstvy vzorku č. 7

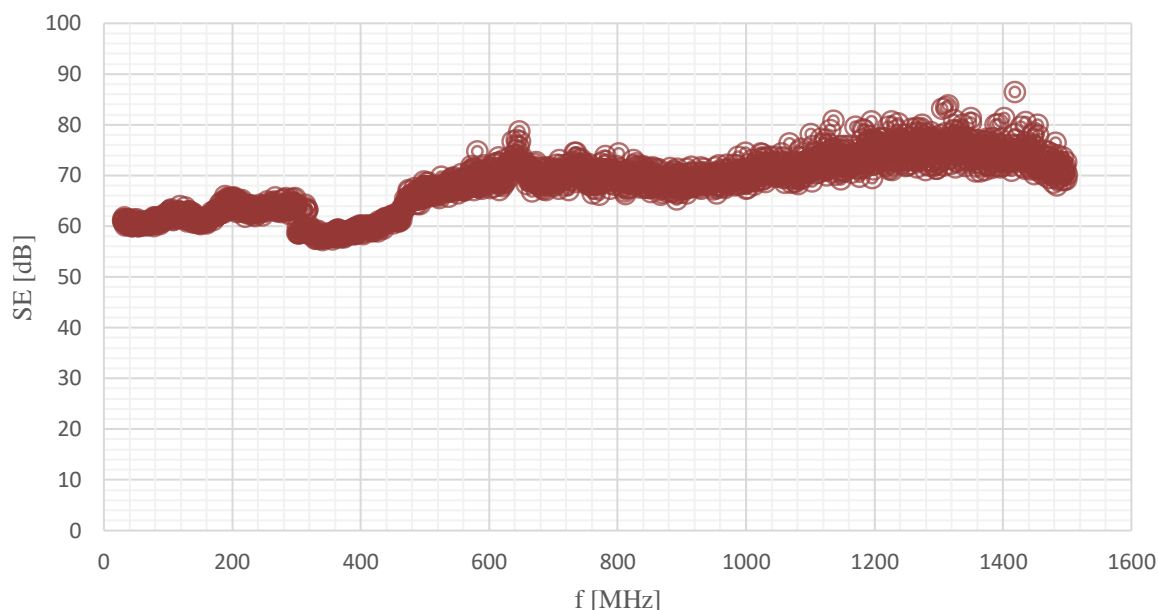
Spektrum materiálového složení kovové vrstvy vzorku č. 7, které bylo zjišťováno pomocí metody Rentgenové fluorescence (XRF), jejíž princip je podrobně popsán v kapitole 5.1.3 Analýza materiálového složení kovové vrstvy textilie, je zobrazeno na obrázku 24. Z tohoto spektra lze snadno vyčíst, že kovová vrstva tkaniny je tvořena z největší části mědí.



Obrázek 24: Analýza materiálového složení kovové vrstvy pokrývající vzorek č. 7

Na obrázku 25 je zobrazen graf elektromagnetického stínění textilního vzorku č. 7, ze kterého lze vyčíst, že s rostoucí frekvencí v průběhu měření nedocházelo k žádným výrazným výkyvům hodnot efektivity stínění SE tohoto vzorku. Nejvyšší hodnota efektivity stínění (cca 86 dB) vzorku č. 7 byla zaznamenána při frekvenci téměř 1420 MHz. Průměrná hodnota efektivity stínění vzorku č. 7 činí 69,59 dB.

Elektromagnetické stínění vzorku č. 7

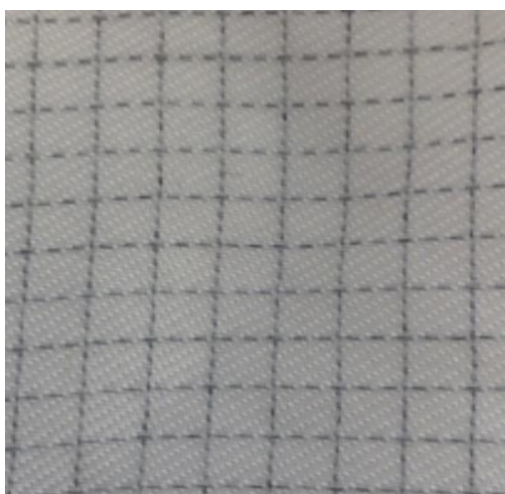


Obrázek 25: Průběh měření elektromagnetického stínění vzorku č. 7

Při frekvenci 434 MHz byla naměřena hodnota efektivity stínění pokovené tkaniny o velikosti cca 59,4 dB. Tato hodnota je mnohem vyšší než u všech ostatních vzorků a lze tedy předpokládat, že tato pokovená tkanina pravděpodobně dokáže odstínit signál elektronického klíče.

6.8 Vzorek č. 8 – tkanina s elektricky vodivou mřížkou obsahující uhlík

Součástí této tkaniny je elektricky vodivá mřížka s rozměry 5 x 5 mm, která je tvořena uhlíkem povrstveným hedvábím. Jako nevodivá matrice je zde použita jednobarevná tkanina tužšího omaku, která je vyrobena z čistého polyesteru. Vazbou této tkaniny je třívazný kepr, pro který je charakteristické jemné diagonální řádkování viz obrázek 26 [16].



Obrázek 26: Vzorek tkaniny s elektricky vodivou mřížkou obsahující uhlík

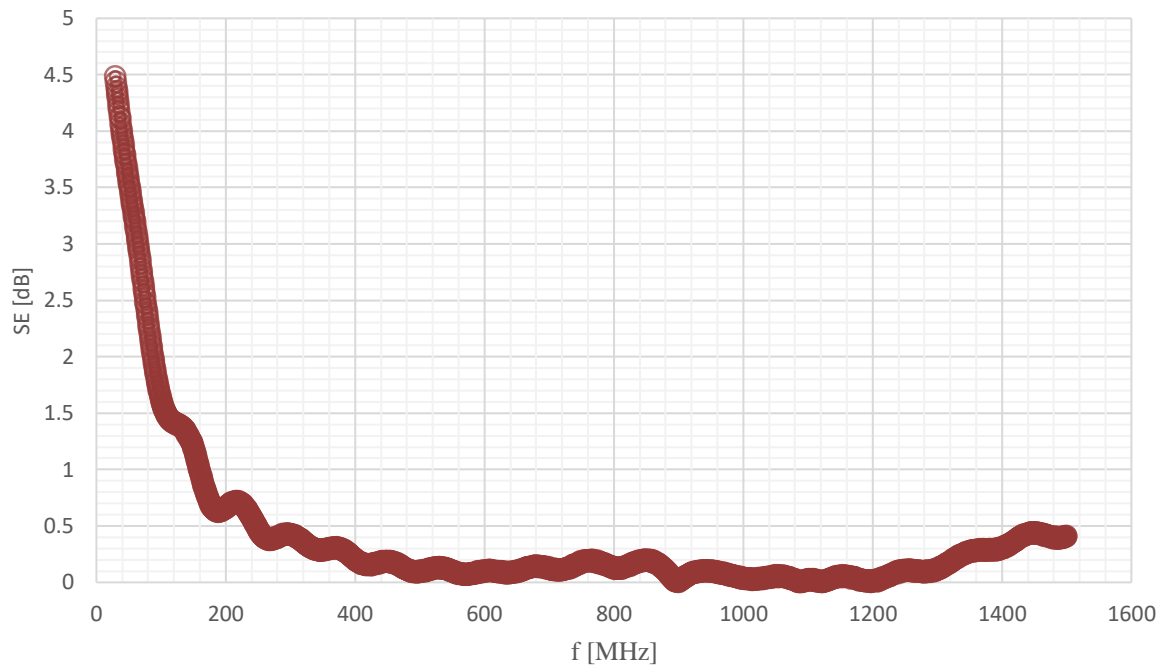
V tabulce 10 jsou zaznamenány naměřené hodnoty všech veličin, které byly měřeny u tohoto textilního vzorku.

Tabulka 10: Hodnoty měřených veličin u vzorku č. 8

Měřená veličina	Naměřená hodnota	Jednotka veličiny
Tloušťka textilie	0,4	mm
Plošná hmotnost	197,2	g/m ²
Dostava osnovních nití	26	nití/10 mm
Dostava útkových nití	20	nití/10 mm
Jemnost vodivých přízí v osnově	20	tex
Jemnost vodivých přízí v útku	20	tex

Z grafu elektromagnetického stínění vzorku č. 8 viz obrázek 27 je zřejmé, že nejvyšší hodnotu efektivity stínění SE (cca 4,4 dB) měl tento vzorek již při frekvenci o velikosti cca 30 MHz. Po zvýšení této frekvence však došlo ke znatelnému poklesu hodnot SE, které se po překročení frekvence nad hodnotu 250 MHz pohybovaly už pouze v intervalu od 0 do 0,5 dB. Průměrná hodnota efektivity stínění vzorku č. 8. je 2,44 dB.

Elektromagnetické stínění vzorku č. 8



Obrázek 27: Průběh měření elektromagnetického stínění vzorku č. 8

Naměřená hodnota SE textilního vzorku je při frekvenci 434 MHz velice nízká (cca 0,2 dB), což znamená, že s největší pravděpodobností bude vzorek č. 8 při pokusu o odstínění signálu elektronického klíče neúspěšný.

6.9 Vzorek č. 9 – netkaná pokovená textilie

Jako substrát k pokovení byla zvolena netkaná textilie nesoucí obchodní označení MILIFE, která je vyrobena z velmi jemných polyesterových vláken o průměru pouze 10 μm . Díky nízké tloušťce a vysoké porositě se tato textilie dokáže přizpůsobit různým podmínkám (např. laminaci s různými materiály) [2]. Z hlediska struktury je tato textilie vhodná pro povrchové pokovování, neboť se skládá z husté sítě velmi jemných termoplasticky spojených monofilů. Z obrázku 27 je zřejmé, že tato textilie byla pokovena mědí [16].

Mědění této netkané textilie probíhalo prostřednictvím oxidačně redukční reakcí komplexu mědi s formaldehydem na katalyticky vyloučeném stříbře. Mědicí lázeň se skládala z 8% vinanu sodno-draselného a 5% síranu měďnatého. Výsledkem této reakce je vinan měďnatý komplex, který je stabilní v alkalickém prostředí NaOH a reaguje s formaldehydem na kyselinu mravenčí a měď [2].



Obrázek 28: Vzorek netkané pokovené textilie

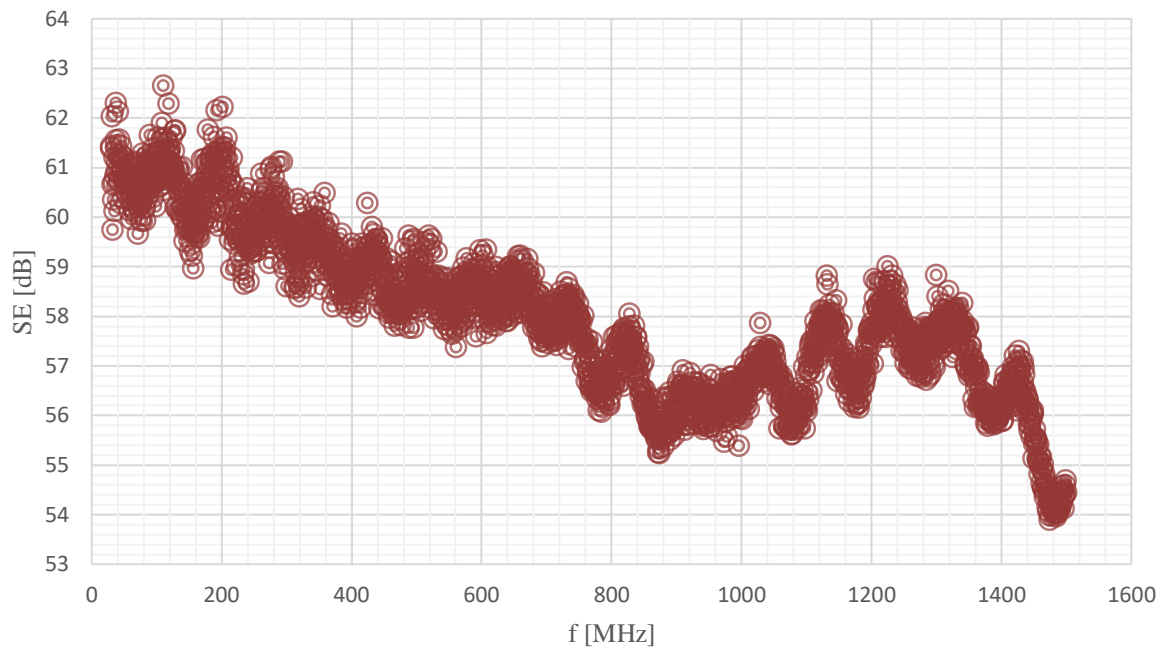
Tabulka 11 obsahuje naměřené hodnoty všech veličin, které byly měřeny u vzorku č. 9.

Tabulka 11: Hodnoty měřených veličin u vzorku č. 9

Měřená veličina	Naměřená hodnota	Jednotka veličiny
Tloušťka textilie	0,12	mm
Plošná hmotnost	49,7	g/m ²

Průběh měření elektromagnetického stínění vzorku č. 9 je zachycen na obrázku 29. Nejvyšší hodnoty efektivity stínění (cca 63 dB) dosáhl tento vzorek již při frekvenci o velikosti cca 110 MHz. Je zřejmé, že se zvyšující se frekvencí v průběhu měření hodnoty SE postupně klesaly. Průměrná hodnota efektivity stínění tohoto textilního vzorku je 57,9 dB.

Elektromagnetické stínění vzorku č. 9



Obrázek 29: Průběh měření elektromagnetického stínění vzorku č. 9

Při frekvenci 434 MHz byla naměřena hodnota efektivity stínění netkané pokovené textilie o velikosti cca 59,3 dB, což je téměř stejná hodnota jako u vzorku č. 7. Tato hodnota je mnohem vyšší než u většiny ostatních vzorků a lze tedy předpokládat, že tato textilie pravděpodobně dokáže odstínit signál elektronického klíče.

7 Testování odstínění signálu elektronického klíče

V této kapitole je popsán způsob, jakým bylo provedeno testování specifikovaných textilních vzorků na elektronickém klíči s cílem odstínit jeho signál. Zároveň jsou v této kapitole také uvedeny a vyhodnoceny výsledky tohoto testování.

7.1 Průběh testování

Prvním testovaným vzorkem byla, s cílem zjistit, zda je odstínění signálu elektronického klíče proveditelné, neporézní hliníková fólie s tloušťkou 0,01 mm a plošnou hmotností 24,5 g/m², která je určená pro potravinářské účely. Hodnota efektivity stínění této fólie při frekvenci 434 MHz činí cca 87 dB zdroj.

Při testování byl klíč nejprve důkladně obalen jednou vrstvou hliníkové fólie a následně došlo k 10 pokusům o odemčení automobilu ze vzdálenosti maximálně 1 m od jeho dveří. Hliníková fólie při testování proveditelnosti odstínění elektronického klíče dosáhla 100% úspěšnosti. Pokud by však došlo k neúspěšnému odstínění signálu klíče s pomocí jedné vrstvy této fólie, pak by se postup měření opakoval pro dvě vrstvy. Maximálně lze na klíči testovat 3 vrstvy u každého vzorku. Stejným způsobem jako u hliníkové fólie poté probíhalo testování na textilních vzorcích.

7.2 Zhodnocení výsledků

V rámci testování odstínění signálu elektronického klíče byly úspěšné pouze dva vzorky. Všechny zbylé vzorky měly i při použití 3 vrstev k obalení klíče nulovou úspěšnost. Kompletní výsledky měření všech testovaných vzorků jsou k nalezení v příloze A této práce. Prvním úspěšným vzorkem v testování byl vzorek č. 7 – pokovená tkanina. Úspěšnost tohoto vzorku při testování byla predikována hlavně z důvodu materiálového složení jeho kovové vrstvy. Mezi výhody tohoto vzorku patří například jeho vysoká pevnost, ke které přispívá i fakt, že se jedná o tkaninu ripstop [54]. Dalšími výhodami, které je nutné u tohoto vzorku uvést, jsou: stálost kovové vrstvy, dobrá odolnost proti oděru, jemný omak a estetický vzhled povrchu vzorku. Jednou z nevýhod vzorku č. 7 je určitě obsažení niklu v jeho kovové vrstvě,

který představuje zátěž pro životní prostředí. Dále mezi nevýhody patří i jeho vysoká pořizovací cena, která se pohybuje v rozmezí 15 až 30 eur za 1 m², a složitá technologie výroby.

Druhým a zároveň posledním úspěšným vzorkem byl vzorek č. 9 – netkaná pokovená textilie. Stejně jako u vzorku č. 7 byl úspěch této textilie při testování predikován hlavně z důvodu materiálového složení, protože k pokovení tohoto vzorku byla použita měď. Mezi hlavní výhody této netkané textilie patří například rychlost výroby substrátu, při které odpadá prvotní výroba vláken společně s konverzí na jejich plošný útvar. Výhody této textilie oproti vzorku č. 7 jsou: jednodušší technologie výroby a dostupnější cena, která se pohybuje v rozmezí 8,5 až 9,5 eur za plochu 1 x 1,1 m. Tato textilie také nepředstavuje takovou zátěž pro životní prostředí jako nikl, který je obsažen v kovové vrstvě vzorku č. 7. Mezi nevýhody tohoto vzorku patří například hrozba oxidace mědi na povrchu textilie, ostrý omak, neestetický vzhled a nižší odolnost vůči oděru [2].

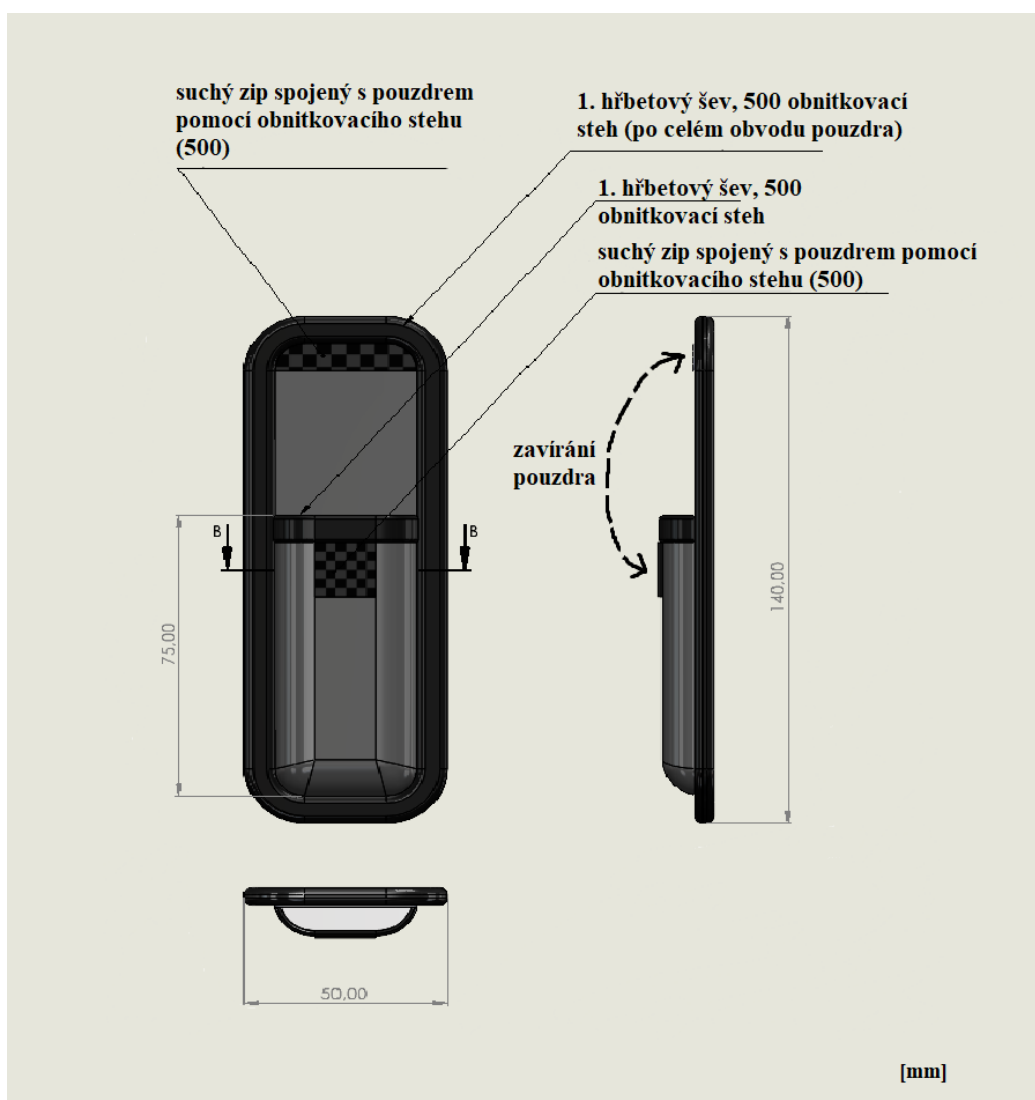
7.3 Návrh opatření proti hrozbě zneužití elektronického klíče

V této části práce je uveden návrh opatření proti tzv. relay attacku, o kterém je pojednáno v první kapitole. Návrh tohoto opatření vznikl na základě získaných informací ohledně elektromagnetického stínění, což je jedna ze speciálních vlastností elektricky vodivých textilních materiálů, kterým je věnována čtvrtá kapitola.

V první kapitole bylo zjištěno, že možným řešením, jak ochránit elektronický klíč před tímto druhem útoku, je pouzdro fungující na principu Faradayovy klece. Funkční stránku tohoto pouzdra zajistí blíže specifikovaná elektricky vodivá textilie, která byla úspěšná při testování odstínění signálu elektronického klíče. Vzhledem k možnosti výběru mezi dvěma takovými textiliemi, bylo o výběru rozhodnuto na základě porovnání dostupnosti jejich ceny, složitosti a rychlosti jejich výroby, dopadu na životní prostředí a jejich užitných vlastností. Z tohoto důvodu byl pro návrh pouzdra zvolen vzorek č. 9 – netkaná pokovená textilie. Vlastnosti této textilie v těchto ohledech totiž splňují dokonale všechna očekávání [2].

7.4 Modelový návrh pouzdra

V programu SolidWorks byl autorem práce vytvořen modelový návrh pouzdra viz obrázek 30, na kterém jsou uvedeny i určité rozměry, které jsou důležité proto, aby se do pouzdra dokázal testovaný klíč bez problémů vejít viz rozměry klíče v páté kapitole. Na tomto obrázku je také uvedeno, jakým způsobem by pouzdro mohlo být zhotoveno spolu s možným způsobem uzavírání pouzdra, které bylo navrženo tak, aby co možná nejvíce utěsňovalo kapsu pro klíč.

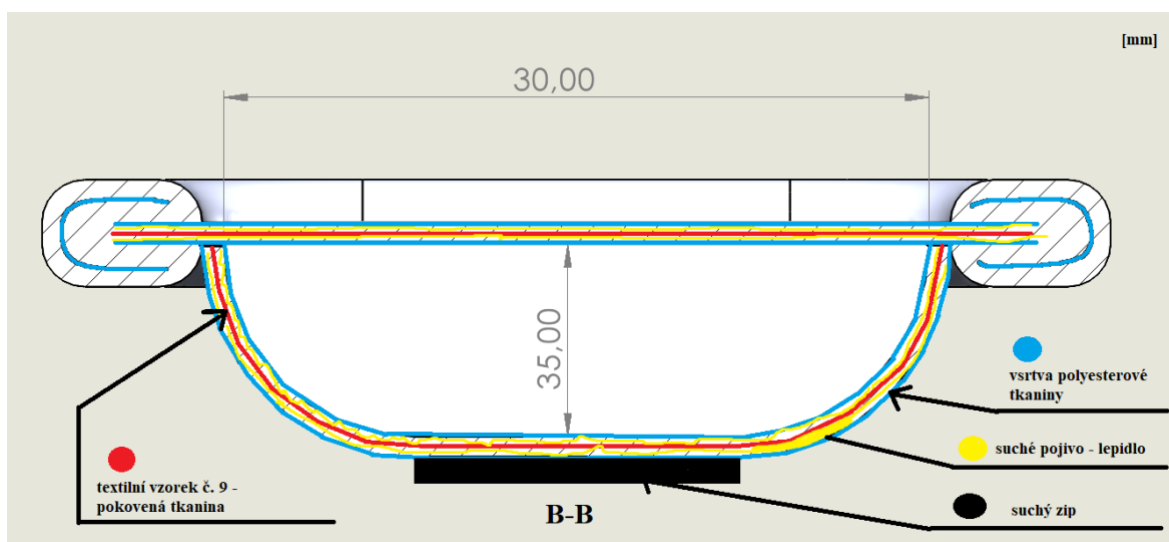


Obrázek 30: Modelový návrh pouzdra

Co se týče výběru vhodného materiálu pro tento modelový příklad pouzdra, tak byla zvolena hustá tkanina tkaná v keprové nebo plátňové vazbě, která je vyrobená z čistého polyesteru. Důvodem tohoto výběru jsou tyto její vlastnosti:

- výborná odolnost vůči oděru,
- vysoká pevnost,
- nemačkavost materiálu,
- vysoká odolnost vůči mikroorganismům,
- voděodolnost [50].

Na obrázku 31 je zobrazen řez modelového návrhu pouzdra, kde je vidět, že vzorek č. 9, který tvoří stínící složku elektromagnetického pole, je laminován mezi dvěma vrstvami polyesterových tkanin. Laminace vzorku č. 9 v tomto návrhu proběhla s použitím suchého pojiva (lepidla). Jednou z výše uvedených výhod vzorku č. 9 je, že díky nízké tloušťce a vysoké porozitě je tento materiál vhodný k laminaci s různými materiály. Tato výhoda je v tomto návrhu způsobu výroby pouzdra zahrnuta také kvůli eliminaci některých negativních vlastností této pokovené netkané textilie. Protože díky laminaci dojde ke schování této textilie do útrob pouzdra a jeho budoucí uživatel již nebude moci vnímat ostrý omak nebo nepříliš hezký vzhled vzorku č. 9.



Obrázek 31: Modelový návrh pouzdra – pohled v řezu

Závěr

Hlavním cílem práce bylo navrhnout a ověřit funkčnost opatření proti hrozbě zneužití elektronického klíče k automobilu, který je vybaven technologií KESSY. V práci byl detailně popsán způsob, kterým je v současné době elektronický klíč nejčastěji zneužíván. Popsány byly také všechny již existující způsoby ochrany před tímto typem útoku. Po porovnání kladných a záporných stránek všech těchto existujících způsobů ochrany, bylo shledáno, že nejvhodnější volbou pro ochranu klíče bude pouzdro fungující na principu Faradayovy klece.

Byly studovány vlastnosti všech typů textilních vláken se zvýšenou elektrickou vodivostí, ze kterých bylo posléze vybráno celkem 9 vzorků k testování odstínění signálu elektronického klíče. Tyto vzorky byly před testováním v práci blíže specifikovány s pomocí v práci uvedených měřících metod. Došlo také k měření efektivity stínění u vybraných vzorků, u kterých byla následně predikována pravděpodobnost úspěšného testování odstínění signálu elektronického klíče.

Při zpracování této bakalářské práce bylo zjištěno, že pokovené textile dosahují vyšších hodnot efektivity stínění než ostatní typy elektricky vodivých vláken, čehož bylo využito při návrhu pouzdra na elektronický klíč.

V rámci vlastního výzkumu bylo provedeno testování elektronického klíče s těmito devíti specifikovanými textilními vzorky. Testování bylo úspěšné u dvou vzorků textilií a následně byl vybrán jeden vzorek, jako funkční část návrhu pouzdra. Návrh pouzdra byl v práci detailně zpracován jak po obrazové, tak po teoretické stránce, kde bylo navrženo materiálové složení pouzdra a doporučený způsob jeho výroby. 3Dmodel pouzdra byl vyhotoven v programu SolidWorks. Hlavní cíl této práce byl tímto návrhem splněn.

Seznam použitých zdrojů

- [1] NOVÁK, M. *Bezklíčové otevírání auta ala KESSY/Keyless. Jak funguje a je bezpečné? Vysvětlíme.* [online]. Praha: Autohled Magazín. 2019. [cit. 2020-04-24]. Dostupné z: <https://www.autohled.cz/magazin/bezklicove-otevirani-auta-ala-kessykeyless-jak-funguje-a-je-bezpecne-vysvetlime/510>
- [2] ŠAFÁŘOVÁ, V. *Textilie se zvýšenou odolností vůči elektromagnetickému smogu.* Liberec, 2014. Disertační práce. Technická univerzita v Liberci. Vedoucí práce Jiří Militký.
- [3] PŘIBYL, M. *Ukrást auto s bezklíčovým odemykáním? Snadné. Některé automobilky to zatím moc neřeší.* [online]. Praha: Aktuálně.cz. 2019. [cit. 2020-04-24]. Dostupné z: <https://zpravy.aktualne.cz/ekonomika/auto/ukrast-auto-s-bezklicovym-odemykanim-snadne-nektere-automobi/r~a8da0618604a11e9ae850cc47ab5f122/>
- [4] KAISER, K. *Electromagnetic Shielding.* CRC/Taylor&Francis, 2006.
- [5] HAYT, W. *Engineering Electromagnetics.* McGraw-Hill, 1967
- [6] JURÍK, P. *Platební karty: ilustrovaná historie placení.* Praha: Libri, 2012. ISBN 978-80-7277-498-2.
- [7] MEZZO, L. *The INTELTEX project: application of carbon nano Tubes in polymers for sensing fibers.* In Nonwoven Research Academy: Conference Papers and Presentations. Chemnitz, Germany: EDANA, 2008.
- [8] PAROUBEK, J. *Technologie v autech KESSY aneb bezklíčový přístup k vozu.* Fdrive.cz [online]. 2018. [cit. 2020-07-03] Dostupné z: <https://fdrive.cz/clanky/technologie-v-autech-kessy-aneb-bezklicovy-pristup-k-vozu-2311>
- [9] *Safe KESSY elektronický čip pro ochranu vozidel s bezklíčovým ovládáním.* Kanaco.cz [online]. 2019 [cit. 2020-07-03] Dostupné z: <https://www.kanaco.cz/zbozi/52613/safe-kessy-elektronicky-cip-pro-ochranu-vozidel-s-bezklicovym-ovladanim/>.

- [10] WIECKOWSKI, T. and JANUKIEWICZ, J. *Methods for Evaluating the Shielding Effectiveness of Textiles*. FIBERS&TEXTILES in Eastern Europe, 14(5), 2006, pp. 18–22
- [11] *NIS-Elements Versione 2.30*. Bionovatec.com [online]. 2006. [cit. 2020-07-03]. Dostupné z: <http://www.bionovatec.com/wp-content/uploads/2014/05/NIS-Elements-AR-230-ITA.pdf>
- [12] *EDS Acquisition and Analysis*. Documents.uow.edu.au [online]. 2019. [cit. 2020-08-05]. Dostupné z: <https://documents.uow.edu.au/content/groups/public/@web/@aiim/documents/doc/uow154679.pdf>
- [13] *ČSN EN ISO 1973 (800269)*. Technicke-normy-csn.cz [online]. 2018. [cit. 2020-08-03]. Dostupné z: http://www.technicke-normy-csn.cz/800269-csn-en-iso-1973_4_21477.html
- [14] KOVAČIČ, V. *Textilní zkušeniectví 2*, Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2004.
- [15] KOLČAVOVÁ SIRKOVÁ, B. *Systém projektování textilních struktur. Část 2 „příze – tkanina“*, Výzkumné centrum Textil, Fakulta textilní, TU v Liberci 2004
- [16] BEDNÁŘ, V., SVATOŠ, S. *Vazby a rozborý tkanin I: Učebnice pro 3. roč. SPŠ studijního oboru textilní technologie*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1989, 238 s. ISBN 80-030-0082-3.
- [17] *Tloušťkoměr*. Katedra oděvnictví, „kod.tul.cz,“ [online]. [cit. 2020-07-28] Dostupné z: <http://www.kod.tul.cz/predmety/OM1/Cviceni/TLOUSTKOMER.pdf>.
- [18] *Tkaniny bavlnářského typu*. Skolatextilu.cz [online]. [cit. 2020-08-02] Dostupné z: <http://www.skolatextilu.cz/elearning/446/textilni-terminologie-zboziznalstvi/tkaniny/Tkaniny-bavlnarskeho-typu.html?fbclid=IwAR0PqWLfpUvM7OGKqoF-81UeFYyy5t0Y47j-Vw3wi043hiBO-sx9eI0wapk>
- [19] REDSTROM, J., MAZE, R. *IT + Textiles*. Helsinki: IT Press, 2005. ISBN 951-826-793-6.

[20] *Thatcham research*. [online]. 2020. [cit. 2020-08-05]. Dostupné z: <https://www.thatcham.org>

[21] SVAČINA, J. *Základy elektromagnetické kompatibility*. Část 6: Normalizace v oblasti EMC. *Elektrorevue* [online]. 2001/36 [cit. 2020-08-01]. Dostupné z: <http://www.elektrorevue.cz>. ISSN 1213-1539.

[22] WANG, G., et al. Conducting MWNT/poly(vinyl acetate) Composite Nanofibres by Electrospinning. *Nanotechnology*. 2006, 17(1), pp 5829-5835.

[23] DUQUESNE, S., MAGNIEZ, C., and CAMINO, G. *Multifunctional Barriers for Flexible Structure: Textile, Leather and Paper*. Springer, 2010.

[24] MILITKÝ, J. *Textilní vlákna: klasická a speciální*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2002. 238 s. ISBN 80-7083-644-X.

[25] THESS, A., et al. *Crystalline Ropes of Metallic Carbon Nanotubes*. *SCIENCE*. 1996, vol. 273, no. 2, s. 483-487.

[26] BERBER, S., Y.-K. KWON, TOMANEK, D. *Unusually High Thermal Conductivity of Carbon Nanotubes*. *Physical Review Letters*. 2000, vol. 84, no. 20, s. 4613-4616.

[27] SKOTHEIM, T. A., ELSENBAUMER, R. L., REYNOLDS, J. R. *Handbook of conducting polymers*. New York: CRC Press, 2007. ISBN1-4200-4360-9. Electrically conducting textiles, s. 993-1013.

[28] MAC, T., HOUIS, S., GRIES, T. Metal Fibers. *Technical Textiles*, 47(1), 2004, pp 11-24.

[29] *Electrisola feindraht AG*. *Textile-wire.com*, [online]. 2019. [cit. 2020-08-01]. Dostupné z www.textile-wire.com.

- [30] SEN, A.K. *Coated textiles: Principles and applications*. USA: Technomic publishing company, 2001. ISBN 1-58716-023-4. Methods of metal coating, s. 193-201.
- [31] BHA TT Achary A, S.K. *Metal-filled polymers: Properties and applications*. New York: MARCEL DEKKER, 1986. 331 s.
- [32] AUSSA W. A T, D. *Electrospun concuctive nanofiber-based materials and their characterizations: Effects of fiber characteristics on properties and application*. [s.l.], 2006. 227 s. Diseratation.
- [33] HOUIS, S., SCHREIBER, F., GRIES, T. *Fibre-Table according to P.-A. Koch: Bicomponent Fibres*. Aachen, Germany: Shaker, 2008. ISBN 978-3-8322-7037- 7.
- [34] SVAČINA, J. *Elektromagnetická kompatibilita, ústav radioelektroniky*. VUT Brno. 2002.
- [35] PERUMALRAJ, R. Et al. *Electromagnetic Shielding Effectiveness of Copppe Core-Woven Fabrics*. Journal of the Textile Institute, 100(6), 2009, pp. 512-524.
- [36] MORGAN, P. *Carbon fibers and their composites*. USA: CRC Press, 2005. 1133 s. ISBN 0-8247-0983-7.
- [37] DONNET, J. B., et al. *Carbon fibers*. New York: Marcel Dekker, 1998. 567 s. ISBN 0-8247-0172-0.
- [38] COTTET, D., et al. *Electrical Characteriation of Textile Transmission Lines*. *IEEE Transactions on Advanced Packing*. 2003, vol. 26, no. 2, s. 182-190.
- [39] QI, B., Matters, B.R., *United States Patent*. US7463040.
- [40] OTT, H. *Electromagnetic Compatibility Engineering*. Wiley, 2009.

- [41] *Encyklopedie elektromagnetické kompatibility*. Radio.feec.vutrb.cz [online]. Ústav radiotechniky, Praha. 2019. [cit. 2020-08-01]. Dostupné z <http://www.radio.feec.vutrb.cz/emc/>.
- [42] ORTH, M, Post, E.R. *Smart Fabric, or Washable Computing*. In Digest of Papers of the First IEEE International Symposium on Wearable Computers. Massachusetts: Cambridge, 1997. s. 167-168.
- [43] Specified Requirements of Electromagnetic Shielding Textiles. [online]. Committee for Conformity Assessment on Accreditation and Certification of Functional and Technical Textiles. cit. 18. 6. 2013. url: <http://www.ftts.org.tw/image/s/fa003E.pdf>.
- [44] FOULGER, S.H., QUINN, J.M., TRIAL, T.T., *United States Patent*. US6569937
- [45] Campagne, Ch., et al. *Smart and multifunctional nonwoven textiles*. In Nonwoven Research Academy: Conference Papers and Presentations. Chemnitz, Germany: EDANA, 2008.
- [46] HUANG, J. *Carbon Black Filled Conducting Polymers and Polymer Blends*. Adv. Polym. Technology. 2002, no. 21, s. 299.
- [47] VLČEK, J. *Základy elektrotechniky*. 3., oprav. doplň. vyd. Praha: Jiří Vlček, 2006. ISBN (brož.).
- [48] *Technické tkaniny – základní pojmy a definice*. Bedimex.eu [online]. 2018. [cit. 2020-08-07]. Dostupné z: <https://www.bedimex.eu/technicke-tkaniny-zakladni-pojmy-a-definice-cl4.php>
- [49] *The use of microxray fluorescence in an sem for failure analysis*. Image.slidesharecdn.com [online]. 2012. [cit. 2020-08-05]. Dostupné z: <https://image.slidesharecdn.com/micro-x-rayfluorescenceelement2012-120628172825-phpapp01/95/the-use-of-microxray-fluorescence-in-an-sem-for-failure-analysis-investigations-of-aerospace-materials-2-728.jpg?cb=1340904797>

[50] *Polyesterové tkaniny*. Stancl-cz.eu [online]. 2019. [cit. 2020-08-05]. Dostupné z: <https://www.stancl-cz.eu/polyesterove-tkaniny>

[51] *Autoklíč Ford ID63 IQ*. Autoalarmykh.cz [online]. 2019. [cit. 2020-08-06]. Dostupné z: <https://www.autoalarmykh.cz/www-autoarmy-cz/eshop/17-1-AUTOKLICE-OBALY/103-2-FORD/5/3302-AUTOKLIC-FORD-ID63-IQ>

[52] *Detekce Spektrometrie*. Astronuklfyzika.cz [online]. 2019. [cit. 2020-08-06]. Dostupné z: <http://astronuklfyzika.cz/DetekceSpektrometrie.htm>

[53] *100% polyesterová tkanina*. Toray.cz [online]. 2019. [cit. 2020-08-06]. Dostupné z: http://www.toray.cz/products/pro_001.html

[54] *Technologie Ripstop*. Pevi.cz [online]. 2017. [cit. 2020-08-07]. Dostupné z: <https://www.pevi.cz/cz/zajimavosti-z-oboru/technologie-ripstop>

Seznam příloh

Příloha A: testování odstínění signálu elektromagnetického klíče s použitím textilních vzorků.....	73
--	----

